Ansichten und Einstellungen Chemie-Lehramtsstudierender zum Thema Lebensmittelchemie

Von der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
zur Erlangung des Grades und Titels

Doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

angenommene Dissertation
von Frau Stephanie Jasmin Muche
geboren am 29.07.1990 in Wilhelmshaven

Gutachterin:

Prof. Dr. Verena Pietzner

Universität Vechta

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Peter Winterhalter

Technische Universität Braunschweig

Tag der Disputation:

23. September 2022

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei einigen Personen bedanken, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank geht an Frau Prof. Dr. Verena Pietzner. Vielen Dank, dass Du mir die Möglichkeit gegeben hast, meine Dissertation unter Deiner Betreuung anzufertigen. Ich möchte mich für Deine Anregungen und Hilfen bedanken, ebenso wie für Deine motivierenden und ermutigenden Worte und für die Gespräche, sowohl auf intellektueller als auch auf persönlicher Ebene. Mir wird der konstruktive Austausch mit Dir immer gut in Erinnerung bleiben.

Zudem möchte ich mich auch ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Peter Winterhalter bedanken, der mir damals die Stellenausschreibung für diese Promotionsstelle weitergeleitet und das Zweitgutachten für meine Dissertation übernommen hat. Vielen Dank für Ihre Unterstützung.

Ein weiterer besonderer Dank geht an Herrn Dr. Michael Peetz. Vielen Dank für Deine Unterstützung und die Zeit, die Du Dir für mich genommen hast. Ich danke Dir für Deine Hilfe und die konstruktiven Gespräche, die mich immer wieder auf neue Ideen für die Dissertation gebracht haben.

Daneben geht ein herzliches Dankeschön an Celine True und die Technischen Mitarbeiterinnen aus der Chemiedidaktik der Universität Oldenburg. Vielen Dank für Eure Unterstützung während der Entwicklung und Optimierung der Experimente, der Erstellung der Versuchsvorschriften sowie bei der praktischen Durchführung der Experimente im Seminar. Ohne Eure Unterstützung hätte das alles nicht so reibungslos funktioniert. Zudem danke ich Euch für die produktiven Gespräche, sowohl in Bezug auf die Promotion als auch auf persönlicher Ebene. Es hat mir immer super viel Spaß gemacht mit Euch zusammen zu arbeiten.

Ein ganz besonderer Dank geht zudem an meine Familie und meine Freunde. Besonders hervorheben möchte ich dabei meine Mama, Wilhelmine Albert, und Steffen Gensmer. Vielen lieben Dank, dass Ihr mich während der gesamten Promotion unterstützt habt. Ihr habt an mich geglaubt und mich immer wieder motiviert, auch wenn es mal nicht so gelaufen ist, wie ich mir das vorgestellt habe. Danke, dass Ihr mir immer wieder Mut gemacht habt und auch meine Launen bei Rückschlägen ertragen habt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **I**

Abbildungsverzeichnis ..... **VII**

Tabellenverzeichnis ..... **XVII**

Abkürzungsverzeichnis ..... **XXIV**

Kurzfassung ..... **XXVII**

Abstract ..... **XXXII**

Veröffentlichungen ..... **XXXVI**

Einleitung ..... **XXXVII**

1 Naturwissenschaftliche Grundbildung – Scientific Literacy **1**

2 Lebensmittelchemie **12**

2.1 Lebensmittelchemie im Wandel der Zeit 15

2.1.1 Nachhaltige Ernährung 18

2.1.2 Vegetarische Ernährung 20

2.2 Studienberuf mit dem Abschluss „Lebensmittelchemiker:in“ 22

2.3 Studienberuf und praktisches Ausbildungsjahr mit dem Abschluss „staatlich geprüfte:r Lebensmittelchemiker:in“ 24

2.4 Tätigkeitsfelder von Lebensmittelchemiker:innen und staatlich geprüfte:r Lebensmittelchemiker:innen 26

2.5 Bezüge zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik in den Kerncurricula Chemie und Biologie in Niedersachsen 29

2.5.1 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 29

2.5.2 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 31

2.5.3 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I 32

2.5.4 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II 33

3 Relevanz der Lebensmittelchemie im Kontext Schule ... 35

3.1 Aufarbeitung von Unterrichtsinhalten im schulischen Chemieunterricht ... 38

3.1.1 Didaktische Grundfrage 1 – Gegenwartsbedeutung ... 39

3.1.2 Didaktische Grundfrage 2 – Zukunftsbedeutung ... 39

3.1.3 Didaktische Grundfrage 3 – Exemplarische Bedeutung ... 40

3.1.4 Didaktische Grundfrage 4 – Thematische Strukturierung ... 41

3.1.5 Didaktische Grundfrage 5 – Erweisbarkeit und Überprüfbarkeit ... 41

3.1.6 Didaktische Grundfrage 6 – Zugänglichkeit/Darstellungsmöglichkeiten ... 42

3.1.7 Didaktische Grundfrage 7 – Methodische Strukturierung als Lehr-Lern-Prozess ... 42

3.2 Lebensmittelchemie als Beispiel für den Unterrichtsinhalt im schulischen Chemieunterricht ... 42

3.2.1 Didaktische Grundfrage 1 – Gegenwartsbedeutung: Welche Bedeutung hat das Thema Lebensmittelchemie im gegenwärtigen Leben der Schüler:innen? ... 42

3.2.2 Didaktische Grundfrage 2 – Zukunftsbedeutung: Welche Bedeutung hat das Thema Lebensmittelchemie für die Zukunft der Schüler:innen? ... 43

3.2.3 Didaktische Grundfrage 3 – Exemplarische Bedeutung: Welche Prinzipien und Sachverhalte lassen sich mit dem Thema Lebensmittelchemie exemplarisch darstellen? ... 44

3.2.4 Didaktische Grundfrage 4 – Thematische Strukturierung: Wie muss das Thema Lebensmittelchemie strukturiert werden, damit die Schüler:innen keine Verständnisprobleme haben? ... 44

3.2.5 Didaktische Grundfrage 5 – Erweisbarkeit und Überprüfbarkeit: Wie kann überprüft werden, ob die Schüler:innen die angestrebten Lernziele erfolgreich erreicht haben? ... 45

3.2.6 Didaktische Grundfrage 6 – Zugänglichkeit/Darstellungsmöglichkeiten: Welche Materialien und Versuche sind geeignet, um das Thema der Lebensmittelchemie für die Schüler:innen besonders interessant und anschaulich zu gestalten? ... 45

3.2.7 Didaktische Grundfrage 7 – Methodische Strukturierung als Lehr-Lern-Prozess: Welche Abfolge soll der Lehr-Lern-Prozess haben? ... 45

4 Forschungsfragen ... 47

4.1 Fachliche Forschungsfragen ... 47

4.2 Fachdidaktische Forschungsfragen ... 47

4.3 Forschungsfragen zur Lehrkräftebildung ... 48

5 Inhalte eines lebensmittelchemischen Seminars für Chemie-Lehramtsstudierende 49

5.1 Themenauswahl für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* 50

5.2 Versuchsauswahl und Erstellung der Versuchsvorschriften 59

5.2.1 Erfrischungsgetränke und Energydrinks 60

5.2.2 Alkaloidhaltige Lebensmittel 73

5.2.3 Obst und Gemüse 82

5.2.4 Honig 85

5.2.5 Zimt 91

5.2.6 Alkoholische Getränke 93

5.2.7 Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten 97

5.3 Erstellung der Versuchsvorschriften 101

5.4 PowerPoint-Präsentationen zum theoretischen Teil des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* 107

5.4.1 Alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks 107

5.4.2 Alkoholische Getränke 126

5.4.3 Alkaloidhaltige Lebensmittel 141

5.4.4 Obst und Gemüse 171

5.4.5 Honig 198

5.4.6 Das Gewürz Zimt 213

5.4.7 Alkaloidhaltige Genussmittel 220

5.4.8 Instrumentelle Analytik 237

6 Aufbau des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* 283

7 Qualitative Forschungsmethode 286

7.1 Interviewleitfaden zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* 287

7.2 Feedbackbogen zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Bezug auf die praktische Laborarbeit des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* 289

7.3 Durchführung 290

7.3.1 Interview 290

7.3.2 Feedbackbogen 290

7.4 Auswertungsverfahren 291

8 Ergebnisse ... 295

8.1 Beschreibung der Stichprobe ... 295

8.1.1 Interviewstudie ... 295

8.1.2 Feedbackbögen ... 295

8.2 Ergebnisdarstellung der Interviewstudie ... 295

8.2.1 Welches Vorwissen haben Chemie-Lehramtsstudierende über Lebensmittel, instrumentelle Analytikmethoden und rechtliche Grundlagen von Lebensmitteln? ... 295

8.2.2 Was lernen Chemie-Lehramtsstudierende durch die theoretische und praktische Teilnahme am Seminar über Lebensmittel und instrumentelle Analytik? ... 311

8.2.3 Warum setzen sich Chemie-Lehramtsstudierende mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander? ... 342

8.2.4 Wie und warum ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird? ... 355

8.2.5 Wie wichtig ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden? ... 370

8.2.6 Wie sollte die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Experimente im schulischen Chemieunterricht, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchgeführt werden? ... 376

8.2.7 Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung? ... 379

8.2.8 Sonstige Ergebnisse aus den qualitativen Interviews ... 389

8.2.9 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Zweifachs? ... 395

8.2.10 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Geschlechts? ... 403

8.3 Ergebnisdarstellung der Feedbackbögen ... 409

8.3.1 Was hat Ihnen bei den Experimenten gut gefallen und was nicht? Haben Sie Verbesserungsvorschläge? ... 409

8.3.2 Welche Experimente haben Sie besonders interessiert und warum? ... 428

8.3.3 Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Verständnisprobleme? ... 430

8.3.4 Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Probleme beim praktischen Arbeiten? ... 432

9 Diskussion 433

9.1 Welches Vorwissen haben Chemie-Lehramtsstudierende über Lebensmittel, instrumentelle Analytikmethoden und rechtliche Grundlagen von Lebensmitteln? 433

9.1.1 Welches Vorwissen stammt aus der Schulzeit? 434

9.1.2 Welches Vorwissen stammt aus dem bisherigen Studium? 435

9.2 Was lernen Chemie-Lehramtsstudierende durch die theoretische und praktische Teilnahme am Seminar über Lebensmittel und instrumentelle Analytik? 437

9.3 Warum setzen sich Chemie-Lehramtsstudierende mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander? 441

9.4 Wie und warum ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird? 444

9.4.1 Welche Thematiken in Bezug auf die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik sollten im schulischen Chemieunterricht verankert werden? 445

9.4.2 In welcher Jahrgangsstufe sollte die Thematik mit den entsprechenden Experimenten angewendet werden? 446

9.5 Wie wichtig ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden? 449

9.5.1 Wo sollte die Thematik verankert werden? 450

9.6 Wie sollte die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Experimente im schulischen Chemieunterricht, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchgeführt werden? 451

9.7 Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung? 452

9.7.1 Wie sollten die Themen Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik an angehende und bereits praktizierende Lehrkräfte vermittelt werden? 453

9.8 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Zweifachs? 454

9.9 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Geschlechts? 458

10 Ausblick **461**

Anhang **464**

Inhaltsverzeichnis des Anhangs **464**

Literaturverzeichnis **630**

Eidesstattliche Erklärung **647**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Didaktisches Dreieck [eigene Darstellung nach Fromm, 2012, S. 21] 6
Abbildung 1-2 Modell der didaktischen Rekonstruktion [Kattmann et al., 1997] 7
Abbildung 1-3 Zusammenhang der Kompetenzbereiche Fachwissen (Sek. I)/Fachkenntnisse (Sek. II) , Erkenntnisgewinnung (Sek. I)/Fachmethode (Sek. II), Kommunikation (Sek. I und II) und Bewertung (Sek. I)/Reflexion (Sek. II) [Achtermann et al., 2017, S. 8] 8
Abbildung 2-1 Übersicht der naturwissenschaftlichen und technologischen Bereiche der Lebensmittelchemie [eigene Darstellung nach Hofmann, 2019; Schwedt, 2005, S. 1] 13
Abbildung 2-2 Faktoren für das Ernährungsverhalten verschiedener sozialer Schichten [Muff & Weyers, 2010] 16
Abbildung 3-1 Chemisches Dreieck nach Johnstone [eigene Darstellung nach Barke et al., 2018, S. 253] 35
Abbildung 3-2 Tetraedrische Modell zum Erlernen von Chemie [eigene Darstellung nach Mahaffy, 2006] 36
Abbildung 3-3 Schema zur Unterrichtsplanung [Klafki, 2007, S. 272] 39
Abbildung 5-1 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit des Koffeins [eigene Darstellung] 62
Abbildung 5-2 Darstellung der Kalibriergerade für das Koffein [eigene Darstellung] 62
Abbildung 5-3 Qualitative Bestimmung der Süßstoffe (Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin) und Koffein [eigene Darstellung] 64
Abbildung 5-4 Qualitative Bestimmung der Konservierungsstoffe Benzoe- und Sorbinsäure [eigene Darstellung] 66
Abbildung 5-5 Qualitative Bestimmung von Chinin [eigene Darstellung] 70
Abbildung 5-6 Beispiel eines Derivatisierungsvorgangs von Taurin mit Dansylchlorid [modifiziert nach Löffler, 2008, S. 18] 71
Abbildung 5-7 Qualitative Trennung von Dansylchlorid und Taurin [eigene Darstellung] 73
Abbildung 5-8 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit von Koffein, Theophyllin und Theobromin [eigene Darstellung] 75
Abbildung 5-9 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit von Chlorogensäure [eigene Darstellung] 77

Abbildung 5-10 Darstellung einer Apparatur der Simultanen-Destillations-Extraktion (SDE) nach Likens-Nickerson [Seidel & Lindner, 1993] 79
Abbildung 5-11 Qualitative Bestimmung von L-Ascorbinsäure (Vitamin C) [eigene Darstellung] 83
Abbildung 5-12 Qualitative Bestimmung von Hydroxymethylfurfural (HMF) [eigene Darstellung] 86
Abbildung 5-13 Qualitative Bestimmung von Cumarin [eigene Darstellung] 92
Abbildung 5-14 Qualitative Bestimmung von Ethanol [eigene Darstellung] 96
Abbildung 5-15 Qualitative Bestimmung von Nikotin [eigene Darstellung] 100
Abbildung 5-16 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 1 [eigene Darstellung] 102
Abbildung 5-17 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 2 [eigene Darstellung] 103
Abbildung 5-18 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 3 [eigene Darstellung] 104
Abbildung 5-19 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 4 [eigene Darstellung] 105
Abbildung 5-20 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 5 [eigene Darstellung] 106
Abbildung 5-21 Strukturformel der Substanz Koffein [eigene Darstellung nach Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 226] 108
Abbildung 5-22 Strukturformel der Substanz Saccharin [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242] 110

Abbildung 5-23 Strukturformel der Substanz Aspartam [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242] 111
Abbildung 5-24 Strukturformel der Substanz Acesulfam-K [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242] 112
Abbildung 5-25 Strukturformel der Substanz Benzoesäure [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 612] 113
Abbildung 5-26 Strukturformel der Substanz Sorbinsäure [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 612] 113
Abbildung 5-27 Strukturformel der Substanz Taurin [Knapp, 2006] 114
Abbildung 5-28 Strukturformel der Substanz Chinin [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 646] 116
Abbildung 5-29 Strukturformel des Farbstoffs Azorubin E 122 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 256.] 117
Abbildung 5-30 Strukturformel des Triphenylmethanfarbstoffs Brillantblau FCF (E 133) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 687] 118
Abbildung 5-31 Strukturformel des Farbstoffs Chinolingelb (E 104) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 687] 118
Abbildung 5-32 Schematische Darstellung der Bierherstellung [Rimbach et al., 2010, S. 319] 128
Abbildung 5-33 Ablauf der alkoholischen Gärung während der Bierherstellung [Baltes & Matissek, 2011, S. 471] 131
Abbildung 5-34 Darstellung von alkaloidhaltigen Lebens- und Genussmitteln [eigene Darstellung] 142
Abbildung 5-35 Darstellung einer Kaffeefrucht [Belitz et al., 2008, S. 969] 143
Abbildung 5-36 Darstellung der Technologie der Kaffeeverarbeitung [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 501] 144
Abbildung 5-37 Unterschiedliche Röstverfahren im Vergleich [eigene Darstellung nach Belitz et al., 2008, S. 971] 147
Abbildung 5-38 Darstellung der Strukturformel einer Chlorogensäure [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217] 149
Abbildung 5-39 Darstellung der verschiedenen Verarbeitungsschritte zum Herstellen von grünem und weißem Tee, sowie schwarzem Tee und Oolongtee [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 510] 155

Abbildung 5-40 Darstellung der Strukturformeln von Theaflavin (links) [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217] und Thearubigen (rechts) [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 495] 156
Abbildung 5-41 Herstellung des Kakaobruchs als Zwischenprodukt der Kakaoherstellung [Rimbach et al., 2010, S. 304] 159
Abbildung 5-42 Weiterverarbeitung des Kakaobruchs zur Herstellung von Kakaopulver und Schokolade [Rimbach et al., 2010, S. 306] 161
Abbildung 5-43 Pro-Kopf-Verbrauch an Schokolade in Europa im Jahr 2020 [eigene Darstellung nach Ahrens, 2022b] 162
Abbildung 5-44 Strukturformel der Substanz Theophyllin [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217] 165
Abbildung 5-45 Strukturformel der Substanz Theobromin [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 490] 165
Abbildung 5-46 Einteilung der phenolischen Verbindungen [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 230] 174
Abbildung 5-47 Chemische Strukturen und Farben der Anthocyane in Abhängigkeit vom pH-Wert [Belitz et al., 2008, S. 856] 175
Abbildung 5-48 Darstellung der Strukturformel von Nasunin (Delphinidin-3-(4-p-cumaroyl)-L-rhamnosyl-(1,6)-glucosido-5-glucosid) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 386] 179
Abbildung 5-49 Darstellung der Strukturformeln der wichtigsten Aromastoffe der Kiwi; links: *cis*-2-Penten-1-ol [eigene Darstellung nach Kalalian et al., 2020] und rechts: *trans*-3-Hexen-1-ol [eigene Darstellung nach Kalalian et al., 2020] 188
Abbildung 5-50 Darstellung der Strukturformeln der wichtigsten Aromastoffe der Orange; links: Nerol [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 242] und rechts: Limonen [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 244] 190
Abbildung 5-51 Einteilung der Honigsorten nach verschiedenen Kriterien [Rimbach et al., 2010, S, 243] 199
Abbildung 5-52 Herstellungsprozess von Honig [Rimbach et al, 2010, S. 249] 201
Abbildung 5-53 Darstellung der Inhaltsstoffe und deren Gehalte in einem Honig [eigene Darstellung nach Rimbach et al, 2010, S. 250] 203

Abbildung 5-54 Strukturformeln der Schlüsselaromastoffe im Honig; links: Phenylacetaldehyd [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 251]; rechts: β-Damascenon [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 251] 204
Abbildung 5-55 Reaktion von Fructose zu 5-Hydroxymethylfurfural bei unsachgemäßer Lagerung [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 253] 204
Abbildung 5-56 Darstellung der wichtigsten Bestandteile des etherischen Öls in Ceylon-Zimt: links: Zimtaldehyd [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 541] und rechts: Eugenol [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 536] 216
Abbildung 5-57 Darstellung der Strukturformel Cumarin als Inhaltsstoff des etherischen Öls des Cassia-Zimtes [eigene Darstellung verändert nach Baltes & Matissek, 2011, S. 511] 216
Abbildung 5-58 Herstellung unterschiedlicher Tabaksorten nach der Ernte durch unterschiedliche Bearbeitung [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 530] 221
Abbildung 5-59 Darstellung der Strukturformeln von Nikotin und Nornicotin [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 532] 222
Abbildung 5-60 Beispiele für kombinierte Text-Bild-Warnhinweise, die auf den Verpackungen von Tabakerzeugnissen aufgebracht sein müssen [Europäische Kommission, 2014] 228
Abbildung 5-61 Schematische Darstellung der chromatographischen Trennung in Bezug auf die Probenauftragung und den Beginn der Trennung [aprentas, 2017, S. 192] 239
Abbildung 5-62 Darstellung des Stoffgemisches zwischen stationärer und mobiler Phase (a), der unterschiedlichen Wechselwirkung der Analytteilchen mit den Teilchen der stationären Phase mit der unterschiedlich schnellen Wanderung entlang der stationären Phase (b) und die daraus resultierende Trennung des Stoffgemisches (c) [aprentas, 2017, S. 193] 240
Abbildung 5-63 Schematische Darstellung des Adsorptionsvorgang bei der Adsorptionschromatographie [Harris et al., 2014, S. 617] 241
Abbildung 5-64 Schematische Darstellung des Trennprinzips der Verteilungschromatographie am Beispiel einer Kapillarsäule der Gaschromatographie [Harris et al., 2014, S. 617] 242

Abbildung 5-65 Schematische Darstellung der chemischen Struktur eines Kieselgel-Teilchens [Harris et al., 2014, S. 677] 244
Abbildung 5-66 Schematische Darstellung zur Vorbereitung und zum Auftragen von Probelösungen auf eine DC-Platte mit S = Startlinie, P = Probe, 1 – 7 = Vergleichssubstanzen [Matissek et al., 2014, S. 53] 245
Abbildung 5-67 Beispielhafte Darstellung eines Chromatogramms in Folge einer nicht ausreichend gesättigten DC-Kammer [aprentas, 2017, S. 235] 246
Abbildung 5-68 Entwicklungsprozess einer DC-Platte [Gey, 2021, S. 189] 247
Abbildung 5-69 Beispielhafte Darstellung eines Chromatogramms durch Veränderung der äußeren Einflüsse bei der Entwicklung einer DC-Platte [aprentas, 2017, S. 236] 248
Abbildung 5-70 Beispielhafte Darstellung einer entwickelten DC-Platte mit F = Laufmittelfront, I_L = Laufstrecke des Laufmittels und $I_S(1)$ = Laufstrecke der Substanz 1 [Matissek et al., 2014, S. 53] 248
Abbildung 5-71 Aufbau einer HPLC-Anlage [Otto, 2019, S. 403] 250
Abbildung 5-72 Schematische Darstellung einer Kurzhub-Kolbenpumpe [Otto, 2019, S. 405] 252
Abbildung 5-73 Darstellung einer Dosierschleife mit Sechswegeventil für eine HPLC-Anlage – (a) Füllen der Probenschleife (Ladeposition); (b) Injektion (Injektionsposition) [Otto, 2019, S. 406] 253
Abbildung 5-74 Darstellung einer HPLC-Trennsäule mit Schutzsäule [Harris et al., 2014, S. 675] 254
Abbildung 5-75 Detektionsprinzip eines UV/VIS-Detektors in der HPLC [aprentas, 2017, S. 268] 257
Abbildung 5-76 Darstellung einer Durchflusszelle für die UV/VIS-Detektion einer HPLC-Anlage [Otto, 2019, S. 407] 258
Abbildung 5-77 Darstellung eines Diodenarray-Detektors (DAD) [Otto, 2019, 233] 258
Abbildung 5-78 Schematische Darstellung des Fresnel-Refraktometers [Otto, 2019, S. 409] 259
Abbildung 5-79 Darstellung eines Ablenkungsrefraktometers [Meyer, 2004, S. 94] 260
Abbildung 5-80 Darstellung eines Interferometers [Meyer, 2004, S. 94] 260
Abbildung 5-81 Darstellung eines Fluoreszenzdetektors in der HPLC [Meyer, 2004, S. 95] 261

Abbildung 5-82 Darstellung eines elektrochemischen Detektors mit einer Arbeitselektrode aus Glaskohlenstoff [Otto, 2019, S. 410] 262
Abbildung 5-83 Beispiel für eine chromatographische Trennung von zwei verschiedenen Substanzen (S_1 und S_2) [Gey, 2021, S. 121] 263
Abbildung 5-84 Beispiel einer quantitativen Auswertung eines Chromatogramms [Gey, 2021, S. 121] 264
Abbildung 5-85 Darstellung eines Peakprofils mit Kenngrößen [Gey, 2021, S. 122] 265
Abbildung 5-86 Schematischer Aufbau eines Gaschromatographen [Otto, 2019, S. 384] .. 267
Abbildung 5-87 Beispiel für eine GC-Kapillarsäule (links eine Kapillarsäule in gerader Form und rechts eine Kapillarsäule in aufgewickelter Form) [Gey, 2021, S. 196] 269
Abbildung 5-88 Unterschiedliche Beschichtungen der Kapillarsäulen in der GC [Gey, 2021, S. 197] 269
Abbildung 5-89 Schematische Darstellung eines Injektors in der GC [Otto, 2019, S. 386] 271
Abbildung 5-90 Darstellung von Einspritzblöcken der Splitless-Technik (links) und der Split-Technik (rechts) [Gey, 2021, S. 196] 272
Abbildung 5-91 Schematische Darstellung eines Einspritzblocks einer On-Column-Injektion [aprentas, 2017, S, 298] 273
Abbildung 5-92 Darstellung eines Flammenionisationsdetektors in der GC [Gey, 2021, S. 200] 274
Abbildung 5-93 Darstellung eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors (links) [Gey, 2021, S. 204] und einer Wheatstone´schen Brückenschaltung (rechts) [Gey, 2021, S. 205] 275
Abbildung 5-94 Darstellung eines Thermoionisationsdetektors [Gey, 2021, S. 203] 276
Abbildung 5-95 Darstellung eines Elektroneneinfangdetektors [Gey, 2021, S. 202] 277
Abbildung 5-96 Darstellung eines GC-O mit „Sniffing-Port“ [Krause, 2015] 277
Abbildung 5-97 Aromarad für Getränke und Lebensmittel der Deutschen-Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) [Simat et al., 2017] 279
Abbildung 5-98 Darstellung des elektromagnetischen Spektrums [Hess et al., 2005, S. 1] 280
Abbildung 5-99 Schematischer Aufbau eines Einstrahlphotometers (links) [Gey, 2021, S. 299] und schematischer Aufbau eines Zweistrahlphotometers (rechts) [Gey, 2021, S. 300] 280
Abbildung 6-1 Ablauf des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung] 283

Abbildung 7-1 Allgemeines Ablaufschema einer qualitativen Inhaltsanalyse [Mayring, 2015, S. 62] 292
Abbildung 8-1 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den verschiedenen angesprochenen Lebensmittelgruppen [eigene Darstellung] 296
Abbildung 8-2 Darstellung der induktiven Kategorien zur Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug [eigene Darstellung] 299
Abbildung 8-3 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik in Form von DC, HPLC, GC und Photometrie [eigene Darstellung] 304
Abbildung 8-4 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen [eigene Darstellung] 309
Abbildung 8-5 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen [eigene Darstellung] 311
Abbildung 8-6 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den einzelnen Methoden der instrumentellen Analytik (DC, HPLC, GC und Photometrie) [eigene Darstellung] 314
Abbildung 8-7 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe [eigene Darstellung] ... 318
Abbildung 8-8 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich der Qualität des Seminars [eigene Darstellung] 321
Abbildung 8-9 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich der Qualität der Experimente [eigene Darstellung] 328
Abbildung 8-10 Darstellung der induktiven Kategorien zum Lernerfolg der Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung] 333

Abbildung 8-11 Darstellung der induktiven Kategorien zu den besonderen Aspekten und Inhalten des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung] 338
Abbildung 8-12 Darstellung der induktiven Kategorien zur Auseinandersetzung von Chemie-Lehramtsstudierenden mit Lebensmitteln im Alltag [eigene Darstellung] 342
Abbildung 8-13 Darstellung der induktiven Kategorien von Lebensmitteln, welche die Studierenden im Alltag interessieren [eigene Darstellung] 345
Abbildung 8-14 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, warum sie am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen haben [eigene Darstellung]..... 348
Abbildung 8-15 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Erwartungen sie an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* hatten und ob ihre Erwartungen dahingehend erfüllt oder nicht erfüllt worden sind [eigene Darstellung].. 351
Abbildung 8-16 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie die Thematik der Lebensmittelchemie in der Schule anwenden würden und wenn ja, welches Thema sie in welcher Jahrgangsstufe betrachten würden [eigene Darstellung] 355
Abbildung 8-17 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig die Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule ist [eigene Darstellung]..... 362
Abbildung 8-18 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie in ihrem Unterricht eine Einheit zur Lebensmittelchemie integrieren würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe in welcher Jahrgangsstufe [eigene Darstellung] 365
Abbildung 8-19 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig sie es finden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden (HPLC und Photometrie) im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden [eigene Darstellung] 370
Abbildung 8-20 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie sie die erlernten Experimente ohne das entsprechende Gerät in der Schule umsetzen können [eigene Darstellung] 377

Abbildung 8-21 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie die Lehrkräftebildung in Bezug auf die Lebensmittelchemie verbessert und umgesetzt werden könnte [eigene Darstellung]..... 380

Abbildung 8-22 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu Verbesserungsvorschlägen und Anregungen zum Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung]..... 389

Abbildung 8-23 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu weiteren interessanten Themenbereichen der Lebensmittelchemie, die sie gerne noch im Seminar betrachtet hätten [eigene Darstellung]..... 392

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Gliederung des Begriffs Bildung mit zugeordneten Kompetenzen [Gräber & Nentwig, 2002, S. 137] 4
Tabelle 1-2 Überblick der Kompetenzbereiche für das Unterrichtsfach Chemie der Sekundarstufe I [Achtermann et al., 2015, S. 46 ff.] und II [Achtermann et al., 2017, S. 11 ff.] mit den verschiedenen zugehörigen Kategorien 9

Tabelle 2-1 Unterkategorien der einzelnen naturwissenschaftlichen und technologischen Bereiche der Lebensmittelchemie [Hofmann, 2019; Schwedt, 2005, S. 1] . 14
Tabelle 2-2 Aspekte und Resultate der nachhaltigen Ernährung [Mauckner, 2013] 19
Tabelle 2-3 Aspekte und Gründe für eine vegetarische Ernährung [Leitzmann, 2013].. 21
Tabelle 2-4 Beispiele für Tätigkeiten von Lebensmittelchemiker:innen in der amtlichen Überwachung, der Industrie, der Wissenschaft und Forschung sowie als Freiberufler [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 5 ff.]. 27

Tabelle 5-1 Wöchentlicher Konsum von Früchtetee, schwarzem Tee und Kaffee in Prozent [Mensink et al., 2007] 55
Tabelle 5-2 Täglicher einmaliger oder mehrmaliger Schokoladenverzehr der befragten Kinder und Jugendlichen in Prozent in Abhängigkeit von der Altersgruppe [Mensink et al., 2007] 56
Tabelle 5-3 Gegenüberstellung der Geräteparameter aus der Basismethode zur optimierten Methode [Higashi & Fujii, 2005] 72
Tabelle 5-4 Untersuchungsparameter zur Bestimmung von Koffein, Theophyllin und Theobromin in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade 74
Tabelle 5-5 Darstellung der in Arabica-Kaffee enthaltenen Aromastoffe und die zugehörigen Geruchsbeschreibungen [Grosch, 1996] 80
Tabelle 5-6 Darstellung der Retentionszeiten der Gerüche und deren Beschreibung [eigene Durchführung] 81
Tabelle 5-7 Quantitative Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen – Zugaben zur Blindwert- und Probenküvette [R-Biopharm, o. D.] 90
Tabelle 5-8 Verdünnungen für die entsprechenden alkoholischen Getränke [R-Biopharm, o. D.] 95

Tabelle 5-9 Quantitative Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken – Zugaben zur Blindwert- und Probenküvette [R-Biopharm, o. D.]..... 95
Tabelle 5-10 Auszug der Farbstoffe, die in Lebensmitteln eingesetzt werden dürfen [Meyer, 2021a, S.29] 118
Tabelle 5-11 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 120
Tabelle 5-12 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 122
Tabelle 5-13 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II..... 125
Tabelle 5-14 Bezeichnung der Biere nach dem Gehalt an Ethanol in Gewichtsprozent [Belitz et al., 2008, S. 930, Schwedt, 2005, S. 219] 132
Tabelle 5-15 Einteilung der Biergattungen anhand des Gehaltes an Stammwürze in g/100 g [Meyer, 2017c, S. 2] 132
Tabelle 5-16 Herstellungsverfahren und Mindestalkoholgehalte der verschiedenen Spirituosenkategorien [Meyer, 2021g, S. 44 (Rum), S. 45 f. (Getreidespirituose), S. 48 (Brand aus Obsttrester), S. 53 (Wodka)] 135
Tabelle 5-17 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereiche alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 137
Tabelle 5-18 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 138
Tabelle 5-19 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II... 141
Tabelle 5-20 Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Arabica- und Robusta-Rohkaffee bezogen auf die Trockenmasse [Belitz et al., 2008, S. 972] 145
Tabelle 5-21 Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Arabica- und Robusta-Röstkaffee bezogen auf die Trockenmasse [Belitz et al., 2008, S. 973].... 148
Tabelle 5-22 Gegenüberstellung des Chlorgensäuregehaltes in Arabica- und Robusta-Kaffee in Abhängigkeit des Röstgrades [Belitz et al., 2008, S. 974]..... 149

Tabelle 5-23 Darstellung der Aromastoffgruppen mit ausgewählten Beispielen in Röstkaffee [Belitz et al., 2008, S. 976] 150
Tabelle 5-24 Darstellung der im Teeblatt enthaltenen Enzyme und deren Aufgaben [Belitz et al., 2008, S. 985 f.] 152
Tabelle 5-25 Auswahl an Aromastoffen, die zum typischen Teearoma beitragen mit Strukturformeln [Belitz et al., 2008, S. 987] 153
Tabelle 5-26 Chemische Zusammensetzung von schwarzem Tee [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 511] 156
Tabelle 5-27 Zusammensetzung der fermentierten Kakaobohnen und der Kakaoschalen [Belitz et al., 2008, S. 994] 159
Tabelle 5-28 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 166
Tabelle 5-29 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 168
Tabelle 5-30 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I 170
Tabelle 5-31 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II 171
Tabelle 5-32 Einteilung von Gemüse nach Art und Herkunft [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 357; Schwedt, 2005, S. 193] 172
Tabelle 5-33 Vitamingehalte in Auberginen [Belitz et al., 2008, S. 817] 176
Tabelle 5-34 Unterschiedliche Nitratgehalte in Gemüsesorten [Göllner, 2020] 180
Tabelle 5-35 Tägliche durchschnittliche Aufnahme von Nitrat durch den Menschen durch den Verzehr von Lebensmitteln [Göllner, 2020] 181
Tabelle 5-36 Höchstmengenregelungen im Lebensmittelrecht für nitratreiche Lebensmittel [Meyer, 2021d, S. 20] 183
Tabelle 5-37 Einteilung von Obst nach der Sorte [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 409; Schwedt, 2005, S. 203] 184
Tabelle 5-38 Durchschnittliche Zusammensetzung einer Kiwifrucht [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 430] 188

Tabelle 5-39 Durchschnittliche Zusammensetzung einer Süßorange [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 444] 189
Tabelle 5-40 Gehalt an Vitamin C in verschiedenen Obst- und Gemüsearten in mg/100 g [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (d)] 190
Tabelle 5-41 Klasseneinteilung für Obst und Gemüse [Meyer, 2021f, S. 116] 192
Tabelle 5-42 Verteilung der fünf Portionen Obst und Gemüse am Tag [Haas, 2021] 193
Tabelle 5-43 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 193
Tabelle 5-44 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 195
Tabelle 5-45 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II 198
Tabelle 5-46 Unterschiedliche Honige nach Art der Gewinnung [Rimbach et al., 2010, S. 243 f.] 200
Tabelle 5-47 Spezielle Anforderungen an einen Honig [Meyer, 2017a, S. 5 f.] 205
Tabelle 5-48 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 209
Tabelle 5-49 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 210
Tabelle 5-50 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II 213
Tabelle 5-51 Einteilung der Gewürze [Baltes & Matissek, 2011, S. 533] 214
Tabelle 5-52 Höchstmengengehalte für Cumarin in Lebensmitteln [Meyer, 2021b, S. 190] 217
Tabelle 5-53 Anzahl der chemischen Verbindungen einzelner Stoffklassen, die im Tabakrauch enthalten sind [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 18] 226
Tabelle 5-54 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I 232
Tabelle 5-55 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II 234

Tabelle 5-56 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II 236
Tabelle 5-57 Übersicht der Einteilung der chromatographischen Methoden mit Art der physikalisch-chemischen Verteilung und der unterschiedlichen Aggregatzustände der stationären und mobilen Phase [Matissek et al., 2014, S. 47; aprentas, 2017, S. 190 f.] 238
Tabelle 5-58 Auszug der elutropen Reihe für Kieselgel als Sorptionsmittel [Matissek et al., 2014, S. 52] 243
Tabelle 5-59 Beispielhafte Auswahl für stationäre Phasen in der GC [Gey, 2021, S. 198; Otto, 2019, S. 394] 270

Tabelle 6-1 Darstellung der 23 verschiedenen Experimente mit dem zugehörigen Gerät der instrumentellen Analytik 284

Tabelle 7-1 Grundsätzliche Prinzipien bei der Durchführung von Interviews [Helfferich, 2011, S. 24] 287

Tabelle 8-1 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den angesprochenen Lebensmittel-/Genussmittelgruppen 297
Tabelle 8-2 Kategorien zum Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden im Bereich der Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug 300
Tabelle 8-3 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik 304
Tabelle 8-4 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen 309
Tabelle 8-5 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen 312
Tabelle 8-6 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik und deren Methoden (DC, HPLC, GC und Photometrie) 315

Tabelle 8-7 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe 319
Tabelle 8-8 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zur Qualität des Seminars 322
Tabelle 8-9 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zur Qualität der Experimente 328
Tabelle 8-10 Kategorien zum Lernerfolg der Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* 334
Tabelle 8-11 Kategorien zu den besonderen Aspekten und Inhalten des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* 339
Tabelle 8-12 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob und inwieweit sie sich mit Lebensmitteln in ihrem Alltag auseinandersetzen . 343
Tabelle 8-13 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Lebensmittel für sie im Alltag interessant sind 346
Tabelle 8-14 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, warum sie am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen haben 348
Tabelle 8-15 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Erwartungen sie an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* hatten und ob ihre Erwartungen dahingehend erfüllt oder nicht erfüllt worden sind .. 351
Tabelle 8-16 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie die Thematik der Lebensmittelchemie in der Schule anwenden würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe/Thematik/Methode sie in welcher Jahrgangsstufe betrachten würden 356
Tabelle 8-17 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig es ist, die Lebensmittelchemie in der Schule zu thematisieren 362
Tabelle 8-18 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie eine Einheit zur Lebensmittelchemie in ihrem Unterricht integrieren würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe sie in welcher Jahrgangsstufe thematisieren würden 366
Tabelle 8-19 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig es ist, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden (HPLC und Photometrie) im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden 371

Tabelle 8-20 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie sie die neu erlernten Experimente auch ohne die entsprechenden Geräte der instrumentellen Analytik in der Schule umsetzen würden 377
Tabelle 8-21 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie die Lehrkräftebildung im Bereich der Lebensmittelchemie verbessert und umgesetzt werden könnte 381
Tabelle 8-22 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu Verbesserungsvorschlägen und Anregungen zum Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* 390
Tabelle 8-23 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu weiteren interessanten Themenbereichen der Lebensmittelchemie, die sie gerne noch im Seminar betrachtet hätten 392
Tabelle 8-24 Induktive Kategorien zu den positiven Aspekten der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen 410
Tabelle 8-25 Induktive Kategorien zu den negativen Aspekten der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen 417
Tabelle 8-26 Induktive Kategorien zu den Verbesserungsvorschlägen der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen 423
Tabelle 8-27 Besonders interessante Experimente der praktischen Laborarbeit, aus Sicht der Studierenden, und deren Gründe, sowie die Anzahl der Nennungen .. 428
Tabelle 8-28 Verständnisprobleme der Versuchsvorschriften und deren Begründung, sowie die Anzahl der Nennungen 431
Tabelle 8-29 Probleme beim Arbeiten mit den Versuchsvorschriften, sowie die Anzahl der Nennungen 432

Abkürzungsverzeichnis

ADH	Alkoholdehydrogenase
Al-DH	Aldehyd-Dehydrogenase
AromenV	Aromenverordnung
(B)	befragte Personen mit dem Zweitfach Biologie
Bfr	Bundesinstitut für Risikobewertung
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BP	befragte Person
CARBOWAX	polare stationäre Phase für die Gaschromatographie aus Polyethylenglycol
(D)	befragte Personen mit dem Zweitfach Deutsch
D_{λ}	Durchlässigkeit einer Probe
DAD	Diodenarray-Detektor
DC	Dünnschichtchromatographie
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DVO	Durchführungsverordnung
ε	Extinktionskoeffizient
E	Extinktion
E_{λ}	Extinktion bei einer bestimmten Wellenlänge
ECD	Elektroneneinfangdetektoren
EG	Europäische Gemeinschaft
EFSA	European Food Safety Authority
EsKiMo II	zweite Ernährungsstudie zur Gesundheit von Kinder und Jugendlichen in Deutschland
EU	Europäische Union
F	Fluoreszenzindikator
FID	Flammenionisationsdetektor
GC	Gaschromatographie
GC-FID	Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor
GC-O	Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit
GLC	Gas-Flüssig-Chromatographie
GSC	Gas-Fest-Chromatographie
GVO	genetisch veränderter Organismen
HMF	Hydroxymethylfurfural

HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
HonigV	Honigverordnung
I_0	Intensität des Referenzstrahls
I_D	Intensität der Strahlung nach Durchstrahlen der Probe
KakaoV	Kakaoverordnung
KC	Kerncurriculum/Kerncurricula
LAVES	Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
LC	Flüssigkeitschromatographie
lit	Buchstabe
LFGB	Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch
LGL Bayern	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
LMIV	Lebensmittelinformationsverordnung
LMLGewürze	Leitsätze für Gewürze und andere würzende Zutaten
LMLTee	Leitsätze für Tee, teeähnliche Erzeugnisse, deren Extrakte und Zubereitungen
(M)	befragte Personen mit dem Zweitfach Mathematik
(m)	männliche Person
MEOS	mikrosomales ethanoloxidierendes System
N	Trennstufenzahl
NAD/NAD^+	Nicotinamid-adenin-dinucleotid
NAD/Al-DH	Nicotinamid-adenin-dinucleotid/Aldehyd-Dehydrogenase
NP	Normalphase/normal phase
OECD	Organisation for Economic-Cooperation and Development
OMK	optimalen Mischkost
(P)	befragte Personen mit dem Zweitfach Physik
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PC	Papierchromatographie
PLOT-Säule	porous layer open tubular column
PTV	programm temperature vaporisation
R	Auflösung
R_f	Retentionsfaktor
RI	Brechungsindex
RP	Umkehrphase/reversed phase
ROSE	*Relevance of Science Education*

S	Substanz
SC	Säulenchromatographie
SCOT-Säule	support coated open tubular column
SDE	Simultane-Destillations-Extraktion
Sek I	Sekundarstufe I
Sek II	Sekundarstufe II
SEV	Sekundärelektronenvervielfacher
SPSS	Sammeln, Prüfen, Sortieren und Subsumieren
TabakerzG	Tabakerzeugnisgesetz
TID	Thermoionisationsdetektor
t_R	Retentionszeit
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UV/VIS	Strahlung im ultravioletten und sichtbaren Bereich
V	Versuch
VO	Verordnung
(w)	weibliche Person
W_b	Peakbasisbreite auf halber Höhe
WCOT-Säule	wall coated open tubular column
W_h	Peakbasisbreite
WHO	World Health Organization
WLD	Wärmeleitfähigkeitsdetektoren

Kurzfassung

Im schulischen Chemieunterricht soll den Schüler:innen bereits in der Sekundarstufe I eine naturwissenschaftliche Grundbildung mit chemischen Fachkenntnissen vermittelt werden [Achtermann et al., 2015, S. 5]. Aufbauend auf die erworbenen chemischen Kompetenzen aus der Sekundarstufe I sollen diese in der Sekundarstufe II unter Berücksichtigung zunehmend komplexerer Experimente vertieft werden. Dabei sollten für die praktische Durchführung der Experimente Substanzen mit Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen eingesetzt werden [Achtermann et al., 2017, S. 5]. Um den Alltags- und Lebensweltbezug zu den Schüler:innen zu berücksichtigen, ist es geeignet, Lebensmittel in die Experimente zu integrieren. Die Betrachtung der Chemie der Lebensmittel ist dabei besonders geeignet, weil Lebensmittel die Grundlage der menschlichen Ernährung darstellen. Die Ernährung gehört zu den physiologischen Grundbedürfnissen des Menschen, sodass jeder Mensch darauf angewiesen ist, Substanzen aufzunehmen, um alle Körperfunktionen aufrecht zu erhalten [Baltes & Matissek, 2011, S. 1]. Dabei besitzen Lebensmittel im Allgemeinen zwei wesentliche Eigenschaften, denn einerseits dienen sie der Ernährung und andererseits dem Genuss. Demnach ist es von zentraler Bedeutung, die Lebensmittel mehr in den schulischen Chemieunterricht zu integrieren. Dabei befasst sich die Lebensmittelchemie vor allem mit der Zusammensetzung von Produkten [Belitz et al., 2011, S. XLV]. Die Bestimmung der einzelnen Bestandteile der Lebensmittel kann nach geeigneter Aufarbeitung sowohl nasschemisch als auch mithilfe instrumenteller Analytik, qualitativ und quantitativ, erfolgen. Aufgrund dessen, dass in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie der Sekundarstufen I und II als Methoden der instrumentellen Analytik nur die Dünnschichtchromatographie (DC) und die Gaschromatographie (GC), im Vergleich zu vielen nasschemischen Methoden, aufgegriffen werden, kann davon ausgegangen werden, dass im schulischen Chemieunterricht auch fast ausschließlich auf nasschemische Verfahren zurückgegriffen wird. Demnach haben die Schüler:innen auch nur sehr begrenzte Vorstellungen in Bezug auf die instrumentelle Analytik in Form der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und der Photometrie. Zudem besitzen die wenigsten Schulen einen Gaschromatographen, sodass die Schüler:innen diese Thematik im besten Fall theoretisch vermittelt bekommen, woraus auch begrenzte Vorstellungen in Bezug auf die Gaschromatographie (GC) resultieren, obwohl im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II explizit gefordert wird, dass die Schüler:innen „das Prinzip der Gaschromatographie beschreiben, das Funktionsprinzip erklären und die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen nutzen sollen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]. Das sowohl die Lebensmittel als auch die instrumentelle Analytik im schulischen Chemieunterricht kaum thematisiert werden, ist vor allem

dadurch bedingt, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden, während ihrer eigenen Schulzeit und dem Studium keine oder nur kaum Möglichkeiten haben, sich mit dieser Thematik auseinanderzusetzen. Um den Chemie-Lehramtsstudierenden und damit verbunden den Schüler:innen die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik näherzubringen, wurden zu insgesamt acht verschiedenen Lebensmittelgruppen 23 Experimente mithilfe der DC, HPLC, GC und Photometrie entwickelt und optimiert sowie Versuchsvorschriften dazu erstellt. In den Experimenten wird beispielsweise der Koffeingehalt in Energydrinks und alkaloidhaltigen Lebensmitteln, wie Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade, mittels HPLC bestimmt, ebenso wird ein Vergleich des Nitrat- und Vitamin C-Gehaltes in verschiedenen angebauten Obst- und Gemüsesorten (ökologisch vs. konventionell) mittels Photometrie beziehungsweise HPLC angestrebt und es wird der Ethanolgehalt in Spirituosen mittels GC ermittelt. Alle 23 Versuchsvorschriften zu den Experimenten sind im Anhang dieser Arbeit dargestellt.

Um die Lebensmittelchemie mit den entwickelten und optimierten Experimenten zu vereinen, ist ein Seminar für die Chemie-Lehramtsstudierenden zur Thematik *Lebensmittelchemie in der Schule* ausgearbeitet worden. Das Seminar ist in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert. Während im theoretischen Teil die Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, passend zu den Experimenten, besprochen werden, ebenso wie die Methoden der instrumentellen Analytik, die rechtlichen Hintergründe sowie Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie, werden im praktischen Teil der Veranstaltung die Experimente von den Chemie-Lehramtsstudierenden eigenständig mithilfe der instrumentellen Analytik durchgeführt.

Die Evaluation des Seminars erfolgt mithilfe einer qualitativen Interviewstudie. Zudem wird die praktische Laborarbeit des Seminars mithilfe eines Feedbackbogens von den Chemie-Lehramtsstudierenden evaluiert. Anhand der qualitativen Interviews kann herausgearbeitet werden, was die Chemie-Lehramtsstudierenden vor der Teilnahme am Seminar über die verschiedenen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, die instrumentelle Analytik sowie die rechtlichen Hintergründe wussten und welches Vorwissen dabei bereits aus dem eigenen schulischen Chemieunterricht stammt und welches aus dem bisherigen Studium resultiert. Neben dem Vorwissen und dem neuen Wissen wird evaluiert, warum sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinandersetzen, ob sie die Thematiken selbst in ihren zukünftigen Chemieunterricht integrieren würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe beziehungsweise Methode der instrumentellen Analytik sie in welcher Jahrgangsstufe thematisieren würden. Weiterhin wird evaluiert, ob die Chemie-Lehramtsstudierenden eine Verankerung der Lebensmittelchemie und der Methoden der instrumentellen

Analytik in den niedersächsischen Kerncurricula (KC) Chemie als wichtig erachten und wenn dies der Fall ist, wo eine entsprechende Verankerung erfolgen sollte. Da nicht alle Schulen über ein Photometer verfügen und nur die wenigsten Schulen einen Hochleistungsflüssigkeits- oder Gaschromatographen besitzen, ist es wichtig, sich darüber Gedanken zu machen, wie man die Experimente auch ohne die entsprechenden Gerätschaften im schulischen Chemieunterricht integrieren und durchführen kann.

Aufbauend auf die Frage zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Bezug auf die Thematik, soll erfragt werden, ob sich die Studierenden Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung wünschen und wie entsprechende Inhalte der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik an angehende und bereits praktizierende Lehrkräfte vermittelt werden sollte. Dabei soll zusätzlich untersucht werden, ob sich Unterschiede in den Einschätzungen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Anhängigkeit des Geschlechts oder des Zweitfachs, welches sie studieren, ergeben.

Die Evaluation der Experimente erfolgt hingegen über einen Feedbackbogen, indem die Chemie-Lehramtsstudierenden positive und negative Aspekte sowie Verbesserungsvorschläge für die 23 verschiedenen Experimente angeben können. Dabei soll zusätzlich evaluiert werden, welche Experimente die Studierenden am interessantes fanden, inklusive einer Begründung, und ob beim Verständnis und Arbeiten mit den Versuchsvorschriften Probleme aufgetreten sind und wenn ja, ob ihnen bei der Behebung der Probleme geholfen werden konnte.

In Bezug auf das Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den verschiedenen Lebensmittelgruppen, den Methoden der instrumentellen Analytik und den rechtlichen Grundlagen, kann festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden nur wenig oder teilweise gar kein Vorwissen hatten. Im Bereich der instrumentellen Analytik fällt das Vorwissen der Studierenden unterschiedlich aus. Während die DC und die GC, zumindest theoretisch, einigen Teilnehmer:innen bereits aus der eigenen Schulzeit bekannt ist, verfügen die Chemie-Lehramtsstudierenden im Bereich der HPLC in der Regel über kein Vorwissen. Die Photometrie kennen die meisten der Chemie-Lehramtsstudierenden bereits aus dem Studium, wobei auch im Bereich der instrumentellen Analytik auffällt, dass es sich eher um ein oberflächliches Vorwissen handelt. Das wenigste Vorwissen zeigen die Chemie-Lehramtsstudierenden im Bereich der rechtlichen Grundlagen zu den Lebensmitteln und deren Inhaltsstoffe.

Als Lernerfolg durch die Teilnahme am Seminar kann festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden ein Überblickswissen zu den verschiedenen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, sowie den rechtlichen Grundlagen, erhalten haben. In Bezug auf die instrumentelle Analytik wird deutlich, dass das neue Wissen ausschließlich auf die HPLC und

GC zurückzuführen ist. Insgesamt bewerten die Chemie-Lehramtsstudierenden die Qualität der theoretischen und praktischen Elemente des Seminars als positiv.

Warum sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinandersetzen, hat ganz unterschiedliche Gründe. Dabei werden neben dem persönlichem Interesse, der starke Alltags- und Lebensweltbezug genannt, ebenso wie familiäre Gründe. Während sich die meisten Teilnehmer:innen im Alltag mit verschiedenen Lebensmitteln auseinandersetzen, vor allem jedoch Obst und Gemüse, gibt es aber auch Teilnehmer:innen die nicht besonders auf ihre Ernährung achten.

Als wichtig sehen die Chemie-Lehramtsstudierenden insgesamt an, dass die Lebensmittelchemie und auch die Analytikmethoden im schulischen Chemieunterricht thematisiert und auch in den niedersächsischen KC Chemie verankert werden. Neben der Betrachtung von gesundheitlichen Folgen, die aus einer Fehlernährung resultieren können, sollten die Schüler:innen einen Überblick zu verschiedenen Lebensmittelgruppen und der instrumentellen Analytik erhalten. Dabei würden die Chemie-Lehramtsstudierenden vor allem die alkoholischen Getränke in den schulischen Chemieunterricht integrieren wollen, ebenso wie die alkoholfreien Erfrischungsgetränke, die alkaloidhaltigen Lebensmittel (Kaffee, Tee und Schokolade) sowie Obst und Gemüse. Die Thematisierung sollte vor allem in der Sekundarstufe II stattfinden, da die Lebensmittelchemie sehr komplex ist und die Schüler:innen einiges an Vorwissen aus der organischen Chemie benötigen, welche in der Sekundarstufe II thematisiert wird. Durch geeignete didaktische Reduktion wäre aber auch eine Anwendung in der Sekundarstufe I denkbar, ebenso wie das Durchführen von Experimenten zur Lebensmittelsensorik.

In den verschiedenen dargestellten Einschätzungen der Chemie-Lehramtsstudierenden gibt es einige Unterschiede in Abhängig des Geschlechts und des Zweitfachs, welches sie studieren. So konnte unter anderem herausgestellt werden, dass die Biologie-Zweitfachstudierenden die Qualität des Seminars, im Vergleich zu den Teilnehmer:innen mit anderen Zweitfächern, als am höchsten empfunden haben. Dabei zeigt sich jedoch, dass in Abhängigkeit des Zweitfachs die Beliebtheit der thematisierten Lebensmittelgruppen und instrumentellen Analytikmethoden auseinandergeht. Während die Teilnehmer:innen mit Biologie und Deutsch als Zweitfach (weiblichen Personen) die Lebensmittelgruppen Honig sowie Obst und Gemüse favorisieren, sind es bei den männlichen Studierenden (Mathematik und Physik als Zweitfach) die alkoholischen Getränke. Bezüglich der Auseinandersetzung mit Lebensmitteln im Alltag konnte herausgearbeitet werden, dass sich nur die weilblichen Studierenden, mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch, mit Lebensmitteln auseinandersetzen. Demnach achten die männlichen Teilnehmer weniger auf ihre Ernährung. Daneben ist auffällig, dass es nur die weiblichen

Studierenden mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch sind, die sich mit den niedersächsischen Kerncurricula Chemie auseinandergesetzt haben. Den männlichen Studierenden, mit den Zweitfächern Mathematik und Physik, war nicht bekannt, dass die Dünnschicht- und die Gaschromatographie bereits in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie namentlich verankert sind. Ein weiterer Unterschied, der sich gezeigt hat, ist, dass die weiblichen Studierenden (Biologie und Deutsch als Zweitfach) den Fokus vor allem auf die Experimente und die didaktische Umsetzung im schulischen Chemieunterricht legen.

Abstract

In school chemistry lessons, students should already be taught a basic scientific education with specialist knowledge of chemistry at lower secondary level [Achtermann et al., 2015, p. 5]. Building on the acquired chemical competences from lower secondary school, these should be deepened in upper secondary school, taking into account increasingly complex experiments. For the practical implementation of the experiments, substances should be used that are related to everyday life and the students' lifeworld [Achtermann et al., 2017, p. 5]. In order to take into account, the relation to everyday life and the students' lifeworld, it is suitable to integrate food into the experiments. The consideration of the chemistry of food is particularly suitable because food is the basis of human nutrition. Nutrition is one of the basic physiological needs of humans, so that every human being is dependent on ingesting substances in order to maintain all bodily functions [Baltes & Matissek, 2011, p. 1]. In this context, food generally has two essential properties, because on the one hand it serves to nourish and on the other hand it is a source of pleasure. Accordingly, it is of central importance to integrate food more into school chemistry lessons. Food chemistry is primarily concerned with the composition of products [Belitz et al., 2011, p. XLV]. After suitable processing, the individual components of food can be determined both wet-chemically and with the help of instrumental analysis, qualitatively and quantitatively. Due to the fact that in the Lower Saxony core curriculum for chemistry at secondary level II, only thin-layer chromatography (DC) and gas chromatography (GC) are used as methods of instrumental analysis compared to many wet-chemical methods, it can be assumed that almost exclusively wet-chemical methods are used in school chemistry lessons. Accordingly, the students have only very limited ideas about instrumental analysis in the form of high-performance liquid chromatography (HPLC) and photometry. In addition, very few schools have a gas chromatograph, so that students are taught this topic theoretically at best, which also results in limited ideas about gas chromatography (GC), although the Lower Saxony core curriculum for chemistry at secondary level II explicitly requires that students "describe the principle of gas chromatography, explain the functional principle and use gas chromatography to identify substances and substance mixtures" [Achtermann et al., 2017, p. 17]. The fact that both food and instrumental analysis are hardly ever discussed in school chemistry lessons is mainly due to the fact that chemistry teaching students have little or no opportunity to deal with this topic during their own school years and studies. In order to familiarise the chemistry students and thus the pupils with food chemistry and instrumental analysis, 23 experiments were developed and optimised for a total of eight different food groups using DC, HPLC, GC and photometry, and experimental instructions were drawn up for them. In the experiments, for example, the caffeine

content in energy drinks and alkaloid-containing foods such as coffee, tea, cocoa and chocolate is determined by means of HPLC, a comparison of the nitrate and vitamin C content in different cultivated fruit and vegetable varieties (organic vs. conventional) is aimed for by means of photometry and HPLC, and the ethanol content in spirits is determined by means of GC. All 23 test instructions for the experiments are presented in the appendix of this work.

In order to combine food chemistry with the developed and optimised experiments, a seminar for the chemistry teaching students on the topic of food chemistry in schools has been prepared. The seminar is divided into a theoretical and a practical part. While the food groups and their ingredients are discussed in the theoretical part in line with the experiments, as well as the methods of instrumental analysis, the legal background and links to the Lower Saxony core curricula in chemistry and biology, the experiments are carried out independently by the chemistry teaching students with the help of instrumental analysis in the practical part of the course.

The seminar is evaluated with the help of a qualitative interview study. In addition, the practical laboratory work of the seminar is evaluated by the chemistry teaching students with the help of a feedback form. The qualitative interviews can be used to work out what the chemistry teacher trainees knew about the various food groups and their ingredients, instrumental analysis and the legal background before taking part in the seminar, and what prior knowledge they already had from their own chemistry lessons at school and what knowledge they had gained from their previous studies. In addition to the previous knowledge and the new knowledge, it is evaluated why the chemistry teaching students deal with the topic of food chemistry in school, whether they would integrate the topics themselves in their future chemistry lessons and, if so, which food group or method of instrumental analysis they would address in which grade. Furthermore, it will be evaluated whether the chemistry teaching students consider it important to anchor food chemistry and methods of instrumental analysis in the Lower Saxony Core Curriculum (KC) Chemistry and, if this is the case, where a corresponding anchoring should take place. Since not all schools have a photometer and only very few schools have a high-performance liquid or gas chromatograph, it is important to think about how to integrate and carry out the experiments in school chemistry lessons even without the corresponding equipment.

Building on the question about the previous knowledge of the chemistry teaching students with regard to the topic, the students will be asked whether they would like to see possibilities for improvement in the area of food chemistry in teacher training and how the relevant content of food chemistry and instrumental analysis should be taught to prospective and already

practising teachers. In addition, it will be investigated whether there are differences in the assessments of the chemistry teaching students depending on their gender or the second subject they are studying.

The evaluation of the experiments, on the other hand, will be carried out via a feedback form in which the chemistry teaching students can indicate positive and negative aspects as well as suggestions for improvement for the 23 different experiments. In addition, it is to be evaluated which experiments the students found most interesting, as well as a justification, and whether problems were encountered in understanding and working with the experimental instructions, and if so, whether they could be helped to solve the problems.

With regard to the prior knowledge of the chemistry teaching students on the various food groups, instrumental analysis and the legal principles, it can be stated that the chemistry teaching students had little or, in some cases, no prior knowledge. In the area of instrumental analytics, the students' prior knowledge varies. While some of the participants were already familiar with DC and GC, at least theoretically, from their own school days, the chemistry students generally had no prior knowledge of HPLC. Most of the chemistry teacher-training students already know photometry from their studies, whereby it is also noticeable in the area of instrumental analysis that it is rather a matter of superficial prior knowledge. The chemistry teacher-training students show the least prior knowledge in the area of the legal basis of food and its ingredients.

As a learning success through participation in the seminar, it can be stated that the chemistry teaching students have gained an overview knowledge of the various food groups and their ingredients as well as the legal basis. With regard to instrumental analytics, it is clear that the new knowledge is exclusively attributable to HPLC and GC. Overall, the chemistry teaching students rate the quality of the theoretical and practical elements of the seminar as positive.

Why the chemistry teacher-training students deal with the topic of food chemistry at school has very different reasons. In addition to personal interest, the strong connection to everyday life and the world in which they live was mentioned, as well as family reasons. While most of the participants deal with different foods in everyday life, especially fruit and vegetables, there are also participants who do not pay much attention to their diet.

Overall, the chemistry students consider it important that food chemistry and analytical methods are discussed in school chemistry lessons and are also anchored in the Lower Saxony KC Chemistry. In addition to considering the health consequences that can result from malnutrition, the students should be given an overview of different food groups and instrumental analysis. The chemistry teaching students would want to integrate alcoholic beverages in

particular into school chemistry lessons, as well as non-alcoholic soft drinks, alkaloid-containing foods (coffee, tea and chocolate) and fruit and vegetables. The thematisation should take place primarily in secondary level II, since food chemistry is very complex and the students need some prior knowledge from organic chemistry, which is thematised in secondary level II. However, through suitable didactic reduction, an application in lower secondary school would also be conceivable, as would conducting experiments on food sensory science.

In the various assessments of the chemistry teaching students, there are some differences depending on their gender and the second subject they are studying. Among other things, it was found that the biology second-subject students perceived the quality of the seminar to be the highest in comparison to the participants with other second subjects. However, it became apparent that the popularity of the food groups and instrumental analysis discussed differed depending on the second subject. While the participants with biology and German as their second subject (females) favour the food groups honey and fruit and vegetables, the male students (mathematics and physics as their second subject) favour alcoholic beverages. With regard to dealing with food in everyday life, it was possible to work out that only the female students with biology and German as second subjects deal with food. Accordingly, the male participants pay less attention to their diet. In addition, it is noticeable that only the female students with biology and German as second subjects have dealt with the Lower Saxony core curricula in Chemistry. The male students with mathematics and physics as second subjects were not aware that thin-layer chromatography and gas chromatography are already anchored by name in the Lower Saxony core curricula for chemistry. Another difference that became apparent is that the female students (biology and German as a second subject) focus primarily on the experiments and the didactic implementation in school chemistry lessons.

Veröffentlichungen

Teile dieser Dissertation wurden bereits auf Tagungen präsentiert und in Tagungsbänden publiziert. Nachfolgende Liste gibt diese Veröffentlichungen wieder:

Publikationen

Muche, S. & Pietzner, V. (2018). *Konzeptionen zur Vermittlung instrumenteller Analytik im Kontext Lebensmittel*. In Lebensmittelchemische Gesellschaft (LChG) (Hrsg.). 47. Deutscher Lebensmittelchemikertag 2018. Kurzreferate (ATW030, S. 178).

Poster

Muche, S. & Pietzner, V. (2018, 17. – 19. September). *Konzeptionen zur Vermittlung instrumenteller Analytik im Kontext Lebensmittel*. Poster (47. Deutscher Lebensmittelchemikertag Berlin).

Muche, S. & Pietzner, V. (2021, 30. August – 01. September). *Lebensmittelchemie in der Schule*. Poster (49. Deutscher Lebensmittelchemikertag, online).

Muche, S. & Pietzner, V. (2021, 23. – 25. September). *Entwicklung von Konzeptionen zur Vermittlung instrumenteller Analytik im Kontext Lebensmittel*. Poster (37. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht, online).

Einleitung

„Lernen ist wie Rudern gegen den Strom. Sobald man aufhört, treibt man zurück.“

Edward Benjamin Britten (1913 – 1976)

Die Lebensmittelchemie stellt die Grundlage der menschlichen Ernährung dar und gehört damit zu den physiologischen Grundbedürfnissen eines Menschen. Demnach ist jeder Mensch darauf angewiesen, Substanzen aufzunehmen, um die Funktionen des Körpers aufrecht zu erhalten [Baltes & Matissek, 2011, S. 1]. Daher ist es wichtig, dass die Menschen etwas über die Chemie in Lebensmitteln lernen. Dieser Lernprozess sollte bereits in jungen Jahren beginnen, sodass die Thematik der Lebensmittelchemie zur naturwissenschaftlichen Grundbildung gehört, die den Schüler:innen bereits in der Sekundarstufe I vermittelt werden soll [Achtermann et al., 2015, S. 5]. Aufbauend auf die Kenntnisse der Sekundarstufe I sollen die erworbenen chemischen Kompetenzen in der Sekundarstufe II erweitert werden. Die Erweiterung soll mithilfe von Experimenten erfolgen, wobei für die Experimente Substanzen eingesetzt werden sollen, die die Schüler:innen aus ihrem Alltag und der Lebenswelt kennen [Achtermann et al., 2017, S. 5]. So weist gerade die Chemie der Lebensmittel einen guten Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen auf. Trotz des hohen Alltagsbezuges werden die Lebensmittel im schulischen Chemieunterricht nur kaum bis gar nicht thematisiert und entsprechend auch nicht in Experimenten eingesetzt. Die Bestimmung der verschiedenen Lebensmittelbestandteile kann, nach einer entsprechenden Aufarbeitung, entweder nasschemisch oder mittels instrumenteller Analytik erfolgen. Aufgrund dessen, dass nicht alle Schulen über Geräte der instrumentellen Analytik in Form eines Photometers und eines Gaschromatographens verfügen, und nur die wenigsten Schulen einen Hochleistungsflüssigkeitschromatographen besitzen, wird häufig auf nasschemische Verfahren zurückgegriffen, wodurch die Schüler:innen nur begrenzte Vorstellungen in Bezug auf die instrumentelle Analytik haben. Das sowohl die Lebensmittel als auch die instrumentelle Analytik im schulischen Chemieunterricht kaum eingesetzt werden, wird zusätzlich dadurch bedingt, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden in ihrem Studium, trotz des hohen Alltagsbezuges, keine oder nur kaum Möglichkeiten haben, sich mit dieser Thematik auseinanderzusetzen. Dabei wird im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II explizit gefordert, dass die Schüler:innen „das Prinzip der Gaschromatographie beschreiben, das Funktionsprinzip erklären und die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen nutzen sollen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17].

Damit den Chemie-Lehramtsstudierenden und damit den Schüler:innen die Thematik der Lebensmittelchemie sowie der instrumentellen Analytik nähergebracht werden kann, ist ein Seminar zum Thema *Lebensmittelchemie in der Schule* entwickelt worden, welches aus einem theoretischen und einem praktischen Teil aufgebaut ist. In diesem Seminar werden sowohl verschiedene Lebensmittelgruppen (beispielsweise alkoholische Getränke, Obst und Gemüse sowie alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks) mit Anknüpfungspunkten an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie als auch Analytikmethoden (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC), Gaschromatographie (GC), Dünnschichtchromatographie (DC) und Photometrie) sowie rechtliche Grundlagen auf europäischer und nationaler Ebene theoretisch besprochen. Ausgehend von der amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) sind für den praktischen Teil des Seminars 23 Experimente zu acht Lebensmittel- und Genussmittelgruppen entwickelt und optimiert worden, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden eigenständig durchführen können. Neben der Entwicklung und Optimierung verschiedener Experimente mit Lebens- und Genussmitteln in Verbindung mit der instrumentellen Analytik, wird das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* mithilfe einer qualitativen Interviewstudie evaluiert, indem die Chemie-Lehramtsstudierenden zu ihren Ansichten und Einstellungen zum Thema Lebensmittelchemie befragt werden. Die praktische Arbeit mit den Experimenten wird zudem mithilfe eines Feedbackbogens evaluiert. Das Seminar wurde insgesamt zweimal durchgeführt, einmal im Wintersemester 2020/2021 und einmal im Wintersemester 2021/2022. Im Wintersemester 2020/2021 haben insgesamt zehn Chemie-Lehramtsstudierende am Seminar und den qualitativen Interviews teilgenommen, wohingegen im Wintersemester 2021/2022 zwölf Chemie-Lehramtsstudierende die praktische Arbeit mit den Experimenten mithilfe der Feedbackbögen evaluiert haben. Durch verschiedene Fragestellungen und Methoden wurden Ansichten und Einstellungen der Chemie-Lehramtsstudierenden zum Thema Lebensmittelchemie evaluiert. Aufbauend auf eine fachliche und fachdidaktische Betrachtung, sollen zudem Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung betrachtet werden. Dabei wird evaluiert, inwieweit die Lehrkräftebildung in diesem Bereich verbessert werden könnte und welche Inhalte bereits im Studium an die Chemie-Lehramtsstudierenden vermittelt werden beziehungsweise welche Fortbildungsmöglichkeiten angeboten werden sollten. Zudem wird betrachtet, ob es Unterschiede in den verschiedenen Einschätzungen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Geschlechts sowie des Zweitfachs, welches sie studieren, gibt.

Demnach wird in dieser Arbeit sowohl der Entwicklungsprozess der Experimente zu den verschiedenen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen mit der instrumentellen Analytik und

der Versuchsvorschriften dargestellt als auch die Inhalte des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*, ebenso wie die Ergebnisse und die Diskussion der qualitativen Forschungsmethode.

1 Naturwissenschaftliche Grundbildung – Scientific Literacy

Im niedersächsische Kerncurriculum (KC) für die Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie der Sekundarstufe I wird im ersten Teil der Bildungsbeitrag beschrieben, der durch den naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelt werden soll. Ein zentraler Aspekt stellt dabei die Vermittlung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung der Schüler:innen dar. Die naturwissenschaftliche Grundbildung stellt einen zentralen Pfeiler der Allgemeinbildung dar und soll den Schüler:innen dabei helfen, sich einerseits eine Meinung zur Naturwissenschaft zu bilden und andererseits technisch und naturwissenschaftlich zu kommunizieren und zu forschen [Achtermann et al., 2015, S. 5]. Somit sollen im naturwissenschaftlichen Unterricht und damit auch im Fach Chemie Fähig- und Fertigkeiten vermittelt werden, die bereits 1999 von der Organisation for Economic-Cooperation and Development (OECD) unter dem Begriff Scientific Literacy beschrieben worden sind: „Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen.“ [Achtermann et al., 2015, S. 5]. Nach dem niedersächsischen Kerncurriculum Naturwissenschaften der Sekundarstufe I soll den Schüler:innen durch den naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelt werden, die Geschichte und Sprache der Naturwissenschaften (Physik, Chemie und Biologie) zu verstehen. Analytisches Arbeiten soll vermittelt werden, sodass die Schüler:innen die Fähigkeit nutzen, die Methoden der Erkenntnisgewinnung anzuwenden und zu hinterfragen, damit die Schüler:innen in der Lage sind, die Welt rational und analytisch betrachten zu können. Dieser Bildungsbeitrag wird im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II weiter aufgegriffen, wobei gefordert wird, dass die Schüler:innen sich mit chemischen Experimenten auseinandersetzen sollen. Durch das eigene Experimentieren wird die Aufmerksamkeit der Schüler:innen erlangt, sodass die Schüler:innen Fertigkeiten auch im Umgang mit Geräten und Chemikalien erhalten. Besonders geeignet sind chemische Experimente mit Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen [Achtermann et al., 2017, S. 5]. Demnach bieten Lebensmittel einen sehr guten Alltags- und Lebensweltbezug, da Lebensmittel die Grundlage der menschlichen Ernährung darstellen. Neben dem chemischen Experimentieren gehört nach dem niedersächsischen KC Chemie der Sekundarstufe II auch die Behandlung der Berufsorientierung zur naturwissenschaftlichen Grundbildung dazu. Somit sollen die Schüler:innen verschiedene chemische Berufe mit zugehörigen Aufgaben kennenlernen, sodass Zusammenhänge zwischen bestimmten experimentellen Prozessen und Berufen hergestellt werden und möglicherweise eigene Berufswünsche

resultieren können [Achtermann et al., 2017, S. 5]. Auch das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II nimmt den Gedanken der naturwissenschaftlichen Grundbildung auf, die neben der Berufsorientierung vor allem auf den Zusammenhang zwischen Menschen und Natur, sowie Gesundheitsförderung und Prävention, abzielt [Emmler et al., 2017, S. 5 f.]. Somit eignen sich die Lebensmittel ebenfalls gut für einen fächerverbindenden Unterricht der Unterrichtsfächer Chemie und Biologie.

Die naturwissenschaftliche Grundbildung hat demnach das Ziel, naturwissenschaftlich gebildete und kritisch denkende Jugendliche hervorzubringen, die in der Lage sind, naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu verstehen, um diskussionsfähig zu sein und entsprechende Entscheidungen zu treffen. Somit ist die naturwissenschaftliche Grundbildung ein unverzichtbares Bildungsgut [Gräber & Nentwig, 2002, S. 7].

Wird die deutsche Übersetzung des Begriffes „naturwissenschaftliche Grundbildung“ mit den englischen Ausgangworten „Scientific Literacy“ verglichen, fällt auf, dass sich das Wort „Literacy“ deutlich von dem deutschen Wort „Grundbildung“ unterscheidet. So wurde von der OECD (1999) Scientific Literacy wie folgt beschrieben: „Scientific literacy is the capacity to use scientific knowledge, to identify questions and to draw evidence based conclusions in order to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through human activity.“ [OECD, 1999, S. 60]. Unter „Literacy“ im engeren Sinn wird verstanden, dass die Schüler:innen Lesen und Schreiben können, um am gesellschaftlichen Leben teilnehmen zu können. Im Deutschen wird der Begriff „Grundbildung“ jedoch erweitert verwendet und bedeutet, dass die Schüler:innen neben sprachlichen Aspekten auch mathematische Grundkenntnisse aufweisen sollen. Zudem gehört im Zuge der immer weiter fortschreitenden Digitalisierung der Umgang mit verschiedenen informationstechnischen Medien (Media and Information Literacy), sowie mindestens dem Erlernen der Fremdsprache Englisch, sodass eine gesellschaftliche und berufliche Kommunikation auch international möglich ist. Daneben spielen in der Grundbildung auch verschiedene Schlüsselkompetenzen eine Rolle, die die Schüler:innen erlernen sollen, wie beispielsweise die Fähigkeiten der Sozial- und Handlungskompetenz [Fischler et al., 2018, S. 17]. Demnach besteht im Deutschen die „naturwissenschaftliche Grundbildung“ einerseits aus Wissen und Kompetenzen und anderseits der Anwendung von Wissenschaft und Bildung. So sollen die Schüler:innen im Bereich der Bildung ihr eigenes Denken und Handeln reflektieren und sich im wissenschaftlichen Bereich ein Verständnis in Bezug auf natürliche, gesellschaftliche, historische und menschliche Gegebenheiten aneignen [Fischler et al., 2018, S. 18 f.].

Auch der Begriff Bildung in naturwissenschaftlicher Grundbildung kann unterschiedlich aufgefasst werden. So kann Bildung als Prozess, aber auch als Ergebnis angesehen werden. Als Prozess steht im Vordergrund, dass die Schüler:innen sich bilden, wohingegen als Ergebnis die Person steht, die sich etwas angeeignet hat [Anton, 2008, S.13]. Diese klassische Definition des Begriffes Bildung wurde bereits von Wilhelm von Humboldt im 18. Jahrhundert geprägt. Im Vordergrund stehen die eigene Urteilsfähigkeit sowie die Selbstbildung, für die die Schüler:innen selbst verantwortlich sind. Damit zeigt sich, dass alle Schüler:innen die Möglichkeit haben, sich zu bilden und sich mit den weltlichen Prozessen auseinanderzusetzen [Fischler et al., 2018, S. 12]. Neben der klassischen Auffassung des Bildungsbegriffes sind auch pragmatische, transformatorische und kategoriale Ansätze zu finden. Beim pragmatischen Ansatz steht der Erwerb von Wissen und anwendbaren Kompetenzen im Zentrum, wobei Wissen über naturwissenschaftliche Inhalte und deren Zusammenhänge zustande kommt. Die Schüler:innen sollen Zusammenhänge zwischen ihrem eigenen Dasein und den naturwissenschaftlichen Inhalten herstellen. Auf diesem Erkenntnisweg ist es von zentraler Bedeutung, dass Konfrontationen zwischen den naturwissenschaftlichen Inhalten und den eigenen Zusammenhängen entstehen, denn erst durch das Überwinden solcher Konfrontationen sind die Schüler:innen in der Lage zu verstehen und gehen somit einen weiteren Schritt in Richtung Mündigkeit [Fischler et al., 2018, S. 13 f.]. Der transformatorische Ansatz des Bildungsbegriffs basiert auf dem Grundprinzip, dass Lernen und Bildung in engen Zusammenhang stehen. Beim Lernen werden nach Fischler et al. (2018) zwei Arten von Lernen unterschieden: das additive und das bildungswirksame Lernen. Beim additiven Lernprozess besteht schon ein gewisser Standard an Bildung, dem weitere Einzelelemente hinzugefügt werden, wobei die Schüler:innen eine Art Bestätigung erhalten, was sie bereits wissen. Das bildungswirksame Lernen zeigt hingegen eine Veränderung des naturwissenschaftlichen Verständnisses bei den Schüler:innen, die durch eigene Erfahrungen hervorgerufen wird [Fischler et al., 2018, S. 14 f.]. So können beispielsweise Ansichten der Schüler:innen in Bezug auf alkoholische Getränke verändert werden, da sie selbst Erfahrungen dazu sammeln können. Der kategoriale Ansatz, der auf Wolfgang Klafki zurückgeht, wird auch von Gräber und Nentwig (2002) aufgegriffen. So wird der Begriff Bildung durch Kompetenzen gegliedert und beschrieben, die auf dem Zusammenhang verschiedener Perspektiven beruht. Die eine Perspektive stellt das Wissen und das bereits erlebte der Schüler:innen dar, wohingegen die andere Perspektive für die Fähigkeiten der Schüler:innen steht. So wird nach Gräber und Nentwig (2002) der Begriff Bildung in drei Bereiche gegliedert: Wissen, Handeln und Bewerten. Welche Kompetenzen den einzelnen Bereichen zugeordnet werden, kann aus Tabelle 1-1 entnommen werden [Gräber & Nentwig, 2002, S. 137].

Tabelle 1-1 Gliederung des Begriffs Bildung mit zugeordneten Kompetenzen [Gräber & Nentwig, 2002, S. 137]

Bereich	Kompetenz
Wissen	• Sachkompetenz • theoretische Wissenschafts- und Erkenntniskompetenz
Handeln	• Lernkompetenz • kommunikative und soziale Kompetenz
Bewerten	• ethisch-moralische Kompetenz • ästhetische Kompetenz

Fischer (2003) versteht unter Bildung, dass die Schüler:innen lernen zu kommunizieren, um dadurch selbstständig zu werden. Die durch Bildung erlangte Selbstständigkeit gibt den Schüler:innen eine gewisse Freiheit, um am weltlichen Leben teilzunehmen. Bildung ist demnach ein wichtiger Bestandteil, um in der Welt bestehen zu können. Bereits vor Fischer (2003) wurde im Jahr 1996 von Bybee und Trowbridge der Begriff Bildung definiert. Nach Bybee und Trowbridge soll der schulische, naturwissenschaftliche Unterricht den Schüler:innen Bildung vermitteln, in dem diese ein wissenschaftliches Wissen durch Konzepte vermittelt bekommen. Dazu gehören das Erlernen wissenschaftlicher Analytikmethoden, aber auch geschichtliche, sowie soziale und intellektuelle wissenschaftliche Kontexte. Das Ziel ist dabei, dass die erlernten wissenschaftliche Kenntnisse auf das eigene Leben übertragen werden können. Somit haben die Schulen die Aufgabe, durch Scientific Literacy den Schüler:innen eine naturwissenschaftliche Grundbildung mit auf den Lebensweg zu geben. Somit stellt Scientific Literacy ein Konzept dar, bei denen die Schüler:innen naturwissenschaftliche Begriffe und deren Zusammenhänge erlernen und verstehen sollen [Roberts & Bybee, 2014, S. 546]. Während des gesamten Lebens werden weitere naturwissenschaftliche und technische Kompetenzen hinzukommen, die durch den Alltag der Individuen und deren naturwissenschaftlichen Entscheidungen geprägt sind. Gründe für Kompetenzerweiterungen können unterschiedlich sein, beispielsweise der Gesundheitszustand oder auch die Verfügbarkeit von Lebensmitteln sind von zentraler Bedeutung [Fischler et al., 2018, S. 19 f.].

Die Idee von Scientific Literacy als unverzichtbarer Bestandteil des Bildungsangebotes in den Naturwissenschaften stammt bereits aus dem Jahr 1952 von James Bryont Conant. Mittlerweile tauchen viele unterschiedliche Interpretationen von Scientific Literacy auf. Nach Bybee (1997) kann der naturwissenschaftliche Unterricht in der Schule allein keine naturwissenschaftliche Grundbildung hervorbringen. Es handelt sich bei Scientific Literacy vielmehr um ein Modell, welches Personen in ihrem Leben stufenweise in Abhängigkeit ihres Alters, des Inhaltes und des Kontextes durchlaufen müssen. Das Modell nach Bybee wird in vier

Dimensionen gegliedert: nominale, funktionale, konzeptuale und multidimensionale Scientific Literacy [Gräber, 1999, S. 8 f.]:

1) Nominale Scientific Literacy
    - Begriffe im Bereich der Naturwissenschaft können definiert und Fragen beantwortet werden, jedoch fehlen teilweise Informationen und das Verständnis für die naturwissenschaftlichen Vorgänge und Phänomene
    - es liegen falsche Vorstellung in Bezug auf naturwissenschaftliche Konzepte/Prozesse vor
    - naturwissenschaftliche Phänomene können nicht angemessen erläutert werden
    - in dem Stadium sind naturwissenschaftliche Äußerungen naiv

2) Funktionale Scientific Literacy
    - naturwissenschaftliches Vokabular wird angewendet
    - naturwissenschaftliche Begriffe werden korrekt definiert
    - technische Begriffe und Ausdrücke werden auswendig gelernt
    - Konzepte der Naturwissenschaften werden in Ansätzen verstanden, jedoch ohne Vernetzung der einzelnen Konzepte untereinander

3) Konzeptuale und prozedurale Scientific Literacy
    - Konzepte der Naturwissenschaften werden verstanden
    - prozedurales Wissen und Fertigkeiten der Naturwissenschaft werden verstanden
    - die Beziehungen der einzelnen naturwissenschaftlichen Bereiche untereinander werden verstanden
    - grundlegende Prinzipien und Prozesse der Naturwissenschaft werden verstanden

4) Multidimensionale Scientific Literacy
    - die Besonderheiten der Naturwissenschaften werden verstanden
    - die Naturwissenschaften können von anderen Bereichen unterschieden werden
    - Geschichte und Wesen der einzelnen naturwissenschaftlichen Bereiche sind bekannt
    - die Naturwissenschaft im sozialen Kontext wird verstanden

Die naturwissenschaftliche Grundbildung ist somit ein lebenslanger Prozess, dessen Grundstock jedoch bereits in der Schulzeit erzielt werden muss. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Vermittlungsprozess, der mithilfe des didaktischen Dreiecks (Abbildung 1-1) erklärt werden soll [Fromm, 2012, S. 21].

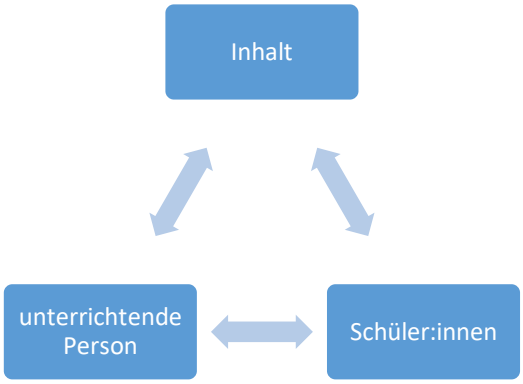


Abbildung 1-1 Didaktisches Dreieck [eigene Darstellung nach Fromm, 2012, S. 21]

Die Vermittlungsprozess basiert auf der Abhängigkeit eines bestimmten fachlichen Inhalts, der von der unterrichtenden Person an die Schüler:innen vermittelt werden soll [Fromm, 2012, S. 21]. Nach Anton (2008) enthält das didaktische Dreieck drei Vermittlungsebenen, welche die unterrichtende Person bei der Vermittlung fachlicher Inhalte berücksichtigen muss. Die erste Ebene ist das Ziel, also muss die unterrichtende Person hinterfragen, warum es wichtig ist, dass dieser fachliche Inhalt vermittelt werden soll. Der Inhalt stellt die zweite Vermittlungsebene dar, sodass die unterrichtende Person einschätzen muss, welches Vorwissen die Schüler:innen schon haben und wie tiefgreifend der Inhalt verstanden werden kann. Die dritte und letzte Vermittlungsebene ist die Methode, bei der sich die unterrichtende Person überlegen muss, welche Methode eingesetzt werden kann, um den fachlichen Input an die Schüler:innen verständlich weitergeben zu können. Mithilfe des didaktischen Dreiecks wird dargestellt, wie komplex Unterricht gestaltet werden kann und zeigt aber auch, dass alle Vermittlungsebenen in Beziehung zueinanderstehen, sodass Unterricht erfolgreich sein kann, wenn alle Ebenen betrachtet werden [Anton, 2008, S. 14 f.]. Das Modell des didaktischen Dreiecks basiert auf dem Prinzip der didaktischen Rekonstruktion von Kattmann (2007), welches die Beziehung zwischen fachlicher Klärung, Erfassen von Perspektiven der Lernenden (Schülerperspektiven) und didaktischer Strukturierung darstellt (Abbildung 1-2).

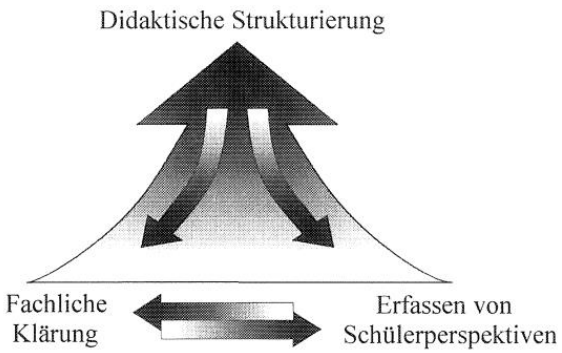


Abbildung 1-2 Modell der didaktischen Rekonstruktion [Kattmann et al., 1997]

Die fachliche Klärung stellt die Vermittlung des fachlichen Inhalte in Theorie und Praxis dar und beinhaltet auch die Betrachtung von Vorstellungen der Schüler:innen, die sich im Vergleich zu wissenschaftlich fundierten Aussagen auf die Lebenswelt der Schüler:innen beziehen [Kattmann, 2007, S. 94 f.]. Das Erfassen von Perspektiven der Lernenden beruht auf der Meinungsbildung der Lernenden sowie emotionalen und sozialen Komponenten. Der Lernprozess beinhalten somit Vorstellungen und Meinungen der Lernenden, aber auch Erfahrungen aus dem Alltag sowie persönliche Erfahrungen [Kattmann, 2007, S. 95 f.]. Die didaktische Strukturierung steht im Zusammenhang mit der fachlichen Klärung und der Erfassung der Perspektiven der Lernenden und umfasst in der Unterrichtsplanung sowohl das Lernangebot als auch die Lernumgebung. Zu berücksichtigen ist, dass der Unterricht so geplant wird, dass die Lernenden durch den Zusammenhang von wissenschaftlichen und eigenen Vorstellungen ihren Lernfortschritt wahrnehmen und beurteilen können [Kattmann, 2007, S. 96].

Um das Modell der didaktischen Rekonstruktion im schulischen Chemieunterricht möglichst gut umsetzen zu können, werden in den Kerncurricula gewissen Bildungsstandards festgelegt, um das Ziel der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu erreichen. Um dieses Ziel verwirklichen zu können, werden in den Kerncurricula die Bildungsstandards in Form von Kompetenzen festgelegt, die in den jeweiligen Schuljahrgängen erreicht werden sollen, wobei das Kerncurriculum nicht vorschreibt, wie konkret im Unterricht vorgegangen werden soll, sodass die Unterrichtenden einen gewissen Spielraum haben, ihren Unterricht entsprechend zu planen [Anton, 2008, S. 15].

Mit vertieftem Blick in das niedersächsische Kerncurriculum für die Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie der Sekundarstufe I zeigt sich, dass bezüglich des Konzepts Scientific Literacy der kategoriale Ansatz Anwendung findet. So haben sich im Laufe der Jahre Kategorien in der Form der vier Kompetenzbereiche Fachwissen, Kommunikation, Bewertung und Erkenntnisgewinnung entwickelt, die als Bildungsstandard vorausgesetzt werden. Somit sollen die Schüler:innen naturwissenschaftliches Fachwissen erlernen, wodurch eine

naturwissenschaftliche Kommunikation untereinander möglich wird. Zudem sollen die Schüler:innen Sachverhalte bewerten können, indem sie Zusammenhänge von Naturwissenschaften und Technik auf sich selbst und die Gesellschaft übertragen können, und dadurch weitere Erkenntnisse hinzugewinnen. Das kategoriale System zeigt somit, dass Fachwissen allein nicht ausreicht, um einen Platz in der Gesellschaft zu haben, sondern, dass alle Kompetenzbereiche zusammen dafür verantwortlich sind (Abbildung 1-3) [Fischler et al., 2018, S. 20 f.].

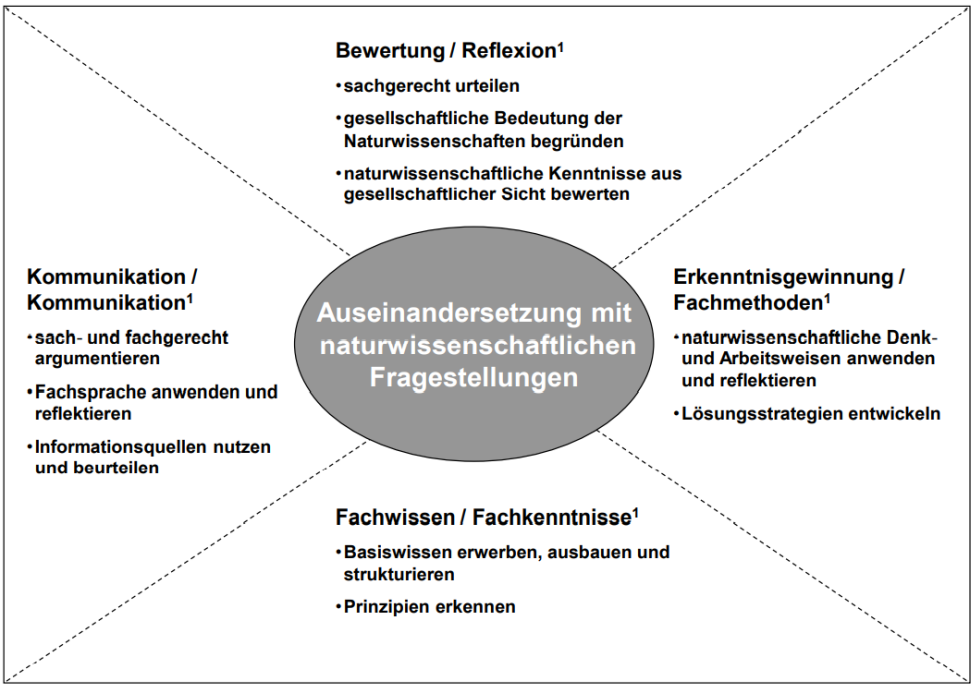


Abbildung 1-3 Zusammenhang der Kompetenzbereiche Fachwissen (Sek. I)/Fachkenntnisse (Sek. II) , Erkenntnisgewinnung (Sek. I)/Fachmethode (Sek. II), Kommunikation (Sek. I und II) und Bewertung (Sek. I)/Reflexion (Sek. II) [Achtermann et al., 2017, S. 8]

Um das Ziel der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu erreichen, werden im niedersächsischen Kerncurriculum die Kompetenzbereiche in inhaltsbezogene und prozessbezogene Kompetenzbereiche unterteilt. Dabei umfasst der inhaltsbezogene Kompetenzbereich (Fachwissen/Fachkenntnisse) das Wissen und die Fähigkeiten der vier Basiskonzepte Stoff-Teilchen, Struktur-Eigenschaft, chemische Reaktion und Energie, welche die Schüler:innen erlernen sollen, wohingegen in den prozessbezogenen Kompetenzbereichen die Fachmethoden, die Kommunikation sowie die Bewertung eine zentrale Rolle spielen [Achtermann et al., 2017, S. 7]. Im Unterschied zur Sekundarstufe I wird in der Sekundarstufe II das Basiskonzept chemische Reaktionen in die Basiskonzepte Donator-Akzeptor und Kinetik und chemische Reaktionen unterteilt [Achtermann et al., 2017, S. 12]. In Tabelle 1-2 werden die vier verschiedenen Kompetenzbereiche mit den verschiedenen Kategorien für das Unterrichtsfach Chemie für die Sekundarstufe I und II dargestellt.

Tabelle 1-2 Überblick der Kompetenzbereiche für das Unterrichtsfach Chemie der Sekundarstufe I [Achtermann et al., 2015, S. 46 ff.] und II [Achtermann et al., 2017, S. 11 ff.] mit den verschiedenen zugehörigen Kategorien

Kompetenz-bereich	Sekundarstufe I	Sekundarstufe II
Fachwissen/ Fachkenntnisse	• Basiskonzept Stoff-Teilchen • Basiskonzept Struktur-Eigenschaft • Basiskonzept chemische Reaktionen • Basiskonzept Energie	• Basiskonzept Stoff-Teilchen • Basiskonzept Struktur-Eigenschaft • Basiskonzept Donator-Akzeptor • Basiskonzept Kinetik und chemisches Gleichgewicht • Basiskonzept Energie
Erkenntnis-Gewinnung/ Fachmethode	• naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung[1] • Experimente[2] • chemische Fragestellungen quantifizieren[3] • mathematische Verfahren anwenden (Proportionalität erkennen und Berechnungen durchführen) • Modelle kennen und anwenden[4]	• fachspezifische Denk- und Arbeitsweisen erkennen, entwickeln und experimentell untersuchen • Experimente durchführen • Modelle kennen, anwenden, vertiefen und reflektieren • komplexe chemische Fragestellungen vertiefen
Kommunikation	• Umgang mit chemischen Sachverhalten[5] • Fachsprache entwickeln, von Alltagssprache unterscheiden und Atomsymbole verwenden • Fachsprache ausschärfen und anwenden • Fachsprache um quantitative Aspekte (Messwerte) erweitern • Umgang mit Modellen erlernen (Nutzen und Grenzen)	• Fachsprache ausschärfen und anwenden • Unterscheidung zwischen Alltags- und Fachsprache • Quellen kritisch reflektieren • Entwicklung von fachlichen Fähigkeiten, Austausch und Reflexion • Anwendung von Präsentationstechniken und -methoden aus der Sek. I

[1] Dazu gehört beispielsweise, dass die Schüler:innen chemische Fragestellungen erkennen und entwickeln, Hypothesen aufstellen und überprüfen, Lösungsstrategien entwickeln, Ergebnisse formulieren und neue Erkenntnisse gewinnen, indem sie Basiskonzepte und ihre Kenntnisse mit dem bereits erlernten vernetzen.
[2] Schüler:innen sollen lernen nach Anleitung zu experimentieren, Experimente zu planen, zu beobachten und die Beobachtungen zu protokollieren. Zudem sollen Nachweisreaktionen angewendet werden.
[3] Dazu gehört beispielsweise, dass die Schüler:innen Messwerte in Tabellen und Diagrammen darstellen und Messergebnisse beschreiben und deuten können.
[4] Dazu gehört beispielsweise, dass die Schüler:innen Teilchen- und Bindungsmodelle kennen und anwenden können, zwischen Stoff- und Teilchenebene unterscheiden können, ein differenziertes Atommodell anwenden können und den Nutzen sowie die Grenzen von Modellen erkennen.
[5] Schüler:innen sollen Protokolle zu Experimenten schreiben können, Recherche zu Versuchen betreiben können, sowie die Messergebnisse in Tabellen und Diagrammen darstellen können.

Kompetenz-bereich	Sekundarstufe I	Sekundarstufe II
Bewertung/ Reflexion	• chemische Sachverhalte in der Lebenswelt erkennen • Chemie als bedeutsame Wissenschaft erkennen inklusive fächerverbindender Bezüge • Bewertungskriterien aus Fachwissen entwickeln (gesellschaftliche Relevanz erkennen) • Berufsorientierung (Berufsfelder in der Chemie und Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen erkennen)	• chemische Sachverhalte erkennen und bewerten • chemierelevante Kontexte herstellen in Bezug auf die Lebenswelt, den Alltag, sowie Umwelt und Technik

Die inhaltsbezogenen Kompetenzen (Fachwissen) bauen aufeinander auf und stellen demnach die Grundlage für die Erweiterung des fachlichen Wissens in Bezug auf die Lebenswelt dar [Achtermann et al., 2017, S. 11]. So werden in Basiskonzept Stoff-Teilchen der Sekundarstufe I die submikroskopisch kleinen Teilchen betrachtet, die chemische Bindungen eingehen können. Stoffliche Eigenschaften sowie Stoffe mit einer geringen Anzahl verschiedener Atomsorten werden betrachtet. Im darauf aufbauenden Basiskonzept Struktur-Eigenschaft werden Stoffeigenschaften vermittelt, die sowohl von der Teilchenart als auch vom Aufbau und der Struktur der Teilchenverbände abhängig sind. Somit kann anschließend im Basiskonzept chemische Reaktionen vermittelt werden, dass aus der Wechselwirkung zwischen den Teilchen aus Edukten Produkte gebildet werden können, sodass aus den Ausgangstoffen neue Stoffe gebildet werden können. Zudem werden Anziehungs- und Abstoßungskräfte thematisiert. Abschließend kann im Basiskonzept Energie die Speicherung von Energie in Stoffen als charakteristische Größe eingeführt werden. Dadurch kann vermittelt werden, dass sich beim Ablauf einer chemischen Reaktion der Energiegehalt verändern kann [Achtermann et al., 2015, S. 49]. In der Sekundarstufe II bauen die Inhalte der Basiskonzepte auf denen der Sekundarstufe I auf. So werden im Basiskonzept Stoff-Teilchen verschiedene Stoffe, die sich aus bestimmten Teilchen zusammensetzen, betrachtet. Dafür werden vor allem Modellvorstellungen herangezogen, um Stoffklassen, Atombau und chemische Bindungen zu betrachten und diese auf das Periodensystem zu beziehen. Dies stellt die Voraussetzung für das Verständnis des darauffolgenden Basiskonzept Struktur-Eigenschaft dar, welches sich mit der Struktur der Stoffe, den sichtbaren Eigenschaften sowie Reaktionen der Stoffe beschäftigt. Modellvorstellungen werden zur Beschreibung und Darstellung chemischer Strukturen eingesetzt. Somit werden auf makroskopischer Ebene beispielsweise Stoffeigenschaften, Säurestärken und chemische Reaktionen thematisiert und

auf submikroskopischer Ebene Reaktionsmechanismen sowie zwischenmolekulare Wechselwirkungen und mesomere und induktive Effekte. Aufbauend darauf werden im Basiskonzept Donator-Akzeptor Protonen- und Elektronenübertragungsreaktionen auf Teilchenebene in Form von Säure-Base- und Redox-Reaktionen betrachtet. Somit können im Basis-Konzept Kinetik und chemisches Gleichgewicht auch Gleichgewichte bei Säure- Base- und Redoxreaktionen betrachtet werden, ebenso wie Konzentrationsabhängigkeiten bis zum Einstellen des Gleichgewichtszustands. Abschließend kann der Energieumsatz von chemischen Reaktionen betrachtet werden, sodass vermittelt werden kann, in welche Richtung eine chemische Reaktion abläuft und wie dies gesteuert werden kann [Achtermann et al., 2017, S. 11 f.].

Durch das Zusammenführen der einzelnen Kompetenzbereiche werden die Bildungsstandards der einzelnen Jahrgangsstufen festgelegt.

2 Lebensmittelchemie

Die Lebensmittelchemie, die durch das Werk „Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genussmittel“ von Joseph König bekannt wurde, stellt bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts einen selbstständigen Bereich der angewandten Chemie dar. Bereits im 19. Jahrhundert war bekannt, dass Experten benötigt werden, um die Menschen vor Gefahren zu schützen, die von Nahrungs- und Genussmitteln sowie Alltagsgegenständen ausgehen können. Demnach gab es im Reichsgesetz vom 15. Mai 1879 bereits eine Vorschrift, dass Nahrungs- und Genussmittel sowie Alltagsgegenstände chemisch untersucht und beurteilt werden müssen. Damit dieses Aufgabenfeld übernommen werden konnte, mussten Experten ausgebildet werden, wobei im Jahr 1894 erste staatlich einheitliche Prüfungen für Nahrungsmittelchemiker durchgeführt worden sind. Die offizielle Berufsbezeichnung „Lebensmittelchemiker“ gibt es erst seit der Einführung des Lebensmittelgesetzes im Jahr 1927 [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 4; Schwedt, 2005, S. 1].

Die Lebensmittelchemie stellt einen speziellen Bereich der Chemie dar, welcher sich aus zwei wesentlichen Bereichen zusammensetzt: gesundheitlicher Verbraucherschutz und Analytik. Somit hat die Lebensmittelchemie im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes einerseits die Aufgabe, den Verbraucher bei der Verwendung von Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen (beispielsweise Wasch- und Reinigungsmittel, Geschirr und Spielzeug) sowie der Anwendung kosmetischer Produkte durch Untersuchungen und Kontrollen zu unterstützen und schützen. Andererseits sollen aus ernährungsphysiologischer und gesundheitlicher Sicht mündige Verbraucher hervorgebracht werden, indem sie Informationen zu Lebensmitteln, Lebensmittelinhaltstoffen und deren Eigenschaften erhalten. Im Bereich der Analytik wird die Zusammensetzung der Lebensmittel sowie Reaktionen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Lebensmittelinhaltsstoffen betrachtet. Dabei wird auch die Herstellung von Lebensmitteln, die Gewinnung von Rohstoffen, sowie die Lagerung, Verarbeitung und Zubereitung der Lebensmittel beurteilt, indem Veränderungen, struktureller und physikalischer Natur, sowie chemische und biochemische Reaktionen zwischen den einzelnen Inhaltsstoffen untersucht werden. Durch die Untersuchungen können die Lebensmittel, die entsprechenden Herstellungsprozesse sowie Lagerungsbedingungen immer weiter optimiert werden [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 3]. Ein wichtiger Zusammenhang besteht zwischen menschlicher Ernährung und Gesundheit sowie ernährungsbedingten Erkrankungen. Als Beispiele sind hier Diabetes mellitus Typ 2, koronare Herzerkrankungen sowie die Entstehung verschiedener Karzinome zu nennen [Lebensmittelchemische Gesellschaft, 2014, S. 1].

In der Lebensmittelchemie werden viele unterschiedliche Analytikmethoden erarbeitet, weiterentwickelt und angewendet. Dazu gehören beispielsweise verschiedene chemische, physikalisch-chemische, enzymatische, mikrobiologische sowie sensorische Methoden. Durch den Einsatz dieser Methoden kann die Qualität von Lebensmitteln und deren Rohstoffe sowie die Reinheit dieser überprüft werden. Daneben können Verfälschungen von Lebensmitteln aufgedeckt, Lebensmittelzusatzstoffe in Bezug auf die Art, Reinheit und Wirkungsweise untersucht und toxikologische Inhaltsstoffe identifiziert werden. So können Rückstände und Kontaminanten in Spuren nachgewiesen werden. Gerade Inhaltsstoffe, die eine Wirkung auf den menschlichen Körper zeigen und gesundheitliche Risiken mit sich bringen können, sind hier von zentraler Bedeutung [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 3 f.].

Neben den Lebensmitteln werden auch die Qualität und die Kontamination von Futtermitteln, Bedarfsgegenständen, kosmetischen Mitteln und Tabakerzeugnissen betrachtet, wodurch der Verbraucher vor Irreführung und Täuschung sowie gesundheitlichen Risiken geschützt werden soll [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 4].

Aus wissenschaftlicher Sicht umfasst die Lebensmittelchemie demnach alle Bereiche, die sich mit Lebens- und Genussmitteln (Futtermittel eingeschlossen) sowie Bedarfsgegenständen, beschäftigen. Der Reiz der Lebensmittelchemie liegt dabei vor allem in der Kombination der verschiedenen chemischen und anderen naturwissenschaftlichen Bereiche (Abbildung 2-1).

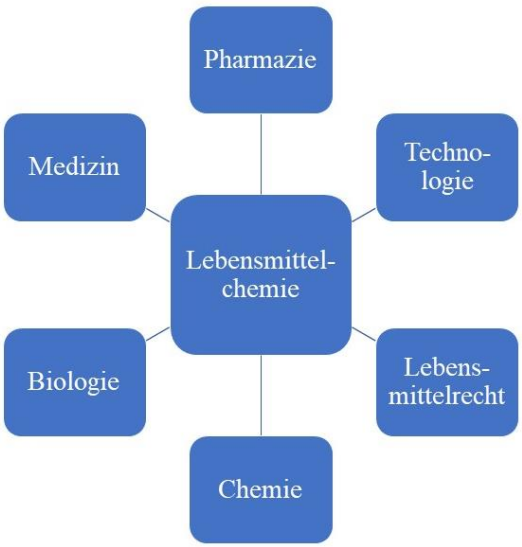


Abbildung 2-1 Übersicht der naturwissenschaftlichen und technologischen Bereiche der Lebensmittelchemie [eigene Darstellung nach Hofmann, 2019; Schwedt, 2005, S. 1]

Anhand der Abbildung 2-1 ist zu erkennen, dass die Lebensmittelchemie die Bereiche Chemie, Biologie, Medizin, Pharmazie, sowie Technologie und Lebensmittelrecht umfasst. Welche

Unterkategorien zu den einzelnen naturwissenschaftlichen und technologischen Bereichen dazugehören, werden in Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1 Unterkategorien der einzelnen naturwissenschaftlichen und technologischen Bereiche der Lebensmittelchemie [Hofmann, 2019; Schwedt, 2005, S. 1]

naturwissenschaftlicher/technologischer Bereich	Unterkategorie
Chemie	• organische Chemie • analytische Chemie • physikalische Chemie • Biochemie
Biologie	• Mikrobiologie • Genetik • Botanik • Biochemie
Medizin	• Physiologie • Toxikologie
Pharmazie	• Toxikologie
Technologie	• Biotechnologie • Lebensmitteltechnologie
Lebensmittelrecht	• Lebensmittel • Futtermittel • Bedarfsgegenstände • kosmetische Mittel • Tabakerzeugnisse

Anhand Tabelle 2-1 kann erkannt werden, welche naturwissenschaftlichen und technologischen Bereiche für die Lebensmittelchemie von Bedeutung sind. Im Bereich der Chemie herrschen die Bereiche organische und physikalische Chemie sowie Biochemie vor, wenn die stoffliche Zusammensetzung und deren Veränderung bei Lagerung, Verarbeitung und Zubereitung von Lebensmitteln, tierischer und pflanzlicher Herkunft, betrachtet wird. Gerade im Bereich der organischen Chemie erfolgt die Lehre der Makronährstoffe (Kohlenhydrate, Fette und Proteine), aber auch weiterer Lebensmittelinhaltsstoffe, wie beispielsweise Vitamine, Lebensmittelfarbstoffe und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe. Die analytische Chemie ist ebenfalls von zentraler Bedeutung, um die Inhaltsstoffe von Lebensmitteln qualitativ und quantitativ zu bestimmen. Dabei werden neben den instrumentellen Analytikmethoden, wie beispielsweise Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und Gaschromatographie (GC), auch bioanalytische Verfahren eingesetzt, um unter anderem Genmuster zu bestimmen, die zur Beurteilung genetisch veränderter Organismen (GVO) herangezogen werden. Gerade bei der Untersuchung und Beurteilung pflanzlichen Lebensmittel ist die Botanik aus dem Bereich der Biologie von

Bedeutung, da häufig mikroskopische Analytikmethoden eingesetzt werden, sodass auch hier Überschneidungen zum Bereich der Pharmazie festgestellt werden können. Für die Lebensmittelchemie zeigt gerade die Mikrobiologie wichtige Aspekte, denn Lebensmittel werden mithilfe mikrobiologischer Untersuchungen auf Krankheitserreger und Verderbniskeime untersucht [Schwedt, 2005, S. 1].

Daneben sind Verbindungen zu den Technologien, Lebensmittel- und Biotechnologie, wichtig für die Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Lebensmitteln und dem Einsatz von Zusatzstoffen, da der technologische Einsatz bei neuen Produkten wissenschaftlich begründet werden muss. Ein wichtiger Bereich der Lebensmittelchemie stellt zudem das Lebensmittelrecht dar, welches neben lebensmittelrechtlichen Grundlagen auch rechtliche Grundlagen für Futtermittel, kosmetische Mittel, Bedarfsgegenstände und Tabakerzeugnisse enthält. So wird dem Lebensmittelrecht im Bereich der Toxikologie (medizinischer und pharmazeutischer Bereich) ein wichtiger Aspekt zugeschrieben. Das Ziel des gesundheitlichen Verbraucherschutzes wird verfolgt, sodass beispielsweise Lebensmittel, deren Roh- und Inhaltsstoffe, auf Schadstoffe und Kontaminanten untersucht werden. Die Beurteilung erfolgt in Hinblick auf die Einhaltung der verschiedenen Gesetze und Verordnungen [Schwedt, 2005, S. 1].

2.1 Lebensmittelchemie im Wandel der Zeit

Lebensmittel dienen seit jeher als Grundlage der menschlichen Ernährung, denn nur durch die Zufuhr von Lebensmitteln kann Energie gewonnen werden und die Körperfunktionen des Menschen bleiben erhalten. Somit lag der Fokus der klassischen Betrachtungsweise der Ernährung darauf, dass Ernährung zum Körperbau und der Aufrechterhaltung von Körperfunktionen dient, ebenso wie Mangelerscheinungen zu vermeiden. Als traditionelle Nährstoffe gelten dabei die Makronährstoffe Kohlenhydrate, Fette und Proteine, sowie die Mikronährstoffe Vitamine und Mineralstoffe. Dabei handelt es sich weitestgehend um essentielle Nährstoffe, die der Mensch mit der Nahrung zu sich nehmen muss, weil dieser selbst nicht in der Lage ist, diese zu synthetisieren. Im Laufe der Zeit hat sich das Verständnis in Bezug auf Lebensmittel verändert, da mehr Inhaltsstoffe identifiziert werden können, die für die menschliche Gesundheit einige Vorteile mit sich bringen. Dazu zählen neben Ballaststoffen, vor allem sekundäre Pflanzenstoffe (beispielsweise Carotinoide und Polyphenole) und Protease-Inhibitoren. Gerade die sekundären Pflanzenstoffe zeigen positive Eigenschaften für den menschlichen Körper, da diese präventiv in Bezug auf die Entstehung von chronisch-degenerativen Erkrankungen, wie beispielsweise Arthrose, wirken. Eine ebenso wichtige Aufgabe übernehmen die Protease-Inhibitoren, die sich positiv auf den Blutzuckerspiegel auswirken, eine antioxidative Wirkung aufweisen und

präventiv bei der Entstehung von Krebs wirken sollen. Demnach dient die menschliche Ernährung mit Lebensmitteln heute nicht mehr ausschließlich der Erhaltung der Grundbedürfnisse, sondern auch der gesundheitlichen Nutzen der Ernährung [Baltes & Matissek, 2011, S. 1 f.].

Dennoch spielen bei der Ernährung nicht nur gesundheitliche Aspekte eine wichtige Rolle, sondern auch soziale, kulturelle, ökologische und psychologische Aspekte, die für die Auswahl von Lebensmitteln herangezogen werden. Auch sensorische Aspekte sind bei der Lebensmittelauswahl von zentraler Bedeutung, denn Aussehen, Geruch, Geschmack und Konsistenz bilden den Genusswert eines Lebensmittels [Baltes & Matissek, 2011, S. 2].

Daneben sind auch soziale Aspekte bei der Ernährung der Menschen zu betrachten. Häufig steht die Ernährungsqualität in Verbindungen mit dem sozialen Status, der sowohl Bildung, Beruf und Einkommen der Menschen umfasst. Nach Muff und Weyers (2010) zeigen Menschen mit einem niedrigeren sozialen Status einen schlechteren Gesundheitszustand auf als Menschen mit einem höheren sozialen Status. Gründe dafür liegen in einer ungesunden Ernährungsweise, die wenig Obst und Gemüse und damit wenig Vitamine beinhaltet. Dafür ist der Anteil an Fett stark erhöht, wobei vor allem Lebensmittel mit viel gesättigten Fettsäuren verzehrt werden, ebenso wie ein hoher Konsum an Kaffee und gesüßten Getränken. Ursachen, warum sich die Menschen mit einem niedrigeren sozialen Status ungesünder ernähren, werden vor allem durch sozioökonomische und strukturelle, psychosoziale sowie soziokulturelle Faktoren bedingt (Abbildung 2-2).

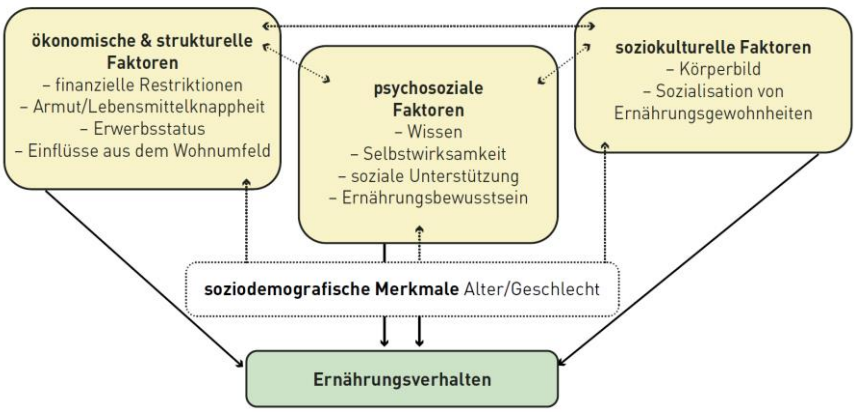


Abbildung 2-2 Faktoren für das Ernährungsverhalten verschiedener sozialer Schichten [Muff & Weyers, 2010]

Bei den sozioökonomischen und strukturellen Faktoren sind vor allem die finanziellen Mittel und damit bedingt die Lebensmittelknappheit zu nennen, aber auch der Erwerbsstatus sowie das Wohnumfeld der Menschen. Durch die geringen finanziellen Mittel, die zur Verfügung stehen, müssen die Menschen auf günstigere Lebensmittel ausweichen, die in der Regel eine

hohe Energiedichte aufweisen, wie beispielsweise Süßigkeiten. Lebensmittel, wie Obst und Gemüse, sowie Fleisch, enthalten hingegen eine niedrigere Energiedichte, sind aber auch deutlich teurer im Preis. Daneben steht auch der Erwerbsstatus im engen Zusammenhang mit einer ungesünderen Lebensweise. So weisen arbeitende Menschen in der Regel bessere Essgewohnheiten auf als arbeitslose Menschen, die möglicherweise durch den Verzehr ungesunder Lebensmittel mit hoher Energiedichte versuchen, die psychische Belastung zu minimieren. Das Wohnumfeld kann zudem eine Fehlernährung begünstigen, da Lebensmittel in kleineren Geschäften häufig teurer sind und die Auswahl an frischen Lebensmitteln geringer ist [Muff & Weyers, 2010].

Psychosoziale Faktoren können ebenfalls zu einer ungesünderen Lebensweise führen. Aspekte, die hier zu betrachten sind, sind das Wissen sowie das Bewusstsein über Ernährung, ebenso wie die Selbstwirksamkeit und die soziale Unterstützung. So besitzen Menschen mit niedrigerem sozialen Status häufig weniger Wissen über Lebensmittel und damit die Ernährungsqualität, weshalb sie sich häufig ungesünder ernähren. Die Selbstwirksamkeit steht im Zusammenhang mit dem Ernährungsbewusstsein, welches bei sozial schwächeren Personen häufig weniger ausgeprägt ist, woraus eine ungesündere Ernährung resultiert. Auch die soziale Unterstützung hängt mit einer Fehlernährung zusammen. So hat sich gezeigt, dass Menschen aus der sozial schwächeren Schicht, die weniger soziale Unterstützung erfahren, ungesünder Essen als Menschen aus soziale stärkeren Gruppen [Muff & Weyers, 2010].

Zu den soziokulturellen Faktoren, die zu einer Fehlernährung beitragen können, sind neben dem Körperbild auch die Sozialisation und Ernährungsgewohnheiten zu nennen. Menschen, die zu höheren Sozialschichten gehören, haben häufig höhere Ansprüche an ihr eigenes Körperbild als Menschen aus sozial schwächeren Schichten, sodass sie eher auf ihr Gewicht achten und sich daher kalorienbewusster und gesünder ernähren. Dem hinzu kommen bestimmte Ernährungsgewohnheiten, die an einer Fehlernährung beteiligt sein können. Das Essverhalten wird bereits im Kinder- und Jugendalter geprägt, sodass sich daraus eine gesunde oder ungesunde Ernährung entwickeln kann. Auch hier ist zu beobachten, dass Kinder und Jugendliche mit einem niedrigerem sozialen Status bereits in jungen Jahren an eine Fehlernährung herangeführt werden [Muff & Weyers, 2010].

Der Verzehr von Lebensmitteln stellt zwar immer noch die Grundlage der menschlichen Ernährung dar, jedoch hat sich im Laufe der Zeit die Aufnahme von Nahrung verkompliziert. Gründe dafür sind unter anderem diverse Gesundheitsempfehlungen (beispielsweise „low carb“ und „low fat“), verschiedene Weltanschauungen, zunehmende Unverträglichkeiten, aber auch das Klima sowie ethische Aspekte. Daher wird es für die Lebensmittelindustrie immer

komplizierter Lebensmittel herzustellen, denn neben den gerade genannten Aspekten wollen die Verbraucher möglichst billige und leicht verfügbare Lebensmittel konsumieren, die natürlich auch schmecken sollen [Mauckner, 2013].

Mit dem Anstieg der Weltbevölkerung erhöht sich entsprechend die Nachfrage an Lebensmitteln, sodass der Druck innerhalb der Lebensmittelindustrie ansteigt, ausreichend Lebensmittel herzustellen, die preisgünstig, aber dennoch nachhaltig und sicher sein sollen. Um dem gerecht zu werden, werden immer wieder neue Technologien, wie Gen- und Nanotechniken, angewendet, um neue Produkte zu entwickeln. Damit steigt auch der Druck innerhalb der Lebensmittelüberwachung, diese entsprechend zu kontrollieren. Auf beiden Seiten sind dabei vor allem die Authentizität und die Funktionalität von Lebensmitteln zu betrachten. Der Verbraucher hat generell hohe Erwartungen an die Qualität von Lebensmitteln, vor allem, wenn es sich um teurere Lebensmitteln handelt. Aber auch die Art der Erzeugnisse, die geographische Herkunft und die Nachhaltigkeit der Rohstoffe sind Aspekte, die für den Verbraucher relevant sind. Demnach werden die Hersteller der Lebensmittelindustrie vor Herausforderungen gestellt, sodass diese entsprechende Qualitätsnormen entwickeln müssen, ebenso wie ein gutes Rohstoffmanagement betreiben müssen. Neben der Authentizität von Lebensmitteln rücken auch funktionelle Lebensmittel und bioaktive Inhaltsstoffe von Lebensmitteln in den Vordergrund der Verbraucher. Mit den zunehmenden Qualitätsanforderungen der Verbraucher an die Lebensmittelindustrie, sind mehr Kontrollen in der Lebensmittelüberwachung notwendig. Dazu zählen unter anderem Prüfungen von Verfälschungen und Angaben zur geographischen Herkunft [Lebensmittelchemische Gesellschaft, 2014, S. 4 f.].

Aus den oben dargestellten Aspekten haben sich verschiedene Ernährungsstile entwickelt, die unterschiedliche Schwerpunkte aufweisen. Als Beispiele sind hier die nachhaltige Ernährung und die vegetarischer Ernährung zu nennen, die nachfolgend ausführlicher betrachtet werden sollen.

2.1.1 Nachhaltige Ernährung

Die nachhaltige Ernährung umfasst sowohl ökologische als auch ökonomische, soziale und gesundheitliche Aspekte. Das Ziel der nachhaltigen Ernährung ist es, auch in Zukunft noch gesunde Lebensmittel anbauen und produzieren zu können, die dem Verbraucher eine gewisse Art an Lebensqualität vermittelt. Ein zentraler Aspekt ist der hohe Konsum von Fleisch und Fleischerzeugnissen im Gegensatz zu früheren Zeiten, in der sich nur die wohlhabenderen Menschen den Konsum von Fleisch leisten konnten. Demnach wurde damals viel weniger Fleisch konsumiert als in der heutigen Zeit. Der hohe Fleischkonsum bringt weitere Probleme mit sich.

Da ist zum einen die Massentierhaltung zu nennen. Die Tiere werden häufig krank, sodass Antibiotika eingesetzt werden, die der Mensch mit der Nahrung aufnimmt. Neben dem gesundheitlichen Aspekt der Tiere ist auch die nicht artgerechte Haltung von Tieren ein Grund, warum sich Menschen nachhaltig ernähren. Mit der Massentierhaltung in Verbindung steht zudem die Bereitstellung von Futtermitteln. Futtermittel müssen für die Tiere entsprechend angebaut werden, wodurch ein großer Teil der Nutzflächen zum Anbau von Lebensmitteln für die lokale Bevölkerung fehlt. Daneben bringen auch die Düngemittel Probleme mit sich. Durch den hohen Gehalt an Nitrat in den anorganischen Düngern werden Böden ausgelaugt und das Grund- und Trinkwasser weist eine hohe Nitratbelastung auf, wodurch in manchen Regionen der Welt kein sauberes Trinkwasser zur Verfügung steht. Ebenfalls im Zusammenhang mit der Erzeugung, Verarbeitung, Vermarktung und Zubereitung von tierischen Lebensmitteln steht die Kohlenstoffdioxid-Emission. So wird durch die Erzeugung, Verarbeitung, Vermarktung und Zubereitung von tierischen Lebensmitteln ein Fünftel der gesamten Primärenergie verbraucht und etwa 20 % der Treibhausgase gebildet. Ein weiterer wichtiger Aspekt der nachhaltigen Ernährungsweise bezieht sich auf den globalen Handel, denn es werden mehr Nahrungs- und Futtermittel aus den Entwicklungsländern nach Deutschland importiert als exportiert. Daraus resultiert auf der einen Seite die Massentierhaltung durch die kostengünstigen Futtermittel und auf der anderen Seite werden in Entwicklungsländern durch den hohen Export Lebensräume zerstört. Dies zeichnet sich beispielsweise durch die Abholzung der Regenwälder oder auch Wüstenbildung ab [Mauckner, 2013].

Um den dargestellten Problemen durch den hohen Fleischkonsum und den hohen Importzahlen von Lebensmitteln nach Deutschland entgegenzuwirken, sollten die Menschen ihre Nahrungsgewohnheiten überdenken und zumindest versuchen Aspekte der nachhaltigen Ernährung in den eigenen Ernährungsstil einzubauen. Die entsprechenden Aspekte der nachhaltigen Ernährung werden in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Tabelle 2-2 Aspekte und Resultate der nachhaltigen Ernährung [Mauckner, 2013]

Aspekt der nachhaltigen Ernährung	Minimierungsprinzip	Resultat der nachhaltigen Ernährung
laktovegetabile Ernährung	• weniger Lebensmittel tierischen Ursprungs konsumieren	• geringerer Kohlenstoffdioxidausstoß • weniger Anbau von Futterpflanzen • geringere Nitrat- und Pestizidbelastung in Lebensmitteln • weniger Massentierhaltung

Aspekt der nachhaltigen Ernährung	Minimierungsprinzip	Resultat der nachhaltigen Ernährung
Konsum ökologisch erzeugter Lebensmittel	• ökologischer Anbau von Lebensmitteln • pflanzliche Lebensmittel als Futtermittel verwenden • Mist und Gülle als Düngemittel verwenden	• niedrigerer Verbrauch von Rohstoffen und Energie • geringere Nitrat- und Pestizidbelastung in Lebensmitteln • Böden zeigen bessere Fruchtbarkeit • kein Export von Futtermitteln aus der Dritten Welt • gesundheitliche Vorteile von Bio-Lebensmitteln (weniger Rückstände, intensiverer Geschmack) • artgerechte Tierhaltung
Konsum regionaler und saisonaler Produkte	• geringere Transportwege	• niedrigerer Verbrauch von Rohstoffen und Energie • geringere Schadstoffemission • keine lange Lagerung (intensiverer Geschmack, Vorhandensein gesundheitsfördernder Substanzen) • Sicherung kleiner Betriebe • weniger Rückstände
Konsum gering verarbeiteter Lebensmittel	• Konsum von verarbeiteten Lebensmittel reduzieren	• niedrigerer Verbrauch von Rohstoffen und Energie • hoher Gehalt an gesundheitsfördernder Substanzen • geringerer Einsatz von Lebensmittelzusatzstoffen (Farbstoffe, Aromen, Konservierungsstoffe)
Lebensmittelverpackungen	• mehr Lebensmittel unverpackt oder gering verpackt einkaufen	• weniger Hausmüll • geringere Herstellungskosten
Konsum sozialverträglicher Produkte	• fairer Handel mit Drittländern	• Erhaltung von Kleinbauern • Bau sozialer Einrichtungen (Schulen) in der Dritten Welt

2.1.2 Vegetarische Ernährung

Die nachhaltige Ernährung steht im engen Zusammenhang mit der vegetarischen Ernährung, da sich die fleischlose Ernährung nicht nur positiv auf den Gesundheitszustand der Menschen auswirkt, sondern auch gleichzeitig einen hohen Beitrag für die Gesellschaft und Umwelt leistet. Demnach ist die vegetarische Ernährung zeitgemäß und nachhaltig, sodass auch die

nächsten Generationen noch mit Lebensmitteln versorgt werden können [Leitzmann, 2013]. Insgesamt wird der Anteil der sich vegetarisch ernährenden Menschen größer. Dies kann anhand des sinkenden Fleischkonsums der letzten 30 Jahre beobachtet werden. So wurde im Jahr 1991 noch 63,9 Kilogramm Fleisch pro Person in Deutschland konsumiert. Im Jahr 2020 waren es noch 57,1 Kilogramm Fleisch pro Person [Ahrens, 2022a]. Der Wandel des Ernährungsstils kann dabei vor allem bei jungen Menschen und Frauen beobachtet werden. Gründe, warum sie sich für eine fleischlose Ernährung entschieden haben, sind unter anderem gesundheitliche Gründe durch Vermeidung von Suchtgiften, Gründe des Tierschutzes und daraus resultierenden Umweltproblemen sowie die Welternährung im Allgemeinen [Leitzmann, 2013].

In Bezug auf das gesundheitliche Befinden hat sich gezeigt, dass die Menschen, die sich vegetarisch ernähren einen guten Gesundheitszustand aufweisen. Insgesamt leiden sie seltener an ernährungsbedingten Krankheiten, wie Diabetes mellitus Typ 2, Herzkreislauferkrankungen, Bluthochdruck sowie Gicht und sind seltener übergewichtig. Die vegetarische Ernährung ist für den Menschen gut geeignet, denn pflanzliche Lebensmittel weisen eine hohe Nährstoffdichte auf. So enthalten beispielsweise Obst, Gemüse, Hülsenfrüchte und Nüsse viele gesundheitsfördernde Substanzen, vor allem sekundäre Pflanzenstoffe und Ballaststoffe, aber auch alle weiteren lebensnotwendigen Nährstoffe. Zudem nehmen die Verbraucher durch den Verzicht von Fleisch und Fleischprodukten weniger gesundheitsschädliche Substanzen auf. Als Beispiele sind hier Dioxine, Organochlor-Pflanzenschutzmittel und Tierarzneimittel zu nennen [Leitzmann, 2013].

Früher haben sich die Menschen ausschließlich aufgrund der gesundheitlichen Aspekte für eine vegetarische Ernährung entschieden. Neben den gesundheitlichen Gründen sind es heute viele weitere Aspekte, die in Tabelle 2-3 zusammengefasst dargestellt werden.

Tabelle 2-3 Aspekte und Gründe für eine vegetarische Ernährung [Leitzmann, 2013]

Aspekte für eine vegetarische Ernährung	Gründe für eine vegetarische Ernährung
Ethik	• Ablehnung der Tötung von Tieren • Ablehnung der Massentierhaltung • Beitrag zur Reduzierung des Welthungerproblems
Gesundheit	• Prävention von ernährungsbedingten Krankheiten und Übergewicht • Steigerung der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit
Ökologie	• Beitrag zum Klimaschutz • Reduzierung der Umweltbelastung

Aspekte für eine vegetarische Ernährung	Gründe für eine vegetarische Ernährung
Religion	• Fleischverzehr als religiöses Tabu • Tötung von Tieren wird als Sünde angesehen • körperliche, geistige und seelische Reinheit
Ästhetik	• Ekel vor Anblick toter Tiere und Fleisch
Toxikologie	• Verringerung der Aufnahme von schädlichen Lebensmittelinhaltsstoffen
Kosmetik	• Verringerung des Gewichtes und Hautunreinheiten
Ökonomie	• begrenztes Angebot in Drittländern • begrenzte finanzielle Möglichkeiten
Politik	• Beitrag zur Reduzierung des Welthungerproblems
Soziales	• Erziehung • Gewohnheiten • Gruppeneinflüsse

2.2 Studienberuf mit dem Abschluss „Lebensmittelchemiker:in“

Das universitäre Studium zum/zur Lebensmittelchemiker:in umfasst, je nach Art des Studiengangs (Staatsexamen oder Bachelor/Master) eine Regelstudienzeit von 9 – 10 Semestern. Je nachdem, ob es sich um einen Studiengang mit Staatsexamen oder um ein Bachelor-/Master-Studiengang handelt, ist der Ablauf der Prüfungen unterschiedlich, wobei nachfolgend der Studienverlauf am Beispiel des Staatsexamens-Studiengang dargestellt werden soll. Die Inhalte des Studiums sind jedoch in der Regel deckungsgleich und umfassen grundlegende Lehrveranstaltungen. Dazu gehören im Grundstudium neben den chemischen Disziplinen (allgemeine, anorganische, analytische, organische und physikalische Chemie) auch Physik, Biologie und Mathematik für Naturwissenschaftler. In den Bereichen werden zunächst grundlegende Fachkenntnisse vermittelt, sodass die Studierenden das erlernte Fachwissen in der praktischen Laborarbeit anwenden können. So durchlaufen die Studierenden der Lebensmittelchemie verschiedene chemische Praktika in der anorganischen, analytischen, organischen und physikalischen Chemie, sowie in allgemeiner Biologie und Physik. Nach dem viersemestrigen Grundstudium legen die Studierenden den Ersten Prüfungsabschnitt ab. Dieser umfasst fünf mündliche Prüfungen in den Fächern allgemeine und anorganische Chemie, organische Chemie, physikalische Chemie, Biologie und Physik. Durch den Ersten Prüfungsabschnitt wird geprüft, ob die Studierenden die inhaltlichen und methodischen Grundlagen der chemischen, biologischen und physikalischen Disziplinen verinnerlicht haben, um dies im Hauptstudium beispielsweise auf die Lebensmittel anwenden zu können [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 11 f.].

Im Hauptstudium werden die Studierenden bestmöglich auf die späteren Tätigkeitsfelder von Lebensmittelchemiker:innen vorbereitet. So lernen die Studierenden die Chemie, die in verschiedenen Lebensmitteln enthalten ist, sowie analytische Methoden, um entsprechende Inhaltsstoffe, aber auch Kontaminanten, qualitativ und quantitativ bestimmen zu können, kennen. Es werden jedoch nicht ausschließlich Lebensmittel betrachtet, sondern auch kosmetische Mittel, Bedarfsgegenstände, sowie Tabakerzeugnisse und gegebenenfalls Futtermittel. Im Fokus der theoretischen Lehrveranstaltungen steht dabei das Erlernen von Fachwissen in Bezug auf die chemische Zusammensetzung, Herstellung und Analytik der Lebensmittel, Futtermittel, kosmetischen Mittel, Bedarfsgegenstände und Tabakerzeugnisse. Zudem werden verschiedenste Lebensmittelgruppen mit deren Makro- und Mikronährstoffen betrachtet sowie Reaktionen und Wechselwirkungen von Lebensmittelinhaltsstoffen. Technologische Verfahren bei Lebensmitteln und deren Rohstoffe werden in Bezug auf die Lagerung, Herstellung sowie Be- und Verarbeitung vermittelt. Dabei werden strukturelle und chemische Veränderungen der Lebensmittelinhaltsstoffe betrachtet, aber auch die Bildung unerwünschter Kontaminanten, die sich negativ auf die Gesundheit der Verbraucher auswirken können. Durch sensorische Untersuchungen werden die Studierenden zudem geschult, die Qualität von Lebensmitteln zu beurteilen und mögliche gesundheitliche Gefahren für den Verbraucher auszuschließen. Wie auch im Grundstudium werden die theoretischen Fachkenntnisse durch praktische Arbeiten im Labor gefestigt. So durchlaufen die Studierenden im Hauptstudium zahlreiche lebensmittelchemische Praktika, um verschiedenste Lebensmittelgruppen zu analysieren. Dabei lernen sie analytische, qualitative und quantitative Methoden im Bereich der instrumentellen Analytik kennen, sodass verschiedene Substanzen bis zu Spuren nachweisbar sind. Diese Methoden werden vor allem bei Substanzen mit gesundheitsgefährdendem Potential eingesetzt. Um die praktischen Ergebnisse auch richtig in Bezug auf den gesundheitlichen Verbraucherschutz einordnen zu können, lernen die Studierenden bereits lebensmittelrechtliche Grundlagen, sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene, kennen. Toxikologische Aspekte werden thematisiert, sodass die Beziehung zwischen Dosis und Wirkung verstanden wird, Risiken abgeschätzt werden können und somit die Festlegung von Grenzwerten verstanden wird. Gerade im Bereich der Umweltanalytik werden toxikologische Betrachtungsweisen herangezogen [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 12].

Neben den chemischen Inhalten erlernen die Studierenden auch das Mikroskopieren pflanzlicher Lebensmittel und bekommen Fachwissen im Bereich der Mikrobiologie vermittelt, wodurch sie in der Lage sind, Lebensmittel auf mikrobiellen Verderb zu prüfen. Gerade die Lebensmittelhygiene bei der Herstellung verschiedenster Lebensmittel steht hier im Fokus. Da

die Lebensmittel die Grundlage der menschlichen Ernährung darstellen, eignen sich die Studierenden im Fach Ernährungslehre die Verstoffwechselung der Lebensmittelinhaltsstoffe an. Thematisiert werden auch verschiedene Aspekte der Ernährung. So werden gerade Themen wie eine vegetarische oder sogar vegane Ernährung betrachtet, da dies ein zentraler Diskussionspunkt der Gesellschaft, in Bezug auf Tierwohl und den Verzicht des Fleischkonsums, ist [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 12].

Somit erlernen die Studierenden im Hauptstudium vielfältige Fachkenntnisse in verschiedensten Bereichen. Um festzustellen, ob die Studierenden die Kenntnisse im Bereich der Lebensmittelchemie beherrschen, erfolgen im Zweiten Prüfungsabschnitt (1. Staatsexamen) wiederum fünf mündliche Prüfungen. In der ersten mündlichen Prüfung wird die Lebensmittelchemie im Allgemeinen (Lebensmittel, kosmetische Mittel, Bedarfsgegenstände und Tabakerzeugnisse), einschließlich der analytischen Methoden, auditiert. Es folgen die Prüfungen zur Lebensmitteltechnologie, Ernährungslehre, Mikrobiologie sowie zur Toxikologie und Umweltanalytik. An den bestandenen Zweiten Prüfungsabschnitt schließt sich eine sechsmonatige experimentelle Forschungsarbeit im Bereich der Lebensmittelchemie an, die mit der Abgabe der wissenschaftlichen Abschlussarbeit endet. Erfolgreiche Absolventen und Absolventinnen tragen dadurch die Berufsbezeichnung „Lebensmittelchemiker:in“.

Der Bachelor-/Master-Studiengang der Lebensmittelchemie unterscheidet sich nur in der Prüfungsform. Anders als beim Staatsexamens-Studiengang werden die entsprechenden Prüfungen zu jedem Modul studienbegleitend absolviert und nicht am Ende jeden Abschnittes als Staatsexamen abgenommen. Die Prüfungen können im Vergleich zum Staatsexamens-Studiengang auch schriftlich durchgeführt werden [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 13]. Durch das Bachelor-/Master-System erhöht sich die Regelstudienzeit auf zehn Semester, da hierbei sowohl eine Bachelor- als auch eine Masterarbeit angefertigt werden muss.

2.3 Studienberuf und praktisches Ausbildungsjahr mit dem Abschluss „staatlich geprüfte:r Lebensmittelchemiker:in“

Aufbauend auf das erfolgreich absolvierte universitäre Studium können die „Lebensmittelchemiker:innen“ das zwölfmonatige berufspraktische Jahr an einer staatlichen Untersuchungsbehörde absolvieren. Neben der Vertiefung und Erweiterung der Fachkenntnisse aus dem universitären Studium liegt der Fokus in diesem Ausbildungsjahr auf der Qualitätssicherung und der rechtlichen Beurteilung von Lebensmitteln, Bedarfsgegenständen und kosmetischen Mitteln. Dabei durchlaufen die Auszubildenden verschiedene Fachbereiche, in denen sie sich mit speziellen Lebensmittelgruppen, Bedarfsgegenständen oder kosmetischen Mitteln

auseinandersetzen. Dabei werden Untersuchungen durch das Erstellen von Prüfplänen geplant und die verschiedenen analytischen Methoden zur Untersuchung der Lebensmittel, Bedarfsgegenstände oder kosmetischen Mittel im Labor angewendet. Aus den erzielten Ergebnissen erfolgt die rechtliche Beurteilung des Untersuchungsmaterials anhand des europäischen und national geltenden Lebensmittelrechts sowie der Erstellung von Gutachten. Somit wird die Qualität des Untersuchungsmaterials überprüft und gleichzeitig die Wichtigkeit des gesundheitlichen Verbraucherschutzes vermittelt [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 13].

Ein weiterer wichtiger Punkt in dem Ausbildungsjahr ist das Kennenlernen der Lebensmittelüberwachung, sodass die Auszubildenden für sechs Wochen in einer solchen Lebensmittelüberwachungsbehörde tätig sind. In dieser Zeit nehmen sie an Lebensmittelkontrollen beispielsweise im Einzelhandel, in Restaurants oder auch in Großküchen teil und erstellen entsprechende Gutachten dazu [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 14].

Das praktische Jahr schließt mit dem Dritten Prüfungsabschnitt ab, welcher auch als 2. Staatsexamen bezeichnet wird. Der Dritte Prüfungsabschnitt umfasst insgesamt neun Prüfungen, davon drei mündliche, drei schriftliche und drei praktische Prüfungen, um das Fachwissen im Bereich der Überwachung von Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen sowie das Verständnis der analytischen Methoden und rechtlichen Grundlagen mit entsprechender Erstellung von Gutachten zu überprüfen [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 14]. Die drei schriftlichen Prüfungen sind Aufsichtsarbeiten, bei denen die Auszubildenden zwei Lebensmittel und ein Bedarfsgegenstand mit entsprechenden Laborergebnissen erhalten. Anhand dieser sollen die Auszubildenden Gutachten verfassen beziehungsweise Empfehlungen aussprechen. Von den drei praktischen Prüfungen erfolgen zwei im Lebensmittelbereich und eine im Bereich der Bedarfsgegenstände oder im Bereich der kosmetischen Mittel. Für die Lebensmittel, Bedarfsgegenstände und kosmetischen Mittel werden zunächst Prüfpläne auf der Basis des europäischen und nationalen Lebensmittelrechts geschrieben. Anhand der Prüfpläne geben die Auszubildenden selbst vor, welche analytischen Methoden von ihnen im Labor durchgeführt werden müssen. Anhand der eigenen erzielten Laborergebnissen schreiben die Auszubildenden entsprechende Gutachten über die Qualität und unter dem Aspekt des gesundheitlichen Verbraucherschutzes. Schließlich folgen die drei mündlichen Prüfungen. Diese umfassen das Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- sowie Kosmetikrecht, die Organisation und Funktion der Überwachung von Lebensmitteln, Bedarfsgegenständen und kosmetischen Mitteln sowie das Qualitätsmanagement und die Qualitätssicherung von Betrieben und Laboratorien [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 14]. Erst wenn alle neun Prüfungen erfolgreich abgeschlossen

worden sind, dürfen die Absolventen und Absolventinnen die Berufsbezeichnung „staatlich geprüfte:r Lebensmittelchemiker:in“ tragen.

2.4 Tätigkeitsfelder von Lebensmittelchemiker:innen und staatlich geprüfte:r Lebensmittelchemiker:innen

Die Bereiche, in denen Lebensmittelchemiker:innen arbeiten können, sind sehr vielfältig. So können Lebensmittelchemiker:innen in der amtlichen Überwachung von Lebensmitteln, Bedarfsgegenständen, kosmetischen Mitteln und Tabakerzeugnissen tätig sein. Die Überwachung der Lebensmittel und anderer Erzeugnisse erfolgt entweder in einem Untersuchungsamt, einer Fach- oder Vollzugsbehörde oder bei der Bundeswehr. Das angestrebte Ziel ist der gesundheitliche Verbraucherschutz, um gesundheitliche Gefahren, die von den Lebensmitteln und anderen Erzeugnissen ausgehen können, zu minimieren, sowie der Schutz der Verbraucher vor Täuschung und Irreführung, ebenso wie der Schutz der Umwelt [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 5]. Daneben können Lebensmittelchemiker:innen auch freiberuflich als Berater arbeiten, als Mitarbeiter in Handelslaboren angestellt sein oder als Sachverständige für Lebensmittelchemie amtliche Gegenproben untersuchen. Zentrale Aufgabenbereiche sind die Beratung für verschiedene Hersteller und Unternehmen sowie die Untersuchung und rechtliche Beurteilung von Lebensmitteln, Futtermitteln, Bedarfsgegenständen, kosmetischen Mitteln und Tabakerzeugnissen für entsprechende Auftraggeber [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 7]. Zudem werden Lebensmittelchemiker:innen auch in der Industrie, Wissenschaft und Forschung sowie weiteren anderen naturwissenschaftlichen Bereichen eingesetzt. In der Industrie übernehmen Lebensmittelchemiker:innen Aufgaben in Laboratorien, die sich mit Kontrollen, Entwicklung und Forschung beschäftigen, oder sind in der Qualitätssicherung des Unternehmens beschäftigt. Zu den zentralen Aufgaben gehören einerseits die Untersuchung von Rohstoffen auf ihre Eigenschaften sowie die gesundheitlichen Unbedenklichkeit und andererseits die Produktentwicklung, die Verbesserung der Herstellungsverfahren und die Qualitätssicherung der Endprodukte [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 8]. Im Bereich der Wissenschaft und Forschung sind Lebensmittelchemiker:innen entweder an Universitäten oder Forschungsinstituten, wie beispielsweise dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), tätig. So steht im universitären Bereich der Lehrauftrag im Vordergrund, sodass Fachkenntnisse an Studierende der Lebensmittelchemie und verwandter Disziplinen vermittelt werden, aber auch die Betreuung von wissenschaftlichen Abschlussarbeiten fällt in den Aufgabenbereich. In Forschungsinstituten wird, wie der Name schon verrät, Forschung betrieben, beispielsweise zur Isolierung und Strukturaufklärung von Lebensmittelinhaltsstoffen [Gesellschaft Deutscher

Chemiker, 2017, S. 9 f.]. Neben den dargestellten Tätigkeitsfeldern gibt es weitere Bereiche, in den Lebensmittelchemiker:innen, aufgrund der ausführlichen analytischen Ausbildung, angestellt sein können. Zu den Bereichen gehören beispielsweise Behörden, die sich mit der Untersuchung der Umwelt beschäftigen, Laboratorien und Forschungsanstalten im Bereich von Wasser und Abwasser sowie landwirtschaftlicher Erzeugnisse. Auch analytische Tätigkeiten im Bereich des Zolls und des Kriminalamtes können durchgeführt werden, ebenso wie toxikologische Untersuchungen sowie analytische Tätigkeiten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 10]. In Tabelle 2-4 werden beispielhafte Tätigkeiten der Lebensmittelchemiker:innen für die unterschiedlichen Bereiche dargestellt.

Tabelle 2-4 Beispiele für Tätigkeiten von Lebensmittelchemiker:innen in der amtlichen Überwachung, der Industrie, der Wissenschaft und Forschung sowie als Freiberufler [Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2017, S. 5 ff.].

Tätigkeitsfeld	Aufgaben
Amtliche Überwachung	
Untersuchungsamt	• Untersuchung und Beurteilung von Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen auf der Basis des nationalen und europäischen Lebensmittelrechts • Erarbeitung und Optimierung von Analytikmethoden • Erstellung von Prüfplänen und Gutachten unter Berücksichtigung des Lebensmittelrechts • Sachverständiger bei Kontrollen der Lebensmittelüberwachung • Ausbildung von Lebensmittelchemiker:innen im praktischen Jahr
Bundeswehr (Sanitätsdienst)	• Untersuchung von Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen • Überprüfung der Qualität der Lebensmittel (Auswahl, Lagerung, Verarbeitung und Zubereitung) für die Ernährung der Soldaten • umweltchemische Untersuchungen und dessen rechtliche Bewertung • Untersuchung und Bewertung von Lebensmitteln, einschließlich Trinkwasser und Bedarfsgegenständen aus medizinischer Sicht

Tätigkeitsfeld	Aufgaben
Fach- und Vollzugsbehörden	• Überwachung des Verkehrs von Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen • Ergreifung von Maßnahmen in Bezug auf die Kontamination von Lebensmitteln mit Schadstoffen • Stellungnahmen für andere Behörden und Gerichte • Fachaufsicht über untergeordnete Behörden und Untersuchungseinrichtungen • Strategieentwicklung für die Überwachung von Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen
Industrie	• lebensmittelchemische Verantwortlichkeit für verwendete Rohstoffe, Verpackungsmaterialien, Herstellungsprozesse und Rezepturen sowie Endprodukte des Betriebs • führt betriebliche Kontrollen bei der Herstellung durch • Untersuchung und rechtliche Beurteilung der Endprodukte • verantwortlich für Qualitätssicherung und betriebliche Eigenkontrollen • führt betriebsinterne Schulungen durch in Bezug auf Hygiene und die Einhaltung lebensmittelrechtlicher Anforderungen
Wissenschaft und Forschung	
Forschung	• Untersuchung von Veränderungen in Lebensmitteln und Lebensmittelinhaltsstoffen bei der Lagerung, Zubereitung und Verarbeitung (einschließlich Zusatzstoffe und Verpackungsmaterialien) • Entwicklung von Methoden zur Überprüfung der Zusammensetzung in Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen unter dem Aspekt der Feststellung von Irreführung und Täuschung • Entwicklung von Methoden zur Überprüfung von Kontamination und Rückständen in Lebensmitteln
Wissenschaft	• Vermittlung von verschiedenstem Fachwissen an Studierende der Lebensmittelchemie und ähnlicher Disziplinen, einschließlich analytischer Methoden • Durchführung von Abschlussprüfungen • Betreuung von wissenschaftlichen Abschlussarbeiten

Tätigkeitsfeld	Aufgaben
Freiberufler	• Untersuchung und Beurteilung von Lebensmitteln, Futtermitteln, kosmetischen Mitteln, Bedarfsgegenständen und Tabakerzeugnissen • Entwicklung und Optimierung von Analytikmethoden • Beratungsfunktion für Hersteller und die allgemeine Qualitätssicherung • Untersuchung und Beurteilung von amtlichen Gegenproben nach § 43 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) • Mitwirkung in Gremien, Ausschüssen und Verbänden

2.5 Bezüge zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik in den Kerncurricula Chemie und Biologie in Niedersachsen

In diesem Kapitel soll ein Überblick gegeben werden, welche Bezüge zur Lebensmittelchemie und damit verbunden der instrumentellen Analytik in den niedersächsischen Kerncurricula der Unterrichtsfächer Chemie und Biologie für das Gymnasium zu finden sind. Dazu werden die Kerncurricula für die Jahrgangsstufen 5 – 10 in der aktuellen Fassung aus dem Jahr 2015 herangezogen, ebenso wie die aktuellen Kerncurricula für die gymnasiale Oberstufe in den aktuellen Fassungen aus dem Jahr 2017.

2.5.1 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Im niedersächsischen Kerncurriculum der gymnasialen Sekundarstufe I für das Unterrichtsfach Chemie werden die Begriffe Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik nicht spezifisch genannt. Es wird jedoch eine Unterkategorie der instrumentellen Analytik, die Chromatographie, in der Jahrgangsstufe 5/6 im Basiskonzept Stoff-Teilchen namentlich genannt: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Trennverfahren Filtration, Sedimentation, Destillation und Chromatographie mithilfe ihrer Kenntnisse über Stoffeigenschaften“ [Achtermann et al., 2015, S. 52]. Da es sich in der Jahrgangstufe 5/6 um den chemischen Anfangsunterricht handelt, könnten an der Stelle dünnschichtchromatographische Trennungen durchgeführt werden, beispielsweise mithilfe von gefärbten Lebensmitteln.

Neben der direkten Formulierung der Chromatographie als Teil der instrumentellen Analytik, sind im Kerncurriculum einige indirekte Anknüpfungsmöglichkeiten für die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zu finden. Diese werden nachfolgend aufgelistet:

- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 5/6: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt.“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]
- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 5/6: „Die Schülerinnen und Schüler schließen aus den Eigenschaften ausgewählter Stoffe auf ihre Verwendungsmöglichkeiten.“ [Achtermann et al., 2015, S. 52]
- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 5/6: „Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden zwischen Reinstoffen und Stoffgemischen.“ [Achtermann et al., 2015, S. 52]
- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 9/10: „Die Schülerinnen und Schüler bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen.“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]
- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 9/10: „Die Schülerinnen und Schüler prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit.“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]
- Basiskonzept Stoff-Teilchen im Doppeljahrgang 9/10: „Die Schülerinnen und Schüler erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemikern.“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]
- Anregung für Unterrichtsthemen: Ernährung und Gesundheit [Achtermann et al., 2015, S. 65]
- Anregung für Unterrichtsthemen: Chemie im Haushalt [Achtermann et al., 2015, S. 65]

Auffällig ist, dass im Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I indirekte Anknüpfungspunkte im Bereich der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik nur im Anfangsunterricht (Doppeljahrgang 5/6) und kurz vor dem Wechsel in die Sekundarstufe II (Doppeljahrgang 9/10) zu finden sind. Neben Alltagsbezügen im Anfangsunterricht, wo sich die Lebensmittel besonders gut eignen, können im Doppeljahrgang 9/10 Anknüpfungspunkte im Bereich der Lebensmittelinhaltsstoffe und der Berufsorientierung gefunden werden.

2.5.2 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Im niedersächsischen Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe (Sekundarstufe II) für das Unterrichtsfach Chemie wird die Lebensmittelchemie als solche nicht explizit genannt. Als Unterkategorie der instrumentellen Analytik, wird die Gaschromatographie hingegen im Kerncurriculum direkt thematisiert. So werden in der Einführungsphase im Basiskonzept Struktur-Eigenschaft im Bereich der Fachkenntnisse und der Fachmethoden folgende Bezüge direkt gefordert:

- „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben das Prinzip der Gaschromatographie.“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
- „Die Schülerinnen und Schüler erklären das Funktionsprinzip der Gaschromatographie anhand von zwischenmolekularen Wechselwirkungen.“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
- „Die Schülerinnen und Schüler nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen.“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]

Die Thematisierung der Gaschromatographie wird auch in der Qualifikationsphase im Basiskonzept Struktur-Eigenschaft im Bereich der Reflexion direkt, wie folgt, gefordert:

- „Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Bedeutung der Gaschromatographie in der Analytik.“ [Achtermann et al., 2017, S. 26]
- „Die Schülerinnen und Schüler nutzen Gaschromatogramme zur Identifizierung von Reaktionsprodukten.“ [Achtermann et al., 2017, S. 26]

Neben der direkten Formulierung der Gaschromatographie als Teil der instrumentellen Analytik, sind im Kerncurriculum einige indirekte Anknüpfungsmöglichkeiten für die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zu finden. Diese werden nachfolgend aufgezählt:

- Basiskonzept „Stoff-Teilchen“ in der Einführungsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt.“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
- Basiskonzept „Struktur-Eigenschaft“ in der Einführungsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt.“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]

- Basiskonzept „Stoff-Teilchen“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten.“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
- Basiskonzept „Stoff-Teilchen“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag.“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
- Basiskonzept „Stoff-Teilchen“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erörtern und bewerten Verfahren zur Nutzung und Verarbeitung ausgewählter Naturstoffe vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen.“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
- Anregung für Unterrichtsthemen in der Einführungsphase: Chemie im Alltag [Achtermann et al., 2017, S. 46]
- Anregung für Unterrichtsthemen in der Qualifikationsphase: Chemie und Ernährung [Achtermann et al., 2017, S. 47]
- Anregung für Unterrichtsthemen in der Qualifikationsphase: Chemie und Medizin [Achtermann et al., 2017, S. 47]
- Anregung für Unterrichtsthemen in der Qualifikationsphase: Chemie im Alltag [Achtermann et al., 2017, S. 47]

Somit gibt es sowohl in der Einführungs- als auch der Qualifikationsphase einige Anknüpfungspunkte, um die Lebensmittelchemie und auch weitere Bereiche der instrumentellen Analytik neben der Gaschromatographie in der gymnasialen Oberstufe zu thematisieren. Von zentraler Bedeutung sind auch in der Oberstufe die Verbindungen zur Lebenswelt der Schüler:innen, die Betrachtung von Inhaltsstoffen, Themen der Umwelt, sowie die Berufsorientierung.

2.5.3 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I

Im niedersächsischen Kerncurriculum der gymnasialen Sekundarstufe I für das Unterrichtsfach Biologie werden die Begriffe Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik nicht spezifisch genannt. Es wird jedoch eine Unterkategorie der instrumentellen Analytik, die Chromatographie, im Doppeljahrgang 5/6 in den Fachinhalten der Naturwissenschaften direkt genannt, die sich für eine Fächerverbindung mit dem Unterrichtsfach Chemie eignen: „Trennverfahren, auch Chromatographie“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]. Somit können im Anfangsunterricht

dünnschichtchromatographische Untersuchungen durchgeführt werden. Hierfür eignen sich vor allem gefärbte Lebensmittel, damit die Trennung direkt nachverfolgt werden kann.

Neben der direkten Formulierung der Chromatographie als Teil der instrumentellen Analytik, sind im Kerncurriculum einige indirekte Anknüpfungsmöglichkeiten für die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zu finden. Diese werden nachfolgend aufgelistet:

- Kompetenzbereich „Stoff- und Energieumwandlung“ am Ende von Jahrgang 6: „Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Aufnahme von energiereicher Nahrung als Voraussetzung für Lebensvorgänge wie Bewegung und Aufrechterhaltung der Körpertemperatur.“ [Jaeger et al., 2015, S. 84]
- Kompetenzbereich „Stoff- und Energieumwandlung“ am Ende von Jahrgang 8: „Die Schülerinnen und Schüler erläutern die biologische Bedeutung von Verdauung als Prozess, bei dem Nährstoffe zu resorbierbaren Stoffen abgebaut werden.“ [Jaeger et al., 2015, S. 84]
- Anregung für Themenfolgen im Doppeljahrgang 7/8: „Leben braucht Energie (Ernährung, Verdauung, Zellatmung).“ [Jaeger et al., 2015, S. 95]
- Anregung für Themenfolgen im Doppeljahrgang 9/10: „Sinne erschließen uns die Umwelt.“ [Jaeger et al., 2015, S. 95]
- Anregung für Fachinhalte der Naturwissenschaften im Doppeljahrgang 5/6, die sich für eine Fächerverbindung eignen: „energiereiche Nahrung.“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]

Demnach eignet sich die Lebensmittelchemie auch als Unterrichtsinhalt im Fach Biologie der Sekundarstufe I, vor allem im Bereich der Ernährung.

2.5.4 Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Im niedersächsischen Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe (Sekundarstufe II) für das Unterrichtsfach Biologie wird die Lebensmittelchemie als solche nicht direkt genannt. Als Unterkategorie der instrumentellen Analytik, wird die Dünnschichtchromatographie hingegen im Kerncurriculum direkt thematisiert. So wird in der Qualifikationsphase im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung folgender Bezug zur Dünnschichtchromatographie direkt gefordert: „Die Schülerinnen und Schüler führen eine Dünnschichtchromatographie durch und werten das Chromatogramm aus.“ [Emmler et al., 2017, S. 26].

Neben der direkten Formulierung der Dünnschichtchromatographie als Teil der instrumentellen Analytik, sind im Kerncurriculum ebenfalls indirekte Anknüpfungsmöglichkeiten für

die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zu finden. Diese werden nachfolgend aufgezählt:

- Kompetenzbereich „Struktur und Funktion“ in der Einführungsphase: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben den Bau und die wesentlichen Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle (Lipide, Proteine, Nucleinsäuren).“ [Emmler et al., 2017, S. 22]
- Kompetenzbereich „Struktur und Funktion“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erläutern Struktur-Funktionsbeziehungen auf der Ebene von Molekülen modellhaft (Enzyme, Rezeptormoleküle […]).“ [Emmler et al., 2017, S. 30]
- Kompetenzbereich „Stoff- und Energieumwandlung“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Bereitstellung von Energie unter Bezug auf die vier Teilschritte der Zellatmung.“ [Emmler et al., 2017, S. 33]
- Kompetenzbereich „Information und Kommunikation“ in der Qualifikationsphase: „Die Schülerinnen und Schüler erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn […]).“ [Emmler et al., 2017, S. 34]

Anhand der Anknüpfungspunkte, die im Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II zu finden sind, kann die Lebensmittelchemie thematisiert werden. Ein geeigneter Bereich stellt die Lehre der Ernährung dar, wo neben Lebensmittelinhaltsstoffen vor allem auch sensorische Aspekte behandelt werden können, sodass den Schüler:innen dargestellt werden kann, wie Gerüche über entsprechende Rezeptorsysteme wahrgenommen werden können.

3 Relevanz der Lebensmittelchemie im Kontext Schule

Der Vermittlungsprozess der Lehrkraft an die Schüler:innen stellt einen zentralen Aspekt des schulischen Chemieunterrichts dar und ist gleichzeitig eines der größten Problematiken. Gerade die Chemie zeigt sich als große Herausforderung, weil die ablaufenden Prozesse und Phänomene für die Schüler:innen teilweise nicht sichtbar und erfahrbar sind. Daher ist es nach Mahaffy (2006) wichtig Symbole, Modelle und Metaphern einzusetzen, um den Schüler:innen die entsprechenden Sachverhalte zu vermitteln. So können durch den Einsatz von Symbolen den Schüler:innen Konzepte nähergebracht werden, einerseits in Bezug auf chemische Sachverhalte wie Moleküle, Strukturformeln und ablaufende chemische Reaktionen. Anderseits dienen die Symbole auch als Fingerzeig dafür, inwieweit Chemie die Schüler:innen selbst umgibt und welche Bedeutung sie auf die Umwelt ausübt. Demnach sollten Lehrkräfte auf Symbole in Form von Metaphern zurückgreifen. Durch den Einsatz von Metaphern, die bestimmte Werte beschreiben und Ansätze für den Chemieunterricht bieten können, soll den Schüler:innen der Zusammenhang zwischen dem Menschen und der Chemie, anderer Wissenschaften und der Technik erläutert werden. Mithilfe der Metaphern kann somit aufgezeigt werden, wie Schüler:innen Chemie lernen [Mahaffy, 2006].

Eine wichtige Metapher, um die Hürde der Vermittlungsproblematik zu überwinden, stellt das Johnstone´sche Dreieck (Abbildung 3-1) dar. Das Johnstone´sche Dreieck beschreibt, dass die Schüler:innen der Chemie auf drei Denkebenen begegnen sollten, damit sie ein umfangreiches Verständnis in Bezug auf chemische Substanzen und ablaufende chemische Reaktionen erhalten können [Mahaffy, 2006].

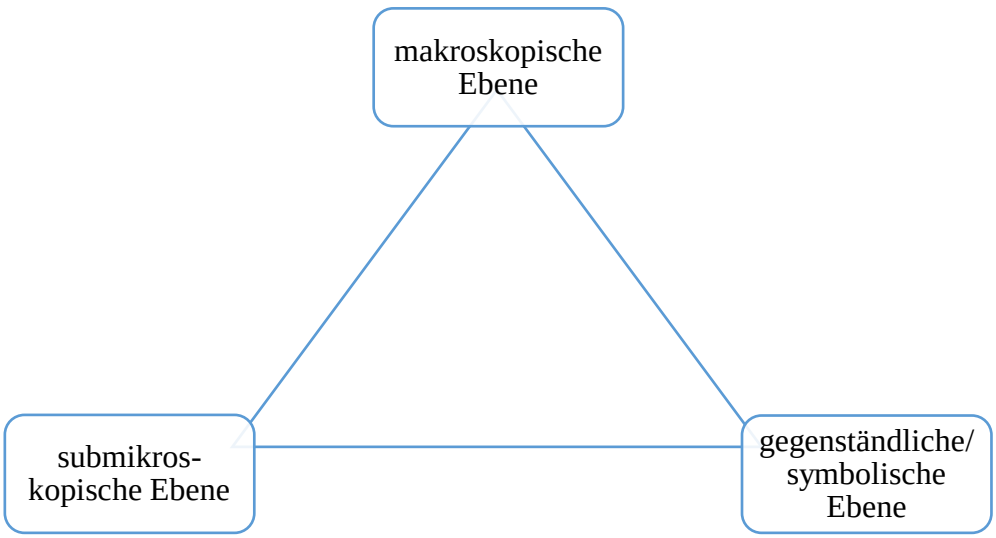


Abbildung 3-1 Chemisches Dreieck nach Johnstone [eigene Darstellung nach Barke et al., 2018, S. 253]

Die drei Ebene, die im Johnstone´schen Dreieck beschrieben werden, sind die makroskopische, die submikroskopische und die gegenständliche/symbolische Ebene. Die makroskopische Ebene umfasst dabei alles, was für die Schüler:innen greifbar und sichtbar ist sowie alles, was im Labor praktisch durchgeführt wird [Mahaffy, 2006]. Dazu gehört alles, was die Schüler:innen sehen, fühlen und riechen können [Barke, 2006, S. 253]. Die submikroskopische Ebene beschäftigt sich hingegen mit den chemischen Teilchen (Atome, Moleküle und Ionen) und Strukturen, die mit dem menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden können. Somit müssen entsprechende Phänomene sichtbar gemacht werden, beispielsweise durch Computeranimationen, Simulationen oder Modellen. Die dritte Ebene stellt die gegenständliche/symbolische Ebene dar, in der alle chemischen Strukturen und Modelle zur Darstellung beschrieben werden. Dazu gehören Summenformeln, Berechnungsformeln, Stöchiometrie, Reaktionsgleichungen, sowie Graphiken und Tabellen, die herangezogen werden können, um chemische Inhalte verkürzt darzustellen [Barke et al., 2018, S. 253]. Nach Johnstone (2000) ist es für die Schüler:innen jedoch schwer möglich, alle drei Ebenen des Dreiecks auf einmal zu erfassen, sodass die Schüler:innen auf verschiedenen Wegen an die Chemie herangeführt werden müssen, um ein Verständnis für chemische Substanzen und ablaufende Reaktionen zu bekommen. Um die Aufmerksamkeit der Schüler:innen besser zu erlangen, sollten die Themen des schulischen Chemieunterrichts auf das Interesse der Schüler:innen abzielen. Demnach sollte nach Mahaffy (2006) das menschliche Element mehr in den Fokus des schulischen Chemieunterricht rücken. Mahaffy (2006) erweitert das chemische Dreieck nach Johnstone (2000) um den menschlichen Kontext als vierten Eckpunkt, sodass zum Erlernen von Chemie das Modell des Tetraeders (Abbildung 3-2) herangezogen wird.

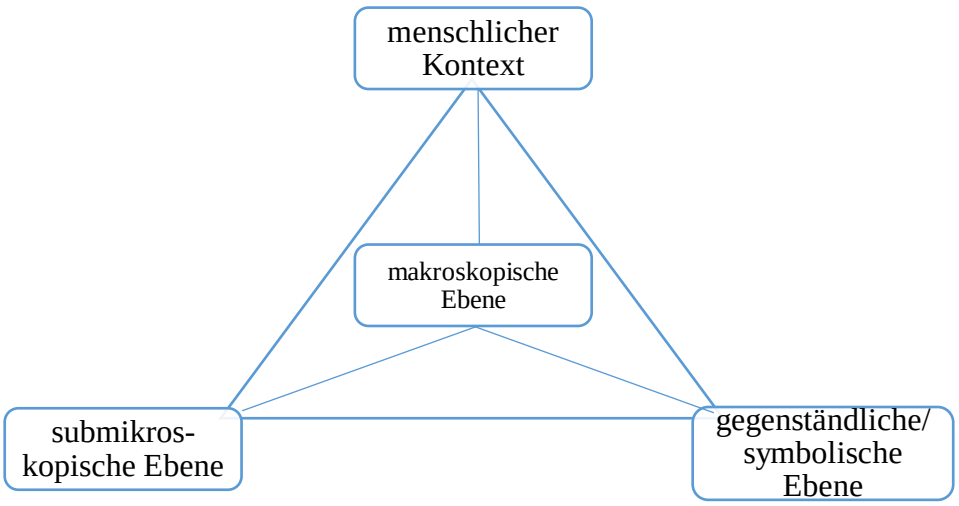


Abbildung 3-2 Tetraedrische Modell zum Erlernen von Chemie [eigene Darstellung nach Mahaffy, 2006]

Das tetraedrische Modell beschreibt, wie wichtig es ist, die makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene mit der Lebenswelt der Schüler:innen in Verbindung zu setzen. Wichtig ist dabei, dass die Schüler:innen verstehen, warum es wichtig ist, Wissen über bestimmte Themenbereiche vermittelt zu bekommen und inwieweit es sie im Leben weiterbringt [Mahaffy, 2006]. Demnach eignen sich die Lebensmittel besonders gut als menschlicher Kontext. Alle Schüler:innen haben täglichen Kontakt zu Lebensmittel, da diese die Grundlage der menschlichen Ernährung darstellen. Somit ist es möglich den schulischen Chemieunterricht mit dem täglichen Leben der Schüler:innen zu verbinden.

Das tetraedrische Modell ist nicht auf Schüler:innen beschränkt, sondern trifft auch auf Lehramtsstudierende zu. Durch die verschiedenen Denkebenen sollen die Studierenden Hilfe bekommen, eigene Entscheidungen zu treffen und ihr Handeln zu reflektieren. Bereiche, die sich zur Thematisierung anbieten, sind neben Energie und Klimawandel, vor allem Lebensmittel und deren Zusatzstoffe sowie ökologisch erzeugte Produkte [Mahaffy, 2006]. Die Studierenden können das vermittelte Wissen mit ihren bereits vorhandenen Erfahrungen in Beziehung setzen, sodass sie hinterfragen, welche Lebensmittel sie häufig konsumieren und welche Inhaltsstoffe, natürlich oder künstlich zugesetzt, enthalten sind. Zudem können die Studierenden Informationen zum Unterschied zwischen ökologisch und konventionell angebauten Produkten bekommen, wodurch mündige Verbraucher hervorgebracht werden. Somit erhalten sie ein grundlegendes Verständnis über chemische Begriffe und Kontexte, sodass diese zur Entscheidung und Reflexion des eigenen Handelns herangezogen werden können [Mahaffy, 2006]. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Studierenden zwischen Nutzen und potenziellen Schäden, die daraus resultieren können, abwägen können. Als Beispiele wären hier gesundheitliche Aspekte, aber auch ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zu nennen.

Denn erst, wenn auch die zukünftigen Lehrkräfte im Lehramtsstudium ein umfassendes Verständnis für die einzelnen Bereiche der Chemie bekommen, wie beispielsweise die Chemie der Lebensmittel, können sie es in der Schulen einbringen und ihr Wissen an die Schüler:innen übertragen. Somit ist es von zentraler Bedeutung, dass die Vermittlung im Studium ebenfalls auf den vier Denkebenen nach Mahaffy (2006) erfolgt.

3.1 Aufarbeitung von Unterrichtsinhalten im schulischen Chemieunterricht

Mit der Frage, ob sich ein Unterrichtsthema für den schulischen Chemieunterricht eignet und welche Bedeutung die Themen für das eigene Denken und Handeln der Schüler:innen und deren Leben mit sich bringt, beschäftigt sich der Bildungstheoretiker Wolfgang Klafki. Nach Klafki (2007) setzt sich der Bedeutungsbegriff für die Begründung der Lehr- und Lerninhalte aus vier zentralen Bereichen zusammen (Abbildung 3-3): Begründungszusammenhang (Gegenwartsbedeutung, Zukunftsbedeutung und exemplarische Bedeutung), thematische Strukturierung, Zugangs- und Darstellungsmöglichkeiten, sowie die methodische Strukturierung. Aus diesen vier Bereichen leitet Klafki sieben Grundfragen ab, die in der didaktischen Analyse für ein entsprechendes Unterrichtskonzept herangezogen werden können. Die ersten drei Fragen der didaktischen Analyse beschäftigen sich mit der Gegenwartsbedeutung, der Zukunftsbedeutung und der exemplarischen Bedeutung. Dieser Bereich zielt auf die Begründbarkeit eines Themas ab. Demnach sollte die Lehrkraft prüfen, inwieweit eine Unterrichtseinheit oder ein Projekt eines ausgewählten Themas dazu beitragen kann, allgemeine Lernziele der Schüler:innen zu erreichen. Die vierte und fünfte Hauptfrage zielt hingegen auf die Begründung der Zusammenhänge ab. So steht in Frage vier die Strukturierung des Unterrichts und damit erreichbare Teillernziele im Vordergrund, wohingegen die fünfte Hauptfrage sich damit beschäftigt, woran erkannt werden kann, dass der Lernprozess bei den Schüler:innen erfolgreich war. Die sechste Grundfrage dient der Bestimmung der Zugangs- und Darstellungsmöglichkeit eines entsprechenden Themas. Demnach müssen die Lehrkräfte Überlegungen anstellen, wie das Thema bei den Schüler:innen Interesse wecken kann und mithilfe welcher Medien, Gerätschaften und Versuche das Thema umgesetzt werden kann. Im letzten Schritt, der siebten Grundfrage, soll die Abfolge des Themas in einen Lehr-Lern-Prozess überführt werden. Lehrkräfte können ihren Unterricht anhand dieser sieben Grundfragen planen, wobei nicht immer alle Grundfragen mit aufgegriffen werden müssen [Klafki, 2007, S. 270 f.].

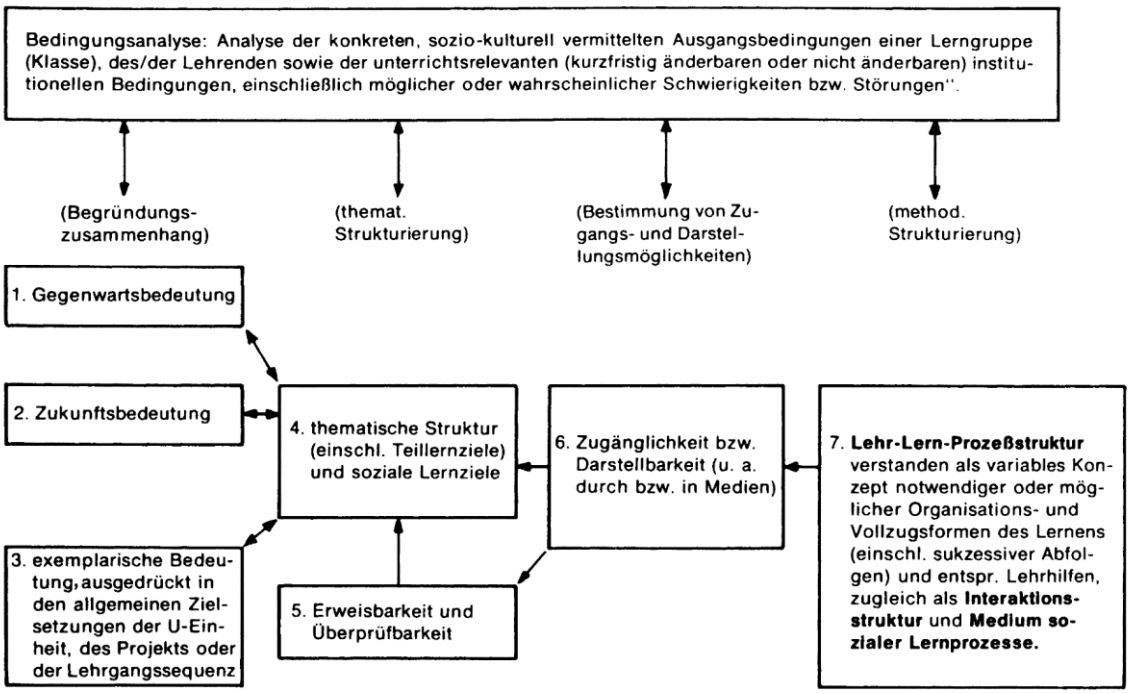


Abbildung 3-3 Schema zur Unterrichtsplanung [Klafki, 2007, S. 272]

3.1.1 Didaktische Grundfrage 1 – Gegenwartsbedeutung

Der schulische Chemieunterricht hat einerseits die Aufgabe den Schüler:innen Fachwissen zu vermitteln und andererseits den Schüler:innen die Möglichkeit zu bieten, in ihrer jetzigen Lebensphase eigenständig zu denken, zu urteilen und zu handeln. Somit sollen ausgewählte Themenbereiche in Zusammenhang mit dem täglichen Leben der Schüler:innen stehen. Dabei ist zu überlegen, welche Themen Kinder und Jugendliche in der Gegenwart beschäftigen. Dies kann einige Bereiche umfassen, beispielsweise Interessen der Schüler:innen, aber auch Werbeaussagen oder Vorurteile. Daneben können Themen durch gegenwärtige ökologische, ökonomische, konfessionelle und soziale Aspekte geprägt sein [Klafki, 2007, S. 273].

Die Aufgabe der Lehrkraft ist es dabei zu hinterfragen, welche Bedeutung ein entsprechendes Thema gegenwärtig für die Schüler:innen hat. Zudem sollte betrachtet werden, was die Schüler:innen bereits anwenden können, über das Thema wissen, welche Fähigkeiten sie haben und wo sie das Wissen gegenwärtig anwenden können. Dabei ist zu erläutern, ob das Thema möglicherweise durch Fragen der Schüler:innen angeregt worden ist oder ob das Thema den Schüler:innen noch unbekannt ist [Klafki, 2007, S. 273].

3.1.2 Didaktische Grundfrage 2 – Zukunftsbedeutung

Die Vermittlungsaufgabe des schulischen Chemieunterrichts beschränkt sich jedoch nicht nur auf die gegenwärtige Lebensphase. Die Schüler:innen sollen durch den Chemieunterricht in

ihrem Entwicklungsprozess unterstützt werden, sodass die behandelten Themen auch Einfluss auf ihr zukünftiges denken, urteilen und handeln zeigen. Dabei sollte die Zukunftsbedeutung aus der Perspektive der Schüler:innen und der Lehrkräfte betrachtet werden. Durch wissenschaftliche Erkenntnisse können die Perspektiven möglicherweise verändert werden, sodass sowohl bei den Schüler:innen als auch bei den Lehrkräften durch die neuen Erkenntnisse veränderte Handlungsmöglichkeiten resultieren [Klafki, 2007, S. 273].

Die Lehrkraft muss hinterfragen, welche zukünftige Bedeutung das gewählte Thema für die Schüler:innen mit sich bringt, sowohl auf privater als auch auf beruflicher Ebene. Dabei ist zu überlegen, ob das Thema zukünftig noch von Bedeutung ist oder nur in der jetzigen Lebensphase. Somit sollte überlegt werden, ob die ausgewählten Unterrichtsinhalte dazu beitragen, den Schüler:innen Eigenverantwortung zu vermitteln und aus ihnen mündige junge Menschen hervorzubringen [Klafki, 2007, S. 273 f.].

3.1.3 Didaktische Grundfrage 3 – Exemplarische Bedeutung

Die exemplarische Bedeutung steht im engen Zusammenhang mit der Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung. Zusammen bilden sie die Grundlage für die didaktische Begründung von Unterrichtsinhalten des Faches Chemie. Aus den angestrebten Lernzielen resultieren für die Schüler:innen Zusammenhänge, Gesetzmäßigkeiten und Handlungsmöglichkeiten. Demnach soll das zentrale Ziel erreicht werden, mündige, selbstbestimmende und handlungsfähige junge Menschen hervorzubringen [Klafki, 2007, S. 275].

Um die Lernziele zu erreichen, werden vier verschiedene Lernebenen betrachtet. Die erste Lernebene, welche die allgemeinen Lernziele betrachtet, hat einerseits das Ziel, den Prozess der gesellschaftlichen Erziehung voranzutreiben und anderseits das Erlernen der Zusammenhänge zwischen den gesellschaftlichen und politischen Aspekten zu ermöglichen. Durch die zweite Lernebene sollen die Schüler:innen die Fähigkeiten erhalten, Kritik zu äußern, aber auch selbst kritikfähig zu sein. Daneben sollen Schüler:innen lernen zu kommunizieren, indem sie ihre Standpunkte vertreten, wobei sie sich aber auch auf die Ansichten anderer einlassen sollen und damit ihre Ansichten reflektieren. Durch die dritte Lernebene, der bereichsspezifischen Konkretisierung, sollen Schüler:innen verschiedene Problematiken und Beziehungen dazwischen betrachten, wobei sich diese nicht nur auf den schulischen Chemieunterricht beschränken müssen, sondern auch übergreifend auf andere Unterrichtsfächer und das eigene Leben. Dazu gehören die Naturwissenschaften im Allgemeinen, aber auch die Aspekte der Technik und der Politik sowie gesellschaftliche Bereiche. Die vierte und letzte Ebene zielt auf die Bestimmung von Lernzielen in den einzelnen Unterrichtsfächern und dessen Übergriffe ab, mit der Frage,

welche Lernziele ein entsprechendes Thema verfolgt und wie das Thema darauf abzielend erschlossen werden sollte [Klafki, 2007, S. 276 f.].

Demnach muss die Lehrkraft bei der Vorbereitung des Unterrichts hinterfragen, welche allgemeinen Sachverhalte mit einem entsprechenden Thema angesprochen werden können, ob allgemeine Problematiken durch die Unterrichtseinheit thematisiert werden und inwieweit allgemeine Prinzipien, Techniken und Haltungen der Schüler:innen sich mit dem Thema erkennen lassen. Es stellt sich die Frage, welche Probleme, Gesetzmäßigkeiten und Handlungen sich für die Schüler:innen aus der Thematik ableiten lassen und wie die Schüler:innen in der Unterrichtseinheit darauf stoßen können. Zudem ist es wichtig aufzuarbeiten, ob das entsprechende Thema nur für die Lehrkraft oder auch für die Schüler:innen von zentraler Bedeutung ist [Klafki, 2007, S. 277 f.].

3.1.4 Didaktische Grundfrage 4 – Thematische Strukturierung

Im Bereich der thematischen Strukturierung ist es wichtig Teillernziele zu verfassen und die Schüler:innen somit schrittweise zum Ziel zu bringen. Dabei sollte die Lehrkraft aufarbeiten unter welchen Perspektiven ein Thema betrachtet werden soll, in welchem Zusammenhang die Perspektiven zueinanderstehen und welche curricularen Voraussetzungen für das Thema sowie die dafür eingesetzten Verfahren und Prozesse gelten, die die Schüler:innen bereits erlernt haben sollen. Demnach ist es wichtig, dass die Lehrkraft hinterfragt, welche Themen bereits vorausgegangen sind und welche Fragen und Anknüpfungspunkte sich an die Unterrichtstunde oder -einheit anschließen lassen. Zudem sollte überlegt werden, warum die Unterrichtseinheit thematisch so strukturiert ist, wie sie ist, oder ob es besser wäre, das Thema anders aufzuarbeiten [Klafki, 2007, S. 279 f.].

3.1.5 Didaktische Grundfrage 5 – Erweisbarkeit und Überprüfbarkeit

Die fünfte didaktische Grundfrage beschäftigt sich mit dem Nachweis von der Wissenserlernung der Schüler:innen sowie der Auseinandersetzung mit der Thematik. Dabei sollte die Lehrkraft aufarbeiten, woran erkannt werden kann, ob die Schüler:innen ein Lernziel oder ein Teillernziel erreicht haben, sodass der Lernprozess als erfolgreich angesehen werden kann. Zudem muss hinterfragt werden, welche Handlungsmöglichkeiten aus den neu erworbenen Erkenntnissen bei den Schüler:innen resultieren, um Aspekte bestimmter Thematiken selbst beurteilen zu können [Klafki, 2007, S. 280 f.].

3.1.6 Didaktische Grundfrage 6 – Zugänglichkeit/Darstellungsmöglichkeiten

Durch die sechste didaktische Grundfrage wird die Zugänglichkeit eines Themas für die Schüler:innen und deren Darstellbarkeit thematisiert. Hier sollte die Lehrkraft aufarbeiten, wie sie ein Thema für Kinder oder Jugendliche interessant gestalten kann, sodass sie die Thematik verstehen oder auch Fragen dazu stellen können. Um den Schüler:innen eine Thematik geeignet zugänglich machen zu können, sind beispielsweise Spiele, Medien in Form von Bildern, Filmen und Modellen, sowie das praktische Durchführen von Versuchen von zentraler Bedeutung [Klafki, 2007, S. 282].

3.1.7 Didaktische Grundfrage 7 – Methodische Strukturierung als Lehr-Lern-Prozess

Die siebte und damit letzte didaktische Grundfrage beschäftigt sich mit der Strukturierung der anzuwendenden Methoden und des gesamten Lehr-Lern-Prozessen. Hier sollte die Lehrkraft überlegen, wie der Lehr-Lern-Prozess ablaufen kann, welche Hilfestellungen sie geben sollte, damit die Lernziele erreicht werden können und damit die jungen Menschen in der Lage sind, selbst zu denken, zu urteilen und zu handeln [Klafki, 2007, S. 283 f.].

3.2 Lebensmittelchemie als Beispiel für den Unterrichtsinhalt im schulischen Chemieunterricht

Ob ein Unterrichtsinhalt für den schulischen Chemieunterricht geeignet ist, kann nach Klafki (2007) anhand von sieben Leitfragen bestimmt werden (Kapitel 3.1). Dies soll nachfolgend am Beispiel der Lebensmittelchemie betrachtet werden.

3.2.1 Didaktische Grundfrage 1 – Gegenwartsbedeutung: Welche Bedeutung hat das Thema Lebensmittelchemie im gegenwärtigen Leben der Schüler:innen?

Als erstes ist dort der Punkt der Ernährung zu nennen. Lebensmittel stellen die Grundlage der menschlichen Ernährung dar, sodass alle Schüler:innen täglich Lebensmittel zu sich nehmen. Dadurch liegt gleichzeitig ein hoher Alltagsbezug für die Schüler:innen vor. So kommen die Schüler:innen auch in der Schule mit Lebensmitteln in Berührung, wenn sie beispielsweise vormittags in den Pausen frühstücken oder mittags in der Schulmensa essen. Zudem kommen die Schüler:innen durch Medien und Werbung immer wieder mit Lebensmitteln in Berührung, beispielsweise werden viele Lebensmittel im Fernsehen in der Werbung angepriesen, die dann beim Einkaufen wieder wahrgenommen werden können. Weiterhin ist der gesundheitliche Aspekt zu betrachten, sodass gesundheitliche Probleme auch durch die Ernährung ausgelöst

werden können, wie beispielsweise Übergewicht. Des Weiteren kann durch die zunehmende Veränderung der Ernährung zu einem fleischlosen Ernährungstrend die Thematik diskutiert werden, da dies möglicherweise für einige Schüler:innen relevant und alltäglich ist.

3.2.2 Didaktische Grundfrage 2 – Zukunftsbedeutung: Welche Bedeutung hat das Thema Lebensmittelchemie für die Zukunft der Schüler:innen?

Die Betrachtung der Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht soll die Schüler:innen schulen, ein eigenes Bewusstsein für ihren Körper zu bekommen und Verantwortung für sich selbst und andere zu übernehmen. Durch die Betrachtung der Lebensmittelchemie können die Schüler:innen erfahren, welche Langzeitfolgen durch eine dauerhaft ungesunde Ernährung, beispielsweise durch einen hohen Konsum an gesättigten Fettensäuren und gesüßten Getränken sowie einer vitaminarmen Ernährung, für den eigenen Körper daraus resultieren können. Dabei sind vor allem Übergewicht, Bluthochdruck und Diabetes mellitus Typ 2 zu nennen. Um die Ernährungsqualität der Schüler:innen positiv zu beeinflussen, sollte das Thema der Lebensmittelchemie und damit verbunden verschiedene Lebensmittelinhaltsstoffe betrachtet werden. Daneben soll das Verantwortungsbewusstsein der Schüler:innen dahingehend gestärkt werden, dass sie im Erwachsenenalter Lebensmittel bewusst beim Einkaufen auswählen, um auch die eigene Familie vor hochprävalenten Krankheiten zu schützen.

Zudem sollen die Schüler:innen durch gegenwärtiges Fehlverhalten entsprechende Folgen aufgezeigt bekommen. Neben den gesundheitlichen Aspekten sind dies auch ökologische und ökonomische Aspekte sowie eine fleischlose Ernährung, die thematisiert werden sollten. So kann durch eine lakto-vegetabile Ernährung beispielsweise der Ausstoß an Kohlenstoffdioxid reduziert werden, ebenso wie die Massentierhaltung. Zudem nimmt durch ökologisch erzeugte Lebensmittel der Primärenergieverbrauch ab, denn einerseits können die pflanzlichen Lebensmittel als Futtermittel für die Tiere herangezogen werden und andererseits bietet es sich an, den Mist und die Gülle als Dünger für die Pflanzen einzusetzen. Daraus resultiert wiederum ein niedrigerer Verbrauch an Rohstoffen und die Belastung mit chemischen Substanzen, wie beispielsweise mit Nitraten und Pestiziden, würde abnehmen. Dem hinzu kommt eine bessere Fruchtbarkeit der Böden und eine artgerechte Tierhaltung. Eine weitere wichtige Zukunftsbedeutung liegt auf dem Verpackungsmaterial von Lebensmitteln, denn die Verpackungen von Lebensmitteln nehmen etwa die Hälfte des Gesamtvolumens des Hausmülls ein. Daher sollten in der Gegenwart bereits die Lebensmittel, wie beispielsweise Obst und Gemüse, unverpackt eingekauft werden, um die Folgen für die Zukunft möglichst gering zu halten [Mauckner, 2013].

3.2.3 Didaktische Grundfrage 3 – Exemplarische Bedeutung: Welche Prinzipien und Sachverhalte lassen sich mit dem Thema Lebensmittelchemie exemplarisch darstellen?

Die exemplarische Betrachtung der Lebensmittelchemie erfolgt dahingehend, dass die einzelnen Inhaltsstoffe von komplexeren Lebensmitteln aufgegriffen werden können. So kann beispielsweise der Vitamin C-Gehalt in verschiedenen Obst- und Gemüsesorten betrachtet werden. Es kann ein Vergleich zwischen den Obst- und Gemüsesorten allgemein betrachtet werden und zudem der Vergleich von konventionell und ökologisch angebauten Produkten durchgeführt werden. Dadurch lernen die Schüler:innen nicht nur die Inhaltsstoffe in verschiedenen gesunden Lebensmitteln kennen, sondern betrachten auch gleichzeitig den immer wichtiger werdenden ökologischen Aspekt. Wichtig ist dabei, dass Obst- und Gemüsesorten ausgewählt werden, die die Schüler:innen kennen, die aus ihrer Lebenswelt stammen und an denen man die Sachverhalte erschließen kann. Die ausgewählten Lebensmittel sollen dabei exemplarisch für viele weitere Lebensmittel stehen. Mithilfe des ökologischen Aspektes vom Vitamin C-Gehalt können auch andere wichtige Inhaltsstoffe anderer Lebensmittel betrachtet werden, sodass der Vitamin C-Gehalt als „Türöffner“ angesehen werden kann. Der tägliche Bedarf des Menschen an Vitamin C kann thematisiert werden, wodurch weitere Vitamine betrachtet werden können.
Die exemplarische Bedeutung kann anhand vieler verschiedener Lebensmittelinhaltsstoffe dargestellt werden und ist nicht nur auf das Vitamin C beschränkt.

3.2.4 Didaktische Grundfrage 4 – Thematische Strukturierung: Wie muss das Thema Lebensmittelchemie strukturiert werden, damit die Schüler:innen keine Verständnisprobleme haben?

Bei der Beantwortung der vierten didaktischen Grundfrage ist es wichtig, dass Verknüpfungen zwischen der Lebenswelt der Schüler:innen und der Lebensmittelchemie hergestellt werden. Dabei ist es wichtig, dass die einzelnen Bausteine, die betrachtet werden sollen, im Zusammenhang stehen und aufeinander aufbauen, damit immer an das Vorwissen der vorangegangenen Stunde angeknüpft werden kann. Es sollten alltägliche Lebensmittel verwendet werden, die einen Lebensweltbezug zu den Schüler:innen aufweisen. Die Schüler:innen sollen sich dabei erst einmal eigene Gedanken zu den einzelnen Lebensmitteln und deren Inhaltsstoffen machen, bevor die Lehrkraft die theoretische Aufklärung zu den Lebensmitteln übernimmt. Aufbauend auf die theoretische Betrachtung der Lebensmittel sollten Versuche durchgeführt werden, sodass die Schüler:innen sich nochmal selbst mit der Thematik Lebensmittelchemie

auseinandersetzen. Durch die Betrachtung einzelner Lebensmittelgruppen werden Teillernziele formuliert, da die Lebensmittelchemie als Ganzes von den Schüler:innen nicht erfasst werden kann.

3.2.5 Didaktische Grundfrage 5 – Erweisbarkeit und Überprüfbarkeit: Wie kann überprüft werden, ob die Schüler:innen die angestrebten Lernziele erfolgreich erreicht haben?

Eine Überprüfung der angestrebten Lernziele kann dahingehende überprüft werden, inwieweit sich die Perspektiven der Schüler:innen verändert haben, beispielsweise in Bezug auf gesundheitliche und ökologische Aspekte.

3.2.6 Didaktische Grundfrage 6 – Zugänglichkeit/Darstellungsmöglichkeiten: Welche Materialien und Versuche sind geeignet, um das Thema der Lebensmittelchemie für die Schüler:innen besonders interessant und anschaulich zu gestalten?

Im Bereich der Lebensmittelchemie ist hier besonders die Lebensmittelsensorik hervorzuheben, sodass die verschiedenen Lebensmittel sensorisch analysiert werden. Dazu gehören neben dem Sehen, Hören und Fühlen, vor allem der Geruch und der Geschmack. Die Lebensmittel können im Klassenraum, jedoch nicht im Chemieraum, verzehrt werden, sodass ein guter Zugang für den Themenbereich vorliegt. Durch den hohen Alltagsbezug stellt die Lebensmittelchemie ein interessantes Thema dar. Die Schüler:innen können mit alltäglichen Lebensmitteln Versuche durchführen, sodass vielen Schüler:innen möglicherweise auch die Angst vor der Chemie und dem Experimentieren genommen wird. Dadurch, dass Lebensmittel aus der Lebenswelt der Schüler:innen verwendet werden, können die Schüler:innen in Gruppen diskutieren und ihre Ergebnisse vorstellen, sodass auch die Kommunikationsfähigkeit gestärkt wird. Die Schüler:innen können ihre Standpunkte vertreten und gleichzeitig die Perspektiven anderer verstehen.

3.2.7 Didaktische Grundfrage 7 – Methodische Strukturierung als Lehr-Lern-Prozess: Welche Abfolge soll der Lehr-Lern-Prozess haben?

Die Strukturierung des Lehr-Lern-Prozesses sollte mit den theoretischen Grundlagen zu den einzelnen Lebensmittelgruppen, inklusive der Inhaltsstoffe, gesundheitlichen und ökologischen Aspekten, beginnen. Durch den anschließenden Praxisteil sollen die Schüler:innen ihr Wissen vertiefen und auf die entsprechenden Versuche anwenden.

Demnach kann festgehalten werden, dass sich das Thema Lebensmittelchemie durch die von Klafki (2007) formulierten didaktischen Grundfragen eignet, um als Unterrichtsinhalt eingesetzt zu werden. Die Begründung der Lehr- und Lerninhalte des Bildungstheoretikers Klafki steht im engen Zusammenhang mit der naturwissenschaftlichen Grundbildung, die den Schüler:innen im schulischen Chemieunterricht vermittelt werden soll. Gerade die Zukunftsbedeutung stellt dabei einen zentralen Aspekt dar, der die Schüler:innen unterstützen soll, zukünftig eigenständig denken, urteilen und handeln zu können [Klafki, 2007, S. 273]. Durch die Betrachtung der Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht kann bei den Schüler:innen ein Bewusstsein bezüglich des eigenen Handelns entwickelt werden, welches neben gesundheitlichen Folgen auch ökologische und ökonomische Folgen beinhaltet. Durch die Konfrontation, mit den möglichen Folgen für den Menschen und die Umwelt, kann das zukünftige Handeln der Schüler:innen möglicherweise positiv beeinflusst werden. Und genau das ist es, was unter dem Begriff Scientific Literacy bereits von der OECD (1999) beschrieben worden ist. Demnach sollen die Schüler:innen das vermittelte naturwissenschaftliche Wissen anwenden und Schlussfolgerungen aus dem neuen Wissen ziehen können, sodass sie als mündige Verbraucher eigene Entscheidungen treffen können.

4 Forschungsfragen

Aus den vorausgehenden Themenbereichen lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten. Dabei werden die Forschungsfragen in drei Teilbereiche nach fachlichem Inhalt, fachdidaktischem Inhalt sowie zum Thema Lehrkräftebildung eingeteilt.

4.1 Fachliche Forschungsfragen

1. Welches Vorwissen haben Chemie-Lehramtsstudierende über Lebensmittel, instrumentelle Analytikmethoden und rechtliche Grundlagen von Lebensmitteln?
    a. Welches Vorwissen stammt aus der Schulzeit?
    b. Welches Vorwissen stammt aus dem bisherigen Studium?

2. Was lernen Chemie-Lehramtsstudierende durch die theoretische und praktische Teilnahme am Seminar über Lebensmittel und instrumentelle Analytik?

4.2 Fachdidaktische Forschungsfragen

3. Warum setzen sich Chemie-Lehramtsstudierende mit der Thematik *Lebensmittelchemie in der* Schule auseinander?

4. Wie und warum ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird?
    a. Welche Thematiken in Bezug auf die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik sollten im schulischen Chemieunterricht verankert werden?
    b. In welcher Jahrgangsstufe sollte die Thematik mit den entsprechenden Experimenten angewendet werden?

5. Wie wichtig ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden?
    a. Wo sollte die Thematik verankert werden?

6. Wie sollte die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Experimente im schulischen Chemieunterricht, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchgeführt werden?

4.3 Forschungsfragen zur Lehrkräftebildung

7. Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung?
    a. Wie sollten die Themen Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik an angehende und bereits praktizierende Lehrkräfte vermittelt werden?

8. Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Zweitfachs?

9. Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Geschlechts?

5 Inhalte eines lebensmittelchemischen Seminars für Chemie-Lehramtsstudierende

Nach dem niedersächsischen Kultusministerium ist das Ziel des gymnasialen Chemieunterrichts der Sekundarstufe II, den Schüler:innen eine naturwissenschaftliche Grundbildung mit auf den Weg zu geben (Kapitel 1). Um dabei die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu erlangen, sollten möglichst Experimente mit Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen durchgeführt werden [Achtermann et al., 2017, S. 5]. Einen sehr guten Alltagsbezug liefern Lebensmittel, denn diese stellen die Grundlage der menschlichen Ernährung dar. Trotz des hohen Alltagsbezuges werden im schulischen Chemieunterricht Lebensmittel nur kaum bis gar nicht thematisiert und entsprechend auch nicht in Experimenten eingesetzt. Das geht aus der Sichtung verschiedener Schulbücher für das Unterrichtsfach Chemie in Niedersachsen hervor. Zudem wird fast ausschließlich auf nasschemische Verfahren zurückgegriffen. Demnach haben die Schüler:innen auch nur eine sehr begrenzte Vorstellung in Bezug auf instrumentelle Analytik, wie beispielsweise die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) oder die Gaschromatographie (GC), obwohl im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II explizit gefordert wird, dass die Schüler:innen „das Prinzip der Gaschromatographie beschreiben, das Funktionsprinzip erklären und die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen nutzen sollen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]. Das sowohl Lebensmittel als auch die instrumentelle Analytik im schulischen Chemieunterricht kaum bis gar nicht thematisiert werden, ist dadurch bedingt, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden, während ihres Studiums keine oder nur kaum Möglichkeiten haben, sich mit dieser Thematik auseinanderzusetzen. Damit die Schüler:innen im schulischen Chemieunterricht Fachwissen sowie Experimente zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik erlernen, müssen sich Chemie-Lehramtsstudierende ebenfalls Fachwissen, Methoden und Experimente zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik aneignen. Ohne die Thematisierung der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik in der Lehrkräftebildung, ist eine Umsetzung im schulischen Chemieunterricht kaum möglich. Zudem sollten die Schüler:innen im Bereich der Berufsorientierung etwas über den Studienberuf zur/zum Lebensmittelchemiker:in beziehungsweise zur/zum staatlich geprüften Lebensmittelchemiker:in lernen, da die Berufsorientierung ebenfalls ein wichtiger Aspekt des schulischen Chemieunterrichts ist.

Damit die Lebensmittelchemie und damit verbunden auch die instrumentellen Analytik mehr in den schulischen Chemieunterricht, vor allem der Sekundarstufe II, eingebunden wird, wird für die Chemie-Lehramtsstudierenden an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg ein Seminar zum Thema *Lebensmittelchemie in der Schule* angeboten. Das Seminar erstreckt

sich über ein Semester und kann von den Chemie-Lehramtsstudierenden freiwillig gewählt werden.

5.1 Themenauswahl für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Da sowohl die Lebensmittelchemie als auch die instrumentelle Analytik einen sehr großen Bereich umfasst, wurden für das Seminar insgesamt acht Lebensmittelgruppen und vier Methoden der instrumentellen Analytik ausgewählt. Die Auswahl der Lebensmittelgruppen erfolgte auf der Grundlage des Konsumverhaltens von Schüler:innen im Alter der Sekundarstufe II und deren Interessengebieten. So hat die Studie *Relevance of Science Education (ROSE)* aus Deutschland und Österreich zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften beispielsweise ergeben, dass die Schüler:innen in den Naturwissenschaften gerne etwas über gesundheitliche Risiken und die Erhaltung der Gesundheit lernen wollen, aber auch über Ästhetik, die Umwelt und den Umweltschutz, sowie die gesellschaftliche Relevanz [Elster, 2010]. Diese Aspekte können mit den Inhaltsstoffen von Lebens- und Genussmitteln betrachtet werden, sodass sich die Lebensmittelchemie für den schulischen Chemieunterricht eignet. Daneben eignen sich Lebensmittel zur Thematisierung, die Schüler:innen bereits aus ihrem Alltag kennen. Durch einen hohen Alltagsbezug wird die Motivation der Schüler:innen gesteigert, sich mit den Inhalten des Unterrichtsfaches Chemie auseinanderzusetzen.

Eine Thematisierung der **Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse** eignet sich besonders, denn die pflanzlichen Lebensmittel, wie Obst und Gemüse, enthalten viele gesundheitsfördernde Substanzen. Dazu gehören sekundären Pflanzenstoffe, Protease-Inhibitoren und Ballaststoffe, Vitamine und Mineralstoffe, sowie alle weiteren lebensnotwendigen Nährstoffe. Somit kann durch die Betrachtung der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse aufgezeigt werden, dass neben der Erhaltung der Grundbedürfnisse durch die Zufuhr von Lebensmitteln auch gesundheitliche Aspekte der Ernährung wichtig sind. Weiterhin kann anhand dieser Lebensmittelgruppe eine nachhaltige Ernährung aufgezeigt werden. Nachhaltigkeit ist ein wichtiges Thema, welches in der Schule betrachtet werden sollte, weil dies ein zentraler Aspekt der kritischen Betrachtung des gesellschaftlichen Handelns ist [Achtermann et al., 2017, S. 5]. Demnach ist es wichtig, dass die Studierenden ein Überblick über nachhaltige Ernährung erhalten, wobei Themen, wie Fleischkonsum in Bezug zur Massentierhaltung, artgerechte Haltung sowie die Gabe von Antibiotika beleuchtet werden sollten. Damit verbunden ist die immer weiter steigende Zahl der Menschen, die sich vegetarisch ernähren. Ebenfalls stellt die Düngerproblematik einen wichtigen und interessanten Aspekt dar, sodass die Nitratbelastung des Grund- oder Trinkwassers thematisiert werden kann. Somit können anorganische und organische Dünger

miteinander verglichen werden. Somit wird der Bereich der Umwelt und des Umweltschutzes miteingeschlossen, was zusätzlich ein wichtiges Thema des schulischen Chemieunterrichts darstellt [Achtermann et al., 2017, S. 5].

Neben den gesundheitlichen, sowie ökologischen und nachhaltigen Aspekten, sind Obst und Gemüse Lebensmittel, die die Studierenden und auch die Schüler:innen aus ihrer eigenen Ernährung kennen. Auf der Basis der Empfehlung der optimalen Mischkost (OMK) sollten Kinder und Jugendliche, je nach Alter und Geschlecht, 210 – 410 g Obst und 230 – 440 g Gemüse pro Tag zu sich nehmen [Mensink et al., 2020, S. 44]. Nach Mensink et al. (2020) verzehren sowohl die Mädchen als auch die Jungen in jeder Altersgruppe insgesamt zu wenig Obst und Gemüse, wobei es natürlich ganz wenige Ausnahmen gibt, die die Empfehlung der OMK erreichen [Mensink et al., 2020, S. 44 f.]. Nach Mensink et al. (2007) konsumieren nur 29,4 % der Jungen und 30,4 % der Mädchen im Alter von 3 – 17 Jahren täglich Obst. Der tägliche Verzehr von Gemüse liegt noch niedriger. So essen nur 17,7 % der Jungen und 22,6 % der Mädchen in dieser Altersgruppe rohes Gemüse und nur 5,9 % der Jungen und 6,5 % der Mädchen täglich gekochtes Gemüse [Mensink et al., 2007].

Die Ergebnisse zeigen, dass den Schüler:innen aufgezeigt werden muss, wie wichtig der Verzehr von Obst und Gemüse ist und welche präventiven gesundheitlichen Maßnahmen für den Körper langfristig daraus resultieren. Da die Chemie-Lehramtsstudierenden die Lehrkräfte von morgen sind, ist es wichtig, dass auch sie sich mit der Thematik und der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse auseinandersetzen, um ihr Wissen an die Schüler:innen weitergeben zu können. Aus diesen Gründen wurde die **Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse** für die Betrachtung im Seminar ausgewählt.

Neben Obst und Gemüse handelt es sich bei Honig und Zimt ebenfalls um Naturstoffe. Gerade der Honig ist den Schüler:innen aus der Lebenswelt bekannt, denn Honig ist ein allgegenwärtiges Lebensmittel, welches auf den meisten Frühstückstischen zu finden ist und häufig auch zum Süßen von Tee eingesetzt wird. Dabei wissen die meisten Schüler:innen bereits, dass Honig von Bienen produziert wird. Unbekannt ist hingegen oft, welche Schritte bei der Herstellung von Honig, sowohl von den Bienen als auch vom Imker, durchlaufen werden müssen und welche Inhaltsstoffe im Honig enthalten sind. Neben der Nähe zum Alltag der Schüler:innen ist das Thema Honig mit den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie vereinbar und eignet sich für einen fächerübergreifenden Unterricht zwischen dem Fach Chemie und dem Fach Biologie. Da Honig viel Zucker in Form von Glucose und Fructose enthält, kann die Bewertungskompetenz der Schüler:innen gefördert werden, indem der Frage nachgegangen wird,

ob Honig gesünder ist als Zucker oder ob es einfach nur eine Alternative zum Zucker darstellt [Binder & Pietzner, 2017, S. 1].

Zimt stellt auch ein bekanntes Gewürz dar, welches vor allem in der Weihnachtszeit Anwendung findet. So enthalten beispielsweise Zimtsterne, Gewürzspekulatius oder Lebkuchen das Gewürz Zimt. Jedoch ist den Schüler:innen Zimt nicht nur aus der Weihnachtszeit bekannt, sondern sie kennen es von den Frühstückscerealien Cini Minis, vom Franzbrötchen oder aus Dessertspeisen, wie beispielsweise Milchreis mit Zimt und Zucker. Nach Mensink et al. (2007) verzehren 19,2 % der Mädchen und 22,3 % der Jungen im Alter von 3 – 17 Jahren täglich Frühstückscerealien, wodurch ein hoher Alltagsbezug zur Lebenswelt der Schüler:innen vorliegt.

Aufgrund des hohen Alltagsbezuges zu den Naturstoffen Honig und Zimt, sind die Schüler:innen motiviert etwas über diese Lebensmittelgruppen zu lernen. Daher eignet sich die Thematisierung der **Lebensmittelgruppen Honig und Zimt** im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* und dem schulischen Chemieunterricht.

Aufgrund des hohen Alltagsbezuges eignet sich zudem im schulischen Chemieunterricht die Thematisierung der Lebensmittelgruppe **alkoholfreie Erfrischungsgetränke**. Für die menschliche Gesundheit ist es wichtig, dass der Mensch täglich genügend Flüssigkeit zu sich nimmt, um alle lebensnotwendigen Körperfunktionen und Stoffwechselprozesse aufrechtzuhalten. Die Menge an Flüssigkeit, die vom menschlichen Körper aufgenommen werden sollte, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen unter anderem das Alter, die Jahreszeit und die körperliche Aktivität [Rabenberg & Mensink, 2013].

Nach der OMK sollten Jugendliche im Alter bis 17 Jahren 1400 Milliliter pro Tag an Getränken zu sich nehmen. Im Rahmen der zweiten Ernährungsstudie zur Gesundheit von Kinder und Jugendlichen in Deutschland (EsKiMo II) konnte festgestellt werden, dass die Kinder und Jugendlichen im Alter von 12 – 17 Jahren Wasser als Getränk bevorzugen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass auch Limonade und Säfte bei Kindern und Jugendlichen sehr beliebt sind. So liegt der Anteil des Konsums von Limonade bei den Mädchen bei etwa 11 %, bei den Jungen sogar bei 16 %. Zudem liegt auch der Anteil beim Verzehr von Säften mit 11 % bei den Jungen höher als bei den Mädchen (10 %). Kaffee und alkoholische Getränke sind laut der EsKiMo-Studie in dieser Altersgruppe hingegen mengenmäßig noch nicht so relevant [Mensink et al., 2020, S. 39]. Insgesamt sind bei Kinder und Jugendlichen im Alter bis 17 Jahren Softdrinks sehr beliebt. Dazu zählen neben Limonaden, aber auch koffeinhaltige Erfrischungsgetränke, wie beispielsweise Coca-Cola. Nach Mensink et al. (2007) verzehren viele Kinder und Jugendliche mehrmals täglich Softdrinks. Bei den Mädchen konsumieren 19,8 % mehrmals am Tag

Softdrinks, bei den Jungen sind es sogar 25,2 %. Schaut man sich den Konsum der Softdrinks in Bezug auf verschiedene Altersgruppen an, so konnten Mensink et al. (2007) zeigen, dass mit zunehmenden Alter der mehrmalige Verzehr von Softdrinks, sowohl bei den Mädchen als auch bei den Jungen, ansteigt. Dabei konsumieren die Jungen, unabhängig von der Altersgruppe, insgesamt mehr Softdrinks als die Mädchen [Mensink et al., 2007]. Der ansteigende Verzehr von Softdrinks mit zunehmendem Alter kann möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die Jugendlichen im Alter von 14 – 17 Jahren größtenteils selbst entscheiden, was sie trinken, und sich selbst Getränke kaufen, wenn sie unterwegs sind. Durch den regelmäßigen Verzehr von alkoholfreien Erfrischungsgetränken, die häufig viel Zucker enthalten, werden dem menschlichen Körper viele Kalorien zugefügt. So wird dem menschlichen Körper, durch den Konsum dieser Getränke zwischen den normalen Mahlzeiten, mehr Energie zugeführt als Energie verbraucht wird [Rabenberg & Mensink, 2013]. Daraus resultiert auf Dauer eine Gewichtszunahme mit dem Risiko Übergewicht oder Adipositas, welches ein Risikofaktor für die Entstehung von Diabetes mellitus Typ 2 darstellt. Zudem können durch den Konsum der alkoholfreien Erfrischungsgetränke, die neben Zucker auch Säuren enthalten, die Zähne in Mitleidenschaft gezogen werden und Karies kann entstehen [Rabenberg & Mensink, 2013]. Daneben können Störungen des Fettstoffwechsels auftreten, ebenso wie ein erhöhter Blutdruck [Schienkiewitz et al., 2018].

Durch die immer weiter ansteigende Zahl der übergewichtigen und adipösen Menschen, ist es wichtig, dass diese Themen bereits in der Schule angesprochen werden. Denn in Deutschland sind 15,4 % aller Kinder und Jugendlicher im Alter von 3 – 17 Jahren übergewichtig und sogar 5,9 % adipös (Stand 2018), wobei die Zahl mit steigendem Alter zunimmt. Innerhalb des Geschlechts können dabei keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Auffällig ist dabei, dass der sozioökonomische Status eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit Übergewicht und Adipositas einnimmt. Je niedriger der sozioökonomische Status der Kinder und Jugendlichen ist, desto mehr Kinder und Jugendliche sind übergewichtig oder adipös. Mit dem äußeren Erscheinungsbild hängt auch leider zusammen, dass die übergewichtigen oder adipösen Kinder und Jugendlichen häufiger gemobbt werden als andere und damit verbunden die Lebensqualität niedriger ist [Schienkiewitz et al., 2018].

Eine besonders interessante Untergruppe der alkoholfreien Erfrischungsgetränke stellen die **Energydrinks** dar, die sich als Trendgetränke herauskristallisiert haben. Auch hier zeigt sich ein besonders starker Alltagsbezug zu den Schüler:innen. Nach Mensink et al. (2007) konsumieren Kinder und Jugendliche im Alter von 3 – 17 Jahren bereits monatlich mehrmals Energydrinks, wobei die Jungen mit 23,5 % häufiger Energydrinks zu sich nehmen als die Mädchen

mit 17,9 % [Mensink et al., 2007]. In einer Erhebung zur Kinder- und Jugendsicherheit in Schulen aus dem Schuljahr 2017/2018, die von der DAK Gesundheit durchgeführt worden ist, sind Kinder und Jugendliche der Jahrgangstufen 5 – 10 zu ihrem Konsumverhalten in Bezug auf Energydrinks, alkoholische Getränke und Zigaretten/E-Zigaretten befragt worden. Herausgestellt hat sich dabei, dass bereits 56 % der Schüler:innen jemals Energydrinks konsumiert haben. Dabei steigt das Konsumverhalten mit zunehmenden Alter. So haben bereits 28 % der Schüler:innen im Doppeljahrgang 5/6, 61 % der Schüler:innen im Doppeljahrgang 7/8 und 77 % der Schüler:innen im Doppeljahrgang 9/10 jemals Energydrinks zu sich genommen, wobei die Jungen signifikant öfter Energydrinks konsumiert haben als die Mädchen. Dabei zeigen sich Unterschiede im Konsumverhalten der Energydrinks im Zusammenhang mit dem Bildungsstatus, denn mehr Schüler:innen, die eine Haupt-, Real- oder Oberschule besuchen, haben bereits jemals Energydrinks konsumiert im Vergleich zu Schüler:innen, die das Gymnasium besuchen [Storm & Hanewinkel, 2019, S. 34]. Neben dem einmaligen Konsum von Energydrinks wurde in der Erhebung auch der monatliche Konsum von Energydrinks untersucht. Demnach konsumieren insgesamt 19 % der Schüler:innen monatlich Energydrinks. Auch beim monatlichen Konsum kann gezeigt werden, dass die Jungen signifikant öfter Energydrinks zu sich nehmen im Vergleich zu den Mädchen. Ebenfalls steigt der Konsum mit zunehmenden Alter und ist abhängig von der Schulform, wobei Schüler:innen des Gymnasiums seltener Energydrinks konsumieren als Schüler:innen anderer Schulformen [Storm & Hanewinkel, 2019, S. 36]. In Bezug auf die gesundheitlichen Aspekte birgt der Konsum von Energydrinks dieselben Gefahren wie der Konsum alkoholfreier, zuckerhaltiger Erfrischungsgetränke. Zusätzlich enthalten Energydrinks große Mengen an Koffein, die zwar den Müdigkeitszustand der Schüler:innen abschwächen, gleichzeitig aber auch Schlafstörungen verursachen können. Storm und Hanewinkel (2019) haben herausgefunden, dass sich der regelmäßige Konsum von Energydrinks negativ auf das Schlafverhalten und die Schlafdauer auswirken kann. So haben die Schüler:innen, die monatlich Energydrinks konsumieren, unabhängig von der Altersgruppe, insgesamt eine Stunde weniger geschlafen als die Schüler:innen, die keine Energydrinks trinken [Storm & Hanewinkel, 2019, S. 37]. Da die Energydrinks einen wichtigen alltäglichen Bezug zur Lebenswelt der Schüler:innen darstellen und gleichzeitig viele gesundheitliche und sozioökonomische Aspekte angesprochen werden können, eignet sich die Lebensmittelgruppe der Energydrinks für eine Betrachtung im schulischen Chemieunterricht. Daher sollten auch die Lehrkräfte von morgen ein Überblick über das Thema der Energydrinks erhalten, weshalb die Wahl auf diese Lebensmittelgruppe gefallen ist.

Das Alkaloid Koffein ist jedoch nicht nur in Energydrinks enthalten, sondern ebenfalls in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade. Neben Koffein kommen auch zwei weitere Alkaloide, Theophyllin und Theobromin, vor. Während Theophyllin und Theobromin den Schüler:innen und Studierenden eher unbekannt ist, kennen sie das Koffein bereits aus koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken und Energydrinks. Zudem ist vielen Schüler:innen aus dem Alltag bekannt, dass Kaffee und Tee ebenfalls Koffein enthalten. Während die jüngeren Schüler:innen eher auf Tee als Getränk zurückgreifen, nimmt der Anteil der Schüler:innen, die Kaffee konsumieren mit zunehmenden Alter zu. Mensink et al. (2007) haben den Lebensmittelverzehr von Kinder und Jugendlichen im Alter von 3 – 17 Jahren betrachtet, darunter auch den Verzehr von Früchtetee, schwarzem Tee und Kaffee. Tabelle 5-1 zeigt den wöchentlichen Konsum von Mädchen und Jungen der ausgewählten Lebensmittel.

Tabelle 5-1 Wöchentlicher Konsum von Früchtetee, schwarzem Tee und Kaffee in Prozent [Mensink et al., 2007]

Lebensmittel	Jungen [%]	Mädchen [%]
Früchtetee	22,8	26,0
Schwarzer Tee	6,9	6,6
Kaffee	6,0	5,9

Anhand von Tabelle 5-1 kann festgehalten werden, dass etwa ein Viertel der befragten Schüler:innen wöchentlich Früchtetee konsumieren, wohingegen nur 6,6 – 6,9 % der Schüler:innen schwarzem Tee und 5,9 – 6,0 % Kaffee trinken [Mensink et al., 2007]. Der Kaffeekonsum nimmt häufig mit zunehmenden Alter zu, sodass Kaffee für die Schüler:innen für das zukünftige Leben, wenn sie erwachsen sind, von Interesse ist. So haben im Jahr 2018 42 % der 18 – 35-Jährigen täglich Kaffee getrunken, 77 % der 36 – 45-Jährigen und sogar 85 % der Erwachsenen, die 46 Jahre alt waren oder älter [Statista Research Department, 2021]. Demnach ist auch das Thema Kaffee für die Studierenden von großem Interesse.

Gerade die Schokolade als alkaloidhaltiges Lebensmittel ist für die Schüler:innen und auch für die Studierenden ein sehr alltagsnahes und interessantes Thema, da fast alle Schüler:innen in ihrem Leben schon mal Schokolade verzehrt haben. Nach der Erhebung von Mensink et al. (2007) haben nur 2,9 % der Jungen und 2,8 % der Mädchen im Alter von 3 – 17 Jahren noch nie Schokolade konsumiert. Demnach haben mehr als 97 % aller Kinder und Jugendlicher im Alter von 3 – 17 Jahren schon einmal Schokolade gegessen. Dabei wurden die Kinder und Jugendlichen zusätzlich befragt, ob sie täglich einmal oder mehrmals Schokolade essen. Die Ergebnisse aus der Erhebung in Abhängigkeit der Altersgruppe sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

Tabelle 5-2 Täglicher einmaliger oder mehrmaliger Schokoladenverzehr der befragten Kinder und Jugendlichen in Prozent in Abhängigkeit von der Altersgruppe [Mensink et al., 2007]

Altersgruppe	täglicher Verzehr	Jungen [%]	Mädchen [%]
3 – 6	einmalig	13,4	14,9
	mehrmals	3,9	3,1
7 – 10	einmalig	13,5	12,1
	mehrmals	2,5	2,2
11 – 13	einmalig	11,6	10,4
	mehrmals	4,3	3,9
14 – 17	einmalig	10,1	11,9
	mehrmals	3,9	4,4

Anhand Tabelle 5-2 kann gezeigt werden, dass bei den Jungen der tägliche Schokoladenkonsum mit zunehmenden Alter abnimmt. Dieser Trend ist auch bei den Mädchen bis zu einem Alter von 13 Jahren zu beobachten. Danach steigt der tägliche Schokoladenkonsum im Alter von 14 – 17 Jahren wieder an. Bei dem mehrmaligen täglichen Verzehr von Schokolade lässt sich jedoch kein Trend abzeichnen. So verzehren 2,2 – 4,4 % der Mädchen im Alter von 3 – 17 Jahren mehrmals täglich Schokolade, bei den Jungen liegt der Anteil bei 2,5 – 4,3 % [Mensink et al., 2007]. Da Schokolade überwiegend aus Fett und Zucker besteht und damit nur zu den geduldeten Lebensmitteln zählt, ist die Thematisierung, aufgrund des steigenden Anteils der übergewichtigen und adipösen Kinder und Jugendlichen, von zentraler Bedeutung. Dem hinzu kommen die bereits bei der Lebensmittelgruppe der zuckerhaltigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken angesprochenen gesundheitlichen Risikofaktoren, die den Schüler:innen verständlich gemacht werden sollten. Anhand der dargestellten Gründe und des starken Alltagsbezuges eignen sich die **alkaloidhaltigen Lebensmittel (Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade)** zur Thematisierung, sowohl in diesem Seminar als auch im schulischen Chemieunterricht.

Im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II wird gefordert, dass die Schüler:innen die Stoffklasse der Alkohole von anderen Stoffklassen unterscheiden [Achtermann et al., 2017, S. 15], die funktionelle Gruppe, die Hydroxygruppe, benennen [Achtermann et al., 2017, S. 19] und die Molekülstrukturen der Alkohole beschreiben können [Achtermann et al., 2017, S. 21.]. Neben der curricularen Vorgabe des Themas Alkohol in der gymnasialen Oberstufe, zeigt das Thema einen starken Bezug zur Lebenswelt der Schüler:innen. Auf Feiern, in der Diskothek oder bei einem gemütlichen Zusammensitzen werden häufig alkoholische Getränke verzehrt, beispielweise in Form von Bier, Wein, Shots, Longdrinks oder Cocktails. Aus dem Forschungsbericht der Bundezentrale für gesundheitliche Aufklärung aus dem Jahr 2020 über die Drogenaffinität Jugendlicher in Deutschland geht hervor, dass 63,4 % aller

Jugendlichen im Alter von 12 – 17 Jahren bereits einmal in ihrem Leben alkoholische Getränke konsumiert haben, wovon sogar 9 % wöchentlich Alkohol trinken. In der Altersgruppe der 18 – 25-Jährigen sind es mit 94,9 % fast alle, die schon einmal alkoholische Getränke konsumiert haben. Etwa ein Drittel aller 18 – 25-Jährigen trinkt regelmäßig alkoholische Getränke, wobei mehr Männer Alkohol konsumieren als Frauen. Auffällig ist, dass in der Altersgruppe von 18 – 25 Jahren mehr Rauschtrinken stattfindet als bei den 12 – 17-Jährigen [Orth & Merkel, 2020, S. 8]. Dies könnte möglicherweise damit erklärt werden, dass die 18 – 25-Jährigen durch das Abitur und möglicherweise das anschließende Studium mehr Stress und Leistungsdruck ausgesetzt sind, sodass sie mit dem Rauschtrinken möglicherweise versuchen, dem Alltag zu entfliehen.

Alkoholische Getränke sind aber auch den Schüler:innen der Sekundarstufe I nicht unbekannt. Durch Familienfeiern oder das Anstoßen auf das neue Jahr kennen die Schüler:innen bereits aus ihrer Lebenswelt alkoholische Getränke. Zudem haben auch schon einige Schüler:innen im Anfangsunterricht oder der Mittelstufe selbst alkoholische Getränke konsumiert. Dies geht aus der Erhebung der DAK-Gesundheit über die Kinder- und Jugendgesundheit in Schulen aus dem Jahr 2019 hervor. Demnach haben bereits 29 % der Schüler:innen des Doppeljahrgangs 5/6, 60 % der Schüler:innen des Doppeljahrgangs 7/8 und 79 % der Schüler:innen des Doppeljahrgangs 9/10 bereits selbst mindestens einmal alkoholische Getränke konsumiert. Bereits 27 % der Schüler:innen des Doppeljahrgangs 9/10 konsumieren regelmäßig, mindestens einmal pro Monat, Alkohol. Insgesamt hat sich gezeigt, dass mehr Jungen alkoholische Getränke konsumieren als Mädchen. Einzige Ausnahme stellt der Doppeljahrgang 9/10 dar, wo der Alkoholkonsum bei den Mädchen und Jungen ausgeglichen ist. Beim Zusammenhang des Konsumverhaltens in Bezug auf die alkoholischen Getränke mit der besuchten Schulform der Schüler:innen konnte gezeigt werden, dass insgesamt mehr Schüler:innen des Gymnasium alkoholische Getränke konsumieren als die Schüler:innen von Haupt-, Real- oder Oberschulen [Storm & Hanewinkel, 2019, S. 38 f.]. Den Studierenden und damit den Schüler:innen soll aufgezeigt werden, wie der konsumierte Alkohol im Körper wieder abgebaut wird und welche potenziellen gesundheitlichen Folgen aus einem regelmäßigen und hohen Alkoholkonsum resultieren können. Aufgrund der gesundheitlichen Aspekte und dem starken Alltagsbezug eignet sich die **Lebensmittelgruppe der alkoholischen Getränke** zur Thematisierung im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* und dem schulischen Chemieunterricht.

Da es sich bei alkoholischen Getränken neben Lebensmitteln auch um Genussmittel handelt, sollten mit der Tabakzigaretten und den Liquids für E-Zigaretten weitere Genussmittel betrachtet werden, welche ebenfalls einen hohen Alltagsbezug für die Schüler:innen aufweisen.

Der Bezug liegt auch hier, neben dem hohen Alltagsbezug, in den gesundheitlichen Folgen, die durch das Rauchen oder das Dampfen resultieren können. Die Betrachtung der gesundheitlichen Aspekte des Rauchens wird zudem durch das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I bereits in den Jahrgängen 5 – 10 gefordert [Jaeger et al., 2015, S. 79].

Das Rauchen und Dampfen kennen die Schüler:innen des Anfangsunterrichts und der Mittelstufe bereits aus ihrer Lebenswelt, wenn beispielsweise die Eltern oder andere Familienmitglieder rauchen oder dampfen. Teilweise kennen diese Schüler:innen die Tabakzigaretten oder E-Zigaretten auch durch das eigene Konsumverhalten. Nach der Erhebung der DAK-Gesundheit aus dem Jahr 2019 zur Kinder- und Jugendgesundheit in Schulen haben bereits 4 % der Schüler:innen im Doppeljahrgang 5/6 selbst schon einmal eine Tabakzigaretten geraucht und 5 % eine E-Zigarette gedampft. Mit steigendem Alter und Doppeljahrgang nimmt der Anteil der Schüler:innen, die bereits geraucht oder gedampft haben zu. So haben 17 % der Schüler:innen im Doppeljahrgang 7/8 jemals geraucht und 20 % der Schüler:innen gedampft. Im Doppeljahrgang 9/10 waren es dann bereits 36 % der Schüler:innen, die schon mal eine Tabakzigarette geraucht und 41 %, die eine E-Zigaretten gedampft haben [Storm & Hanewinkel, 2019, S. 42 f.]. Demnach sind sowohl das Rauchen als auch das Dampfen schon bei jungen Schüler:innen bekannt. Bei den Schüler:innen der Sekundarstufe II ist das Thema der Tabakzigaretten und der E-Zigaretten auch allgegenwärtig, da sie das Rauchen und Dampfen bereits aus der eigenen Familie oder von Freunden kennen.

Während die Erhebung der DAK-Gesundheit ausschließlich auf die Jahrgänge 5 – 10 abzielt, werden im Forschungsbericht zur Drogenaffinität Jugendlicher in Deutschland der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung aus dem Jahr 2020 sowohl Jugendliche im Alter von 12 – 17 Jahren als auch die jungen Erwachsenen im Alter von 18 – 25 Jahren in Bezug auf das Konsumverhalten von Zigaretten und E-Zigaretten betrachtet. Aus dem Forschungsbericht geht hervor, dass 7,2 % aller 12 – 17-Jährigen schon einmal in ihrem Leben geraucht haben. Der Umkehrschluss zeigt aber auch, dass 83 % der Jugendlichen noch nie geraucht haben. Insgesamt ist das Rauchen im jugendlichen Alter eher an Haupt-, Real- und Oberschule verbreitet als an Gymnasien. Somit zeigt sich, dass mit abnehmender Schulbildung der Anteil rauchender Jugendlicher zunimmt, wobei die Gesamtzahl insgesamt rückläufig ist. Bei den jungen Erwachsenen im Alter von 18 – 25 Jahren rauchen mit 28,8 % etwa mehr als ein Viertel, wobei insgesamt mehr Männer rauchen als Frauen. 40,5 % der 18 – 25-Jährigen haben hingegen noch nie geraucht. Beim Vergleich vom Rauchen und Dampfen hat sich gezeigt, dass etwa doppelt so viel Jugendliche im Alter von 12 – 17 Jahren gedampft (14,5 %) als geraucht haben. Dies kann auch bei den jungen Erwachsenen betrachtet werden, bei denen 32,5 % dampfen. Somit zeigt

sich, dass die E-Zigaretten bei den jungen Menschen immer beliebter wird im Vergleich zur Tabakzigarette [Orth & Merkel, 2020, S. 7 f.]. Rauchen und Dampfen, sowie das Passivrauchen und -dampfen, kann sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken, wofür neben Nikotin viele gesundheitsschädliche Substanzen verantwortlich sind. Um den Studierenden und damit den Schüler:innen die negativen Folgen des Konsums von Tabak- und E-Zigaretten verständlich zu machen, bietet sich die Betrachtung der **Genussmittelgruppe der Zigaretten und E-Zigaretten** im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* und dem schulischen Chemieunterricht an.

Für den praktischen Teil des Seminars wurden somit für die folgenden acht Lebens- und Genussmittelgruppen Experimente mit der instrumentellen Analytik (DC, HPLC, GC und Photometrie) entwickelt und optimiert:

- alkoholfreie Erfrischungsgetränke
- Energydrinks
- alkoholische Getränke
- alkaloidhaltige Lebensmittel
- Obst und Gemüse
- Honig
- Zimt
- Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten.

5.2 Versuchsauswahl und Erstellung der Versuchsvorschriften

Um die theoretischen Inhalte der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen sowie der instrumentellen Analytik aus dem Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* zu verinnerlichen, sollen für ausgewählte Inhaltsstoffe der entsprechenden Gruppen Experimente durchgeführt werden. Die qualitative und quantitative Bestimmung der Inhaltsstoffe erfolgt mithilfe der instrumentellen Analytik in Form der Dünnschicht-, Hochleistungsflüssigkeits- und Gaschromatographie sowie der Photometrie, sodass die Studierenden und damit die Schüler:innen die Methoden und Gerätschaften kennenlernen, mit denen unter anderem auch in der Lebensmittelchemie, einschließlich der Lebensmittelüberwachung, gearbeitet wird.

Da Lebensmittelchemiker:innen unter anderem für den gesundheitlichen Verbraucherschutz verantwortlich sind, wurden aus den jeweiligen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen die Inhaltsstoffe zur qualitativen und quantitativen Bestimmung herangezogen, bei denen auf der Basis der lebensmittelrechtlichen Grundlagen Mindest- und Höchstmengen oder Verbote

vorliegen. Für einige Inhaltsstoffe, wie beispielsweise für den Gehalt an Prolin in Honig, sind keine gesetzlichen Mindest- und Höchstmengen im Lebensmittelrecht festgelegt, sodass an der Stelle auf Richtwerte aus staatlichen Laboratorien zurückgegriffen worden ist.

Nachfolgend soll in diesem Kapitel, neben der Auswahl der zu untersuchenden Inhaltsstoffe, auch der Entwicklungsprozess der Experimente und die Erstellung der verschiedenen Versuchsvorschriften dargestellt werden.

5.2.1 Erfrischungsgetränke und Energydrinks

Wie bereits in der Themenauswahl beschrieben (Kapitel 5.1) sind die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks bei den Schüler:innen sehr beliebt. Daher sollen verschiedene Inhaltsstoffe dieser Lebensmittelgruppen betrachtet werden.

5.2.1.1 Koffein

Koffein ist ein interessanter Inhaltsstoff in Energydrinks und einigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken, wie beispielsweise Coca-Cola oder Mate-Getränke, denn Koffein ist ein Psychostimulanz, welches eine anregende Wirkung auf das Zentralnervensystem hat. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit erhöht, wohingegen der Müdigkeitszustand abnimmt [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 226]. Aus diesem Grunde konsumieren viele Schüler:innen und Studierende die Energydrinks und entsprechenden Erfrischungsgetränke.

Während in der Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung für die Energydrinks ein maximal zulässiger Gehalt von 320 mg/L an Koffein geregelt ist, gibt es für die koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke keinen Höchstmengengehalt für Koffein [Meyer, 2020a, S. 17]. Jedoch wird manchmal auf der Verpackung der Erfrischungsgetränke der Koffeingehalt angegeben oder man kann sich auf den Internetseiten der Hersteller darüber informieren. Die qualitative und quantitative Bestimmung des Koffeingehaltes dient demnach einerseits bei den Erfrischungsgetränken zur Überprüfung der Herstellerangaben und andererseits bei den Energydrinks zur Einhaltung des Höchstmengengehaltes. Zudem kann zwischen den koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken und den Energydrinks ein Vergleich in Bezug auf den Koffeingehalt angestrebt werden.

Die Erstellung der Versuchsvorschrift zur *Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (V 4)* erfolgte auf der Basis des Papers von Abuirjeie et al. (1992) zur Bestimmung von Theobromin, Theophyllin und Koffein in verschiedenen Lebensmitteln mithilfe der UV-Spektroskopie und der HPLC. Dazu wurde überlegt, welche alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks

zur Bestimmung des Koffeingehaltes herangezogen werden könnten. Eines der für die Schüler:innen bekanntesten koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke ist die Coca-Cola. Die Schüler:innen kennen die Coca-Cola entweder durch den eigenen Konsum oder den Konsum von Familienmitgliedern oder Freunden, aus der Werbung zwischen dem Fernsehprogramm oder sie haben die Coca-Cola beim Einkaufen bereits gesehen. Aufgrund des hohen Alltagsbezuges eignet sich die Coca-Cola zur Bestimmung des Koffeingehaltes. Um ein Vergleich zwischen den zuckerhaltigen und zuckerfreien Varianten der Coca-Cola anstellen zu können, werden auch Coca-Cola Light sowie Coca-Cola Zero auf den Koffeingehalt untersucht. Neben der Coca-Cola rücken bei den Jugendlichen immer mehr die sogenannten Mate-Getränke in den Vordergrund. Aus diesem Grunde wurden verschiedene Ausführungen der Mio Mio Mate-Getränke (Original, Ginger und Cola) zur Bestimmung des Koffeingehaltes herangezogen. Bei den Energydrinks ist es wie bei der Coca-Cola. Hier wurde der wohl bekannteste Energydrink, das Red Bull, und die zuckerfreien Varianten Red Bull Sugarfree und Red Bull Zero, eingesetzt. Um zu überprüfen, ob die Koffeingehalte in verschiedenen Energydrinks übereinstimmen oder ob Unterschiede zu erkennen sind, wurde der Koffeingehalt auch in den Energydrinks Effect und Effect Sugarfree bestimmt. Schließlich kann ein Vergleich in Bezug auf den enthaltenen Koffeingehalt zwischen den koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken und den Energydrinks erfolgen.

Die Bestimmung des Koffeingehaltes erfolgt mithilfe des Hochleistungsflüssigkeitschromatographen Smartline der Firma Knauer. Als Säule stand eine Phenomenex Kinetex C 18 Säule mit einer Partikelgröße von 5 µm und einer Länge von 250 mm und einem Innendurchmesser von 4,6 mm zur Verfügung. Beim Detektor handelte es sich um den Platin Blue DAD-Detektor der Firma Knauer.

Um den Koffeingehalt qualitativ und quantitativ bestimmen zu können, wurde zunächst mithilfe einer Standardlösung an Koffein die Retentionszeit bestimmt. Mit dem aus der Versuchsvorschrift nach Abuirjeie et al. (1992) angegebenen Eluenten (Acetonitril/Natriumacetat-Lösung (0,01 M) 15/85 (v/v)) konnte das Koffein qualitativ nicht nachgewiesen werden. Demnach wurde überlegt, welches Fließmittel alternativ eingesetzt werden könnte. Da es sich um ein unpolares Säulenmaterial handelt, muss die mobile Phase ziemlich polar sein, damit die Substanzen schnell und trotzdem gut aufgetrennt die Säule verlassen und vom Detektor wahrgenommen werden können. Somit wurde sich für ein Fließmittelgemisch, bestehend aus Methanol und destilliertem Wasser, entschieden. Bei welchen prozentualen Anteilen an Methanol und destilliertem Wasser, sowie welcher Flussrate, die schnellsten und besten Trennungen erreicht werden konnten, wurde laborpraktisch ermittelt. Eine gute Trennung konnte mit einer mobilen Phase von 40 % Methanol und 60 % destilliertem Wasser bei einer Flussrate von

0,8 mL/min und einer Detektion bei 273 nm erreicht werden. Anhand dieser Geräteparameter konnte Koffein bei einer Retentionszeit von 3,8 – 4,0 Minuten qualitativ nachgewiesen werden (Abbildung 5-1).

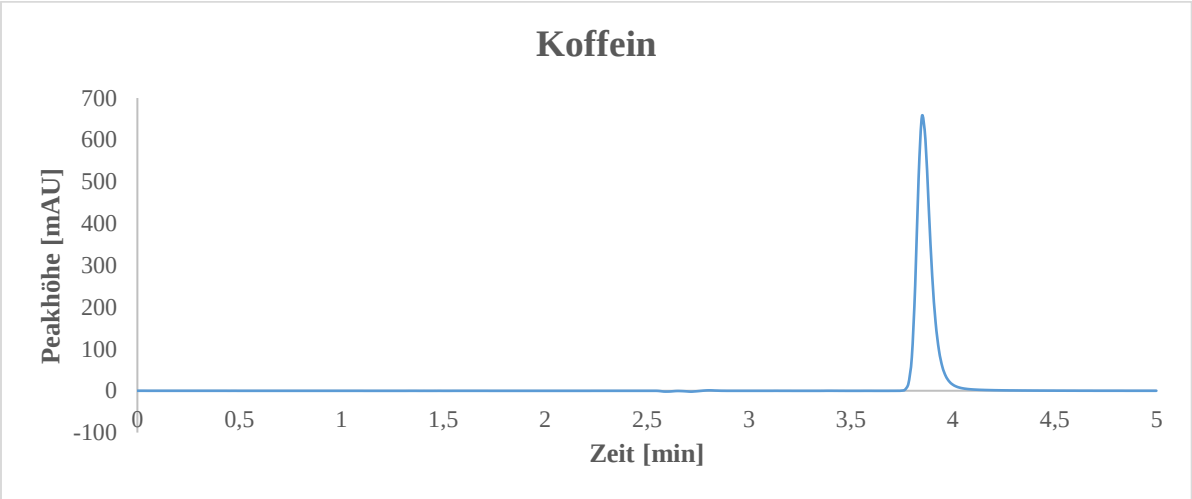


Abbildung 5-1 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit des Koffeins [eigene Darstellung]

Damit der Koffeingehalt auch quantitativ bestimmt werden kann, wurde eine externe Kalibriergerade erstellt. Dafür wurden verschiedene Kalibrierlösungen mit Koffeingehalten zwischen 10 mg/L und 50 mg/L angesetzt und mit den entsprechenden Parametern der HPLC gemessen, wobei für alle Kalibrierlösungen mindestens drei Messungen durchgeführt worden sind. Aus den erhaltenen Peakflächen der einzelnen Messungen wurden die Mittelwerte für die jeweilige Konzentration berechnet, die graphisch gegen die Konzentration der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen worden sind (Abbildung 5-2).

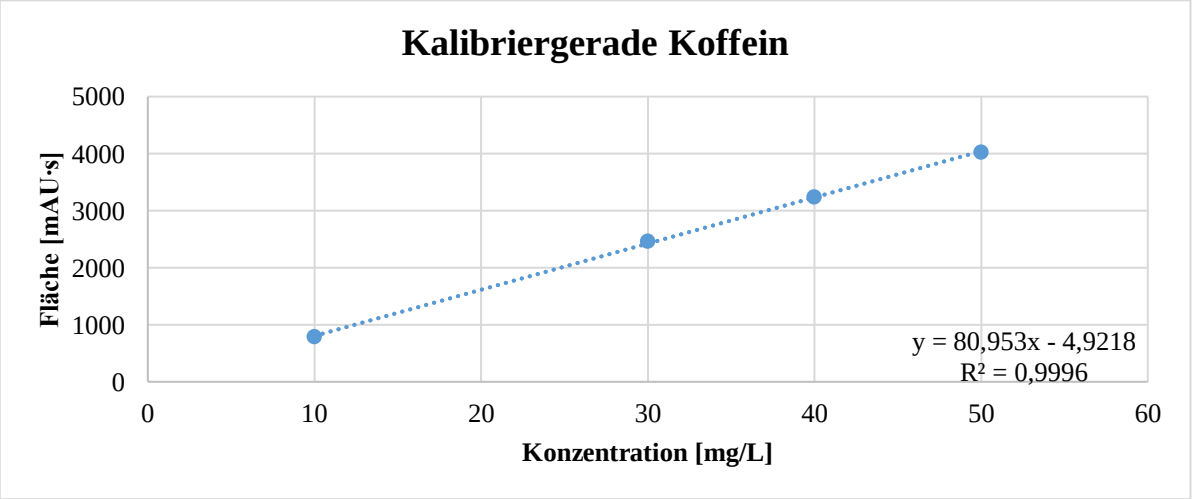


Abbildung 5-2 Darstellung der Kalibriergerade für das Koffein [eigene Darstellung]

Mithilfe der Geradengleichung, die aus der linearen Regression erhalten wird, und das Umstellen dieser Gleichung, kann der Gehalt an Koffein quantitativ bestimmt werden (siehe Anhang E.4 V 4 *Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

Damit eine quantitative Bestimmung mit der Kalibriergerade erfolgen kann, müssen die Peakflächen für den Koffeingehalt der zu untersuchenden koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke und Energydrinks innerhalb der Kalibriergerade liegen. Liegen die Werte oberhalb der höchsten Kalibrierlösung, müssen die Getränke entsprechend verdünnt werden. Wenn die Peakflächen hingegen kleiner sind als die der kleinsten Kalibrierlösung, dann ist das Getränk nicht zu Quantifizierung geeignet oder es müssen weitere Kalibrierpunkte erstellt werden.

5.2.1.2 Süßstoffe

Neben der Betrachtung von Koffein in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks ist die Betrachtung der Süßstoffe in den zuckerfreien Varianten interessant. Aufgrund der steigenden Anzahl übergewichtiger und adipöser Kinder und Jugendlicher ist es wichtig, Alternativen zu den zuckerhaltigen Varianten zu finden. Hierzu eignen sich die Süßstoffe, die eine hohe Süßkraft aufweisen, jedoch keinen physiologischen Brennwert mit sich bringen.

Die Schüler:innen kennen Süßstoffe bereits aus ihrem Alltag in Form von Tabletten oder einer Flüssigkeit, die gegebenenfalls zum Süßen von Heißgetränken eingesetzt werden. Gesundheitliche Aspekte im Zusammenhang mit Süßstoffen können besprochen werden, wodurch der Einsatz von Zucker und Süßstoffen diskutiert werden kann. Aus dem Alltagsbezug und dem Bezug zur Gesundheit, ist eine Thematisierung der Süßstoffe in den zuckerfreien Varianten der alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks sinnvoll, weshalb ein Experiment zu den Süßstoffen im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* eingeführt wird.

Die Entwicklung der Versuchsvorschrift erfolgte auf der Basis des Versuchs L 00.00 28 zur Bestimmung von Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin-Natrium in Lebensmitteln mit dem HPLC-Verfahren, welcher aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) stammt. Zur Bestimmung der Süßstoffe (Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin) wurden zuckerfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks ausgewählt, die die Studierenden und Schüler:innen bereits aus ihrer Lebenswelt kennen. Neben den zuckerfreien Varianten der Coca-Cola (Light und Zero), sind Fanta Zero und Sprite Zero eingesetzt worden, ebenso wie die Geschmacksrichtungen Grapefruit und Tropische Früchte der Marke Deit. Bei den Energydrinks werden die zuckerfreien Varianten von Red Bull (Sugarfree und Zero) und Effect (Sugarfree und Zero) verwendet. Da es sich bei

den Erfrischungsgetränken und Energydrinks um flüssige Produkte handelt, ist keine aufwendige Probenaufarbeitung notwendig. Es erfolgt lediglich eine Entgasung der Probelösungen, die vor der Injektion in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen verdünnt werden müssen. Durch die geringe Probenaufarbeitung kann dieser Versuch schnell durchgeführt werden.

Während der qualitativen Bestimmung der Süßstoffe mit einer Standardlösung, bestehend aus Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin, mithilfe der HPLC, wurde die Vorgabe der Flussrate von 0,8 mL/min zunächst verwendet. Mit dieser Flussrate waren die Probenläufe jedoch relativ lang. Da die Zeit des Seminars mit 120 Minuten begrenzt ist und eine Doppelstunde des schulischen Chemieunterrichts sogar nur 90 Minuten lang ist, wurde bei den Versuchen grundsätzlich das Ziel verfolgt, dass die Laufzeiten so kurz wie gehalten werden, wobei dies natürlich nicht auf Kosten der Trennleistung erfolgen darf. Um die Laufzeit herabzusetzen, wurde die Flussrate auf 1,0 mL/min hochgesetzt, wodurch die Laufzeit auf 12 Minuten reduziert werden konnte. Um die Retentionszeiten der Süßstoffe aus der Standardlösung mit den Retentionszeiten einer Probelösung zu überprüfen, wurde die koffeinhaltige Coca-Cola Light eingesetzt. Dabei hat sich gezeigt, dass noch ein vierter Peak neben den drei Süßstoffpeaks zu sehen war, welcher als Koffein identifiziert werden konnte, wodurch eine kombinierte Methode zur Bestimmung von Koffein und der Süßstoffe, Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin, möglich ist. Bei Anwendung dieser Methode mit der HPLC (siehe Kapitel 5.2.1.1) wird Acesulfam-K zuerst bei einer Retentionszeit von 3,4 – 3,7 Minuten eluiert, gefolgt von Saccharin bei 4,2 – 4,5 Minuten, Koffein bei 6,4 – 6,8 Minuten und Aspartam mit einer Retentionszeit von 9,9 – 10,5 Minuten (siehe Abbildung 5-3), wobei die Detektion bei 220 nm erfolgt.

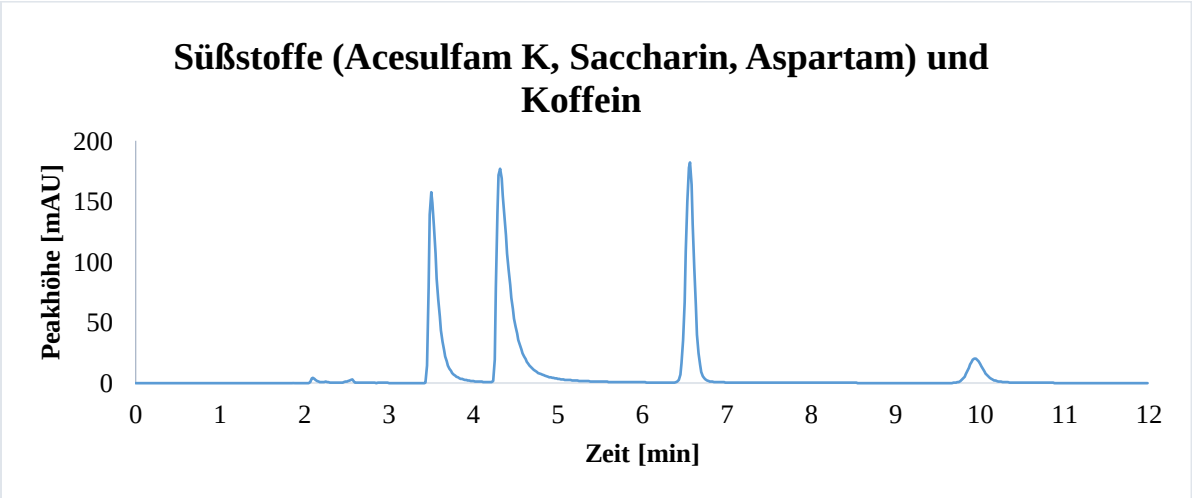


Abbildung 5-3 Qualitative Bestimmung der Süßstoffe (Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin) und Koffein [eigene Darstellung]

Die quantitative Bestimmung wird mithilfe der externen Kalibrierung der einzelnen Süßstoffe sowie Koffein mithilfe verschieden konzentrierter Standardlösungen durchgeführt. Die Auswertung erfolgt über die lineare Regression und die dadurch erhaltene Geradengleichung (siehe Anhang E.8 V 8 *Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

5.2.1.3 Konservierungsstoffe

Neben Koffein und den Süßstoffen werden in kohlensäurehaltigen und zuckerfreien Getränken teilweise auch Konservierungsstoffe eingesetzt. So auch in einigen Erfrischungsgetränken und Energydrinks. Sie werden eingesetzt, um das Wachstum und die Vermehrung von Mikroorganismen, sowie die Bildung von Schimmelpilzen, über einen längeren Zeitraum zu hemmen, damit die Lebensmittel eine längere Haltbarkeitsdauer erhalten [Baltes & Matissek, 2011, S. 216]. Die bekanntesten Konservierungsstoffe sind dabei Benzoe- und Sorbinsäure, die beispielsweise in den zuckerfreien Varianten der Pepsi (Light und Max) enthalten sind, ebenso wie in Fanta Maracuja und den Sorten Original und Ultra Red der Monster Energydrinks. Da es sich hierbei um bekannte Getränke für die Studierenden und Schüler:innen handelt und der Einsatz von Konservierungsstoffen lebensmittelrechtlich festgelegt ist, ist ein Versuch für die Bestimmung von Benzoe- und Sorbinsäure mithilfe der HPLC optimiert worden. Es handelt sich um einen schnellen Versuch, da die Probenvorbereitung nur aus der Entgasung und Verdünnung der Erfrischungsgetränke und Energydrinks besteht.

Die Vorbereitung des Versuchs und die Erstellung der Versuchsvorschrift erfolgte auf der Basis des Versuchs L 00.00 9 zur Bestimmung von Konservierungsstoffen in fettarmen Lebensmitteln, welcher aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) stammt. Auf der Grundlage der HPLC-Parameter (Fließmittel: Ammoniumacetat-Lösung (0,01 M)/Methanol (50/40), pH = 4,5; Flussrate 1,2 mL und Detektion bei 235 nm) wurde eine Standardlösung, bestehend aus Benzoe- und Sorbinsäure, hergestellt und in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert. Bei den vorgegebenen Parametern in Verbindung mit der zur Verfügung stehenden Säule (Kapitel 5.2.1.1) konnten Benzoe- und Sorbinsäure zwar gut voneinander getrennt werden, jedoch war die Analysenzeit auch sehr lang. Um die Analysenzeit zu verkürzen, wurden die prozentualen Anteile des Fließmittels an Ammoniumacetat-Lösung (0,01 M) und Methanol variiert. Als optimal hat sich ein Verhältnis von 70 % Ammoniumacetat-Lösung (0,01 M) zu 20 % Methanol bei einem pH-Wert von 4,5 – 4,6 herausgestellt, wodurch die Laufzeit auf 15 Minuten verkürzt und eine gute Trennung zwischen Benzoe- und Sorbinsäure erreicht werden konnte (Abbildung 5-4).

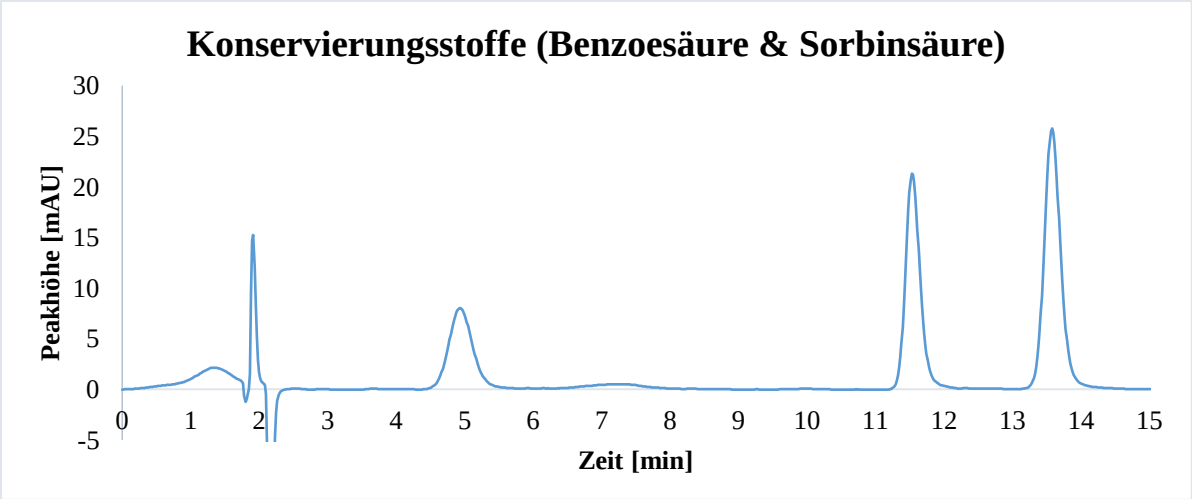


Abbildung 5-4 Qualitative Bestimmung der Konservierungsstoffe Benzoe- und Sorbinsäure [eigene Darstellung]

Durch die qualitative Bestimmung mithilfe einer Standardlösung konnte in dieser Methode für die Benzoesäure eine Retentionszeit von 11,1 – 11,6 Minuten und für Sorbinsäure eine Retentionszeit von 13,2 – 13,7 Minuten erhalten werden. Die Peaks im vorderen Bereich (bis zu einer Zeit von etwa 2,5 Minuten) ist auf das Lösungsmittel zurückzuführen und kann in jedem Chromatogramm der Konservierungsstoffe beobachtet werden, wohingegen die Peaks bei etwa 5,0 Minuten und 7,0 Minuten auf Verunreinigungen zurückzuführen sind. Um die Gehalte der Konservierungsstoffe quantifizieren zu können, werden Standardlösungen mit verschiedenen Konzentrationen angesetzt und gemessen. Aus den erhaltenen Peakflächen werden Kalibriergeraden erstellt und durch die erhaltenen Geradengleichungen aus den linearen Regressionen können die Gehalte an Benzoe- und Sorbinsäure berechnet werden (siehe Anhang E.7 V 7 *Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

5.2.1.4 Farbstoffe

Erfrischungsgetränke sind sehr beliebt und werden von mehr als ein Viertel der Kinder und Jugendlichen im Alter von 3 – 17 Jahren mehrmals täglich konsumiert, sodass ein hoher Alltagsbezug vorliegt [Mensink et al., 2020, S. 39]. Viele Erfrischungsgetränke enthalten Farbstoffe, um das Produkt für den Verbraucher ansprechender zu gestalten, wobei zwischen natürlichen und synthetischen Farbstoffen unterschieden wird. Vor allem Kinder achten auf die Farbgebung, sodass für die Kinder gefärbte Getränke attraktiver sind als farblose Getränke. Durch das Lebensmittelrecht wird festgelegt, welche Farbstoffe generell in Lebensmitteln und welche speziell in Getränken eingesetzt werden dürfen und in welchen Mengen. Dabei gibt es einige Farbstoffe, die besonders gekennzeichnet werden müssen, weil sie in Verdacht stehen die

Aktivität und Aufmerksamkeit der Kinder zu beeinträchtigen. Aufgrund des hohen Alltagsbezuges und der Motivationssteigerung beim Lernen der Schüler:innen eignen sich besonders die Farbstoffe für die Thematisierung im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* und dem schulischen Chemieunterricht.

Gerade die qualitative Bestimmung der Farbstoffe zeigt einen hohen Motivationswert bei den Schüler:innen, weil das Ergebnis häufig direkt mit dem bloßen Auge wahrgenommen werden kann. Um Farbstoffe qualitativ zu bestimmen, eignen sich verschiedene Methoden. Dazu gehören neben dem Einsatz der Dünnschichtchromatographie (DC) auch die Papierchromatographie (PC), sowie die Photometrie und die HPLC. Im Seminar wurde sich für die DC und die Aufnahme von Absorptionsspektren mit dem Photometer entschieden. Da die PC auf demselben Prinzip wie die DC beruht, wurde sich auf die DC beschränkt. Farbstoffe setzen sich gerne auf den Säulen der Hochleistungsflüssigkeitschromatographen fest und lassen sich schlecht wieder lösen, weshalb auf die Aufnahme der Absorptionsspektren mit der HPLC verzichtet und stattdessen die Absorptionsspektren mit dem Photometer aufgenommen wurden.

Die qualitative Farbstoffbestimmung mittels DC basiert auf der Wollfaden-Methode von Matissek & Steiner (2006) zur Identifizierung wasserlöslicher, synthetischer Farbstoffe mittels DC. Um die Farbstoffe an den Wollfäden aufzunehmen, werden in dieser Methode die Wollfäden im leicht sauren Milieu in die Probelösung gegeben und solange erhitzt und am Sieden gehalten, bis die Farbstoffe vollständig von den Wollfäden aufgenommen wurden. Die gefärbten Fäden wurden mit destilliertem Wasser gewaschen. Es folgte die Isolierung der Farbstoffe in methanolischer Ammoniaklösung, wobei die Lösung mit den Fäden so lange erwärmt wurde, bis die Farbstoffe von den Wollfäden vollständig entfernt worden sind. Die gefärbten Lösungen konnten schließlich zur qualitativen Bestimmung der Farbstoffe auf die Dünnschichtchromatographie-Platte (DC-Platte) aufgetragen werden [Matissek & Steiner, 2006, S. 271 ff.]. Bei Anwendung dieser Methode auf die Erfrischungsgetränke haben sich am Ende gefärbte Lösungen ergeben, die jedoch zu schwach gefärbt waren, sodass auf der entwickelten DC-Platte keine Spots zu erkennen waren. Daher wurden die entfetteten Wollfäden in den gefärbten Erfrischungsgetränken eingelegt und über Nacht stehen gelassen. Am nächsten Tag wurden die gefärbten Wollfäden mit Seifenlösung sowie destilliertem Wasser gewaschen und angetrocknet. Anschließend konnten mithilfe einigen Tropfen der methanolischen Ammoniaklösung die Farbstoffe von den Wollfäden isoliert und auf die DC-Platte aufgetragen werden. Dadurch, dass die Farbstoffe über Nacht intensiver auf die Wollfäden aufziehen konnten, sind die Wollfäden auch intensiver vor dem Waschen gefärbt, sodass am Ende auch die Probelösungen intensiver gefärbt vorlagen. Nachdem die Probelösungen und die entsprechenden Vergleichslösungen der

Farbstoffe auf die DC-Platte, die aus Kieselgel mit Fluoreszenzindikator besteht, aufgetragen worden sind, erfolgte die Entwicklung der DC-Platte in einer dafür vorgesehenen Kammer mit Deckel. Für das Laufmittel wurden nach Matissek & Steiner (2006) drei verschiedene Varianten angegeben: a) *n*-Butanol/Ethanol/destilliertes Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5; v/v), b) Toluol/Eisessig (65/35; v/v) und c) Ethylacetat/Methanol/Ammoniak (25 %)/destilliertes Wasser (60/18/5/12; v/v). Durch praktisches Austesten der verschiedenen Laufmittel, hat sich das Laufmittel mit *n*-Butanol/Ethanol/destilliertes Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5; v/v) am effektivsten in Bezug auf die Trennung der einzelnen Spots und die Laufzeit herausgestellt. Die qualitative Auswertung der Farbstoffe erfolgt über die Bestimmung und den Vergleich der Retentionsfaktoren (R_f-Werte) für die Spots der Probelösungen und der Vergleichslösungen (siehe Anhang E.19 V 19 *Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC)*).

Bei der DC der Farbstoffe sind die Spots der roten Farbstoffe teilweise ähnlich gefärbt und unterscheiden sich zusätzlich nur minimal im R_f-Wert, sodass entweder ein Mischchromatogramm angefertigt werden muss oder ein Vergleich mit den Absorptionsspektren der einzelnen Farbstoffe angestrebt werden sollte, um Gewissheit zu haben, welche Farbstoffe in den Erfrischungsgetränken enthalten sind. Da die Aufnahme des Absorptionsspektrums mit dem Photometer weniger Zeitaufwand mit sich bringt, wird diese Art der Methode herangezogen. Die Grundlage der Überlegung, für die Farbstoffe Absorptionsspektren aufzunehmen, stammt aus der Methode von Yoshioka & Ichihashi (2008), die mithilfe des Diodenarray-Detektors, Absorptionsspektren von 40 verschiedenen synthetischen Farbstoffen in Getränken und Süßigkeiten untersucht haben. Da die Proben bei dieser Methoden zunächst über eine Polyamidsäule aufgereinigt werden müssen, bevor diese in die HPLC injiziert werden können, nimmt dies zu viel Zeit für das Seminar und den schulischen Chemieunterricht in Anspruch. Daher wurde überlegt, wie dennoch die Absorptionsspektren der gefärbten Getränke aufgenommen werden könnten. Da das zur Verfügung stehende *JASCO V-750 Spectrophotometer* Absorptionsspektren im Bereich von 200 – 800 nm aufnehmen kann, wurde dies entsprechend verwendet. Dafür wurden die gefärbten Getränke im Ultraschallbad entgast und mit destilliertem Wasser verdünnt. Es folgte schließlich die Aufnahme der Absorptionsspektren gegen destilliertes Wasser mit dem Photometer. Die synthetischen Farbstoffe, die als Vergleich dienen, wurden in destillierten Wasser gelöst und verdünnt, sodass schwach gefärbte Vergleichslösungen vorlagen, bei denen ebenfalls die Absorptionsspektren gegen destilliertes Wasser aufgenommen wurden. Aus den erhaltenen Spektren für die Probe- und Vergleichslösungen können die Absorptionsmaxima bestimmt werden, die zum Vergleich herangezogen werden, um eine Aussage treffen zu

können, welche Farbstoffe in den Getränken enthalten sind (siehe Anhang E.15 V 15 *Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Photometrie*).

5.2.1.5 Chinin

Ein bei den Studierenden und Schüler:innen weniger bekannter Inhaltsstoff in Erfrischungsgetränken und Spirituosen ist das Chinin. Chinin ist ein Bitterstoff, der in Bitter Lemon und Tonic Water enthalten ist, wodurch die bittere Note dieser Getränke zu erklären ist. Da Bitter Lemon und Tonic Water jedoch bekannte Erfrischungsgetränke sind, ist auch hier ein Alltagsbezug zu erkennen. Die Thematisierung bietet sich an, um gesundheitliche Aspekte zu thematisieren, da Chinin Allergien und Unverträglichkeiten hervorrufen kann. Daher muss auf den Produkten auch immer der Hinweis „chininhaltig“ angegeben werden. Aufgrund des Bezüge zur Lebenswelt der Studierenden und Schüler:innen sowie der gesundheitlichen Aspekte, wurde ein Versuch zur Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water erarbeitet, wobei das Bitter Lemon und das Tonic Water der Firma Schweppes sowie das Tonic Water von Thomas Henry eingesetzt wurde.

Auf der Grundlage der einfachen und schnellen Methode zur Bestimmung von Chinin in Erfrischungsgetränken mit Fluoreszenzdetektion nach Samanidou et al. (2004) wurde der Versuch auf die zur Verfügung stehende HPLC übertragen. Der einzige Unterschied bestand im Säulendurchmesser, der sich um 0,6 mm unterschieden hat. Demnach wurde als mobile Phase ein Gemisch aus 45 % Methanol, 15 % Acetonitril und 40 % Ammoniumacetat (0,1 M) bei einer Flussrate von 1,0 mL/min verwendet. Die Absorptionsmessung erfolgte bei 325 nm, wohingegen in der Methode von Samanidou et al. (2004) zusätzlich die Emission bei 375 nm detektiert worden ist. So konnte bei der qualitativen Bestimmung mithilfe einer Standardlösung das Chinin bei einer Retentionszeit von 3,5 – 3,8 Minuten detektiert werden, wodurch ein Lauf der HPLC nur 5 Minuten in Anspruch genommen hat (Abbildung 5-5).

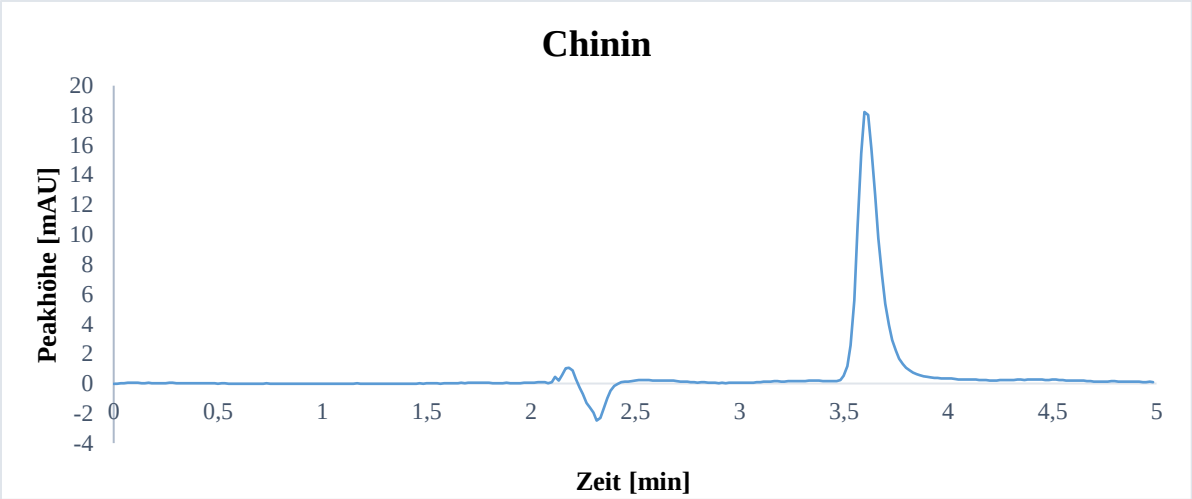


Abbildung 5-5 Qualitative Bestimmung von Chinin [eigene Darstellung]

Da die Erfrischungsgetränke Tonic Water und Bitter Lemon flüssig sind, müssen diese vor der Bestimmung des Chiningehaltes ausschließlich entgast und entsprechend verdünnt werden. Damit eine quantitative Bestimmung durchgeführt werden kann, wurde mithilfe der Peakflächen verschieden konzentrierter Standardlösungen (1,0 – 10,0 mg/L) eine externe Kalibrierung durch graphische Darstellung und lineare Regression durchgeführt. Mithilfe der dadurch erhaltenen Geradengleichung kann der Gehalt an Chinin in Bitter Lemon und Tonic Water berechnet werden (siehe Anhang E.2 V 2 *Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

5.2.1.6 Taurin

Energydrinks enthalten neben Koffein auch Taurin, sodass ein weiterer Inhaltsstoff thematisiert werden kann, der eine Leistungssteigerung mit sich bringen soll. So wird für Taurin ebenfalls lebensmittelrechtlich ein Höchstmengengehalt festgelegt. Dieser beträgt 4000 mg/L [Meyer, 2020a, S. 17]. Um die lebensmittelrechtliche Vorgabe zu überprüfen und aufgrund des Lebensweltbezuges der Studierenden und Schüler:innen, ist es sinnvoll Taurin in einem Experiment zu thematisieren.

Das in den Energydrinks enthaltene Taurin kann mithilfe der HPLC qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Bei Taurin handelt es sich um eine Aminosäure, die nicht UV-aktiv ist und daher derivatisiert werden muss, damit eine Bestimmung mit der HPLC möglich ist (siehe Abbildung 5-6).

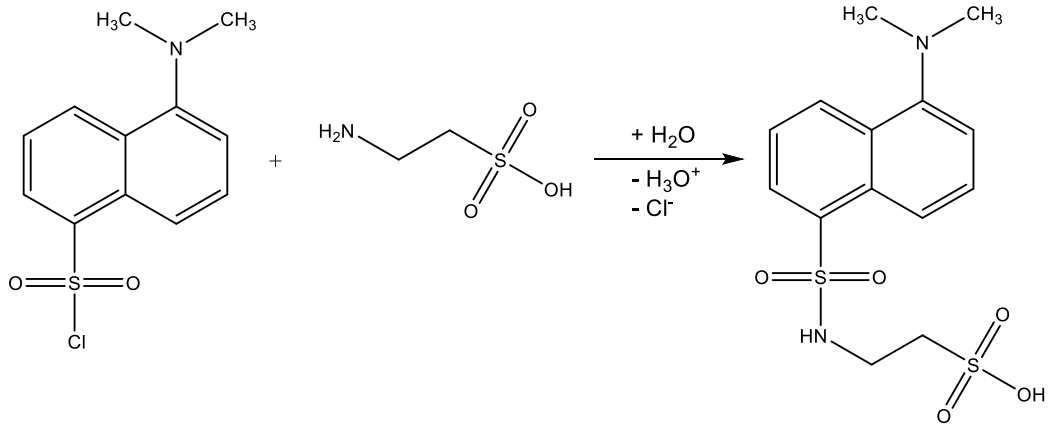


Abbildung 5-6 Beispiel eines Derivatisierungsvorgangs von Taurin mit Dansylchlorid [modifiziert nach Löffler, 2008, S. 18]

Auf der Grundlade der Methode von Higashi & Fujii (2005) können Substanzen mit einer freien Aminogruppe mit Dansylchlorid derivatisiert werden. Dafür muss die Derivatisierung im schwach alkalische Milieu bei einer höheren Temperatur als Raumtemperatur erfolgen. Im Gegensatz zur Methode von Higashi & Fujii (2005) erfolgte das schwach alkalischen Milieu durch die Zugabe von Natriumcarbonat-Lösung, bevor das Dansylchlorid in Aceton zugegeben wurde. Ebenfalls wurde die anschließende Inkubationszeit bei 50 °C von 30 Minuten auf 15 Minuten reduziert, da es bei den Messungen mit den unterschiedlichen Inkubationszeiten keine Unterschiede in den errechneten Tauringehalten gab. Nach der Inkubationszeit von 15 Minuten können die derivatisierte Proben schließlich in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert werden.

Auch die Geräteparameter der zur Verfügung stehenden HPLC unterscheiden sich zu der Methode von Higashi & Fujii (2005), sodass Optimierungen vorgenommen werden mussten. Die unterschiedlichen Parameter der Basismethode von Higashi & Fujii (2005) und der optimierten Methode werden in Tabelle 5-3 gegenübergestellt.

Tabelle 5-3 Gegenüberstellung der Geräteparameter aus der Basismethode zur optimierten Methode [Higashi & Fujii, 2005]

Parameter	Methode von Higashi & Fujii (2005)	optimierte Methode
Säule	C 18 mit 5 µm Packungsdichte	C 18 mit 5 µm Packungsdichte
Säulenlänge	4,6 · 150 mm	4,6 · 250 mm
Fließmittel	Methanol/Essigsäure (0,2 %) (90/10)	Methanol/Essigsäure (1,0 %) (75/25)
Flussrate	Gradientenelution: 0,3 mL/min bis 18 min 1,5 mL/min bis 29 min	isokratische Elution: 1,2 mL/min
Detektion	370 nm (Absorption) 506 nm (Emission)	370 nm
Laufzeit	29 min	11 min

Zu Beginn der praktischen Phase zur Erstellung der Taurinbestimmung wurden die Parameter von Higashi & Fujii (2005) auf die vorhandene Säule übertragen, wobei auf eine Gradientenelution verzichtet und eine isokratische Elution mit dem Fließmittel Methanol/Essigsäure (0,2 %) (90/10) bei einer Flussrate von 1,5 mL eingesetzt wurde. Ebenso wurde die Detektion auf die Absorption bei 370 nm beschränkt und demnach keine Emissionsmessung bei 506 nm durchgeführt. Mit diesem Parametern konnte mit isokratischer Elution jedoch keine zufriedenstellende Trennung zwischen Dansylchlorid und Taurin erzielt werden. Daher wurde zunächst die Konzentration der Essigsäure von 0,2 % auf 1,0 % erhöht. Zudem wurde der Anteil der Essigsäure in der Fließmittelzusammensetzung und der Flussrate variiert. So konnte mit einer Fließmittelzusammensetzung von Methanol/Essigsäure (1,0 %) (75/25; v/v) bei einer Flussrate von 1,2 mL/min die beste Trennung zwischen Dansylchlorid und Taurin erreicht werden (Abbildung 5-7). Mithilfe dieser Parameter konnte zusätzlich eine enorme Zeitersparnis erzielt werden, sodass die Laufzeit von 29 Minuten auf 11 Minuten verkürzt werden konnte.

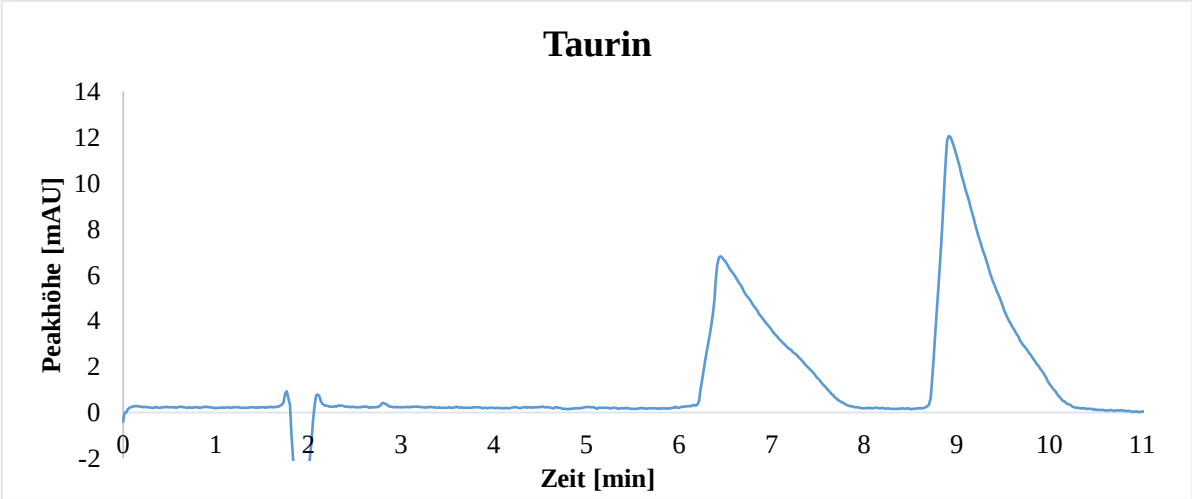


Abbildung 5-7 Qualitative Trennung von Dansylchlorid und Taurin [eigene Darstellung]

Anhand Abbildung 5-7 kann die qualitative Bestimmung von Taurin in Energydrinks erfolgen, indem die Retentionszeit der Energydrinks mit der Retentionszeit von der Standardsubtanz Taurin verglichen wird. So wird Taurin bei einer Retentionszeit von 8,9 – 9,2 Minuten eluiert, wohingegen der Peak bei etwa 6,5 Minuten das überschüssige Derivatisierungsreagenz, Dansylchlorid, anzeigt.

Für die quantitative Bestimmung werden vier verschiedene Taurin-Standardlösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen mit Dansylchlorid derivatisiert und gemessen. Aus den erhaltenen Peakflächen für die verschieden konzentrierten Standardlösungen an Taurin wird eine Kalibriergerade erstellt. Durch die lineare Regression wird eine Geradengleichung erhalten, die nach Umstellen zur Berechnung des Tauringehaltes in Energydrinks herangezogen werden kann (siehe Anhang E.9 V 9 *Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*). Anhand der berechneten Tauringehalte der Energydrinks können die Ergebnisse bewertet werden, indem ein Vergleich mit dem lebensmittelrechtlich festgelegten Höchstgehalt an Taurin und den Herstellerangaben durchgeführt wird. Dadurch kann die Bewertungskompetenz der Studierenden und Schüler:innen erweitert, gesundheitliche Aspekte angesprochen und das Konsumverhalten nochmal überdacht werden.

5.2.2 Alkaloidhaltige Lebensmittel

Das Alkaloid Koffein ist nicht nur in koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken und Energydrinks enthalten, sondern auch in Lebensmitteln wie Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade. Gerade die Schokolade ist ein Thema, dass die Schüler:innen besonders interessiert, woraus ein hoher Motivationswert resultiert. Jedoch nicht nur die Schokolade stellt ein interessantes Themengebiet dar, sondern auch der Kaffee, der bei den Studierenden und Schüler:innen der Sekundarstufe II

einen hohen Alltagsbezug aufweist, während in der Sekundarstufe I eher alkaloidhaltige Getränke, wie Tee und Kakao konsumiert werden. Um die Motivation weiter zu erhöhen, werden Experimente dazu eingeführt. Somit kann neben Koffein auch Theophyllin und Theobromin als Alkaloide thematisiert werden, die einen ähnlichen Wirkungsprozess wie das Koffein aufweisen. Zudem kann die Chlorogensäure als wichtigste Säure im Kaffee bestimmt werden und die Nase als chemischer Detektor eingesetzt werden. Mithilfe der eigenen Nase können die Studierenden und Schüler:innen einzelne Gerüche von Kaffee wahrnehmen und beschreiben, sodass ihnen nähergebracht werden kann, dass das typische Kaffeearoma sich aus vielen einzelnen Aromastoffen zusammensetzt.

5.2.2.1 Koffein, Theophyllin und Theobromin

Die Erstellung der Versuchsvorschrift zur *Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie* (siehe Anhang E.1) erfolgt aufbauend auf die Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks. Anders als bei der *Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie* (siehe Anhang E.4) werden neben Koffein auch Theophyllin und Theobromin bestimmt. Neben verschiedenen Kaffee- und Espressosorten werden auch schwarzer und grüner Tee, Nesquik und Bensdorp Kakaopulver sowie verschiedene Schokoladensorten der Firma Lindt zur Untersuchung herangezogen. Die Untersuchungsparameter zur Bestimmung von Koffein, Theophyllin und Theobromin in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade können aus Tabelle 5-4 entnommen werden.

Tabelle 5-4 Untersuchungsparameter zur Bestimmung von Koffein, Theophyllin und Theobromin in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade

Geräteparameter	
Gerät	Knauer Smartline HPLC
Säule	Phenomenex Kinetex C 18, 5 µm
Säulenlänge	4,6 · 250 mm
Detektor	Knauer Platin Blue
Detektion	273 nm
Fließmittel	Methanol/Wasser (40/60; v/v)
Flussrate	0,8 mL/min (isokratisch)
Laufzeit	5 min

Mithilfe dieser Parameter konnte mit einer Standardlösung, bestehend aus Koffein, Theophyllin und Theobromin, eine qualitative Bestimmung durchgeführt werden (Abbildung 5-8).

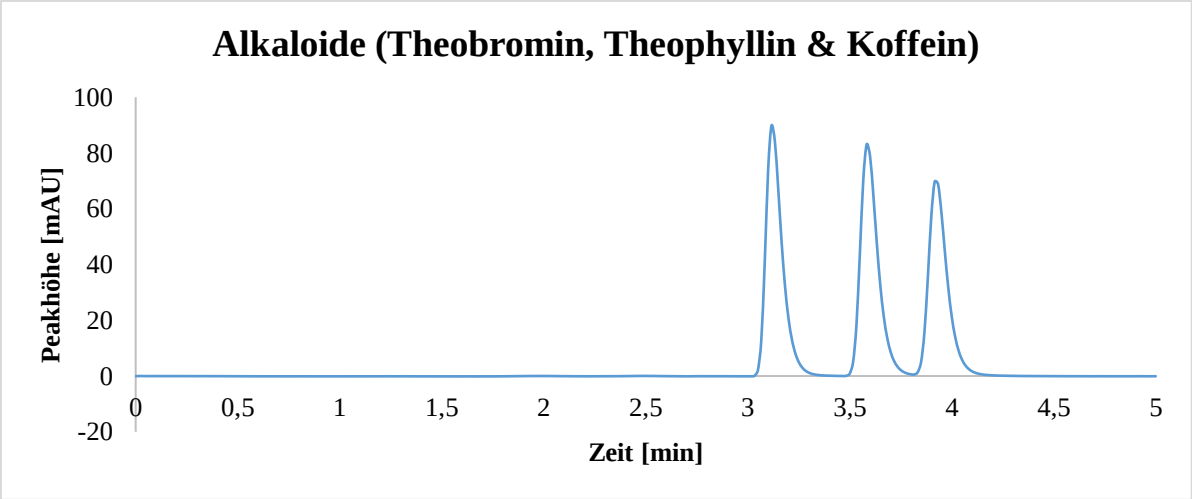


Abbildung 5-8 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit von Koffein, Theophyllin und Theobromin [eigene Darstellung]

Mit dieser Standardlösung konnten die Retentionszeiten für die drei Alkaloide ermittelt werden. Aus Abbildung 5-8 kann entnommen werden, dass Theobromin zuerst bei einer Retentionszeit von 3,0 – 3,1 Minuten eluiert wird, gefolgt von Theophyllin bei 3,5 – 3,6 Minuten und Koffein bei einer Retentionszeit von 3,8 – 4,0 Minuten. Zudem kann mit dieser Abbildung gezeigt werden, dass mit dieser Methode eine optimale Trennung der drei Alkaloide erreicht werden konnte.

Für die quantitative Bestimmung müssen die Kaffee-, Espresso-, Kakao- und Schokoladenproben zunächst aufgearbeitet werden. Dazu wurde zunächst die Durchführung aus der Methode von Abuirjeie et al. (1992) übernommen. Die dort dargestellt Aufarbeitung hat sich jedoch als nicht geeignet herausgestellt, sodass eine andere Aufarbeitung erfolgen musste. Daher erfolgte die Aufarbeitung auf der Basis der Methode des schweizerischen Lebensmittelbuch aus dem Jahr 1999 zur Bestimmung des Theobromins und Koffeins mittels HPLC. So werden für die Kaffee-, Espresso-, Tee- und Kakaoproben jeweils nur 0,5 g zur Bestimmung eingesetzt. Es folgt die Zugabe einer verdünnten Ammoniaklösung sowie siedendes destilliertes Wasser. Auf dem siedenden Wasserbad werden die Alkaloide aus den Lebensmittelproben für 15 Minuten suspendiert. Mithilfe von Carrez-Lösung I und II werden die Proteine ausgefällt, wobei anstelle von je 2 mL, wie in der Methode aus dem schweizerischen Lebensmittelbuch dargestellt wurde, nur jeweils 1 mL eingesetzt wurden. Durch das anschließende Filtrieren können die Probelösung, gegebenenfalls nach Verdünnung, zur Injektion in die HPLC verwendet werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die Schokoladenproben sich nicht direkt durch die Zugabe des siedenden destillierten Wassers auflösten, müssen diese gerührt werden. Da ein ständiges Rühren im Wasserbad im Labor nicht möglich war, wurde hier auf eine Heizplatte mit Rührfunktion zurückgegriffen, sodass die Schokolade unter ständigem Rühren suspendiert werden

konnte. Die weitere Aufarbeitung mit der Carrez-Klärung und anschließender Filtration und Verdünnung, erfolgt wie bei den Kaffee-. Espresso-, Tee- und Kakaoproben.

Die so aufgearbeiteten Proben können zur Quantifizierung des Gehaltes an Theobromin, Theophyllin und Koffein herangezogen werden. Diese erfolgt anhand einer externen Kalibrierung. Dafür werden neun verschieden konzentrierte Standardlösungen mit den drei Alkaloiden in Wasser angesetzt und mithilfe des Hochleistungsflüssigkeitschromatographen gemessen. Die Mittelwerte für die Peakflächen der einzelnen Alkaloide können gegen die Konzentrationen aufgetragen werden, sodass für jedes Alkaloid eine Kalibriergerade vorliegt. Durch lineare Regression werden die Geradengleichungen erhalten, die durch Umstellen und Einbezug der Einwaage zur Bestimmung von Theobromin, Theophyllin und Koffein herangezogen werden (siehe Anhang E.1 V 1 *Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*) . Auch wenn es keine Höchstgehalte für die Alkaloide in Kaffee, Espresso, Tee, Kakao und Schokolade gibt, können die ermittelten Gehalte mit theoretischen Gehalten verglichen werden. Zudem kann ein Vergleich zum Koffeingehalt von alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks angestrebt werden, sodass die Studierenden und die Schüler:innen bewerten können, in welchen Lebensmitteln mehr Koffein enthalten ist. Gesundheitliche Aspekte können thematisiert werden, sodass die Studierenden und Schüler:innen in Bezug auf ihren Konsum sensibilisiert werden und diesen möglicherweise nochmal überdenken.

5.2.2.2 Chlorogensäure

Die Vorbereitung des Versuchs und Erstellung der Versuchsvorschrift zur Bestimmung der Chlorogensäure in Kaffee erfolgte auf der Basis des Versuchs L 46.00 2 zur Bestimmung des Gehaltes an Chlorogensäure in Kaffee und Kaffeeerzeugnissen, welcher aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) stammt. Für die Probenaufarbeitung von Kaffeeextrakten, wie sie bei den löslichen Kaffee- und Espressosticks vorliegen, wird die Durchführung aus der § 64-Methode unverändert übernommen. So wurden die Kaffee- und Espressosticks mit kochendem Wasser übergossen, wodurch sich der Kaffeeextrakt auflöst und zur Bestimmung der Chlorogensäure herangezogen werden kann. Die Aufarbeitung für Röstkaffeeproben wurden hingegen nicht aus der § 64-Methode übernommen, da eine Soxhlet-Extraktion durchgeführt werden sollte, die mehrere Stunden in Anspruch nehmen kann. Um die Durchführung an die zur Verfügung stehende Zeit anzupassen, wurde der Röstkaffee mit siedendem destillierten Wasser übergossen und auf

der Heizplatte weiter erhitzt. Durch nachfolgendes Filtrieren liegt ein Kaffee wie aus einer Kaffeemaschine vor, der zur Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes verwendet werden kann.

Für die qualitative Bestimmung der Chlorogensäure wurde eine Standardlösung in Wasser hergestellt. Die Geräteparameter wurden jedoch nicht aus der § 64-Methode entnommen, da es sich um eine Gradientenelution handelt, bei denen ein Lauf der HPLC 41 Minuten einnimmt. Demnach wurde nach einer Methode mit Geräteparametern gesucht, bei denen die Läufe der HPLC deutlich kürzer sind. Somit wurde auf der Grundlage der Methode von Wottawa (2010) als Fließmittel ein Natriumdihydrogenphosphat-Puffer (pH = 2,7) mit einer Flussrate von 1,0 mL/min (isokratisch) verwendet. Die Detektion erfolgt bei 270 nm [Wottawa, 2010, S. 49]. Um die Auskristallisation des Puffers zu vermeiden, wurde der Puffer mit Methanol versetzt. Dabei wurden die Anteile an Puffer und Methanol variiert, sodass sich die mobile Phase, bestehend aus Natriumdihydrogenphosphat-Puffer (pH = 2,7)/Methanol (85/15; v/v), als optimal in Bezug auf die Analysendauer herausgestellt hat. So kann die Chlorogensäure bei einer Retentionszeit von 9,3 – 10,0 Minuten eluiert werden (Abbildung 5-9), sodass ein Lauf der HPLC nur 11 Minuten in Anspruch nimmt und nicht wie bei der § 64-Methode 41 Minuten.

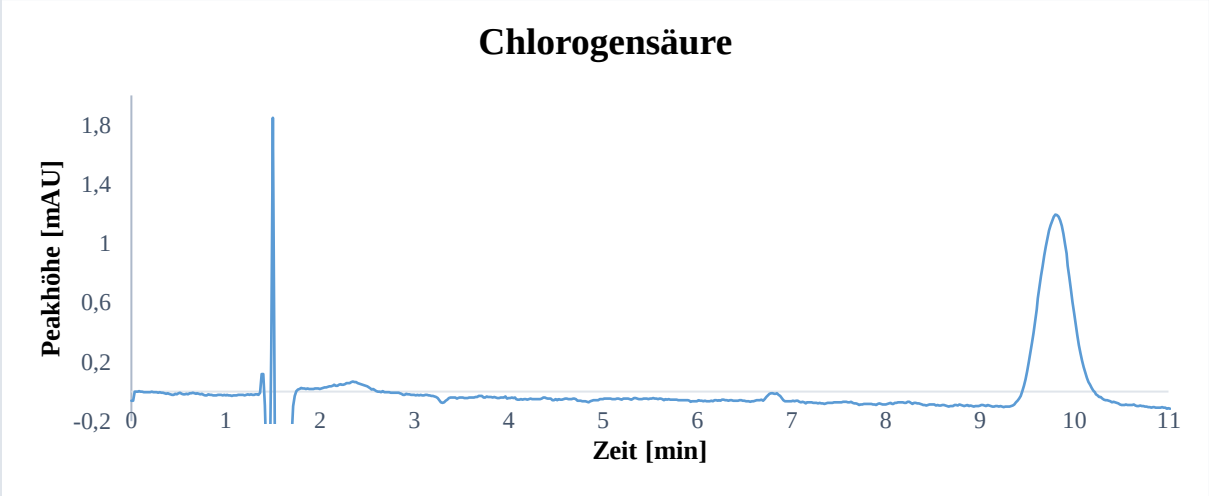


Abbildung 5-9 Chromatogramm zur qualitativen Bestimmung der Retentionszeit von Chlorogensäure [eigene Darstellung]

Demnach kann durch den Vergleich der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Chlorogensäure eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegende Kaffeesorte Chlorogensäure enthält. Für die quantitative Bestimmung werden die Probelösungen nach Aufarbeitung und Verdünnung in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert. Die quantitative Bestimmung erfolgt mithilfe der externen Kalibrierung über eine Kalibriergerade, die mit den Mittelwerten der Peakflächen verschieden konzentrierter Standardlösungen an Chlorogensäure graphisch dargestellt wird. Durch eine lineare Regression wird eine

Geradengleichung erhalten, die durch Umstellung und Einbezug der Einwaage der Kaffeeproben zur Berechnung des Chlorogensäuregehaltes führt (siehe Anhang E.3 V 3 *Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

Durch die Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes können die Studierenden und die Schüler:innen eine Aussage darüber treffen, ob es sich um eine Arabica- oder Robusta-Kaffeesorte handelt. Arabica- und Robusta-Kaffeesorten unterscheiden sich stark in ihrem Gehalt an Chlorogensäure. So liegt der Gehalt in Arabica-Kaffees niedriger mit einem Gehalt von 1,9 – 2,5 %, wohingegen Robusta-Kaffees 3,3 – 3,8 % an Chlorogensäure enthalten. Aus diesem Grund schmecken Robusta-Kaffeesorten häufig bitterer und saurer als Arabica-Kaffeesorten. Wie viel Chlorogensäure jedoch wirklich im Kaffee enthalten ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen neben der Bohnensorte, die Aufarbeitung der Kaffeekirschen, die Lage der Anbaugebiete, die Lufttemperatur bei der Fermentation und Trocknung, sowie der Röstgrad und der Mahlgrad der Kaffeebohnen. Die Chlorogensäure ist ein wichtiger Inhaltsstoff des Kaffees, dem eine antioxidativer Effekt zugeschrieben wird, sodass auch hier der gesundheitliche Aspekt zum Tragen kommt.

5.2.2.3 Kaffeearoma

Als Grundlage für die Aufarbeitung des Röstkaffees zur Beschreibung des Aromas mittels Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O) dient die Methode von Seidel & Lindner (1993), die die Simultane Destillation Extraktion (SDE) angewandt haben, um Bodenproben für die Bestimmung mittels GC anzureichern. Wie in der Methode von Seidel & Lindner (1993) wird in der Methode zur Beschreibung des Kaffeearomas ebenfalls die SDE-Apparatur nach Likens & Nickerson (1964) verwendet (Abbildung 5-10).

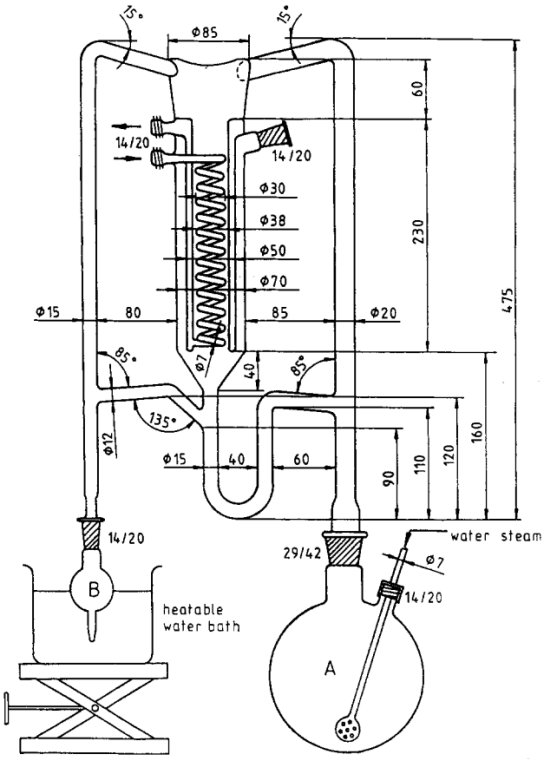


Abbildung 5-10 Darstellung einer Apparatur der Simultanen-Destillations-Extraktion (SDE) nach Likens-Nickerson [Seidel & Lindner, 1993]

In Kolben A wird etwa 30 g gemahlener Röstkaffee eingewogen. Dieser wird mit Siedesteinchen und 500 mL destilliertem Wasser versetzt. In Kolben B werden 30 mL *n*-Pentan als organisches Lösungsmittel gegeben. Die beiden Kolben werden nun an die SDE gehangen, wobei Kolben B mit dem organischen Lösungsmittel am höher angesetzten Rücklauf und Kolben A mit der Lebensmittelprobe am niedriger angesetzten Rücklauf befestigt wird. Zur Kühlung der Apparatur wird Leitungswasser verwendet. Der mittlere obere Auslaufhahn auf der Rückseite der Apparatur wird zudem mit destilliertem Wasser gefüllt, sodass der untere Füllbogen bedeckt ist. Die SDE wird durch das Anstellen der Heizpilze unter den beiden Kolben gestartet. Beginnt eine Seite zu Sieden, wird der entsprechende Heizpilz heruntergeregelt, sodass ein Siedezustand bleibt, aber ein „Trockenlaufen“ des Kolbens mit dem organischen Lösungsmittels vermieden wird. Die Kolbeninhalte werden für insgesamt zwei Stunden am Sieden gehalten.

Der Ablauf einer solchen SDE besteht aus fünf einzelnen Schritten und beginnt mit der Wasserdampfdestillation, nachdem der gesamten Extraktionsraumes gesättigt worden ist. In den darauffolgenden Schritten werden die flüchtigen Aromastoffe verdampft und in der Gasphase extrahiert. Nach dem Kühlen erfolgt die Extraktion der Flüssigkeit, sodass im letzten Schritt die Lösungsmittel aufgrund der unterschiedlichen Polaritäten wieder in die Kolben zurückfließen. Demnach befinden sich die Aromastoffe am Ende der SDE mit im Kolben des organischen Lösungsmittels, dessen Inhalt über Natriumsulfat getrocknet wird. Nach der

anschließenden Filtration können 0,5 µL dieser Probelösung in den Gaschromatographen injiziert werden.

Nach Grosch (1996) enthalten Arabica-Kaffees verschiedene Aromastoffe, die zusammen mit der Beschreibung des Geruchs aus Tabelle 5-5 entnommen werden können.

Tabelle 5-5 Darstellung der in Arabica-Kaffee enthaltenen Aromastoffe und die zugehörigen Geruchsbeschreibungen [Grosch, 1996]

Aromastoff	Geruchsbeschreibung
2-Furfurylthiol	röstig
3-Mercapto-3-methylbutylformiat	Katzenurin, röstig
Phenylacetalaldehyd	Honig
4-Ethylgujacol	würzig, phenolisch
2-Isobutyl-3-methxypyrazin	Paprika
3-Methylbutanal	malzig
4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3[2H]-furanon	Karamell
Vanillin	Vanille
Propanal	fruchtig, stechend

Für die Beschreibung der Aromastoffe in Kaffee wird eine Phenomenex ZB-WAX Säule mit einer Länge von 30 m, einem Innendurchmesser von 0,25 mm und einer Filmdicke von 0,25 µm verwendet. Die Säulenparameter, in Bezug auf die Länge, den Innendurchmesser und die Filmdicke, stimmen demnach mit der verwendeten Säule in der Methode von Seidel & Lindner (1993) überein. Im Gegensatz zur Methode von Seidel & Lindner (1993) wurde ein Splitverhältnis von 1:5 eingesetzt und ein geringerer Druck von 113 kPa gewählt, woraus eine geringere Flussrate resultiert. Das Temperaturprogramm wurde ebenfalls variiert, bis die verschiedenen Aromen bestmöglich am „Sniffing-Port“ wahrgenommen werden konnten. Somit wurde die Temperatur zunächst für 2 Minuten isotherm bei 40 °C gehalten. Es folgt ein Temperaturanstieg von 40 °C auf 230 °C mit einer Heizrate von 22 °C/min und anschließend wird die Temperatur von 230 °C für 50 Minuten isotherm gehalten. Am Flammenionisationsdetektor wurde eine geringere Temperatur von 250 °C gewählt. Mithilfe dieser Parameter können die wahrgenommenen Gerüche, der mit der SDE aufgearbeiteten Probe, beschrieben werden. Auch wenn ein GC-O-Lauf für 60 Minuten angesetzt ist, werden jeweils nur für 15 Minuten die wahrgenommenen Gerüche beschrieben. Dies liegt einerseits daran, dass es nicht möglich ist, sich über 60 Minuten am „Sniffing-Port“ zu konzentrieren und andererseits ist die Nase nach maximal 15 Minuten übersättigt, sodass die Gerüche nicht mehr wahrgenommen werden können.

Bei der eigenen Durchführung des Experimentes zur Beschreibung des Kaffeearomas konnten verschiedene Geruchswahrnehmungen erkannt werden. Die Beschreibung der wahrgenommenen Gerüche kann Tabelle 5-6 entnommen werden.

Tabelle 5-6 Darstellung der Retentionszeiten der Gerüche und deren Beschreibung [eigene Durchführung]

Retentionszeit [min]	Geruchsbeschreibung
2,50	süß
2,90	Karamell
3,30	blumig
3,50	süß/Vanille
3,85	süß/Karamell
4,15	grün
4,39	Bier
5,31	malzig
6,07	leicht röstig/grün
6,52	pilzig
7,08	Vanille/blumig
7,24	würzig/Maggi
7,52	röstig/nussig/Schokolade
7,70	süß/Kaffee/röstig
7,82	gekochte Kartoffel
8,03	röstig
8,43	grün
8,75	rohe Kartoffel
9,30	würzig
9,91	Kaffee/malzig
10,08	Katzenurin
10,27	Zitrone
10,35	Vanille
10,75	malzig
12,40	stechend chemisch
15,39	süß
15,42	staubig/unbelüftet

All das sind Gerüche, die innerhalb der ersten 15 Minuten wahrgenommen worden sind, sodass gezeigt werden kann, dass sich das typische Kaffeearoma aus vielen verschiedenen Aromastoffen zusammensetzt. Dieses Experiment eignet sich sehr gut, da die Studierenden und damit die Schüler:innen eine neue Variante der gaschromatographischen Analyse (GC-O) kennenlernen. Zudem kann die Nase als chemischer Detektor erkannt werden, wodurch auch die sensorischen Untersuchungen betrachtet werden können, da den Studierenden und Schüler:innen nähergebracht werden kann, wie Geruch und Geschmack zustande kommen (siehe Anhang E.23

V 23 *Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O)*).

5.2.3 Obst und Gemüse

Aufgrund der steigenden Anzahl der Menschen, die sich vegetarisch ernähren, liegt ein zentraler Fokus auf pflanzlichen Lebensmitteln, beispielsweise Obst und Gemüse. Wie bereits in Kapitel 5.1 erwähnt, enthalten Obst und Gemüse viele gesundheitsfördernde Stoffe. Dazu gehören unter anderem die Vitamine. Das bekannteste Vitamin, das auch alle Studierenden und Schüler:innen kennen, ist das Vitamin C. Aufgrund des Bekanntheitsgrades von Vitamin C wurde dieses ausgewählt, um den Gehalt qualitativ und quantitativ in verschiedenen Obstsorten, wie beispielsweise Kiwi und Orange, zu bestimmen.

Neben der vegetarischen Ernährung rückt auch die Düngerproblematik in den Vordergrund. Dabei geht es um die Nitratbelastung im Grund- sowie Trinkwasser und damit auch in pflanzlichen Lebensmitteln, weshalb es sich anbietet, den Nitratgehalt in verschiedenen Gemüsesorten zu untersuchen. Während beim konventionellen Anbau anorganischer Dünger verwendet wird, der viel Nitrat enthält, werden im biologischen Anbau organische Dünger verwendet. Daher bietet es sich an, mit den Studierenden und Schüler:innen einen Vergleich zwischen konventionell und biologisch angebauten Produkten zu thematisieren.

5.2.3.1 Vitamin C

Die hochleistungsflüssigkeitschromatographische Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in konventionell und biologisch angebauten Obstsorten erfolgt auf der Grundlage der Methode von Rückemann (1980) zur Bestimmung von L-Ascorbinsäure mittels HPLC. Dabei konnte die Durchführung größtenteils aus der Methode nach Rückemann (1980) übernommen werden. Während Rückemann (1980) das Obst und Gemüse zusammen mit der meta-Phosphorsäure und dem Silikonentschäumer für 2 Minuten püriert, wird in der optimierten Methode das bereits geschälte und pürierte Obst mit meta-Phosphorsäure und einigen Tropfen Ethanol als Entschäumer für 10 Minuten gerührt, sodass das Vitamin C aus dem Obst extrahiert werden kann. Nachdem die Aufschlämmung in den Messkolben überführt und dieser aufgefüllt worden ist, wird ein Teil der Aufschlämmung, wie bei Rückemann (1980) dargestellt, zentrifugiert und anschließend filtriert und nicht ultrafiltriert. Es folgt ein Verdünnungsschritt, bevor die Lösung in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert werden kann. Bis auf den Säulendurchmesser und die Detektionswellenlänge stimmen die Parameter für die HPLC überein (Fließmittel: Tetrabutylammoniumhydrogensulfat (in Wasser)/Methanol (94,5/5,5; v/v); Flussrate:

1,0 mL/min). So wird in der optimierten Methode eine Säule mit 0,6 mm größeren Innendurchmesser verwendet und die Detektion erfolgt bei 250 nm.

Als Vergleichssubstanz für die qualitative Bestimmung dient L-Ascorbinsäure, welche in destilliertem Wasser gelöst wird. Mithilfe der oben angegebenen Parameter wird eine Retentionszeit der L-Ascorbinsäure von 2,5 – 2,7 Minuten erreicht (Abbildung 5-11), sodass es sich um eine sehr schnelle Methode handelt, deren Läufe mit der HPLC nur 4 Minuten lang sind.

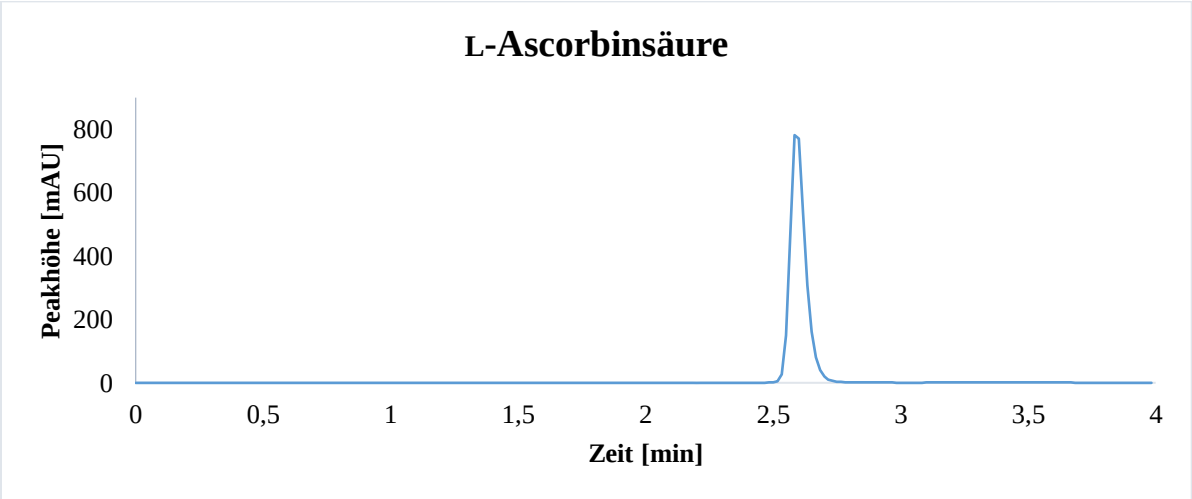


Abbildung 5-11 Qualitative Bestimmung von L-Ascorbinsäure (Vitamin C) [eigene Darstellung]

Die Quantifizierung des Vitamin C-Gehaltes in konventionell und biologisch angebauten Obstsorten erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür wurden fünf Kalibrierlösungen der L-Ascorbinsäure mit unterschiedlichen Konzentrationen herangezogen und gemessen. Die erhaltenen Mittelwerte der Peakflächen werden gegen die Konzentrationen der Kalibrierlösungen aufgetragen, wodurch eine Kalibriergerade erhalten wird, aus der durch lineare Regression eine Geradengleichung hervorgeht, die durch Umstellen zur Berechnung des Vitamin C-Gehaltes eingesetzt wird. Da Obst zu den festen Lebensmitteln gehört, muss zur Berechnung die Einwaage berücksichtigt werden (siehe Anhang E.10 V 10 *Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst (Biologisch vs. Konventionell) mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*).

Der Versuch zur Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst kann gut thematisiert werden, um den Studierenden und damit den Schüler:innen den Unterschied zwischen biologisch und konventionell angebauten Produkten zu erläutern. Durch den Vergleich des Vitamin C-Gehaltes kann gezeigt werden, dass die biologisch angebauten Produkte häufig mehr Vitamin C enthalten als die konventionell angebauten Produkte, wobei mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Das sind neben der Dauer des Transports, die Art und Dauer der Lagerung, der Standort

mit klimatischen Bedingungen, die Dauer der Sonneneinstrahlung, der Erntezeitpunkt, der Reifegrad und die Sorte. All diese Faktoren können neben der Verwendung von organischem und anorganischem Dünger thematisiert werden, sodass die Studierenden und Schüler:innen den Unterschied zwischen den biologisch und konventionellen Obstsorten kennenlernen. Dadurch kann das Bewusstsein geschärft werden, sodass sie zu mündigen Verbrauchern werden und selbst entscheiden können, welche Produkte (Bio vs. konventionell) sie konsumieren möchten.

5.2.3.2 Nitrat

Nitrat kann quantitativ mittels Photometrie bei 420 nm bestimmt werden. Die Methode basiert auf der Grundlage der Methode nach Scheiner (1974) zur Bestimmung von Abwassernitraten mit der Natriumsalicylat-Methode. Da es sich bei Gemüse über Lebensmittel handelt, die 80 – 90 % Wasser enthalten, kann diese Methode auch zur Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse eingesetzt werden. Im Gegensatz zum Abwasser muss das Gemüse entsprechend bearbeitet werden, um das Nitrat extrahieren und damit quantifizieren zu können. Dies erfolgt auf der Basis der Methode von Ledig & Wittke (1994) zur Bestimmung von Nitrat in Lebensmitteln. Dafür werden je nach Gemüsesorte 5 – 10 g abgewogen, mit destilliertem Wasser versetzt und für 20 Minuten gerührt, wodurch das Nitrat aus dem Gemüse extrahiert wird. Während in der Methode nach Ledig & Wittke (1994) der flüssige Teil abdekantiert, mit Aktivkohle versetzt und filtriert wird, wurde in der optimierten Methode darauf verzichtet. In der optimierten Methode erfolgte nach der Extraktion eine Filtration, wodurch nur schwach gefärbte Lösungen resultieren, die nicht weiter entfärbt werden müssen. Die weitere Durchführung basiert auf der Methode von Scheiner (1974), sodass 2 mL der extrahierten Probelösung und des Blindwertes (destilliertes Wasser) mit je 2 mL Natriumsalicylat-Lösung versetzt werden und im Trockenschrank bei 105 °C für etwa 30 Minuten bis zur vollständigen Trocknung eingedampft werden. In der optimierten Methode wird die Temperatur des Trockenschranks auf 120 °C erhöht, wodurch die Trocknungszeit auf etwa 10 Minuten verringert werden konnte. Abweichend von der Methode nach Scheiner (1974) wird der Rückstand in nur 1 mL konzentrierter Schwefelsäure (statt 2 mL) gelöst und für 10 Minuten stehen gelassen. Es folgt die Zugabe von 10 mL destilliertem Wasser (statt 15 mL) und das Herunterkühlen mit Eis. Dadurch hat sich die Wartezeiten stark verkürzt, sodass die 7 mL Natriumhydroxid-Seignettsalz-Lösung zugegeben werden konnten. Nach 10 Minuten sind die Lösungen farbstabil und können bei 420 nm photometrisch gemessen werden. Dadurch, dass nur die Hälfte an konzentrierter Schwefelsäure zugesetzt worden ist, konnte entsprechend auch die Zugabe der Natriumhydroxid-Seignettsalz-Lösung deutlich verringert werden, sodass neben der Zeitersparnis auch eine Ressourcenersparnis durch

die Optimierung der Methode vorliegt. Die Quantifizierung des Nitratgehaltes in den verschiedenen Gemüsesorten, die sowohl biologisch als auch konventionell angebaut worden sind, erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür wurden insgesamt sieben Kalibrierlösungen des Kaliumnitrats genauso aufgearbeitet und gemessen, wie die Probelösungen. Aus den erhaltenen Mittelwerten der Extinktionen kann eine Kalibriergerade erstellt werden, sodass mithilfe der linearen Regression eine Geradengleichung erhalten wird, die zur Quantifizierung des Nitratgehaltes in den Gemüsesorten herangezogen werden kann (siehe Anhang E.16 V 16 *Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse (Biologisch vs. Konventionell*) *mittels Photometrie*. Somit kann anhand dieses Versuchs ein Vergleich zwischen konventionellen und biologisch angebauten Produkten in Bezug auf den Nitratgehalt thematisiert werden. Parameter, die für den Nitratgehalt verantwortlich sind, sind neben der Pflanzenart die Lichtverhältnisse, aber auch die Art und der Umfang der Düngung sowie die vorherrschende Bodenzusammensetzung. Zudem können die Studierenden und damit die Schüler:innen überprüfen, ob die maximal zulässigen Höchstgehalte an Nitrat in den entsprechenden Gemüsesorten eingehalten werden, die lebensmittelrechtlich festgelegt sind. Damit kann das Bewusstsein der Studierenden sowie der Schüler:innen geschärft werden und das Kaufverhalten eventuell angepasst werden. Aufgrund der aufwendigen Aufarbeitung kann dieser Versuch eher in einer Projektwoche eingesetzt werden.

5.2.4 Honig

Honig ist ein alltägliches Lebensmittel, welches auf vielen Frühstückstischen zu finden ist. Für die Inhaltsstoffe des Honigs gibt es einige lebensmittelrechtliche Anforderungen, die in der Honigverordnung festgehalten sind. Dazu gehören beispielsweise der Gehalt an Hydroxymethylfurfural (HMF) und die Diastase-Aktivität. Wird zusätzlich zum HMF-Gehalt und der Diastase-Aktivität noch der des Honigs bestimmt, kann mithilfe dieser drei Parameter eine Aussage über die Naturbelassenheit des Honigs getroffen werden. Zudem können die im Lebensmittelrecht festgeschriebenen Mindest- und Höchstgehalte überprüft und bewertet werden. Weiterhin darf Honig gemäß der Honigverordnung nicht in Gärung übergegangen sein. Um dies zu überprüfen, kann die Bestimmung des Ethanolgehaltes herangezogen werden, weil Ethanol das Produkt aus der alkoholischen Gärung ist. Somit wurden für die Lebensmittelgruppe Honig Experimente ausgewählt und optimiert, um Parameter der Honigverordnung zu überprüfen.

5.2.4.1 Hydroxymethylfurfural (HMF)

Die Bestimmung des Gehaltes an HMF in Honig mittels HPLC erfolgt auf der Grundlage der Methode L 40.00 10/3 der Amtlichen Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB). Aus der § 64-Methode kann die Versuchsdurchführung unverändert übernommen werden, sodass der Honig abgewogen, in destilliertem Wasser gelöst und in einen Messkolben überführt wird. Es folgt die Klärung der Honiglösungen durch das Ausfällen der Proteine, wodurch das HMF stabilisiert wird. Der Messkolben wird aufgefüllt und der Inhalt filtriert, bevor die Honiglösung in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert werden kann. Nach der § 64-Methode wird für die Messungen der HPLC eine mobile Phase, bestehend aus Dinatriumhydrogenphosphatlösung (0,01 mol/L)/Methanol (95/5; v/v) bei einem pH-Wert von pH = 3,0, verwendet. Diese wurde zunächst so übernommen, jedoch konnte mit dieser mobilen Phase das Hydroxymethylfurfural bei einer Detektionswellenlänge von 284 nm nicht nachgewiesen werden. Daher wurde eine weitere Methode zur Bestimmung von HMF in Honig zur Optimierung herangezogen. Die Methode stammt von Jeuring & Kuppers (1980), in der als mobile Phase ein Gemisch aus Methanol/Wasser (10/90; v/v) und eine Detektionswellenlänge von 285 nm verwendet wird. Mit der mobilen Phase Methanol/Wasser (10/90; v/v) von Jeuring & Kuppers (1980) konnte HMF nach einer Retentionszeit von 4,8 – 4,9 Minuten eluiert werden (Abbildung 5-12), sodass HPLC-Läufe von maximal 8 Minuten zur Bestimmung von HMF benötigt werden.

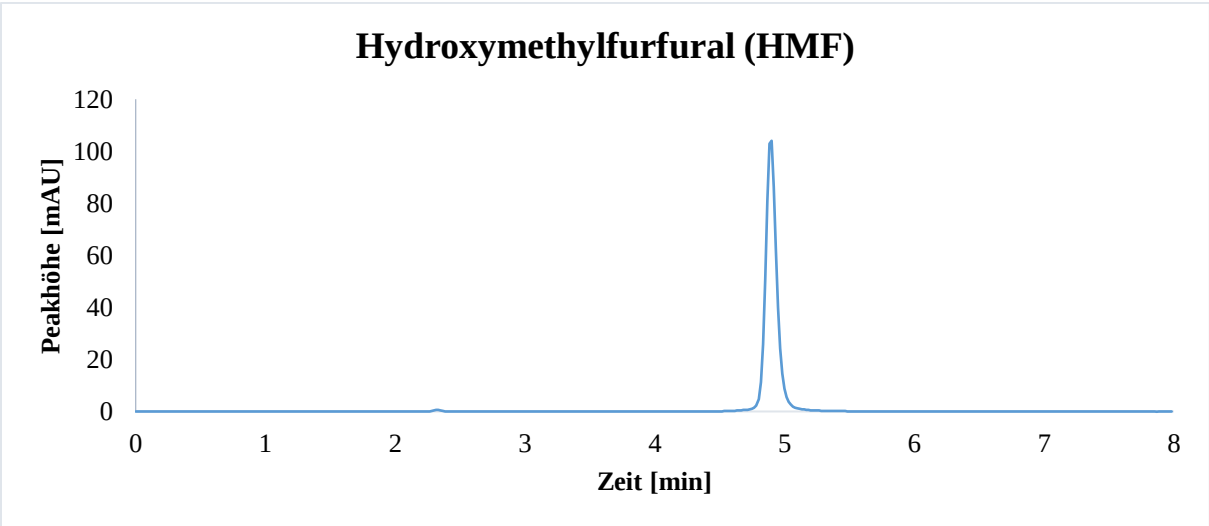


Abbildung 5-12 Qualitative Bestimmung von Hydroxymethylfurfural (HMF) [eigene Darstellung]

Zur qualitativen Bestimmung von HMF in Honigen werden die Retentionszeiten der Honigproben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz HMF verglichen. Damit kann eine Aussage darüber getroffen werden, welche der vorliegenden Honige HMF enthalten und welche nicht.

Die Quantifizierung erfolgt über eine externe Kalibrierung, für die verschieden konzentrierte Standardlösungen von HMF mittels HPLC gemessen werden. Anhand der Mittelwerte der erhaltenen Peakflächen und der Konzentrationen der Standardsubstanzen kann eine Kalibriergerade erstellt und eine lineare Regression durchgeführt werden. Durch Umstellen der erhaltenen Geradengleichung und unter Einbezug der Einwaage kann der Gehalt an HMF in den verschiedenen Honigen berechnet werden (siehe Anhang E.6 V 6 *Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)*). Die errechneten Gehalte an HMF können herangezogen werden, um die Naturbelassenheit eines Honigs zu bestimmen, denn frischer Honig enthält kein oder nur kaum HMF. Erst während der Lagerung kann sich HMF aus Zuckern, vor allem Fructose, durch die Abspaltung von Wassermolekülen bilden (siehe Abbildung 5-55). Dabei steigt der Gehalt an HMF umso schneller, je höher die Lagertemperatur ist. Zusätzlich kann HMF gebildet werden, wenn die Temperatur bei der Abfüllung von kristallisiertem Honig zu hoch gewählt worden ist. Für Honig wird in der Honigverordnung ein maximal zulässiger Höchstgehalt für HMF festgelegt, der eingehalten werden muss. Demnach dürfen Honige im Allgemeinen, mit der Ausnahme von Backhonig, einen HMF-Gehalt von 40 mg/kg nicht überschreiten und Honige, deren Ursprung in Regionen mit tropischem Klima liegen, dürfen einen HMF-Gehalt von 80 mg/kg nicht überschreiten. Anhand der lebensmittelrechtlich festgelegten Höchstgehalte und der Bewertung der Naturbelassenheit eines Honigs kann die Bewertungskompetenz der Studierenden und Schüler:innen erweitert werden. Somit können die Studierenden und Schüler:innen überlegen und diskutieren, was mit den Honigen passiert, die den Höchstgehalt an HMF überschreiten.

5.2.4.2 Diastase

Die Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie erfolgt auf der Grundlage der Methode L 40.00 1 der Amtlichen Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch. Die Probenvorbereitung wurde direkt aus dieser Methode übernommen, wohingegen bei der Kalibrierung der Reaktionsmischung zur Einstellung des sogenannten Blauwertes größere Abstände zwischen den Wassermengen angegeben worden sind. Während in der § 64-Methode die Zugabe von destilliertem Wasser mit 12 – 19 mL mit Stärke- und verdünnter Iodlösung versetzt werden, werden in der optimierten Methode als Wassermengen 16 mL, 19 mL, 22 mL und 25 mL eingesetzt, um die optische Dichte zu überprüfen. Für die quantitative Bestimmung der Diastase-Aktivität stand das Reaktionsgefäß mit Haupt- und Seitenarm, wie in der § 64-Methode beschrieben, nicht zur Verfügung. Demnach wurden die Probe- und die Stärkelösung getrennt voneinander in zwei Erlenmeyerkolben temperiert.

Wichtig ist nur, dass sich die Probe- und Stärkelösung nicht vorher vermischen, da die Enzymreaktion dadurch gestartet werden würden. Ansonsten wurde die Durchführung der § 64-Methode unverändert übernommen, sodass nach Ablauf der 15 Minuten die Probe- und Stärkelösung zusammengeführt und vermischt werden konnten (Reaktionsmischung). In periodischen Zeitabständen werden dann 0,5 mL der Reaktionsmischung entnommen und zu 5 mL der verdünnten Iodlösung gegeben. Es folgt die Zugabe der ermittelten Menge an destilliertem Wasser und die photometrische Messung gegen destilliertes Wasser als Blindwert bei 660 nm. Dies wird so lange durchgeführt, bis mindestens drei oder vier Messwerte in einem Extinktionsbereich von E = 0,456 und E = 0,155 liegen.

Die quantitative Auswertung zur Bestimmung der Diastase-Aktivität im Honig erfolgt durch das Auftragen der Extinktionen gegen die Reaktionszeit. Es wird eine lineare Regression durchgeführt, wobei nur der Extinktionsbereich zwischen E = 0,456 und E = 0,155 relevant ist. Anhand der linearen Regression kann der Zeitpunkt t_x für eine Extinktion von E = 0,301 ermittelt werden, welcher für die Berechnung der Diastase-Aktivität heranzuziehen ist (siehe Anhang E.11 V 11 *Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie*).

5.2.4.3 Ethanol

Der Ethanolgehalt ist ein wichtiger Parameter im Honig, der überprüft werden sollte, da Honig, gemäß der Honigverordnung, mit der Ausnahme von Backhonig keinen fremden Geruch und Geschmack aufweisen und nicht in Gärung übergegangen beziehungsweise gegoren sein darf. Bei der alkoholischen Gärung entsteht als Hauptprodukt Ethanol, welches ein eindeutiger Parameter für einen gegorenen oder in Gärung übergegangenen Honig ist, weil sich dadurch auch der Geruch und Geschmack des Honigs verändert. Für den Ethanolgehalt in Honigen ist im Lebensmittelrecht dennoch kein Höchstgehalt festgeschrieben. Dafür gibt es aber eine Empfehlung von maximal 20 mg Ethanol pro Kilogramm Honig. Diese Empfehlung wurde auf der Basis von Untersuchungsergebnissen staatlicher Laboratorien herausgegeben. Wird der Wert von 20 mg Ethanol pro Kilogramm Honig überschritten, kann davon ausgegangen werden, dass dieser Honig bereits in Gärung übergegangen ist.

Die Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig erfolgt durch die enzymatische Bestimmung mit anschließender photometrischer Messung. Dazu wird ein Enzymkit der Firma R-Biopharm eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen UV-Test zur Bestimmung von Ethanol in Lebensmitteln, sodass dieser auch zur Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen eingesetzt werden kann. Das Prinzip beruht darauf, dass Ethanol in den Honigen durch das Nicotinamid-

adenin-dinucleotid (NAD) im Zusammenhang mit dem Enzym Alkoholdehydrogenase (ADH) zu Acetaldehyd oxidiert wird (Gleichung 5-1).

$$\text{Ethanol} + \text{NAD}^+ \rightleftharpoons \text{Acetaldehyd} + \text{NADH} + \text{H}^+$$

Gleichung 5-1 Oxidation von Ethanol durch Nicotin-adenin-nucleotid (NAD) in Gegenwart des Enzym Alkoholdehydrogenase (ADH) zu Acetaldehyd [eigene Darstellung]

Es folgt die Oxidation von Acetaldehyd zu Essigsäure in Gegenwart des Enzyms Aldehyd-Dehydrogenase (Al-DH) (Gleichung 5-2).

$$\text{Acetaldehyd} + \text{NAD}^+ + \text{Wasser} \rightarrow \text{Essigsäure} + \text{NADH} + \text{H}^+$$

Gleichung 5-2 Oxidation von Acetaldehyd in Gegenwart des Enzym Aldehyd-Dehydrogenase (Al-DH) zu Essigsäure [eigene Darstellung]

Die Vorbereitung des Enzymkits, sowie die Herstellung der Honiglösung, kann unverändert aus der Beschreibung des Enzymkits übernommen werden. Zur Herstellung der Reagenzlösung stehen im Enzymkit drei Flaschen zur Verfügung. In der ersten Flasche ist Kaliumdiphosphatpuffer-Lösung enthalten, in der zweiten Flasche die Nicotinamid-adenin-dinucleotid/Aldehyd-Dehydrogenase-Tabletten (NAD/Al-DH-Tabletten) und in der dritten Flasche eine Suspension des Enzyms Alkohol-Dehydrogenase (ADH-Suspension). Um die Reagenzlösung herzustellen, werden fünf Tabletten aus der zweiten Flasche mit 15 mL Kaliumdiphosphatpuffer-Lösung versetzt und darin gelöst, wohingegen die ADH-Suspension aus der dritten Flasche ohne Vorbereitung eingesetzt werden kann.

Bevor der Gehalt an Ethanol im Honig quantitativ bestimmt werden kann, muss aus dem Honig eine Lösung hergestellt werden. Dafür wird der flüssige oder kandierte Honig homogenisiert und abgewogen, mit 50 mL destilliertem Wasser versetzt und bei 50 °C unter ständigem Rühren gelöst. Es folgt das Abkühlen auf Raumtemperatur und das Überführen in einen Messkolben, der mit destilliertem Wasser aufgefüllt wird. Der Kolbeninhalt wird schließlich filtriert und kann zur quantitativen Bestimmung des Ethanolgehaltes herangezogen werden.

Die photometrische Messung erfolgt bei 340 nm. Dafür wird eine Proben- und eine Blindwertküvette verwendet, deren Zugaben aus Tabelle 5-7 entnommen werden können.

Tabelle 5-7 Quantitative Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen – Zugaben zur Blindwert- und Probenküvette [R-Biopharm, o. D.]

Zugabe von	Blindwert [mL]	Probe [mL]
Reagenzlösung	3,000	3,000
destilliertes Wasser	0,100	-
Probelösung (Honig)	-	0,100
Küvetten mit Deckel verschließen und umschwenken; Messung der Extinktion bei 340 nm nach 3 min (E_1)		
ADH-Suspension (Flasche 3)	0,050	0,050
Küvetten mit Deckel verschließen und umschwenken; Messung der Extinktion bei 340 nm nach 7 min (E_2)		

Mithilfe der Extinktionswerte E_1 und E_2 für die Probelösung und den Blindwert kann der Gehalt an Ethanol in den Honigen bestimmt werden (siehe Anhang E.13 V 13 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig mittels Enzymatik und Photometrie*). Mithilfe dieses Experiments bekommen die Studierenden und damit die Schüler:innen einen Einblick in eine für sie neue Methode der instrumentellen Analytik. Der Versuch ist wenig zeitaufwendig und eignet sich dadurch sehr gut für die Durchführung im Seminar und den schulischen Chemieunterricht.

5.2.4.4 Prolin

Die Aminosäure Prolin ist im Speichel der Bienen enthalten und stellt damit ein charakteristisches Merkmal für den Reifegrad und die Naturbelassenheit eines Honigs dar. Im Gegensatz zur Diastase-Aktivität wird in der Honigverordnung kein Mindestgehalt für Prolin festgelegt. Um jedoch einschätzen zu können, wie reif ein Honig ist, sind aus empirischen Daten Mindestgehalte für enzymschwache (183 mg/kg) und nicht enzymschwache Honige (200 mg/kg) festgelegt worden. Zur Überprüfung, ob in einem Honig der Mindestgehalt an Prolin enthalten ist, kann mittels photometrischer Messung erfolgen (siehe Anhang E.17 V 17 *Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie*).

Die Grundlage für die Methode zur Bestimmung des Prolingehaltes in Honig (L 40.00 3) stammt aus der Amtlichen Sammlung der Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB). Aus dieser Methode konnte die Probenvorbereitung sowie die Herstellung der Probelösung für die Honige unverändert übernommen werden. Zudem kann auch der Großteil der Probenbestimmung übernommen werden, in dem pro Honig sechs Reagenzgläser vorbereitet werden. In das erste und zweite Reagenzglas werden 0,5 mL der Probelösung des Honigs gegeben, in das dritte Reagenzglas destilliertes Wasser als Blindwert und in das vierte, fünfte und sechste Reagenzglas jeweils 0,5 mL einer Prolin-Standardlösung. In alle sechs Reagenzgläser werden je 1 mL Ninhydrin-Lösung und Ameisensäure zugegeben und die

Reagenzgläser für 15 Minuten in ein siedendes Wasserbad gestellt. Es folgt die Zugabe von 5 mL einer 2-Propanol-Wasser-Mischung in alle sechs Reagenzgläser, die weitere 10 Minuten in ein Wasserbad von 70 °C gestellt werden. Nach der § 64- Methode sollten die Lösungen in den Reagenzgläsern nach Ablauf der 10 Minuten für 45 Minuten stehen gelassen werden, bevor die photometrische Messung im Wellenlängenbereich von 500 – 520 nm durchgeführt werden kann. Da eine Ruhezeit von 45 Minuten jedoch sehr lang ist und nicht umsetzbar ist in einem zweistündigen Seminar beziehungsweise einem 90-minütigen Chemieunterricht in der Schule, wurde an dieser Stelle eine Optimierung des Experiments vorgenommen. Zunächst einmal wurde die photometrische Messung nicht im Wellenlängenbereich von 500 – 520 nm durchgeführt, sondern bei einer festen Wellenlänge von 510 nm, welche das Absorptionsmaximum darstellt. Zudem wurde praktisch überprüft, inwieweit sich die Werte der Extinktionen verändern, wenn die Ruhezeiten variiert werden. Somit wurden die Ruhezeiten, beginnend mit 10 Minuten, immer um 5 Minuten verlängert bis hin zu 45 Minuten. Dabei haben sich keine signifikanten Unterschiede in den Extinktionswerten gezeigt, sodass die Honigproben immer bereits nach einer Ruhezeit von 10 Minuten photometrisch bei 510 nm gemessen worden sind und nicht wie in der § 64-Methode nach 45 Minuten.

5.2.5 Zimt

Das Gewürz Zimt wird häufig mit der Weihnachtszeit in Verbindung gebracht. So enthalten beispielsweise Zimtsterne und Lebkuchen dieses Gewürz. Zimt enthält viel Cumarin, weshalb auch zimthaltige Lebensmittel, wie beispielsweise Cini Minis oder Franzbrötchen Cumarin enthalten können. Aufgrund der gesundheitlichen Bedenken, die von Cumarin ausgehen können, wurden lebensmittelrechtlich Höchstgehalte für bestimmte zimthaltige Lebensmittel festgelegt. Um den Gehalt an Cumarin in den zimthaltigen Lebensmitteln zu überprüfen, wird für diesen Inhaltsstoff ein Experiment eingesetzt und optimiert.

5.2.5.1 Cumarin

Die Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mithilfe der HPLC erfolgt auf der Grundlage der Methode L 00.00 134 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch. Aus der § 64-Methode kann die Versuchsdurchführung unverändert übernommen werden, sodass etwa 10 g der zerkleinerten zimthaltigen Lebensmittel beziehungsweise 0,5 g Zimtpulver zur Bestimmung des Cumaringehaltes eingesetzt werden können. Es folgt die Extraktion in einem Methanol-Wasser-Gemisch. Nach der § 64-Methode erfolgt die Extraktion für 30 Minuten. Anhand der

Variation der Extraktionszeiten (10, 20 und 30 Minuten) und anschließende Messung mit der HPLC konnte gezeigt werden, dass sich bei Extraktionszeiten von 20 Minuten und 30 Minuten keine signifikanten Unterschiede im Cumaringehalt ergeben haben, wohingegen der Gehalt an Cumarin nach einer Extraktionszeit von nur 10 Minuten deutlich niedriger lag. Demnach reicht eine Extraktionszeit von 20 Minuten im Methanol-Wasser-Gemisch aus, wodurch eine Zeitersparnis von 10 Minuten erzielt werden konnte. Nach der Extraktion folgt das Auffüllen des Messkolbens und die Filtration, bevor die Probelösungen in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert werden können. Als Vergleichssubstanz dient eine Lösung aus Cumarin in einer Methanol-Wasser-Mischung.

In der § 64-Methode zur Bestimmung des Cumaringehaltes in zimthaltigen Lebensmitteln werden, je nach Säulentyp, verschiedene Parameter in Bezug auf die Fließmittelzusammensetzung und die Flussrate angegeben. Dabei handelt es sich um Beispiele für Gradientenelutionen und für eine isokratische Elution. Da auch in der optimierten Methode wieder mit einer isokratischen Elution gearbeitet werden sollte, wurden die Parameter aus der § 64-Methode für eine isokratische Methode verwendet, auch wenn die Säulen sich stark unterscheiden. Somit wurde als mobile Phase ein Gemisch aus Methanol/Acetonitril/destilliertem Wasser (10/10/80; v/v) bei einer Flussrate von 1,0 mL/min (isokratisch) gewählt. Die Detektion erfolgt bei einer Wellenlänge von 276 nm. Anhand dieser Parameter konnte Cumarin nachgewiesen werden, dessen Elution bei einer Retentionszeit von 16,0 – 16,9 Minuten erfolgt (Abbildung 5-13). Somit dauert ein HPLC-Lauf zur Bestimmung des Cumaringehaltes insgesamt 20 Minuten.

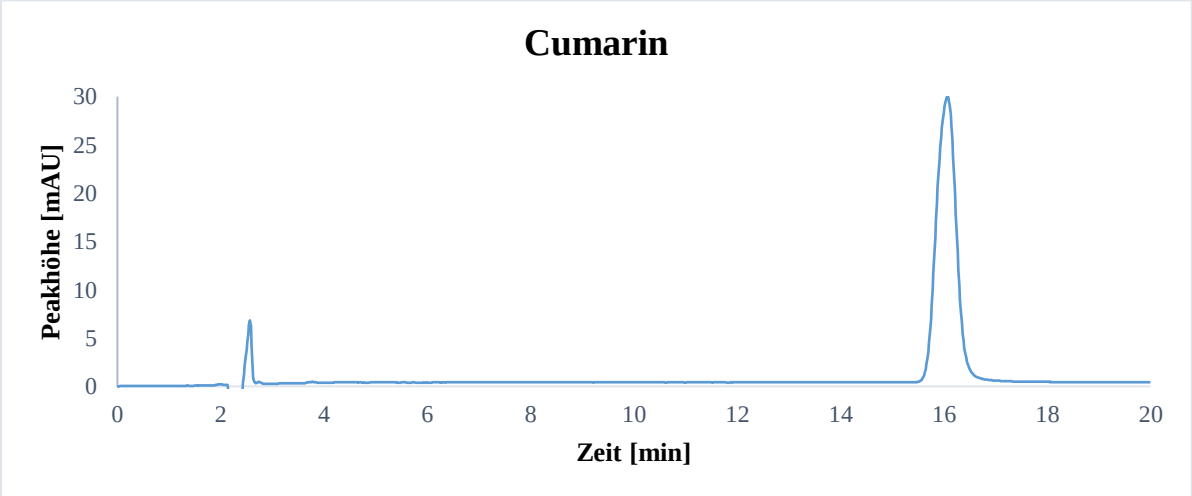


Abbildung 5-13 Qualitative Bestimmung von Cumarin [eigene Darstellung]

Die qualitative Bestimmung erfolgt dabei anhand des Vergleichs der Retentionszeit der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Cumarin, wodurch eine Aussage getroffen werden kann, ob das vorliegende Lebensmittel Cumarin enthält oder nicht.

Die Quantifizierung erfolgt über eine externe Kalibrierung, wofür zehn Kalibrierlösungen in einer Methanol-Wasser-Mischung angesetzt und gemessen worden sind. Aus den Mittelwerten der erhaltenen Peakflächen kann im Bezug zu den Konzentrationen der Standardlösungen eine Kalibriergerade erstellt werden. Aus der linearen Regression wird eine Geradengleichung erhalten, mit der nach Umstellung und Einbezug der Einwaage der festen Lebensmittel der Gehalt an Cumarin in Zimt und den zimthaltigen Lebensmitteln berechnet werden kann.

Da Cumarin die menschliche Gesundheit beeinträchtigen kann, wurden lebensmittelrechtliche Höchstgehalte für Cumarin in verschiedenen Lebensmitteln festgelegt. Demnach dürfen traditionelle und saisonale Backwaren, bei denen Zimt in der Kennzeichnung angegeben ist, wie beispielsweise bei Zimtsterne, Lebkuchen und Spekulatius, einen Cumaringehalt von 50 mg/kg nicht überschreiten. Zudem dürfen Frühstücksgetreideerzeugnisse und Müsli ein Cumaringehalt von 20 mg/kg nicht überschreiten und feine Backwaren, die nicht traditionell oder saisonal sind, wie beispielsweise Zimtschnecken und Franzbrötchen, dürfen maximal 15 mg/kg Cumarin enthalten. Auch für Dessertspeisen, wie Milchreis mit Zimt und Zucker, gibt es einen Höchstgehalt an Cumarin, der maximal 5 mg/kg betragen darf. Für Zimt als Gewürz hingegen, gibt es keine lebensmittelrechtliche Vorgabe für den Cumaringehalt. Somit kann mit dem Versuch die Bewertungskompetenz der Studierenden und Schüler:innen gefördert werden. Aufgrund dessen und dem hohen Bezug zur Lebenswelt der Studierenden und Schüler:innen eignet sich der Versuch zur Anwendung im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* und dem schulischen Chemieunterricht.

5.2.6 Alkoholische Getränke

Aufgrund der curricularen Vorgaben zur Thematisierung der Stoffklasse Alkohole und dem starken Bezug zur Lebenswelt der Studierenden und Schüler:innen, eignet sich die Thematisierung der alkoholischen Getränke in diesem Seminar und dem schulischen Chemieunterricht. Das Thema weist einen hohen Motivationswert auf. Mithilfe geeigneter Experimente zur qualitativen und quantitativen Bestimmung verschiedener Inhaltsstoffe der alkoholischen Getränke, kann der Motivationswert noch weiter steigen. Der wichtigste und bekannteste Inhaltsstoffe, der in den alkoholischen Getränken betrachtet werden sollte, ist das Ethanol. Daneben können auch die Farbstoffe qualitativ bestimmt werden. Auch die Bestimmung der Farbstoffe

weist einen hohen Motivationswert auf, weil die Studierenden und Schüler:innen die Ergebnisse anhand der unterschiedlichen Farben direkt wahrnehmen können.

5.2.6.1 Ethanol

Die Bestimmung des Ethanolgehaltes in den verschiedenen alkoholischen Getränken kann auf verschiedene Arten erfolgen. So werden in diesem Seminar die Ethanolgehalte mittels Enzymatik und Photometrie, sowie gaschromatographisch bestimmt. Während bei der enzymatischen Bestimmung ausschließlich eine quantitative Bestimmung erfolgt, kann mithilfe der Gaschromatographie sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Bestimmung durchgeführt werden. Somit lernen die Studierenden zwei verschiedene instrumentelle Methoden kennen, die sie im schulischen Chemieunterricht für die Bestimmung desselben Parameters einsetzen können. Da in den Schulen häufiger ein Photometer als ein Gaschromatograph zur Verfügung steht, kann durch die Enzymatik auch auf die GC übergeleitet werden, wodurch Gaschromatogramme theoretisch besprochen werden können, sodass ein Vergleich der Ergebnisse angestrebt werden kann.

Die enzymatische Bestimmung des Ethanolgehaltes, die bereits beim Honig dargestellt worden ist, kann beispielsweise auch für Spirituosen eingesetzt werden und basiert damit auf der Bedienungsanleitung des Enzymkits zur Bestimmung von Ethanol der Firma R-Biopharm. Somit kann mithilfe des Enzymkits und der dabei ablaufenden Reaktionen (Gleichung 5-1 und Gleichung 5-2) der Ethanolgehalt in Spirituosen ermittelt werden. Im Vergleich zum Honig wird bei den Spirituosen das vereinfachte Verfahren eingesetzt. Dies ist bei alkoholischen Getränken möglich, die mindestens 6 g/L Ethanol enthalten. Dazu gehören neben den Biermischgetränken, Berliner Kindl Himbeere und Waldmeister, die mexikanischen Biere Corona Extra und Desperados sowie die Spirituosen Gin, Dos Mas Berry Pink, Sourz Apple, Jägermeister, Korn und Wodka.

Bei der vereinfachten Vorbereitung zur Herstellung der Reagenzlösung werden zehn Nicotinamid-adenin-dinucleotid/Aldehyd-Dehydrogenase-Tabletten in 30 mL der Kaliumdiphosphatpuffer-Lösung gelöst und 0,5 mL der Alkohol-Dehydrogenase-Suspension hinzugegeben. Um den Ethanolgehalt in alkoholischen Getränken mittels der enzymatischen Reaktion bestimmen zu können, müssen diese verdünnt werden, damit die Ethanolkonzentration zwischen 0,006 g/L und 0,12 g/L liegt. Die kohlensäurehaltigen alkoholischen Getränke müssen vor dem Verdünnen zusätzlich noch entgast werden. Damit die Konzentrationswerte für Ethanol erreicht werden, werden die alkoholischen Getränke entsprechend Tabelle 5-8 verdünnt.

Tabelle 5-8 Verdünnungen für die entsprechenden alkoholischen Getränke [R-Biopharm, o. D.]

geschätzte Menge an Ethanol im Liter	Verdünnung mit destilliertem Wasser (Volumenteile)	Verdünnungsfaktor F	Beispiele für die alkoholischen Getränke
6 – 120 g	1 auf 1000	1000	• Desperados • Corona Extra • Sourz • Itarol/Aperol • Berliner Kindl
> 120 g	1 auf 10000	10000	• Dos Mas Berry Pink • Korn • Wodka • Gin • Jägermeister

Die so verdünnten Proben können für die photometrische Bestimmung des Ethanolgehaltes bei 340 nm herangezogen werden. Dafür wird eine Proben- und eine Blindwertküvette verwendet, deren Zugaben aus Tabelle 5-9 entnommen werden können.

Tabelle 5-9 Quantitative Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken – Zugaben zur Blindwert- und Probenküvette [R-Biopharm, o. D.]

Zugabe von	Blindwert [mL]	Probe [mL]
Reagenzlösung	3,000	3,000
Extinktionen von Blindwert und Probe messen (E_1)		
Probelösung	-	0,100
Küvetten mit Deckel verschließen und umschwenken; Messung der Extinktion bei 340 nm nach 7 min (E_2)		

Mithilfe der Extinktionswerte E_1 und E_2 für die Probelösung und den Blindwert kann der Gehalt an Ethanol in den alkoholischen Getränken bestimmt werden (siehe Anhang E.12 V 12 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken mittels Enzymatik und Photometrie*). Mithilfe dieses Experimente bekommen die Studierenden und damit die Schüler:innen einen Einblick in eine für sie neue Methode der instrumentellen Analytik.

Die Entwicklung und Optimierung der qualitativen und quantitativen Bestimmung des Ethanolgehaltes mittels GC mit Flammenionisationsdetektor (FID) erfolgte auf der Basis von Matissek et al. (2014) zur Identifizierung und Bestimmung von Alkoholen mittels GC-FID. Anhand dieser Methode wurde der Ethanolgehalt verschiedener alkoholischer Getränke mit einem internen Standard quantifiziert. Für die qualitative Bestimmung wurden die verschiedenen

alkoholischen Getränke mit destilliertem Wasser verdünnt, destilliert und anschließend 1 µL in den Gaschromatographen injiziert [Matissek et al., 2014, S. 360 f.]. Mithilfe von Ethanol als Standardsubstanz konnte gezeigt werden, dass Ethanol bei einer Retentionszeit von 1,8 – 2,1 Minuten eluiert wird (Abbildung 5-14). Somit kann anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Probelösungen mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Ethanol eine Aussage getroffen werden, ob die vorliegenden Proben Ethanol enthalten.

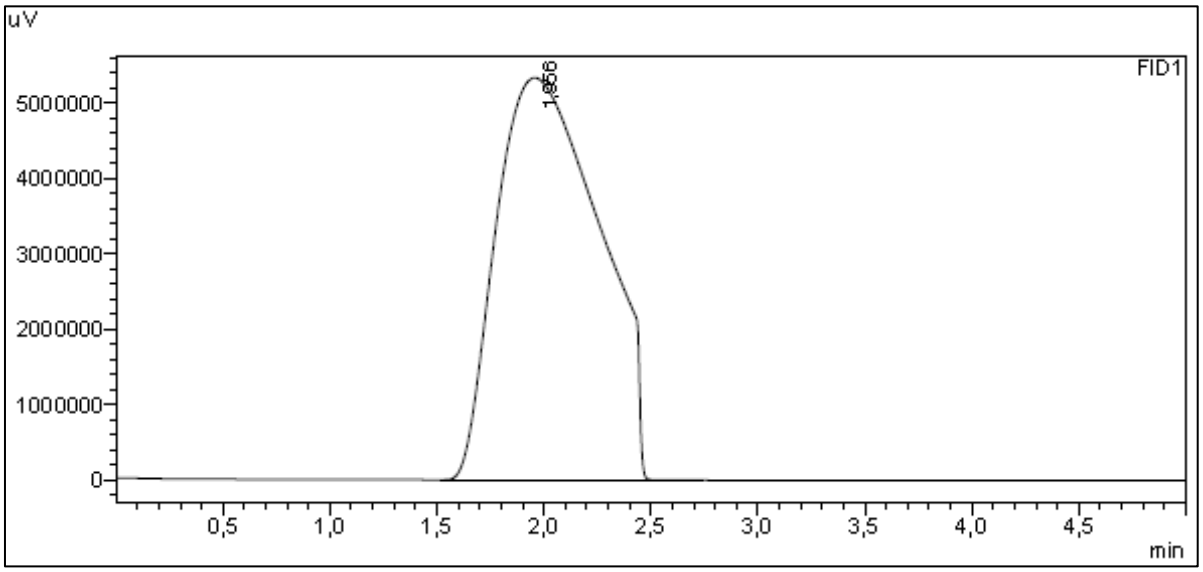


Abbildung 5-14 Qualitative Bestimmung von Ethanol [eigene Darstellung]

Nach der Methode von Matissek et al. (2014) erfolgt die Quantifizierung der verschiedenen Spirituosen mithilfe eines internen Standards, wobei die Probelösung zusammen mit destilliertem Wasser und dem internen Standard destilliert wird. Es folgt das Injizieren von 1 µL des Destillats in den Gaschromatographen [Matissek et al., 2014, S. 361]. Für die Bestimmung des Ethanolgehaltes wurde daher Methanol herangezogen. Dabei kam es jedoch zur Überlagerung der Peaks von Ethanol und Methanol, sodass diese Peaks nicht zur Auswertung herangezogen werden konnten. Durch Veränderung der Parameter am Gaschromatographen in Bezug auf die Säulen-, Injektions- und Detektortemperatur sowie Variation des Drucks, konnten keine getrennten Peaks für Ethanol und Methanol erhalten werden. Ebenso wenig durch die Veränderung des Gasstroms. Das Injektionsvolumen wurde ebenfalls variiert. Dadurch konnte zwar eine Trennung der beiden Peaks von Ethanol und Methanol erreicht werden, aber es konnte beobachtet werden, dass sich durch die Verringerung der Injektionsmengen die Peakflächen verkleinerten. Anhand dieser Erkenntnis wurde die Quantifizierung über den internen Standard verworfen und stattdessen eine externe Kalibrierung durchgeführt. Dafür wurde Ethanol als Standardsubstanz in destilliertem Wasser gelöst und ohne Destillation in den

Gaschromatographen injiziert. Dabei hat sich ebenfalls eine Retentionszeit für Ethanol von 1,8 – 2,1 Minuten ergeben (Abbildung 5-14). Insgesamt wurden fünf verschiedene Mengen an Ethanol injiziert (0,04 µL, 0,08 µL, 0,12 µL, 0,16 µL und 0,20 µL). Aus den erhaltenen Peakflächen für die einzelnen Injektionsmengen wurde eine Kalibriergerade durch lineare Regression erstellt. Die dadurch erhaltene Geradengleichung kann zur quantitativen Bestimmung herangezogen werden.

Für die Quantifizierung wurden aufgrund der nicht mehr durchgeführten Destillation nur klare Spirituosen, wie Gin, Grappa, Korn, weißer Rum und Wodka, herangezogen. Dabei wurden die Spirituosen unverdünnt verwendet und die Injektionsmengen variiert. Als optimal hat sich eine Injektionsmenge von 0,4 µL gezeigt, sodass für alle fünf verschiedenen Spirituosen diese Menge in den Gaschromatographen injiziert worden sind. Durch Umstellen und Einsetzen der Peakflächen in die Geradengleichung aus der linearen Regression, können die Ethanolgehalte in den verschiedenen Spirituosen quantifiziert werden (siehe Anhang E.21 V 21 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)*).

5.2.6.2 Farbstoffe

Die qualitative Farbstoffbestimmung mittels DC und die Aufnahme der Absorptionsspektren mithilfe des Photometers in den farbigen alkoholischen Getränken wird genauso durchgeführt, wie bereits bei den alkoholfreien Erfrischungsgetränken dargestellt worden ist. Als farbige alkoholische Getränke werden die Biermischgetränke, Berliner Kindl Himbeere und Waldmeister, sowie die Spirituosen Blue Curacao, Dos Mas Berry Pink und Sourz Apple eingesetzt. Dadurch, dass zwei Varianten der Farbstoffbestimmung vorliegen, können die Farbstoffe in den alkoholfreien Erfrischungsgetränken besser im Anfangsunterricht der Jahrgangsstufe 5/6 eingesetzt werden, wohingegen die Farbstoffbestimmung in alkoholischen Getränken in Jahrgang 10 oder der gymnasialen Oberstufe durchführbar ist. Im Anfangsunterricht können die Schüler:innen eher etwas mit Erfrischungsgetränken anfangen, im fortgeschrittenen Alter sind hingegen die alkoholischen Getränke interessanter, sodass sich beide Varianten eignen.

5.2.7 Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten

Als weitere Genussmittel können neben den alkoholischen Getränken auch die Tabakzigaretten und die Liquids für die E-Zigaretten thematisiert werden. Gesundheitliche Aspekte können besprochen und verglichen werden, sodass das Konsumverhalten von den Studierenden und den Schüler:innen nochmal überdacht wird. Bei dem Thema der Zigaretten und den Liquids für die

E-Zigaretten liegt ein hoher Lebensweltbezug der Schüler:innen vor, sodass der Motivationswert hoch ist. Erhöht werden kann die Motivation noch durch den Einsatz geeigneter Experimente. Der bekannteste Inhaltsstoff in den Zigaretten ist das Nikotin, wohingegen es bei den Liquids für die E-Zigaretten auch nikotinfreie Varianten gibt. Demnach ist es interessant einen Vergleich zwischen der Zigarette und den Liquids für die E-Zigaretten durchzuführen, sodass die Studierenden und auch die Schüler:innen erkennen, dass sowohl das Rauchen als auch das Dampfen gesundheitliche Risiken mit sich bringt.

5.2.7.1 Nikotin

Tabakzigaretten enthalten immer Nikotin, wohingegen es bei den Liquids für E-Zigaretten auch nikotinfreie Varianten gibt. Daher bietet es sich an, dass vor der quantitativen Bestimmung des Nikotingehaltes eine qualitative Bestimmung durchgeführt wird. Für die qualitative Bestimmung wird die Methode der DC eingesetzt und für die quantitative Bestimmung des Nikotingehaltes eine gaschromatographische Methode.

Die qualitative Nikotinbestimmung mittels DC erfolgt auf der Grundlage von Šantavý (1967) zur speziellen dünnschichtchromatographischen Bestimmung von Alkaloiden. In dieser Methode wird als Fließmittel zur Entwicklung der DC-Platte ein Gemisch aus Benzol/Ethylacetat/Diethylamin (70/20/10; v/v) verwendet [Šantavý, 1967, S. 410]. Da Benzol jedoch viele Gefahren mit sich bringt, besteht für Benzol ein generelles Tätigkeitsverbot an Schulen. Daher musste überlegt werden, durch welche Substanz Benzol in der mobilen Phase ersetzt werden kann. Aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit wurde als Ersatzstoff Toluol gewählt.

Bevor jedoch die dünnschichtchromatographische Bestimmung durchgeführt werden kann, müssen die Zigaretten und die Liquids für die E-Zigaretten zunächst einer Aufarbeitung unterzogen werden. Während Nikotin in den nikotinhaltigen Liquids bereits gelöst vorliegt und nach einem Verdünnungsschritt mit Methanol direkt auf die DC-Platte (Kieselgel F 254 nm) aufgetragen werden können, muss das Nikotin aus den Tabakzigaretten extrahiert werden. Dafür wird etwa 1 g Tabak der Zigaretten mit 5 mL Methanol sowie einigen Tropfen Ammoniaklösung versetzt und für 5 Minuten unter ständigem Rühren extrahiert. Nach der sich anschließenden Filtration kann die erhaltene Lösung auf die DC-Platte aufgetragen werden. Als Referenzsubstanz wird reines Nikotin in Methanol gelöst und auf die DC-Platte aufgetragen. Die Entwicklung der DC-Platte erfolgt in einer DC-Kammer mit Deckel, in der die mobile Phase Toluol/Ethylacetat/Diethylamin (70/20/10; v/v) enthalten ist. Mithilfe dieser Parameter kann Nikotin qualitativ nachgewiesen werden (siehe Anhang E.20 *V 20 Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC)*). Da es

sich um eine schnelle Methode mit geringem Arbeitsaufwand handelt, kann diese sehr gut in diesem Seminar und dem schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe II eingesetzt werden.

Nach der qualitativen Nikotinbestimmung kann die quantitative Bestimmung des Nikotins mit der GC erfolgen. Als Grundlage für dieses Experiment dient die Methode T 60.00 6 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 38 Tabakerzeugnisgesetz (TabakerzG) zur gaschromatographischen Bestimmung des Nikotingehaltes in Tabak und Tabakerzeugnissen. Da diese § 38-Methode nur für Tabakerzeugnisse umsetzbar ist, wurde für die Liquids der E-Zigaretten eine gesonderte Methode als Grundlage verwendet. In der Methode von Herrington et al. (2015) zur Analyse von Nikotin und Verunreinigungen in den Liquids und im Dampf von E-Zigaretten wurde zunächst eine Kalibriergerade mit dem Nikotinstandard angesetzt, indem die Nikotinstammlösung schrittweise mit Dichlormethan verdünnt und mit dem Gaschromatographen gemessen wurde. Aus den erhaltenen Werten für die Peakflächen kann eine Kalibriergerade erstellt werden, die zur quantitativen Bestimmung des Nikotingehaltes herangezogen werden kann. Da die nikotinhaltigen Liquids für die E-Zigaretten bereits das Nikotin gelöst vorliegen haben, bedarf es keiner großen Aufarbeitung, außer der Verdünnung mit Dichlormethan. Diese Durchführung konnte ohne Änderung aus der Methode von Herrington et al. (2015) übernommen werden. Damit sowohl die Zigaretten als auch die Liquids gleichbehandelt werden, werden die Liquids nach dem Verdünnungsschritt noch mit Natriumsulfat getrocknet und filtriert, bevor sie in den Gaschromatographen injiziert werden können.

Die Probenvorbereitung für die Tabakzigarette wurde größtenteils aus der § 38-Methode des Tabakerzeugnisgesetzes übernommen. So wurde etwa 1 g Tabak aus zwei Zigaretten für die Probenaufarbeitung eingewogen und mit Wasser, Extraktionsmittel und Natriumhydroxidlösung versetzt. Als Extraktionsmittel wird in der § 38-Methode *n*-Hexan verwendet, welches mit *n*-Heptadecan versetzt wurde. Da jedoch kein *n*-Heptadecan zur Verfügung stand, wurde zunächst nur mit *n*-Hexan als Extraktionsmittel gearbeitet, wobei jedoch keine guten Ergebnisse erzielt worden konnten. Daher wurde das Extraktionsmittel gegen Dichlormethan, wie in der Methode von Herrington et al. (2015) ausgetauscht. Während in der § 38-Methode eine Extraktionszeit von 60 Minuten angegeben wird, wurde durch Variation der Extraktionszeiten versucht, das Experiment in Bezug auf die Zeit zu optimieren. Dabei hat sich ergeben, dass es keine signifikanten Unterschiede im Nikotingehalt gibt, egal, ob man die Extraktion für 20, 40 oder 60 Minuten durchführt. Aufgrund dessen, dass das Seminar nur für 120 Minuten und eine Doppelstunde Chemie in der Schule für 90 Minuten angesetzt ist, wurde die Extraktionszeit damit auf 20 Minuten verkürzt. Nach Ablauf der Extraktionszeit von 20 Minuten erfolgt die

Filtration der Suspension und anschließend die Trennung von wässriger und organischer Phase im Scheidetrichter. Die untere organische Phase wird mit Natriumsulfat getrocknet und filtriert, bevor die Lösung in den Gaschromatographen injiziert wird.

Die Parameter für die gaschromatographische Bestimmung des Nikotingehaltes in der Tabakzigarette und den Liquids der E-Zigaretten erfolgt auf der grundlegenden Basis der Methode nach Herrington et al. (2015). So wurde ebenfalls mit einer Injektionstemperatur von 250 °C gearbeitet und einem Purge Flow von 3,0 mL/min. Im Gegensatz zur Basismethode wurde in der Methode die Splitless-Variante bei einem Druck von 170 kPa gewählt. Die Säulentemperatur beträgt 150 °C und der FID besitzt eine Temperatur von 250 °C.

Mit der gaschromatographischen Methode kann der Nikotingehalt sowohl qualitativ als auch quantitativ bestimmt werden. So erfolgt die qualitative Bestimmung des Nikotins in der Zigarette und den Liquids der E-Zigaretten durch den Vergleich mit der Standardsubstanz Nikotin. Mit den oben angegebenen Parametern wird Nikotin bei einer Retentionszeit von 5,5 – 6,0 Minuten eluiert (Abbildung 5-15).

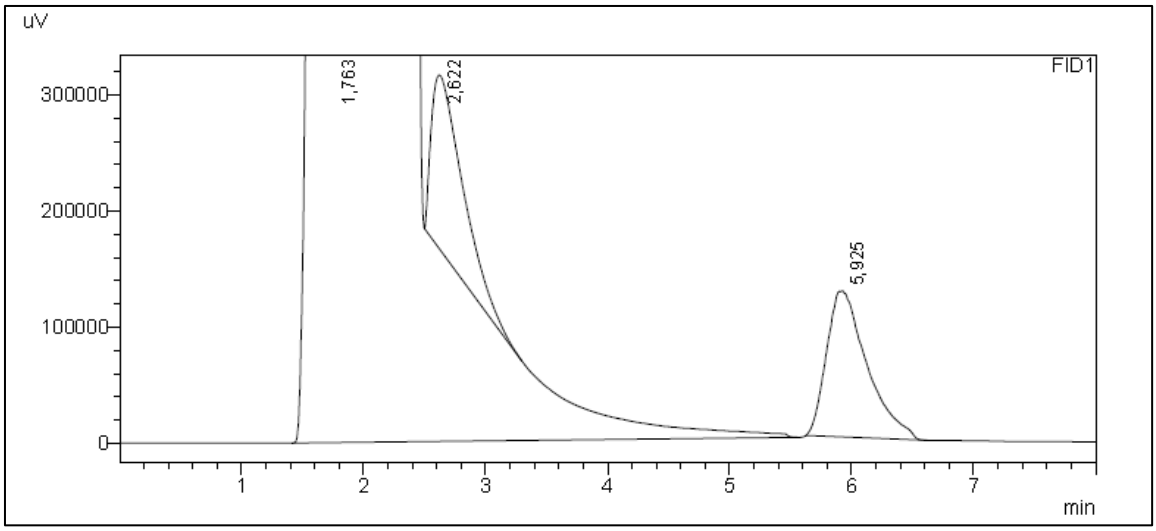


Abbildung 5-15 Qualitative Bestimmung von Nikotin [eigene Darstellung]

Somit kann bei den Liquids für die E-Zigaretten anhand der qualitativen Bestimmung schon eine Aussage getroffen werden, ob es sich um nikotinhaltige oder nikotinfreie Varianten handelt.

Für die quantitative Bestimmung werden, wie in der Methode von Herrington et al. (2015), fünf verschiedene Standardlösungen für Nikotin mit unterschiedlichen Konzentrationen durch Verdünnung mit Dichlormethan hergestellt und gemessen. Anhand der erhaltenen Peakflächen wird eine Kalibriergerade erstellt, wodurch mithilfe der Geradengleichung der linearen Regression die quantitative Auswertung erfolgen kann (siehe Anhang E.22 *V 22 Bestimmung*

des Nikotingehaltes in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)). Mithilfe der Ergebnisse des Nikotingehaltes kann ein Vergleich zwischen den Tabakzigaretten und den nikotinhaltigen Liquids der E-Zigaretten angestrebt werden, beispielsweise, wie viel Zigaretten dem Konsum der E-Zigarette mit den nikotinhaltigen Liquids entsprechen, sodass die Studierenden und damit die Schüler:innen ihre Bewertungskompetenz fördern können. Somit können auch mögliche Folgen aus den Konsum von Tabakzigaretten und den nikotinhaltigen Liquids thematisiert werden.

5.3 Erstellung der Versuchsvorschriften

In diesem Kapitel soll am Beispiel von V 4 *Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)* dargestellt werden, wie die Versuchsvorschriften für die 23 verschiedenen Experimente aufgebaut sind. Da das Seminar nur für zwei Stunden angesetzt wurde, müssen die Studierenden möglichst ausführliche Versuchsvorschriften zum Experimentieren an die Hand bekommen, in denen bereits die Verdünnungsschritte vorgegeben sind.

Aus dem oben dargestellten Vorgehen im Labor (Kapitel 5.2.1.1), wurde schließlich die Versuchsvorschrift für die Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks (V 4) entwickelt. Der Aufbau der Versuchsvorschriften für alle 23 Experimente ist immer gleich (Abbildung 5-16 bis Abbildung 5-20) damit sich die Studierenden nicht immer umstellen müssen.

CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

V 4

V 4: Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 500 mL Vorratsflasche (3 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 500 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Vollpipette (3 x)
- 5 mL Vollpipette (3 x)
- Peleusball
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- 5 mL Einwegspritze (3 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (3 x)
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Coca-Cola
- Coca-Cola Light
- Coca-Cola Zero
- Mio Mio Mate Original
- Mio Mio Mate Ginger
- Mio Mio Mate Cola
- Effect
- Effect Sugarfree
- Red Bull
- Red Bull Sugarfree
- Red Bull Zero
- Koffein
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Koffein		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe

Bitte suchen Sie sich drei der vorne angegebenen Erfrischungsgetränke/Energydrinks zur Bestimmung des Koffeingehaltes aus!

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke und Energydrinks flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Koffeingehaltes nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die Erfrischungsgetränkewerden werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Mio Mio Mate Original/Ginger/Cola: 1:10
    (5 mL Mio Mio Mate werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
  - Coca-Cola; Coca-Cola Light; Coca-Cola Zero: 1:5
    (10 mL Coca-Cola werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)

Seite 1

Abbildung 5-16 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 1 [eigene Darstellung]

CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

V 4

- die Energydrinks werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Red Bull; Red Bull Sugarfree; Red Bull Zero; Effect; Effect Sugarfree: 1:10 (5 mL Energydrink werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckel-gläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in den Hochleistungsflüssigkeits-chromatographen injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 273 nm
- Fließmittel: Methanol/Wasser (40/60)
- Flussrate: 0,8 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 5 min

Beobachtung:

Probe	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.

Seite 2

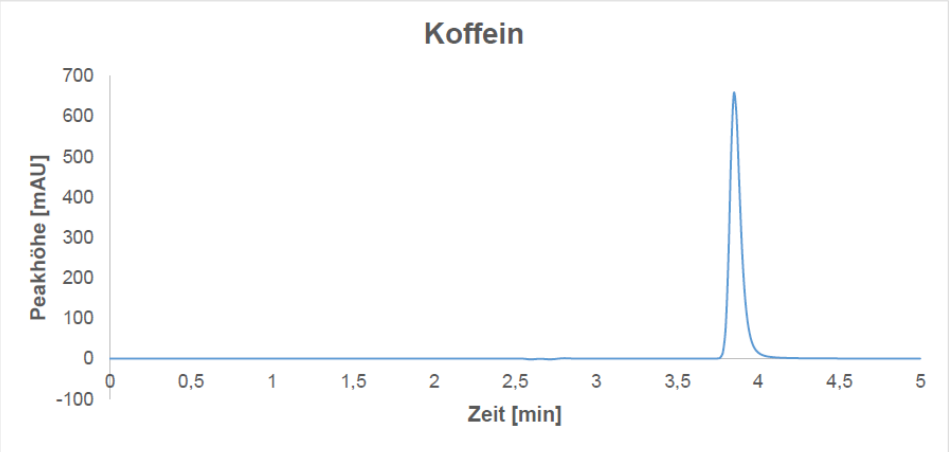
Abbildung 5-17 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 2 [eigene Darstellung]

CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

V 4

Auswertung:

Qualifizierung:
Zur qualitativen Bestimmung des Koffeins in Erfrischungsgetränken werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Koffein verglichen. Koffein wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 3,8 – 4,0 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm der Alkaloide, bei dem der dritte Peak das Koffein darstellt, ist nachfolgend dargestellt.



Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Koffein kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Erfrischungsgetränke und Energydrinks koffeinhaltig sind.

Quantifizierung:
Die Quantifizierung des Koffeingehaltes in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von vier Kalibrierlösungen des Koffeins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der vier Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
10	786,064
30	2459,828
40	3235,122
50	4023,250

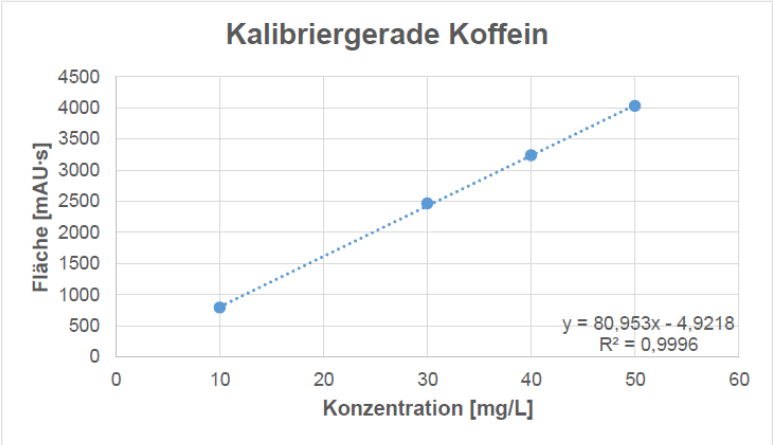
Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Koffeins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

Seite 3

Abbildung 5-18 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 3 [eigene Darstellung]

CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

V 4



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 80{,}953x - 4{,}9218$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Koffeingehaltes in Milligramm/Liter in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 4{,}9218}{80{,}953} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann der Gehalt an Koffein in den einzelnen Erfrischungsgetränken und Energydrinks in Milligramm/Liter berechnet werden.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden.
Aus dem ersten Teil der Tabelle sind die vom Hersteller angegeben Koffeingehalte in den jeweiligen Erfrischungsgetränken in Milligramm/Liter zu entnehmen.
Im zweiten Teil der Tabelle sind die maximal zulässigen Koffeingehalte in den Energydrinks in Milligramm/Liter gemäß der Verordnung über Fruchtsaft, einige ähnliche Erzeugnisse, Fruchtnektar und koffeinhaltige Erfrischungsgetränke (Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränke-verordnung) dargestellt.

Seite 4

Abbildung 5-19 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 4 [eigene Darstellung]

CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

V 4

Erfrischungsgetränk	vom Hersteller angegebener Koffeingehalt [mg/L]
Mio Mio Mate Original	200
Mio Mio Mate Ginger	200
Mio Mio Mate Cola	200
Coca-Cola	100
Coca-Cola Light	120
Coca-Cola Zero	100
Energydrink	**maximal zulässiger Koffeingehalt [mg/L]**
Red Bull	320
Red Bull Sugarfree	320
Red Bull Zero	320
Effect	320
Effect Sugarfree	320

Zudem muss gemäß Art. 13 Abs. 1 i. V. m. Anhang 3 Nr. 4 VO (EU) Nr. 1169/2011 (Lebensmittelinformationsverordnung – LMIV) bei Getränken mit erhöhtem Koffeingehalt (über 150 mg/L) folgenden Hinweis erhalten sein:

„Erhöhter Koffeingehalt. Für Kinder und schwangere oder stillende Frauen nicht empfohlen."

Ausnahme: Kaffee, Tee und deren Extrakte, sowie Getränke, bei denen Kaffee oder Tee in der Bezeichnung vorkommt.
Der Hinweis muss dabei im selben Sichtfeld wie die Bezeichnung des Getränks erscheinen, sowie der Koffeingehalt in Milligramm je 100 mL.

Seite 5

Abbildung 5-20 Versuchsvorschrift zur Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) – Seite 5 [eigene Darstellung]

Die Versuchsvorschriften beginnen immer mit der Auflistung der benötigten Materialien sowie den Lebensmitteln und Chemikalien, gefolgt von den Sicherheitsaspekten, damit ein sicherer Umgang mit den Chemikalien gewährleistet werden kann. Dabei enthält die Tabelle der Sicherheitsaspekte den Namen der Chemikalie, die Gefahrensymbole, die Signalwörter und dessen Handhabung. Es schließen sich die Durchführung, Geräteparameter, Beobachtung und Entsorgung an. Damit eine detaillierte Auswertung der Experimente erfolgen kann, wird das Vorgehen der qualitativen und quantitativen Auswertung ausführlich dargestellt. Die Studierenden sollen am Ende ihre Ergebnisse bewerten. Dazu werden die Ergebnisse mit den gesetzlich festgelegten Höchst- oder Mindestmengen, oder gegebenenfalls Herstellerangaben, verglichen und bewertet. Dadurch können die Studierenden reflektieren, ob die entsprechenden Lebensmittel sicher sind oder eben nicht und was aus den Ergebnissen resultieren würde.

5.4 PowerPoint-Präsentationen zum theoretischen Teil des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*

Im folgenden Kapitel werden die Inhalte der PowerPoint-Präsentationen für den theoretischen Teil des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* dargestellt. Neben den acht Lebensmittel- und Genussmittelgruppen werden zudem die Grundlagen und verschiedenen Geräte der instrumentellen Analytik betrachtet.

5.4.1 Alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks

Für die Themen alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks sind zwei PowerPoint-Präsentationen für den theoretischen Block des Seminars erstellt worden. Diese sind dem digitalen Anhang zu entnehmen. Anhand der Präsentationen werden die theoretischen Grundlagen für die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und die Untergruppe der Energydrinks behandelt, deren Inhalt nachfolgend dargestellt wird.

Gemäß Abschnitt 1 Buchstabe (lit.) A der Leitsätze für Erfrischungsgetränke bestehen Erfrischungsgetränke aus Wasser (Trinkwasser, Mineralwasser, Quellwasser oder Tafelwasser) und geschmacksgebende Zutaten. Weitere mögliche Zutaten können Kohlensäure, Zuckerarten und verschiedene Aromen sein, aber auch Vitamine und Mineralstoffe. Wie der Name alkoholfreie Erfrischungsgetränke schon verrät, darf kein Alkohol zugesetzt werden. Dennoch dürfen Erfrischungsgetränke maximal 2 g/L Alkohol enthalten, wobei der Alkoholgehalt nur aus Fruchtbestandteilen oder zugesetzten Aromen resultieren darf. Die alkoholfreien Erfrischungsgetränke, die dem Konsum zu Erfrischungszwecken dienen, können in unterschiedliche Gruppe eingeteilt werden. Dazu zählen unter anderem Fruchtsaftgetränke, Fruchtschorlen, Limonaden

und Brausen [Meyer, 2015b, S. 1]. Weitere spezielle Untergruppen stellen die koffein- und chininhaltigen Erfrischungsgetränke dar, ebenso wie die Sportlergetränke. Zu den koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken gehören beispielsweise Getränke wie Cola oder Energydrinks und zu den chininhaltigen Erfrischungsgetränken Bitter Lemon und Tonic Water.

Im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* werden ausschließlich die koffein- und chininhaltigen Erfrischungsgetränke sowie Energydrinks betrachtet, sodass auch in dieser Arbeit nur diese Gruppen dargestellt werden. Zudem werden aufgrund der Fülle an Lebensmittelzusatzstoffen auch nur diejenigen betrachtet, die in den Experimenten der praktischen Laborarbeit untersucht werden.

Koffeinhaltige Erfrischungsgetränke sind demnach Erfrischungsgetränke, denen Koffein oder koffeinhaltige Zutaten zugesetzt werden. Beispiele, die betrachtet werden sollen, sind die verschiedenen Varianten der Coca-Cola sowie der Mategetränke (Mio Mio Mate). Gemäß der Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung dürfen diese Art von Erfrischungsgetränken maximal 320 mg/L Koffein enthalten [Meyer, 2020a, S. 17]. Zusätzlich müssen die Getränke dann folgenden Warnhinweise tragen: „Erhöhter Koffeingehalt: „Für Kinder und schwangere und stillende Frauen nicht empfohlen“ [Meyer, 2015a, S. 45]. Angegeben werden muss der Hinweis im Sichtfeld der Bezeichnung des entsprechenden Getränks sowie der enthaltene Koffeingehalt in mg/100 mL in Klammern [Meyer, 2015a, S. 45].

Koffein (Abbildung 5-21) ist ein geruchloses und bitter schmeckendes Pflanzenalkaloid, welches zur Gruppe der Purine zählt. Es ist ein natürlicher Inhaltsstoff, der beispielsweise in Kaffeebohnen (1,0 – 2,5 %), gebunden an Chlorogensäure, vorkommt, aber auch in getrocknetem schwarzem Tee (2,0 – 4,0 %) sowie in Mate (0,5 – 1,5 %) und Kakaokernen (ca. 0,2 %) [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 226].

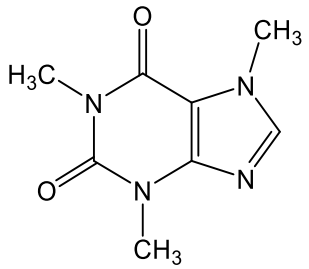


Abbildung 5-21 Strukturformel der Substanz Koffein [eigene Darstellung nach Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 226]

Beim Trinken von koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken wirkt das Koffein als Psychostimulanz erregend auf das Zentralnervensystem, wodurch die psychische Aktivität angeregt wird. Dadurch wird das geistige Leistungsvermögen angekurbelt und Ermüdungserscheinungen

verschwinden. Koffein blockiert die Adenosin-Rezeptoren, sodass die Neurotransmitter, wie Adrenalin und Noradrenalin, ausgeschüttet und im Blut angereichert werden können. Dadurch wird die geistige Leistungsfähigkeit erhöht und sensorische Reize können verbessert wahrgenommen werden, sodass auch schnell auf verschiedene Situationen reagiert werden kann. Der Konsum von koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken bringt jedoch nicht nur Vorteile in Bezug auf die Physiologie mit sich, sondern auch einige Nebenwirkungen, weshalb Personen, die an hohem Blutdruck, koronaren Gefäßerkrankungen und nervösen Störungen leiden, auf den Verzehr von koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken verzichten sollten. Nebenwirkungen, die ein moderater Konsum mit sich bringen kann, sind Schlafstörungen und Kopfschmerzen. Durch den vermehrten Verzehr von koffeinhaltigen Erfrischungsgetränken kann der Herzschlag und die Atmung angeregt werden. Zudem kann es zum Anstieg des Blutdrucks kommen, sowie zur Verengung der Blutgefäße. Beim Konsum höherer Dosen an Koffein von mehr als 300 mg werden als Nebenwirkungen Händezittern, Blutandrang im Kopf und Druck in der Herzgegend beschrieben. In Lebensmitteln ist es natürlicherweise in Kaffee und Tee enthalten, kann aber auch als Zusatzstoff in koffeinhaltigen, alkoholfreien Erfrischungsgetränken eingesetzt werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht im Bereich der Medizin. So kann Koffein bei Herzschwäche oder Migräne zur Therapie eingesetzt werden [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 226].

Neben Koffein gibt es im Bereich der alkoholfreien Erfrischungsgetränke noch weitere interessante Inhaltsstoffe, die im Seminar betrachtet werden sollen. Das sind beispielsweise zugesetzte Süßstoffe in Coca-Cola Light oder Coca-Cola Zero sowie Pepsi Light und Pepsi Max. Süßstoffe spielen in der menschlichen Gesellschaft als Alternative zum Zuckerkonsum eine wichtige Rolle, denn ein übermäßiger Verzehr an Zucker ist für den menschlichen Körper ungesund. So können Karies, Übergewicht und Diabetes mellitus durch den Verzehr von Zucker begünstigt werden. Daher werden die eingesetzten Süßstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken an dieser Stelle genauer betrachtet.

Süßstoffe im Allgemeinen sind Verbindungen, die natürlicher Weise vorkommen, aber auch synthetisch hergestellt werden können. Die Verbindungen weisen keinen oder einen vernachlässigbaren physiologischen Brennwert im Verhältnis zur Süßkraft auf. Die Süßkraft wird dabei im Vergleich zum Haushaltszucker, dem Disaccharid Saccharose, angegeben, wobei die Süßstoffe grundsätzlich höhere Süßkräfte aufweisen [Belitz et al., 2008, S. 443]. In Deutschland sind insgesamt elf Süßstoffe zugelassen, darunter beispielsweise Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin, die hier betrachtet werden sollen [Meyer, 2021a, S. 29 a]. Allgemein gelten für den Einsatz von Süßstoffen Anforderungen, die eingehalten werden müssen, damit diese den

Lebensmitteln zugesetzt werden dürfen. Dazu zählen unter anderem, dass Süßstoffe eine gute Löslichkeit aufweisen müssen, möglichst keinen Beigeschmack mit sich bringen dürfen und die Süßstoffe müssen gesundheitlich unbedenklich sein. Nur wenn alle Anforderungen erfüllt werden, dürfen die Substanzen als Lebensmittelzusatzstoffe eingesetzt werden [Belitz et al., 2008, S. 443].

Saccharin (E 954, Abbildung 5-22) ist ein sehr süß schmeckender Feststoff, der einen leicht metallischen Beigeschmack aufweist und dessen Süßkraft etwa 500-mal so hoch liegt, wie die Süßkraft von Saccharose. Die Süßkraft kann dabei durch den Synergismus mit anderen Süßstoffen erhöht werden [Baltes & Matissek, 2011, S. 243].

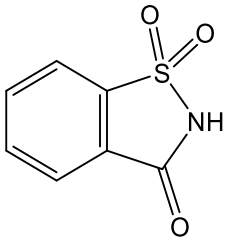


Abbildung 5-22 Strukturformel der Substanz Saccharin [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242]

Eingesetzt wird der Süßstoff Saccharin vor allem in diätetischen Lebensmitteln und Light-Produkten, aber auch in Konfitüren, um den Zuckergehalt herabzusetzen. Der Vorteil der Süßstoffe besteht darin, dass diese beim Verzehr solcher Lebensmittel vom menschlichen Körper aufgenommen und nahezu unverändert wieder über den Urin ausgeschieden werden. Neben der Anwendung in der Lebensmittelindustrie spielen die Süßstoffe auch in der Arzneimittelindustrie eine wichtige Rolle. Manche Arzneimittel weisen einen bitteren Geschmack auf, welcher mithilfe von Süßstoffen maskiert werden können [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 627 f.]. Aber auch die Süßstoffe haben nicht nur ein positives Image. So hat sich im Bereich der toxikologischen Betrachtung gezeigt, dass Saccharin ein cancerogenes Potential aufweisen und die Entstehung von Blasenkrebs hervorrufen soll. Da aber aufgrund der hohen Süßkraft nur geringe Mengen an Saccharin eingesetzt werden müssen, sollte der Konsum im moderaten Mengen nicht zu Karzinomen führen. Das cancerogene Potential konnte jedoch mittlerweile revidiert werden. Problematisch ist hingegen, dass auf dem Syntheseweg von Saccharin als Zwischenprodukt eine Substanz, o-Toluolsulfamid, gebildet wird, die ein cancerogenes Potential aufweist, sodass bei nicht genügender Reinheit noch Reste dieser Substanz am Saccharin haften können. [Baltes & Matissek, 2011, S. 243].

Neben Saccharin wird auch Aspartam (E 951, Abbildung 5-23) als Süßstoff in Lebensmitteln eingesetzt. Aspartam weist einen Energiegehalt von 17 kJ/g auf, ist jedoch aufgrund der geringen Menge, die eingesetzt werden muss, vernachlässigbar klein. Die Süßkraft ist zwar geringer als bei Saccharin, jedoch immer noch 150 – 220-mal höher als die von Saccharose, wobei der Süßgeschmack zeitlich leicht verzögert, auftritt [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 87].

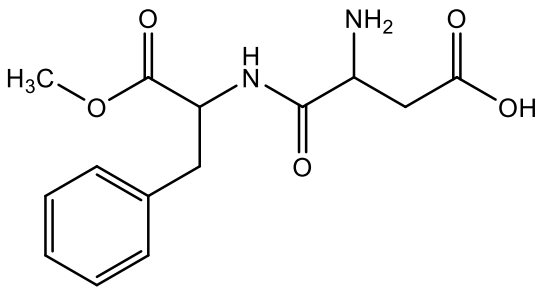


Abbildung 5-23 Strukturformel der Substanz Aspartam [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242]

Der Einsatz von Aspartam in der Lebensmittel- und Arzneimittelindustrie entspricht dem von Saccharin, wobei Aspartam auch in Backwaren und Milchprodukten Anwendung findet. Beim Verzehr von Lebensmitteln, die Aspartam enthalten, erfolgt die Resorption von Aspartam im menschlichen Intestinaltrakt und der Abbau geschieht über den Aminosäurestoffwechsel im Darm zu Asparaginsäure und Phenylalanin [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 87]. Wird Aspartam in Lebensmitteln eingesetzt, muss dieses entsprechend, gemäß Art. 10 Abs. 1 i. V. m. Anhang III Lebensmittelinformationsverordnung (LMIV), mit „enthält eine Phenylalaninquelle“ [Meyer, 2015a, S. 45] gekennzeichnet werden, denn es gibt Menschen, die unter einer Phenylketonurie leiden. Die Phenylketonurie ist eine Störung des Aminosäurestoffwechsels. Den Menschen fehlt das Enzym Phenylalaninhydroxylase, sodass Phenylalanin nicht verstoffwechselt werden kann und sich somit in den Körperflüssigkeiten (Blut und Harn) anreichert [Baltes & Matissek, 2011, S. 364]. Ein krebserzeugendes Potential kann bei Aspartam hingegen nicht bestätigt werden [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 88].

Ein weiterer häufig verwendeter Süßstoff ist das Acesulfam-K (E 950, Abbildung 5-24), welcher ebenfalls sehr süß schmeckt, einen reinen Süßgeschmack und eine etwa 200-fache Süßkraft im Vergleich zu Saccharose aufweist [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 3].

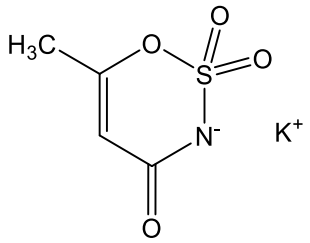


Abbildung 5-24 Strukturformel der Substanz Acesulfam-K [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 242]

Eingesetzt wird Acesulfam-K ebenfalls in der Arzneimittelindustrie zur Maskierung des bitteren Geschmacks und in der Lebensmittelindustrie vor allem in Milchprodukten, Backwaren und Getränken. Zusätzlich erfolgt ein Einsatz in der Kosmetik bei Zahnpflegemitteln und in der Futtermittelindustrie. Ebenso wie beim Saccharin wird Acesulfam-K beim Konsum vom menschlichen Körper schnell aufgenommen und nahezu unverändert mit dem Urin wieder ausgeschieden [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 3].

Gemäß der Verordnung über Lebensmittelzusatzstoffe sind für die Süßstoffe Saccharin, Acesulfam-K und Aspartam in aromatisierten Getränken maximal zulässige Höchstgehalte festgelegt worden. Somit dürfen Erfrischungsgetränke und Energydrinks maximal 80 mg/L Saccharin, 350 mg/L Acesulfam-K und 600 mg/L Aspartam enthalten [Meyer, 2021a, S. 218].

In alkoholfreien Erfrischungsgetränken werden teilweise auch Konservierungsstoffe, wie Benzoe- und Sorbinsäure, eingesetzt. So enthält beispielsweise Pepsi Light als Konservierungsstoff Natriumbenzoat. Konservierungsstoffe werden eingesetzt, um über einen längeren Zeitraum das Wachstum und die Vermehrung von Mikroorganismen zu hemmen, wobei diese nicht abgetötet werden. Zudem wird das Auskeimen von Bakteriensporen und die Bildung von Mykotoxinen durch Schimmelpilze verhindert [Baltes & Matissek, 2011, S. 216]. Der Einsatz erfolgt dabei in sauren Lebensmitteln, so auch vor allem bei kohlensäurehaltigen, zuckerfreien Erfrischungsgetränken, bei denen keine Eigenkonservierung durch den hohen Zuckergehalt stattfindet.

Benzoesäure (E 210, Abbildung 5-25) kommt natürlicher Weise in Beerenfrüchten, wie Preiselbeeren, Himbeeren und Heidelbeeren vor, aber auch in Milch und Milchprodukten sowie Honig [Baltes & Matissek, 2011, S. 216; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 613].

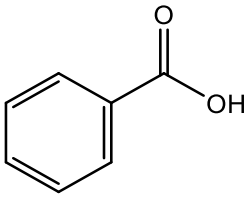


Abbildung 5-25 Strukturformel der Substanz Benzoesäure [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 612]

Als Konservierungsstoff wird Benzoesäure im Bereich der Kosmetik und in der Lebensmittelindustrie in sauren Lebensmitteln bei einem pH-Wert zwischen 4,0 und 4,5 eingesetzt, wie beispielsweise in kohlensäurehaltigen Getränke und Marmeladen. Die Wirkung richtet sich dabei gegen Hefen und Pilze und weniger gegen Bakterien. Dabei werden die Enzyme des Citratzyklus und der oxidativen Phosphorylierung sowie die Zellwände der Organismen gehemmt [Belitz et al., 2208, S. 462].

Sorbinsäure (E 200, Abbildung 5-26) ist ein natürlicher Inhaltsstoff der Vogelbeeren. Sorbinsäure wird genauso wie die Benzoesäure in Kosmetika und der Lebensmittelindustrie für saure Lebensmittel, wie Marmelade und kohlensäurehaltige Getränke, eingesetzt. Ein weiterer Einsatzbereich sind Backwaren, wo die Sorbinsäure gegen Schimmelpilzbefall eingesetzt wird. Der Unterschied besteht darin, dass Sorbinsäure bis zu einem höheren pH-Wert von 6,5 eingesetzt werden kann. Die Wirkung von Sorbinsäure richtet sich ebenfalls gegen Hefen und Pilze und weniger gegen Bakterien [Belitz et al., 2008, S. 463 f.; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 613].

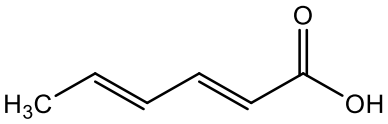


Abbildung 5-26 Strukturformel der Substanz Sorbinsäure [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 612]

Gemäß der Verordnung über Lebensmittelzusatzstoffe sind für die Konservierungsstoffe Benzoe- und Sorbinsäure in aromatisierten Getränken maximal zulässige Höchstgehalte festgelegt worden. Somit dürfen Erfrischungsgetränke und Energydrinks maximal 150 mg/L Benzoesäure oder 300 mg/L Sorbinsäure enthalten. Werden Benzoesäure und Sorbinsäure gemeinsam als Konservierungsmittel eingesetzt, so verringert sich der maximal zulässige Höchstgehalt von Sorbinsäure auf 250 mg/L [Meyer, 2021a, S. 216].

Eine besondere Kategorie der koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke sind die Energydrinks, die zwar schon seit 1980 auf dem Markt vertreten sind, sich jedoch erst in den letzten Jahren zu richtigen Trendgetränken herauskristallisiert haben. Vor allem bei Jugendlichen sind Energydrinks als Wachmacher sehr beliebt. Die Konzentrationsfähigkeit und die körperliche Leistungsfähigkeit nehmen zu [Lassek et al., 2020]. Neben Koffein enthalten Energydrinks Taurin, welches als Inhaltsstoff weiter betrachtet werden soll.

Taurin (Abbildung 5-27) kommt natürlicherweise in Samen von Leguminosen und Kaktusfeigen vor. Gerade tierische Lebensmittel enthalten viel Taurin. So enthalten Fische und Meeresfrüchte bis zu 200 mg Taurin/100 g und Muskelfleisch im Allgemeinen bis zu 160 mg Taurin/100 g. Auch der Mensch selbst enthält Taurin im Körper, beispielsweise im Blutplasma und im Herzen, aber auch im Zentralnervensystem und der Retina ist Taurin enthalten [Knapp, 2006].

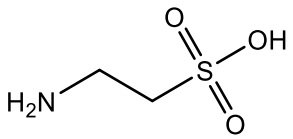


Abbildung 5-27 Strukturformel der Substanz Taurin [Knapp, 2006]

Taurin stellt ein natürliches Abbauprodukt des menschlichen Stoffwechsels dar, welches in der Leber aus der Aminosäure Cystein mit schwefelhaltigen Aminosäuren gebildet wird. So produziert ein gesunder Erwachsener pro Tag in etwa 50 – 125 mg Taurin. Neben der körpereigenen Produktion nehmen die Menschen Taurin mit der Nahrung auf. Da Taurin vor allem in tierischen Lebensmitteln enthalten ist, nehmen Menschen, die sich vegetarisch ernähren, weniger Taurin mit der Nahrung auf als Menschen, die auch auf tierische Produkte zurückgreifen. Vegetarier nehmen etwa 40 mg Taurin pro Tag mit der Nahrung auf, wohingegen Nicht-Vegetarier etwa 200 mg Taurin pro Tag zu sich nehmen [Knapp, 2006].

Eingesetzt wird Taurin aber auch als Lebensmittelzusatzstoff zur Leistungssteigerung, beispielsweise in Energydrinks und Sportlernahrung. Gemäß der Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung dürfen Energydrinks maximal 4000 mg/L Taurin und 320 mg/L Koffein enthalten [Meyer, 2020a, S. 17]. Natürlich gibt es auch im Bereich der Energydrinks zuckerfreie Varianten, sodass an der Stelle dasselbe gilt, was bereits zu den Süßstoffen und Konservierungsstoffen erwähnt worden ist.

Von Energydrinks können allgemeine Gesundheitsrisiken ausgehen, weshalb Erwachsenen geraten wird, Energydrinks nicht zusammen mit Alkohol zu konsumieren, denn das Koffein kann die ermüdende Wirkung der alkoholischen Getränke maskieren. Dadurch kann die

körperliche Leistungsfähigkeit leicht überschätzt werden. Es können Nebenwirkungen in Form von Kreislaufproblemen auftreten, sowie zentralnervöse Beschwerden. Zudem ist es nicht zu empfehlen Energydrinks in Verbindung mit intensiver sportlicher Aktivität zu konsumieren. Es wird zwar suggestiert, dass die Leistungsfähigkeit gesteigert werden soll, aber das ist nicht abschließend geklärt. Eines ist gewiss: Bei Energydrinks handelt es sich definitiv nicht um Sportlergetränke [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (a)].

Erschreckend ist auch, dass zwei Drittel aller Jugendlichen im Alter von 10 – 18 Jahren Energydrinks konsumieren. Das geht aus einer Studie der EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit; engl. European Food Safety Authority) aus dem Jahr 2015 hervor. Auch 18 % der Kinder im Alter von 3 – 10 Jahren konsumieren demnach bereits Energydrinks. Dabei liegt der sichere Wert für Koffein bei Kindern bei nur 3 mg/kg Körpergewicht. Wenn man von einem 10-jährigen Kind mit einem Körpergewicht von 25 kg ausgeht, dann liegt der sichere Wert für Koffein bei maximal 75 mg, wobei bereits 250 mL Energydrink, was einer kleinen Dosen entspricht, 80 mg Koffein enthält. Somit wird beim Konsum einer Dose Energydrink von 250 mL bereits der sichere Wert überschritten. Dennoch gibt es in Deutschland keine gesetzliche Altersbeschränkung für den Verkauf von Energydrinks, sondern nur eine Empfehlung, diese nicht an Kinder und Jugendliche abzugeben [Lassek et al., 2020].

Chininhaltige Erfrischungsgetränke sind Erfrischungsgetränke, denen als Aroma Chinin zugesetzt wird. Beispiele, die betrachtet werden sollen, sind Bitter Lemon und Tonic Water der Marke Schweppes sowie Tonic Water der Marke Thomas Henry. Gemäß der Aromendurchführungsverordnung dürfen chininhaltige Erfrischungsgetränke maximal 85 mg/kg Chinin enthalten. Zudem muss auf der Verkaufseinheit ein Hinweis mit der Aufschrift „chininhaltig“ dargestellt werden [Meyer, 2021c, S. 5].

Bei Chinin (Abbildung 5-28) handelt es sich um einen kristallinen Bitterstoff, welcher in sauerstoffhaltigen Säuren blau fluoresziert. Chinin kommt natürlicherweise in der Chinarinde vor und zählt zur Gruppe der China-Alkaloide [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 646].

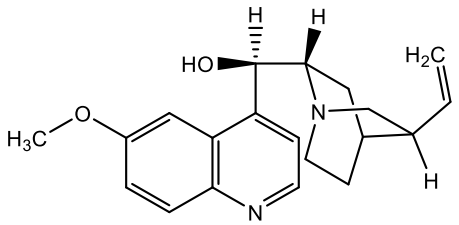


Abbildung 5-28 Strukturformel der Substanz Chinin [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 646]

Chinin wird in der Lebensmittelindustrie als Bitterstoff eingesetzt, beispielsweise in Bitter Lemon und Tonic Water, aber auch in verschiedenen Spirituosen [Baltes & Matissek, 2011, S. 249]. Während in alkoholfreien Erfrischungsgetränken gemäß der Aromendurchführungsverordnung 85 mg/kg Chinin zugesetzt werden darf, können bei Spirituosen sogar bis zu 300 mg/kg an Chinin eingesetzt werden [Meyer, 2017c, S. 5]. Zudem wird es in der analytischen Chemie, aufgrund der fluoreszierenden Eigenschaften, im Bereich der Spektroskopie eingesetzt [Weiß, 2016]. Da der Konsum von chininhaltigen Lebensmitteln Allergien und Unverträglichkeiten hervorrufen kann, müssen die entsprechenden alkoholfreien Erfrischungsgetränke mit der Angabe „chininhaltig“ gekennzeichnet werden [Meyer, 2021c, S. 2]. Durch das allergische Potential kann es neurotoxisch wirken, wodurch es zu Hör- und Sehstörungen, sowie Schwindelgefühle kommen kann. Weiterhin können Hautrötungen, Schweißausbrüche und Verwirrtheitszustände resultieren. Wird eine große Menge an Chinin zu sich genommen, können schwere Vergiftungserscheinungen hervorgerufen werden. Dazu gehören unter anderem Herzrhythmusstörungen bis hin zum Nierenversagen [Weiß, 2016].

Neben den koffein- und chininhaltigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken werden im Seminar die Inhaltsstoffe der Sportlergetränke untersucht. Sportlergetränke zeichnen sich dadurch aus, dass ihnen noch Mineralsalze zugesetzt werden, um den Mineralstoffverlust durch das Schwitzen auszugleichen [Lassek, 2018]. Beispiele, bei denen die zugesetzten Farbstoffe untersucht werden sollen, sind Powerade Mountain Blast und Powerade Wild Berry.

Lebensmittelfarbstoffe werden in der Lebensmittelindustrie eingesetzt, um Farbverluste auszugleichen und um Veränderung der Farbe bei der Verarbeitung und Lagerung vorzubeugen. Zudem spielt das Aussehen von Lebensmitteln eine zentrale Rolle, denn farbige Lebensmittel fallen dem potenziellen Käufer besser ins Auge, weshalb die sensorischen Aspekte ebenfalls in der Lebensmittelindustrie ausgenutzt werden, denn eine entsprechende Farbe leistet einen großen Beitrag zur Auswahl und Akzeptanz von Lebensmitteln [Baltes & Matissek, 2011, S. 251].

Die Lebensmittelfarbstoffe können in natürliche und synthetische Farbstoffe eingeteilt werden. Die natürlichen Lebensmittelfarbstoffe können entweder pflanzlicher oder tierischer Herkunft sein. Zu den pflanzlichen Vertretern zählen unter anderem die Carotinoide und Anthocyane, wohingegen Cochenille ein Beispiel für ein tierischen Lebensmittelfarbstoff ist. Daneben können auch anorganische Pigmente, wie Titandioxid, als Lebensmittelfarbstoffe eingesetzt werden, aber auch Melanoidine und Polyphenole als sekundär gebildete Farbstoffe. Titandioxid darf jedoch über den August 2022 hinaus nicht mehr als Lebensmittelzusatzstoff eingesetzt werden. Neben den natürlichen Farbstoffen werden auch synthetische Farbstoffe in der Lebensmittelindustrie verwendet. Diese lassen sich in drei Klassen einteilen: Azo-, Triphenylmethan- und Chinolinfarbstoffe. Die meisten Farbstoffe dieser Gruppen tragen Hydroxyl- oder Sulfonsäuregruppen, um die Wasserlöslichkeit zu gewährleisten [Hartmann-Schreier, 2004].

Die Azofarbstoffe sind über eine oder mehrere Azobrücken verbunden. Zu diesen Farbstoffen zählen beispielsweise Tartrazin (E 102), Chryosin (E 103) und Azorubin (E 122). Das rote Sportlergetränk, Powerade Wild Cherry, enthält den Farbstoff Azorubin (E 122), welches in Abbildung 5-29 dargestellt ist. Der gefärbte Anteil zeigt in den nächsten Abbildungen jeweils das Chromophor. Die Anwendung dieser Farbstoffe erfolgt in Getränken, aber auch in Süßigkeiten und Kosmetika [Baltes & Matissek, 2011, S. 255 f.; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 686].

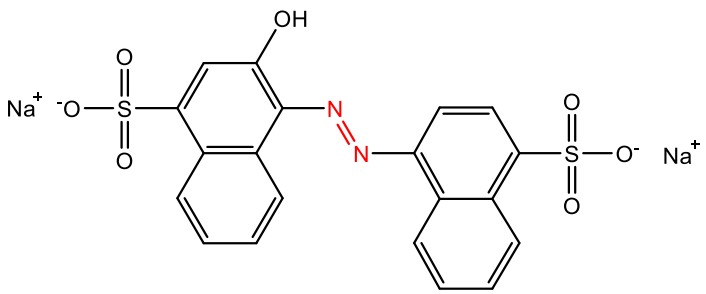


Abbildung 5-29 Strukturformel des Farbstoffs Azorubin E 122 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 256.]

Powerade Mountain Blast ist ein blaues Sportlergetränk, welches den Farbstoff Brilliantblau FCF (E 133) enthält. Dieser Farbstoff gehört neben Patentblau V (E 131) und Grün S (E 142) zur Gruppe der Triphenylmethanfarbstoffe. In Abbildung 5-30 wird Brilliantblau FCF (E 133) dargestellt. Diese Farbstoffe werden häufig in Getränken und Süßwaren verwendet, aber auch in der Drucktechnik und der Textilindustrie. Die Triphenylmethanfarbstoffe werden nicht resorbiert und somit nach Aufnahme aus dem Körper unverändert ausgeschieden [Baltes & Matissek, 2011, S. 256 f.; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 688 f.].

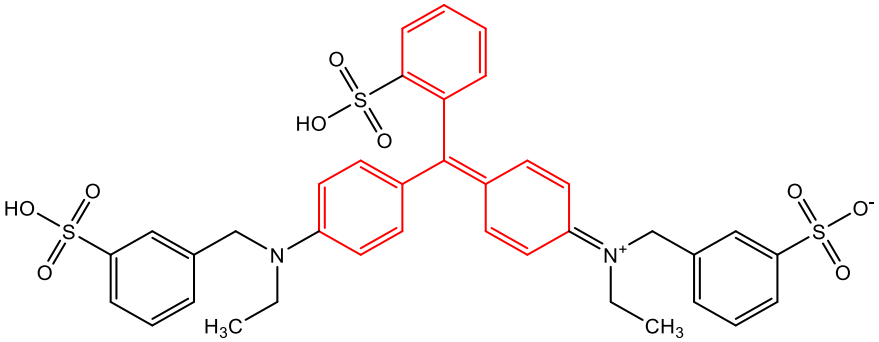


Abbildung 5-30 Strukturformel des Triphenylmethanfarbstoffs Brillantblau FCF (E 133) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 687]

Zu den Chinolinfarbstoffen gehört das Chinolingelb (E 104, Abbildung 5-31), ein gelber, wasserlöslicher Farbstoff. Dieser wird beispielsweise in Getränken, Brausen, Süßwaren und Desserts angewendet [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 686].

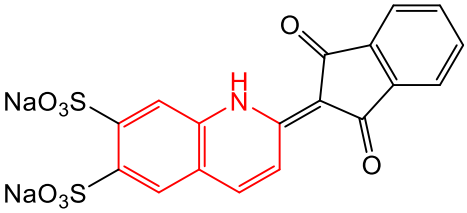


Abbildung 5-31 Strukturformel des Farbstoffs Chinolingelb (E 104) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 687]

Gemäß Art. 4 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe dürfen nur die in Anhang II Teil B Nr. 1 aufgeführten Lebensmittelfarbstoffe in Lebensmitteln verwendet werden. Einen Auszug der insgesamt 38 zur Anwendung freigegeben Farbstoffe kann Tabelle 5-10 entnommen werden. In dem Auszug wird sich ausschließlich auf die Farbstoffe beschränkt, die als Vergleichssubstanzen für die Laborarbeit zur Verfügung stehen [Meyer, 2021a, S. 29].

Tabelle 5-10 Auszug der Farbstoffe, die in Lebensmitteln eingesetzt werden dürfen [Meyer, 2021a, S.29]

E-Nummer	Bezeichnung
E 101	Riboflavin
E 102	Tartrazin
E 104	Chinolingelb
E 110	Gelborange S
E 122	Azorubin (Carmoisin)
E 123	Amaranth
E 124	Cochenillerot A (Ponceau 4R)
E 127	Erythrosin
E 129	Allurarot AC
E 131	Patentblau V

E-Nummer	Bezeichnung
E 132	Indigotin (Indigokarmin)
E 133	Brilliantblau FCF
E 142	Grün S
E 151	Brilliantschwarz PN

Einige Farbstoffe stehen unter Verdacht, dass sie bei Kindern zu Hyperaktivität und Aufmerksamkeitsstörungen führen können. Dazu zählen Tartrazin (E 102), Chinolingelb (E 104), Gelborange S (E 110), Azorubin (E 122), Cochenillerot A (E 124) und Allurarot AC (E 129). Gemäß Art 24. Abs. 1 i. V. m. Anhang V VO (EG) Nr. 1333/2008 müssen diese Farbstoffe in Verbindung mit der Bezeichnung oder der Angabe der E-Nummer des Farbstoffs den Zusatz „Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen“ [Meyer, 2021a, S. 290] tragen. So muss beim Powerade Wild Cherry dieser Zusatz auf der Verkaufseinheit in Verbindung mit dem Farbstoff Azorubin stehen.

5.4.1.1 Mögliche Anknüpfungspunkte der alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks im niedersächsischen Kerncurriculum

Auch wenn die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks nicht explizit in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II genannt werden, können mögliche Anknüpfungspunkte gefunden werden. So werden die Anknüpfungspunkte für alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks des niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I in Tabelle 5-11 dargestellt.

Tabelle 5-11 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	**Doppel-jahrgang**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …unterscheiden Stoffe anhand ihrer mit den Sinnen erfahrbaren Eigenschaften und Aggregatzuständen“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …beschreiben die Trennverfahren Filtration, Sedimentation, Destillation und Chromatografie mithilfe ihrer Kenntnisse über Stoffeigenschaften“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] • …unterscheiden zwischen sauren, neutralen und alkalischen Lösungen durch Indikatoren“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]
Stoff-Teilchen	7/8	**Erkenntnisgewinnung** • …planen selbstständig Experimente und wenden Nachweisreaktionen an“ [Achtermann et al., 2015, S. 53] **Bewertung** • …erkennen den Nutzen von Nachweisreaktionen“ [Achtermann et al., 2015, S. 53]
Stoff-Teilchen	9/10	**Fachwissen** • …führen Nachweisreaktionen auf das Vorhandensein von bestimmten Teilchen zurück“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Erkenntnisgewinnung** • …erkennen anhand der pH-Skala, ob eine Lösung sauer, neutral oder alkalisch ist und können diese auf die Anwesenheit von H^+/H_3O^+- bzw. OH^-Ionen zurückzuführen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …planen geeignete Untersuchungen und werten die Ergebnisse aus“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Demnach können die Schüler:innen schon im Doppeljahrgang 5/6 im Basiskonzept Stoff-Teilchen (Kompetenzbereich Fachwissen) mit alkoholfreien Erfrischungsgetränken in Berührung kommen. Da die Schüler:innen ihre Sinne nutzen sollen, um Stoffe zu unterscheiden, kann an dieser Stelle ein Bezug zur Lebensmittelsensorik hergestellt werden. So könnte am Beispiel des Geschmacks eine Beliebtheitsprüfung mit den Schüler:innen durchgeführt werden, wofür beispielsweise verschiedene Cola-Getränke oder Limonaden eingesetzt werden. Die Schüler:innen sollen anhand der verschiedenen Geschmäcker der alkoholfreien Erfrischungsgetränke eine Reihenfolge nach ihrem Geschmack festlegen, in absteigender Reihenfolge. Wichtig ist, dass die Schüler:innen nicht wissen, um welche Marken es sich handelt, damit keine Beeinflussung durch Vorlieben vorliegt. Ebenfalls wäre ein Triangel-Test denkbar, wobei zwei alkoholfreie Getränke von einer Sorte und ein Getränk von einer anderen Sorte stammt. Die Schüler:innen sollen so herausfinden, welches das abweichende alkoholfreie Erfrischungsgetränk ist [Muche & Pietzner, 2022]. Weitere Anknüpfungspunkte der alkoholfreien Erfrischungsgetränke sind durch den Alltagsbezug gegeben, denn die Schüler:innen kennen alkoholfreie Erfrischungsgetränke aus ihrem Alltag und konsumieren sie. Die alkoholfreien Erfrischungsgetränke können zudem bereits im Doppeljahrgang 5/6 in Experimenten eingesetzt werden. Gefordert wird, dass die Schüler:innen Trennverfahren durch Stoffeigenschaften beschreiben können. Gerade im Anfangsunterricht eignen sich besonders die Farbstoffe zur Trennung, sodass das Experiment *Bestimmung der Farbstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken mittels Dünnschichtchromatographie* (V 19) eingesetzt werden kann. Daneben sollen die Schüler:innen mithilfe von Indikatoren saure, neutrale und alkalische Lösungen unterscheiden, sodass als Beispiel für eine saure Lösung auch ein alkoholfreies Erfrischungsgetränk oder ein Energydrink eingesetzt werden kann.

Im Doppeljahrgang 7/8 gibt es mögliche Anknüpfungspunkte im Kontext von Nachweisreaktionen, wobei die Schüler:innen geeignete Experimente planen und zum Verständnis nutzen sollen. Auch hier sind alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks geeignet, um die enthaltenen Säuren nachzuweisen. Die Nachweisreaktionen in Bezug auf enthaltene Teilchen werden nochmal im Doppeljahrgang 9/10 aufgegriffen und bieten daher einen spiralcurricularen Ansatz. Mithilfe der pH-Skala werden aufbauend auf den Doppeljahrgang 5/6 saure, neutrale und alkalische Lösungen aufgrund der Anwesenheit von Hydronium- und Hydroxidionen bestimmt, sodass auch hier die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks eingesetzt werden können. Durch den Einsatz alkoholfreier Erfrischungsgetränke und Energydrinks können die Schüler:innen die Angaben von Inhaltsstoffen auf die fachliche Richtigkeit bewerten. Dadurch können die Schüler:innen Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen

kennenlernen, wodurch der Aspekt der Berufsorientierung angesprochen wird. Hier kann ein Bezug zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen hergestellt werden, sodass auch dieser Studienberuf den Schüler:innen vorgestellt wird.

Ein weiterer möglicher Bereich, in denen die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks im schulischen Chemieunterricht thematisiert werden können, ist der Themenblock Ernährung und Gesundheit. Aufgrund des hohen Alltagsbezuges könnte Interesse bei den Schüler:innen bestehen. So könnten Fragen wie beispielsweise *Wie viel Zucker ist in alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks enthalten?* oder *Sind zuckerfreie Alternativen gesünder als die zuckerhaltigen Produkte?* angesprochen und gesundheitliche Aspekte, vor allem in Bezug auf Übergewicht und die enthaltenen Süßstoffe, betrachtet werden.

Im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II sind ebenfalls mögliche Anknüpfungspunkte für die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks zu finden. In Tabelle 5-12 werden diese zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-12 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangsstufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
Stoff-Teilchen	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
Donator-Akzeptor	QP	**Bewertung/Reflexion** • …beurteilen den Einsatz von Säuren und Basen sowie Neutralisationsreaktionen in Alltags-, Technik- und Umweltbereichen“ [Achtermann et al., 2017, S. 27]

Basiskonzept	**Jahrgangsstufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Kinetik und chemisches Gleichgewicht	QP	**Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …planen geeignete Experimente zum Einfluss von Faktoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit und führen diese durch“ [Achtermann et al., 2017, S. 30] **Kommunikation** • …recherchieren pH-Wert-Angaben im Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 32]

In der Einführungsphase können die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks aus der Sekundarstufe I wieder aufgegriffen und wiederholt werden. So können die Schüler:innen erkennen, dass diese Lebensmittelgruppe sie in ihrer Lebenswelt umgibt, und es können gesellschaftlich relevante Themen betrachtet werden. Es bietet sich die Betrachtung der gesundheitlichen Aspekte an, wie beispielsweise das immer weiter steigende Gewichtsproblem der Gesellschaft und damit bedingt auch weitere Erkrankungen. Als Beispiel wäre hier Diabetes mellitus Typ 2 zu nennen. Neben dem Alltagsbezug und der gesundheitlichen Aspekte ist auch in der Einführungsphase der Oberstufe die Berufsorientierung zu betrachten. Die Schüler:innen sollen analytische Verfahren aus der Berufswelt kennenlernen, sodass mithilfe der alkoholfreien Erfrischungsgetränke und der Energydrinks die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie als analytisches Verfahren vorgestellt werden kann. Mithilfe der HPLC können beispielsweise die Gehalte an Koffein (*V 4*), Süßstoffen (*V 8*) und Konservierungsstoffen (*V 7*) in den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks quantitativ bestimmt werden, aber auch der Chiningehalt in Bitter Lemon und Tonic Water (*V 2*).

In der Qualifikationsphase sollen die Schüler:innen Molekülstrukturen von Makronährstoffen beschreiben können, sodass sich hier die Thematisierung der Zucker in den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks anbietet. Durch die Betrachtung der organischen Verbindungen in den Getränken, können die Schüler:innen erkennen, welche Bedeutung die organischen Substanzen für den Körper und die Umwelt haben. Daneben sollen die Schüler:innen verstehen, welchen Einfluss Säuren und Basen im Alltag haben, sodass hier beispielsweise der Bezug zur Cola hergestellt werden kann, die neben Kohlensäure auch Phosphorsäure enthält. Dabei bietet sich die Recherche von pH-Werten anhand verschiedener alkoholfreier Erfrischungsgetränke und Energydrinks an. Die Kohlensäure kann zudem bei verschiedenen Temperaturen betrachtet werden, wodurch den Schüler:innen Faktoren zur Reaktionsgeschwindigkeit aufgezeigt werden können.

Weitere Themenfelder des schulischen Chemieunterrichts der Sekundarstufe II, die eine Betrachtung der Lebensmittelgruppen der alkoholfreie Erfrischungsgetränke und der Energydrinks erlaubt, sind *Chemie im Alltag* in der Einführungsphase, sowie *Chemie und Ernährung, Chemie und Medizin, ebenso* wie *Medizin und Sport* in der Qualifikationsphase [Achtermann et al., 2017, S. 46 f.]. In der Einführungsphase eignen sich die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks aufgrund des hohen Alltagsbezuges durch den Konsum der Schüler:innen, wohingegen in der Qualifikationsphase im Themenbereich *Chemie und Ernährung* die Energydrinks und beispielsweise Mate als moderne Getränke thematisiert werden können. In den Getränken können verschiedene Zusatzstoffe (Koffein, Süßstoffe, Konservierungsstoffe) qualitativ und quantitativ bestimmt werden, ebenso wie der Zuckergehalt. Gerade der Koffeingehalt kann beim Themenfeld *Chemie und Sport* herangezogen werden. Dabei kann der Frage nachgegangen werden, wie sich der Koffeingehalt in den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks auf die sportliche Aktivität auswirken kann. Im Bereich der Energydrinks können zudem die Auswirkungen von Taurin, Inosit und Glucuronolacton auf die sportliche Aktivität betrachtet werden. Der Bezug zum Themenfeld *Chemie und Medizin* wird durch die Lebensmittelsensorik bedingt, sodass hier die *Chemie im Mund* thematisiert werden kann.

An den niedersächsischen Kerncurricula Biologie können ebenfalls mögliche Anknüpfungspunkte festgemacht werden. In der Sekundarstufe I werden Beispiele für verschiedene Themenfolgen gegeben, ebenso wie Fachinhalte, die sich für einen fachübergreifenden Unterricht eignen. Folgende beispielhafte Themenfolgen werden genannt:

- Doppeljahrgang 7/8: „Leben braucht Energie (Ernährung, Verdauung, Zellatmung)“ [Jaeger et al., 2015, S. 95]
- Doppeljahrgang 9/10: „Sinne erschließen uns die Umwelt“ [Jaeger et al., 2015, S. 95].

Demnach können im Doppeljahrgang 7/8 die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks herangezogen werden, um diese als Bestandteil der Ernährung der Schüler:innen zu betrachten. Im Doppeljahrgang 9/10 bedingt die Lebensmittelsensorik die mögliche Betrachtung der Getränke.

Als Fachinhalte, die sich für einen fachübergreifenden Unterricht eignen, werden folgende genannt:

- Doppeljahrgang 5/6 (Chemie): „Trennverfahren, auch Chromatographie“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]
- Doppeljahrgang 5/6 (Chemie): „saure und alkalische Lösungen“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]

- Jahrgang 7 (Biologie): „Nachweisverfahren für Zucker“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]
- Jahrgang 10 (Chemie): „Säure-Base-Begriff“ [Jaeger et al., 2015, S. 110]
- Jahrgang 10 (Chemie): „pH-Skala“ [Jaeger et al., 2015, S. 110]

Demnach können die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks eingesetzt werden, um die Chromatographie fachübergreifend zu betrachten. Wie bereits oben erläutert, eignet sich im Anfangsunterricht die Auftrennung der Farbstoffe mittels Dünnschichtchromatographie. Daneben können die Getränke im Doppeljahrgang 5/6 verwendet werden, um den Unterschied zwischen sauren und alkalischen Lösungen kennenzulernen, indem die enthaltenen Säuren betrachtet werden. Neben Säuren können im Jahrgang 7 die Zucker in den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks betrachtet und analytisch bestimmt werden. Im Jahrgang 10 wird der Säure-Base-Begriff eingeführt und die pH-Skala soll betrachtet werden. Hier können die Getränke als Beispiele für saure Lösungen eingesetzt und deren pH-Werte gemessen und bewertet werden.

Auch im Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II können mögliche Anknüpfungspunkte in Bezug auf alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks gefunden werden. Diese werden in Tabelle 5-13 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-13 Mögliche Anknüpfungspunkte für die Themenbereiche alkoholfreie Erfrischungsgetränke und Energydrinks an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Struktur und Funktion	EP	• …beschreiben den Bau und die wesentlichen Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle (Lipide, Proteine, Kohlenhydrate, Nucleinsäuren)“ [Emmler et al., 2017, S. 22]
Erkenntnisgewinnung	QP	• …führen eine Dünnschichtchromatographie durch und werten das Chromatogramm aus“ [Emmler et al., 2017, S. 26]
Information und Kommunikation	QP	• …erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn […])“ [Emmler et al., 2017, S. 34]

Demnach können die einzelnen Inhaltsstoffe der alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks in der Einführungsphase betrachtet und der Bau sowie die Eigenschaften der Moleküle beschrieben werden. Zusätzlich bietet sich in der Qualifikationsphase an, die Farbstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken für eine Dünnschichtchromatographie einzusetzen. Anhand dessen können die Schüler:innen die Dünnschichtchromatogramme, wie gefordert, mithilfe der

Retentionsfaktoren auswerten. Der Geruchssinn, inklusive der Entstehung der Gerüche, soll in der Qualifikationsphase betrachtet werden. So eignet sich sowohl der Einsatz der alkoholfreien Erfrischungsgetränke als auch der Energydrinks, um auf den Geschmackssinn überzuleiten. Somit liegt auch hier ein Bezug zur Lebensmittelsensorik vor, sodass ein Triangel-Test oder eine Beliebtheitsprüfung durchgeführt werden kann.

5.4.2 Alkoholische Getränke

Ebenfalls Thema eines theoretischen Seminartermins sind die alkoholischen Getränke. Dazu ist im digitalen Anhang die PowerPoint-Präsentation angefügt. Da bei den Experimenten der praktischen Laborarbeit nur Biermischgetränke und Spirituosen untersucht werden, wird sich in dieser Arbeit auf die Darstellung der Biermischgetränke und der Spirituosen beschränkt. Im theoretischen Block des Seminars werden auch Wein, Schaumwein, weinhaltige und weinähnliche Getränke kurz angesprochen, die jedoch in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden sollen.

Das Bier ist eines der beliebtesten Getränke in Deutschland. So lag der Pro-Kopf-Verbrauch an Bier in Deutschland im Jahr 2020 bei etwa 95 Litern [Statista Research Department, 2022a]. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2021 etwa 70.000 Hektoliter Bier hergestellt [Statista Research Department, 2022b].]. Die Abfüllung der Biere kann dabei auf unterschiedliche Wege erfolgen: in Fässern, Mehrwegflaschen, Dosen oder auch PET-Flaschen.

Zum Brauen von Bier dürfen nach dem deutschen Reinheitsgebot aus dem Jahr 1516 vier Inhaltsstoffe verwendet werden: Gerstenmalz, Hopfen, Hefe und Wasser. Je nach Ursprungsland dürfen heute aber auch weitere Zusatzstoffe hinzugefügt werden und in Deutschland entsprechend in den Verkehr gebracht werden, denn der Verbraucher kann anhand des Zutatenverzeichnisses erkennen, um welche Erzeugnisse es sich somit handelt. Beispielsweise können neben Gerste auch andere Ausgangsstoffe wie Reis, Mais oder Zuckerarten verwendet werden. Antioxidantien, Konservierungsstoffe, Süßstoffe und Enzyme können ebenfalls hinzugefügt werden, um die Haltbarkeit entsprechender Erzeugnisse zu verlängern [Niedersächsisches Landesamt über Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (b)].

Das Bier weist verschiedene Eigenschaften auf, die durch die Inhaltsstoffe bedingt werden. So verleiht das Ethanol, was im Bier enthalten ist, dem Bier eine berauschende und anregende Wirkung. Der Hopfen ist hingegen für die aromatischen Eigenschaften des Bieres verantwortlich, ebenso wie verschiedene Darrprodukte und enthaltene Aromastoffe. Zudem weist ein Bier nährende Eigenschaften auf. Diese resultieren aus dem unvergorenen Extrakt, der vor allem aus Kohlenhydraten und Proteinen besteht. Die erfrischende Wirkung verdankt das Bier

der enthaltenen Kohlensäure, welche einen zentralen Stellenwert beim Bier hat [Belitz et al., 2008, S. 921].

Die Rohstoffe zum Herstellen von Bier stellen Gerste, Hopfen, Brauwasser und Bierhefe dar, die nun einzeln betrachtet werden sollen.

Gerste liefert einen wichtigen Rohstoff für das Bierbrauen. Zur Bierherstellung wird in Deutschland entweder die zweizeilige nickende Sommergerste oder die sechszeilige Wintergerste eingesetzt. Die Gerstenarten weisen besonders gute Eigenschaften auf, die sich unter anderem in der guten Keimfähigkeit zeigen. So keimen in der Regel mindestens 95 % der Körner. Zudem weisen diese Gerstenarten ein gutes Quellvermögen auf, einen hohen Stärkegehalt und sie liefern gute Extraktmengen aus dem Malz [Belitz et al., 2008, S. 921 ff.].

Der zweite wichtige Rohstoff zur Herstellung von Bier ist der Hopfen, welcher dem Bier seine aromatischen und bitteren Geschmacksnoten verleiht. Der Hopfen bedingt die Fällung von Eiweißstoffen in der Würze, sodass die sensorischen Geschmacksnoten ausgebildet werden können. Zudem enthält Hopfen viel Pektin, sodass es zur Schaumbildung beiträgt. Als Hopfensorte wird in Deutschland vor allem eine winterharte, zweihäusige Kletterpflanze verwendet, welche in den Drüsenhaaren die Bitterstoffe und ätherischen Öle für die aromatischen Geschmacksnoten trägt. Durch die Bitterstoffe, die als α-Bittersäuren vorliegen, enthält der Hopfen eine antibiotische Wirkung, sodass der Hopfen neben dem Alkohol und der Kohlensäure einen Beitrag zur Haltbarkeit leistet [Belitz et al., 2008, S. 923 f.].

Neben der Gerste und dem Hopfen wird zum Brauen von Bier Wasser, das Brauwasser, benötigt. Die Zusammensetzung des Brauwasser bedingt sowohl die Qualität als auch den Charakter des Bieres. Dabei spielt der Anteil der enthaltenen Salze eine wichtige Rolle, da die entsprechenden Ionen den pH-Wert des Brauwasser bestimmen. So wird der pH-Wert des Brauwasser durch die Anwesenheit von Calcium- und Magnesium-Ionen erniedrigt, wohingegen Hydrogencarbonat-Ionen den pH-Wert des Brauwassers ansteigen lassen. Zudem sind einige enthaltene Salze für Fehlaromen und Gärstörungen verantwortlich. So zeigen Biere mit einem hohen Gehalt an Magnesiumsulfat einen unangenehm bitteren Geschmack, wohingegen Mangan- und Eisensalze für Verfärbungen, Trübungen und Verschlechterung des Biergeschmacks verantwortlich sind. Problematisch sind auch hohe Gehalte an Natriumchlorid und Nitraten, da die Nitrate im Gärprozess zu Nitriten umgewandelt werden, wodurch Gärstörungen hervorgerufen werden. Demnach ist der Salzgehalt des Brauwasser von entscheidender Bedeutung für die Bierherstellung. Liegt im Brauwasser nur eine geringe Salzmenge vor, so können dadurch helle Biere gebraut werden, die sich durch einen starken Hopfengeschmack auszeichnen. Ein dunkles Bier kann hingegen mithilfe von Brauwasser mit einem höheren Salzgehalt gebraut

werden. Es gibt jedoch genügend Möglichkeiten, die eingesetzt werden können, um ein Brauwasser auf die gewünschten Eigenschaften aufzuarbeiten. Aufarbeitungsschritte, die häufig eingesetzt werden, ist einerseits die Entfernung von Salzen mithilfe von Ionenaustauschern und andererseits werden Carbonate gefällt und ausgehärtet, um den gewünschten pH-Wert einzustellen [Belitz et al., 2008, S. 926].

Als vierter und letzter Rohstoff wird für die Bierstellung die Bierhefe benötigt. Je nachdem, ob ein ober- oder untergäriges Bier gebraut werden soll, müssen entsprechend unterschiedliche Arten der Gattung *Saccharomyces*-Hefen verwendet werden. Zur Herstellung obergäriger Biere wird als Hefe *Saccharomyces cerevisiae* eingesetzt, die bei einer Temperatur von über 10 °C arbeiten können. Wie der Name obergäriges Bier schon verrät, scheidet sich die Hefe im Gärprozess an der Oberfläche des Bieres ab. Werden untergärige Biere gebraut, verwendet man untergärige Hefen, die bis zu einer Temperatur von 0 °C eingesetzt werden können. Dazu wird häufig die Hefeart *Saccharomyces carlbergensis* eingesetzt. Während des Gärprozesses setzt sich die Hefe am Boden ab. Im Vergleich zu obergärigen Hefearten sind untergärige Hefearten in der Lage die meisten Zuckerarten abzubauen, so auch das Trisaccharid Raffinose. Obergärige Hefen können im Vergleich nur etwa 30 % Raffinose abbauen, da das Enzym Melibiase fehlt. Neben obergärigen und untergärigen Hefen wird zusätzlich in hochvergärende Hefen und Bruchhefen unterschieden. Bruchhefen sind niedervergärende Hefen, die beim Gärprozess frühzeitig zu Boden sinken, sodass der Gärprozess im Vergleich zu den hochvergärenden Hefen nicht vollständig abläuft [Belitz et al., 2008, S. 926].

Mithilfe der vier besprochenen Rohstoffe können Biere hergestellt werden. In Abbildung 5-32 ist das Schema der Bierherstellung dargestellt.

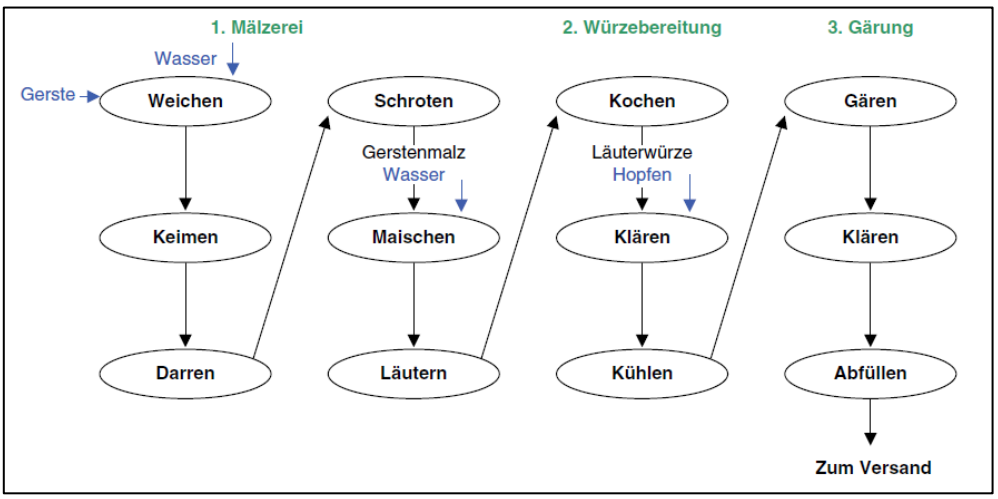


Abbildung 5-32 Schematische Darstellung der Bierherstellung [Rimbach et al., 2010, S. 319]

Der erste Schritt der Bierherstellung ist die Malzbereitung, die aus den Schritten Weichen, Keimen und Darren besteht. Beim Weichen wird Wasser zur Gerste hinzugegeben, wodurch die Gerste zum Keimen gebracht wird und als Produkt das sogenannte Grünmalz entsteht. Durch Trocknungs- und Röstungsvorgänge entsteht Darrmalz, welches 4 – 6 Wochen gelagert wird, bevor es weiterverwendet wird. Der Weichprozess erfolgt als Nass-Trocken-Prozess, das bedeutet, dass eine entsprechende Menge Wasser zunächst hinzugegeben und nach kurzer Verweildauer wieder abgeführt wird. Wichtig ist eine dauerhaft gute Belüftung, da so gebildetes Kohlenstoffdioxid entfernt werden kann. Dieser Prozess läuft ab, bis die Wassergehalte für helles Malz einen Wert von 42 – 44 % und für dunkles Malz von 44 – 46 % aufweisen. Dem verwendeten Wasser wird häufig Calciumoxid oder Natriumhydroxid zur Abtötung von Keimen zugesetzt. Die Gerste beginnt zu Keimen. Dabei wird dauerhaft feuchte Luft zugefügt, damit Kohlenstoffdioxid und Wärme entweichen können. Das gebildete Grünmalz weist nach dem Keimen einen Wassergehalt von 43 – 47 % auf und wird im Trocknungsprozess in Darrmalz umgewandelt. Helles Darrmalz weist noch einen Wassergehalt von 4,5 % auf und dunkles Darrmalz noch 2,5 %. Dabei muss der Trocknungsprozess bei hellem Darrmalz schnell erfolgen, damit die Maillard-Reaktion nicht so stark abläuft. Anders hingegen bei dunklem Darrmalz. Hier wird eine langsame Trocknung angestrebt, damit die Maillard-Reaktion bevorzugt ablaufen kann, sodass bei dunklem Darrmalz die Farb- und Aromakomponenten ausgeprägt vorliegen [Belitz et al., 2008, S. 926 f.].

Das gedarrte Gerstenmalz wird nun für die zweite Phase der Bierherstellung, die Würzebereitung, eingesetzt. Im ersten Schritt wird das Gerstenmalz geschrotet. Dies kann entweder trocken über Walzstühle mit zwischengeschalteten Sieben oder nass erfolgen, wobei der Wassergehalt wieder auf 25 – 30 % angehoben wird. Geschrotet wird auch nass über Walzstühle. Das geschrotete Malz wird nun im nächsten Schritt mit dem Brauwasser eingemaischt. Dadurch werden die im Malz enthaltenen Enzyme teilweise abgebaut. Insgesamt wird für hellere Biere mehr Brauwasser benötigt als für dunklere Biere. Da die Zusammensetzung der Würze für den jeweiligen Biertyp und dessen Qualität verantwortlich ist, ist es wichtig, dass beim Maischen sowohl der pH-Wert als auch die Temperatur kontrolliert und gegebenenfalls angepasst wird, denn die Enzyme wirken nur in bestimmten pH-Wert- und Temperaturbereichen optimal. So wirken beispielsweise α-Amylasen im Malz bei einer Temperatur von 70 – 75 °C und einem pH-Wert von 5,6 – 5,8 optimal. β-Amylasen wirken hingegen bei niedrigerer Temperatur (60 – 65 °C) und auch niedrigerem pH-Wert (5,4 – 5,6) optimal. Nach der Maische folgt der Prozess des Läuterns, das bedeutet, dass die Würze vom Treber abgetrennt wird. Dies geschieht in Läuterbottichen nach dem Prinzip der Filtration. Die so gewonnene

Läuterwürze wird zusammen mit dem zugefügten Hopfen gekocht. Je nachdem, welches Bier gebraut werden soll, wird eine entsprechende Menge an Hopfen zugesetzt, da die Menge des Hopfens über die Bitterkeit des Bieres entscheidet. Beim Kochprozess gehen die Hopfenbestandteile in Lösung, die Enzyme werden inaktiviert und die Würze entsprechend eingedampft. Es bildet sich der Trub, ein Komplex aus Proteinen und Polyphenolen, welcher mittels Zentrifugen abgetrennt wird. Es folgt die Abkühlung der Würzebereitung auf 6 – 8 °C und eine anschließende Filtration zur Abtrennung des Kühltrubs [Belitz et al., 2008, S. 928 f.].

Es folgt der Gärprozess, wo die abgekühlte Würzebereitung in Gärtanks mit Hefe versetzt wird. Je nachdem, ob ein obergäriges oder untergäriges Bier hergestellt werden soll, verläuft der Gärprozess unterschiedlich. Wird ein untergäriges Bier, wie beispielsweise Pilsener, gebraut, erfolgt der Gärprozess mit der Hefe *Saccharomyces carlbergensis* in zwei Schritten: Haupt- und Nachgärung. Während der 7 – 8-tägigen Hauptgärung wird der vergärbare Malzextrakt bei einer Temperatur von 8 – 14 °C vergören. Die ein- bis zweimonatige Nachgärung oder auch Reife des jungen Bieres erfolgt bei niedriger Temperatur von 0 – 1 °C. Während der Nachgärung setzt sich die Hefe zusammen mit dem ausgefällten Protein-Polyphenol-Komplexen ab, wodurch das Bier geklärt wird. Wird hingegen ein obergäriges Bier, wie beispielsweise Weizenbier, gebraut, wird als Hefeart *Saccharomyces cerevisiae* eingesetzt. Der Gärprozess erfolgt innerhalb von drei Tagen in einem Schritt bei einer Temperatur von 18 – 24 °C [Belitz et al., 2008, S. 929 f.]. Während der alkoholischen Gärung werden die im Malzextrakt enthaltenen Kohlenhydrate, vor allem Glucose, mithilfe der eingesetzten Hefen unter anaeroben Bedingungen abgebaut. Der Ablauf der alkoholischen Gärung wird in Abbildung 5-33 dargestellt.

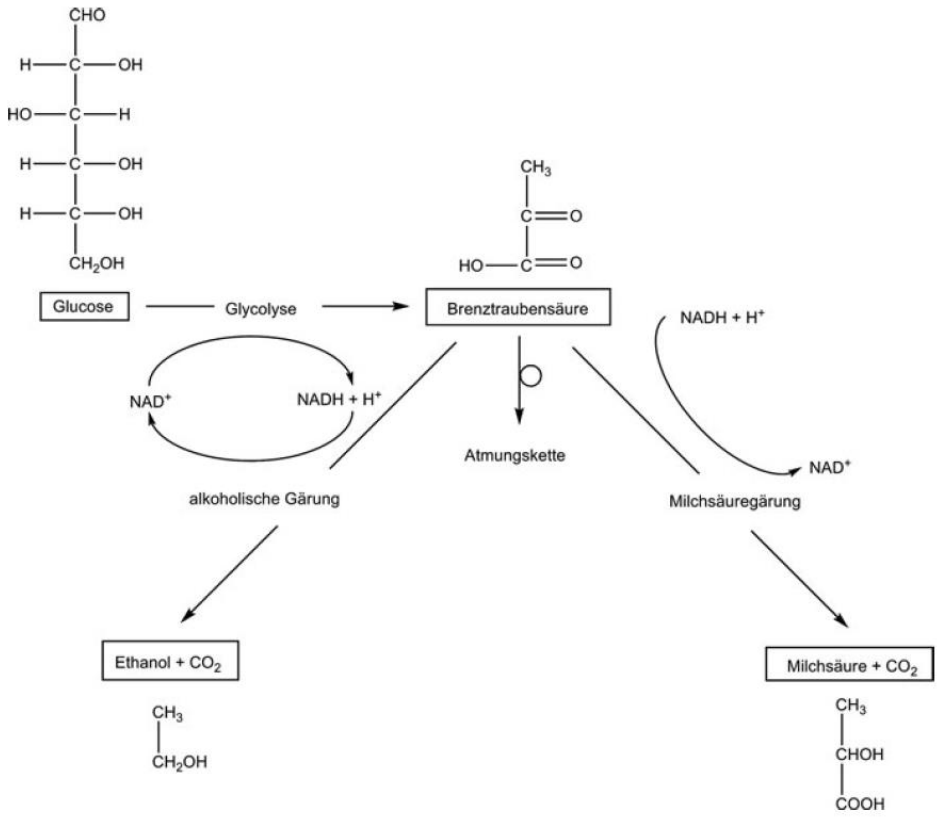


Abbildung 5-33 Ablauf der alkoholischen Gärung während der Bierherstellung [Baltes & Matissek, 2011, S. 471]

Dabei wird die Glucose im ersten Schritt im Rahmen der Glykolyse zu Brenztraubensäure abgebaut. Es folgt der schrittweise Abbau der Brenztraubensäure zu Ethanol. Pyruvat, das Anion der Brenztraubensäure, wird zunächst durch das Enzym Pyruvatdecarboxylase decarboxyliert, wobei Acetaldehyd und Kohlenstoffdioxid gebildet werden. Acetaldehyd wird schließlich durch das Enzym Alkoholdehydrogenase zu Ethanol umgesetzt [Baltes & Matissek, 2011, S. 471]. So kann aus einer Würze mit 12 % Malzextraktstoffen etwa 4 % Ethanol gebildet werden [Belitz et al., 2008, S. 930].

Nach Abschluss des Gärprozesses folgt im letzten Schritt das Klären und Abfüllen der Biere. Zum Klären der Biere wird die Hefe mithilfe von Filtern mit Kieselgur abgetrennt. Die Abfüllung erfolgt entweder in Fässern, Flaschen oder Dosen. Die Füllmaschinen arbeiten isobarometrisch, sodass das Bier ohne Verlust an Kohlenstoffdioxid abgefüllt werden kann [Belitz et al., 2008, S. 930].

Bei der Zusammensetzung eines Bieres stellt der Ethanolgehalt einen wichtigen Bestandteil dar, denn der Ethanolgehalt ist für das Aroma des Bieres von zentraler Bedeutung [Belitz et al., 2008, S. 930]. So werden die Biere nach dem Ethanolgehalt unterschiedlich bezeichnet. Dies wird in Tabelle 5-14 dargestellt.

Tabelle 5-14 Bezeichnung der Biere nach dem Gehalt an Ethanol in Gewichtsprozent [Belitz et al., 2008, S. 930, Schwedt, 2005, S. 219]

Bierbezeichnung	Ethanolgehalt [Gew.-%]
niedrig vergorene, extraktreiche Biere	1,0 – 1,5
Dünnbier	1,5 – 2,0
Vollbier	3,5 – 4,5
Starkbier	4,5 – 6,5

Neben dem Ethanolgehalt ist die Stammwürze ein interessanter Parameter bei der Betrachtung von Bieren. Die Stammwürze beschreibt den Anteil an löslichen Stoffen, die sich aus dem Gerstenmalz und den Hopfen vor der Gärung im Brauwasser gelöst haben [Belitz et al., 2008, S. 930]. Anhand des Gehaltes an Stammwürze können die Biere gemäß § 3 Bierverordnung in unterschiedliche Biergattungen eingeteilt werden (Tabelle 5-15).

Tabelle 5-15 Einteilung der Biergattungen anhand des Gehaltes an Stammwürze in g/100 g [Meyer, 2017c, S. 2]

Biergattung	Stammwürzegehalt [g/100 g]
Bier mit niedrigem Stammwürzegehalt	< 7
Schankbier	> 7 und < 11
Vollbier	> 11 und < 16
Starkbier	> 16

Weitere Bestandteile eines Bieres sind unter anderem Säuren, wie beispielsweise die Kohlensäure, die für den Genuss und die Haltbarkeit der Biere verantwortlich ist. Insgesamt enthalten obergärige Biere mehr Kohlensäure als untergärige Biere. So weist beispielsweise ein Pilsener einen Kohlensäuregehalt von 0,36 – 0,44 % auf, wohingegen bei obergärigen Bieren der Kohlensäuregehalt bei 0,6 – 0,7 % liegt. Demnach liegt auch der pH-Wert bei obergärigen Bieren niedriger als bei untergärigen Bieren. Stickstoffverbindungen sind zu einem geringen Anteil von 0,15 – 0,75 % enthalten. Dies sind überwiegend Proteinabbauprodukte aus der Hefe und den anderen Rohstoffen, die zur Klärung des Bieres und zum Biergeschmack beitragen. Daneben liegen Dextrine, Pentosane sowie verschiedene Mono- und Oligo- und Polysaccharide in der Kohlenhydratfraktion vor, die einen Anteil von 3,0 – 5,0 % einnehmen. Die Proteine und Polysaccharide sind neben den Bitterstoffen zudem an der Schaumbildung beteiligt. Dabei sticht das β-Glucan heraus, denn diese Substanz erhöht die Viskosität des Bieres, woraus eine Schaumstabilisierung resultiert. Für das typische Bieraroma sind zudem verschiedene Geruchs- und Geschmacksstoffe verantwortlich, wobei die Mischung aus den einzelnen Verbindungen das typische Aroma ergibt. Je höher der Anteil an Furaneol in einem Bier ist, desto dunkler ist das Bier und es weist eine charakteristische Karamellnote auf, was durch die stärker ablaufende

Maillard-Reaktion erklärt werden kann. Sind hingegen hohe Konzentrationen an Isohumulonen und Humulenen, also Hopfenbitterstoffe, enthalten, so zeigt das Bier eine bittere Note. Im Bier sind zudem auch Vitamine, vor allem die B-Vitamine, und Mineralstoffe mit einem Anteil von 0,3 – 0,4 % enthalten. An Mineralstoffen sind vor allem Kalium und Phosphat vertreten, aber auch Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat [Belitz et al., 2008, S. 931].

In der praktischen Laborarbeit werden zur Farbstoffbestimmung Biermischgetränke, Berliner Kindl Weisse Himbeere und Waldmeister, verwendet, wodurch diese sehr beliebte Untergruppe des Bieres betrachtet wird. Biermischgetränke bestehen zu mindestens 50 % aus Bier, welches mit einem alkoholfreien Erfrischungsgetränk, beispielsweise einer Orangen- oder Zitronenlimonade, versetzt wird. Dabei beträgt der Alkoholgehalt in der Regel 2,5 – 3,0 vol.-%, wobei es hier keine rechtliche Vorgabe gibt. Zusätzlich können Zucker oder Süßungsmittel und auch Farbstoffe zugesetzt werden [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (b)]. Bei den Sorten von Berliner Kindl Weisse wird obergäriges Schankbier verwendet, welches mit entsprechendem Sirup (Himbeere oder Waldmeister) versetzt wird und einen Alkoholgehalt von 3,0 vol.-% aufweist. Im Sirup werden Farbstoffe eingesetzt, die mithilfe der Dünnschichtchromatographie und anschließender Photometrie qualitativ bestimmt werden können. Gemäß Art. 28 Abs. 2 in Verbindung mit Anhang XII Lebensmittelinformationsverordnung (LMIV) muss bei Getränken, die einen Alkoholgehalt von mehr als 1,2 vol.-% aufweisen, der Alkoholgehalt in Ziffern mit einer Dezimalstelle und dem Symbol „% vol.“ angegeben werden. Der Angabe darf das Wort „Alkohol“ oder die Abkürzung „Alk.“ oder „alc.“ vorangestellt sein [Meyer, 2015a, S. 60].

Bei alkoholischen Getränken ist ein verantwortungsvoller Umgang, vor allem bei Jugendlichen, schwangeren und stillenden Frauen sowie Autofahrer:innen, erforderlich, was den Studierenden und damit den Schüler:innen vermittelt werden soll. Bier und Biermischgetränke zeigen zudem ein allergenes Potential durch die Verwendung von glutenhaltigem Getreide, wie beispielsweise Gerste oder Weizen. Aufgrund des allergenen Potentials muss die Verwendung der Malzart zur Herstellung der Biere und Biermischgetränke im Zutatenverzeichnis angegeben und entsprechend hervorgehoben werden, damit Personen, die auf glutenhaltiges Getreide reagieren, dies erkennen können. Das Hervorheben kann beispielsweise durch eine veränderte Schriftart, fettgedruckter Schrift oder mithilfe einer Hintergrundfarbe erfolgen. Neben dem glutenhaltigen Getreide enthalten Bier und Biermischgetränke auch Purine. Vor allem Menschen, die an Gicht leiden, sollten auf eine purinarme Ernährung achten, sodass dies auch wissenswert ist [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (b)].

Neben den Lebensmittelfarbstoffen in Biermischgetränken mittels DC (Kapitel 5.2.6.2), wird in der praktischen Laborarbeit der Ethanolgehalt in Spirituosen einerseits mittels Enzymatik mit Photometrie und anderseits mittels GC qualitativ und quantitativ bestimmt.

Daher soll an dieser Stelle auf die Spirituosen eingegangen werden. Spirituosen sind alkoholische Getränke mit einem Alkoholgehalt von mindestens 15 % vol., die für den menschlichen Verzehr bestimmt sind und besondere sensorische Eigenschaften aufweisen. Eine Ausnahme stellt der Eierlikör dar, der ebenfalls zu den Spirituosen zählt, jedoch nur einen Alkoholgehalt von 14 % vol. aufweist [Meyer, 2021g, S. 11]. Spirituosen werden durch Destillation vergorener zuckerhaltiger Flüssigkeiten gewonnen [Belitz et al., 2008, S. 959]. Gemäß Art. 7 Spirituosenbezeichnungsverordnung (VO (EU) Nr. 2019/787) werden Spirituosen durch alkoholische Gärung und Destillation ausschließlich aus dem Ausgangsstoffen gewonnen. So dürfen Spirituosen kein Alkohol, keine Aromen und keine Farbstoffe zugesetzt werden. Einzige Ausnahme ist der Zusatz von Zuckerkulör als Lebensmittelfarbstoff zur Farbanpassung der Spirituosen. Neben der Farbanpassung ist auch das Süßen zur Geschmacksabrundung der Spirituosen zugelassen. Zum Süßen darf sowohl Weißzucker, Dextrose, Fruktose als auch Honig, karamellisierter Zucker, konzentrierter Traubenmost und Johannisbrotsirup eingesetzt werden. Unter den Oberbegriff der Spirituosen fallen sehr viele Produkte, die die gerade dargestellten allgemeinen Anforderungen erfüllen [Meyer, 2021g, S. 17 f.]. Daher werden die Spirituosen in Kategorien eingeteilt, die im Anhang I der Spirituosenbezeichnungsverordnung zu finden sind. Nur wenn alle zusätzlichen Anforderungen der Kategorie erfüllt werden, darf für die Spirituose der entsprechende Name gewählt werden. Werden nicht alle Anforderungen der Kategorie erfüllt, wird es entsprechend nur als Spirituose bezeichnet. Insgesamt gibt es in dieser Verordnung 39 Spirituosenkategorien, beispielsweise Rum, Whisky, Getreidespirituosen, Wodka, Gin, Likör, Brand aus Obsttrester und Sambuca. In der praktischen Laborarbeit wird der Ethanolgehalt in Rum, Korn (Getreidespirituose), Grappa (Brand aus Obsttrester), Wodka und Gin quantitativ bestimmt. Bei allen im Labor eingesetzten Gruppen, mit der Ausnahme von Gin, müssen besondere sensorische Eigenschaften erkennbar sein, es dürfen weder Alkohole noch Aromastoffe zugesetzt werden und zur Farbanpassung darf ausschließlich Zuckerkulör als Lebensmittelfarbstoff eingesetzt werden [Meyer, 2021g, S. 44 ff.]. Unterschiede finden sich im Bereich der Kategorien in der Herstellung sowie den Mindestalkoholgehalten, welche Tabelle 5-16 entnommen werden können.

Tabelle 5-16 Herstellungsverfahren und Mindestalkoholgehalte der verschiedenen Spirituosenkategorien [Meyer, 2021g, S. 44 (Rum), S. 45 f. (Getreidespirituose), S. 48 (Brand aus Obsttrester), S. 53 (Wodka)]

Spirituosenkategorie	Herstellungsprozess	Mindestalkoholgehalt [% vol.]
Rum	aus Rohrzucker stammender Melasse oder Sirup vom Saft des Rohrzuckers (alkoholische Gärung & Destillation)	37,5
Getreidespirituose	aus vergorener Maische des vollen Korns von Getreide (Destillation)	35,0 (Ausnahme Korn: 32,0)
Brand aus Obsttrester	aus Obsttrester (alkoholische Gärung & Destillation)	37,5
Wodka	aus Kartoffeln und/oder Getreide und/oder anderen landwirtschaftlichen Rohstoffen	37,5

Gin ist eine Spirituose mit Wacholdergeschmack, welcher hingegen durch Aromatisierung von Ethanol mit Wacholderbeeren hergestellt wird und einen Mindestalkoholgehalt von 37,5 % vol. aufweisen muss. Wie bei den anderen dargestellten Kategorien müssen auch beim Gin sensorischen Eigenschaften erkennbar sein, in dem Fall von Wacholderbeeren [Meyer, 2021g, S. 57].

Wie beim Bier und den Biermischgetränken bereits dargestellt, muss auch bei den Spirituosen der Alkoholgehalt gemäß LMIV angegeben werden. Anders ist hingegen, dass bei Getränken mit Alkoholgehalten von mehr als 1,2 % vol. kein Zutatenverzeichnis angegeben werden muss. Das Bier und die Biermischgetränke stellen dort eine Ausnahme dar [Meyer, 2015a, S. 60].

Da das Ziel der Versuche ist, den Ethanolgehalt in alkoholischen Getränken und Spirituosen qualitativ und quantitativ zu bestimmen, wird im Seminar auf die Substanz Ethanol eingegangen. Ethanol kommt natürlicherweise zu 0,002 – 0,003 % im menschlichen Blut vor und ist Stoffwechselprodukt von Hefen, was in der Lebensmittelindustrie zur Herstellung von Brotteigen und alkoholischen Getränken eingesetzt wird [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 322]. Beim Trinken von alkoholischen Getränken gelangt das Ethanol ins Blut. Dabei gibt es verschiedene Resorptionswege: über die Mundschleimhaut und Schleimhaut der Speiseröhre, über die Magenschleimhaut und über den oberen Dünndarm. Die Resorptionszeit beträgt etwa eine Stunde, wobei die Aufnahmegeschwindigkeit durch den Konsum warmer, kohlensäure- und zuckerhaltiger Getränke, den Hungerzustand und individuelle Faktoren, wie beispielsweise Krankheiten, erhöht werden kann [Schaller et al., 2017, S. 18]. Das Ethanol verteilt sich dabei in den wasserhaltigen Körperteilen, wobei die Menge des Körperwassers die Blutalkoholkonzentration beeinflusst [Biesalski & Grimm, 2011, S. 266]. So besitzen Frauen in der Regel weniger Körperwasser als Männer, weshalb die Blutkonzentration bei Frauen schneller ansteigt

als bei Männern [Frede, 2010, S. 1118]. Der Abbau des Ethanolgehaltes erfolgt zu maximal 10 % über die Lunge, die Nieren oder durch Ausschwitzen. Die Hauptmenge (mehr als 90 %) wird jedoch über die Leber verstoffwechselt, wobei pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde etwa 0,15 Promille abgebaut werden [Biesalski & Grimm, 2011, S. 266; Schaller et al., 2017, S. 18 f.]. Bei mäßigem Alkoholkonsum erfolgt der Abbau des Ethanols über das Enzym der Alkoholdehydrogenase (ADH). Dabei wird im Cytosol Ethanol zum toxischen Acetaldehyd oxidiert. Acetaldehyd wird wiederum im Mitochondrium durch das Enzym Aldehyddehydrogenase (Al-DH) zu Acetat oxidiert. Der limitierende Faktor stellt dabei der Cofaktor Nicotinamid-adenin-dinucleotid (NAD^+) dar. Beim Konsum höherer Mengen an alkoholischen Getränken, sodass die Ethanolkonzentration über 0,5 % liegt, erfolgt der Abbau von Ethanol über das mikrosomale ethanoloxidierende System (MEOS). Hier erfolgt der Abbau des Ethanols im endoplasmatischen Retikulum über das Cytochrom P_{450}-Enzym [Biesalski & Grimm, 2011, S. 266 f.].

In geringem Maße wirkt das Ethanol der alkoholischen Getränke und Spirituosen anregend und in großen Mengen berauschend. Die Wirkung ist dabei abhängig vom Alter und Geschlecht, der Konsummenge, der Ethanolkonzentration im jeweiligen Getränk sowie dem Klima, der Jahreszeit und dispositionellen Faktoren, wie beispielsweise der Füllstand des Magens und dem Hunger- beziehungsweise Müdigkeitszustand [Schaller et al., 2017, S. 20]. So wird beim chronischen Alkoholmissbrauch vor allem der Fettsäureabbau gehemmt, sodass daraus eine Alkohol-Fettleber, die Zerstörung von Leberzellen bis hin zu einer Leberzirrhose resultieren kann. Die Fetteinlagerungen in der Leber sind jedoch durch Abstinenz reversibel. Magenschleimhautentzündungen sowie Erkrankungen des Herzmuskels können weitere Schäden darstellen, ebenso wie Schäden des Nervensystems in Form von Augenmuskellähmungen, Nervenentzündungen oder Hirnschäden. Zudem begünstigt der chronische Alkoholmissbrauch die Entstehung verschiedener Karzinome [Biesalski & Grimm, 2011, S. 268; Schaller et al., 2017, S. 22 f.].

5.4.2.1 Mögliche Anknüpfungspunkte der alkoholischen Getränke im niedersächsischen Kerncurriculum

Wie auch die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks werden die alkoholischen Getränke nicht explizit in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II genannt. Dennoch können mögliche Anknüpfungspunkte gefunden werden. Die Anknüpfungspunkte an das niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I wird in Tabelle 5-17 dargestellt.

Tabelle 5-17 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereiche alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	**Doppel-jahrgang**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …beschreiben die Trennverfahren Filtration, Sedimentation, Destillation und Chromatografie mithilfe ihrer Kenntnisse über Stoffeigenschaften“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]
Stoff-Teilchen	9/10	**Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen & Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Schüler:innen kennen aus ihrem Alltag alkoholische Getränke, hoffentlich nicht durch den eigenen Konsum, aber möglicherweise durch den Konsum der Eltern, durch die Werbung im Fernsehen und weil sie alkoholische Getränke beim Einkaufen schon wahrgenommen haben. Aufgrund des Alltagsbezuges können die alkoholischen Getränke bereits im Doppeljahrgang 5/6 in Experimenten eingesetzt werden. Gefordert wird, dass die Schüler:innen Trennverfahren durch Stoffeigenschaften beschreiben können. Gerade im Anfangsunterricht eignen sich besonders die Farbstoffe zur Auftrennung, sodass das Experiment *Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC),* (V 18) eingesetzt werden kann. Im Doppeljahrgang 9/10 haben bereits einige Schüler:innen selbst alkoholische Getränke konsumiert, sodass das Interesse bei den Schüler:innen geweckt werden kann. Anhand alkoholischer Getränke kann die Angabe des Ethanols als Inhaltsstoff überprüft und bewertet werden. Dazu können verschiedene analytische Methoden herangezogen, sodass die Schüler:innen im Bereich der Berufsorientierung etwas über die Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen erfahren und damit eine Überleitung zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen erfolgt.

Daneben können alkoholische Getränke im Themenfeld *Ernährung und Gesundheit* thematisiert werden, wobei mit den Schüler:innen diskutiert werden kann, welche gesundheitlichen Folgen aus dem Konsum alkoholischer Getränke resultieren können.

Die Thematisierung der alkoholischen Getränke sollte aber vor allem in der Sekundarstufe II erfolgen, denn zu dem Zeitpunkt haben mehr als die Hälfte aller Schüler:innen bereits mindestens einmal selbst Alkohol konsumiert [Mensink et al., 2020, S. 41]. Die möglichen Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II ist zusammenfassend in Tabelle 5-18 dargestellt.

Tabelle 5-18 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangsstufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …unterscheiden die Stoffklassen der Alkane, Alkene, Alkanole, Alkanale, Alkanone und Alkansäuren anhand ihrer funktionellen Gruppen“ [Achtermann et al., 2017, S. 15] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben das Prinzip der Gaschromatographie“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …erklären das Funktionsprinzip der Gaschromatographie anhand von zwischenmolekularen Wechselwirkungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
Chemische Reaktionen	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …benennen de funktionellen Gruppen: Hydroxy-, Carbonyl-(Aldehyd-, Keto-), Carboxy-Gruppe“ [Achtermann et al., 2017, S. 19] **Bewertung/Reflexion** • …reflektieren, dass Methanol und Ethanol als Zellgifte wirken“ [Achtermann et al., 2017, S. 19] • …wenden ihre Kenntnisse über die Oxidation von Ethanol auf physiologische Prozesse an: Alkoholabbau im Körper, Herstellung von Essigsäure“ [Achtermann et al., 2017, S. 19]

Basiskonzept	**Jahr-gangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Molekülstruktur folgender Stoffklassen: Alkane, Alkene, Halogenkohlenwasserstoffe, Alkanole […]“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] • …beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
Kinetik und chemisches Gleichgewicht	QP	**Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …planen geeignete Experimente zum Einfluss von Faktoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit und führen diese durch“ [Achtermann et al., 2017, S. 30]
Struktur-Eigenschaft	QP	**Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Reaktionsprodukten“ [Achtermann et al., 2017, S. 26]

Mit Tabelle 5-18 kann gezeigt werden, dass das Thema der alkoholischen Getränke einen guten Bezug zum Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II liefert. Demnach sollen die Schüler:innen in der Einführungsphase Stoffklassen unterscheiden, bei denen auch die Alkohole (Alkanole) genannt werden. Somit kann ein Bezug zu den alkoholischen Getränken hergestellt werden, wo eine Betrachtung der Herstellungsprozesse von Bier, Wein oder Schaumwein erfolgen kann, aber auch die Thematisierung der gesundheitlichen Folgen durch den Konsum von alkoholischen Getränken. Der gesundheitliche Aspekt soll auch bewertet werden, indem den Schüler:innen aufgezeigt wird, welche gesellschaftliche Relevanz alkoholische Getränke haben. Gerade in Gesellschaft werden häufiger alkoholische Getränke konsumiert, sodass auch der Konsum alkoholischer Getränke anhand von verschiedenen Statistiken besprochen werden kann. Um die Gehalte an Ethanol in alkoholischen Getränken und Spirituosen qualitativ und quantitativ zu bestimmen, kann die Gaschromatographie herangezogen werden. Hier kann V 21 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels Gaschromatographie* eingesetzt werden, wodurch die Schüler:innen den Gaschromatographen zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen nutzen können und ihnen das Prinzip sowie das Funktionsprinzip der Gaschromatographie nähergebracht werden kann. Damit wird das Wissen der Schüler:innen in Bezug auf analytische Verfahren erweitert, sodass ein Bezug zur Berufsorientierung und den

Tätigkeitsfeldern von Chemiker:innen erfolgt, der auf die Tätigkeitsfelder von Lebensmittelchemiker:innen übertragen werden kann.

Aufbauend auf die Einführungsphase sollen die Schüler:innen in der Qualifikationsphase verstehen, dass Methanol und Ethanol als Zellgifte wirken. Es bietet sich demnach eine Betrachtung der gesundheitlichen Aspekte des Alkoholkonsums an, bei dem auch physiologische Prozesse, wie der Abbau von Ethanol im menschlichen Körper, betrachtet werden können. Alkoholische Getränke enthalten jedoch nicht ausschließlich Ethanol, sodass auch andere Inhaltsstoffe, wie beispielsweise Zucker betrachtet werden können. So kann anhand der Inhaltsstoffe der alkoholischen Getränke die Molekülstrukturen der Alkohole und der Makronährstoffe thematisiert werden. Durch die Bertachtung von alltäglichen Lebens- und Genussmitteln können die Schüler:innen erkennen, dass organische Substanzen in ihrem Leben von Bedeutung sind. Zudem wird die Gaschromatographie als Gerät der instrumentellen Analytik wieder aufgegriffen, denn die Schüler:innen sollen mithilfe von Gaschromatogrammen Reaktionsprodukte bestimmen, sodass auch hier V 21 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels Gaschromatographie* eingesetzt werden kann. Neben der Gaschromatographie sollen die Schüler:innen eigene Experimente zur Reaktionsgeschwindigkeit planen und durchführen, sodass auch hier ein Bezug zu den alkoholischen Getränken gezogen werden kann. So könnten die Schüler:innen ein Experiment mit Kohlensäure, beispielsweise im Bier, bei unterschiedlichen Temperaturen durchführen.

Zudem gibt es im Kerncurriculum der Sekundarstufe II Themenfelder, die im Chemieunterricht umgesetzt werden können. Dazu gehören die Themen *Chemie im Alltag*, *Chemie und Ernährung* sowie *Chemie und Sport*. Alkoholische Getränke zeichnen sich bei vielen Schüler:innen durch einen hohen Alltagsbezug aus, wohingegen im Bereich der Ernährung moderne alkoholische Getränke, beispielsweise verschiedene Shots, betrachtet werden könnten. Neben dem Ethanol können verschiedene Zusatzstoffe, beispielsweise Farbstoffe und Zucker, thematisiert werden. Im sportlichen Bereich kann der Frage nachgegangen werden, wie sich der Konsum von alkoholischen Getränken auf die sportliche Aktivität auswirken kann.

An das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I kann im Bereich der alkoholischen Getränke nur ein Fachinhalt gefunden werden, der sich für einen fachübergreifenden Unterricht im Doppeljahrgang 5/6 eignet: „Trennverfahren, auch Chromatographie“ [Jaeger et al., 2015, S. 109]. Wie bereits bei den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks kann auch im Bereich der alkoholischen Getränken im Doppeljahrgang 5/6 eine chromatographische Trennung anhand von Farbstoffen erfolgen. Hierzu kann V 18 *Bestimmung der*

Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC) eingesetzt werden. Da die Schüler:innen sich in dem Alter jedoch eher mit alkoholfreien Erfrischungsgetränken als mit alkoholischen Getränken identifizieren können, sollte eher auf alkoholfreie Erfrischungsgetränke zurückgegriffen werden.

Im Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II gibt es für die alkoholischen Getränke in der Qualifikationsphase mögliche Anknüpfungspunkte, die in Tabelle 5-19 zusammenfassend dargestellt werden.

Tabelle 5-19 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkoholische Getränke an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Erkenntnisgewinnung	QP	• …führen eine Dünnschichtchromatographie durch und werten das Chromatogramm aus“ [Emmler et al., 2017, S. 26]
Struktur und Funktion	QP	• …erläutern Struktur-Funktionsbeziehungen auf der Ebene von Molekülen modellhaft (Enzyme, Rezeptormoleküle […])“ [Emmler et al., 2017, S. 30]

Demnach sollen die Schüler:innen in der Qualifikationsphase eine Dünnschichtchromatographie durchführen und auswerten. Hier könnten im Vergleich zum Doppeljahrgang 5/6 nun die Farbstoffe in alkoholischen Getränken dünnschichtchromatographisch aufgetrennt werden (V 18). Ein weiteres analytisches Verfahren kann den Schüler:innen mit der enzymatischen Bestimmung von Ethanol in alkoholischen Getränken (V 12) vermittelt werden, wenn die Struktur-Funktionsbeziehungen auf molekularer Ebene anhand von Enzymen erfolgt.

5.4.3 Alkaloidhaltige Lebensmittel

Die alkaloidhaltigen Lebens- und Genussmittel stellen eine Gruppe verschiedener Lebens- und Genussmittel dar (Abbildung 5-34). In diesem Kapitel werden Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade als alkaloidhaltige Lebensmittel betrachtet. Die koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke, wie Mate und Coca-Cola, zählen ebenfalls zu den alkaloidhaltigen Lebensmitteln. Dies kann Kapitel 5.4.1 entnommen werden. Tabak als alkaloidhaltiges Genussmittel wird in Kapitel 5.4.7 betrachtet.

Abbildung 5-34 Darstellung von alkaloidhaltigen Lebens- und Genussmitteln [eigene Darstellung]

In der praktischen Laborarbeit wurde der Alkaloidgehalt in Form von Koffein, Theophyllin und Theobromin in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels HPLC bestimmt. Daher soll in diesem Kapitel auf die Lebensmittel Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade sowie die Alkaloide Koffein, Theophyllin und Theobromin eingegangen werden. Neben dem Alkaloidgehalt ist in Kaffee zudem der Gehalt an Chlorogensäure mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie bestimmt worden, sodass auch die Chlorogensäure als Inhaltsstoff des Kaffees betrachtet wird. Weiterhin wird das Kaffeearoma mittels GC-O qualitativ beschrieben. Die PowerPoint-Präsentation zum Thema der alkaloidhaltigen Lebensmittel ist im digitalen Anhang (D.1.1) zu finden.

5.4.3.1 Kaffee

Kaffee ist in Deutschland ein sehr beliebtes Genussmittel, welches 2020 in Deutschland einen Pro-Kopf-Verbrauch von 168 Liter verzeichnete [Deutscher Kaffeeverband, 2021]. Kaffee, der in Afrika beheimatet und seit Mitte des 17. Jahrhunderts in Europa verbreitet ist, wächst am Kaffeebaum. Der Kaffeebaum gehört zur Familie der *Rubiaceae* und kann je nach Art eine Höhe von 3 – 12 m erreichen. Diese werden jedoch auf eine Höhe von 2,0 – 2,5 m gestutzt, um die Ernte zu erleichtern. Der Kaffeebaum besitzt zwei unterschiedlich Blüten: lederartige, immergrüne, duftende Blüten und weiße Blüten, deren Geruch an Jasmin erinnert. Aus den beiden unterschiedlichen Blüten werden die kirschenähnlichen Steinfrüchte mit einem Durchmesser von ca. 1,5 cm gewonnen. Eine solche Frucht (Abbildung 5-35) besteht aus der ledrigen

Oberhaut (Fruchthülle), die anfangs grün gefärbt ist und sich im Prozess der Reife rot bis violett färbt. Es folgt unter der Fruchthülle das süße Fruchtfleisch, die Pergamenthülle und die zwei Kaffeebohnen, welche vom Silberhäutchen umschlossen sind. Seltener finden sich aber auch Früchte, die nur einen einzelnen Samen enthalten. Die Bohnen sind dann eher rund und walzenartig geformt. Im Handel wird es daher als Perlkaffee bezeichnet und macht etwa einen Anteil von 10 – 15 % aus [Belitz et al., 2008, S. 969].

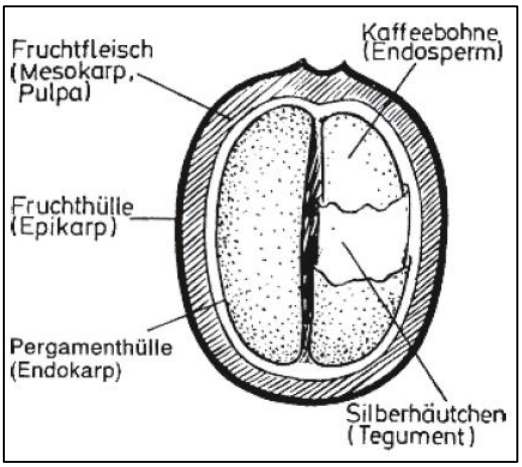


Abbildung 5-35 Darstellung einer Kaffeefrucht [Belitz et al., 2008, S. 969]

Für das Gedeihen des Kaffeebaumes sind mittlere tropische Klimaverhältnisse, 15 – 25 °C, nicht zu feucht und schattig, am geeignetsten. Daher sind Kaffeesorten, die in höheren Lagen gewachsen sind, wertvoller als die in niederen Lagen. Nach 3 – 4 Jahren beginnt der Strauch des Baumes an zu blühen, liefert nach dem 6. Jahr die erste Vollernte und erreicht seine optimale Ernte nach 10 – 15 Jahren. Dabei beträgt die Reifezeit der Blüten 8 – 12 Monate [Belitz et al., 2008, S. 969].

Insgesamt gibt es etwa 70 *Coffea* Arten, wovon jedoch nur zwei von wirtschaftlicher Bedeutung sind: *Coffea arabica* und *Coffea canephora*. Dabei liefert *Coffea arabica* 60 % der Welterzeugung und *Coffea canephora* 40 %. Eine weitere Art ist *Coffea liberica*, deren Anteil in der Welterzeugung unter 1 % liegt [Belitz et al., 2008, S. 970].

Beim Kaffee kann zwischen Roh- und Röstkaffee unterschieden werden. Geerntet wird der Rohkaffee auf der nördlichen Halbkugel von Dezember bis Februar und auf der südlichen Halbkugel von Mai bis August. Die Aufarbeitung, der mit der Hand gepflückten oder abgestreiften, und am Boden eingesammelten Früchte erfordert vor allem die Entfernung des süßen Fruchtfleisches [Belitz et al., 2008, S. 970]. Dies kann auf zwei unterschiedliche Arten vorgenommen werden: durch die trockene oder nasse Aufarbeitung (Abbildung 5-36).

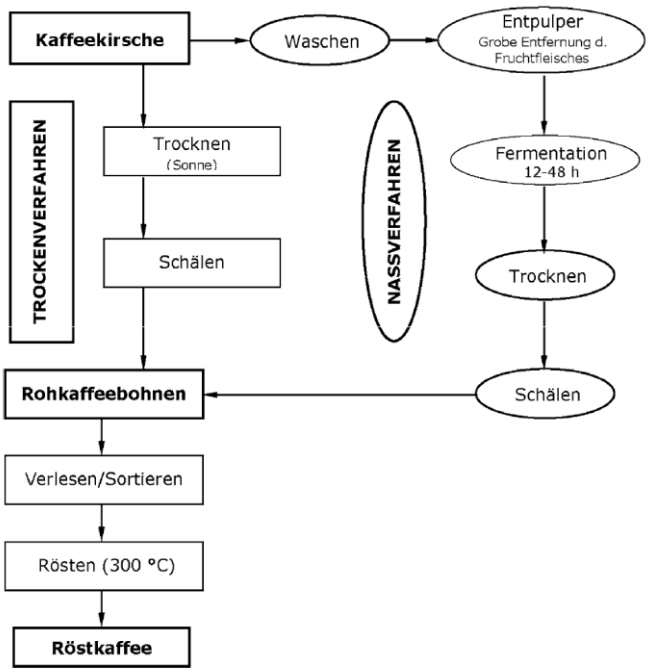


Abbildung 5-36 Darstellung der Technologie der Kaffeeverarbeitung [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 501]

Bei der trockenen Aufarbeitung, meist in Brasilien, werden die Früchte sofort nach dem Ernten auf Trockenterrassen ausgebreitet und an der Sonne getrocknet, solange bis die Bohnen in der Schale rascheln. Anschließend werden mithilfe einer Schälmaschine das getrocknete Fruchtfleisch, die Pergamenthaut sowie das Silberhäutchen entfernt. Der geschälte Kaffee wird nach der Größe sortiert und in Säcken verpackt. Durch die trockene Aufarbeitung wird ungewaschener Kaffee erhalten [Belitz et al., 2008, S. 970; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 502].

Die nasse Aufarbeitung ist zwar moderner als die trockene Aufarbeitung, dafür aber auch teurer. Es wird vor allem bei den Arabica-Kaffees durchgeführt in Mittelamerika, Kolumbien und Afrika. Hierbei wird das weiche Fruchtfleisch mithilfe von Walzen abgequetscht, ohne dass dabei die Kaffeebohne beschädigt wird. Das abgequetschte Fruchtfleisch dient dann als Düngemittel. Die behandelten Bohnen enthalten aber trotzdem noch das Silberhäutchen, die Pergamenthülle und eine enorme Menge an Fruchtfleisch. Daher werden die Bohnen in wasserdurchströmende Gärbassins für 12 – 24 Stunden fermentiert. Dabei wird das Fruchtfleisch durch Enzyme und Mikroorganismen gelockert und abgebaut, sodass es durch Waschen mit Wasser leicht entfernt werden kann. Die nassen Bohnen werden auf Sieben abgetropft, auf Zementböden an der Sonne oder mit Heißluft bei 65 – 85 °C getrocknet. Die getrockneten Bohnen sind noch von der Pergamenthülle umgeben. Diese wird ebenfalls mithilfe der Schälmaschine entfernt. Dadurch wird gewaschener Kaffee erhalten [Belitz et al., 2008, S. 970; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 501].

Üblicherweise wird Rohkaffee nach seiner Herkunft bezeichnet, das heißt nach dem Erzeugerland oder dem Verschiffungshafen, der Provinz. An Rohkaffeesorten sind etwa 80 Varietäten bekannt. Bei *Coffea arabica* sind die wichtigsten Varietäten *typica*, *bourbon* und *mocca*, die sich geschmacklich durch eine feine Säure und eine gute Fülle auszeichnen. Bei *Coffea canephora* sind die wichtigsten Varietäten *robusta* und *typica*, welche geschmacklich durch ein kräftiges, grobes und herbes Aroma punkten. Die Qualitätsbeurteilung von Rohkaffee erfolgt neben der Geruchs- und Geschmacksprüfung insbesondere nach Größe, Farbe, Form, Härte und Schnitt der Bohnen. Hauptfehler sind hier insbesondere Fehlbohnen, die sorgfältig ausgelesen werden müssen, da schon eine schlechte Bohne den ganzen Kaffee geschmacklich verderben und auch das Aussehen mindern kann [Belitz et al., 2008, S. 970 f.].

Dabei ist die Zusammensetzung von Rohkaffee abhängig von der Sorte, der Herkunft, den klimatischen Verhältnissen sowie der Methode der Gewinnung [Belitz et al., 2008, S. 971]. Eine Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Arabica- und Robusta-Kaffee in Bezug auf die Trockenmasse kann Tabelle 5-20 entnommen werden.

Tabelle 5-20 Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Arabica- und Robusta-Rohkaffee bezogen auf die Trockenmasse [Belitz et al., 2008, S. 972]

Bestandteil	Gehalt in Arabica [%]	Gehalt in Robusta [%]	Komponenten
Wasser	7,0 – 13,0		
lösliche Kohlenhydrate	9,0 – 12,5	6,0 – 11,5	
Monosaccharide	0,2 – 0,5		Fructose, Glucose, Galactose, Arabinose
Oligosaccharide	6,0 – 9,0	3,0 – 7,0	Saccharose (> 90 %)
Polysaccharide	3,0 – 4,0		Polymere aus Galactose (55 – 65 %), Mannose (10 – 20 %), Arabinose (20 – 35 %)
unlösliche Polysaccharide	46,0 – 53,0	34,0 – 44,0	
Hemicellulosen	5,0 – 10,0	3,0 – 4,0	Polymere aus Galactose (65 – 75 %), Mannose (0 – 10 %), Arabinose (25 – 30 %)
Cellulose	41,0 – 43,0	32,0 – 40,0	
Säuren & Phenole			
flüchtige Säuren	0,1		
nichtflüchtige aliphatische Säuren	2,0 – 2,9	1,3 – 2,2	Zitronen-, Äpfel- & Chinasäure
Chlorogensäure	**6,7 – 6,9**	**7,1 – 12,1**	**Mono-, Dicaffeoyl- & Feruloylchinasäure**

Bestandteil	**Gehalt in Arabica [%]**	**Gehalt in Robusta [%]**	**Komponenten**
Lignin	1,0 – 3,0		
Lipide	15,0 – 18,0	8,0 – 12,0	
Wachs	0,2 – 0,3		
Öl	7,7 – 17,7		Hauptfettsäuren: Palmitinsäure (16:0) & Linolsäure (18:2; 9,12)
Stickstoffverbindungen	11,0 – 15,0		
freie Aminosäuren	0,2 – 0,8		Hauptaminosäuren: Glutaminsäure, Asparagin & Asparaginsäure
Proteine	8,5 – 12,0		
Koffein	**0,8 – 1,4**	**1,7 – 4,0**	**Spuren von Theobromin & Theophyllin**
Trigonellin	0,6 – 1,2	0,3 – 0,9	
Mineralstoffe	3,0 – 5,4		

Aus der Tabelle kann entnommen werden, dass sowohl der Gehalt an Koffein als auch der Gehalt an Chlorogensäure in Robusta-Rohkaffees höher liegt als in den Arabica-Rohkaffees. Die Hauptkomponente der Chlorogensäure nimmt die 5-Caffeoylchinasäure ein, dessen Anteil in Arabica bei 3,0 – 5,6 % und in Robusta bei 4,4 – 6.6 % liegt. Darum wird der Geschmack bei Robusta-Kaffee häufig als bitterer und saurer beschrieben.

Aus dem Rohkaffee entsteht durch das Rösten der Kaffeebohnen bei 100 – 200 °C Röstkaffee, wobei tiefgreifende Veränderungen zustande kommen. Es kommt rein äußerlich zur Volumenzunahme um 50 – 80 %, zur Struktur- und Farbveränderung, zur Gewichtsminderung und der Ausbildung eines typischen Aromas. Dieser typische Röstgeruch und Röstgeschmack fehlen der Rohbohne. Im Röstprozess können vier verschiedene Phasen unterschieden werden: Trocknung, Entwicklung, Zersetzung und Vollröstung. Bei der Trocknung kommt es bei 50 °C zu ersten Veränderungen in den Gewebsschichten der Kaffeebohne. Das Eiweiß gerinnt und das Wasser verdampft. Während der Entwicklung oberhalb von 100 °C wird die Bohne gebräunt, wodurch das Volumen zunimmt. Bei 180 – 200 °C tritt die Zersetzung ein, die durch Sprengung der Bohnen gekennzeichnet ist. Blauer Rauch steigt auf und das typische Aroma von Kaffee kann wahrgenommen werden. Wenn die Karamellbildung stattfindet, ist das Stadium der Vollröstung erreicht, wobei der Wassergehalt auf 1,5 – 3,5 % fällt. Auch beim Röstverfahren können verschiedene Arten unterschieden werden: die reine Kontaktröstung, das Kontakt-Konvektions-Röstverfahren und das Kurzzeit-Röstverfahren (Abbildung 5-37) [Belitz et al., 2008, S. 971].

Kontaktröstung	Kontakt-Konvektions-Röstverfahren	Kurzzeit-Röstverfahren
• ungleichmäßige Wärmeübertragung • Röstzeit: 20 – 40 min	• kontinuierlicher Betrieb • Röstzeit: 6 – 15 min	• stärkere Volumen-vergrößerung • Röstzeit: 2 – 5 min

Abbildung 5-37 Unterschiedliche Röstverfahren im Vergleich [eigene Darstellung nach Belitz et al., 2008, S. 971]

Die reine Kontaktröstung ist heute nicht mehr von Bedeutung, da die Wärmeübertragung ungleichmäßig erfolgt und auch die Röstzeit mit 20 – 40 Minuten sehr lange dauert. Die Röstzeit beim Kontakt-Konvektions-Röstverfahren beträgt 6 – 15 Minuten und eine kontinuierliche Wärmeübertragung ist durch Zentrifugalröster, Drehrohrröster oder Wirbelschichtröster gewährleistet. Das am meisten verwendete Verfahren ist das Kurzzeit-Röstverfahren. Dabei wird die Aufheizphase durch bessere Wärmeübertragung stark abgekürzt, in dem eine Wasserdampfdestillation durchgeführt wird. Dadurch beträgt die Röstzeit nur 2 – 5 Minuten. Das erhaltene Röstprodukt wird danach schnell auf Kühlsieben oder durch Aufsprühen von Wasser abgekühlt, damit ein Nachrösten sowie Verbrennungen und Aromaverluste vermieden werden. Der bei der Röstung angestrebte Röstgrad kann sehr unterschiedlich sein. In den USA und Mitteleuropa wird eher hell geröstet bei 200 – 220 °C für 3 – 10 Minuten. In Italien, Frankreich und den Balkanländern wird hingegen auch stark dunkel geröstet bei 230 °C, wodurch beispielsweise Espresso hergestellt wird. Der geröstete Kaffee wird anschließend durch Handarbeit oder in großen Röstereien vollautomatisch an Verlesetischen sortiert, um Fehlbohnen zu entfernen [Belitz et al., 2008, S. 971 f.].

Während Rohkaffee 1 – 3 Jahre gelagert werden kann, bleibt Röstkaffee in handelsüblichen Verpackungen nur 8 – 10 Wochen frisch. Dabei geht das Röstaroma zurück und mit der Zeit tritt eine ranzige Aromanote auf. Gemahlener Röstkaffee ist in Verpackungen unter Sauerstoffausschluss 6 – 8 Monate haltbar. Wird er jedoch geöffnet, so ist dieser nur 1 – 2 Wochen frisch. Dieser Alterungsprozess kann aber durch tiefe Temperaturen und Ausschluss von Sauerstoff und Wasserdampf verzögert werden [Belitz et al., 2008, S. 972 f.].

Die Zusammensetzung hat sich durch den Röstprozess im Vergleich zum Rohkaffee verändert. Eine Gegenüberstellung der Zusammensetzung in Arabica- und Robusta-Röstkaffee ist in Tabelle 5-21 dargestellt.

Tabelle 5-21 Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Arabica- und Robusta-Röstkaffee bezogen auf die Trockenmasse [Belitz et al., 2008, S. 973]

Komponente	Menge [%]	
	Arabica	Robusta
Wasser	1 – 5	1 – 5
Koffein	**1,3**	**2,4**
Lipide	17,0	11,0
Protein	10,0	10,0
Kohlenhydrate	38,0	41,5
Trigonellin	1,0	0,7
Aliphatische Säuren	2,4	2,5
Chlorogensäure	**2,7**	**3,1**
Mineralstoffe	4,5	4,7
Melanoidine	23,0	23,0

Während des Röstprozessen wird der Wasseranteil des Kaffees verringert und die Aminosäurezusammensetzung verändert sich durch die Reaktion mit den enthaltenen Kohlenhydraten. Dadurch nimmt der Gehalt an Säurehydrolysaten um 30 % ab und freie Aminosäuren sind auch nur noch in Spuren enthalten [Belitz et al., 2008, S. 973]. In der löslichen Kohlenhydratfraktion wird die Saccharose abgebaut, sodass von mehr als 90 % Kohlenhydraten des Rohkaffees im Röstkaffee nur noch 0,4 – 2,8 % übrigbleiben. Monosaccharide sind ebenfalls nur noch in Spuren enthalten. Den Großteil der Kohlenhydrate machen im Röstkaffee die unlöslichen Kohlenhydrate in Form von Cellulose und Polysacchariden, die aus Mannose, Galactose und Arabinose bestehen, aus [Belitz et al., 2008, S. 973 f.]. Die Lipidfraktion wird durch den Röstprozess kaum verändert. So sind auch im Röstkaffee Linol- und Palmitinsäure die vorherrschenden Fettsäuren. In Robusta-Kaffee werden beim Röstkaffee Diterpene, wie beispielsweise 16-O-Methylcafestol gebildet, die als Nachweis für Verschnitte von Arabica-Kaffees herangezogen werden können [Belitz et al., 2008, S. 974]. Bei den Säuren herrschen im Röstkaffee als flüchtige Säuren Essigsäure und Ameisensäure vor, bei den nichtflüchtigen Säuren Milch-, Wein- und Zitronensäure. Die wichtigste Säure stellt im Röstkaffee, ebenso wie im Rohkaffee, die Chlorogensäure (Abbildung 5-38) dar, wobei der Gehalt während des Röstprozesses abnimmt [Belitz et al., 2008, S. 974].

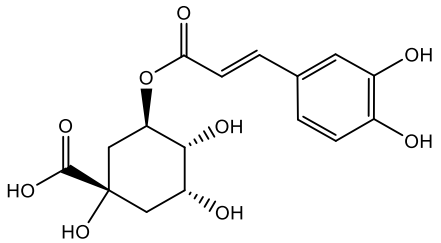


Abbildung 5-38 Darstellung der Strukturformel einer Chlorogensäure [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217]

Die Chlorogensäure weist einen antioxidativen Effekt auf und ist sowohl in Arabica- als auch in Robusta-Kaffee enthalten. Dabei liegt der Gehalt in Arabica-Kaffee häufig bei 2,7 % und in Robusta-Kaffee bei 3,1 %. Auch der Gehalt an Koffein ist in Robusta-Kaffees höher [Belitz et al., 2008, S. 973]. Daraus resultiert, dass die Robusta-Kaffees insgesamt sowohl einen saureren als auch bittereren Geschmack im Vergleich zu Arabica-Kaffees aufweisen [Chu, 2012, S. 8]. Wie viel Chlorogensäure jedoch in einem Kaffee enthalten ist, hängt neben der Bohnensorte aber auch von vielen weiteren Einflussfaktoren ab. Dazu zählt unter anderem die Aufarbeitung der Kaffeekirschen, denn die Aufarbeitung kann die Zusammensetzung der einzelnen Arten an Chlorogensäuren verändern und somit den Gesamtgehalt an Chlorogensäure beeinflussen. Weiterhin kann die Lage der Anbaugebiete den Chlorogensäuregehalt beeinflussen, wobei es saisonal zu starken Schwankungen kommen kann. Auch die Lufttemperatur bei der Fermentation und Trocknung, sowie die Röstung der Kaffeebohnen trägt zum Chlorogensäuregehalt bei [Chu, 2012, S. 38]. So weisen helle bis mittelstark geröstete Kaffeebohnen einen höheren Gehalt an Chlorogensäure auf als dunkel geröstete Kaffeebohnen (Tabelle 5-22) [Belitz et al., 2008, S. 974]. Zudem beeinflusst auch der Mahlgrad der Kaffeebohnen den Gehalt an Chlorogensäure. Je gröber die Kaffeebohnen gemahlen sind, desto mehr Chlorogensäure enthält der Kaffee [Rubach, 2019, S. 144 f.].

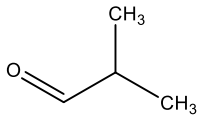
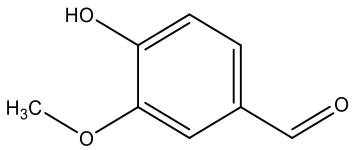
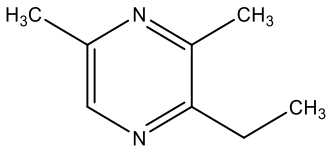
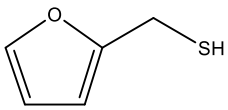
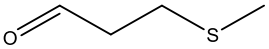
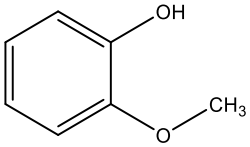
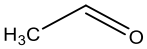
Tabelle 5-22 Gegenüberstellung des Chlorgensäuregehaltes in Arabica- und Robusta-Kaffee in Abhängigkeit des Röstgrades [Belitz et al., 2008, S. 974]

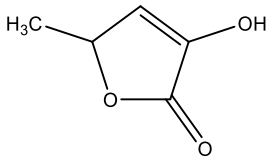
Rohkaffee/Röstgrad	Arabica [%]	Robusta [%]
roh	6,9	8,8
hell	2,7	3,5
mittel	2,2	2,1
dunkel	0,2	0,2

Auch der Alkaloidgehalt verändert sich mit dem Röstprozess. So weist Röstkaffee einen Koffeingehalt von 0,9 – 1,4 % in Arabica-Varianten und 1,5 – 2,6 % in Robusta-Varianten auf. Der Theobromin- und Theophyllingehalt bleibt weiterhin sehr niedrig und der Gehalt an Trigonellin

nimmt durch den Röstprozess um 50 % ab [Belitz et al., 2008, S. 975]. Für den Versuch mit dem GC-O sind die Aromastoffe des Kaffees von zentraler Bedeutung. Die typischen Aromastoffe des Kaffees werden im Röstprozess ausgebildet. Insgesamt enthält die flüchtige Fraktion 850 identifizierte Verbindungen, wobei nur 40 dieser Verbindungen zum Kaffeearoma beitragen. Das Aromaprofil wird dabei in verschiedene Gruppen aufgeteilt. Dazu zählen süße/karamellartige, erdige, schwefelig/röstige, rauchig/phenolische, fruchtige sowie würzige Verbindungen [Belitz et al., 2008, S. 975]. In Tabelle 5-23 werden die einzelnen Gruppen mit Beispielen dargestellt.

Tabelle 5-23 Darstellung der Aromastoffgruppen mit ausgewählten Beispielen in Röstkaffee [Belitz et al., 2008, S. 976]

Gruppe	Beispiele für Aromastoffe	Strukturformel
süß/karamellartig	Methylpropanal	 [eigene Darstellung nach Latscha et al., 2002, S. 210]
	Vanillin	 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 536]
erdig	2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazin	 [eigene Darstellung nach Guichard et al., 2017, S. 130]
schwefelig/röstig	2-Furfurylthiol	 [eigene Darstellung nach Guichard et al., 2017, S. 143]
	Methional	 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 371]
rauchig/phenolisch	Guajacol	 [eigene Darstellung nach Belitz et al., 2008, S. 383]
fruchtig	Acetaldehyd	 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 78]

Gruppe	Beispiele für Aromastoffe	Strukturformel
würzig	3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanon	 [eigene Darstellung nach Belitz et al., 2008, S. 1009]

Der wichtigste Aromastoff des Kaffees, der beim Rösten gebildet wird, ist 2-Furfurylthiol. Dieser leistet den größten Beitrag zur Herstellung des typischen Kaffeearomas. In Arabica-Kaffees sind in der Aromafraktion vor allem Verbindungen aus der süßen/karamellartigen Gruppe zu finden, in Robusta-Kaffees hingegen höhere Konzentrationen an erdigen und rauchig/phenolischen Verbindungen, was sich im Geschmack widerspiegelt. Dabei ist das Aroma des Kaffees instabil, woraus resultiert, dass der Kaffee seine frische Note schnell verliert [Belitz et al., 2008, S. 975 f.].

Während des Röstprozesses werden Melanoidine, braungefärbte Komponenten, im wasserlöslichen Anteil durch Ablauf der Maillard-Reaktion oder durch die Karamellisierung der enthaltenen Kohlenhydrate gebildet. Diese sind maßgebend an der Farbe des Kaffees beteiligt [Belitz et al., 2008, S. 977].

Für das endgültige Kaffeegetränk ist der pH-Wert eine wichtige Komponente, die für den Geschmack des Kaffees maßgeblich verantwortlich ist. Liegt ein Kaffee mit mittlerer Röstung vor, so liegt der pH-Wert im Bereich von 4,9 – 5,2 für einen optimalen Geschmack. Schmeckt der Kaffee säuerlich, liegt es daran, dass der pH-Wert unterhalb von 4,9 liegt, wohingegen bei einem pH-Wert von über 5,2 der Kaffee bitter und flach schmeckt. Insgesamt kann man festhalten, dass der pH-Wert bei Robusta-Kaffee generell höher liegt als bei Arabica-Kaffee, was sich auch deutlich im bittereren Geschmack widerspiegelt. Die bitteren Geschmacksnoten werden vor allem durch das enthaltene Koffein und die Chinasäurelactone gebildet [Belitz et al., 2008, S. 978 f.].

5.4.3.2 Tee

Tee wird gemäß Teil I Buchstabe A Nr. 1 der Leitsätze für Tee, teeähnliche Erzeugnisse, deren Extrakte und Zubereitungen (LMLTee) aus den jungen Blättern, Blattknospen sowie jungen Trieben des Teestrauches (*Camelia sinensis*) gewonnen [Meyer, 2013, S. 1]. Für den Teestrauch, der zur Ernteerleichterung auf einer Höhe bis zu 1,5 Metern gehalten wird, eignen sich vor allem tropische und subtropisch klimatische Verhältnisse und eine hohen Luftfeuchtigkeit. Bei optimalen klimatischen Verhältnissen können nach 4 – 5 Jahren die Teesträucher das erste

Mal vollgeerntet werden. Dabei richtet sich die Ernteperiode der Teesträucher nach Lage und Klima, sodass die Teesträucher entweder das ganze Jahr beerntet werden oder nur über einen Zeitraum von 8 – 9 Monaten. Werden die weißlich behaarten Knospen (Silberhaare) und jüngsten 2 – 3 Teeblätter das ganze Jahr über geerntet, so findet dies alle 6 – 9 Tage statt. Die Nutzungsdauer eines solchen Teestrauchs beträgt insgesamt 60 – 70 Jahre. Dabei gilt: Je jünger die geernteten Teeblätter sind, desto besser wird die Qualität des Tees [Belitz et al., 2008, S. 982 f.; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 510 f.].

Frische Teeblätter enthalten neben phenolischen Verbindungen, Enzyme, Aminosäuren, Alkaloide, Kohlenhydrate, Lipide, Pigmente sowie Aroma- und Mineralstoffe, wobei die chemische Zusammensetzung durch das Alter der Teeblätter, dessen Herkunft und der Verarbeitung beeinflusst wird [Belitz et al., 2008, S. 984].

Einen Anteil von 25 – 35 % nehmen die phenolischen Verbindungen ein, welche vor allem durch Flavanole repräsentiert werden. Die restlichen 20 % entfallen auf Proanthocyanidine, phenolische Säuren, sowie Flavonole und Flavone [Belitz et al., 2008, S. 984]. Die Proteinfraktion im Teeblatt besteht zum größten Teil aus Enzymen. Die wichtigsten Enzyme und deren Aufgaben werden in Tabelle 5-24 dargestellt.

Tabelle 5-24 Darstellung der im Teeblatt enthaltenen Enzyme und deren Aufgaben [Belitz et al., 2008, S. 985 f.]

Enzyme	Aufgabe im Teeblatt
Polyphenoloxidasen	Bildung von Farb- und Aromastoffen durch Oxidation von enthaltenen Phenolen
Proteinasen	bedingen den Abbau der enthaltenen Proteine im Teeblatt
Chlorophyllasen	am Chlorophyllabbau im schwarzen Tee beteiligt
Transaminasen	an der Bildung von Aromastoffen beteiligt
Lipoxygenasen	durch Autoxidation der Linolsäure an der Aromabildung beteiligt
Pektinmethylesterasen	dient der Demethylierung der enthaltenen Pektine

Neben den Enzymen sind in der Proteinfraktion auch freie Aminosäuren enthalten, die im Teeblatt etwa einen Anteil von 1 – 3 % einnehmen. Der häufigste Vertreter der freien Aminosäuren ist Theanin, welches einen Anteil von etwa 50 % einnimmt. Die andere Hälfte entfällt auf Aminosäuren, die an der Proteinbiosynthese beteiligt sind [Belitz et al., 2008, S. 985 f.].

Von der Alkaloidfraktion herrscht das Koffein mit einem Anteil von 2,5 – 5,5 % vor, welches für den bitteren Geschmack des Tees mit verantwortlich ist. Neben Koffein sind in den Teeblättern auch in sehr geringen Mengen Theophyllin (0,002 – 0,013 %) und Theobromin

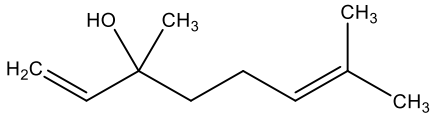
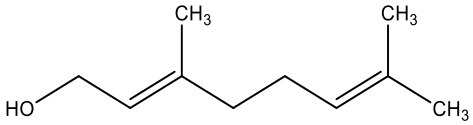
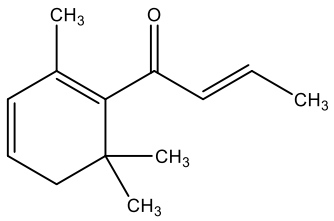
(0,07 – 0,17 %) enthalten, die jedoch auf das Geschmacksprofil keinen Einfluss haben [Belitz et al., 2008, S. 986].

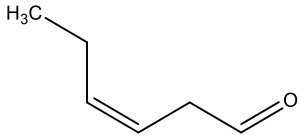
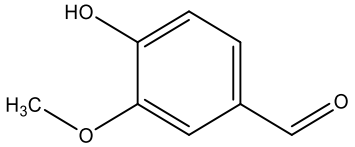
Zudem sind in den Teeblättern Kohlenhydrate und Lipide enthalten. Die Kohlenhydratfraktion besteht aus Mono- und Disacchariden, wie beispielsweise Glucose, Arabinose und Saccharose, sowie Polysacchariden in Form von Cellulose, Hemicellulose und Pektinen. Die Lipidfraktion nimmt nur einen vernachlässigbaren Stellenwert ein. Anhand des Gehaltes an Glycerophospholipiden und Glykolipiden kann festgestellt werden, ob es sich bei den Teeblättern um junge oder doch schon ältere Blätter handelt. So überwiegt der Anteil an Glycerophospholipiden in den jungen Teeblättern, wohingegen Glykolipide in älteren Teeblättern vorherrschen [Belitz et al., 2008, S. 986].

Als Pigmente sind in den jungen, unverarbeiteten Teeblättern vor allem Chlorophyll und die Carotinoide enthalten, deren Anteile erst mit der Verarbeitung abnehmen. Bei den Carotinoiden sind 14 verschiedene bereits identifiziert worden, wobei als Hauptkomponenten Xanthophyll, Neoxanthin, Violaxanthin und β-Carotin vorherrschen. Durch dessen Abbau während der Verarbeitung können Aromastoffe beziehungsweise Vorläufer für Aromastoffe entstehen, die entsprechend zum Teearoma beitragen [Belitz et al., 2008, S. 986].

An der Ausbildung des typischen Teearomas sind viele Substanzen, vor allem Terpene, Monoterpene, Phenole, Aldehyde und Ester sowie schwefelhaltige Verbindungen, beteiligt. Als Beispiele können hier unter anderem Linalool, Geraniol, β-Damascenon, sowie *(Z)*-3-Hexenal und Vanillin genannt werden [Belitz et al., 2008, S. 987]. Eine Auswahl an Verbindungen, die zum typischen Teearoma beitragen, können Tabelle 5-25 entnommen werden.

Tabelle 5-25 Auswahl an Aromastoffen, die zum typischen Teearoma beitragen mit Strukturformeln [Belitz et al., 2008, S. 987]

Verbindung	Strukturformel
Linalool	 [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 228]
Geraniol	 [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 228]
β-Damascenon	 [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 251]

Verbindung	Strukturformel
(Z)-3-Hexenal	 [eigene Darstellung nach Guichard et al., 2017, S. 134]
Vanillin	 [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 536]

Als Mineralstoff ist vor allem Kalium enthalten, welches etwa 50 % des gesamten Mineralstoffgehaltes ausmacht. Insgesamt liegt eine Mineralstoffgehalt von etwa 5 % vor [Belitz et al., 2008, S. 987].

Je nach Behandlungsform der Teeblätter kann grüner, weißer beziehungsweise schwarzer Tee hergestellt werden. Eine Übersicht der Verarbeitung der einzelnen Teearten wird in Abbildung 5-39dargestellt.

Der größte Teil der Teeblätter wird zu schwarzem Tee verarbeitet. Der erste Schritt ist das Welken, bei denen die Teeblätter für 18 – 24 Stunden in Welkhäusern bei 25 – 35 °C getrocknet werden. Dabei wird den frischen Teeblättern Wasser entzogen, sodass sich die getrockneten Teeblätter rollen lassen, ohne zu zerbrechen. Während des Welkvorgang kommt es zur Ausbildung von Aminosäuren und Ketosäuren, wobei die Aminosäuren durch die enzymatische Proteinhydrolyse und die Ketosäuren durch Transaminierung entstehen. Zudem wird die Zellpermeabilität erhöht und es beginnt in diesem Stadium der Abbau des Farbstoffs Chlorophyll.

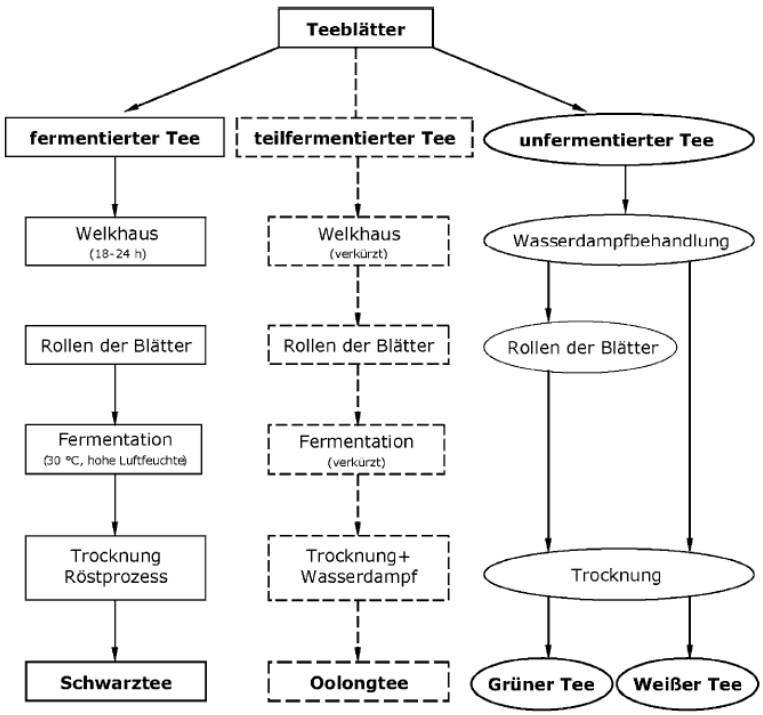


Abbildung 5-39 Darstellung der verschiedenen Verarbeitungsschritte zum Herstellen von grünem und weißem Tee, sowie schwarzem Tee und Oolongtee [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 510]

Diese Reaktion ist für das Aussehen des fertigen Tees am Ende von zentraler Bedeutung. Es folgt das vorsichtige Rollen der getrockneten Teeblätter, das sogenannte Konditionieren. Dies sollte möglichst drucklos erfolgen, sodass sich die Polyphenoloxidasen gleichmäßig in den Epidermiszellen der Blätter verteilen können. In nachgeschalteten Rollmaschinen werden die Teeblätter dann gerollt, wobei die Epidermiszellen zerstört werden, und der Saft austreten kann. Somit werden die einzelnen Komponenten mit den Enzymen in Berührung gebracht, sodass die anschließende Fermentation ablaufen kann. Dafür werden die Teeblätter für 2 – 3 Stunden bei 30 °C aufgeschichtet, sodass Oxidationsprozesse ablaufen können. So können die Polyphenoloxidasen die Farbgebung und Ausbildung von Aromastoffen durch die Oxidation von Phenolen katalysieren. Die enthaltenen Flavanole werden enzymatisch zu Theaflavinen und Thearubigenen oxidiert. Die Theaflavine (Abbildung 5-40 links) weisen eine leuchtend rote Farbe auf, wohingegen Thearubigene (Abbildung 5-40 rechts) rötlich-gelb erscheinen, wodurch diese beiden Komponenten für die charakteristischen Farbe des Tees verantwortlich sind. Neben den Farbkomponenten werden auch Aromakomponenten während der Fermentation durch die chemische Reaktion von Aminosäuren mit Flavanolen, sowie durch die Oxidation ungesättigter Fettsäuren und Carotinoiden ausgebildet. So entsteht beispielsweise der Aromastoff β-Damascenon durch den Carotinoidabbau von Neoxanthin. Es folgt die Trocknung der fermentierten Teeblätter mit Heißluft bei etwa 90 °C, sodass der Wassergehalt auf 3 – 4 % reduziert wird.

In dieser Phase erfolgt die übergangsweise Steigerung der Enzymaktivität auf 10 – 15 %, sodass Theaflavin als Farbkomponente enzymatisch mittels Polyphenoloxidasen gebildet werden kann, bevor es zur Inaktivierung der enthaltenen Enzyme kommt. Durch die vorherrschende Temperatur während des Trocknens reagieren die Chlorophylle zu Präophytinen, die eine schwarze Farbe aufweisen und daher für die Farbe des schwarzen Tees von zentraler Bedeutung sind. Zudem werden Protein-Phenol-Komplexe gebildet, wodurch der adstringierende Geschmack abgemildert wird. Die typischen Aromastoffe des Tees werden durch die ablaufende Maillard-Reaktion zwischen Zuckern und Aminosäuren gebildet und der Anteil an flüchtigen Verbindungen nimmt ab [Belitz et al., 2008, S. 983 ff.; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 509 f.].

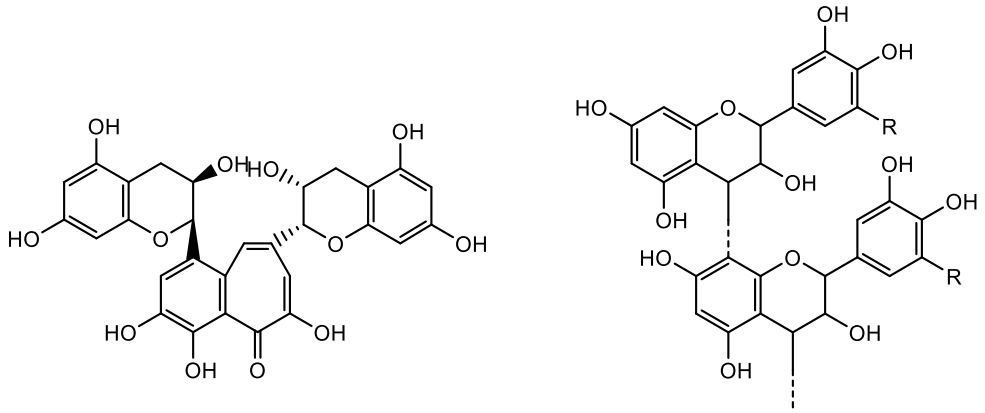


Abbildung 5-40 Darstellung der Strukturformeln von Theaflavin (links) [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217] und Thearubigen (rechts) [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 495]

Tabelle 5-26 zeigt die chemische Zusammensetzung von schwarzem Tee. Die Zusammensetzung von schwarzem Tee wird durch verschiedene Faktoren bestimmt. Dazu zählen unter anderem die Qualität der Teeblätter und -knospen, aber auch die Herkunft der Teeblätter sowie die Art der Verarbeitung (Fermentation und Trocknung) [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 511].

Tabelle 5-26 Chemische Zusammensetzung von schwarzem Tee [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 511]

Komponente	Gehalt [%]
Gerbstoffe (Flavonoide)	20
Proteine	15
Koffein	2 – 3
andere stickstoffhaltige Verbindungen	10
Polysaccharide (Cellulose und Pektin)	20
lösliche Zucker	4
Lignin	6
Asche	5

Grüner Tee wird vor allem in China und Japan hergestellt, wobei keine Fermentation abläuft (Abbildung 5-39). Bei der Verarbeitung zu grünem Tee werden die frischen Teeblätter mit Wasserdampf behandelt. Damit werden die Enzyme inaktiviert und so die Oxidation der Gerbstoffe verhindert, sodass der grüne Farbstoff Chlorophyll erhalten bleibt. Die durch die Wasserdampfbehandlung biegsamen Teeblätter werden an der Sonne gerollt und anschließend getrocknet. Durch das Trocknen wird der Tee durch Abtötung von Mikroorganismen lagerfähig. Wird während der Verarbeitung auf das Rollen der Blätter verzichtet, so kann weißer Tee erhalten werden, da das Chlorophyll ohne Rollen nicht aus den Blättern austreten kann [Belitz et al., 2008, S. 983; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 511].

Nach der Teeverarbeitung folgt die Verpackung und Lagerung der verschiedenen Teesorten. Bevor der Tee verpackt wird, muss der Tee von Verunreinigungen befreit und nach Blattgröße sortiert werden. Die Verpackung erfolgt in Folien, die sich in Speerholzkisten befinden, welche zur Qualitätserhaltung verschweißt werden. Bei der Lagerung ist vor allem zu beachten, dass der Tee dunkel, kühl und trocken sowie ab von Fremdgerüchen aufbewahrt werden muss, damit das typische Teearoma erhalten bleibt und nicht abflacht beziehungsweise Fehlaromen entstehen [Belitz et al., 2008, S. 989].

5.4.3.3 Kakao

Kakao beziehungsweise Kakaopulver ist gemäß § 1 i. V. m. Anlage 1 Nr. 2 Buchstabe a der Kakaoverordnung (KakaoV) das Produkt aus verarbeiteten, gereinigten, geschälten und gerösteten Kakaobohnen, welche pulverisiert werden. Der Kakao darf nach der Verarbeitung noch maximal 9 % Wasser aufweisen und muss mindestens 20 % Kakaobutter in der Trockenmasse enthalten [Meyer, 2017b, S. 4].

Die Kakaobohnen werden aus der Kakaofrucht gewonnen, die am Kakaobaum, *Theobroma cacao*, wächst. Der Kakaobaum wächst vor allem in heißen Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit, wie beispielsweise Brasilien oder Ecuador, mit Jahrestemperaturen von 24 – 28 °C. Die Bäume können natürlicherweise 10 – 15 m hochwachsen, werden jedoch in Plantagen gestutzt, um die Ernte zu erleichtern. Die Kakaofrucht zeigt eine gurken- bis melonenartige Form mit einer Länge von 15 – 25 cm und einer Dicke von 7 – 10 cm, welche von einer starken Fruchtschale umgeben ist. Im zuckerhaltigen Fruchtmus der Kakaofrucht sind bis zu 50 Kakaobohnen enthalten. Die Ernte der Kakaofruchte erfolgt in der Regel zweimal im Jahr, wobei je nach Region zu unterschiedlichen Zeiten geerntet wird. Die Kakaobohnen, die 2 cm lang, 1 cm breit und etwa 1 g schwer sind, stellen die vom Fruchtfleisch befreiten rohen

Samen des Kakaobaumes dar, aus denen der Kakao hergestellt werden kann [Belitz et al., 2008, S. 991 f.].

Bei Kakaobohnen werden zwei Hauptsorten der Art *Theobroma cacao* unterschieden: Criollo-Bohnen und Forastero-Bohnen. Kakaofrüchte, die Criollo-Bohnen liefern sind empfindlich gegenüber klimatischen Einflüssen und Schädlingen, liefern aber hocharomatische Kakaobohnen, wobei die Ausbeute an Kakaobohnen in der Kakaofrucht geringer ausfällt. Die Forastero-Früchte liefern hingegen regelmäßig hohe Ernteausbeuten und sind insgesamt kräftiger und widerstandsfähiger. Die gewonnen Kakaobohnen zeigen sich im Vergleich zu Criollo-Bohnen bedeutend weniger aromatisch [Belitz et al., 2008, S. 992].

Vor der Kakaoherstellung (Abbildung 5-41) müssen die vollfreien Früchte vom Baum geerntet werden. Es folgt die Entfernung der Kakaobohnen, zusammen mit dem Fruchtfleisch, aus der Schale. Die Kakaobohnen mit dem anhaftenden Fruchtfleisch werden für 2 – 8 Tage einer Fermentation, dem Rotten, unterzogen. Das Fruchtfleisch wird abgebaut und die Temperatur steigt auf 45 – 50 °C, wodurch die Fähigkeit zur Keimung verloren geht. Dabei läuft zunächst die alkoholische Gärung (Kapitel 5.4.2, Abbildung 5-33) ab und Polysaccharide werden enzymatisch abgebaut, wodurch das Fruchtfleisch verflüssigt wird und als Gärsaft abfließen kann. Mit der Zeit überwiegt die ablaufende Oxidation des Alkohols zu Essigsäure durch Essigsäurebakterien. Dadurch werden die Zellwände permeable. Während der Fermentation werden Geruchs- und Geschmackstoffe gebildet und Gerbstoffe bis auf ein Gehalt von 5 – 8 % abgebaut. Farbstoffe werden gebildet, wobei vor allem die Aminosäuren und Peptide in der Maillard-Reaktion zu braun-violetten Verbindungen reagieren, wodurch die charakteristische Farbe gebildet wird. Es folgt die Reinigung der Kakaobohnen mit Wasser und eine anschließende Trocknung, sodass die Kakaobohnen noch einen maximalen Wassergehalt von 6 – 8 % aufweisen und die ablaufenden Oxidationsreaktionen unterbrochen werden [Belitz et al., 2008, S. 992].

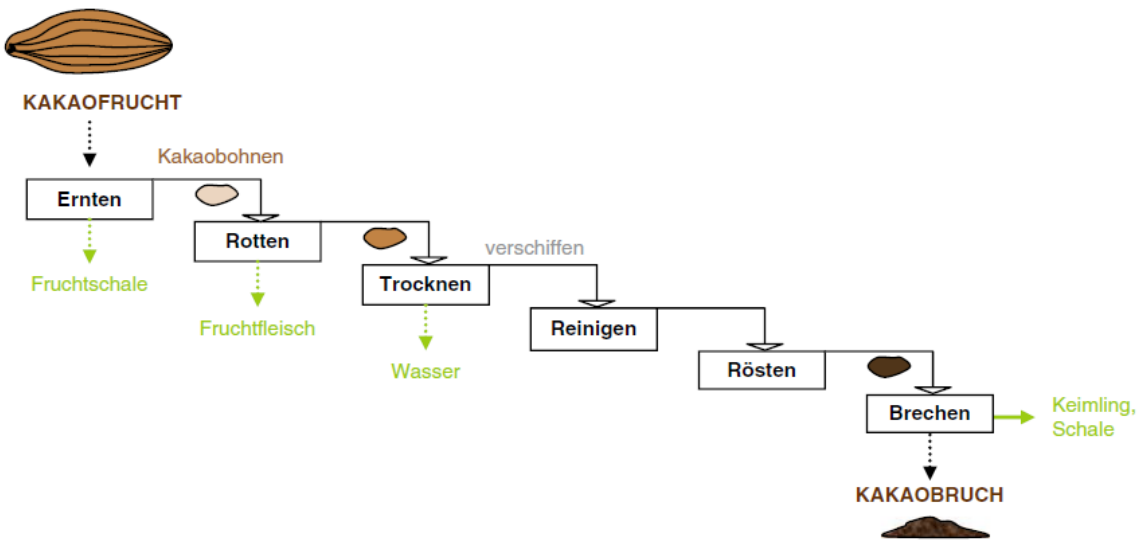


Abbildung 5-41 Herstellung des Kakaobruchs als Zwischenprodukt der Kakaoherstellung [Rimbach et al., 2010, S. 304]

Welche Inhaltsstoffe die fermentierten Kakaobohnen aufweisen, kann Tabelle 5-27 entnommen werden.

Tabelle 5-27 Zusammensetzung der fermentierten Kakaobohnen und der Kakaoschalen [Belitz et al., 2008, S. 994]

Inhaltsstoff	Kakaobohne [%]
Wasser	5,0
Fett	54,0
Koffein	0,2
Theobromin	1,2
Polyhydroxyphenole	6,0
Rohprotein	11,5
Mono- & Oligosaccharide	1,0
Stärke	6,0
Pentosane	1,5
Cellulose	9,0

Die fermentierten Kakaobohnen enthalten nach der Trocknung im Durchschnitt nur noch 5 % Wasser. Der größte Anteil macht die Lipidfraktion aus, wobei die Kakaobutter den größten Anteil der Zusammensetzung der Kakaobohnen mit 54 % ausmacht. In der Proteinfraktion sind neben Proteinen und Aminosäuren vor allem Enzyme enthalten, wie beispielsweise α-Amylasen, Proteinasen, Lipasen und Katalasen, die erst während der Verarbeitung inaktiviert werden. Der wichtigste Vertreter der Alkaloide stellt das Theobromin dar, welches eine anregende Wirkung besitzt (Kapitel 5.4.3.5) und einen Anteil von 1,2 % einnimmt. Daneben sind etwa 0,2 % Koffein enthalten. Kakaokerne enthalten Kohlenhydrate in Form von Stärke, Cellulose sowie

Pentosane, aber auch lösliche Mono- und Disaccharide, wie Saccharose, Glucose und Fructose. Organische Säuren liegen in Kakaobohnen mit einem Anteil von 1,2 – 1,6 % vor, wobei unter anderem Zitronen-, Essig- und Äpfelsäure an der Geschmacksentwicklung beteiligt sind. Zudem enthalten Kakaobohnen Polyphenole, die vor allem in den Pigmentzellen lokalisiert sind und je nach Anthocyangehalt weiß bis tiefpurpur gefärbt vorliegen. Insgesamt enthalten Kakaokerne drei Arten von Polyphenolen: Catechine (etwa 37 %), Anthocyane (etwa 4 %) und Leukoanthocyane (etwa 58 %). Für das Aroma des Kakaos sind verschiedene Geruchs- und Geschmacksstoffe verantwortlich. So sind für die Geruchsbildung etwa 24 verschiedene Aromastoffe verantwortlich, darunter unter anderem Essigsäure, Buttersäure sowie 2-Phenylethanol und Linalool. Kakao weist einen bitteren, adstringierenden und sauren Geschmack auf. An der Geschmacksbildung sind sogar 41 verschiedene Aromastoffe beteiligt. Dazu zählen unter anderem Theobromin, welches für den bitteren Geschmack des Kakaos verantwortlich ist, Epicatechin, welches bittere und adstringierende Eigenschaften mit sich bringt, und organische Säuren, wie Zitronensäure und Essigsäure, die den sauren Geschmack hervorrufen [Belitz et al., 2008, S. 993 ff.].

Die fermentierten und getrockneten Kakaobohnen werden mit rotierenden Bürsten gereinigt und auf Sortierbändern von Fremdstoffen befreit und entsprechend der Bohnengröße sortiert. Es folgt der zweistufige Röstprozess bei 120 – 130 °C. Dabei erfolgt zunächst eine Trocknungsphase, wobei der Wassergehalt der Kakaobohnen auf einen Wert von etwa 3 % sinkt, Gerbstoffe oxidiert und unerwünschte Aromastoffe, wie beispielsweise Essigsäure, entfernt werden. Daneben werden Schädlinge abgetötet. In der zweiten Phase werden die typischen Aromastoffe gebildet. Dies geschieht durch verschiedene ablaufende enzymatische und thermische Reaktionen. Dabei wird die Farbe der Kakaobohne verstärkt, der Kern wird hart und spröde, sodass die Schale leichter entfernt werden kann. Zudem wird das Aroma verstärkt. Eine anschließende Kühlung soll vermeiden, dass zu stark geröstet wird. Die so gerösteten Kakaobohnen werden in Brech- und Reinigungsanlagen von der Schale getrennt, wodurch etwa 80 % Kakaobruch resultiert. Die anderen 20 % bilden die Schalen (etwa 12 %), Keime und Kakaoabfall (jeweils 4 %). Während der Kakaobruch zur Herstellung von Kakaopulver und Schokolade eingesetzt wird (Abbildung 5-42), dienen die Kakaoschalen einerseits zur Gewinnung des Alkaloids Theobromin und andererseits kann aus den Kakaoschalen Futtermittel oder Brennholz hergestellt werden [Belitz et al., 2008, S. 993].

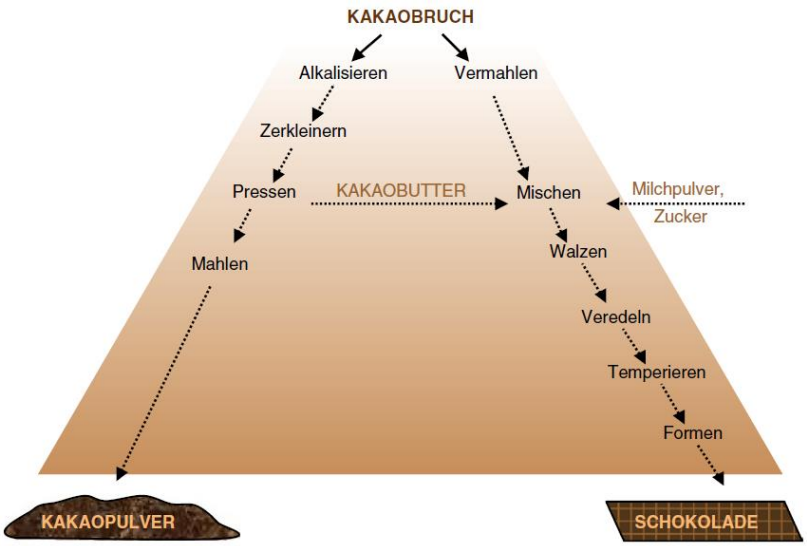


Abbildung 5-42 Weiterverarbeitung des Kakaobruchs zur Herstellung von Kakaopulver und Schokolade [Rimbach et al., 2010, S. 306]

Um aus dem Kakaokernbruch Kakaopulver herzustellen, wird im nächsten Schritt die Kakaomasse hergestellt. Dabei erfolgt zunächst ein alkalischer Aufschluss bei 75 – 100 °C und anschließender Trocknung im Vakuum, bei dem der Säuregehalt abgemildert, die Farbe vertieft und eine lange Suspensionsfähigkeit des Kakaogetränks erreicht wird. Zudem wird die Kakaobutter aus den Zellen freigesetzt. Es folgt die Zerkleinerung mit Feinwalzen, sodass eine homogene Masse, die Kakaomasse, mit einem Anteil von 52 – 58 % Kakaobutter entsteht. Zur Gewinnung von Kakaopulver wird ein Teil der Kakaobutter bei 90 – 100 °C mithilfe von Tropfpressen aus der Kakaomasse abgepresst, sodass ein Kakaobuttergehalt von 10 – 24 % enthalten bleibt. Der Presskuchen wird geformt und abgekühlt und schließlich zerkleinert und gemahlen, sodass das Kakaopulver gewonnen werden kann. Je dunkler ein Kakaopulver ist, desto milder ist der Geschmack, weil in dunkleren Kakaopulvern mehr Kakaobutter enthalten ist als in helleren Kakaopulvern [Belitz et al., 2008, S. 998].

5.4.3.4 Schokolade

Gemäß § 1 i. V. m. Anlage 1 Nr. 3 Buchstabe A KakaoV handelt es sich bei Schokolade um ein Produkt aus Kakaoprodukten mit Zuckerarten. Dabei muss in Schokolade mindestens 35 % Kakao in der Trockenmasse enthalten sein, wovon 18 % Kakaobutter und mindestens 14 % fettfreie Kakaotrockenmasse verwendet werden muss [Meyer, 2017b, S. 5].

Schokolade ist in Deutschland eine sehr beliebte Süßware. So wurden im Jahr 2019 etwa 9,2 Kilogramm Schokolade pro Person verzehrt, wodurch Deutschland in Europa den zweiten Platz belegt (Abbildung 5-43). Der größte Pro-Kopf-Verbrauch an Schokolade liegt in der Schweiz mit 9,9 Kilogramm [Ahrens, 2022b].

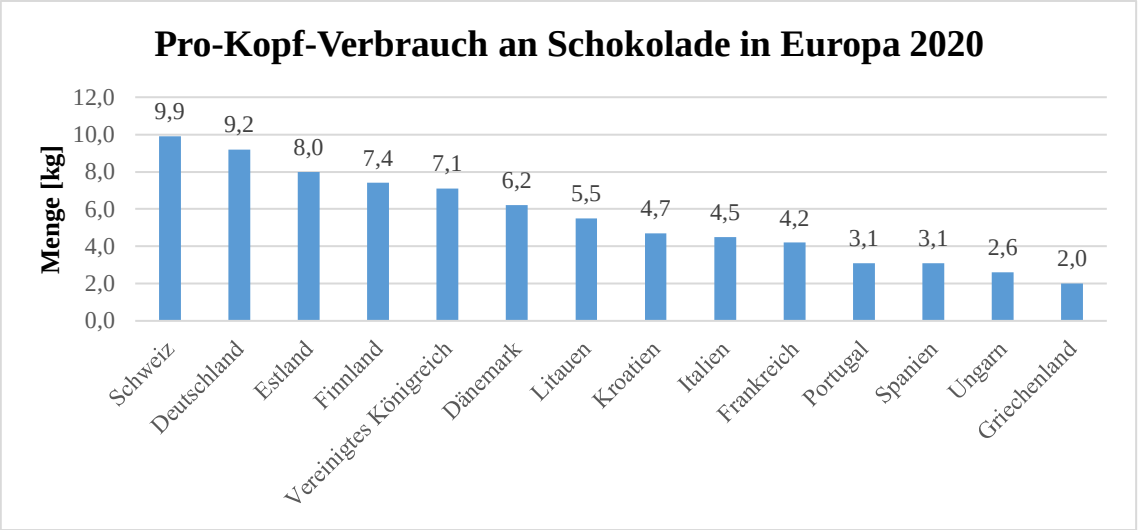


Abbildung 5-43 Pro-Kopf-Verbrauch an Schokolade in Europa im Jahr 2020 [eigene Darstellung nach Ahrens, 2022b]

Der Herstellungsprozess von Schokolade kann Abbildung 5-42 entnommen werden. Anders als bei der Herstellung von Kakaopulver wird zur Herstellung von Schokolade, die nicht aufgeschlossene Kakaomasse verwendet, was bedeutet, dass der Kakaobruch zum Freilegen der Kakaobutter aus den Zellen nur zerkleinert und vermahlen wird. Die Kakaomasse wird mit abgepresster Kakaobutter aus der Kakaopulverherstellung, sowie Zuckerarten versetzt, geknetet und vermischt. Wird Milchschokolade hergestellt erfolgt an dieser Stelle noch der Zusatz von Milchpulver. Bei der so erhaltenen Schokoladengrundmasse erfolgt die Zerkleinerung mithilfe von Walzen, wodurch eine feine Schokoladenmasse entsteht. Es folgt der Schritt der Endveredelung (Conchieren), bei der die feine Schokoladenmasse ausgereift wird. Dies erfolgt bei 45 – 50 °C für 24 Stunden. Als Produkt entsteht eine dickflüssigere Masse, die zur Herstellung von Tafelschokoladen eingesetzt wird. Bei der Herstellung feiner Schokolade wird hingegen in einem dreistufigen Prozess conchiert. In der ersten Stufe erfolgt eine Bearbeitung der Schokolade, wodurch flüchtige Bestandteile und Wasser entfernt werden. Zudem wird in der Bearbeitungszeit von 6 – 12 Stunden das Kakaofett in Form der Kakaobutter gleichmäßig in der feinen Schokoladenmasse verteilt. In der anschließenden zweiten Stufe, die 6 – 40 Stunden in Anspruch nehmen kann, wird der feinen Schokoladenmasse die restliche Kakaobutter zugefügt. Durch Rühren erfolgt eine gleichmäßige Verteilung der Kakaobutter, wodurch eine homogene Masse entsteht. In Stufe drei erfolgt schließlich der Zusatz andere Rezepturbestandteile, wie beispielsweise Nüsse, und Lecithin. An den Veredelungsprozess schließt sich das Kristallisieren und Formen der Schokolade an. Die Kristallisation erfolgt unter Einhaltung eines bestimmten Temperaturprogramms, wodurch die Kakaobutter in die stabilere β-Modifikation überführt wird. Dazu wird die Schokoladenmasse zunächst vollständig bei 50 °C geschmolzen und

anschließend innerhalb von 10 Minuten unter Rühren auf eine Temperatur von 18 °C abgekühlt. Die Temperatur von 18 °C wird für 10 Minuten gehalten, bevor die Schokoladenmasse innerhalb von 5 Minuten wieder auf eine Temperatur von 29 – 31 °C angehoben wird. Bei Erhaltung der Temperatur erfolgt schließlich das Formen der Schokolade mithilfe von Dosierpumpen, die die Schokolade in vorgewärmte Formen aus Metall oder Kunststoff einfüllen. Die gefüllten Formen werden auf Klopfbahnen gestellt, sodass die Luftblasen beim Einfüllen durch das Klopfen an der Luft entweichen kann. Es folgt das langsame Abkühlen der Schokolade auf Kühlbahnen, sodass bei einer Temperatur von etwa 10 °C die fertigen Schokoladentafeln aus den Formen fallen [Belitz et al., 2008, S. 998 ff.].

Die Lagerung von Schokolade sollte unter besonderen Bedingungen erfolgen, da es ansonsten zu Veränderungen kommen kann. Schokolade sollte trocken, kühl, lichtgeschützt und in gut durchlüfteten Räumen gelagert werden, sodass eine Kontamination mit Fremdgerüchen vermieden werden kann. Als optimale Lagerungsbedingungen haben sich eine Temperatur von 10 – 12 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 55 – 65 °C erwiesen. Kann eine solche Lagerung nicht gewährleistet werden, kann es passieren, dass die Schokolade von Schädlingen befallen oder die Oberfläche der Schokolade Zucker- und Fettreif ausbildet, welches durch das Matt- und Grauwerden der Schokoladenoberfläche sichtbar wird. Durch eine zu hohe Luftfeuchtigkeit kann Zuckerreif entstehen. Dabei werden aus der Schokoladenoberfläche Zuckerteilchen herausgelöst, die beim Trocknen erneut auskristallisieren und sich als grobe Zuckerteilchen absetzen. Fettreif entsteht hingegen, wenn die Lagerungstemperatur über 30 °C steigt. Dabei setzt sich flüssiges Fett an der Schokoladenoberfläche ab, das bei sinkender Temperatur wieder fest wird, wodurch weiße Flecken gebildet werden [Belitz et al., 2008, S. 1001].

Durch den Herstellungsprozess können viele unterschiedliche Arten von Schokolade produziert werden. Als Beispiele sind Schmelzschokolade, Vollmilch- und Nussschokolade, sowie Kuvertüre, Fettglasuren und Trinkschokoladen zu nennen [Belitz et al., 2008, S. 1000]. Dazu gibt es im Lebensmittelrecht verschiedene Regelungen, die bei der Herstellung von Schokolade eingehalten werden müssen. Dazu zählen die Regelungen über Lebensmittelzusatzstoffe (Verordnung (EG) Nr. 1333/2008), wo genau geregelt wird, welche Lebensmittelzusatzstoffe mit welchen Gehalten in Schokoladen eingesetzt werden dürfen [Meyer, 2021a, S. 102 ff.]. Regelungen in Bezug auf die Kennzeichnung von verpackten Schokoladenprodukten werden in Art. 9 der Lebensmittelinformationsverordnung (LMIV, VO (EU) Nr. 1169/2011) dargestellt [Meyer, 2015a, S. 20 f.]. Welche grundsätzlichen Regelungen bei Kakao und Schokolade eingehalten werden müssen, damit das Produkt überhaupt so bezeichnet werden darf, wird in der Kakaoverordnung geregelt. Dort ist beispielsweise geregelt, wie hoch die

Gesamtkakaotrockenmasse sein muss, damit es sich um eine Schokolade handelt und es werden spezielle Regelungen zu einzelnen Schokoladensorten angegeben. So handelt es sich beispielsweise bei Milchschokolade gemäß § 3 i. V. m. Anlage 1 Nr. 4 KakaoV um ein Produkt, welches aus Kakaoerzeugnissen, Zuckerarten und Milch/Milcherzeugnissen hergestellt wird. Milchschokolade muss eine Gesamtkakaotrockenmasse von mindestens 25 % und eine Milchtrockenmasse von mindestens 14 % aufweisen. Zudem muss der Gehalt an fettfreier Kakaotrockenmasse mindestens 2,5 % und der Milchfettgehalt mindestens 3,5 % betragen. Der Gesamtfettgehalt, der sich aus dem Milchfett und der Kakaobutter zusammensetzt, beträgt 25 %. Erst wenn alle diese Regelungen eingehalten werden, dann darf die Milchschokolade als solche in den Verkehr gebracht werden [Meyer, 2017b, S. 5 f.].

5.4.3.5 Alkaloide – Koffein, Theophyllin und Theobromin

Alkaloide sind Pflanzenstoffe, die meistens aus einem alkalischen, stickstoffhaltigem Heterozyklus bestehen und auf verschiedene Bereiche des Nervensystems wirken. Es handelt sich um Purinalkaloide, die aus Methylxanthinen bestehen. Zu den Methylxanthinen gehören Koffein (1,3,7-Trimethylxanthin; Abbildung 5-21), Theophyllin (1,3-Dimethylxanthin) und Theobromin (3,7-Dimethylxanthin) [Baltes & Matissek, 2011, S. 489 f.].

Das Alkaloid Koffein kommt in Kaffeebohnen an Chlorogensäure gebunden (1,0 – 2,5 %), sowie in Tee (2,0 – 4,0 %) vor, in Kakaokernen (etwa 0,2 %) hingegen nur in sehr geringen Mengen. Im Rohkaffee beträgt der Koffeingehalt bei Arabica-Sorten 0,9 – 1,4 % und bei Robusta-Sorten 1,5 – 2,6 % [Dräger, 2016]. Es hat einen Einfluss auf das zentrale Nervensystem, sowie auf die Atmung, Blutdruck und die Herzaktivität. Deshalb sollten besonders Menschen mit Herzproblemen koffeinierten Kaffee meiden, da es eine Weitung der Blutgefäße hervorruft und ungehindert die Bluthirnschranke passieren kann. Koffein kann an dieselben Rezeptoren binden wie Adenosin, welches vor Übermüdung schützt. Jedoch aktiviert Koffein nicht die Rezeptoren, sondern hemmt sie. Allerdings nimmt die Wirkung beim täglichen Verzehr ab, weshalb eine Toleranz ausgebildet wird. Koffein liegt im Rohkaffee an einen Kalium-Chlorogensäure-Komplex gebunden vor, welches erst beim Röstvorgang und beim Verzehr durch die Magensäure freigesetzt wird. Dadurch erzielt das Koffein seine Wirkung schnell nach dem Verzehr, wohingegen das Koffein im Tee an Polyphenole gebunden vorliegt, welches erst bei der Fermentation des Tees und schließlich beim Teekonsum im Darm freigesetzt wird. Daher zeigt sich die Wirkung von Koffein nach dem Teegenuss langsamer, hält dafür aber länger an als beim Kaffeegenuss [Baltes & Matissek, 2011, S. 490 f.].

Theophyllin (Abbildung 5-44) ist ebenfalls ein Purinalkaloid, welches hauptsächlich in Teeblättern (etwa 0,1 %) und in geringen Mengen auch in Kaffee nachgewiesen werden kann. Es zeigt ebenfalls eine stimulierende Wirkung auf das Zentralnervensystem, vergleichbar mit der Wirkung des Koffeins. Zudem verstärkt Theophyllin die Herzaktivität und übertrifft in der Wirkung noch die des Koffeins [Baltes & Matissek, 2011, S. 491].

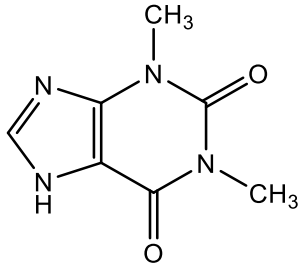


Abbildung 5-44 Strukturformel der Substanz Theophyllin [eigene Darstellung nach Schwedt, 2005, S. 217]

Im Kakao ist hauptsächlich das Alkaloid Theobromin (1,5 – 3,1 %) enthalten und ist mit verantwortlich für den bitteren Geschmack des Kakaos. Zudem ist es auch in Bitterschokolade (0,3 – 0,5 %) und Milchschokolade (0,1 – 0,2 %) enthalten. In der Wirkung der Stimulierung des Herzmuskels ist das Theobromin (Abbildung 5-45) dem Koffein ähnlich, jedoch in abgeschwächter Form. Die Wirkung in Bezug auf die Stimulierung des Zentralnervensystems fehlt hingegen gegenüber dem Koffein [Baltes & Matissek, 2011, S. 491; Schieberle, 2004].

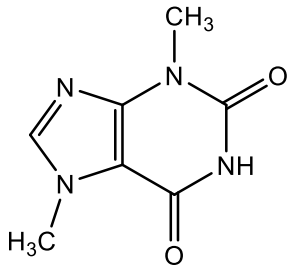


Abbildung 5-45 Strukturformel der Substanz Theobromin [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 490]

5.4.3.6 Mögliche Anknüpfungspunkte der alkaloidhaltigen Lebensmittel im niedersächsischen Kerncurriculum

In den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II gibt es, trotz der nicht expliziten Benennung der alkaloidhaltige Lebensmittel, mögliche Anknüpfungspunkte, um die Umsetzung im schulischen Chemie- und Biologieunterricht zu rechtfertigen. Die Anknüpfungspunkte an das niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I können Tabelle 5-28 entnommen werden.

Tabelle 5-28 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	Doppel-jahrgang	Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …unterscheiden Stoffe anhand ihrer mit den Sinnen erfahrbaren Eigenschaften und der Aggregatzustände“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …beschreiben die Aggregatzustandsänderungen eines Stoffs anhand seiner Schmelz- und Siedetemperatur“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …beschreiben die Trennverfahren Filtration, Sedimentation, Destillation und Chromatografie mithilfe ihrer Kenntnisse über Stoffeigenschaften“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Erkenntnisgewinnung** • …entwickeln Strategien zur Trennung von Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]
Stoff-Teilchen	9/10	**Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Bereits im Doppeljahrgang 5/6 kennen die Schüler:innen bereits alkaloidhaltige Lebensmittel, entweder durch den eigenen Konsum oder den Konsum der Eltern und Freunde. Dabei wissen einige Schüler:innen möglicherweise nichts mit dem Begriff Alkaloide anzufangen, sodass als Hilfestellung Beispiele dieser Gruppe (Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade) genannt werden sollten. Gerade im Anfangsunterricht ist es wichtig, dass die Schüler:innen die Chemie mit ihren Sinnen erforschen können, wodurch ein Bezug zur Lebensmittelsensorik entsteht. Demnach könnten im Anfangsunterricht eine Beliebtheitsprüfung oder ein Triangel-Test (siehe Kapitel 5.4.1.1) mit verschiedenen Schokoladen-, Kakao- oder Teesorten durchgeführt werden. Besonders geeignet für einen Triangel-Test sind die Schokoladensorten Ritter Sport Vollmilch im Vergleich zur Ritter Sport Vollmilch Laktosefrei [Muche & Pietzner, 2022]. Da die meisten Schüler:innen gerne Schokolade verzehren, kann diese dazu eingesetzt werden, die Änderung

der Aggregatzustände anhand der Schmelzpunkte zu beschreiben. Demnach können verschiedene Schokoladensorten in einem Experiment geschmolzen und die Schmelztemperaturen bestimmt werden. Anhand der Schokolade können die Schüler:innen erkennen, dass auch alltägliche Lebensmittel für Experimente herangezogen werden können. Neben Schokolade können aber auch für Kaffee und Tee mögliche Anknüpfungspunkte gefunden werden. So können verschiedene Trennverfahren betrachtet werden, indem beim Kaffee die Filtration und beim Tee das Extraktionsverfahren thematisiert werden. Im Doppeljahrgang 9/10 trinken viele Schüler:innen bereits selbst Kaffee, sodass ein großer Alltagsbezug vorliegt. Anhand des Kaffees, aber auch anhand von Tee, Kakao und Schokolade, können die verschiedenen Inhaltsstoffe betrachtet, überprüft und bewertet werden. Inhaltsstoffe, die betrachtet werden sollten, sind die Alkaloide, zu denen Koffein, Theobromin und Theophyllin gehören, aber auch die Chlorogensäure im Kaffee. Dazu können verschiedene analytische Methoden herangezogen werden, sodass die Schüler:innen im Bereich der Berufsorientierung etwas über die Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen erfahren und damit eine Überleitung zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen erfolgen kann.

Aufgrund des hohen Alltagsbezuges eignet sich die Betrachtung der alkaloidhaltigen Lebensmittel im Themenfeld *Ernährung und Gesundheit*. Neben der quantitativen Bestimmung von Zucker und Fett in Schokolade, sollten die positiven und negativen gesundheitlichen Aspekte durch die Aufnahme von Koffein, Theophyllin und Theobromin thematisiert werden. Daneben können im Themenfeld *Chemie im Haushalt* die Lebensmittel Kaffee und Tee angesprochen werden, da die Schüler:innen aus dem familiären Umfeld das Kaffeekochen sowie das Aufbrühen von Tee bereits kennen.

In der Sekundarstufe II nimmt häufig der Konsum von Kaffee bei den Schüler:innen zu, sodass Kaffee, neben der Schokolade, einen hohen Alltagsbezug für die Schüler:innen aufweist, wodurch das Interesse an der Lebensmittelgruppe geweckt werden kann. Demnach sollten mindestens Kaffee und Schokolade als alkaloidhaltige Lebensmittel thematisiert werden. Die möglichen Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II ist zusammenfassend in Tabelle 5-29 dargestellt.

Tabelle 5-29 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben das Prinzip der Gaschromatographie“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …erklären das Funktionsprinzip der Gaschromatographie anhand von zwischenmolekularen Wechselwirkungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
Stoff-Teilchen	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]
Struktur-Eigenschaft	QP	**Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Reaktionsprodukten“ [Achtermann et al., 2017, S. 26] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung der Gaschromatographie in der Analytik“ [Achtermann et al., 2017, S. 26] • …reflektieren die gesundheitlichen Risiken beim Einsatz organischer Verbindungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 24]

Anhand von Tabelle 5-29 kann gezeigt werden, dass es für die alkaloidhaltigen Lebensmittel ebenfalls einige Anknüpfungspunkte an das Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II gibt. Die Schüler:innen sollen in der Einführungsphase die gesellschaftliche Relevanz organischer Verbindungen in ihrer Lebenswelt erkennen. Hier eignet sich die Auseinandersetzung mit den Alkaloiden Koffein, Theophyllin und Theobromin, die in den alltäglichen Lebensmitteln Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade enthalten sind. Zudem wird die Auseinandersetzung der

Schüler:innen mit der Gaschromatographie als analytisches Verfahren gefordert. Mithilfe von V 23 *Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O)* lernen die Schüler:innen ein neues und selteneres analytisches Verfahren kennen. So können die Schüler:innen verstehen aus welchen einzelnen Stoffen sich das Kaffeearomen zusammensetzt. Durch die Überleitung auf die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie kann ein weiteres neues analytisches Verfahren betrachtet werden, welches anhand von V 1 *Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)* eingeführt werden kann. Somit wird auch schon der Bereich der Berufsorientierung mit abgedeckt, sodass die Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen und Lebensmittelchemiker:innen behandelt werden. Durch die Betrachtung von alltäglichen Lebensmitteln können die Schüler:innen in der Qualifikationsphase erkennen, dass organische Substanzen in ihrem Leben von Bedeutung sind. Zudem wird die Gaschromatographie als Gerät der instrumentellen Analytik wieder aufgegriffen, sodass auch in der Qualifikationsphase das Kaffeearoma mittels GC-O beschrieben werden könnte.

Zudem gibt es im Kerncurriculum der Sekundarstufe II Themenfelder, die im Chemieunterricht umgesetzt werden können. Dazu gehören die Themen *Chemie im Alltag*, *Chemie und Ernährung*, *Chemie im Mund*, sowie *Chemie und Sport*. So könnte im alltäglichen Bereich nach der Betrachtung von Alkohol als Genussmittel auf weitere Genussmittel übergeleitet werden, sodass sich die Thematisierung von Kaffee eignen würde. Im Bereich der Ernährung könnte man den Schüler:innen das Thema der Alkaloide über moderne Getränke, wie beispielsweise Chai Latte, vermitteln. Verschiedene Zusatzstoffe in Schokoladen können betrachtet werden, ebenso wie der Zuckergehalt in kakaohaltigen Getränken. Bei *Chemie im Mund* könnte der Verzehr von Schokolade betrachtet werden und gesundheitliche Folgen, wie Karies, besprochen werden, aber auch die Lebensmittelsensorik mit einem Triangel-Test. Und wie bereits bei den alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks könnte im Themenfeld *Chemie und Sport* der Frage nachgegangen werden, wie sich der Gehalt an Koffein auf die sportliche Aktivität auswirken kann und ob ähnliche Folgen bei Theophyllin und Theobromin zu erwarten sind.

An das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I gibt es ebenfalls mögliche Anknüpfungspunkte, um die Thematik der alkaloidhaltigen Lebensmittel umzusetzen. Die möglichen Anknüpfungspunkte können Tabelle 5-30 entnommen werden.

Tabelle 5-30 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff- und Energieumwandlung	Ende 6	• …erläutern die Aufnahme von energiereicher Nahrung als Voraussetzung für Lebensvorgänge wie Bewegung und Aufrechterhaltung der Körpertemperatur“ [Jaeger et al., 2015, S. 94]
Stoff- und Energieumwandlung	Ende 8	• …erläutern die biologische Bedeutung von Verdauung als Prozess, bei dem Nährstoffe zu resorbierbaren Stoffen abgebaut werden“ [Jaeger et al., 2015, S. 94]

Demnach kann am Ende des 6. Jahrgangs die Aufnahme der energiereichen Nahrung durch den Verzehr von Schokolade oder kakaohaltiger Getränke thematisiert werden. Dabei sollte der Fettgehalt von Schokolade oder der Kohlenhydratgehalt von kakaohaltigen Getränken betrachtet werden, inklusive möglicher Folgen, wie Übergewicht. Zudem wird gefordert, dass die Schüler:innen am Ende des 8. Jahrgangs die Verdauung von Nährstoffen kennen sollen. Da sich die Prozesse mit alltäglichen Lebensmitteln besser visualisieren und verstehen lassen, können hier verschiedene Lebensmittelinhaltsstoffe der alkaloidhaltigen Lebensmittel herangezogen werden.

Zudem können alkaloidhaltige Lebensmittel in den Themenfolgen „Leben braucht Energie“ [Jaeger et al., 2015, S. 95] im Doppeljahrgang 7/8 und „Sinne erschließen uns die Umwelt“ [Jaeger et al., 2015, S. 95] im Doppeljahrgang 9/10 eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Lebensmitteln im Biologieunterricht liegt ein hoher Alltagsbezug vor und auch hier eignet sich der Einsatz der Lebensmittelsensorik, bei der ein Triangel-Test mit Schokolade durchgeführt werden kann.

Im Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II gibt es für die alkaloidhaltigen Lebensmittel sowohl in der Einführungs- als auch in der Qualifikationsphase mögliche Anknüpfungspunkte, die in Tabelle 5-31 zusammenfassend dargestellt werden.

Tabelle 5-31 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich alkaloidhaltige Lebensmittel an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Struktur und Funktion	EP	• …beschreiben den Bau und die wesentlichen Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle (Lipide, Proteine, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren)“ [Emmler et al., 2017, S. 22]
Information und Kommunikation	QP	• …erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn, […])“ [Emmler et al., 2017, S. 34]

Die Schüler:innen sollen in der Einführungsphase den Aufbau und die Eigenschaften von biologisch bedeutsamen Molekülen kennen. Dazu gehören neben den Kohlenhydraten auch die Fette, die gut anhand von Schokolade als alltägliches Lebensmittel für die Schüler:innen betrachtet werden kann. Weiterhin kann in der Qualifikationsphase mithilfe von Schokolade die Lebensmittelsensorik betrachtet werden, sodass über die Thematisierung der Entstehung des Geschmacks auf die Entstehung des Geruchs übergeleitet werden kann. Dadurch kann den Schüler:innen das Prinzip der Signaltransduktion vermittelt werden, wodurch sie die Übertragung von Signalen erläutern können.

5.4.4 Obst und Gemüse

Durch die in der Gesellschaft immer größer diskutierte Debatte über eine vegetarische Ernährung, wird im Seminar das Thema Obst und Gemüse betrachtet. Zudem gibt es immer wieder Diskussionen darüber, ob Bio-Produkte gesünder sind als konventionell angebaute Produkte, weshalb innerhalb des Seminars ein Vergleich zwischen konventionell und ökologisch angebauten Produkten durchgeführt wird. Da es eine Vielzahl an verschiedenen Obst- und Gemüsesorten gibt, die im Seminar und dieser Arbeit nicht alle angesprochen werden können, wurde eine kleine Auswahl getroffen. Nachdem die Studierenden einen Überblick zu Obst und Gemüse bekommen haben, wurde sich im Bereich des Obstes auf Orangen und Kiwis beschränkt, wohingegen beim Gemüse die Auswahl auf Rucola, Aubergine und Zucchini gefallen war. In der praktischen Laborarbeit wurde mithilfe der HPLC der Vitamin C-Gehalt in Orangen und Kiwis (konventionell und ökologisch angebaut) bestimmt und die Gehalte miteinander verglichen und diskutiert. Im Bereich des Gemüses wurde mithilfe der Photometrie der Nitratgehalt in Rucola, Zucchini und Aubergine gemessen und ebenfalls ein Vergleich zwischen konventionell und ökologisch angebauten Produkten angestrebt. Die erstellte PowerPoint-Präsentation für das Seminar ist im digitalen Anhang (D.1.1) dargestellt.

5.4.4.1 Gemüse

Zu Gemüse werden alle ein- oder zweijährige Pflanzenteile gezählt, die entweder roh, gekocht, konserviert oder anderweitig zubereitet vom Menschen verzerrt werden können. Bei der Zubereitung dürfen den Pflanzenteilen keine wesentlichen Bestandteile entzogen werden [Belitz et al., 2008, S. 795]. So lag der Pro-Kopf-Verbrauch an Gemüse in den Jahren 2020/2021 bei 109,4 Kilogramm, wie eine Statistik der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) ergeben hat [BLE, 2021a].

Gemüse kann anhand zwei verschiedener Gesichtspunkte eingeteilt werden. So kann die Einteilung einerseits nach der Botanik und andererseits nach Art und Herkunft erfolgen, wobei die Einteilung nach der Botanik seltener verwendet wird [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 357]. Daher wird hier nur auf die Einteilung nach der Art und Herkunft des Gemüses eingegangen, welche aus Tabelle 5-32 entnommen werden kann.

Tabelle 5-32 Einteilung von Gemüse nach Art und Herkunft [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 357; Schwedt, 2005, S. 193]

Gemüsearten	Beispiele
Wurzelgemüse	Kartoffeln, Karotten, Rüben, Sellerie, Rettich, Petersilie
Blattgemüse	Kohl, Spinat, Mangold
Salatgemüse	Kopfsalat, Eisbergsalat, **Rucola**
Stängel- und Sprottengemüse	Spargel, Rhabarber
Blütengemüse	Artischocke
Fruchtgemüse	Gurke, Tomate, **Aubergine**, **Zucchini**
Zwiebelgemüse	Zwiebel, Knoblauch
Gewürzgemüse	Petersilie, Schnittlauch
Pilze	Steinpilz, Champignons
Wildgemüse	Bärlauch, Brennnessel, Löwenzahn

Die verschiedenen Gemüsearten enthalten eine ähnliche Zusammensetzung, wobei diese je nach Gemüseart und Herkunft schwanken kann. Allen Gemüsearten ist ein hoher Wassergehalt von 80 – 90 % gemeinsam, was wiederrum bedeutet, dass die Trockenmasse meistens 10 – 20 % beträgt. In der Trockenmasse herrschen Kohlenhydrate, Stickstoffverbindungen sowie Lipide, Rohfaser und Mineralstoffe vor. Beim Gemüse sind aber nicht die Makronährstoffe wertbestimmend, sondern die Mikronährstoffe, wie Vitamine, Mineral- und Aromastoffe, sowie Ballaststoffe [Belitz et al., 2008, S. 795].

Gemüse enthält in der Regel einen durchschnittlich niedrigen Gehalt an Stickstoffverbindungen von 2 %, wovon der Großteil auf Proteine in Form von Enzymen, wie beispielsweise Lipoxygenase, Esterase, Peroxidase und Polyphenoloxidase, zurückzuführen ist. Die Enzyme

sind einerseits an der Ausbildung typischer Aromastoffe beteiligt, können andererseits aber auch für die Ausbildung von Fehlaromen, Verfärbungen sowie Gewebserweichungen verantwortlich sein. Neben den Proteinen liegen aber auch geringe Mengen an freien Aminosäuren und Peptiden vor [Belitz et al., 2008, S. 795; Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 358 f.].

In der Kohlenhydratfraktion, die bis zu 20 % der Trockenmasse von Gemüse ausmachen kann, sind vor allem Mono- und Disaccharide, sowie Polysaccharide vertreten. Als Monosaccharide sind vor allem Glucose und Fructose mit einem Gehalt von 0,3 – 4,0 % enthalten und als Disaccharid Saccharose mit 0,1 – 12,0 %. Der Anteil der Polysaccharide wird durch Stärke beziehungsweise Inulin, Cellulose, Hemicellulose und Pektin bestimmt. Stärke und Inulin dienen als Reservekohlenhydrate, wohingegen das Pektin für die Festigkeit des Gemüses verantwortlich ist [Belitz et al., 2008, S. 809 f.].

Der Lipidgehalt in Gemüsesorten ist generell gering und nimmt nur einen Anteil von 0,1 – 0,5 % ein. In der Lipidfraktion sind neben Carotinoiden und Triglyceriden auch Phospho- und Glykolipide enthalten. Als Carotinoid ist vor allem das β-Carotin in orangenen und grünen Gemüsearten zu finden [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 358 f.].

Frische Gemüsearten weisen häufig einen pH-Wert von 5,5 – 6,5 auf und sind demnach leicht sauer, sodass eine geringe Menge an organischen Säuren (0,2 – 0,4 %) in Gemüse enthalten ist. So kann neben Äpfel- und Zitronensäure auch Oxalsäure nachgewiesen werden [Belitz et al., 2008, S. 810].

Wichtige Inhaltsstoffe, die auch in großen Mengen im Gemüse enthalten sind, stellen die phenolischen Verbindungen dar. Die phenolischen Verbindungen weisen eine antioxidative Wirkung auf und sind aromaprägend. Sie liegen im Gemüse sowohl als Farb- und Gerbstoffe vor, aber auch Flavonoide sind enthalten. Die phenolischen Verbindungen bestehen im Allgemeinen aus einem oder mehreren aromatischen Ringen, wobei die aromatischen Ringe mehrere Hydroxylgruppen tragen [Baltes & Matissek, 2011, S. 509 f.]. Dabei wird der Gehalt an phenolischen Verbindungen in den Gemüsearten sowohl durch die Art, das Klima und den Reifegrad bestimmt [Belitz et al., 2008, S. 847]. Phenolische Verbindungen sind zudem essenziell für Pflanzen und damit für Gemüsearten, denn diese Verbindungen schützen die Pflanze/das Gemüse vor UV-Strahlung, oxidativem Stress, sowie vor Parasitenbefall und Fressfeinden [Cheynier et al., 2006] Aufgrund dieser Eigenschaften gehören die phenolischen Verbindungen zur Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe [Rimbach et al., 2010, S. 230]. Da die phenolischen Verbindungen zur Gruppe der sekundären Pflanzeninhaltsstoffen gehören, liegen sie im Gemüse überwiegend glykosidisch oder als Ester gebunden vor [Belitz et al., 2008, S. 847]. Die Bindungen können jedoch durch Lagerungs- und Verarbeitungsprozesse, wie beispielsweise

durch Licht und Temperatur, zersetzt werden. Bedingt durch die Anzahl der phenolischen Ringe, sowie deren Substituenten und Strukturelemente zwischen den Ringen, können die Polyphenole weiter unterteilt werden [Manach et al., 2004]. Es sind mehrere Einteilungsmöglichkeiten bekannt. In Abbildung 5-46 ist eine Einteilungsmöglichkeit der phenolischen Verbindungen dargestellt.

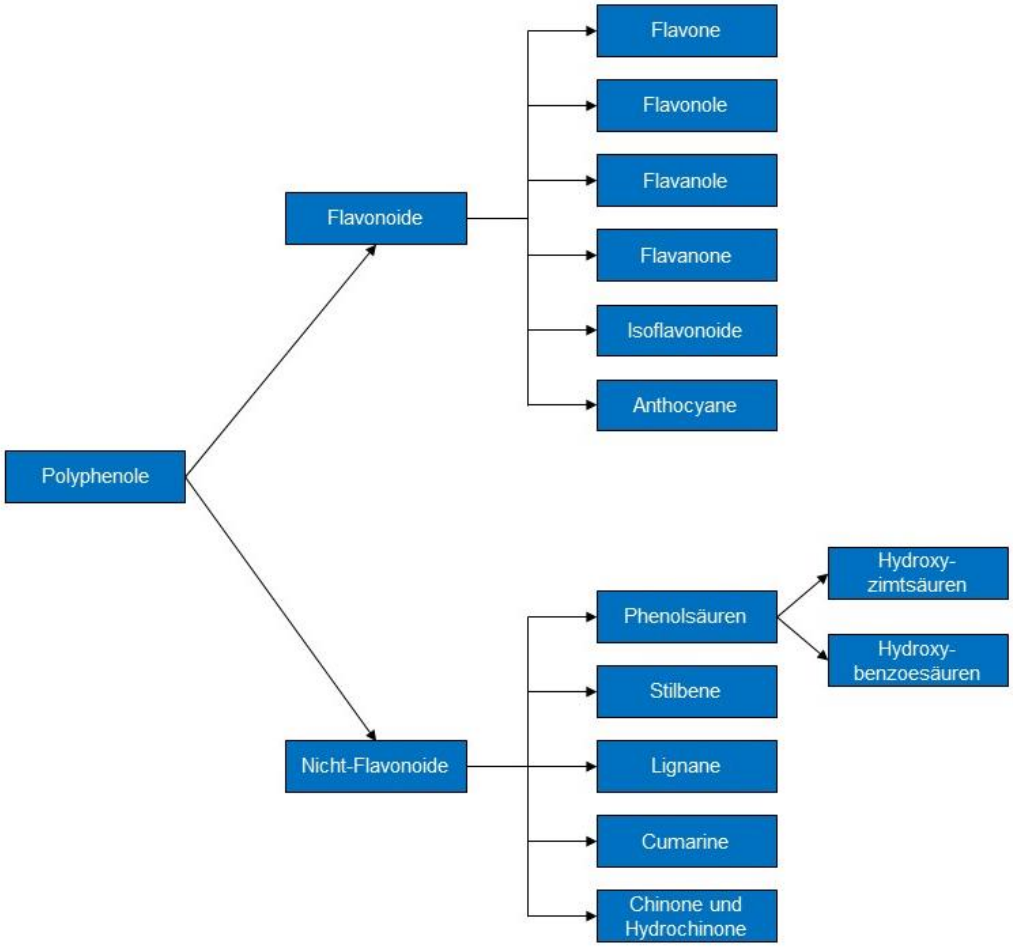


Abbildung 5-46 Einteilung der phenolischen Verbindungen [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 230]

Die Polyphenole lassen in zwei unterschiedliche Hauptgruppen, die Flavonoide und Nicht-Flavonoide, einteilen. Nach Rimbach et al. (2010) zählen zu den Nicht-Flavonoiden die Phenolsäuren, Stilbene, Lignane, Cumarine sowie Chinone und Hydrochinone, wobei die Phenolsäuren die Hauptuntergruppe der Nicht-Flavonoide darstellt. Die Phenolsäuren werden noch weiter in Hydroxybenzoesäuren und Hydroxyzimtsäuren klassifiziert. Im Gemüse kommen viele phenolische Verbindungen vor. Das sind vor allem Hydroxyzimt- und Hydroxybenzoesäuren, also Ester von Phenylcarbonsäuren, wie beispielsweise Chlorogensäure, bei der Kaffeesäure mit Chinasäure verestert ist [Belitz et al., 2008, S. 849]. Zudem liegen hydrolysierbare

Gerbstoffe und Salicylsäure vor. Gerade in pflanzlichen Lebensmitteln stellen die Flavanoide eine besondere Vielfalt an phenolischen Verbindungen dar, die überwiegend als Glykoside, gebunden an Glucose oder Rhamnose, vorliegen [Baltes & Matissek, 2011, S. 510]. Dies sind vor allem Flavanole, Flavone und Flavonole, aber auch Proanthocyanidine (farblose Vorstufen der Anthocyane). Gerade die Anthocyane spielen für die sensorischen Eigenschaften eine große Rolle, da diese an der Farbgebung beteiligt sind. Dabei sind die Eigenschaften der Anthocyane abhängig vom pH-Wert, wodurch diese farbige und farblose Formen annehmen können. Je nach pH-Wert liegt eine andere Farbe im Farbspektrum von rot bis blau vor und dementsprechend sind auch die Absorptionsmaxima unterschiedlich [Habermehl et al., 2008, S. 483; Manach et al., 2004]. In Abhängigkeit vom pH-Wert liegt im stark sauren Milieu ein Flavylium-Kation vor. Der Kohlenstoffring ist positiv geladen. Somit sind die Anthocyane gefärbte Flavyliumsalze [Belitz et al., 2008, S. 855]. In Abbildung 5-47 sind die chemischen Strukturen der Anthocyane in Abhängigkeit vom pH-Wert dargestellt.

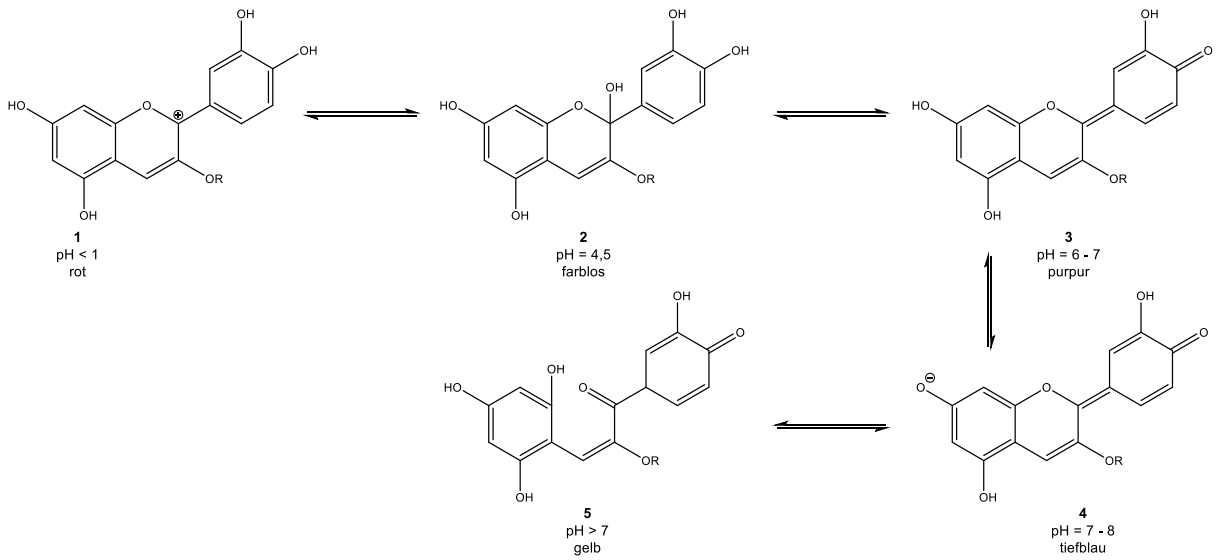


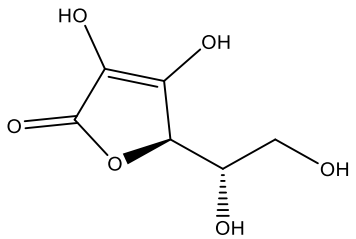
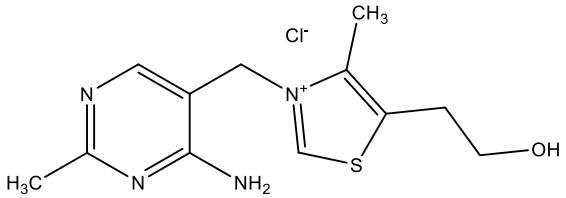
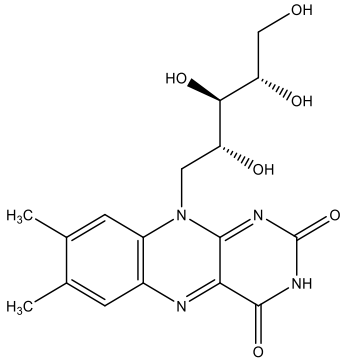
Abbildung 5-47 Chemische Strukturen und Farben der Anthocyane in Abhängigkeit vom pH-Wert [Belitz et al., 2008, S. 856]

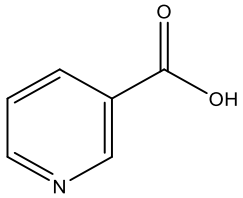
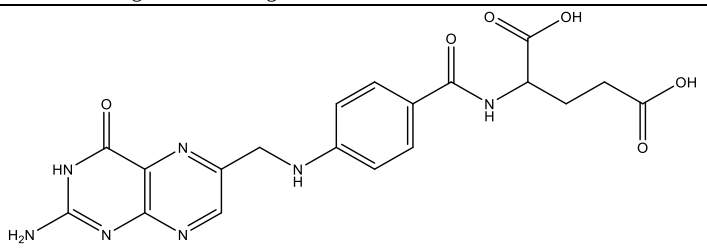
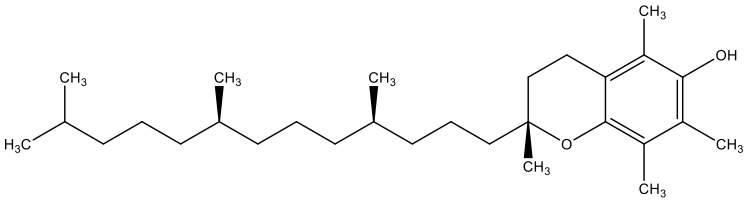
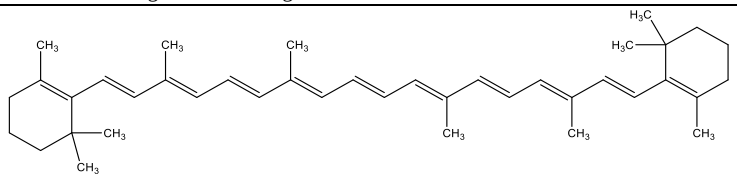
Die rote Farbe des Flavylium-Kations **(1)** ist nur bei einem sehr niedrigen pH-Wert von unter eins stabil. Mit steigendem pH-Wert (bei pH = 4,5) verliert das rote Flavylium-Kation seine Farbe und geht in das farblose Chromenol **(2)** über. Im neutralen pH-Bereich wird bei pH = 6 – 7 zunächst das purpurfarbene Chinoid **(3)** gebildet, welches bei pH = 7 – 8 in tiefblaue ionische Anhydridbasen **(4)** übergeht. Ein schwach basisches Milieu bewirkt eine Ringöffnung am Kohlenstoffring, wodurch es zur Bildung des Chalkons **(5)** kommt. Beim Chalkon handelt es sich um gelb gefärbte Pigmente. Im stark basischen Milieu kann durch mehrwertige

Metallionen, wie z. B. Aluminium (III)- oder Eisen(III)-Ionen, das System stabilisiert werden, wodurch sich stabile, blau gefärbte Chelatkomplexe ausbilden [Belitz et al., 2008, S. 855]. Die Anthocyane sind, wie bereits erwähnt, stark vom pH-Wert abhängig, da das vorliegende rote Flavylium-Kation sehr instabil ist. Aufgrund der Instabilität kann das Flavylium-Kation zu neutralen Substanzen umgesetzt werden. Dies ist auf zwei unterschiedlichen Wegen, durch Protonenübertragung oder nucleophile Addition von Wasser am C_2, möglich [Fulcrand et al., 2006].

Neben den phenolischen Verbindungen sind Aromastoffe wichtige Inhaltsstoffe von Gemüse. Dabei sind die enthaltenen Aromastoffe für jede Gemüseart individuell. Auch der Vitamingehalt von verschiedenen Gemüsearten unterliegt in Abhängigkeit von der Sorte und dem Klima starken Schwankungen [Belitz et al., 2008, S. 816]. In der Regel enthalten Gemüsearten viel Vitamin C, β-Carotin, Vitamin E sowie eine Reihe verschiedener B-Vitamine [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 60]. Am Beispiel der Aubergine ist in Tabelle 5-33 der Vitamingehalt mit den entsprechenden Strukturformeln dargestellt.

Tabelle 5-33 Vitamingehalte in Auberginen [Belitz et al., 2008, S. 817]

Vitamine der Aubergine	Gehalt [mg/100 g]	Strukturformel
Ascorbinsäure (Vitamin C)	5,00	 [eigene Darstellung nach Biesalski & Grimm, 2011, S. 159]
Thiamin (Vitamin B_1)	0,05	 [eigene Darstellung nach Biesalski & Grimm, 2011, S. 163]
Riboflavin (Vitamin B_2)	0,05	 [eigene Darstellung nach Biesalski & Grimm, 2011, S. 167]

Vitamine der Aubergine	Gehalt [mg/100 g]	Strukturformel
Nicotinsäure (Vitamin B_3)	0,60	 [eigene Darstellung nach Habermehl et al., 2008, S. 663]
Folsäure (Vitamin B_9)	0,03	 [eigene Darstellung nach Belitz et al., 2008, S. 426]
α-Tocopherol (Vitamin E)	0,03	 [eigene Darstellung nach Habermehl et al., 2008, S. 669]
β-Carotin (Provitamin A)	0,04	 [eigene Darstellung nach Biesalski & Grimm, 2011, S. 141]

Im Gemüse sind verschiedene Mineralstoffe enthalten, wobei Kalium den größten Anteil einnimmt. Neben Kalium sind Calcium, Natrium und Magnesium enthalten und als Anionen Carbonat, Phosphat und Chlorid [Belitz et al., 2008, S. 816]. Weitere Inhaltsstoffe, die je nach Gemüseart vorliegen, sind verschiedene Farbstoffe. Dazu zählen unter anderem Chlorophylle und Betalaine, sowie Carotinoide und Anthocyane. So sind die Chlorophylle vor allem in den Blättern und unreifen Fruchtgemüsen enthalten, wohingegen die Betalaine beispielsweise in roten Gemüsearten vorkommen [Belitz et al., 2008, S. 816 ff.].

Die Lagerfähigkeit ist bei den verschiedenen Gemüsearten unterschiedlich. So gibt es Gemüsearten, wie Salat und Spinat, die nur eine verhältnismäßig kurze Haltbarkeit aufweisen, wohingegen Wurzel- und Knollengemüse, wie Möhren, mehrere Monate gelagert werden können. Für Gemüse hat sich eine Kühllagerung mit hoher Luftfeuchtigkeit (80 – 95 %) als optimal herausgestellt, sodass die Gemüsearten während der Lagerung nur einen Gewichtsverlust von 2 – 10 % erleiden. Während der Lagerungszeit wird in den Gemüsearten der Gehalt an Vitamin C und der Carotinoide reduziert, ebenso wie der Gehalt an Stärke und Pektin. Daraus resultiert,

dass die Gemüsearten während der Lagerung weich werden und sich die Farbe verändert. Der Enzymgehalt in der Proteinfraktion nimmt ebenfalls ab, wohingegen der Gehalt an freier Säure zunimmt [Belitz et al., 2008, S. 822].

Rucola

Rucola ist ein Salatgemüse, das zur Pflanzenfamilie der *Brassicaceae* einzuordnen ist, welches häufig auch als Rauke bezeichnet wird. Diese Gemüseart besteht mit 93 – 96 % zum größten Teil aus Wasser und zeichnet sich durch einen scharfen Geschmack aus, welcher durch den Gehalt an Senföl (4-Methylsulfidbutylisothiocyanat) hervorgerufen wird. Zudem enthält Rucola höhere Gehalte an Vitamin C (30 – 100 mg/kg) und Folsäure. Gerade in den Wintermonaten werden in den Rucola-Blättern Nitrat und Nitrit, sowie die Mineralstoffe Cadmium und Zink angereichert [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 372 ff.]. Rucola ist zum direkten Verzehr geeignet, kann aber auch als Würzkraut, beispielsweise in Suppen, eingesetzt werden oder zum Garnieren von Pizza [Kammerer, 2011].

Aubergine

Die Aubergine ist ein Fruchtgemüse und wird der Pflanzenfamilie *Solanaceae* zugeordnet. Der Anbau erfolgt vor allem in Sudostasien, Amerika und Afrika, aber auch in den wärmeren Teilen von Europa. Aubergine wird in der Regel erhitzt verzehrt, wobei die sensorischen Eigenschaften in Form von Geruch, Geschmack und Textur fleischähnlich sind. Aus diesem Grunde wird Aubergine in der vegetarischen/veganen Küche häufig als Fleischersatzprodukt eingesetzt. Die Auberginen weisen eine dunkelviolette Färbung auf und schmecken im rohen Zustand ziemlich bitter. Der dunkelviolette Farbstoff wird vor allem durch das Glykosid Nasunin (Delphinidin-3-(4-p-cumaroyl)-L-rhamnosyl-(1,6)-glucosido-5-glucosid; Abbildung 5-48), einem glykosidisch gebundenen Anthocyan, hervorgerufen, welches einen Anteil von 0,02 % ausmacht [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 385 f.].

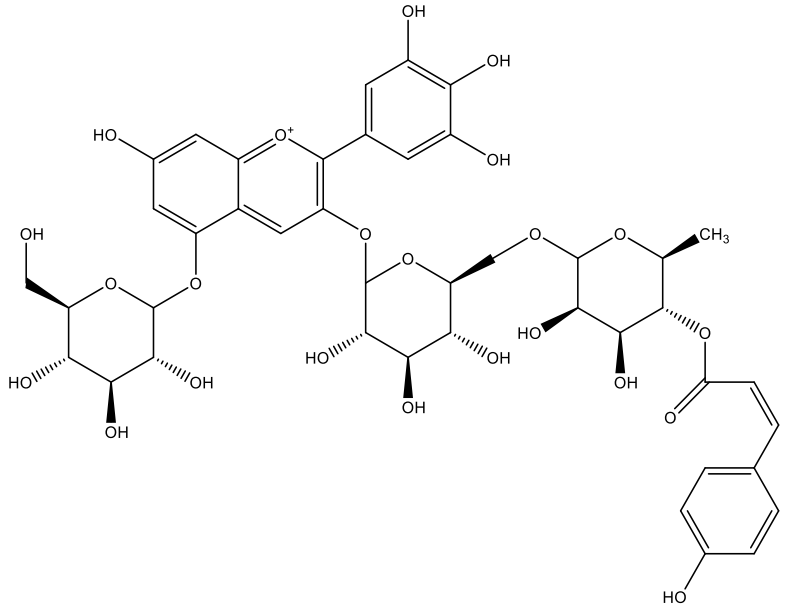


Abbildung 5-48 Darstellung der Strukturformel von Nasunin (Delphinidin-3-(4-p-cumaroyl)-L-rhamnosyl-(1,6)-glucosido-5-glucosid) [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 386]

Während das Anthocyan nur einen geringen Gehalt von 0,02 % einnimmt, besteht die Aubergine zu 92 % aus Wasser. Daneben sind Kohlenhydrate mit 6 %, Ballaststoffe mit 2,5 % und Proteine mit etwa 1 % enthalten. Die Gehalte an Lipiden, Vitaminen und Mineralstoffen sind bei der Aubergine hingegen vernachlässigbar gering [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 387].

Zucchini

Neben der Aubergine gehört auch die Zucchini zu den Fruchtgemüsen. Zucchini gehört zur Pflanzenfamilie *Curcurbitaceae*, welche sich durch einen sehr hohen Wassergehalt von mindestens 95 % auszeichnet. Ein weiteres Merkmal der *Curcurbitaceae* ist das typische Aroma. Beim Zerkleinerungsprozess wird das Aroma durch die ablaufende Peroxidation und durch die Spaltung der Lipide aus Linolsäure gebildet. Dieser Prozess verläuft enzymkatalysiert, wobei aromaaktive Aldehyde entstehen. Aufgrund des hohen Wassergehaltes sind Zucchinis und andere Gemüsesorten dieser Familie sehr kalorienarm. Neben Wasser enthalten die *Curcurbitaceae* Pektine und Cellulose in der Kohlenhydratfraktion, sodass die entsprechenden Formen der Gemüsesorten, mit Unterstützung der Lipide der Schale, erhalten bleiben. Bei der Lagerung der *Curcurbitaceae* wird das Pektin abgebaut, sodass das Gewebe an Festigkeit verliert und die Zucchini weich wird [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 379].

Zucchinis werden vor allem in Mitteleuropa und der USA angebaut, wobei neben grünen Früchten auch gelbe und grün-weiß gesprenkelte Früchte auftreten können. Die Früchte werden in der Regel erhitzt verzehrt, weil die Zucchinis im rohen Zustand sehr bitter sind. Die Bitterkeit wird vor allem durch die enthaltenen Steroidsaponine hervorgerufen. Auch die Zucchinis

enthalten 92 % Wasser, weisen einen Kohlenhydratanteil von 2,8 % in Form von Ballaststoffen, Stärke sowie Pektin auf und enthalten etwa 1,9 % Proteine. Das sind vor allem Proteine, die die Aminosäuren Lysin und Arginin enthalten [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 380].

Nitrat

Die besprochenen Gemüsearten sollen in der praktischen Laborarbeiten untersucht werden, wobei der Nitratgehalt mittels Photometrie bestimmt wird. Nitrat ist sowohl im Boden als auch in Düngemitteln in Form von Kaliumnitrat enthalten. Kaliumnitrat ist eine anorganische, stickstoffhaltige Verbindung, die für das Pflanzenwachstum von zentraler Bedeutung ist. Dabei wird das Nitrat aus dem Boden über die Wurzeln aufgenommen. Es folgt die Umwandlung, der Transport und gegebenenfalls die Speicherung des Nitrats in der Pflanze. Dabei gibt es Gemüsesorten, die mehr Nitrat speichern als andere [Göllner, 2020; Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (c)]. Eine Übersicht zum Nitratgehalt verschiedener Gemüsesorten kann Tabelle 5-34 entnommen werden.

Tabelle 5-34 Unterschiedliche Nitratgehalte in Gemüsesorten [Göllner, 2020]

hohe Nitratgehalte 1000 – 4000 mg/kg Nitrat	**mittlere Nitratgehalte 500 – 1000 mg/kg Nitrat**	**geringe Nitratgehalte unter 500 mg/kg Nitrat**
Blattgemüse: Kopfsalat, Eisbergsalat, Feldsalat, Spinat, Mangold, **Rucola**	Wurzel- und Knollengemüse: Karotten, Kohlrabi, Sellerie	Fruchtgemüse: Erbsen, Gurke, Paprika, grüne Bohnen, Tomate
Kohlgemüse: Grünkohl, Weißkohl, Wirsing	Kohlgemüse: Blumenkohl	Kohlgemüse: Rosenkohl
Wurzelgemüse: Rote Beete, Radieschen, Rettich	Zwiebelgemüse: Lauch	Zwiebelgemüse: Knoblauch, Zwiebeln
	Fruchtgemüse: **Auberginen, Zucchini**	

Wie aus der Tabelle entnommen werden kann, weisen die verschiedenen Gemüsesorten unterschiedliche Nitratgehalte auf. Wie viel Nitrat in einer Pflanze enthalten ist, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Dazu gehören neben der Pflanzenart die Lichtverhältnisse, die Art und der Umfang der Düngung und auch die Bodenzusammensetzung [Göllner, 2020].

Werden unterschiedliche Pflanzenarten miteinander verglichen, so fällt auf, dass es Gemüsearten gibt, die mehr Nitrat speichern als andere. Zu den Pflanzen, die viel Nitrat anreichern können, gehören vor allem Blatt- und Wurzelgemüse, wie beispielsweise Spinat, grüner Salat

und Rucola (weit mehr als 1000 mg/kg). Diese Gemüsesorten enthalten das Nitrat in Pflanzenteilen, in denen das Nitrat zu den Stoffwechselsystemen oder Speicherorganen der Pflanze transportiert wird. Dies sind vor allem die Wurzeln, Blätter und die Stiele, weswegen Blatt- und Wurzelgemüse mehr Nitrat aufweisen im Vergleich zu Fruchtgemüse, wie beispielsweise Tomate, Paprika und Gurke (unterhalb von 500 mg/kg) [Göllner, 2020].

Des Weiteren wird der Nitratgehalt in Gemüsesorten durch die vorherrschenden Lichtverhältnisse bestimmt. Je mehr Licht auf eine Gemüsesorte einfällt, desto weniger Nitrat kann nachgewiesen werden. Somit besitzen die Gemüsesorten beispielsweise im Winter mehr Nitrat als im Sommer. Auch der Erntezeitraum spielt eine wichtige Rolle, denn wenn Spinat am Nachmittag eingebracht wird, dann enthält dieser weniger Nitrat, als wenn er morgens vor Sonneneinstrahlung geerntet wird [Göllner, 2020].

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Faktoren wird zum Vergleich von ökologisch und konventionell angebauten Gemüsesorten die Düngung betrachtet. Während bei konventionell angebauten Pflanzenarten vor allem Mineraldünger (anorganische Dünger) verwendet werden, die viel Nitrat enthalten, dürfen beim ökologischen Anbau von Pflanzen ausschließlich organische Dünger (tierische und pflanzliche Abfälle) angewendet werden. Ein Vergleich des Bayerischen Landesamts für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL Bayern) bezüglich des Nitratgehaltes in konventionell und ökologisch angebauten Gemüsesorten zeigt, dass die Gemüsearten aus ökologischem Anbau in der Regel geringere Nitratgehalte aufweisen als die Gemüsearten aus konventionellem Anbau [Banspach, 2012].

Der Mensch nimmt täglich etwa 90 mg Nitrat durch den Verzehr von Lebensmitteln auf [Göllner, 2020]. In Tabelle 5-35 wird die durchschnittliche tägliche Aufnahme von Nitrat über Lebensmittel dargestellt.

Tabelle 5-35 Tägliche durchschnittliche Aufnahme von Nitrat durch den Menschen durch den Verzehr von Lebensmitteln [Göllner, 2020]

Lebensmittel	Nitrataufnahme pro Tag [mg]	Anteil [%]
Gemüse	52,1	61,7
Trinkwasser	22,2	26,3
Getreideprodukte	3,4	4,0
Obst	3,3	3,9
Fleischprodukte/Wurstwaren	2,2	2,6
Milch/Milchprodukte	0,7	0,8
Frischfleisch	0,6	0,7
Gesamt	**84,5**	**100,0**

Aus der Tabelle kann entnommen werden, dass der größte Teil der Nitrataufnahme über pflanzliche Lebensmittel in Form von Gemüse erfolgt. Somit stellt die tägliche Nitrataufnahme gemäß der World Health Organization (WHO) kein Problem dar, da der Grenzwert von 3,65 mg Nitrat pro Kilogramm Körpergewicht und Tag in der Regel deutlich unterschritten wird und das Nitrat selbst unbedenklich für den menschlichen Körper ist. Problematisch ist hingegen, dass Nitrat im menschlichen Körper zu Nitrit umgewandelt werden kann. So kann beispielsweise das Nitrat im Mundraum oder im Magen durch die vorherrschenden Bakterien zu Nitrit umgesetzt werden [Göllner, 2020]. Auch in Lebensmitteln kann aus dem Nitrat Nitrit gebildet werden. Das passiert beispielsweise, wenn man nitratreiche Lebensmittel langsam abkühlen lässt und erneut erwärmt. Das ist der Grund, warum man Spinat nicht wieder aufwärmen soll. Das Problem, was Nitrit für den menschlichen Körper mit sich bringt, ist, dass das Nitrit weiterreagieren kann, wodurch Nitrosamine entstehen, die krebserregend wirken können. Für Säuglinge und Kleinkinder besteht ein zusätzliches Risiko durch die Bildung von Nitrit, da dieses das Hämoglobin im Blut zu Methämoglobin umwandeln kann. Dadurch wird der Sauerstofftransport im Blut gehemmt, wodurch für Säuglinge und Kleinkinder Lebensgefahr besteht, da in dieser Altersgruppe das entsprechende Enzymsystem noch nicht ausgeprägt ist, welches das Methämoglobin wieder in Hämoglobin umwandeln kann [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (c)]. Dennoch bringt die Nitrataufnahme nicht nur Risiken mit sich, sondern kann sich auch positiv auswirken. So steht die Nitrataufnahme in Zusammenhang mit einer Leistungssteigerung in der Oberschenkelmuskulatur. Zudem soll sich eine moderate Nitrataufnahme positiv auf die Senkung des Blutdrucks und des Blutzuckerspiegels auswirken [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (c)]. Um die Gefahren durch den Verzehr nitratreicher Lebensmittel vorzubeugen, wurden im Lebensmittelrecht einige Grenzwerte und Höchstgehalte festgelegt. So ist gemäß § 6 i. V. m. Anhang 2 Teil I der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) ein Grenzwert für Nitrat von 50 mg/L in Trinkwasser festgelegt worden. Daneben gibt es Höchstmengengehalte für bestimmte nitratreiche Lebensmittel, die aus Tabelle 5-36 entnommen werden können. Hierbei wird Nitrat als Kontaminant in Lebensmitteln geführt, dessen Höchstmengengehalte in Art. 1 i. V. m. Anhang Abschnitt I der Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (VO (EG) Nr. 1881/2006) aufgeführt sind [Meyer, 2021d, S. 20].

Tabelle 5-36 Höchstmengenregelungen im Lebensmittelrecht für nitratreiche Lebensmittel [Meyer, 2021d, S. 20]

Lebensmittel	maximal zulässiger Höchstgehalt an Nitrat [mg/kg]	weitere Informationen/ Einschränkungen
frischer Spinat	3500	-
haltbar gemachter Spinat (gefroren/tiefgefroren)	2000	-
frischer Salat (gilt nicht für den Salat des Typs „Eisberg“)	5000	Ernte vom 01.10. – 31.03. unter Glas/Folie angebaut
	4000	Ernte vom 01.10. – 31.03. im Freiland angebaut
	4000	Ernte vom 01.04. – 30.09. unter Glas/Folie angebaut
	3000	Ernte vom 01.04. – 30.09. im Freiland angebaut
Salat des Typs „Eisberg“	2500	unter Glas/Folie angebaut
	2000	im Freiland angebaut
Rucola	7000	Ernte vom 01.10. – 31.03.
	6000	Ernte vom 01.04. – 30.09.

Die Verbraucher:innen können zusätzlich zu den festgelegten Höchstmengen einen Beitrag zu einer geringeren Nitrataufnahme leisten, indem sie saisonales Gemüse kaufen. Optimalerweise sollte das Gemüse im Freiland angebaut worden sein, da Freilandgemüse in der Regel weniger Nitrat enthält als Gemüse, welches in Gewächshäusern angebaut worden ist. Wird selbst Gemüse im Garten angebaut, sollte man das nitratreiche Gemüse am Nachmittag ernten, denn nachmittags wird nicht so viel Nitrat gespeichert. Bei Säuglingen und Kleinkindern sollte lieber auf nitratärmeres Gemüse ausgewichen werden. Erwachsene, die viel nitratreiches Gemüse konsumieren, sollten dies mit Vitamin C-haltigen Lebensmitteln kombinieren, da das Vitamin C die Bildung von Nitrosaminen hemmen kann. Auch durch eine gezielte Gemüsezubereitung kann die Nitrataufnahme reduziert werden. So ist es erstmal wichtig, dass das Gemüse gewachsen und von besonders nitrathaltigen Bestandteilen, wie beispielsweise Stielen und äußeren Hüllblättern, befreit wird. Zudem kann der Nitratgehalt durch das Blanchieren und Kochen verringert werden, wobei wichtig ist, dass das heiße Wasser, welches viel Nitrat enthält, nach dem Kochen nicht weiterverwendet wird. Um die Umwandlung in Nitrit zu vermeiden, sollte nitratreiches Gemüse immer schnell abgekühlt und im Kühlschrank aufbewahrt werden und tiefgefrorenes Gemüse direkt zubereitet werden [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (c)].

5.4.4.2 Obst

Unter den Oberbegriff Obst zählen alle Früchte, Schalenfrüchte sowie Samen mehrjähriger Pflanzen, die in der Regel roh verzehrt werden [Belitz et al., 2008, S. 831]. Mit einem Pro-Kopf-Verbrauch von 72,1 Kilogramm im Jahr 2020/2021 wurde weniger Obst im Vergleich zum Gemüse verzehrt [BLE, 2021b]. Wie auch das Gemüse kann Obst nach der Sorte in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Die Einteilung kann Tabelle 5-37entnommen werden.

Tabelle 5-37 Einteilung von Obst nach der Sorte [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 409; Schwedt, 2005, S. 203]

Obstsorte	Beispiele
Beerenobst	Stachelbeere, Weintraube, Heidelbeere, Johannisbeere (echte Beeren)
	Himbeere, Brombeere (Beerenähnlich)
	Erdbeere, Feige (falsche Beeren; Scheinbeeren)
Kernobst	Apfel, Birne, Quitte
Schalenobst	Erdnüsse, Walnüsse, Mandeln, Pistazien
Steinobst	Aprikose, Kirsche, Pflaume, Pfirsich
Südfrüchte	Zitrusfrüchte: Orange, Zitrone, Kiwi
Wildfrüchte	Holunderbeere, Schlehe, Hagebutte
Kapselfrüchte	Banane

Wie auch beim Gemüse weisen die verschiedenen Obstsorten eine ähnliche Zusammensetzung auf, die jedoch in Abhängigkeit der Sorte und des Reifezustands starken Schwankungen unterliegt. Nur die Schalenfrüchte, wie Erdnüsse und Mandeln, weisen eine ganz andere Zusammensetzung auf. Während bei den Schalenfrüchten nur ein Wassergehalt von 10 % vorliegt, zeigen die anderen Obstarten einen Wassergehalt von 80 – 90 %. Daraus resultiert für die Schalenfrüchte eine Trockenmasse von 90 %, wohingegen die anderen Obstarten eine Trockenmasse von 10 – 20 % aufweisen. Die Trockenmasse bei Schalenfrüchten besteht zum größten Teil aus Lipiden und Proteinen. Die Trockenmasse der anderen Obstarten hingegen vor allem aus Mono- und Disacchariden, sowie Polysacchariden und organische Säuren. Daneben sind auch verschiedene Stickstoffverbindungen, Lipide, Farbstoffe sowie Aromastoffe, Vitamine und Mineralstoffe im Obst enthalten [Belitz et al., 2008, S. 831]. In unreifen Früchten überwiegt dabei der Anteil an Stärke, die mit zunehmendem Reifegrad vor allem zu Glucose abgebaut wird [Baltes & Matissek, 2011, S. 521 f.].

Der Gehalt an stickstoffhaltigen Verbindungen liegt bei 0,1 – 1,5 %, wobei der Anteil an Proteinen und freien Aminosäuren in etwa ausgeglichen ist. Bei den Proteinen handelt es sich vor allem um Enzyme. Das sind unter anderem Enzyme, die am Kohlenhydrat- (Amylasen, Saccharasen), Fett- (Lipasen, Lipoxygenasen) und Proteinstoffwechsel (Proteinasen,

Transaminasen) beteiligt sind, aber auch Enzyme des Citratzyklus. Zudem liegen Peroxidasen und Polyphenoloxidasen vor. Das Aminosäuremuster ist hingegen für jede Obstart charakteristisch und kann nicht pauschalisiert werden [Belitz et al., 2008, S. 831].

In der Kohlenhydratfraktion herrschen vor allem Glucose und Fructose als Monosaccharide und Saccharose als Disaccharid vor. In welchem Verhältnis die Glucose, Fructose und Saccharose zueinanderstehen, hängt ebenfalls von der Obstart ab. So enthalten Kirschen beispielsweise keine Saccharose, wohingegen in Pfirsichen der Saccharosegehalt höher ist als der Gehalt an Glucose und Fructose zusammen. Neben den Mono- und Disacchariden sind Zuckeralkohole enthalten, vor allem in Kern- und Steinobst in Form von Sorbit. Als Polysaccharide finden sich Cellulose, Hemicellulose sowie Pektin. Stärke ist hingegen nur in unreifen Früchten, mit der Ausnahme von Bananen und Schalenfrüchten, enthalten [Belitz et al., 2008, S. 840 ff.].

Die Lipidfraktion ist bei Obstarten, mit der Ausnahme von Schalenfrüchten, vernachlässigbar klein und nimmt nur einen Anteil von 0,1 – 0,5 % ein. Dabei wird der Anteil durch Triglyceride, Carotinoide, sowie Fruchtwachse und Triterpenoide gebildet. Der größte Anteil entfällt auf die Carotinoide, die einen Beitrag zur Farbe des Obstes leisten. So enthalten beispielsweise Apfelsinen viele Carotinoide in Form von β-Carotin und Zeaxanthin. Die Triterpenoide sind für die Ausbildung eines bitteren Geschmacks verantwortlich. Limonin dient beispielsweise als Bitterstoff, sodass Apfelsine und Grapefruit anhand dessen Gehaltes unterschieden werden können. Der Unterschied liegt im Reifeprozess, bei dem Limonin in Apfelsinen abgebaut wird, in Grapefruit jedoch konstant erhalten bleibt. Zudem wird die Schale einiger Früchte mit einer Wachsschicht geschützt, sodass in der Lipidfraktion auch Ester, Alkohole, Aldehyde, Ketone, freie Fettsäuren und Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden können [Belitz et al., 2008, S. 843 ff.].

Organische Säuren sind in Obst genauso enthalten, wie im Gemüse, wobei der Anteil im Obst jedoch höher ist. Es dominieren Äpfel- und Zitronensäure, sowie phenolische Säuren. Dazu zählen China- und Kaffeesäure, sowie Chlorogen- und Shikimisäure [Baltes & Matissek, 2011, S. 522]. Der Gehalt an phenolischen Verbindungen im Obst entspricht dem vom Gemüse (Kapitel 5.4.4.1).

Die Aromastoffe sind für die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln von zentraler Bedeutung. Beim Obst werden die entsprechenden Aromastoffe erst während des Reifeprozesses gebildet, sobald vom anaeroben auf den katabolen Stoffwechsel umgestellt wird. Dabei sind die Substanzen, die an der Aromabildung beteiligt sind, charakteristisch für jede Obstart. So herrschen beispielsweise in Zitrusfrüchten Terpene, wie beispielsweise Limonen, vor und in

Kirschen Alkohole, Säuren und Ester. Das optimale Aroma ist leider nicht stabil und wird während der Lagerung schnell abgebaut. Zudem kann sich das Aroma verändern, wenn Obst erhitzt wird, da die Aromastoffe aus den Glykosiden freigesetzt werden, aber auch durch Oxidationsvorgänge sowie der Anlagerung von Wasser [Baltes & Matissek, 2011, S. 523 f.].

Hauptvitamin beim Obst ist das Vitamin C, welches in der praktischen Laborarbeit untersucht werden soll. Daneben sind vor allem β-Carotin und die B-Vitamine, sowie Vitamin E vertreten. Wie auch beim Gemüse nimmt Kalium den größten Anteil der Mineralstoffe ein. Daneben kommen Calcium, Natrium, Magnesium und Eisen vor. Als Anionen sind vor allem Phosphate zu finden [Belitz et al., 2008, S. 867 ff.].

Während des Reifeprozesses laufen beim Obst verschiedene chemische Reaktionen ab, die eine stoffliche Veränderung mit sich bringen. So sinkt innerhalb der Kohlenhydratfraktion der Stärkegehalt mit zunehmendem Reifegrad. Entsprechend dazu steigt der Gehalt an Zuckern, einerseits durch den Stärkeabbau und andererseits durch den Abbau von Hemicellulosen, an. Daneben sind Veränderungen in der Pektinfraktion zu beobachten. Es kommt zur Verringerung des Molekulargewichtes sowie zu Demethylierungen. Zudem wird unlösliches Pektin in lösliches umgewandelt, woraus ein Weichwerden der Früchte resultiert. Der adstringierende Geschmack wird durch die Bindungen von Kohlenhydraten an die Phenole abgeschwächt, sodass der typische Geschmack der Früchte ausgebildet werden kann. Der Gehalt an Proteinen steigt durch die erhöhte Produktion an Enzymen an, wohingegen der Gehalt an Enzyminhibitoren sinkt [Belitz et al., 2008, S. 871 f.]. Zudem nimmt der Säuregehalt in der Regel im Laufe der Reifezeit ab und das Verhältnis der einzelnen Säuren kann sich verändern. Eine Ausnahme stellt die Zitrone dar, denn bei der Zitrone steigt der Säuregehalt innerhalb des Reifeprozesses an. Auch im Bereich der Farbstoff treten stoffliche Änderungen auf, denn der Reifeprozess von Früchten geht mit einer Farbänderung einher. Der Chlorophyllgehalt sinkt, wodurch die grüne Farbe abnimmt, und die Farbstoffe der reifen Früchte können in den Vordergrund rücken. Farbstoffe, beispielsweise Anthocyane, werden synthetisiert, sodass die Früchte entsprechende charakteristisch gefärbt vorkommen. Weiterhin werden in dieser Phase typische Aromastoffe der Früchte ausgebildet. Dabei ist die Bildung des typischen Aromas von verschiedenen äußeren Faktoren abhängig. Dazu zählt die Temperatur, gerade die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht [Belitz et al., 2008, S. 872].

Der Reifeprozess von Früchten kann durch die Anwendung von Ethylen positiv beeinflusst werden. Die Zugabe von Ethylen erhöht die Durchlässigkeit der Zellmembranen, sodass ein beschleunigter Stoffwechsel der Frucht resultiert und damit die Reife beschleunigt wird. So

kann bei einigen Früchten, wie beispielsweise Ananas und Melone, vor der Ernte und bei anderen Früchten, wie Bananen und Zitrusfrüchten, nach der Ernte eine Anwendung mit Ethylen erfolgen. Dabei wird durch die Behandlung vor der Ernte eine schnellere und gleichmäßigere Reifung der Früchte erreicht. Nach der Ernte dient Ethylen als Beschleuniger für den Reifegrad [Belitz et al., 2008, S. 872 ff.].

Einige Früchte werden demnach bereits reif geerntet, andere reifen hingegen erst bei Lagerung weiter, weshalb die Lagerung von Früchten von zentraler Bedeutung ist. Die Früchte können dabei auf zwei unterschiedliche Arten gelagert werden, zum einen durch Kühllagerung und zum anderen durch eine Lagerung in kontrollierter Atmosphäre. Je nach Obstart können die Bedingungen bei der Kühllagerung variieren. In der Regel wird die Kühllagerung jedoch bei - 1 °C – + 2 °C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 – 90 % und guter Belüftung durchgeführt. Dabei erleiden die Früchte einen Gewichtsverlust von 3 – 10 %, weil ein Teil des Wassers verdampft. Je nach Obstart kann die Lagerfähigkeit stark variieren. So können Äpfel beispielsweise 4 – 8 Monate gelagert werden, wohingegen Erdbeeren nur 1 – 2 Wochen und Kirschen nur 4 – 5 Tage lagerfähig sind. Bei der Lagerung unter kontrollierter Atmosphäre wird die verwendete Luft durch einen höheren Kohlenstoffdioxidgehalt im Vergleich zum Sauerstoffgehalt charakterisiert. Je nach Obstart muss die Atmosphäre entsprechend angepasst werden, denn durch einen zu hohen Sauerstoffgehalt kann der Reifeprozess beschleunigt werden, wohingegen zu viel Kohlenstoffdioxid in der Luft zu Fehlaromen führen kann. Dies kann aus der Bildung von Acetaldehyd und Ethanol aus der ablaufenden Glykolyse resultieren. Zudem können durch zu hohe Kohlenstoffdioxidgehalte Verfärbungen der Früchte hervorgerufen werden [Belitz et al., 2008, S. 874].

Kiwi

Die Kiwi, die entweder frisch, als Saft oder in Form von Smoothies konsumiert werden kann, gehört zur Gruppe der Südfrüchte und kommt in verschiedenen Varianten vor, die unterschiedliche Größen aufweisen. So können sich die Kiwis in der Farbe des Fruchtfleisches unterscheiden, wobei es Kiwis mit grünem und Kiwis mit gelbem Fruchtfleisch gibt. Dies kann anhand der enthaltenen Farbstoffe erklärt werden, denn bei den Kiwis mit grünem Fruchtfleisch überwiegt der Anteil an Chlorophyll, wohingegen Kiwis mit gelbem Fruchtfleisch mehr Carotinoide enthalten. Innerhalb der Größe können sowohl sehr kleine als auch sehr große Kiwis auftreten. Kiwis weisen wie die meisten Obstarten einen hohen Wassergehalt auf und enthalten unter anderem Kohlenhydrate, Ballaststoffe, Proteine und Vitamin C [Ebermann & Elmadfa, 2011,

S. 430]. Die durchschnittliche Zusammensetzung einer Kiwifrucht kann Tabelle 5-38 entnommen werden.

Tabelle 5-38 Durchschnittliche Zusammensetzung einer Kiwifrucht [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 430]

Inhaltsstoff	Gehalt
Wasser	83,0 %
Proteine	1,0 %
Fette	0,4 %
Kohlenhydrate	15,0 %
Ballaststoffe	3,4 %
Asche	0,6 %
Vitamin C	75 mg/100 g

Daneben sind als Farbstoffe Chlorophyll und Carotinoide, vor allem β-Carotin und Lutein, enthalten, sowie phenolische Verbindungen in Form von Flavonoiden, ebenso wie Aromastoffe. Für das typische Aroma von Kiwis sind vor allen zwei Alkohole, *cis*-2-Penten-1-ol und *trans*-3-Hexen-1-ol (Abbildung 5-49), verantwortlich [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 430].

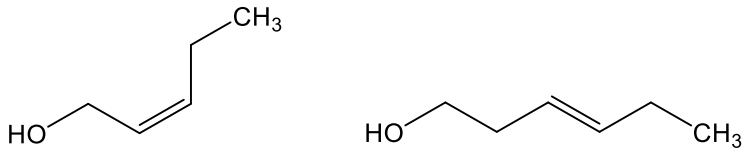


Abbildung 5-49 Darstellung der Strukturformeln der wichtigsten Aromastoffe der Kiwi; links: *cis*-2-Penten-1-ol [eigene Darstellung nach Kalalian et al., 2020] und rechts: *trans*-3-Hexen-1-ol [eigene Darstellung nach Kalalian et al., 2020]

Orangen

Orangen, die häufig auch Apfelsinen genannt werden, gehören zur Gruppe der Zitrusfrüchte und damit zu den Südfrüchten. Bei der Orange sind zwei Arten vertreten, die Süßorange (*Citrus sinensis*) und die Bitterorange (*Citrus aurantium*), wobei es im Folgenden ausschließlich um die Süßorange geht. Die Orangenschale besteht aus verschiedenen Schichten, die durch unterschiedliche Vitamin C-Gehalte charakterisiert werden. So weist die Orangenschale unter der Epidermis weitere zwei Schichten auf. Die eine Schicht ist gelb gefärbt, wird als „Flavedo-Schicht“ bezeichnet und enthält die Öldrüsen der Orangenschale. Die „Flavedo-Schicht“ enthält viel Vitamin C mit einem Anteil von 175 – 292 mg/100 g. Die zweite Schicht, die unterhalb der gelben Schicht liegt, zeigt eine weiße Färbung, wird „Albedo-Schicht“ genannt und zeichnet sich durch einen Vitamin C-Gehalt von 86 – 194 mg/100 g aus. Unterhalb der Schalenschichten liegt das Fruchtfleisch der Orange, welches die Kernzone mit den Samen umschließt.

Das segmentierte Fruchtfleisch enthält hingegen mit etwa 50 mg/100 g im Vergleich zu den Schalenschichten nur wenig Vitamin C [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 444].

Ebenso wie bei der Kiwi ist der Wasseranteil in Orangen mit über 80 % hoch. Daneben sind unter anderem auch Kohlenhydrate, Fette, Proteine und Vitamin C enthalten. Die durchschnittliche Zusammensetzung der Süßorange ist in Tabelle 5-39 dargestellt.

Tabelle 5-39 Durchschnittliche Zusammensetzung einer Süßorange [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 444]

Inhaltsstoff	Gehalt
Wasser	87,0 %
Proteine	0,7 %
Fette	0,2 %
Kohlenhydrate	11,5 %
Ballaststoffe	2,4 %
Asche	0,4 %
Vitamin C	50 mg/100 g

Dabei besteht die Kohlenhydratfraktion überwiegend aus Glucose, Fructose und Saccharose. Neben Vitamin C enthalten Orangen auch andere Vitamine, die mengenmäßig jedoch vernachlässigbar sind. Der saure Geschmack wird durch Zitronensäure hervorgerufen, dessen Anteil etwa 1 % ausmacht. Weitere wichtige Inhaltsstoffe stellen die Carotinoide als Farbstoffe dar. Vertreter sind dabei vor allem β-Citraurin, β-Carotin, Zeaxanthin und Lutein, die überwiegend in der Schale lokalisiert sind. Im Fruchtfleisch ist der Anteil an Carotinoiden bedeutend geringer als in der Schale. Zudem sind viele phenolische Verbindungen vertreten, die an unterschiedlichen Stellen in der Orange lokalisiert sind. So sind in den Öldrüsen der Schale vor allem Flavonoide, dessen wichtigsten Vertreter Hesperidin und Narirutin sind, sowie Flavone enthalten, wohingegen im Fruchtfleisch die Anthocyane die typische Farbe hervorrufen. Daneben sind auch phenolische Säuren, wie Cumar-, Ferula-, Sinapin- und Kaffeesäure, enthalten. Als Aromastoffe dominieren die in der Schale lokalisierten Terpene, wobei der Anteil an ätherischen Ölen etwa 1 % beträgt. Die wichtigsten Vertreter sind Limonen (Abbildung 5-50, rechts) in der „Flavedo-Schicht“ und im Fruchtfleisch kommen oxidierte Terpene sowie Ester vor. Bekannte Substanzen stellen Linalool (Tabelle 5-25) und Nerol (Abbildung 5-50, links) dar [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 444 f.].

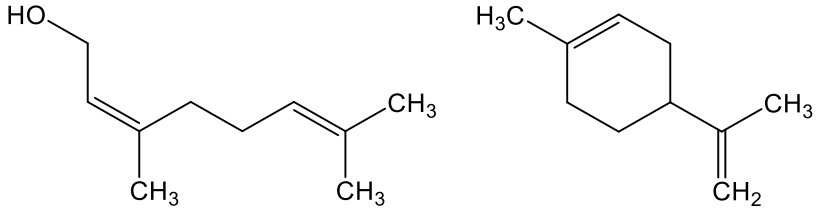


Abbildung 5-50 Darstellung der Strukturformeln der wichtigsten Aromastoffe der Orange; links: Nerol [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 242] und rechts: Limonen [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 244]

Vitamin C

Vitamin C (Ascorbinsäure; Strukturformel siehe Tabelle 5-33) ist ein essenzielles Vitamin, welches vom Körper selbst nicht synthetisiert werden kann und daher mit der Nahrung aufgenommen werden muss. Es ist natürlicherweise in pflanzlichen Lebensmitteln, vor allem Obst (Beeren und Zitrusfrüchte) und Gemüse (Kohl und Paprika), enthalten [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 188]. Dabei liegt der Tagesbedarf einen erwachsenen Menschen bei 100 mg, wobei schwangere und stillende Frauen, sowie rauchende Personen, einen höheren Tagesbedarf an Vitamin C haben [Biesalski & Grimm, 2011, S. 160].

Der Vitamin C-Gehalt in Lebensmitteln ist allgemein von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören unter anderem die Dauer des Transports, die Art und Dauer der Lagerung, der Standort mit den klimatischen Bedingungen, die Dauer der Sonneneinstrahlung, sowie der Erntezeitpunkt, der Reifegrad und im Allgemeinen die Sorte. In Abhängigkeit der dargestellten Faktoren kann jedoch festgehalten werden, das ökologisch angebaute Obst- und Gemüsearten unter gleichen Bedingungen mehr Vitamin C enthalten als konventionell angebaute [Flemmer, 2014, S. 155 ff.]. In Tabelle 5-40 werden durchschnittliche Vitamin C-Gehalte von verschiedenen Obst- und Gemüsearten dargestellt.

Tabelle 5-40 Gehalt an Vitamin C in verschiedenen Obst- und Gemüsearten in mg/100 g [Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, o. J. (d)]

Lebensmittel	Gehalt an Vitamin C [mg/100 g]
Orange/Apfelsine	50
Erdbeeren (roh)	62
Apfel (Jonagold)	15
Kiwi	46
Sanddornbeerensaft	266
Brokkoli (gekocht)	115
Paprika (roh)	120
Kohlrabi (roh)	63
Spinat (gekocht)	16

Vitamin C übernimmt im menschlichen Körper wichtige Aufgaben. Dazu gehört die Wirkung als Antioxidans, indem Vitamin C freie Radikale, die im menschlichen Körper beispielsweise durch Stress entstehen und sich negativ auf den Organismus auswirken können, abfängt. Zudem ist Vitamin C an verschiedenen Stoffwechselvorgängen im Körper beteiligt, wie beispielsweise an der Produktion von verschiedenen Botenstoffen und Hormonen, sowie dem Aufbau von Bindegewebe. Daneben fördert Vitamin C die Eisenaufnahme und kann krebserregende Nitrosamine unschädlich machen [Baltes & Matissek, 2011, S. 49 f.; Biesalski & Grimm, 2011, S. 158 f.].

Problematisch ist hingegen, dass das Vitamin C empfindlich gegenüber Luft, Licht und Wärme ist. Bei längerer Lagerdauer zersetzt sich damit das Vitamin C im Obst und Gemüse. Daher sollte Obst und Gemüse am besten frisch gegessen oder kühlgelagert werden unter Ausschluss von Licht [Biesalski & Grimm, 2011, S. 160].

Die Versorgung des menschlichen Körpers mit Vitamin C funktioniert in der Regel gut, sodass ein Vitamin C-Mangel nur durch eine falsche Ernährung oder durch Erkrankungen, wie beispielsweise Magen-Darm-Entzündungen, auftritt [Dunkelberg et al., 2012, S. 89]. Bei einer Unterversorgung an Vitamin C treten unter anderem als Symptome eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit und Zahnfleischbluten auf. Skorbut kann entstehen, sodass es zu Blutungen auf der Haut, den Schleimhäuten, in den Muskeln und den inneren Organen kommen kann und Wunden schlecht verheilen. Eine Überdosis an Vitamin C wird bei einer normalen Ernährung nicht beobachtet [Biesalski & Grimm, 2011, S. 160].

Für Obst und Gemüse gibt es verschiedene rechtliche Anforderungen in Bezug auf die Qualitätskriterien. Dazu zählen allgemeine Mindesteigenschaften, Klassenkriterien, Toleranzen, die Größensortierung und die Gleichmäßigkeit der Produkte, sowie die Aufmachung und die Kennzeichnungsangaben. Als Mindesteigenschaften werden gemäß Art. 2 Abs. 3 i. V. m. Anhang I Teil A Nr. I der Durchführungsverordnung für Obst und Gemüse festgelegt (DVO (EU) Nr. 543/2011), dass Obst und Gemüse frisch aussehen, sauber, gesund, sowie frei von Schädlingen und Fremdstoffen sein muss. Zudem ist dort festgeschrieben, dass Obst und Gemüse frei von äußerer Feuchtigkeit, frei von Fremdgerüchen und -geschmäckern, sowie genügend entwickelt und gereift sein muss, ohne das Stadium der Überreife erreicht zu haben [Meyer, 2021f, S. 93]. Allgemeine Qualitätskriterien, die beachtet werden müssen, sind die Toleranzen in Bezug auf die Größensortierung sowie Abweichungen von den optimalen Anforderungen. Diese Abweichung darf maximal 10 % betragen, bei Fäulnis sogar nur 2 %. Obst und Gemüse muss zudem mindestens mit dem Ursprungsland sowie dem Absender/Packer am Packstück gekennzeichnet sein [Meyer, 2021f, S. 93 f.]. Bei Kiwis und Zitrusfrüchten muss

zudem noch die Art des Erzeugnisses, sowie die Sorte und die Güteklasse angegeben werden [Meyer, 2021f, S. 113 ff.]. Neben den allgemeinen Qualitätskriterien sind aber auch spezielle Qualitätskriterien lebensmittelrechtlich festgelegt worden. Somit erfolgt für Kiwis und Zitrusfrüchte beispielsweise gemäß Art. 3 Abs. 2 i. V. m. Anhang I Teil B Nr. II der Durchführungsverordnung für Obst und Gemüse eine Klasseneinteilung, die am Beispiel für Kiwis in Tabelle 5-41 dargestellt wird [Meyer, 2021f, S. 116].

Tabelle 5-41 Klasseneinteilung für Obst und Gemüse [Meyer, 2021f, S. 116]

Klasse	Qualitätskriterien
Extra	Erzeugnisse von höchster Qualität mit sortentypischen Merkmalen; dürfen keine Mängel mit der Ausnahme leichter oberflächlicher Fehler aufweisen
I	Erzeugnisse von guter Qualität mit sortentypischen Merkmalen; leichte Fehler (Form-, Farb- und Schalenfehler) sind zulässig
II	Erzeugnisse von marktfähiger Qualität, die Fehler (Form-, Farb- und Schalenfehler, sowie Quetschungen) aufweisen; dürfen nicht verdorben sein; müssen verzehrfähig sein

Bei der Größensortierungen muss die Mindestgröße und die Gleichmäßigkeit eingehalten werden, wobei die Sortierung nach verschiedenen Kriterien erfolgen kann. So kann entweder nach dem Querdurchmesser, dem Umfang beziehungsweise dem Gewicht oder der Stückzahl sortiert werden. Damit Transportschäden vermieden werden, erfolgen spezielle Kriterien für die Aufmachung, bei der eine Gleichmäßigkeit in Bezug auf den Ursprung, die Sorte, die Güteklasse, die Entwicklung und Reife, sowie die Farbe und Größe gegeben sein müssen. So muss die Verpackung genügend stabil sein, um äußere Veränderungen zu vermeiden, und das Innere der Verpackung muss neu und sauber sein, damit keine innerlichen Veränderungen durch ablaufende chemische Reaktionen oder durch Mikroorganismen erfolgen [Meyer, 2021f, S. 117 f.].

In Bezug auf Obst und Gemüse gibt es eine Gesundheitskampagne mit dem Namen „Fünf am Tag“, die auch für die Thematisierung in der Schule interessant ist. So kann den Schüler:innen erläutert werden, warum es wichtig ist, Obst und Gemüse zu verzehren. Die Kampagne hat den Hintergrund, dass mehr Obst und Gemüse im Alltag der Bevölkerung verzehrt wird. Die Empfehlung, die dabei gegeben wird, ist, dass täglich fünf Portionen an Obst und Gemüse gegessen werden sollen, wobei eine Portion durch ein Glas Obst- oder Gemüsesaft ersetzt werden kann. Optimal wäre ein Verzehr von 650 g Obst und Gemüse am Tag [Haas, 2021]. Ein Beispiel für eine optimale Umsetzung der Empfehlung ist in Tabelle 5-42 dargestellt.

Tabelle 5-42 Verteilung der fünf Portionen Obst und Gemüse am Tag [Haas, 2021]

Lebensmittel	Anzahl der Portionen	Gesamtmenge [g]
Obst	2	250
rohes Gemüse	1	125
gekochtes Gemüse	1	200
Salat	1	75
Gesamt	**5**	**650**

Dabei sollte der Frage nachgegangen werden, warum genau fünf Portionen am Tag. Durch den Verzehr von fünf Portionen Obst und Gemüse ernährt sich der Mensch vollwertig und auch gesundheitsfördernd, denn Obst und Gemüse enthalten viele wichtige Inhaltsstoffe, die sich positiv auf den menschlichen Körper auswirken können. Neben den Makronährstoffen (Kohlenhydrate, Fette und Proteine) sind dies vor allem Vitamine und Mineralstoffe, sowie Wasser, Ballaststoffe und sekundäre Pflanzenstoffe, wie Flavonoide, Carotinoide und Glykosinolate [Haas, 2021]. Gerade die sekundären Pflanzenstoffe können das Immunsystem des Menschen stärken und sich positiv auf das Wohlbefinden auswirken. Zudem dienen die Verbindungen zur Vorbeugung von Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen [Boeing et al., 2012].

5.4.4.3 Mögliche Anknüpfungspunkte für Obst und Gemüse im niedersächsischen Kerncurriculum

In den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II gibt es, trotz der nicht expliziten Benennung von Obst und Gemüse, mögliche Anknüpfungspunkte, um die Umsetzung im schulischen Chemie- und Biologieunterricht zu rechtfertigen. Die Anknüpfungspunkte an das niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I können Tabelle 5-43 entnommen werden.

Tabelle 5-43 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	Doppel-jahrgang	Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …unterscheiden Stoffe anhand ihrer mit den Sinnen erfahrbaren Eigenschaften und der Aggregatzustände“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …unterscheiden zwischen sauren, neutralen und alkalischen Lösungen durch Indikatoren“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]

Basiskonzept	**Doppel-jahrgang**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	7/8	**Erkenntnisgewinnung** • …planen selbstständig Experimente und wenden Nachweisreaktionen an“ [Achtermann et al., 2015, S. 53]
Chemische Reaktionen	7/8	**Bewertung** • …erkennen die Bedeutung chemischer Reaktionen für Natur und Technik“ [Achtermann et al., 2015, S. 59]
Stoff-Teilchen	9/10	**Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Obst und Gemüse sind Lebensmittel, die alle Schüler:innen bereits im Anfangsunterricht kennen und in der Regel auch verzehren. Gerade der Apfel stellt eine beliebte Obstsorte dar, welche viele Schüler:innen als Snack mit in die Schule nehmen. Die Schüler:innen sollen Stoffen anhand von Eigenschaften und Aggregatzuständen unterscheiden. Um diesen Punkt des Kerncurriculums umzusetzen, eignet sich der Bezug zur Lebensmittelsensorik. Hier könnte mithilfe von verschiedenen Apfelsorten ein Triangel-Test durchgeführt werden . Zudem kann der Tastsinn der Schüler:innen geschult werden, indem verschiedene Obstsorten in eine Blackbox gegeben werden, die von den Schüler:innen ertastet werden sollen. Durch den starken Alltagsbezug können die Schüler:innen beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt. Da Obst, aufgrund der enthaltenen Säuren, einen sauren pH-Wert aufweist, können entsprechende Obstsäfte herangezogen werden, um saure, neutrale und alkalische Lösungen zu unterscheiden.

Im Doppeljahrgang 7/8 sollen die Schüler:innen Experimente planen und Nachweisreaktionen durchführen. Hier könnte das Gemüse thematisiert werden, in dem auf die Düngerproblematik eingegangen wird. Im Zusammenhang mit Düngern wird die Nitratbelastung thematisiert, sodass die Schüler:innen Nitrat in verschiedenen Obst- und Gemüsesorten bestimmen können. Mithilfe von Nachweisstäbchen kann dies erfolgen. Aufbauend auf die qualitative Nitratbestimmung kann V 16 *Bestimmung des Nitratgehaltes in Obst und Gemüse mittels Photometrie* durchgeführt werden, um auch eine quantitative Bestimmung des Nitratgehaltes kennenzulernen. Im Umweltbereich können zudem chemische Reaktionen in der Natur betrachtet werden, sodass anhand eines aufgeschnittenen Apfels veranschaulicht und erläutert werden kann, welche Reaktion mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft stattfinden kann.

Im Doppeljahrgang 9/10 können die verschiedenen Inhaltsstoffe in Obst und Gemüse betrachtet, überprüft und bewertet werden. Inhaltsstoffe, auf die der Fokus gelegt werden sollte, sind die Vitamine, vor allem Vitamin C, aber auch Nitrat als Umweltkontaminante. Dazu können verschiedene analytische Methoden (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und Photometrie) herangezogen werden, sodass die Schüler:innen im Bereich der Berufsorientierung etwas über die Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen erfahren und damit eine Überleitung zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen erfolgen kann.

Aufgrund des hohen Alltagsbezuges eignet sich die Betrachtung von Obst und Gemüse im Themenfeld *Ernährung und Gesundheit*. Bei Obst und Gemüse handelt es sich um gesunde Lebensmittel, die sich aufgrund der sekundären Pflanzenstoffe präventiv positiv auf die menschliche Gesundheit auswirken können. An dieser Stelle bietet es sich an, die Kampagne „Fünf am Tag“ zu thematisieren (Kapitel 5.4.4.2), sodass den Schüler:innen erklärt werden kann, warum es wichtig ist, der Empfehlung zu folgen und wie die Verzehrempfehlung erreicht werden kann. Daneben können im Themenfeld *Chemie im Haushalt* die Lebensmittel Obst und Gemüse angesprochen werden, da die Schüler:innen vom alltäglichen familiären Essen verschiedene Obst- und Gemüsesorten kennen sollten.

In der Sekundarstufe II gibt es ebenfalls mögliche Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie, die nachfolgend in Tabelle 5-44 dargestellt werden

Tabelle 5-44 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
Stoff-Teilchen	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] • …beschreiben die Fehling-Reaktion“ [Achtermann et al., 2017, S. 22] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Donator-Akzeptor	QP	**Fachwissen** • …erläutern Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen und beschreiben mithilfe der Oxidationszahlen korrespondieren Redoxpaare“ [Achtermann et al., 2017, S. 27] **Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …messen pH-Werte verschiedener wässriger Lösungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 27] **Kommunikation** • …recherchieren zu Redoxreaktionen in Alltag und Technik und präsentieren ihre Ergebnisse“ [Achtermann et al., 2017, S. 29]
Struktur-Eigenschaft	QP	**Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …induktive und mesomere Effekte zur Erklärung der Stärke organischer Säuren“ [Achtermann et al., 2017, S. 23]

Anhand von Tabelle 5-44 kann gezeigt werden, dass die Schüler:innen in der Einführungsphase die gesellschaftliche Relevanz organischer Verbindungen in ihrer Lebenswelt beschreiben sollen. Durch den starken Alltagsbezug der Themen Obst und Gemüse kann den Schüler:innen dies aufgezeigt werden. Daneben sollen die Schüler:innen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt kennenlernen. Bereits gefordert ist die Thematisierung der Dünnschicht- und der Gaschromatographie. Damit die Schüler:innen neben den beiden Verfahren noch weitere kennenlernen, sollten auch die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und die Photometrie betrachtet werden, um einen Teil zur Berufsorientierung beizutragen. Um das Prinzip der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und der Photometrie zu verinnerlichen, sollten Experimente durchgeführt werden. Hier eignet sich die Anwendung der Versuche *Bestimmung des Nitratgehaltes in Obst und Gemüse mittels Photometrie* (V16) und *Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst und Gemüse mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie* (V10). Anhand der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse können in der Qualifikationsphase die Inhaltsstoffe und deren Molekülstrukturen betrachtet werden. Durch die Wahl alltäglicher Lebensmittel kann gezeigt werden, dass organische Verbindungen das Leben der Schüler:innen bedingen. So können mithilfe von Obst und Gemüse verschiedene Versuche durchgeführt und beschrieben werden, wie beispielsweise die Fehling-Reaktion. Obst enthält neben Fructose vor allem Glucose, die mithilfe der Fehling-Reaktion nachgewiesen werden kann. Zudem können wässrige Lösungen, die durch Extraktion aus verschiedenen Obstsorten gewonnen werden können, eingesetzt werden, um pH-Wert-Messungen durchzuführen. Somit können die

Schüler:innen erkennen, dass Obst Säuren enthalten. Als Referenz kann beispielsweise Citronensäure herangezogen werden. So können auch induktive und mesomere Effekte ebenfalls durch organische Säuren eingeführt werden, wobei als Beispiele neben Citronensäure auch Äpfelsäure sowie Oxalsäure herangezogen werden können.

Anhand der Reduktion von Nitrat zu Nitrit, dessen Reaktion im menschlichen Organismus durch den Verzehr nitratreicher Nahrung stattfinden kann, können Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen beschrieben und Oxidationszahlen eingeführt werden. Auf der Basis der Reduktion von Nitrat zu Nitrit können die Schüler:innen recherchieren, welche Redoxreaktionen in ihrem Alltag und der Umwelt ablaufen können. Dabei kann auf die gesundheitlichen Folgen eingegangen werden, die von Nitrit und der Reaktion von Nitrit zu Nitrosaminen für den Menschen ausgehen können.

Zudem gibt es im Kerncurriculum der Sekundarstufe II Themenfelder, die im Chemieunterricht umgesetzt werden können. Dazu gehören die Themen *Chemie im Alltag*, *Chemie und Ernährung*, sowie die Umweltbereiche Wasser und Luft. Obst und Gemüse können als Beispiele für Alltagsprodukte eingesetzt werden, wohingegen im Themenbereich der *Ernährung* die pflanzlichen Lebensmittel als chemische Naturstoffe betrachtet werden können. Der Anbau von Obst und Gemüse ,mit den zusammenhängenden Umweltproblemen, können im Umweltbereich Wasser und Luft in der Qualifikationsphase angesprochen werden. Hier bietet sich an, den Umweltbereich vom Trinkwasser bis hin zum Abwasser zu thematisieren. Es kann eine Überleitung des Nachweises von Nitrat in Trinkwasser auf den Nitratgehalt in Obst- und Gemüsesorten erfolgen. Gründe für die Nitratgehalte in pflanzlichen Lebensmitteln und im Trinkwasser können thematisiert und durch einen Vergleich zwischen konventionell und ökologisch angebauten Produkten bewertet werden.

An das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I gibt es ebenfalls mögliche Anknüpfungspunkte, um die Thematik von Obst und Gemüse umzusetzen. Diese entsprechen den Anknüpfungspunkten der alkaloidhaltigen Lebensmittel (Kapitel 5.4.3.6), sodass Obst und Gemüse als gesunde Lebensmittel betrachtet werden, um die Resorption der einzelnen Lebensmittelinhaltsstoffen zu behandeln.

Im Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II gibt es für die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse, sowohl in der Einführungs- als auch in der Qualifikationsphase, mögliche Anknüpfungspunkte, die in Tabelle 5-45 zusammenfassend dargestellt werden.

Tabelle 5-45 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Obst und Gemüse an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Struktur und Funktion	EP	• …beschreiben den Bau und die wesentlichen Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle (Lipide, Proteine, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren)“ [Emmler et al., 2017, S. 22]
Information und Kommunikation	QP	• …erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn, […])“ [Emmler et al., 2017, S. 34]
Stoff- und Energieumwandlung	QP	• …erläutern die Bereitstellung von Energie unter Bezug auf die vier Teilschritte der Zellatmung“ [Emmler et al., 2017, S. 33]

Die Schüler:innen sollen in der Einführungsphase den Aufbau und die Eigenschaften von biologisch bedeutsamen Molekülen kennen. Dazu gehören neben den Kohlenhydraten auch die Fette, wobei als Beispiel die Avocado als sehr fettreiche Gemüsesorte herangezogen werden kann. Weiterhin kann in der Qualifikationsphase mithilfe von verschiedenen Obst- und Gemüsesorten die Lebensmittelsensorik betrachtet werden, sodass über die Thematisierung der Entstehung des Geschmacks auf die Entstehung des Geruchs übergeleitet werden kann. Dadurch kann den Schüler:innen das Prinzip der Signaltransduktion vermittelt werden, wodurch sie die Übertragung von Signalen erläutern können. Im Kompetenzbereich Stoff- und Energieumwandlung der Qualifikationsphase sollen die Schüler:innen die Bereitstellung von Energie für den menschlichen Körper im Zusammenhang mit den Teilschritten der Zellatmung erläutern können. So kann beispielsweise die Glykolyse unter anaeroben Bedingungen an einem Alltagsbeispiel, in Form der alkoholischen Gärung, angesprochen werden. Bei der fehlerhaften Lagerung von Obst und Gemüse ist häufig zu wenig Sauerstoff vorhanden, sodass die Glykolyse unter anaeroben Bedingungen abläuft, wobei aus Glucose schrittweise Acetaldehyd und Ethanol gebildet wird. Diese Substanzen sind für die Ausbildung eines typischen Fehlaromas verantwortlich. Demnach kann den Schüler:innen vermittelt werden, wie Fehlaromen in Obst und Gemüse zustande kommen können.

5.4.5 Honig

Auch für das Thema Honig ist für den theoretischen Block des Seminars eine PowerPoint-Präsentation erstellt worden. Diese ist im digitalen Anhang (D.1.1) angefügt. Anhand der Präsentation werden die theoretischen Grundlagen für das Thema behandelt, deren Inhalt nachfolgend dargestellt wird.

Honig ist ein alltägliches Lebensmittel, welches auf vielen Frühstückstischen zu finden ist. So lag der Pro-Kopf-Verbrauch im Jahr 2020 bei 1,063 Kilogramm pro Person [Ahrens, 2022c]. Bei Honig handelt es sich um ein süßes Produkt, dass in der Natur von Honigbienen produziert wird. Insgesamt gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Honigen, die sich in der Farbe, der Konsistenz und dem Geschmack unterscheiden. Insgesamt schmecken hellere Honige milder und süßer als dunklere, die einen charakteristisch kräftigen Geschmack und eine geringere Süße aufweisen [Rimbach et al., 2010, S. 243]. Die Farbe ist für einen Honig ebenfalls charakteristisch und kann von weiß (Rapshonig) über goldgelb (Löwenzahnhonig), bernsteinfarben (Ahornhonig) und rotbraun (Tannenhonig) unterschiedliche Farben annehmen. Die unterschiedlichen Farben können unter anderem durch den Nektar, die Pollen, ablaufende chemische Umwandlungsprozesse, Honigwaben und der Honigverarbeitung zustande kommen [von der Ohe, 2005]. Somit stellt die Farbe neben dem Geruch, Geschmack sowie den chemisch-physikalischen Merkmalen und dem Pollenraster ein Parameter dar, welcher zur Bestimmung eines Sortenhonigs herangezogen wird.

Die mehr als 100 verschiedenen Honigsorten können nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden (Abbildung 5-51).

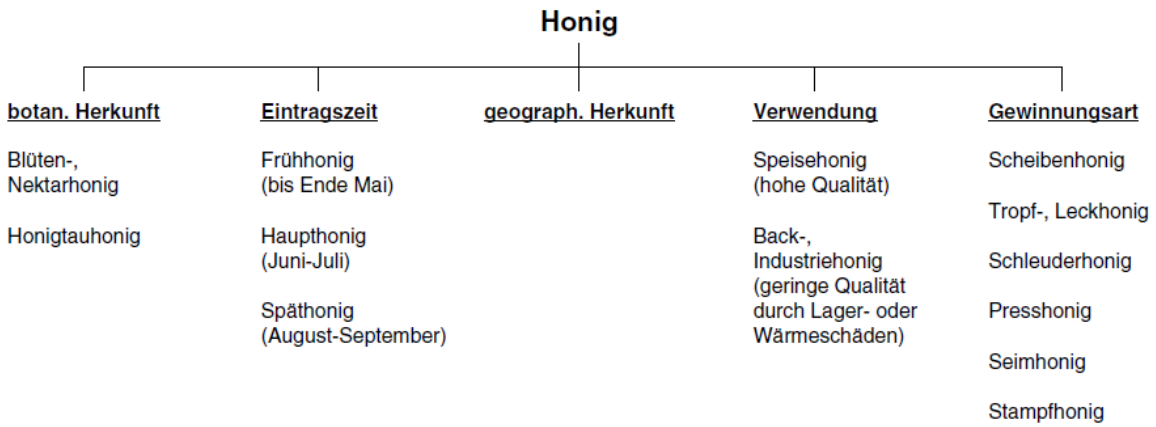


Abbildung 5-51 Einteilung der Honigsorten nach verschiedenen Kriterien [Rimbach et al., 2010, S, 243]

Die wichtigsten Einteilungskriterien stellen die botanische Herkunft und die Gewinnungsart dar. Nach der Gewinnungsart werden Honige in Scheibenhonige, Tropf- und Leckhonige, Schleuderhonige, Presshonige, Seimhonige und Stampfhonige unterschieden. Die unterschiedlichen Honige und deren Gewinnung werden in Tabelle 5-46 dargestellt.

Tabelle 5-46 Unterschiedliche Honige nach Art der Gewinnung [Rimbach et al., 2010, S. 243 f.]

Honigart	Gewinnung
Scheibenhonig	aus frisch erbauten, unbebrüteten und noch verdeckelten Jungfernwaben
Tropf- und Leckhonig	durch Tropfen oder Lecken ohne Fremdeinwirkung aus entdeckelten, brutfreien Waben
Schleuderhonig	aus entdeckelten, brutfreien Waben durch Zentrifugation
Presshonig	aus brutfreien Waben durch Pressen
Seimhonig	aus brutfreien Waben durch Pressen bei leichter Erwärmung
Stampfhonig	aus nichtbrutfreien Waben durch Einstampfen; Verwendung ausschließlich als Futterhonig und nicht als Speisehonig

Eine weitere Einteilung kann nach der botanischen Herkunft in Blüten- beziehungsweise Nektarhonige und Honigtauhonige erfolgen. So erfolgt die Gewinnung von Blüten- oder Nektarhonigen (nachfolgend: Blütenhonig) zum größten Teil aus dem Blütennektar. Blütenhonige zeigen eine feste, cremige bis kandierte Konsistenz und eine helle bis braune Farbe. Der Geschmack ist charakteristisch süß, hocharomatisch bis teilweise parfümartig [Rimbach et al., 2010, S. 244]. Beispiele für Blütenhonige sind unter anderem Akazien-, Heide-, Lindenblüten- und Rapshonig. Honigtauhonige werden hingegen durch Honigtau gewonnen, wobei es sich um zuckerhaltige Exkrete der Bienen handelt. Die Konsistenz der Honigtauhonige ist meistens flüssig, weist eine dunkle bis schwarze Färbung auf und schmeckt charakteristisch malzig, rauchig und herb bis leicht harzig. Als Beispiele für Honigtauhonige können Blatt-, Tannen- und Waldhonig genannt werden [Rimbach et al., 2010, S. 245 f.].

Nach der geographischen Herkunft kann eine weitere Einteilung in Sorten- oder Trachthonige, Mischblütenhonige sowie Lagenhonige erfolgen. Dabei dürfen Honige nur als Sorten- oder Trachthonige bezeichnet werden, wenn der Großteil des Nektars oder des Honigtaus aus einer Tracht, also einer Pflanzenart besteht, und wenn zusätzlich die entsprechenden sensorischen, sowie physikalischen und mikroskopischen Eigenschaften nachgewiesen werden können [Rimbach et al., 2010, S. 247]. So weisen Sortenhonige neben einer charakteristischen Pollenverteilungen und einem charakteristischen Zuckerspektrum auch sortentypische Parameter auf, wie beispielsweise die Farbe, das Aroma (Geruch und Geschmack), sowie der Mineralstoffgehalt, der über die elektrische Leitfähigkeit des Honigs bestimmt werden kann [von der Ohe et al., 2016]. Bei Mischblütenhonigen kann der Nektar hingegen aus verschiedenen Trachten zusammengesetzt sein, wodurch Schwankungen in Bezug auf Geschmack, Aussehen und Inhaltsstoffe resultieren. Lagenhonige dürfen nur als solche bezeichnet werden, wenn der Nektar oder Honigtau zur Honigproduktion nur aus einem speziell abgegrenzten oder regionalen Gebiet stammt [Rimbach et al., 2010, S. 247].

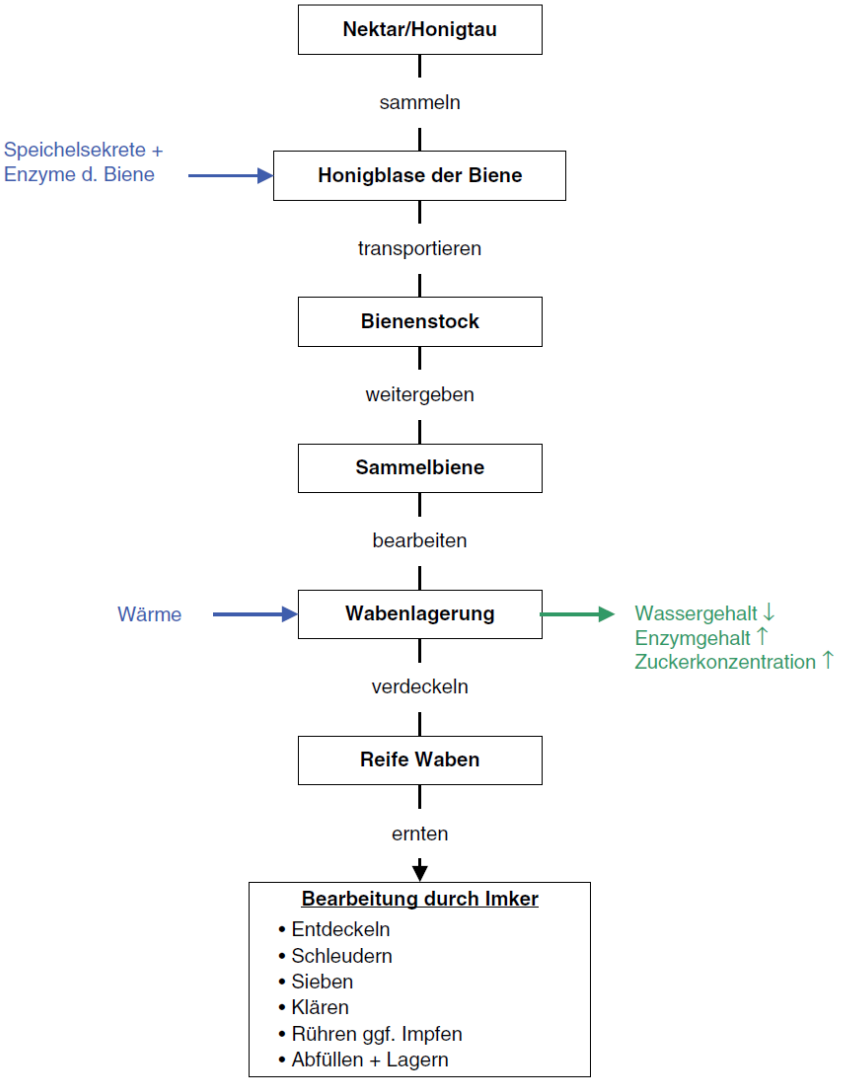


Abbildung 5-52 Herstellungsprozess von Honig [Rimbach et al, 2010, S. 249]

Die Honigproduktion (Abbildung 5-52) beginnt mit dem Sammeln von Blütennektar beziehungsweise Honigtau von Nadeln und Blättern durch die Bienen. Sowohl im Blütennektar als auch im Honigtau sind vor allem Saccharose, Glucose und Fructose enthalten, ebenso wie verschiedene Aromastoffe, Vitamine und Mineralstoffe [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 541]. Im ersten Produktionsschritt saugen die Bienen den Nektar oder Honigtau mit ihren Saugrüsseln auf, sammeln diesen in der Honigblase und verdünnen den Nektar/Honigtau mit ihrem enzymreichen Speichel. Im Speichel der Bienen sind als Enzyme vorherrschend Saccharase (Invertase), Amylase (Diastase) und Glucoseoxidase enthalten. Während des Fluges der Bienen zum Bienenstock gelangen so die entsprechenden Enzyme in das Sammelgut. Die Sammelbiene übergibt am Bienenstock das noch unreife und stark wasserhaltige Sammelgut an die Stockbienen, die die Aufgabe haben, einen großen Teil des Wassers zu entfernen, um den Honig haltbar zu machen. Dabei wird das Sammelgut von Stockbiene zu Stockbiene übertragen, solange bis

die letzte Stockbiene den Inhalt der Honigblase in die Wabe gibt. Dieser Prozess wird auch als Honigreifung bezeichnet. Dabei wird das Sammelgut durch die Stockbienen immer wieder aus der Honigblase heraus- und wieder eingesaugt, sodass so mehr Enzyme angereichert werden. Zudem begünstigt eine hohe Temperatur im Bienenstock von 30 – 35 °C die Entfernung von Wasser [Rimbach et al., 2010, S. 249 f.; Odemer & von der Ohe, 2020]. Neben der Entfernung des Wassers sind während der Honigreifung, die 3 – 7 Tage dauert, weitere Veränderungen zu beobachten. So wird der Honig vor mikrobiellem Verderb geschützt, weil der Gehalt an Glucose und Fructose durch den enzymatischen Abbau der Saccharose mit dem Enzym Saccharase zunimmt und die enthaltenen Enzyme Inhibitoren produzieren, die das Wachstum von Mikroorganismen in Form von Bakterien und Hefen hemmen. Während des Reifeprozesses entwickeln sich die typischen sensorischen Eigenschaften (Geruch, Geschmack und Farbe) des Honigs. Kurz vor Beendigung der Honigreifung verdeckeln die Bienen die Waben mit Wachs, erst teilweise und dann vollständig, sodass der reife Honig durch Wachsdeckel erkannt werden kann [Binder & Pietzner, 2017; Rimbach et al., 2010, S. 250]. Bevor der Imker mit der Honigernte beginnen kann, muss geprüft werden, ob die Waben unbeschädigt, frei von Schimmel und nicht bebrütet sind. Zudem muss geprüft werden, wie hoch der Wassergehalt des Honigs ist. Liegt der Wassergehalt bei 20 % oder weniger und sind die Waben in Ordnung, dann kann mit der Ernte begonnen werden [Binder & Pietzner, 2017].

Der erste Schritt der Honigbearbeitung durch den Imker ist das Entdeckeln der Waben. Dabei wird die Wachsschicht von den Waben, entweder maschinell oder mit Entdeckelungsgabeln, gelöst und anschließend geschleudert. Das Schleuder kann auch maschinell mit Zentrifugen oder per Hand erfolgen und wird so lange durchgeführt, bis keine Waben mehr enthalten sind. Sollte ein kristalliner Honig vorliegen, darf der Honig bis 30 °C leicht erwärmt werden, damit eine bessere Fließfähigkeit erreicht werden kann. Es schließt sich das Sieben des Honigs mit feinen Nylonsieben an. Dabei werden unerwünschte Bestandteile, wie beispielsweise Wachsreste oder Chitin-Teile der Bienenpanzer, entfernt. Der Honig wird erstmal ruhen gelassen, sodass sich noch vorhandene Luftblasen und feine Wachsteilchen an der Oberfläche absetzen und entsprechend abgeschöpft werden können [Binder & Pietzner, 2017; Odemer & von der Ohe, 2020]. Da einige Blütenhonige, die einen hohen Glucosegehalt aufweisen, bei der Lagerung zur Kristallisation neigen und dadurch sensorische Fehler entstehen können, können Imker:innen eine kontrollierte Kristallisation anwenden. Dies kann entweder durch Rühren oder Animpfen hervorgerufen werden. So kann bereits kristallisierter Honig entweder so lange gerührt werden, bis gleichmäßige Zuckerkristalle vorliegen, oder der Honig wird mit bereits kristallisiertem Honig versetzt und bis zur gewünschten Konsistenz gerührt. Im letzten Schritt

erfolgt dann die Abfüllung des Honigs in Gläsern, an die sich die Lagerung anschließt [Binder & Pietzner, 2017].

Honig ist aus verschiedenen Inhaltsstoffen zusammengesetzt, wobei die Zusammensetzung je nach Art des Honigs unterschiedlich sein kann [Rimbach et al, 2010, S. 250]. In Abbildung 5-53 ist die typische prozentuale Zusammensetzung eines Honigs dargestellt.

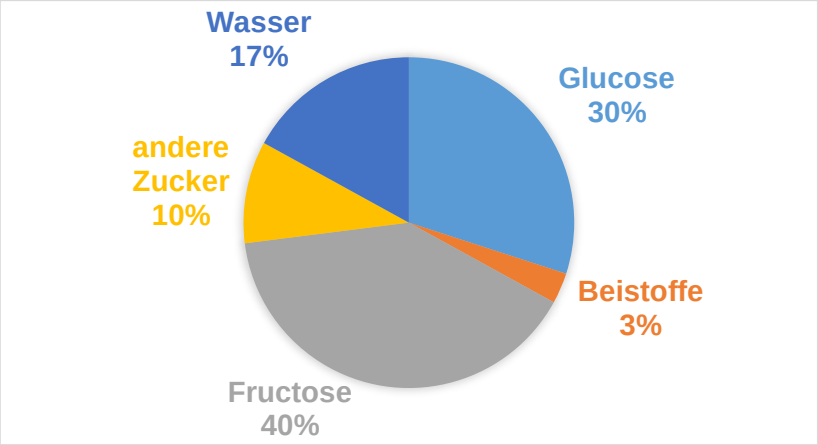


Abbildung 5-53 Darstellung der Inhaltsstoffe und deren Gehalte in einem Honig [eigene Darstellung nach Rimbach et al, 2010, S. 250]

Wie Abbildung 5-53 entnommen werden kann, nimmt der Gehalt an Fructose (etwa 40 %), zusammen mit Glucose (etwa 30 %), den größten Anteil der Inhaltsstoffe ein. Mit anderen Zuckern, die noch enthalten sind, beispielsweise Saccharose und Maltose sowie andere Oligosaccharide, besteht Honig aus etwa 80 % Zucker. Daneben sind etwa 17 % Wasser und 3 % Beistoffe enthalten. Zu den Beistoffen zählen organische Säuren, Enzyme, Aminosäuren, vor allem Prolin aus dem Speichel der Bienen, Mineralstoffe, sowie Vitamine, Aroma- und Farbstoffe. Vorherrschende Enzyme sind vor allen die Invertase und die Diastase, die zusammen mit dem Gehalt an Hydroxymethylfurfural, als Indikatoren herangezogen werden können, um eine thermische Behandlung bei der Honigbearbeitung der Imker:innen nachzuweisen. Die enthaltenen Saccharasen katalysieren während der Honigreifung den Abbau von Saccharose zu Glucose und Fructose und die Glucoseoxidasen katalysieren die Reaktion von Glucose und Gluconsäure, wobei Wasserstoffperoxid gebildet wird, welches ebenfalls zur Keimhemmung beiträgt [Rimbach et al., 2010, S. 250 f.].

Um die sensorischen Eigenschaften von Honig beschreiben zu können, sind die Aromastoffe heranzuziehen, wobei im Honig etwa 200 verschiedene Verbindungen identifiziert werden konnten. Die Aromastofffraktion setzt sich vor allem aus Estern, Aldehyden, Ketonen und Alkoholen zusammen, die während der Honigreifung in der mehrstufigen Maillard-Reaktion aus reduzierenden Zuckern und Aminosäuren gebildet werden. Aromastoffe, die

maßgeblich zum Geruch und Geschmack eines Honigs beitragen, sind Phenylacetaldehyd (Abbildung 5-54, links) und β-Damascenon (Abbildung 5-54, rechts) [Rimbach et al., 2010, S. 251].

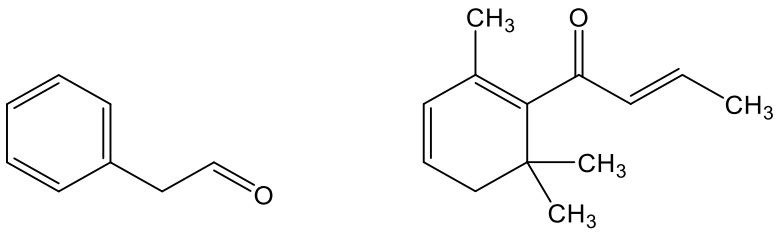


Abbildung 5-54 Strukturformeln der Schlüsselaromastoffe im Honig; links: Phenylacetaldehyd [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 251]; rechts: β-Damascenon [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 251]

Ein weiterer wichtiger Inhaltsstoff im Honig sind die Blütenpollen, die etwa einen Anteil von 0,5 % ausmachen. Zum einen können die Pollen zur Identifizierung eines Honigs herangezogen werden und andererseits können Pollen beim Verzehr allergische Reaktionen beim Menschen auslösen [Rimbach et al., 2010, S. 252].

Frischer Honig enthält in sehr geringen Mengen 5-Hydroxymethlfurfural (HMF), wobei der Gehalt an HMF durch unsachgemäße Bearbeitung und Lagerung des Honigs ansteigen kann. So kann der HMF-Gehalt durch zu hohe Temperaturen und in Abhängigkeit der Lagerungsdauer ansteigen, weil Fructose in der Wärme zu HMF reagiert (Abbildung 5-55) [Rimbach et al., 2010, S. 252 f.].

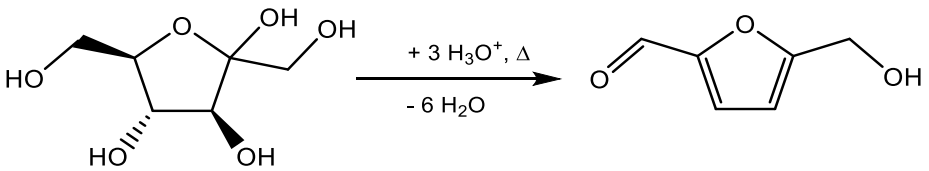


Abbildung 5-55 Reaktion von Fructose zu 5-Hydroxymethylfurfural bei unsachgemäßer Lagerung [eigene Darstellung nach Rimbach et al., 2010, S. 253]

Bei optimalen Lagerungsbedingungen kann Honig über mehrere Jahre gelagert werden. So sollte flüssiger Honig bei 18 – 20 °C und cremiger Honig bei 10 – 12 °C aufbewahrt werden. Da die enthaltenen Enzyme und Aromastoffe häufig lichtempfindlich sind, wird eine Lagerung im Dunklen bevorzugt. Aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Honigs sollte die Lagerung in trockenen und gut verschlossenen Gefäßen erfolgen, da durch Wasserdampf Fehlaromen entstehen können. Auch wenn die Lagerungsbedingungen für den Honig optimal sind, können glucosereiche Honig während der Lagerung auskristallisieren [Odemer & von der Ohe, 2020; Rimbach et al., 2010, S. 252].

Im Lebensmittelrecht gelten für Honige verschiedene Anforderungen, die eingehalten werden müssen. So sind in der Honigverordnung (HonigV) in Anlage 2 Abschnitt I allgemeine Anforderungen für einen Honig festgelegt worden. Dazu zählen unter anderem, dass Honig ein natürliches Produkt ist und ihm demnach keine anderen Stoffe zugesetzt werden dürfen. Zudem dürfen weder Blütenpollen noch andere honigeigenen Stoffe entzogen worden, wobei es eine Ausnahme für gefilterten Honig gibt. Der Säuregehalt darf nicht verändert werden und es dürfen keine Fehlaromen im Geruch und Geschmack nachweisbar sein. Demnach darf, mit Ausnahme von Backhonig, der Honig nicht gären und nicht zu stark erhitzt werden [Meyer, 2017a, S. 5]. Zusätzlich zu diesen allgemeinen Anforderungen sind in Anlage 2 Abschnitt II HonigV noch spezielle Anforderungen für einen Honig festgelegt, welche aus Tabelle 5-47 Spezielle Anforderungen an einen Honig [Meyer, 2017a, S. 5 f.] entnommen werden können [Meyer, 2017a, S. 5 f.].

Tabelle 5-47 Spezielle Anforderungen an einen Honig [Meyer, 2017a, S. 5 f.]

spezielle Anforderungen an einen Honig	Gehalt
Summe aus Glucose- & Fructosegehalt	• Blütenhonig: mindestens 60 g/100 g • Honigtauhonige: mindestens 45 g/100 g
Saccharosegehalt	• im Allgemeinen: höchstens 5 g/100 g
Wassergehalt	• im Allgemeinen: höchstens 20 % • Backhonig: höchstens 25 %
Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen	• im Allgemeinen: höchstens 0,1 g/100 g • Presshonig: höchstens 0,5 g/100 g
Elektrische Leitfähigkeit	• im Allgemeinen: höchstens 0,8 mS/cm • Honigtauhonig: mindestens 0,8 mS/cm
Gehalt an freier Säure	• im Allgemeinen: höchstens 50 meq/kg • Backhonig: höchstens 80 meq/kg
Gehalt an 5-Hydroxymethylfurfural	• im Allgemeinen (Ausnahme: Backhonig): höchstens 40 mg/kg • Honige aus tropischem Klima: höchstens 80 mg/kg
Diastase-Zahl nach Schade	• im Allgemeinen (Ausnahme: Backhonig): mindestens 8 • Honige mit geringem natürlichen Enzymgehalt: mindestens 3

Für die allgemeine Kennzeichnung von Lebensmitteln ist Art. 9 der LMIV heranzuziehen. Dazu zählen der Name und die Anschrift der Imker:innen, das Herkunftsland, die Verkehrsbezeichnung, das Mindesthaltbarkeitsdatum sowie Hinweise zur Aufbewahrung und Lagerung [Meyer, 2015a, S. 20 f.]. Zusätzlich dazu gibt es für Honige noch spezielle Anforderungen in Bezug auf

die Kennzeichnung. So muss gemäß § 3 Abs. 4 HonigV das Ursprungsland oder die Ursprungsländer angegeben werden. Handelt es sich um mehr als ein Ursprungsland, dann wird es, je nach Ursprungsländern, entweder als „Mischung von Honig aus EU-Ländern“, „Mischung von Honig aus Nicht-EU-Ländern“ oder „Mischung von Honig aus EU-Ländern und Nicht-EU-Ländern“ angegeben. Zudem muss bei einem Backhonig der Hinweis „nur zum Kochen und Backen“ angegeben werden [Meyer, 2017a, S. 2].

„Nicht für die Ernährung von Säuglingen unter 12 Monaten geeignet“ ist ein wichtiger Hinweis, der ebenfalls auf jeder Verpackung von Honig angegeben werden muss. Da es sich bei Honig um ein Naturprodukt handelt, darf dieser während der Herstellung und Verarbeitung nicht erhitzt werden, sodass im Honig Sporen des Bakteriums *Chlostridium Botulinum* enthalten sein können. Dies kann für Säuglinge unter 12 Monaten sehr gefährlich werden, weil die Darmflora bei Säuglingen noch nicht vollständig ausgebildet ist, um gegen entsprechende Sporen anzukämpfen. So kann der Verzehr von Honig für Säuglinge unter 12 Monaten tödlich enden, weil die Sporen im Darm auskeimen und Gifte bilden können, woraus Säuglingsbotulismus resultiert. Dadurch können Lähmungen der Atem- und Schluckmuskulatur ausgelöst werden, die zum Tod führen können [Bundesamt für Risikobewertung, 2020].

Um die Qualität eines Honigs bestimmen zu können, müssen verschiedene Parameter untersucht werden. Dazu zählt die Überprüfung des Reifegrades, unter anderem über die Bestimmung des Wassergehaltes, die Bestimmung der Enzymaktivität (Diastase-Aktivität), sowie der Bestimmung des Gehaltes an Prolin. Daneben wird untersucht, ob der Honig bereits in Gärung übergegangen ist. Zudem wird eine organoleptische Untersuchung in Bezug auf den Geruch und den Geschmack durchgeführt und es wird auf Wärmeschäden über die Enzymaktivität und den HMF-Gehalt geprüft. Weiterhin wird die Unverfälschtheit, die Naturbelassenheit sowie die regionale und botanische Herkunft überprüft [von der Ohe, 2020].

Anhand der allgemeinen und spezifischen Anforderungen an einen Honig sowie den Maßnahmen der Qualitätskontrolle wurden als Versuche für die praktische Laborarbeit die Bestimmung des Prolingehaltes mittels Photometrie, die enzymatische Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig mit Photometrie, die Bestimmung der Diastase-Zahl mittels Photometrie sowie die Bestimmung des HMF-Gehaltes mittels HPLC ausgewählt.

Da die Aminosäure Prolin ein charakteristisches Merkmal des Speichels der Bienen ist, wird diese zur Bestimmung des Reifegrades und der Naturbelassenheit des Honigs herangezogen [von der Ohe, 2020]. Dabei ist in der Honigverordnung kein Mindestgehalt für Prolin festgelegt worden. In Bezug auf den Reifegrad des Honigs haben von der Ohe et al. (1991) für

enzymschwache Honige einen Mindestgehalt an Prolin von 183 mg/kg für einen reifen Honig festgelegt [von der Ohe et al., 1991]. Von der Ohe (2010) hat zudem aus empirischen Daten einen Mindestgehalt für Prolin von 200 mg/kg für nicht enzymschwache Honige festgelegt, der nicht unterschritten werden darf [von der Ohe, 2010]. Ein Honig ist dann naturbelassen, wenn dieser ohne Wärmeschädigung geerntet und bearbeitet worden ist. Die Naturbelassenheit wird dabei durch die Enzymaktivität, den HMF- und den Prolingehalt bestimmt. Bei Erwärmung ändert sich der Prolingehalt nicht. Im Gegensatz dazu nimmt die Enzymaktivität ab und der HMF-Gehalt zu, da beide Komponenten wärmeempfindlich sind. Am Verhältnis von Enzymen zu Prolin kann ein Hinweis auf eine Wärmeschädigung gefunden werden, auch wenn der HMF-Gehalt unterschritten wird. Ohne Bestimmung von Enzymaktivität und HMF-Gehalt kann somit nicht gesagt werden, ob der Honig naturbelassen ist oder nicht. Über den Reifegrad kann dennoch eine Aussage getroffen werden [von der Ohe, 2020].

Um eine Aussage über die Naturbelassenheit treffen zu können, wird die Diastase-Zahl mittels Photometrie bestimmt. Für die Diastase-Zahl sind in den speziellen Anforderungen eines Honigs in der HonigV Mindestgehalte für die Enzymaktivität festgelegt. Die Diastase-Zahl kann herangezogen werden, um die Reife des Honigs, sowie Wärmeschädigungen bei der Honigverarbeitung in Verbindung mit dem HMF-Gehalt festzustellen. So müssen Honige, gemäß § 2 Abs. 1 i. V. m. Anlage 2 Abschnitt II Nr. 7 der HonigV, im Allgemeinen, mit Ausnahme von Backhonig, eine Diastase-Zahl von mindestens acht aufweisen. Bei Honigen mit einem geringen natürlichen Enzymgehalt, die maximal 15 mg/kg HMF aufweisen, muss die Diastase-Zahl mindestens drei betragen [Meyer, 2017a, S. 6]. Wird in einem Speisehonig die mindestens geforderte Diastase-Zahl unterschritten, kann dies an einer mangelnden Reife oder einer Wärmeschädigung liegen. Die Honige müssen dann jedoch nicht entsorgt werden, sondern können als Back- und Industriehonige in den Verkehr gebracht werden.

Damit eine endgültige Aussage zur Naturbelassenheit eines Honigs getroffen werden kann, muss der HMF-Gehalt des Honigs bestimmt werden. Dies erfolgt mithilfe der HPLC. In frischen Honigen ist diese Substanz entweder gar nicht oder nur in Spuren nachweisbar. Während der Lagerung kann sich HMF aus Zuckern, hauptsächlich aus Fructose, durch Abspaltung von Wassermolekülen bilden [Rimbach et al., 2010, S. 252 f.]. Bei einer Lagerungstemperatur von 18 °C überschreitet ein Honig, je nach Sorte, bereits nach 18 – 36 Monaten den Grenzwert von 40 mg/kg aus der HonigV [von der Ohe et al., 2012]. Der Gehalt an HMF steigt umso schneller an, je höher der Säuregehalt des Honigs und die Lagertemperatur ist. Der Gehalt in Honigen steigt auch durch zu starke Erwärmung, beispielsweise wenn die Temperatur beim Abfüllen eines kristallisierten Honigs zu hoch gewählt worden ist. Somit kann durch den

ermittelten HMF-Gehalt, in Verbindung mit dem Prolingehalt und der Diastase-Zahl, eine Aussage über die Naturbelassenheit des Honigs sowie eine sachgerechte Lagerung getroffen werden [von der Ohe et al., 2013]. Zudem kann der HMF-Gehalt zur Unterscheidung von Honig und Invertzuckercreme (Kunsthonig) herangezogen werden. Invertzuckercreme wird industriell aus Saccharose hergestellt, die durch saure Hydrolyse durch das Enzym Invertase in Glucose und Fructose gespalten wird. Es erfolgt eine Aromatisierung und Färbung, sodass es optisch nach einem Honig aussieht. Da die Inversion in der Wärme erfolgt, entsteht bei der Herstellung von Kunsthonig HMF, sodass der Gehalt an HMF zur Unterscheidung von Honig und Invertzuckercreme herangezogen wird [Rimbach et al., 2010, S. 247].

Die Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig geht auf die allgemeinen Anforderungen an einen Honig aus der HonigV zurück. Gemäß § 2 Abs. 1 i. V. m. Anlage 2 Abschnitt 1 der HonigV darf Honig mit Ausnahme von Backhonig keinen fremden Geruch und Geschmack aufweisen und nicht in Gärung übergegangen oder gegoren sein [Meyer, 2017a, S. 5]. Bei der alkoholischen Gärung entsteht als Hauptprodukt Ethanol. Darum ist Ethanol ein eindeutiger Parameter für einen in Gärung übergegangenen oder gegorenen Honig. Durch die Gärung verändert sich der Geruch und Geschmack des Honigs. Die Menge an Ethanol, die dabei entsteht ist abhängig von den gärenden Hefestämmen und der Wasserverfügbarkeit. Ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die Honigqualität ist eine sachgerechte Lagerung. Um diese zu gewährleisten, muss der Honig trocken und in verschlossenen Gläsern stehen. Zeigt sich mit zunehmender Temperatur eine Entmischung, dann geht der Honig wahrscheinlich in Gärung über [von der Ohe et al., 2012]. Für den Ethanolgehalt in Honigen gibt es keine gesetzliche Höchstmenge, aber eine Empfehlung von staatlichen Laboratorien. Die Empfehlung liegt bei maximal 20 mg Ethanol/Kilogramm Honig [Beckh et al., 2005]. Beim Überschreiten des Empfehlungswertes wird davon ausgegangen, dass die Honige in Gärung übergegangen sind oder sich schon einmal in Gärung befanden. Diese Honige dürfen nicht mehr als Speisehonig in den Verkehr gebracht werden. Damit die Honige jedoch nicht entsorgt werden müssen, dürfen diese als Back- oder Industriehonig weiterhin vermarktet werden.

5.4.5.1 Mögliche Anknüpfungspunkte für Honig im niedersächsischen Kerncurriculum

Für den Naturstoff Honig können ebenfalls einige mögliche Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II gefunden werden, ohne dass der Honig als Lebensmittel explizit genannt wird. In Tabelle 5-48 sind die möglichen Anknüpfungspunkte für Honig für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-48 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	**Doppel-jahrgang**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …unterscheiden Stoffe anhand ihrer mit den Sinnen erfahrbaren Eigenschaften und der Aggregatzustände“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …schließen aus den Eigenschaften ausgewählter Stoffe auf ihre Verwendungsmöglichkeiten“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51]
Stoff-Teilchen	9/10	**Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Für den Großteil der Schüler:innen stellt Honig ein alltägliches Lebensmittel dar, welches tagtäglich auf vielen Frühstückstischen zu finden ist. Daher kann Honig aufgrund des starken Alltagsbezuges herangezogen werden, damit die Schüler:innen anhand von Eigenschaften und Aggregatzuständen Stoffe unterscheiden können. Um diesen Punkt des Kerncurriculums umzusetzen, eignet sich der Bezug zur Lebensmittelsensorik. Hier könnte mithilfe von verschiedenen Honigsorten ein Triangel-Test durchgeführt werden. Zudem kann das unterschiedliche Farbspektrum des Honigs betrachtet und die Ursachen dafür diskutiert werden. So können die Schüler:innen, ausgehend von den unterschiedlichen Eigenschaften, verschiedene Verwendungsmöglichkeiten von Honig kennenlernen, beispielsweise als alternatives Süßungsmittel. Durch

den starken Alltagsbezug können die Schüler:innen beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt.

Im Doppeljahrgang 9/10 können die verschiedenen Inhaltsstoffe des Honigs betrachtet, überprüft und bewertet werden. Inhaltsstoffe, die betrachtet werden können, sind beispielsweise der Gehalt an Hydroxymethylfurfural, Ethanol, Prolin oder die Aktivität des Enzyms Diastase. Um die Gehalte quantitativ bestimmen zu können, werden verschiedene analytische Methoden (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie, Enzymatik und Photometrie) herangezogen werden, sodass die Schüler:innen im Bereich der Berufsorientierung etwas über die Tätigkeitsfelder von Chemiker:innen erfahren und damit eine Überleitung zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen erfolgen kann.

Um das Thema Honig im schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe I umsetzen zu können, besteht die Möglichkeit dieses in den Themenfeldern *Ernährung und Gesundheit* oder *Chemie im Haushalt* zu tun. Wie bereits oben erklärt, liegt der Anknüpfungspunkt des Honig im Alltagsbezug, da die meisten Schüler:innen Honig von den Frühstückstischen kennen und häufig selbst konsumieren. Zudem ist einigen Schüler:innen bekannt, dass Honig im Haushalt auch zum Süßen von Getränken und Speisen eingesetzt werden kann, beispielsweise als Alternative zu Zucker im Tee. Aufbauend kann sich im Ernährungsbereich mit der Fragestellung beschäftigt werden, ob Honig eine gesündere Alternative zu Zucker darstellt.

In der Sekundarstufe II können sowohl in der Einführungs- als auch in der Qualifikationsphase mögliche Anknüpfungspunkte an das Thema Honig festgemacht werden. Diese können aus Tabelle 5-49 entnommen werden.

Tabelle 5-49 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Molekülstruktur von Aminosäuren, Proteinen, Kohlenhydraten (Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) und Fetten“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] • …beschreiben die Fehling-Reaktion“ [Achtermann et al., 2017, S. 22] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21] • …erörtern und bewerten Verfahren zur Nutzung und Verarbeitung ausgewählter Naturstoffe vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]

Aufgrund des hohen Alltagsbezuges des Honigs können die Schüler:innen in der Einführungsphase die gesellschaftliche Relevanz organischer Verbindungen in ihrer Lebenswelt erkennen. Zudem sollen die Schüler:innen in der Einführungsphase analytische Verfahren aus der Berufswelt von Chemiker:innen kennenlernen, wobei im Kerncurriculum als instrumentelle Analytikmethoden ausschließlich die Dünnschicht- und die Gaschromatographie explizit genannt werden. Demnach würde es sich anbieten, weitere instrumentelle Analytikmethoden vorzustellen. Als Beispiele sind hier die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und die Photometrie zu nennen. Da die Schüler:innen aufnahmefähiger sind, wenn sie selbst experimentieren können, sollten entsprechende Experimente eingesetzt werden. So würde sich die *Bestimmung des Gehaltes an Hydroxymethylfurfural in Honig mit Hochleistungsflüssigkeitschromatographie* (V 6), die *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen mit Enzymatik und Photometrie* (V 13) eigenen, ebenso wie die *Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie* (V 11) und die *Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie* (V 17). Durch die Betrachtung der verschiedenen analytischen Methoden, kann zudem ein Teil der Berufsorientierung mit abgedeckt werden. Honig enthält vor allem Kohlenhydrate in Form von Zuckern, deren Molekülstrukturen von den Schüler:innen beschrieben werden sollen, sodass auch dies ein möglicher Anknüpfungspunkt sein kann. Im Bereich der Kohlenhydrate sollen die Schüler:innen zudem die Fehling-Reaktion beschreiben können. Dies kann anhand des Lebensmittels Honig erfolgen, da Honig Glucose enthält, welches entsprechend mit der Fehling-Probe nachgewiesen werden kann. Durch die Wahl alltäglicher Lebensmittel kann den Schüler:innen aufgezeigt werden, dass sie in ihrem Leben überall mit organischen Verbindungen in Berührung kommen. Da es sich bei Honig um einen Naturstoff handelt, der von Bienen hergestellt wird,

kann der Bereich der Umwelt und des Umweltschutzes thematisiert werden, sodass die Schüler:innen das Nutzen und die Verarbeitung von Naturstoffen erörtern und bewerten können, und zwar unter dem Aspekt der knapper werdenden Ressourcen.

Auch die Themenfelder *Chemie im Alltag*, *Chemie und Ernährung* und *Chemie im Mund* eignen sich zur Umsetzung des Lebensmittels Honig im schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe II. Im alltäglichen Bereich zeigt der Honig einen starken Bezug zur Lebenswelt der Schüler:innen, die den Honig zu Hause vom Frühstückstisch kennen und gegebenenfalls selbst verzehren. Im ernährungstechnischen Bereich kann Honig als Naturstoff vorgestellt werden, der viele gesundheitsfördernde Stoffe enthält, aber auch viel Zucker, sodass hier der Frage nachgegangen werden soll, ob Honig ein gesundes Lebensmittel beziehungsweise eine gesündere Alternative zum Haushaltszucker darstellt. Im Themenbereich *Chemie im Mund* kann wieder ein Bezug zur Lebensmittelsensorik hergestellt werden. Demnach kann Honig für verschiedene sensorische Versuche eingesetzt werden. Als Beispiele sind wieder die Beliebtheitsprüfung oder der Triangel-Test zu nennen.

Für das Lebensmittel Honig können im niedersächsischen Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I im Allgemeinen dieselben Anknüpfungspunkte gefunden werden, wie bei den alkaloidhaltigen Lebensmitteln (Kapitel 5.4.3.6), die sich auf den Honig übertragen lassen. So kann zur Bertachtung der energiereichen Nahrung zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge der Honig als Lebensmittel herangezogen werden, wobei auch hier die Frage geklärt werden sollte, ob es sich bei Honig um eine gesündere Alternative im Vergleich zum Haushaltszucker handelt. Im Bereich der Lebensmittelsensorik kann neben dem Geschmack zusätzlich das Farbspektrum des Honigs betrachtet werden.

Die möglichen Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II können aus Tabelle 5-50 entnommen werden.

Tabelle 5-50 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Honig an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Struktur und Funktion	EP	• …beschreiben den Bau und die wesentlichen Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle (Lipide, Proteine, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren)“ [Emmler et al., 2017, S. 22]
Information und Kommunikation	QP	• …erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn, […])“ [Emmler et al., 2017, S. 34]
Struktur und Funktion	QP	• …erläutern Struktur-Funktionsbeziehungen auf der Ebene von Molekülen modellhaft (Enzyme, Rezeptormoleküle […])“ [Emmler et al., 2017, S. 30]

In der Einführungsphase sollen die Strukturen und Eigenschaften biologisch bedeutsamer Moleküle beschrieben werden. Honig als sehr kohlenhydratreiches Lebensmittel eignet sich, um die Strukturen und Eigenschaften verschiedener Zuckermoleküle zu beschreiben.

Der Bezug zur Lebensmittelsensorik kann durch die möglichen Anknüpfungspunkte an das biologische Kerncurriculum der Sekundarstufe II in der Qualifikationsphase wieder aufgegriffen werden. So kann über die Thematisierung der Entstehung des Geschmacks auf die Entstehung des Geruchs übergeleitet werden, wodurch den Schüler:innen das Prinzip der Signaltransduktion nähergebracht werden kann. Demnach können sie die Übertragung von Signalen erläutern.

Im Kompetenzbereich Struktur und Funktion sollen die Schüler:innen zudem modellhaft die molekularen Struktur-Funktionsbeziehungen erläutern können. Dies geschieht anhand von verschiedenen Enzymen oder Rezeptormolekülen. Da hier bereits die Enzyme angesprochen werden, kann die Enzymatik als analytisches Verfahren herangezogen werden. Mit dem V 13 *Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen mittels Enzymatik und Photometrie* können Enzyme und das Prinzip der Enzymatik am Beispiel des Honigs betrachtet und veranschaulicht werden.

5.4.6 Das Gewürz Zimt

Ein weiterer Naturstoff neben dem Honig stellt Zimt als Gewürz dar. Gerade zur Weihnachtszeit werden zimthaltige Lebensmittel, wie beispielsweise Zimtsterne, Spekulatius oder Lebkuchen, gerne gegessen. Es gibt aber auch zimthaltige Cerealien, die in der Gesellschaft häufig täglich auf den Frühstückstischen zu finden sind. Dazu hören beispielsweise die Cini Minis. Daneben wird Zimt häufig in der asiatischen Küche zum Würzen eingesetzt, sodass es ein

bekanntes Lebensmittel ist. Daher wurde Zimt ebenfalls als Lebensmittelgruppe ausgewählt, sodass auch hier eine PowerPoint-Präsentation erstellt worden ist, die dem digitalen Anhang (D.1.1) entnommen werden kann.

Zimt wird zur Gruppe der Gewürze zugeordnet. Gewürze sind gemäß Abschnitt I Buchstabe A Nr. 2 der Leitsätze für Gewürze und andere würzende Zutaten (LML Gewürze) Pflanzenteile, die aufgrund der natürlichen Inhaltsstoffe Lebensmitteln als geruchs- oder geschmacksgebende Zutaten zugesetzt werden [Meyer, 1998, S. 1]. Je nachdem, welches Pflanzenteil die geruchs- oder geschmacksgebenden Komponenten enthält, können die Gewürze in unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden (Tabelle 5-51) [Rimbach et al., 2010, S. 260].

Tabelle 5-51 Einteilung der Gewürze [Baltes & Matissek, 2011, S. 533]

Gewürzart	Beispiele
Fruchtgewürz	Pfeffer, Chili
Samengewürze	Muskatnuss, Senf
Blütengewürze	Gewürznelke, Kapern
Rhizomgewürz	Ingwer, Curcuma
Rindengewürze	**Zimt**
Blatt- & Krautgewürze	Petersilie, Majoran

Gewürze im Allgemeinen werden vor allem zerstoßen, gerebelt, gemahlen, als Extrakte oder Essenzen verwendet. Die Herstellung erfolgt ausschließlich aus dem entsprechenden Pflanzenteil, sodass keine anderen Stoffe zugesetzt werden und die Bearbeitung der Gewürze nur erfolgen darf, um die Gewürze zu konservieren. So werden beispielsweise viele Gewürze bestrahlt, um diese zu entkeimen. In Deutschland dürfen ausschließlich getrocknete aromatische Kräuter und Gewürze in zugelassen Bestrahlungsanlagen zur Entkeimung bestrahlt werden. Diese Produkte müssen jedoch entsprechend gekennzeichnet werden [Rimbach et al., 2010, S. 260].

Bei den geruchs- und geschmacksgebenden Inhaltsstoffen der Gewürze handelt es sich vor allem um sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die neben dem Würzen weitere Aufgaben übernehmen. So erfüllen sie einerseits physiologische Eigenschaften, wie die Abwehr von Schädlingen, und anderseits zeigen sie eine ökologische Bedeutung als Aroma- und Farbstoffe. Dabei sind für die sensorischen Eigenschaften vor allem die ätherischen Öle hervorzuheben, die unter anderem aus Terpenen, Phenolen, Aldehyden, Alkoholen, sowie Ketonen und Estern zusammengesetzt sind. Welche Aromastoffe enthalten sind, ist genetisch bedingt, kann aber durch Umweltfaktoren beeinflusst werden. Dabei haben die ätherischen Öle in den Gewürzen eine hohe Relevanz als sensorische Komponenten und dienen dazu, das Aroma von Speisen zu intensivieren und zu verbessern. Des Weiteren können Lebensmittel durch den Einsatz von

Gewürzen konserviert werden und durch die enthaltenen Bitterstoffe können die Gewürze appetitanregend wirken [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 257; Rimbach et al., 2010, S. 262].

Aufgrund der oben genannten Alltagsbezüge soll in der praktischen Laborarbeit der Cumaringehalt in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels HPLC bestimmt werden. Aus diesem Grund wird nachfolgend das Gewürz Zimt und der Inhaltsstoff Cumarin genauer betrachtet.

Zimt gehört zur Gruppe der Rindengewürze, welches aus der Rinde des Lorbeergewächses *Cinnamomum* gewonnen wird. Insgesamt werden zwei Hauptsorten von Zimtgewächsen unterschieden: Ceylon-Zimt (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) und Cassia-Zimt (*Cinnamomum aromaticum Nees*). Während der Ceylon-Zimt vor allem in Sri Lanka, Indien und Madagaskar angebaut wird, ist Cassia-Zimt zusätzlich in Vietnam, auf Sumatra und in Japan zu finden. Die Herstellung von Zimtstangen erfolgt in einem vierstufigen Prozess. Im ersten Schritt werden die Sprösslinge von den Zimtbäumen geschlagen. Dies erfolgt bei der Herstellung von Ceylon-Zimt nach zwei Jahren, wohingegen bei Cassia-Zimt die Sprösslinge bereits vier- bis siebenjährig sind. Die abgeschlagenen Sprösslinge werden in der zweiten Stufe längs- und rundseitig entrindet, an die sich die dritte Stufe, die Fermentation anschließt. Dies erfolgt innerhalb von 24 Stunden, wobei die Zimtstangen in Matten eingeschlagen werden. Während der Fermentation entsteht das typische Aussehen der Zimtstangen, indem diese sich rollen. Ceylon-Zimtstangen rollen sich dabei von beiden Seiten auf, Cassia-Zimtstangen, deren Rinde dicker ist, rollt sich nur von einer Seite auf. Die so fermentierten Cassia-Zimtstangen werden direkt getrocknet, wohingegen bei den Ceylon-Zimtstangen vor der Trocknung die gewürzreiche Außenschicht abgeschabt wird. Während der Trocknung, die den vierten Schritt der Herstellung von Zimtstangen darstellt, wird die typische rotbraune Farbe des Zimtes ausgebildet. Im Handel wird der Zimt entweder als Stange oder als Pulver angeboten [Rimbach et al., 2010, S. 279; Baltes & Matissek, 2011, S. 540].

Welche Qualität ein Ceylon-Zimt aufweist, wird anhand der Maßeinheit Ekelle sowie der Rindenfarbe und deren Feinheit bestimmt. Dabei erhält hochwertiger Ceylon-Zimt eine Ekelle von „00000“. Mit aufsteigenden Zahlen von „I“ bis „IV“ ist die Qualität des Ceylon-Zimtes abnehmend. Die sensorischen Eigenschaften von Ceylon-Zimt werden beim Geruch als charakteristisch und angenehm aromatisch beschrieben, der Geschmack als brennend würzig und leicht süß. Cassia-Zimt ist hingegen seltener im Einzelhandel zu finden und wenn, dann überwiegend in Pulverform und weniger als Zimtstange. Im Vergleich zum Ceylon-Zimt weist Cassia-Zimt einen kräftigeren Geschmack auf, ist leicht adstringierend und herber [Rimbach et al., 2010, S. 280].

Eingesetzt wird Zimt vor allem als Zutat in Lebensmitteln zur Aromatisierung. So werden Backwaren, wie Spekulatius, Lebkuchen und Zimtsterne, mit Zimt versetzt, aber auch Schokolade, andere Süßspeisen und auch weihnachtliche Getränke, wie beispielsweise Glühwein. Neben den Lebensmitteln werden auch Tabake oder Parfüme mit Zimtöl aromatisiert [Rimbach et al., 2010, S. 280].

Die charakteristischen Inhaltsstoffe von Zimt sind die etherischen Öle sowie andere Aromastoffe. Dabei sind in der Rinde des Ceylon-Zimtes etwa 1 – 4 % etherische Öle enthalten, wovon 75 % Zimtaldehyd (Abbildung 5-56, links) und etwa 10 % Eugenol (Abbildung 5-56, rechts) nachgewiesen werden können. Daneben sind weitere Aromastoffe enthalten, die an der Entstehung der typischen sensorischen Eigenschaften beteiligt sind. Dazu gehören weitere Phenylpropane sowie Terpene [Rimbach et al., 2010, S. 280].

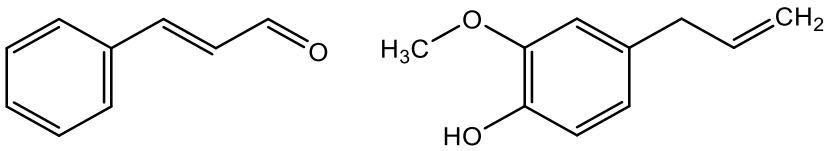


Abbildung 5-56 Darstellung der wichtigsten Bestandteile des etherischen Öls in Ceylon-Zimt: links: Zimtaldehyd [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 541] und rechts: Eugenol [eigene Darstellung nach Baltes & Matissek, 2011, S. 536]

In den Blättern der *Cinnamomum zeylanicum Blume* sind ebenfalls etherische Öle enthalten, welches sich ebenfalls überwiegend aus Zimtaldehyd und Eugenol zusammensetzt, wobei in den Blättern das Eugenol mit einem Anteil von 70 – 95 % überwiegt. Neben Zimtaldehyd sind auch Benzylbenzoat und Linalool als Aromastoffe zu finden. Im Cassia-Zimt sind ebenfalls in der Rinde etherische Öle enthalten. Den größten Anteil macht auch in dieser Zimtsorte das Zimtaldehyd aus, jedoch kann anstelle von Eugenol Cumarin (Abbildung 5-57) nachgewiesen werden, sodass bei der Unterscheidung der beiden Zimtsorten der Cumaringehalt herangezogen werden kann [Rimbach et al., 2010, S. 280].

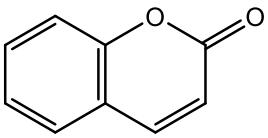


Abbildung 5-57 Darstellung der Strukturformel Cumarin als Inhaltsstoff des etherischen Öls des Cassia-Zimtes [eigene Darstellung verändert nach Baltes & Matissek, 2011, S. 511]

Cumarin ist in vielen Pflanzen als natürlicher Aromastoff enthalten, so auch unter anderem in Zimt. Dabei kann in Cassia-Zimt bis zu 12 g Cumarin nachgewiesen werden, wohingegen im Ceylon-Zimt bedeutend geringere Mengen an Cumarin zu finden sind (bis zu 300 mg/kg)

[Bundesamt für Risikobewertung, 2012]. Der Geruch von Cumarin erinnert an den Geruch von Waldmeister und wird zudem als süß, krautig-warm und würzig beschrieben [Eisenbrand & Schreier, 2006, S. 232]. Daneben kann auch ein Geruch nach Heu und Vanille wahrgenommen werden. Der Geschmack wird hingegen als brennend beschrieben. Cumarin darf in isolierter Form in der Lebensmittelindustrie den Lebensmitteln, aufgrund des gesundheitsschädlichen Potentials, nicht zugesetzt werden. Zugesetzt werden dürfen hingegen aber aromatisierende Pflanzenteile, die Cumarin enthalten. Da Cumarin jedoch gesundheitsschädlich ist und bei empfindlichen Menschen Leberschädigungen hervorrufen kann, wurden im europäischen Lebensmittelrecht Höchstmengengehalte für zimthaltige Lebensmittel festgelegt [Bundesamt für Risikobewertung, 2012]. Die Höchstmengenbeschränkungen sind in der Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln (Aromen-Verfahrensverordnung) in Art. 6 Abs. 2 i. V. m. Anhang III Teil B festgelegt (Tabelle 5-52). Für den Cumaringehalt in Zimt hingegen gibt es keinen gesetzlichen Grenzwert [Meyer, 2021b, S. 190].

Tabelle 5-52 Höchstmengengehalte für Cumarin in Lebensmitteln [Meyer, 2021b, S. 190]

Lebensmittelgruppe	Höchstgehalt [mg/kg]	Beispiele für Lebensmittel
traditionelle und/oder saisonale Backwaren, bei denen Zimt in der Kennzeichnung angegeben ist	50	Zimtsterne Lebkuchen Spekulatius
Frühstücksgetreideerzeugnisse einschließlich Müsli	20	Cini Minis Mini Zimtos
feine Backwaren (außer saisonale und traditionelle Backwaren)	15	Zimtschnecken Franzbrötchen
Dessertspeisen	5	Apfel-Zimt-Dessert Cremedesserts mit Zimt

Zusätzlich zu den Höchstmengengehalten hat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Jahr 2012 das gesundheitliche Risiko durch Cumarin in Zimt bewertet. Da empfindliche Menschen mit Leberschädigungen auf Cumarin ansprechen können, hat das BfR eine tägliche tolerierbare Aufnahmemenge für empfindliche Verbraucher abgeleitet. So können 0,1 mg Cumarin/kg Körpergewicht und Tag ein Leben lang aufgenommen werden, ohne dass ein gesundheitliches Risiko zu erwarten ist. Um diesen Wert zu überschreiten, müsste die Lebensmittelindustrie die Höchstmengengehalte vollständig ausschöpfen und die Verbraucher:innen große Mengen der zimthaltigen Lebensmittel verzehren. So müsste eine erwachsene Person mit einem

Körpergewicht von 60 kg täglich beispielsweise 24 kleine Zimtsterne zu sich nehmen, um den Höchstmengengehalt an Cumarin pro Tag zu überschreiten [Bundesamt für Risikobewertung, 2012].

Natürlich kann zusätzlich Cumarin über cumarinhaltige kosmetische Präparate (Cremes und Öle) aufgenommen werden. Es gibt zwar in kosmetischen Mitteln keine Mengenbegrenzungen für die Verwendung von Cumarin, dafür aber eine Kennzeichnungspflicht bei Produkten, die auf Haut verbleiben („Leave-on"-Produkte) ab einer Menge an Cumarin von mehr als 0,001 %. Bei Produkten, die mit Wasser von der Haut wieder heruntergewaschen werden („Rinse-off"-Produkte) besteht eine Kennzeichnungspflicht ab einer Cumarinmenge von mehr als 0,01 %. Die Kennzeichnungspflicht für Cumarin wird durch Art. 19 i. V. m. Anhang III Nr. 77 der Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 über kosmetische Mittel geregelt [Meyer, 2021h, S. 166]. Demnach können die Verbraucher:innen sehen, welche kosmetischen Produkte Cumarin enthalten, und somit selbst entscheiden, ob sie solche Produkte kaufen oder auch nicht.

Bei der Verwendung von Zimt als Gewürz, wo es keinen gesetzlichen Grenzwert gibt, sollte optimalerweise Ceylon-Zimt verwendet werden, da dieser bedeutend weniger Cumarin enthält als Cassia-Zimt. Da Zimt als Gewürz jedoch sehr ergiebig ist, werden daher nicht so große Mengen zur Aromatisierung von Lebensmitteln verwendet, sodass auch hier keine gesundheitlichen Risiken zu erwarten sind [Bundesamt für Risikobewertung, 2012].

5.4.6.1 Mögliche Anknüpfungspunkte für das Gewürz Zimt im niedersächsischen Kerncurriculum

Die möglichen Anknüpfungspunkte für das Gewürz Zimt an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufe I und II sind ziemlich ähnlich im Vergleich zum Honig. Dies ist dadurch bedingt, dass es sich sowohl bei Honig als auch beim Zimt um Naturstoffe handelt. So sind die möglichen Anknüpfungspunkte für den schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe I deckungsgleich mit denen des Honigs, wobei natürlich die Transformation auf das Gewürz Zimt erfolgen muss (Kapitel 5.4.5.1, Tabelle 5-48).

Im Bereich der Lebensmittelsensorik wird keine Beliebtheitsprüfung oder Triangel-Test durchgeführt, sondern es wird die Interaktion von Geruch und Geschmack mithilfe einer Zimt-Zucker-Mischung herangezogen. Zimt-Zucker-Mischungen sind vielen Schüler:innen durch den Verzehr von Milchreis bekannt. Bei der Interaktion von Geruch und Geschmack bekommen die Schüler:innen ein schwarzes Eppendorfgefäß mit einer Zimt-Zucker-Mischung ausgehändigt. Die Schüler:innen verschließen die Nase mit Daumen und Zeigefinger, öffnen das Eppendorfgefäß, ohne hineinzuschauen, und geben den Inhalt in den Mund. Dabei sollen die

Schüler:innen das Mundgefühl genau beobachten und beschreiben, wann und was sie schmecken. Anschließend wird die Nase geöffnet. Anhand dieses Versuchs kann den Schüler:innen die Interaktion von Geruch und Geschmack verständlich gemacht werden. Anfangs können die Schüler:innen nur eine krümelige Konsistenz im Mund wahrnehmen, denn erst wenn sich der Zucker im Speichel löst, kann ein süßer Geschmack des Zuckers wahrgenommen werden. Erst durch das Öffnen der Nase kann auch der Geruch von Zimt identifiziert werden. Somit kann den Schüler:innen verständlich gemacht werden, dass es sich bei der Wahrnehmung von Zimt nicht um einen Geschmack, sondern einen Geruch handelt [Muche & Pietzner, 2022].

Die Schüler:innen sollen Angaben zu den Inhaltsstoffen bewerten. Cumarin ist ein wichtiger Inhaltsstoff von Zimt, sodass im Themenfeld *Ernährung und Gesundheit* die Frage beantwortet werden sollte, ob Zimt sich, aufgrund des Cumaringehaltes, negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken kann.

Auch die Anknüpfungspunkte vom Gewürz Zimt an das chemische Kerncurriculum der Sekundarstufe II stimmt größtenteils mit denen vom Honig überein (Kapitel 5.4.5.1 Tabelle 5-49).

Der Unterschied besteht darin, dass Zimt keine Kohlenhydrate in Form von Zuckern enthält, sodass anhand des Gewürzes keine Molekülstruktur und keine Fehling-Reaktion beschrieben werden kann. Ansonsten lässt sich beim Zimt ebenfalls die Berufsorientierung anschließen, wobei das Prinzip der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit V 5 *Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)* experimentell untermauert werden kann. Zimthaltige Lebensmittel kennen die Schüler:innen ebenfalls aus ihrem Alltag. Beispiele, die hier zu nennen sind, sind Frühstückscerealien (Cini Minis) oder auch Franzbrötchen, Spekulatius und Lebkuchen. Alle anderen Inhalte des Honigs lassen sich problemlos auf Zimt übertragen, denn Zimt ist ebenfalls ein Naturstoff, welcher als Gewürz im Alltag betrachtet werden kann.

Die Anknüpfungspunkte für das Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I und II sind ebenfalls fast deckungsgleich mit denen des Honigs und können demnach so auf das Gewürz Zimt übertragen werden. Der einzige Unterschied kann in den Anknüpfungspunkten der Sekundarstufe II gefunden werden. Da das Gewürz Zimt kein Ethanol enthält beziehungsweise bildet, können anhand des Zimtes keine Enzyme und enzymatischen Reaktionen betrachtet werden. Ansonsten sind alle anderen Inhalte der biologischen Kerncurricula von Honig auf Zimt übertragbar.

5.4.7 Alkaloidhaltige Genussmittel

Neben den alkaloidhaltigen Lebensmitteln, wie Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade sowie einigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks, werden auch die alkaloidhaltigen Genussmittel betrachtet. Dazu zählt der Tabak, der zur Zigarettenherstellung verwendet wird, aber auch die Liquids für die elektronischen Zigaretten (E-Zigaretten). So sollen in der praktischen Laborarbeit der Nikotingehalt in Zigaretten und den Liquids der E-Zigaretten qualitativ (mittels DC) und quantitativ (mittels GC) bestimmt und miteinander verglichen werden. Die zugehörige PowerPoint-Präsentation kann dem digitalen Anhang (D.1.1) entnommen werden.

5.4.7.1 Tabak, Tabakerzeugnisse und Nikotin

Vom Tabak (*Nicotiana*) sind etwa 50 verschiedene Unterarten bekannt, wobei sich zwei Hauptarten, *Nicotiana tabacum* und *Nicotiana rustica*, herauskristallisiert haben. So stellen beispielsweise die beiden bekannten Tabak-Unterarten *Orient-Burley* und *Virginia-Tabak* Beispiele für Tabaksorten von *Nicotiana tabacum* dar. Je nachdem, welche Variante des Tabaks vorliegt, nimmt Nikotin einen Gehalt von 1 – 4 % ein [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 529].

Der Anbau von Tabak erfolgt in der Regel in gemäßigtem bis subtropischem Klima, wobei aus winzigen Samenkörnern die Tabakpflanzen entstehen. In der Regel wird per Hand geerntet, teilweise aber auch maschinell, wobei die Tabakpflanzen nach 8 – 12 Blättern abgeschnitten werden. Die Ernte der Tabakblätter, die meistens im Hochsommer stattfindet, erfolgt dann von unten nach oben [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 529].

Um aus den Blättern Tabak herzustellen, müssen die Blätter entsprechend bearbeitet werden. Je nach Behandlung der Tabakblätter können unterschiedliche Tabake gewonnen werden, die verschiedene Anwendungsmöglichkeiten bieten. So kann durch die unterschiedliche Behandlung der Tabakblätter sowohl saurer Tabak als auch alkalischer Tabak produziert werden (Abbildung 5-58). Saurer Tabak wird in Zigaretten verwendet, wohingegen alkalischer Tabak in Zigarren und Pfeifen zum Einsatz kommt [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 529 f.].

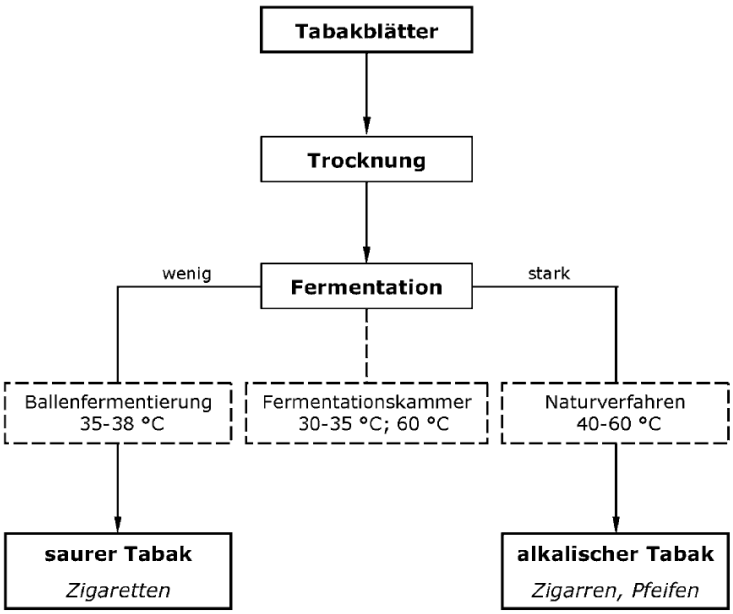


Abbildung 5-58 Herstellung unterschiedlicher Tabaksorten nach der Ernte durch unterschiedliche Bearbeitung [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 530]

Im ersten Schritt der Bearbeitung der Tabakblätter erfolgt die Trocknung, die natürlicherweise oder durch künstliche Prozesse herbeigeführt werden kann. Die natürliche Trocknung an der Luft durch die Kraft der Sonne kann bis zu 90 Tagen andauern, wohingegen die Trocknung mit künstlichen Methoden, beispielsweise mithilfe von Heißluft, nur 3 – 5 Tage in Anspruch nimmt. Während der Trocknung wird der Wassergehalt der Teeblätter reduziert, sodass der Wassergehalt nach der Trocknung nur noch 20 – 25 % beträgt [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 15]. Die sich anschließende Fermentation kann ebenfalls auf drei unterschiedlichen Arten erfolgen: in Haufen, Ballen oder Kammern. Die Fermentation in Haufen wird im Naturverfahren eingesetzt, wodurch alkalischer Tabak produziert wird. Es handelt sich um eine starke Fermentation, bei der die Tabakblätter in Haufen gestapelt werden. Während des Fermentationsprozesses erwärmt sich der Haufen auf 40 – 60 °C. Um saure Tabake herzustellen, wird in der Regel die Ballenfermentierung eingesetzt. Wie der Name schon verrät, werden die Blätter in Ballen bei einer Temperatur von 35 – 38 °C fermentiert. Es gibt daneben aber auch die Möglichkeit der Kammerfermentation, bei der luftgetrocknete Tabakblätter kontrolliert in Kammern fermentiert werden. Dabei wird anfänglich bei einer Temperatur von 30 – 35 °C fermentiert und die Temperatur mit der Zeit bis auf 60 °C angehoben [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 530 f.]. Je nachdem, welches Fermentationsverfahren eingesetzt wird, nimmt dieser Prozess eine Zeit von 4 Wochen bis hin zu 6 Monaten ein. Während des Fermentationsprozesses laufen verschiedene chemische Reaktionen ab. So werden die typischen sensorischen

Aromakomponenten sowie die typische braune Farbe des Tabaks gebildet [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 15].

Wie bereits beschrieben kann je nach Trocknungs- und Fermentationsart zwischen saurem und alkalischem Tabak unterschieden werden. Der nur leicht fermentierte saure Tabak wird für Zigaretten verwendet und zeichnet sich durch wasserdampfflüchtige Säuren aus, wohingegen Nikotin als Salz gebunden vorliegt. Alkalischer Tabak ist hingegen stark fermentiert und wird für Zigarren und Pfeifen eingesetzt. Durch den starken Fermentationsprozess werden die sauren Komponenten abgebaut. Zudem liegen Nikotin sowie die Amine nicht mehr gebunden, sondern als freie Basen vor [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 530].

Tabakblätter enthalten neben Alkaloiden auch andere stickstoffhaltige Verbindungen, sowie Enzyme, Kohlenhydrate, phenolische Verbindungen, Farb- und Aromastoffe, Phytosterine und Säuren. Die Inhaltsstoffe sollen im Folgenden betrachtet werden. Insgesamt konnten in Tabakblättern mehr als 20 verschiedene Alkaloide nachgewiesen werden, wobei Nikotin (Abbildung 5-59) das mengenmäßig wichtigste Alkaloid mit einem Anteil von 2 – 8 % darstellt. Dabei enthalten Tabakblätter, die sich oben an der Pflanze befinden, mehr Nikotin als die unteren Blätter. Ein weiteres Alkaloid, welches in dieser Fraktion hervorgehoben werden sollte, ist das Nornicotin (Abbildung 5-59), welches ein Stoffwechselprodukt des Nikotins ist, aber eine bedeutend geringere Toxizität aufweist als das Nikotin selbst. Daneben sind in der Alkaloidfraktion Oxidationsprodukte des Nikotins und weitere Nebenalkaloide enthalten. Während der Trocknung und Fermentation werden viele Alkaloide abgebaut, sodass der Alkaloidgehalt in den Tabakblättern um etwa 40 % abnimmt [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 531 ff.].

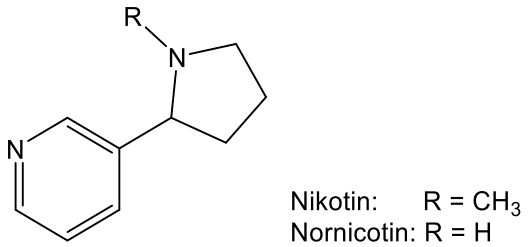


Abbildung 5-59 Darstellung der Strukturformeln von Nikotin und Nornicotin [eigene Darstellung nach Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 532]

Zudem enthalten fermentierte Tabakblätter neben den Alkaloiden noch weitere stickstoffhaltige Verbindungen, die einen Anteil von 2 – 4 % ausmachen. Neben verschiedenen Proteinen sind aliphatische Amine und Nitrate vertreten. Die Nitrate werden während der Verbrennung in Nitrite und Stickoxide umgewandelt, die zusammen mit den enthaltenen sekundären Aminen die cancerogenen Nitrosamine ausbilden [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 533].

Tabakblätter enthalten vor der Fermentation noch viele Kohlenhydrate, deren Anteil 25 – 50 % des Tabakblattes ausmacht. Es liegen sowohl lösliche Zucker, vor allem Saccharose, aber auch Oligosaccharide, wie Raffinose, vor. Daneben sind Polysaccharide in Form von Stärke, Cellulose und Pektin enthalten. Während der Fermentation wird die Stärke enzymatisch abgebaut, sodass lösliche Zucker gebildet werden [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 534].

Enzyme und phenolische Verbindungen sind enthalten. Die wichtigsten Vertreter der Enzyme sind Peroxidasen, Amylasen, Invertasen und β-Glucosidasen. Bei den phenolischen Verbindungen sind vor allem die Flavonoide enthalten, die maßgeblich an der Farbgebung und der Bildung des typischen Tabakgeschmacks beteiligt sind. Daneben sind als wichtige Aromakomponenten Chlorogensäure, Lignin, Hydroxyzimtsäuren, Cumarine und Phenole, wie Eugenol, enthalten. Aromatische Amine, die ebenfalls an der Bildung des Tabakaromas beteiligt sind, stellen ein erhöhtes Krebsrisiko dar. Weitere wichtige Komponenten des Tabakaromas sind aromatische Aldehyde und Ketone, wie beispielsweise Salicylaldehyd oder Acetophenon [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 534 f.].

Wie in jeder grünen Pflanze, sind auch in den Tabakblättern Carotinoide enthalten. Dazu gehören vor allem β-Carotin, Lutein, Neo- und Violaxanthin. Wie hoch der Gehalt an Carotinoiden in den Tabakblättern ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehört das genetische Ausgangsmaterial, der Standort des Anbaus der Tabakpflanzen, der Zustand der Reife bei der Ernte und die Art der eingesetzten Fermentation. Während der Fermentation werden die Carotinoide abgebaut. Dabei gilt: Je mehr Carotinoide während der Fermentation abgebaut werden, desto aromatischer wird der fertige Tabak [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 535].

Der Anteil an Phytosterinen beträgt in den Tabakblättern 0,1 – 0,5 %. Diese Verbindungen sind dafür verantwortlich, dass cancerogene, polyzyklische Kohlenwasserstoffe bei der Verbrennung im Tabakrauch gebildet werden. Damit diese Verbindungen nicht in den menschlichen Organismus gelangen, enthalten Zigaretten das Filtermundstück [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 536 f.].

Aus dem hergestellten Tabak können verschiedene Tabakerzeugnisse hergestellt werden. Dazu zählen unter anderem Zigaretten, Tabak zum Selbstdrehen von Zigarren (Feinschnitt), Zigarren und Zigarillos, sowie Pfeifentabak, Wasserpfeifentabak und die rauchlosen Tabakprodukte, wie Kautabak [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 13]. Die Tabakerzeugnisse werden auf unterschiedlichen Weisen hergestellt, wobei die Rohtabake häufig mit Zusatzstoffen versetzt werden, die sowohl den Geruch als auch den Geschmack, die Haltbarkeit und die Feuchtigkeit des Tabaks verbessern [Osiander-Fuchs, 2016]. Welche Stoffe nicht zugesetzt werden dürfen, wird in § 4 i. V. m. Anlage 1 der Tabakerzeugnisverordnung geregelt. Somit dürfen

beispielsweise weder Vitamine noch Flavonoide zugesetzt werden, denn diese Stoffe können suggestieren, dass die Tabakerzeugnisse keine gesundschädliche Wirkung aufweisen. Daneben dürfen auch keine Stoffe zugesetzt werden, die mit Vitalität und Energie in Verbindung gebracht werden können, wie beispielsweise Koffein, und auch keine Stoffe, die färbende Eigenschaften für Emissionen aufweisen, sowie Zusatzstoffe, die die Nikotinaufnahme des Organismus erleichtern oder in unverbrannter Form karzinogene, mutagene und reproduktionstoxische Eigenschaften aufweisen [Meyer, 2020c, S. 19 f.]. Demnach müssen die Hersteller beziehungsweise Importeure zusätzlich eine Liste übermitteln, auf der alle für die Herstellung des Tabaks eingesetzten Zusatzstoffe aufgeführt sind. Damit der Verbraucher auch erfahren kann, um welche Zusatzstoffe es sich handelt, informiert das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) auf der Homepage über die Zusatzstoffe in den verschiedenen Marken der Tabakerzeugnisse [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2020].

Die Herstellung von Zigaretten erfolgt mit geschreddertem, homogenisiertem Tabak (Schnittbreite etwa 0,75 mm), welcher durch das Hinzufügen von Zusatzstoffen befeuchtet und aromatisiert wird. Diese Mischung wird schließlich zu Zigaretten gerollt [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 12 f.]. Für die Herstellung von Feinschnitt, also Tabak zum Selbstdrehen von Zigaretten, verwendet man verschiedene Tabake, wobei diese feiner auf eine Schnittbreite von 0,30 – 0,65 mm geschnitten werden [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 12 f.] Sowohl für Zigaretten als auch für Feinschnitt ist in § 5 Abs. 1 Nr. 1a des Tabakerzeugnisgesetzes geregelt, dass diese kein charakteristisches Aroma aufweisen dürfen, welches vom typischen Tabakaroma abweicht. Somit dürfen beispielsweise keine fruchtigen Aromen zugesetzt werden [Meyer, 2020b, S. 4].

Auch die Zigarren und Zigarillos werden mithilfe verschiedener Tabaksorten hergestellt, wobei die Tabake unbehandelt sind. Ein den Tabak umschließendes Umblatt dient der Stabilität der Tabakeinlage, welches selbst noch von einem äußeren Deckblatt umhüllt wird [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 12 f.]. Für Pfeifentabak wird loser Tabak verwendet, welcher eine Schnittbreite von 1,4 – 3,5 mm aufweist. Der lose Tabak, welcher häufig mit natürlichen Aromen oder den Zusatz chemischer Komponenten aromatisiert wird, kann so in die Pfeife gestopft werden. So riecht ein Pfeifentabak häufig fruchtig oder vanilleartig [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 12 f.]. Der Unterschied vom Wasserpfeifentabak zum Pfeifentabak liegt in den hohen Gehalt an Feuchthaltemitteln. Zudem ist Wasserpfeifentabak häufig stark aromatisiert. Beim Rauchen der Wasserpfeife werden die feuchten, aromatisierten Tabakmischungen auf Kohle schwelend verbrannt [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 12 f.]. Neben raucherzeugenden Tabakerzeugnissen gibt es aber auch rauchlose Tabakerzeugnisse. Dazu gehört neben dem Kautabak

auch der Schnupftabak. Kautabak kann in verschiedenen Variationen auftauchen. So wird dieser sowohl in Stangenform als auch in Riegeln oder als Würfel angeboten. Der verwendete Tabak enthält in der Regel viel Nikotin und wird mit unterschiedlichen Zusatzstoffen versetzt, sodass der Kautabak verschiedene Geschmacksrichtungen, wie beispielsweise nach Lakritze oder fruchtig nach Erdbeere schmeckend, aufweisen kann [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 13]. Beim Konsum wird der Kautabak zur Entfaltung der Wirkung in eine der beiden Wangenseiten gelegt und erst dann gekaut, wenn die Wirkung abflacht [Osiander-Fuchs, 2017]. Bei Schnupftabak wird das Nikotin über die Nasenschleimheut aufgenommen, in dem die sehr fein gemahlene Tabakmischung in kleinen Mengen (30 – 50 mg) in die Nase eingezogen und nach gewisser Zeit wieder ausgeschnäuzt wird [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 13]. Der Schnupftabak enthält neben dem Nikotin ebenfalls Feuchthaltemittel, sowie verschiedene Aromakomponenten [Osiander-Fuchs, 2017]. Im Vergleich zu den Tabakerzeugnissen, die geraucht werden, müssen die rauchlosen Varianten für die gleiche Wirkung länger im Mund beziehungsweise der Nase verweilen, da das Nikotin in den rauchlosen Tabakerzeugnissen langsamer abgegeben wird [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 13].

Beispielsweise während des Rauchens einer Zigarette entsteht der Tabakrauch, bei dem kleine Flüssigkeitstropfen innerhalb der gasförmigen Verbrennungskomponenten verteilt vorliegen [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 537]. Der Tabakrauch setzt sich aus bis zu 4800 verschiedenen Komponenten zusammen. Darunter befinden sich auch viele giftige beziehungsweise cancerogene Substanzen, weshalb der Tabakrauch gesundheitsschädlich ist [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 18]. Beim Rauchen von Tabakerzeugnissen laufen in der Glühzone Oxidationsreaktionen ab, bei denen aus einigen Inhaltsstoffen Wasser sowie Kohlenstoffdioxid gebildet werden. Bei der vorherrschenden Temperatur in der Glühzone (beispielsweise 600 °C bei der Zigarette und 900 °C bei der Zigarre) sind viele Verbindungen flüchtig, sodass die flüchtigen Verbindungen zusammen mit Pyrolyseprodukten, Stickoxiden und Sauerstoffradikalen im Tabakrauch nachgewesen werden können [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 537]. So können innerhalb des Tabakrauches Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten auftreten, sodass die gesundheitsschädliche Wirkung noch verstärkt werden kann. Demnach resultiert die gesundschädliche Wirkung nicht nur aus einzelnen Substanzen, sondern aus der Mischung der Komponenten [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 18]. Beim Rauchprozess wird der Rauch in Haupt- und Nebenstrom unterschieden, wobei der Hauptstrom vom Organismus aufgenommen und der Nebenstrom in die Umgebung abgegeben wird. Dabei nimmt der Hauptstrom einen Anteil von etwa 35 % ein. Der Hauptbestandteil des Tabakrauchs ist Nikotin mit einem Anteil von 60 – 70 %, da Nikotin leicht resorbiert werden kann, wobei der Nikotinanteil vom

Inhalieren beim Rauchen abhängt. Neben Nikotin sind verschiedene chemische Substanzen aus verschiedenen Stoffklassen enthalten. Vor allem die phenolischen Inhaltsstoffe, wie beispielsweise Eugenol oder Guajacol, sind an der Ausbildung des typischen Raucharomas beteiligt [Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 537]. Eine Übersicht zu den enthaltenden Stoffklassen mit der Anzahl einzelner chemischer Verbindungen kann aus Tabelle 5-53 entnommen werden.

Tabelle 5-53 Anzahl der chemischen Verbindungen einzelner Stoffklassen, die im Tabakrauch enthalten sind [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 18]

Stoffklasse der chemischen Verbindung	Anzahl der Einzelsubstanzen
Amide, Imide	240
Carbonsäuren, Anhydride	240
Lactone	150
Ester	475
Aldehyde	110
Ketone	520
Alkohole	380
Phenole	285
Amine	200
N-Nitrosamine	22
N-Heterozyklen	920
Kohlenwasserstoffe inklusive PAK	755
Nitrile	105
Saccharide	45
Ether	310

Rauchen kann sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken. Dafür sind neben Nikotin viele gesundheitsschädliche Substanzen des Tabakrauchs verantwortlich. So gelangt durch das Rauchen einer Zigaretten 1 – 2 mg Nikotin ins menschliche Blut, wohingegen Nikotin innerhalb kürzester Zeit im Gehirn registriert wird. Im Gehirn kann das Nikotin an Rezeptoren binden, wodurch die Herz- und Atemfrequenz gesteigert werden kann und die Produktion von Stresshormonen (Adrenalin und Noradrenalin) und Neurotransmittern (Dopamin und Serotonin) angeregt wird. Zudem entsteht durch die Stimulation bestimmter Hirnbereiche ein wacher und entspannter Zustand. Durch die gesteigerte Adrenalinausschüttung wird der Fett- und Glykogenstoffwechsel beschleunigt und durch die Aktivität des Nervensystems wird sowohl die Magensaftproduktion als auch die Darmtätigkeit gesteigert, sodass rauchende Personen häufig weniger Gewicht auf die Waage bringen als Nichtraucher. Demnach kann eine regelmäßige Nikotinaufnahme durch das Rauchen innerhalb kürzester Zeit abhängig machen. Bei einer Überdosierung des Körpers mit Nikotin kann Erbrechen resultieren oder ein erhöhtes Schmerzempfinden ausgelöst werden, da die Druck-, Schmerz- und Temperaturrezeptoren erregt

werden, und es besteht ein erhöhtes Thromboserisiko durch die Förderung der Blutgerinnung [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 24 f.]. Zudem kann eine Blockade der Erregungsweiterleitung resultieren, wobei der Tod durch Atemlähmung hervorgerufen wird [Weiß, 2014]. Neben Nikotin sind zahlreiche andere gesundheitsschädliche Substanzen im Tabakrauch enthalten, die schnell über die Lunge aufgenommen werden können. Dadurch entstehen viele Risiken für den menschlichen Körper, wie beispielsweise die Entstehung koronarer Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Beispiele: Herzinfarkte und Schlaganfälle), Atemwegserkrankungen (Beispiele: Asthma und COPD, einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung), Krebs (Beispiele: Lungenkrebs und Kehlkopfkrebs) sowie Stoffwechselerkrankungen (Beispiel: Diabetes mellitus Typ 2). Zudem kann bei Frauen durch das Rauchen die Entstehung von Gebärmutterhals- und Brustkrebs resultieren, sowie Unfruchtbarkeit und Schwangerschaftskomplikationen, wie beispielsweise Früh- oder Fehlgeburten. Für die Neugeborenen stellt der Rauchkonsum der Mutter ein erhöhtes Risiko dar, denn wenn in der Schwangerschaft geraucht wird, kann das Neugeborene ein geringeres Gewicht und eine geringere Größe aufweisen, aber auch Missbildungen können hervorgerufen werden [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 24 f.].

Durch den Zigarettenkonsum wird jedoch nicht nur der eigene Körper geschädigt, sondern auch das Passivrauchen kann zu Gesundheitsschäden Dritter führen. So kann es durch das Passivrauchen zu Atemwegsreizungen, Augenbrennen, sowie dem Anschwellen und Röten der Schleimhäute kommen. Des Weiteren werden Kopfschmerzen, Schwindel und Müdigkeit als Symptome des Passivrauchens beschrieben. Daneben können aber auch schlimmere Folgen durch das Passivrauchen resultieren, beispielsweise Herzerkrankungen, Herzinfarkte und Schlaganfälle, sowie ein akutes Krebsrisiko und Asthma [Pötschke-Langer et al., 2009, S. 48 f.]. Somit kann festgehalten werden, dass das Passivrauchen genauso hohe Gesundheitsgefahren mit sich bringt wie der eigene Konsum.

Um die Gesundheitsgefahren in Grenzen zu halten, wurden im Tabakerzeugnisgesetz in § 4 Emissionswerte für Tabakerzeugnisse festgelegt. Demnach dürfen Zigaretten nur so hergestellt und in den Verkehr gebracht werden, wenn die Emissionswerte für Teer (10 mg/Zigarette), Nikotin (1 mg/Zigarette) und Kohlenstoffmonooxid (10 mg/Zigarette) eingehalten werden [Meyer, 2020b, S. 4]. Wie die Zusatzstoffe müssen auch die Emissionswerte veröffentlicht werden. Dies erfolgt ebenfalls über die Datenbank beim BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2020]. Darüber hinaus müssen gemäß § 6 Tabakerzeugnisgesetz i. V. m. § 12 Tabakerzeugnisverordnung und Anhang II der delegierten Richtlinie 2014/109/EU auf der Verpackung von Tabakerzeugnissen Warnhinweise aufgebracht werden. So müssen als gesundheitsbezogene Angaben „Rauchen kann tödlich sein“, „Tabakrauch enthält über 70 Stoffe,

die erwiesenermaßen krebserregend sind“ und kombinierte Text-Bild-Warnhinweise auf Verpackungen von Tabakerzeugnissen zu finden sein [Meyer, 2020c, S. 8]. Beispiele für einige Text-Bild-Warnhinweise können aus Abbildung 5-60 entnommen werden.

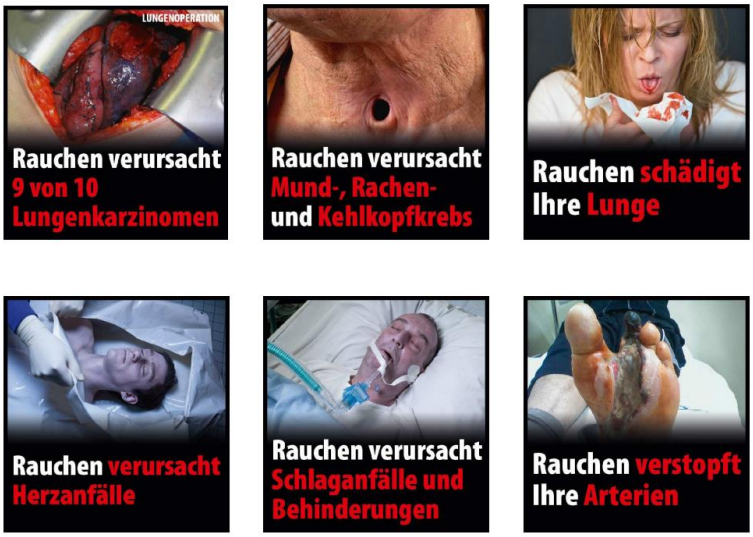


Abbildung 5-60 Beispiele für kombinierte Text-Bild-Warnhinweise, die auf den Verpackungen von Tabakerzeugnissen aufgebracht sein müssen [Europäische Kommission, 2014]

Neben der gerade beschriebenen Kennzeichnungselemente werden in § 11 der Tabakerzeugnisverordnung allgemeine Vorschriften zur Kennzeichnung von Tabakerzeugnissen geregelt. Demnach müssen alle gesundheitsbezogenen Warnhinweise in deutscher Sprache verfasst und mit einem schwarzen Rahmen umrandet sein. Zudem dürfen sie nur fest aufgedruckt sein und nicht verdeckt werden, das heißt, dass die Warnhinweise weder ablösbar noch verwischbar sein dürfen [Meyer, 2020c, S. 7 f.].

5.4.7.2 Elektrische Zigaretten und Liquids

Elektrische Zigaretten (E-Zigaretten) werden etwa seit dem Jahr 2007 angeboten und haben seitdem eine große Beliebtheit erfahren. Mithilfe der E-Zigaretten wird das Gefühl des Rauchens vermittelt, ohne dass dabei Tabak verbrannt werden muss. Aufgebaut ist eine solche E-Zigarette aus dem Akku, der als Stromquelle dient, einem elektrischen Vernebler sowie einer Kartusche, die ausgewechselt werden kann und in der sich die zu verdampfende Flüssigkeit, das Liquid, befindet. Sobald am Mundstück gesaugt wird, wird das Liquid verdampft und die Inhaltsstoffe inhaliert [Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022].

Da E-Zigaretten keinen Tabak verbrennen, müssen die Liquids andere Inhaltsstoffe enthalten, die den Dampf erzeugen können. Hauptbestandteile von Liquids sind 1,2-Propandiol

(Propylenglykol), Glycerin, sowie verschiedene Duft- und Aromastoffe, beispielsweise Sauerkirsche, Vanille, Himbeere und Menthol. Nikotin kann, muss aber nicht enthalten sein, sodass es auch nikotinfreie Erzeugnisse gibt [Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022]. Auch die Inhaltsstoffe der Liquids weisen eine gesundheitsschädliche Wirkung auf. Während Propylenglykol als Feuchthaltemittel, Trägerstoff und Substanz für den Nebeleffekt eingesetzt wird, können verschiedene gesundheitliche Gefahren von diesem Stoff ausgehen. So können durch das Propylenglykol Atemwegsreizungen und trockener Husten resultieren bis hin zur Verschlechterung der Lungenfunktion. Zudem können Kopfschmerzen und Übelkeit entstehen und Entzündungen der Atemwege hervorgerufen werden [Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022]. Die Gesundheitsgefahren, die vom Nikotin ausgehen können, sind Kapitel 5.4.7.1 zu entnehmen. Aromastoffe bringen immer ein gewisses Risiko mit sich, denn einige Aromastoffe zeigen ein sensibilisierendes Potential und können Kontaktallergien auslösen. Dies kann beispielsweise durch Benzylalkohol oder Limonen hervorgerufen werden [Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022]. Welche gesundheitlichen Gefahren durch den Konsum der E-Zigaretten noch ausgehen können, gerade in Bezug auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, ist bis jetzt nur teilweise aufgeklärt worden. Im Vergleich zur Tabakzigarette ist aber davon auszugehen, dass das Dampfen von Liquids im Vergleich zum Verbrennen des Tabaks weniger schädlich, aber nicht unschädlich, ist. So soll beispielsweise die Tumorentstehung bei E-Zigaretten deutlich niedriger liegen als beim Rauchen von Tabakzigaretten. Wichtig ist jedoch, dass die Liquids nach Möglichkeit nicht selbst gemischt werden, sondern vorverpackt käuflich erworben werden, da diese regelmäßig gesetzlich überprüft werden [Bundesamt für Risikobewertung, 2021].

Da der Dampf der E-Zigaretten die Qualität der Luft stark beeinträchtigen kann, können auch durch das Passivdampfen Gefahren für Dritte entstehen. Zu nennen sind hier vor allem flüchtige organische Verbindungen im Dampf, wie Formaldehyd, sowie natürlich das Nikotin und auch feine Partikel der Flüssigkeitströpfchen. Daneben sind polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) von Bedeutung, da diese cancerogen wirken. Da es jedoch so viele unterschiedliche Liquids und Mischungsverhältnisse gibt, kann nicht abgeschätzt werden, wie hoch die Belastung durch das Dampfen wirklich ist. Daraus resultiert aber auch, dass Gesundheitsschäden durch Passivdampfen, nicht vollständig ausgeschlossen werden können [Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022].

Um gesundheitliche Schädigungen zu reduzieren und zu vermeiden, gibt es auch für die E-Zigaretten und Liquids bestimmte rechtliche Anforderungen, die eingehalten werden müssen. So ist in § 13 des Tabakerzeugnisgesetzes geregelt, dass für die Herstellung der Liquids

ausschließlich Inhaltsstoffe mit hoher Reinheit verwendet werden dürfen. Zudem dürfen außer Nikotin nur Inhaltsstoffe eingesetzt werden, die keine gesundheitlichen Gefahren für den Menschen mit sich bringen [Meyer, 2020b, S. 10 f.]. Gemäß § 14 des Tabakerzeugnisgesetzes dürfen die Nachfüllbehälter der Liquids nur mit einem Volumen von 10 mL verkauft werden, wobei die Behälter manipulations-, bruch- und auslaufsicher sein müssen. Dabei dürfen nur maximal 20 mg Nikotin pro Milliliter Liquid enthalten sein [Meyer, 2020b, S. 11]. Wie bei den Tabakerzeugnissen müssen die Hersteller beziehungsweise Importeure auch bei den E-Zigaretten und Nachfüllbehältern der Liquids eine Liste führen, auf der der Name, die Anschrift und die Kontaktdaten des Herstellers zu finden sind. Auf dieser Liste müssen zudem Angaben zu den Inhaltsstoffen und ausgebrachten Emissionen gemacht werden, einschließlich der Menge in absteigender Reihenfolge der Gewichtsanteile, der toxikologischen Daten der erhitzten und nicht erhitzten Form und der Auswirkung auf die Gesundheit des Verbrauchers mit den suchterzeugenden Wirkungen. Daneben müssen Informationen über den Nikotingehalt und dessen Aufnahme beim Konsum enthalten sein, sowie eine Beschreibung der Bestandteile der E-Zigarette und eine Beschreibung des Herstellungsverfahrens [Meyer, 2020c, S. 15 f.]. Zusätzlich zu dieser Liste müssen Hersteller beziehungsweise Importeure einen Beipackzettel gemäß § 26 Tabakerzeugnisverordnung in deutscher Sprache und allgemein verständlich erstellen, der sowohl eine Gebrauchs- als auch Aufbewahrungsanleitung für E-Zigaretten und die Liquids enthält. Zudem müssen auf dem Beipackzettel mögliche negative Auswirkungen für die Gesundheit dargestellt werden und der Beipackzettel muss Warnhinweise tragen, die verdeutlichen, dass gerade schwangere und stillende Frauen, sowie Kinder und Jugendliche besonders gefährdet sind. Weiterhin sind auf dem Beipackzettel Angaben zur Entstehung der Abhängigkeit, Angaben zu toxikologischen Daten, sowie Angaben zum Hersteller (Name, Anschrift und elektronische Kontaktdaten) verpflichtend [Meyer, 2020c, S. 17]. Auch auf den Verpackungen müssen gemäß § 27 Tabakerzeugnisverordnung nochmal entsprechende Warnhinweise angebracht werden. Dazu gehören die Inhaltsstoffe in absteigender Reihenfolge der enthaltenen Mengen, die Angabe des Nikotingehaltes sowie die Abgabe an Nikotin pro verwendeter Dosis, eine Loskennzeichnung, damit eine Nachverfolgung der Produktes möglich ist, und dass das Produkt nicht in die Hände von Kindern und Jugendlichen gelangen darf. Zusätzlich dazu muss der gesundheitsbezogene Warnhinweis „Dieses Produkt enthält Nikotin: einen Stoff, der sehr stark abhängig macht“ tragen [Meyer, 2020c, S. 17 f.]. Wie auch bei der Herstellung der Tabakerzeugnisse gibt es gemäß § 28 i. V. m. Anlage 2 Tabakerzeugnisverordnung verbotene Inhaltsstoffe, die für die Herstellung von Liquids für E-Zigaretten nicht verwendet werden dürfen. Die verbotenen Inhaltsstoffe stimmen fast komplett mit den verbotenen Stoffen zur Herstellung der

Tabakerzeugnisse (Kapitel 5.4.7.1) überein. Der Unterschied besteht darin, dass für die Herstellung der Liquids für die E-Zigaretten Inhaltsstoffe verboten sind, die ähnlich wie Nikotin, in der Flüssigkeit sowohl in erhitzter als auch nicht erhitzter Form ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen. Dazu gehören beispielsweise Aromastoffe wie Cumarin oder Bittermandelöl, welches aus Pflanzen isoliert wird. Die Zusatzstoffe, die die Inhalation und somit die Nikotinaufnahme erleichtern, wie beispielsweise Menthol, sind bei der Herstellung der Liquids nicht verboten [Meyer, 2020c, S. 20 f.].

5.4.7.3 Mögliche Anknüpfungspunkte für Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten im niedersächsischen Kerncurriculum

Für die Liquids der E-Zigaretten und für die Tabakzigarette gibt es ebenfalls einige mögliche Anknüpfungspunkte, die die Thematisierung im schulischen Chemie- und Biologieunterricht der Sekundarstufe I und II rechtfertigen. In Tabelle 5-54 sind die möglichen Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5-54 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I

Basiskonzept	Doppel-jahrgang	Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	5/6	**Fachwissen** • …unterscheiden Stoffe anhand ihrer mit den Sinnen erfahrbaren Eigenschaften und der Aggregatzustände“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …unterscheiden zwischen Reinstoffen und Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] • …unterscheiden zwischen sauren, neutralen und alkalischen Lösungen durch Indikatoren“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …beschreiben die Trennverfahren Filtration, Sedimentation, Destillation und Chromatographie mithilfe ihrer Kenntnisse über Stoffeigenschaften“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Erkenntnisgewinnung** • …entwickeln Strategien zur Trennung von Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2015, S. 52] **Bewertung** • …beschreiben, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt“ [Achtermann et al., 2015, S. 51] • …erkennen Reinstoffe und Gemische in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2015, S. 52]
Stoff-Teilchen	9/10	**Kommunikation** • …prüfen Angaben über Inhaltsstoffe hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] **Bewertung** • …bewerten Angaben zu den Inhaltsstoffen“ [Achtermann et al., 2015, S. 57] • …erkennen Tätigkeitsfelder von Chemikerinnen und Chemiker“ [Achtermann et al., 2015, S. 57]

Die Liquids für E-Zigaretten enthalten neben Propylenglykol und Glycerin verschiedene Aromastoffe, sowie gegebenenfalls Nikotin. Aufgrund der enthaltenen Aromastoffe können die Schüler:innen des Anfangsunterrichts die Liquids für E-Zigaretten anhand der Geruchseigenschaften unterscheiden. Demnach liegt ein Bezug zur Lebensmittelsensorik vor, wodurch der Geruchssinn der Schüler:innen geschult werden kann. Das Thema des Dampfens oder Rauchens ist den Schüler:innen nicht unbekannt, denn im familiären Umfeld und dem weiteren Freundeskreis sind häufig Menschen dabei, die dampfen oder rauchen. Daher können die Schüler:innen sehen, dass Chemie sie in ihrer Lebenswelt umgibt.

Gerade die Tabakzigaretten können für die Betrachtung verschiedener Phänomene eingesetzt werden. Da es beim Tabak sowohl sauren als auch alkalischen Tabak gibt, können mithilfe der unterschiedlichen Tabake Lösungen hergestellt werden, an denen die Schüler:innen saure, neutrale, sowie alkalische Lösungen mithilfe von Indikatoren unterscheiden können. Zudem können anhand der verschiedenen Inhaltsstoffe des Tabaks Strategien zur Trennung dieser entwickelt werden. Der Tabakrauch stellt ebenfalls ein Stoffgemisch dar, welches herangezogen werden kann, um den Schüler:innen den Unterschied zu erläutern, sodass sie Reinstoffe und Gemische in ihrer Lebenswelt beschreiben können. Tabakzigaretten enthalten Nikotin, wohingegen die Liquids für die E-Zigaretten auch nikotinfrei angeboten werden. Die Schüler:innen sollen bereits im Anfangsunterricht Trennverfahren unterscheiden können. Dazu gehört neben der Filtration und Destillation auch die Chromatographie. Um ihnen die Chromatographie näherzubringen, können die Liquids für E-Zigaretten verwendet werden, indem das Liquid als Stoffgemisch dünnschichtchromatographisch aufgetrennt wird. Dies kann am Beispiel des Nachweises von Nikotin in den Liquids dargestellt werden. Um dies experimentell zu untermauern kann V 20 *Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC)* angewendet werden. Da es sich jedoch um junge Schüler:innen handelt, sollte dieser Versuche eher in den höheren Jahrgangsstufen eingesetzt werden.

Im Doppeljahrgang 9/10 rauchen beziehungsweise dampfen schon einige Schüler:innen selbst, sodass dieser Themenbereich einen großen Alltagsbezug aufweist. Anhand der Tabakzigaretten und der Liquids können verschiedene Inhaltsstoffe betrachtet, überprüft und bewertet werden. Ein wichtiger Inhaltsstoff, der betrachtet werden sollte, ist das Nikotin. So kann an dieser Stelle die *Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC)* (V 20) angewendet werden. Aufbauend auf die qualitative Bestimmung des Nikotingehaltes in den Tabakzigaretten und den Liquids der E-Zigaretten kann eine quantitative Bestimmung mit dem Gaschromatographen eingesetzt werden. Hier bietet sich der V 22 *Bestimmung des Nikotingehaltes in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)* zur Durchführung an. Demnach lernen die Schüler:innen analytische Methoden kennen, die zu den Tätigkeiten von Chemiker:innen gehören, sodass damit ein Teil der Berufsorientierung abgedeckt werden kann. Durch die Überleitung zu den Tätigkeitsfeldern von Lebensmittelchemiker:innen lernen die Schüler:innen einen weiteren Beruf kennen.

In den Themenfeldern, die sich zur Umsetzung von Thematiken im Chemieunterricht der Sekundarstufe I eignen, finden wir das Themenfeld *Ernährung und Gesundheit*. Die Zigaretten

und Liquids für E-Zigaretten sind zwar nicht zum menschlichen Verzehr geeignet, jedoch spielt der gesundheitliche Effekt eine wichtige Rolle. Durch das Rauchen kommt es zur gesundheitlichen Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit, woraus ein erhöhtes Risiko besteht an Krebs zu erkranken. Daher ist es wichtig, dass den Schüler:innen bewusst gemacht wird, welche Gesundheitsgefahren vom Rauchen und Dampfen ausgehen können und welche Wirkung das Nikotin auf den menschlichen Körper hat.

Auch im niedersächsischen Kerncurriculum der Sekundarstufe II sind einige mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Tabakzigaretten und Liquids für E-Zigaretten zu finden, die in Tabelle 5-55 dargestellt werden.

Tabelle 5-55 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Stoff-Teilchen	EP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz von organischen Verbindungen in ihrer Lebenswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 15]
Struktur-Eigenschaft	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben das Prinzip der Gaschromatographie“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …erklären das Funktionsprinzip der Gaschromatographie anhand von zwischenmolekularen Wechselwirkungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Stoffen und Stoffgemischen“ [Achtermann et al., 2017, S. 17] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt“ [Achtermann et al., 2017, S. 17]
Chemische Reaktionen	EP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben die Verbrennung organischer Stoffe als chemische Reaktion“ [Achtermann et al., 2017, S. 18]
Stoff-Teilchen	QP	**Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung organischer Verbindungen in unserem Alltag“ [Achtermann et al., 2017, S. 21]

Basiskonzept	**Jahrgangs-stufe**	**Kompetenzbereich/Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Struktur-Eigenschaft	QP	**Fachwissen/Fachkenntnisse** • …beschreiben, dass bei chemischen Reaktionen unterschiedliche Reaktionsprodukte entstehen können“ [Achtermann et al., 2017, S. 26] **Erkenntnisgewinnung/Fachmethoden** • …nutzen die Gaschromatographie zur Identifizierung von Reaktionsprodukten“ [Achtermann et al., 2017, S. 26] **Bewertung/Reflexion** • …erkennen die Bedeutung der Gaschromatographie in der Analytik“ [Achtermann et al., 2017, S. 26] • …reflektieren die gesundheitlichen Risiken beim Einsatz organischer Verbindungen“ [Achtermann et al., 2017, S. 24]

In der Sekundarstufe II ist das Rauchen beziehungsweise Dampfen in der Lebenswelt der Schüler:innen weit verbreitet. Dabei rauchen die Schüler:innen entweder selbst oder sie haben Menschen in der Familie oder dem Freundes- und Bekanntenkreis, die rauchen oder dampfen. Daher handelt es sich für die Schüler:innen in der Sekundarstufe II bei Genussmitteln, Alkohol und Rauchen beziehungsweise Dampfen, um eine interessante Thematik, die anhand von Statistiken, aber auch gesundheitlichen Aspekten, besprochen werden kann. Aufgrund des hohen Alltagsbezuges können die Schüler:innen die gesellschaftliche Relevanz organischer Verbindungen in ihrer Umwelt beschreiben und erkennen. Hier bietet sich an als organische Verbindung das Nikotin als Alkaloid zu betrachten, ebenso wie die Aromastoffe. Zudem sollen die Schüler:innen in der Einführungsphase die Gaschromatographie kennenlernen, indem sie den Aufbau und das Funktionsprinzip erklärt bekommen. Um die einzelnen Bauteile und das Funktionsprinzip zu verstehen, eignet es sich dies anhand von Experimenten durchzuführen, sodass hier V 22 *Bestimmung des Nikotingehaltes in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)* eingesetzt werden kann. Somit können die Schüler:innen die Bedeutung analytischer Verfahren in der Berufswelt durch die Verwendung der Gaschromatographie kennenlernen. Durch die Überleitung zur Hochleistungsflüssigkeitschromatographie können die Schüler:innen ein weiteres analytisches Verfahren kennenlernen, wodurch sie Tätigkeiten von Chemiker:innen und Lebensmittelchemiker:innen kennenlernen. Damit ist auch ein Teil der geforderten Berufsorientierung bereits thematisiert worden. Anhand der Tabakzigaretten kann zudem die Verbrennung organischer Stoffe als chemische Reaktion beschrieben werden, sodass die Schüler:innen in der Qualifikationsphase auch die daraus resultierenden gesundheitlichen Risiken, beispielsweise ein erhöhtes

Krebsrisiko, bewerten und reflektieren können. Aufgrund der vielen organischen Verbindungen im Tabakrauch kann den Schüler:innen vermittelt werden, dass ihre ganze Umwelt aus organischen Verbindungen aufgebaut ist.

Ebenfalls kann die Umsetzung des Themas Tabakzigaretten im Vergleich zu den Liquids für die E-Zigaretten durch die im Kerncurriculum genannten Themenfelder gerechtfertigt werden. So kann im Themenfeld *Chemie im Alltag*, ausgehend von der Thematik der alkoholischen Getränke als Genussmittel, auf weitere Genussmittel wie Zigaretten und E-Zigaretten übergeleitet werden, sodass Genussmittel im Allgemeinen thematisiert werden können. So kann zusätzlich im Themenfeld *Chemie und Sport* besprochen werden, wie sich der Zigarettenkonsum auf die sportliche Aktivität auswirken kann. Im Themenfeld *Chemie im Mund* kann zusätzlich Kautabak als Variante des Tabaks betrachtet werden.

Auch im niedersächsischen Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe I sind mögliche Anknüpfungspunkte für die Thematik der Tabakzigaretten und der Liquids für E-Zigaretten zu finden. Demnach soll den Schüler:innen im Kompetenzbereich Bewertung der Jahrgangsstufen 5 – 10 „Aspekte der Gesundheit: Gefahren des Rauchens“ [Jaeger et al., 2015, S. 79] vermittelt werden. Es bietet sich an, die Gesundheitsgefahren der Tabakzigarette im Vergleich zur E-Zigarette zu thematisieren.

Die möglichen Anknüpfungspunkte an das biologische Kerncurriculum der Sekundarstufe II können aus Tabelle 5-56 entnommen werden.

Tabelle 5-56 Mögliche Anknüpfungspunkte für den Themenbereich Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten an das niedersächsische Kerncurriculum Biologie der Sekundarstufe II

Kompetenzbereich	**Jahrgangsstufe**	**Anknüpfungspunkt** „Die Schülerinnen und Schüler…
Erkenntnisgewinnung	EP	• …führen eine Dünnschichtchromatographie durch und werten das Chromatogramm aus“ [Emmler et al., 2017, S. 26]
Information und Kommunikation	QP	• …erläutern das Prinzip der Signaltransduktion als Übertragung von extrazellulären Signalen in intrazelluläre Signale (Geruchssinn, […])“ [Emmler et al., 2017, S. 34]

Die Schüler:innen sollen eine Dünnschichtchromatographie durchführen und die entwickelten Chromatogramme auswerten, wofür V 20 *Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC)* herangezogen werden kann. Somit kann die Dünnschichtchromatographie als analytische Methode mit einem Alltagsthema der Schüler:innen verbunden werden. Zudem können in der Qualifikationsphase, aufgrund der enthaltenen Aromastoffe in den Liquids der E-Zigaretten, Bezüge zur Lebensmittelsensorik

hergestellt werden. Die Schüler:innen können die Liquids anhand verschiedener Gerüche unterscheiden, wodurch der Geruchssinn geschult werden kann. Anhand dessen können die Schüler:innen das Prinzip der Signalübertragung an Rezeptormoleküle erläutern und damit das Zustandekommen von Gerüchen.

5.4.8 Instrumentelle Analytik

Um die chemische Zusammensetzung von Lebensmitteln zu bestimmen, werden analytische Methoden herangezogen. Dabei erfolgt sowohl eine qualitative als auch quantitative Bestimmung einzelner Lebensmittelinhaltsstoffe. Während die qualitative Bestimmung Informationen über die Anwesenheit bestimmter Inhaltsstoffe von Lebensmitteln liefert, wird mithilfe der quantitativen Bestimmung die Menge der Substanzen bestimmt. Die analytischen Methoden können dabei in klassische Analyse- und instrumentelle Analysemethoden unterteilt werden. Als Beispiel ist für eine klassische Analysemethode die Titration zu nennen, wohingegen die Photometrie und die chromatographischen Methoden zu den instrumentellen Methoden gehören [Skoog & Leary, 1996, S. 1]. So können mithilfe der instrumentellen Methoden chemische Substanzen voneinander getrennt und bestimmt werden. Daneben werden auch physikalische Eigenschaften, wie beispielsweise die Messung der Absorption, verschiedener Analyten herangezogen.

Für die theoretischen Grundlagen des Seminars ist eine PowerPoint-Präsentation erstellt worden, die die Chromatographie im Allgemeinen betrachtet, sowie die Grundlagen und Bauteile der entsprechenden Geräte der instrumentellen Analytik. Beleuchtet werden dabei die Dünnschicht-, Hochleistungsflüssigkeits- und Gaschromatographie, ebenso wie die Photometrie. Während nachfolgend die Inhalte zu den instrumentellen Analytikmethoden und die Funktion der einzelnen Bauteile dargestellt werden, kann die dazugehörige PowerPoint-Präsentation dem digitalen Anhang (D.1.1) entnommen werden.

5.4.8.1 Chromatographie

Unter dem Begriff der Chromatographie versteht man eine analytische und präparative Trennmethode bei der ein homogenes Stoffgemisch getrennt wird. Voraussetzung für eine solche Trennung ist, dass das chromatographische System zwei Phasen aufweist, die nicht miteinander mischbar sind, sodass das zu trennende Stoffgemisch durch Verteilung in die einzelnen Komponenten aufgetrennt werden kann. Damit eine solche Stofftrennung möglich ist, muss eine der beiden Phasen unbeweglich sein (stationäre Phase). Die andere Phase muss beweglich sein (mobile Phase), sodass während eines Trennvorgangs die mobile Phase an der stationäre Phase

entlang strömen kann. Dabei kann die stationäre Phase entweder einen festen oder einen flüssigen Aggregatzustand aufweisen. Die mobile Phase, welche auch als Fließmittel bezeichnet wird, kann hingegen aus einer nicht mit der stationären Phase mischbaren Flüssigkeit, einem nicht löslichen Gas oder einem überkritischen Gas bestehen [Matissek et al., 2014, S. 47; Gey, 2021, S. 115; aprentas, 2017, S. 190].

Die chromatographischen Methoden können aufgrund unterschiedlicher Aspekte eingeteilt werden. So kann anhand des Aufbaus der Trennstrecke zwischen Dünnschichtchromatographie (DC), Säulenchromatographie (SC), Flüssigkeitschromatographie (LC), wie beispielsweise der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC), und Gaschromatographie (GC) unterschieden werden. Nach der Art der Verteilung kann unter anderem in Adsorptions- und Verteilungschromatographie eingeteilt werden. Zudem ist eine Einteilung aufgrund der Aggregatzustände der stationären und mobilen Phase möglich [Matissek et al., 2014, S. 47; aprentas, 2017, S. 190 f.]. In Tabelle 5-57 ist eine Übersicht der chromatischen Methoden mit den Aggregatzuständen der mobilen und stationären Phasen sowie den physikalisch-chemischen Verteilungen dargestellt.

Tabelle 5-57 Übersicht der Einteilung der chromatographischen Methoden mit Art der physikalisch-chemischen Verteilung und der unterschiedlichen Aggregatzustände der stationären und mobilen Phase [Matissek et al., 2014, S. 47; aprentas, 2017, S. 190 f.]

chromatographische Methode	Art der physikalisch-chemischen Verteilung	Aggregatzustand der stationären Phase	Aggregatzustand der mobilen Phase
Dünnschichtchromatographie (DC)	Adsorptionschromatographie	fest	flüssig
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)	Adsorptionschromatographie	fest	flüssig
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)	Verteilungschromatographie	flüssig	flüssig
Gaschromatographie (GC)	Adsorptionschromatographie	fest	gasförmig
Gaschromatographie (GC)	Verteilungschromatographie	flüssig	gasförmig

Grundprinzip der chromatographischen Trennung

Die chromatographische Trennung eines homogenen Stoffgemisches erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der einzelnen Bestandteile zwischen der stationären und der mobilen Phase. Je nach Art der Chromatographie kann das Probengemisch entweder am Anfang der Trennstrecke aufgetragen oder in den Fluss der mobilen Phase injiziert werden [aprentas, 2017, S. 192 ff.]. In Abbildung 5-61 wird das chromatographische Trennprinzip sowie die Probenauftragung und der Beginn der Trennung schematisch dargestellt.

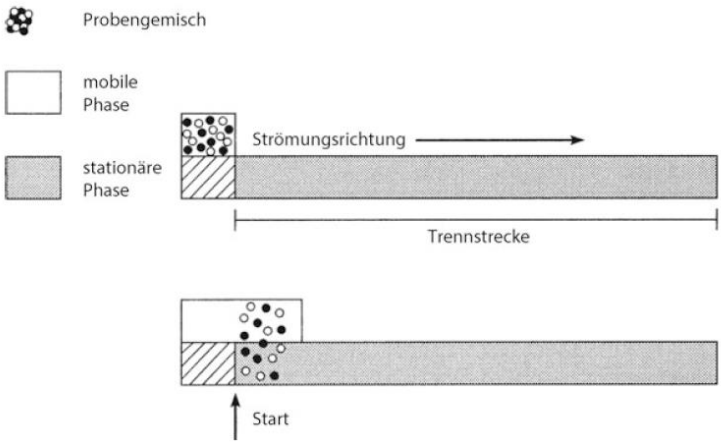


Abbildung 5-61 Schematische Darstellung der chromatographischen Trennung in Bezug auf die Probenauftragung und den Beginn der Trennung [aprentas, 2017, S. 192]

Bei beiden Varianten der Probenauftragung wird das Stoffgemisch von der mobilen Phase an der stationären Phase entlang transportiert, wobei die verschiedenen Komponenten des Stoffgemisches durch Verteilung zwischen den beiden Phasen voneinander getrennt werden. Dabei können die Probenteilchen mit den Teilchen der stationären Phase wechselwirken, wobei es sich bei den Teilchen um Moleküle, Ionen oder Verbindungen handeln kann, je nachdem, welches Trennproblem vorherrscht. Welche Art der Wechselwirkung vorliegt, ist wiederrum von der Teilchenart (Moleküle, Ionen oder Verbindungen) abhängig. Durch die Wechselwirkung der Probenteilchen mit der stationären Phase wandern die Teilchen des Analyten zusammen mit der mobilen Phase langsamer entlang der stationären Phase als die Teilchen der reinen mobilen Phase. Dabei ist die Stärke der Wechselwirkung zwischen den Analytteilchen und den Teilchen der stationären Phase substanzsspezifisch, sodass die Analytteilchen unterschiedlich schnell entlang der stationären Phase transportiert und damit aufgetrennt werden [aprentas, 2017, S. 193]. Das Prinzip wird in Abbildung 5-62 dargestellt.

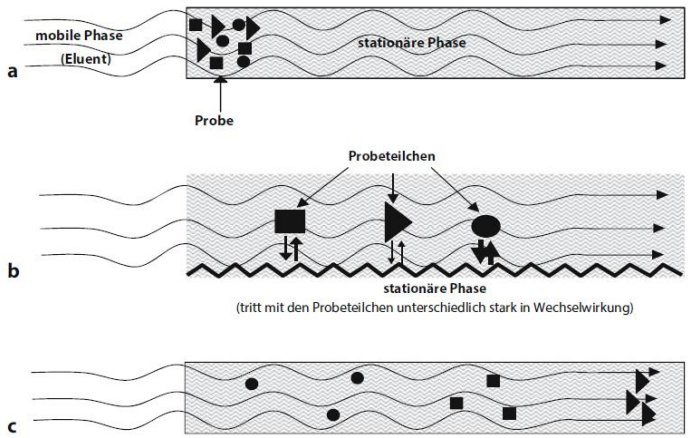


Abbildung 5-62 Darstellung des Stoffgemisches zwischen stationärer und mobiler Phase (a), der unterschiedlichen Wechselwirkung der Analytteilchen mit den Teilchen der stationären Phase mit der unterschiedlich schnellen Wanderung entlang der stationären Phase (b) und die daraus resultierende Trennung des Stoffgemisches (c) [aprentas, 2017, S. 193]

Liegen bei einer chromatographischen Trennung gleiche Bedingungen, beispielsweise in Form der stationären Phase, der mobilen Phase, dem Druck oder der Temperatur, vor, dann sind die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Analytteilchen und den Teilchen der stationären und mobilen Phase gleich, wodurch alle Analytteilchen mit der gleichen Geschwindigkeit entlang der stationären Phase transportiert werden. Daher ist es möglich, Ergebnisse von chromatographischen Trennungen homogener Stoffgemische mit den gleichen Analytteilchen bei gleichen vorherrschenden Bedingungen miteinander zu vergleichen. Eine charakteristische Größe für jedes Analytteilchen ist bei konstanten Bedingungen die Retentionszeit, die das Zurückhalten der Analytteilchen in Abhängigkeit mit der Wechselwirkung der stationären Phase beschreibt. Die Retentionszeit kann zur Identifizierung der einzelnen Analyten in einem Stoffgemisch, aber auch zur Berechnung von chromatographischen Kenngrößen herangezogen werden [aprentas, 2017, S. 193].

Grundlagen der physikalisch-chemischen Trennprinzipien

Nachfolgend werden als Beispiele für die physikalisch-chemischen Trennprinzipien die Adsorptions- und die Verteilungschromatographie dargestellt.

Adsorptionschromatographie

Die Adsorptionschromatographie ist die älteste und einfachste Form der chromatographischen Trennprinzipien. Die stationäre Phase weist dabei einen festen Aggregatzustand auf, wohingegen die mobile Phase entweder flüssig oder gasförmig ist. Daher findet diese Art der

Chromatographie sowohl in der Flüssigkeits- als auch in der Gaschromatographie Anwendung [aprentas, 2017, S. 199; Harris et al., 2014, S. 616]

Unter Adsorption wird die Anlagerung eines Stoffes an einem anderen Stoff durch van-der-Waals-Kräfte oder elektrostatische Anziehungskräfte verstanden. Die Anziehungskräfte führen zwar zu Anlagerungen, aber es kann keine feste chemische Bindung ausgebildet werden. Beim Trennvorgang werden die Analyten mit der mobilen Phase entlang der Oberfläche der stationären Phase geführt, wobei die Analytteilchen an der Oberfläche der festen stationären Phase adsorbieren (Abbildung 5-63) [aprentas, 2017, S. 199].

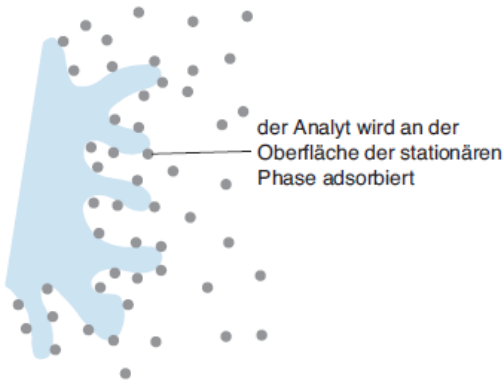


Abbildung 5-63 Schematische Darstellung des Adsorptionsvorgang bei der Adsorptionschromatographie [Harris et al., 2014, S. 617]

Die Trennung des homogenen Stoffgemisches erfolgt durch die unterschiedlich starke Adsorption des Analyten mit der Oberfläche der stationären Phase. Zudem ist auch die Affinität des Analyten zur mobilen Phase für die Trennung des homogenen Stoffgemisches von Bedeutung. Somit ist die Retentionszeit der Analyten sowohl von der Adsorption mit der stationären Phase als auch von der Affinität zur mobilen Phase abhängig. Je stärker die Adsorption des Analyten mit der Oberfläche der stationären Phase ist, desto langsamer erfolgt die Wanderung entlang der stationären Phase, woraus längere Retentionszeiten resultieren. Entsprechend dazu wandern die Analyten bei schwächerer Adsorption beziehungsweise stärkerer Affinität zur mobilen Phase schneller entlang der stationären Phase, wodurch sich die Retentionszeiten verkürzen [aprentas, 2017, S. 199; Harris et al., 2014, S. 616].

Verteilungschromatographie

Bei der Verteilungschromatographie liegt sowohl eine flüssige stationäre Phase als auch eine flüssige mobile Phase vor. Dabei wird für die stationäre Phase häufig ein dünner flüssiger Film auf einem festen Trägermaterial aufgetragen. Grundvoraussetzung bei dieser Art des Trennprinzips ist, dass die stationäre und die mobile Phase nicht vollständig mischbar sein dürfen.

Das Prinzip der Trennung beruht auf der unterschiedlichen Löslichkeit der Analyten zwischen den beiden nicht vollständig mischbaren Phasen (Abbildung 5-64) [aprentas, 2017, S. 199; Harris et al., 2014, S. 616 f.].

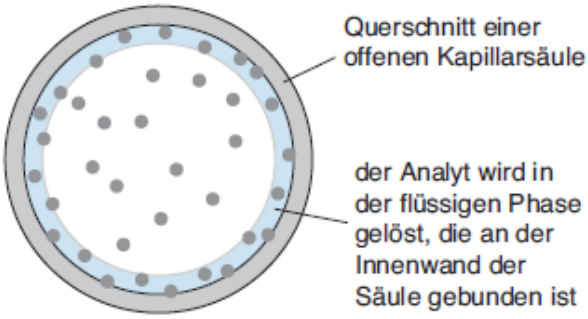


Abbildung 5-64 Schematische Darstellung des Trennprinzips der Verteilungschromatographie am Beispiel einer Kapillarsäule der Gaschromatographie [Harris et al., 2014, S. 617]

Je besser sich die Probenteilchen in der flüssigen stationären Phase lösen, desto langsamer wandern die Probenteilchen mit der mobilen Phase an der stationären Phase entlang, weil diese stärker zurückgehalten werden. Entsprechend dazu wandern Probenteilchen, die sich nicht beziehungsweise nur kaum in der stationären Phase lösen, schneller mit der mobilen Phase an der stationären Phase entlang. Wie schnell oder wie langsam die Probenteilchen mit der mobilen Phase entlang der stationären Phase wandern, ist demnach abhängig von der Affinität der Probenteilchen zu den beiden Phasen [aprentas, 2017, S. 199].

5.4.8.2 Grundlagen und Anwendungen der verschiedenen Chromatographie-Verfahren

In diesem Unterkapitel sollen die Grundlagen und die Anwendungen der verschiedenen Chromatographie-Methoden, Dünnschicht-, Hochleistungsflüssigkeits- und Gaschromatographie betrachtet werden.

Dünnschichtchromatographie

Die Dünnschichtchromatographie (DC) ist ein einfaches und schnelles analytisches und präparatives Trennverfahren, welches den planaren chromatographischen Methoden zugeordnet wird. Das Trennprinzip beruht auf der unterschiedlichen Verteilung der Probenteilchen zwischen der stationären und der mobilen Phase. Dabei wird bei der DC der Analyt mithilfe der mobilen Phase durch Kapillarkräfte entlang der stationären Phase transportiert. Die Probenteilchen werden dabei durch einen mehrstufigen Verteilungsprozess, durch Löslichkeit und Adsorptionsverhalten, unterschiedlich weit von der mobilen Phase auf der stationären Phase transportiert. Bei der DC wird eine feste stationäre und eine flüssige mobile Phase verwendet. Als

stationäre Phase können verschiedene Sorptionsmittel eingesetzt werden. Je nach Trennproblem kann Kieselgel, Cellulose, Polyamid, Aluminiumoxid oder auch Mischungen daraus als Sorptionsmittel verwendet werden. Das Sorptionsmittel wird in einer dünnen, gleichmäßigen Schicht (ca. 200 – 250 µm) auf einem planaren Träger, wie einer Glasplatte oder Folie aus Aluminium oder Kunststoff, aufgetragen. Bei der DC überwiegt die Chromatographie an Normal-Phasen-Materialien, sodass häufig Kieselgel als stationäre Phase verwendet wird. Die Trennung erfolgt auf Basis einer Elution, sodass adsorbierte Probenteilchen an der stationären Phase durch die mobile Phase herausgelöst und transportiert werden [aprentas, 2017, S. 227 & 230; Matissek et al., 2014, S. 49 ff.; Otto, 2019, S. 431 f.].

Die mobile Phase besteht bei einer Normalphasen-DC aus einem unpolaren Lösungsmittel oder aus Mischungen mit geringen Mengen an Wasser oder polaren Lösungsmitteln, wohingegen bei einer Umkehrphasen-DC die mobile Phase aus einem polaren Lösungsmittel, gegebenenfalls mit geringer Menge an unpolaren Lösungsmittelbestandteilen, besteht. Verwendet man ein Lösungsmittelgemisch, sollte darauf geachtet werden, dass die Lösungsmittel mischbar sind. Für die richtige Wahl der mobilen Phase kann die elutrope Reihe herangezogen werden (siehe Tabelle 5-58). Weiterhin wichtig für die richtige Wahl der mobilen Phase ist, dass die Löslichkeit der Probenteilchen im Laufmittel beachtet wird, denn die Probenteilchen müssen sich vollständig im verwendeten Lösungsmittel lösen können. Zudem sollte die mobile Phase rein, inert sowie flüchtig sein und eine geringe Viskosität aufweisen. Dem hinzu muss beachtet werden, dass die stationäre mit der mobilen Phase verträglich ist, das heißt, dass das Sorptionsmittel nicht durch die mobile Phase vom Trägermaterial abgelöst werden kann [aprentas, 2017, S. 230; Gey, 2021, S. 188; Matissek et al., 2014, S. 51 f.]

Tabelle 5-58 Auszug der elutropen Reihe für Kieselgel als Sorptionsmittel [Matissek et al., 2014, S. 52]

Eluent	Elutionskraft/Polarität [E°]
n-Hexan	0,00
Toluol	0,22
Chloroform	0,31
Dichlormethan	0,32
Aceton	0,43
Essigsäuremethylester	0,45
Dimethylsulfoxid	0,48
Diethylamin	0,49
Acetonitril	0,50
Ethanol	0,68
Methanol	0,73
Wasser	> 0,85

Bei der DC wird meist standardmäßig Kieselgel als Sorptionsmittel der stationären Phase verwendet. Über 90 % aller DC-Trennungen erfolgen an Kieselgel. Die anderen Sorptionsmittel (Cellulose, Polyamid, Aluminiumoxid) haben im Vergleich zum Kieselgel nur einen geringen Stellenwert als stationäre Phase bei DC-Trennungen. So werden auch in dieser Arbeit die Versuche zur DC mit Kieselgel (SiO_2) als Sorptionsmittel der stationären Phase durchgeführt, weshalb die anderen Sorptionsmittel nicht weiter betrachtet werden. In Abbildung 5-65 ist die chemische Struktur eines Kieselgel-Teilchens schematisch dargestellt [aprentas, 2017, S. 227; Harris et al., 2014, S. 677].

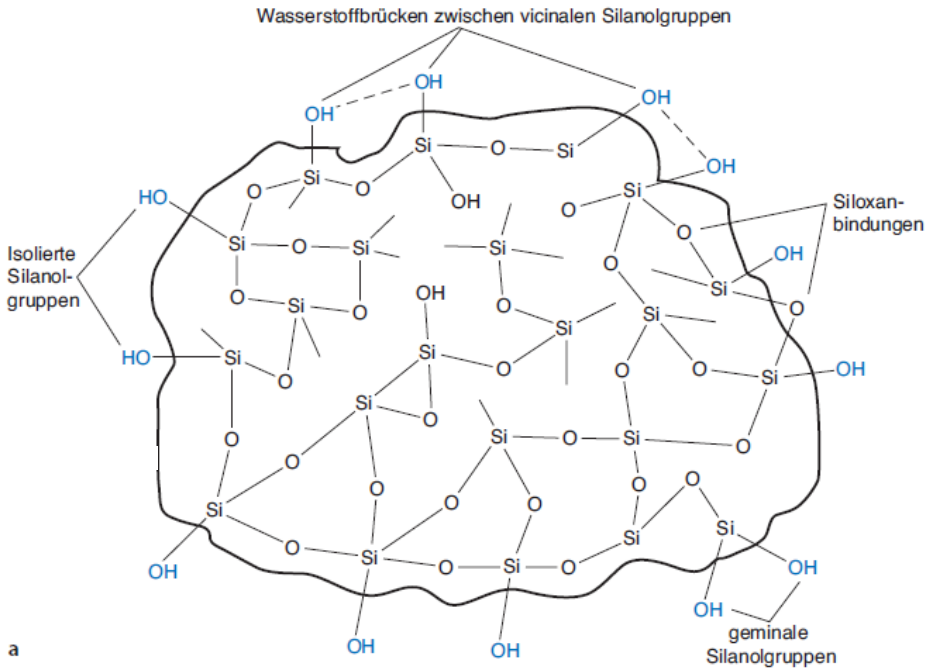


Abbildung 5-65 Schematische Darstellung der chemischen Struktur eines Kieselgel-Teilchens [Harris et al., 2014, S. 677]

Wie aus der chemischen Struktur von Kieselgel (Abbildung 5-65) entnommen werden kann, handelt es sich bei Kieselgel um eine polare Substanz mit freien Hydroxygruppen an dessen Oberfläche. Durch die polaren Hydroxygruppen des Kieselgels werden polare Probenteilchen durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken adsorbiert, wodurch diese von der stationären Phase stärker zurückgehalten werden und entsprechend nicht so weit mit der mobilen Phase transportiert werden können. Demnach gilt, je polarer die Probenteilchen, desto stärker werden diese vom Kieselgel als stationäre Phase zurückgehalten. Entsprechend dazu können unpolare Probenteilchen nicht so stark adsorbiert werden, sodass diese weiter von der mobilen Phase transportiert werden können. Für die Trennung an Kieselgel als stationäre Phase sind aufgrund dessen Polarität unpolare Lösungsmittelgemische als mobile Phase geeignet, wie

beispielsweise Toluol oder Chloroform, denen kleine Mengen an polarem Lösungsmittel, beispielsweise Ethanol oder Wasser, zugesetzt werden können [aprentas, 2017, S. 227; Gey, 2021, S. 188].

Neben der Betrachtung der theoretischen Grundlagen ist es für die praktische Durchführung einer DC von großer Relevanz, wie DC-Platten vorbereitet und Probelösungen auf die DC-Platten aufgetragen werden. Weiterhin ist es von Bedeutung, wie DC-Platten entwickelt und Substanzflecken visualisiert werden können. In Abbildung 5-66 wird die Vorbereitung und das Auftragen der Probelösungen auf eine DC-Platte schematisch dargestellt.

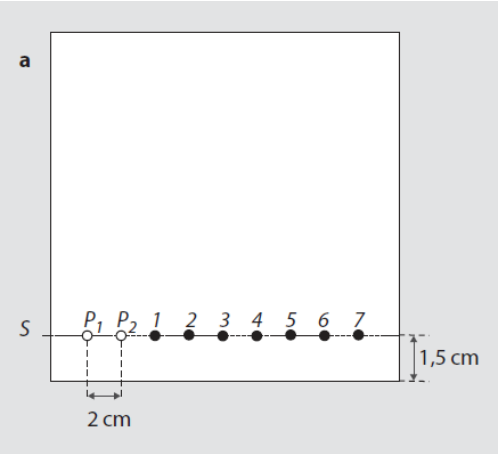


Abbildung 5-66 Schematische Darstellung zur Vorbereitung und zum Auftragen von Probelösungen auf eine DC-Platte mit S = Startlinie, P = Probe, 1 – 7 = Vergleichssubstanzen [Matissek et al., 2014, S. 53]

Zur Vorbereitung einer DC-Platte wird zunächst, ohne diese zu beschädigen, mit Bleistift und Lineal etwa 1,5 cm über dem unteren Rand ein Strich gezogen (Startpunktlinie) und somit der Startpunkt der Chromatographie festgelegt. Anschließend werden auf der Startpunktlinie im Abstand von 1 – 2 cm senkrechte kleine Striche mit dem Bleistift eingezeichnet und beschriftet, je nachdem welche Probelösung beziehungsweise Vergleichslösung dort aufgetragen werden soll. Zum äußeren Rand ist ein Abstand von etwa 1,5 cm einzuhalten [aprentas, 2017, S. 228 f.; Gey, 2021, S. 189; Matissek et al., 2014, S. 52 f.].

Neben der DC-Platte muss auch die DC-Kammer für die Entwicklung der DC-Platte vorbereitet werden. Dafür wird die DC-Kammer mit der mobilen Phase zum Sättigen befüllt und mit dem Deckel verschlossen. Dabei ist zu beachten, dass die Füllhöhe der mobilen Phase nicht mehr als 0,5 – 1,0 cm beträgt beziehungsweise nur so weit befüllt wird, dass gewährleistet werden kann, dass der Füllstand unterhalb der Startpunktlinie der DC-Platte liegt. Liegt der Füllstand oberhalb der Startpunktlinie, kann nicht ausgeschlossen werden, dass bereits vor Beginn der Trennung die aufgetragenen Probe- und Vergleichslösungen ausgewaschen oder verdünnt worden sind. In Abhängigkeit vom Volumen der DC-Kammer und dem Dampfdrück der

mobilen Phase, kann der Zeitraum für die Sättigung zwischen 10 Minuten und 60 Minuten variieren. Für eine gute Auftrennung mit der DC ist eine ausreichende Sättigung von zentraler Bedeutung, denn nur so können repräsentative und lineare Retentionsfaktoren (R_f-Werte) bei der Entwicklung und Auswertung ermittelt wenden. Wird die DC-Kammer nicht ausreichend mit Lösungsmitteldämpfen gesättigt, ist die Folge, dass ein verzerrtes Chromatogramm entsteht [aprentas, 2017, S. 235; Stahl, 1967, S. 70]. Die Folge einer schlechten Kammersättigung kann Abbildung 5-67 entnommen werden.

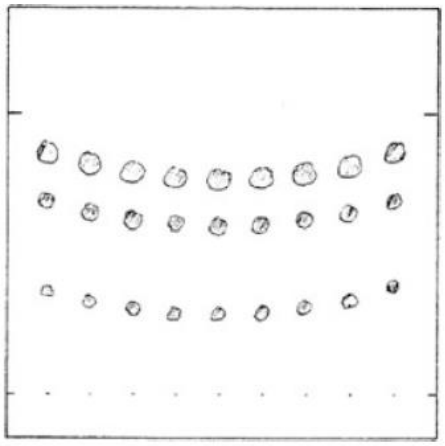


Abbildung 5-67 Beispielhafte Darstellung eines Chromatogramms in Folge einer nicht ausreichend gesättigten DC-Kammer [aprentas, 2017, S. 235]

Der Grund für die Verzerrung des Chromatogramms, aufgrund einer unzureichenden Sättigung der DC-Kammer, liegt an der Teilung der DC-Kammer in zwei Bereiche. Die mobile Phase verdampft durch die zwei Kammerbereiche am Rand der beschichteten Seite der DC-Platte aufgrund der größeren Durchflussmenge schneller, damit der andere Kammerbereich, auf der nicht beschichteten Seite der DC-Patte, gesättigt wird. Daraus resultiert, dass die Probenteilchen in der Mitte der stationären Phase weniger weit transportiert werden als am Rand der stationären Phase. Durch die verschiedenen Polaritäten, Dampfdrücke sowie Dichten von einzelnen Lösungsmitteln kann dieser Effekt vor allem bei Lösungsmittelgemischen beobachtet werden [aprentas, 2017, S. 235; Stahl, 1967, S. 67].

Währenddessen die DC-Kammer mit Lösungsmitteldämpfen sättigt, können die Probe- und Vergleichslösungen aufgetragen werden. Dafür müssen diese zunächst in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst werden, wobei eine Konzentration zwischen 0,1 % und 0,5 % angestrebt werden sollte [aprentas, 2017, S. 229]. Das Auftragen der Probe- und Vergleichslösungen auf die DC-Platte erfolgt per Hand mithilfe einer Glaskapillare oder vergleichbaren Geräten. Dabei sollte auf eine möglichst gleichmäßig punktförmige Aufgabe der Substanzen im Bereich der

Startlinie geachtet werden [Gey, 2021, S. 189]. Pro Spot sollten dabei nicht mehr als 1 – 10 µg aufgetragen werden [Matissek et al., 2014, S. 52].

Nachdem die Probe- und Vergleichslösungen auf der DC-Platte aufgetragen worden sind, wird die DC-Platte in die DC-Kammer gestellt und mit dem Deckel verschlossen. Die DC-Platte wird linear in aufsteigender Form entwickelt. Wie bereits beschrieben, wandert die mobile Phase durch Kapillarkräfte entlang der stationären Phase nach oben. Dabei werden die Probenteilchen, je nach Adsorptions- und Löslichkeitsverhalten, von der Startlinie herausgelöst und unterschiedlich weit mit der mobilen Phase transportiert [Gey, 2021, S. 189]. Der Entwicklungsprozess wird in Abbildung 5-68 dargestellt.

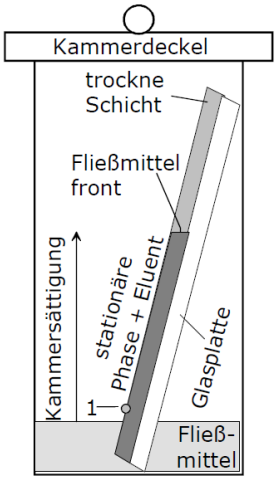


Abbildung 5-68 Entwicklungsprozess einer DC-Platte [Gey, 2021, S. 189]

Durch die Entwicklung der DC-Platte soll erreicht werden, dass das Probengemisch in die einzelnen Bausteine aufgetrennt wird. Dabei sollen die Spots der einzelnen Substanzen als scharfe Flecken sichtbar werden und möglichst nicht überlappen [Gey, 2021, S. 189]. Um eine gute Trennleistung zu gewährleisten, ist zu berücksichtigen, dass die Bedingungen innerhalb der DC-Kammer nicht verändert werden dürfen. So ist es wichtig, dass die DC-Kammer nicht an Orten platziert wird, wo Sonneneinstrahlung oder Zugluft herrschen, denn daraus können Temperaturunterschiede in der DC-Kammer durch einseitige Erwärmung beziehungsweise Abkühlung entstehen. Aus einem Temperaturunterschied innerhalb der DC-Kammer resultiert ein Chromatogramm mit einem schrägen Verlauf der mobilen Phase (Abbildung 5-69). Dieses Phänomen kann ebenfalls durch Bewegung oder Öffnung der DC-Kammer während eines Trennvorgangs entstehen [aprentas, 2017, S. 236].

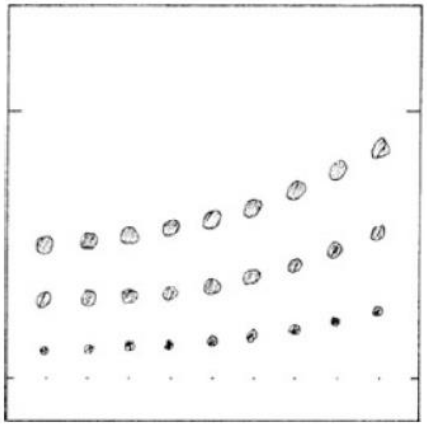


Abbildung 5-69 Beispielhafte Darstellung eines Chromatogramms durch Veränderung der äußeren Einflüsse bei der Entwicklung einer DC-Platte [aprentas, 2017, S. 236]

Um die Entwicklung der DC-Platte bei einer Laufmittelfront von etwa 75 % abzuschließen, wird diese aus der DC-Kammer entnommen und die Laufmittelfront mit einem Bleistift markiert. Die noch nasse DC-Platte wird unter dem Abzug, oder vorsichtig mit dem Fön, getrocknet und kann anschließend zur Auswertung herangezogen werden [Otto, 2019, S. 432]. Ein Beispiel für eine entwickelte DC-Platte wird in Abbildung 5-70 dargestellt.

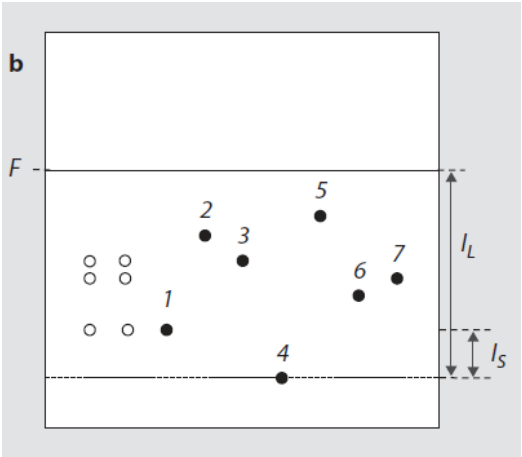


Abbildung 5-70 Beispielhafte Darstellung einer entwickelten DC-Platte mit F = Laufmittelfront, I_L = Laufstrecke des Laufmittels und I_S(1) = Laufstrecke der Substanz 1 [Matissek et al., 2014, S. 53]

Für die Auswertung der DC-Platten müssen alle Spots gut sichtbar sein. Daher sind farbige Spots besonders gut für die Auswertung geeignet, jedoch findet man sehr häufig farblose Spots, die ebenfalls sichtbar gemacht werden müssen. Um die farblosen Spots zu Visulaisieren, können verschiedene Techniken angewandt werden, wie beispielsweise die Betrachtung unter UV-Lampen oder mithilfe von Derivatisierungsreagenzien, die aufgesprüht werden [Gey, 2021, S. 190]. Dabei können UV-Lampen natürlich nur zum Einsatz kommen, wenn die farblosen Substanzen im UV-Licht fluoreszieren beziehungsweise absorbieren. Betrachtet werden die

DC-Platten sowohl im langwelligen als auch im kurzwelligen Bereich, wobei sich der langwellige UV-Bereich für fluoreszierenden Substanzen und der kurzwellige UV-Bereich für Substanzen, die UV-Strahlung absorbieren, eignet. Derivatisierungsreagenzien können durch aufsprühen, eintauchen oder benebeln auf die entwickelte DC-Platte aufgetragen werden. Dadurch läuft eine chemische Umsetzungsreaktion ab, sodass die Probenbestandteile als farbige oder UV-aktive Substanzen sichtbar gemacht werden können [aprentas, 2017, S. 236 f.; Matissek et al., 2014, S. 54].

Die Chromatogramme einer dünnschichtchromatographischenTrennung werden in der Regel qualitativ über die Retentionsfaktoren (R_f-Werte) ausgewertet. Die R_f-Werte können über die Gleichung 5-3 aus dem Quotienten der Laufstrecke vom Spotmittelpunkt zur Startlinie und der Laufstrecke der Laufmittelfront zur Startlinie berechnet werden, wobei diese mit zwei Dezimalstellen angegeben werden [aprentas, 2017, S. 239 f.; Gey, 2021, S. 190 f.; Matissek et al., 2014, S. 54].

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke vom Spotmittelpunkt zur Startlinie}}{\text{Laufstrecke der Laufmittelfront zur Startlinie}}$$

Gleichung 5-3 Berechnung der R_f-Werte für die Spots der Probe und der Vergleichslösungen bei der DC [aprentas., 2017, S. 240]

Für die Auswertung der Chromatogramme werden die R_f-Werte der Probensubstanzen mit den R_f-Werten von reinen Vergleichssubstanzen verglichen. Auch wenn es in verschiedener Fachliteratur Angaben zu R_f-Werte gibt, sollten die Vergleichssubstanzen unter gleichen Bedingungen chromatographiert werden, weil der R_f-Wert von verschiedenen Faktoren abhängt. Dazu zählen unter anderem die Art und Korngröße des Sorptionsmittels, die Eigenschaften der mobilen Phase, die Kammersättigung sowie die Arbeitstechnik und die vorherrschende Temperatur. Demnach können tabellierte R_f-Werte zwar als Richtwerte dienen, aber nicht als feste Werte angesehen werden [aprentas, 2017, S. 240].

Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC, engl. high performance liquid chromatography) ist eine sehr leistungsfähige und hochauflösende Trennmethode, um Stoffgemische schnell und gut voneinander zu trennen. Die Trennung kann analytisch, aber auch präparativ, erfolgen und findet unter hohem Druck in einer Säule statt. Bei der HPLC liegt eine flüssige mobile Phase vor und die stationäre Phase innerhalb der Säule stellt entweder ein festes Sorbens oder eine Flüssigkeit dar, die jedoch nicht mit der mobilen Phase mischbar sein darf. Damit ein Trennvorgang mit flüssiger mobiler Phase wirksam ist, muss die stationäre Phase aus

Materialien mit einer sehr kleinen Korngröße und Verteilung bestehen. Zudem muss die mobile Phase mit hohem Druck durch die HPLC-Apparatur transportiert werden. Aus diesem Grund wird die HPLC teilweise auch als Hochdruckflüssigkeitschromatographie (engl. high pressure liquid chromatography) bezeichnet [Meyer, 2004, S. 4; Matissek et al., 2014, S. 64]

Die Trennung der Stoffgemische kann sowohl nach dem Trennprinzip der Adsorption als auch der Verteilung erfolgen [Otto, 2019, S. 402]. Für die Trennung wird ein Hochleistungsflüssigkeitschromatograph eingesetzt. Der Aufbau eines solchen klassischen Geräts kann Abbildung 5-71 entnommen werden.

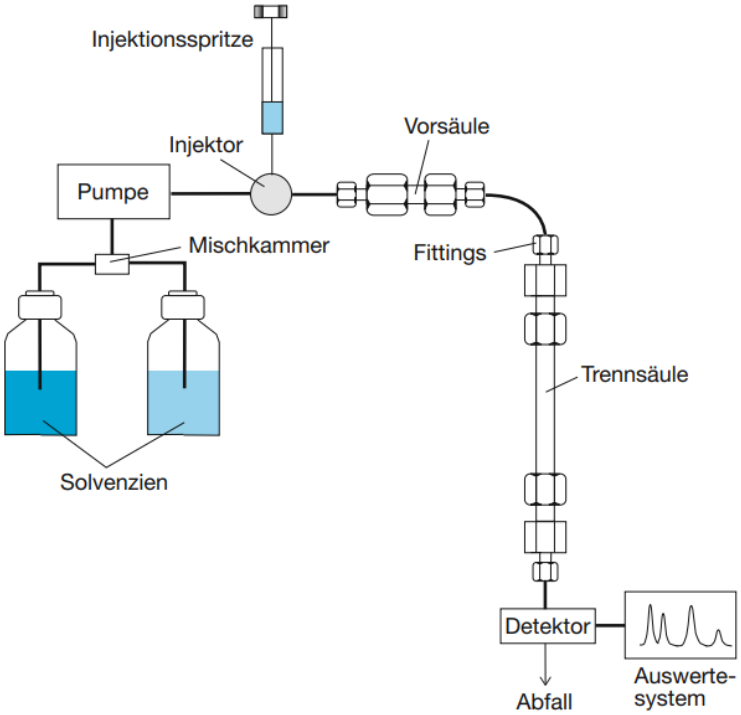


Abbildung 5-71 Aufbau einer HPLC-Anlage [Otto, 2019, S. 403]

Eine HPLC-Anlage besteht aus einem Lösungsmittelreservoir (Solvenzien). Im Lösungsmittelreservoir liegen die einzelnen Lösungsmittel der mobilen Phase vor, die mithilfe einer Hochdruckpumpe angesaugt werden. In der Mischkammer werden die einzelnen Lösungsmittel für die entsprechende Zusammensetzung der mobilen Phase gemischt. Die mobile Phase wird durch das System transportiert, und zwar entlang des Probenaufgabesystems (Injektor), gegebenenfalls entlang einer Vorsäule und entlang der eigentliche Trennsäule und gelangt so zum Detektor und schließlich im Abfallbehälter [Meyer, 2004, S. 9; Otto, 2019, S. 402 f.]. Die einzelnen Module sollen nachfolgend beschrieben werden.

Die Lösungsmittel der mobilen Phase befinden sich in geschlossenen Glas- oder Edelstahlflaschen. Wichtig ist dabei, dass die einzelnen Lösungsmittel vorher im Ultraschallbad

entgast werden, denn gelöste Gase können Luftblasen bilden, die das System und den Detektor bei der Messung negativ beeinflussen können. Zudem muss auch darauf geachtet werden, dass die mobile Phase keine Schwebstoffe enthält. Damit weder Luftblasen noch Schwebstoffe das System stören, werden die Lösungsmittel der mobilen Phase über Fritten angesaugt und damit gereinigt [Otto, 2019, S. 403 f.]. Je nachdem, was für Substanzgemische getrennt werden sollen, muss die mobile Phase entsprechend der chromatographischen Eigenschaften ausgewählt werden. Allen mobilen Phasen ist gemeinsam, dass sie mit der stationären Phase geeignet in Wechselwirkung treten müssen. Zudem sollte die mobile Phase eine optimale und schnelle Trennung ermöglichen. Neben den allgemeingültigen Kriterien sollte für die Auswahl der mobilen Phase auf weitere Kriterien geachtet werden. Dazu zählen unter anderem die Viskosität, die UV-Durchlässigkeit, sowie die Reinheit und das Inert sein gegenüber Probensubstanzen. Die Viskosität der Lösungsmittel ist relevant, denn weniger viskose Lösungsmittel ergeben, eine aufgrund des schnelleren Stoffaustausches, eine schnellere Trennung und der Druck ist kleiner als bei hochviskosen Lösungsmitteln. Bei der Wahl der mobilen Phase muss im Bereich der UV-Durchlässigkeit darauf geachtet werden, dass bei der Verwendung eines UV-Detektors die mobile Phase bei der entsprechenden Wellenlänge vollständig durchlässig ist. Zudem muss die mobile Phase inert sein gegenüber den Probensubstanzen, das heißt, dass keine Reaktion zwischen der mobilen Phase und den Probensubstanzen ablaufen darf [Meyer, 2004, S. 61 ff.].

Bei der Elution mit der mobilen Phase werden zwei Methoden unterschieden: die isokratische Elution und die Gradientenelution. Erfolgt die Elution isokratisch, so weist die mobile Phase eine konstante Zusammensetzung auf, wohingegen bei der Gradientenelution die Zusammensetzung der mobilen Phase, während eines Trennvorgangs verändert wird. Die Vorteile einer Gradientenelution liegen darin, dass die Peaks über die gesamte Analysenzeit schmaler sind und sich die Analysenzeit insgesamt verkürzt [Meyer, 2004, S. 65; Otto, 2019, S. 404].

Mithilfe der in einer HPLC-Anlage verbauten Pumpe wird die mobile Phase in das System eingebracht. Dabei gelten für die Pumpen hohe Anforderungen. So muss eine Pumpe einen hohen Druck bis zu 400 bar bewirken können und die Restpulsation des Flusses muss geringgehalten werden. Zudem muss eine Pumpe korrosionsbeständig sein, die mobile Phase konstant im Bereich von 0,1 – 10 Milliliter pro Minute fördern können und der relative Fehler des Durchflusses der mobilen Phase muss kontrolliert werden, reproduzierbar sein und darf einen Wert von 0,5 % nicht überschreiten [Otto, 2019, S. 404; Skoog & Leary, 1996, S. 681].

Insgesamt werden drei Arten von Pumpen für HPLC-Anlagen unterschieden: Hubkolbenpumpen, Verdrängungspumpen und pneumatische Pumpen. Die Hubkolbenpumpen stellen mit einer Verwendung von über 90 % den größten Anteil an HPLC-Pumpen dar [Skoog & Leary,

1996, S. 681]. Die Hubkolbenpumpen werden noch weiter unterteilt in Langhub- und Kurzhub-Kolbenpumpen, wobei die Langhub-Kolbenpumpen heute kaum noch Anwendung finden. Bei den Langhub-Kolbenpumpen wird der Vorgang der Förderung der mobilen Phase unterbrochen, weil der Kolben gefüllt und gespült werden muss. Die Kurzhub-Kolbenpumpen haben hingegen den Vorteil, dass diese einen konstanten Fluss der mobilen Phase ermöglichen, weil diese Art von Pumpen unabhängig vom Rückdruck der Säule und der Viskosität der Lösungsmittel der mobilen Phase sind [Otto, 2019, S. 404 f.]. Eine schematische Darstellung einer Kurzhub-Kolbenpumpe ist in Abbildung 5-72 dargestellt.

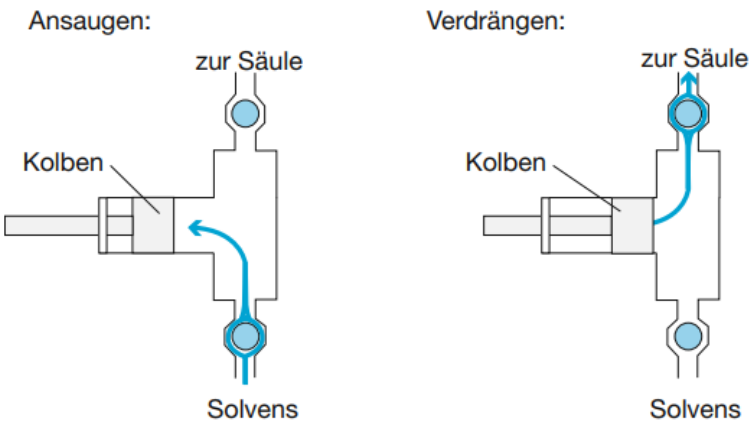


Abbildung 5-72 Schematische Darstellung einer Kurzhub-Kolbenpumpe [Otto, 2019, S. 405]

Das Prinzip der Kurzhub-Kolbenpumpe basiert auf der Vorwärts- und Rückwärtsbewegung eines motorisierten Kolbens, wodurch die mobile Phase in eine kleine Kammer gepumpt wird. Die beiden Kugelventile werden abwechselnd geöffnet und geschlossen, sodass die mobile Phase in den Zylinder hinein- und zur Säule herausgeführt wird. Die Vorteile einer solchen Kolbenpumpe zeigt sich in ihrem geringen inneren Volumen von 40 – 400 µL, den hohen Drücken am Ausgang von bis zu 700 bar sowie dem guten Anwendungsvermögen bei Gradientenelutionen [Otto, 2019, S. 405; Skoog & Leary, 1996, S. 681 f.].

Weniger relevante Pumpenarten stellen die Verdrängungspumpen und die pneumatischen Pumpen dar. Verdrängungspumpen funktionieren wie eine große Injektionsspritze. Diese sind aus großen, spritzenförmigen Kammern aufgebaut, wobei die Lösungsmittel durch einen sich noch vorne bewegenden motorisierten Kolben verdrängt werden, ähnlich wie bei einem Schraubenzieher. Der Vorteil dieser Pumpenart liegt darin, dass die Flussrate der mobilen Phase unabhängig vom Druck der Trennsäule und der Viskosität der Lösungsmittel der mobilen Phase ist. Nachteilig ist hingegen, dass die Pumpe nur bis zu 250 mL an Lösungsmittel aufnehmen kann und es sich als schwierig erweist, das Lösungsmittel auszutauschen. Bei der

pneumatischen Pumpe ist das Lösungsmittel in einem zusammenpressbaren Gefäß, welches durch ein komprimiertes Gas unter Druck gesetzt wird. Die Vorteile von pneumatischen Pumpen liegen in den günstigen Anschaffungskosten und der nahezu vorliegenden Pulsationsfreiheit. Nachteilig ist hingegen, dass auch hier die Kapazität des Lösungsmittels begrenzt ist und die pneumatischen Pumpen nur geringe Drücke bis zu 140 bar erzeugen können. Dem hinzu kommt, dass sich bei dieser Art von Pumpe die Viskosität der Lösungsmittel sowie der Gegendruck der Trennsäule bemerkbar machen und keine Gradientenelution durchgeführt werden kann [Skoog & Leary, 1996, S. 682].

Die Probenaufgabe erfolgt mithilfe einer Mikroliterspritze in das Probenausgabesystem, welches sich zwischen der Pumpe und der Trennsäule befindet. Als Probenaufgabesystem wird in der Regel eine Dosierschleife mit einem Sechswegeventil verwendet, welche zwei Positionen einnehmen kann: die Lade- und die Injektionsposition [Otto, 2019, S. 405]. In Abbildung 5-73 ist die Dosierschleife mit Sechswegeventil dargestellt.

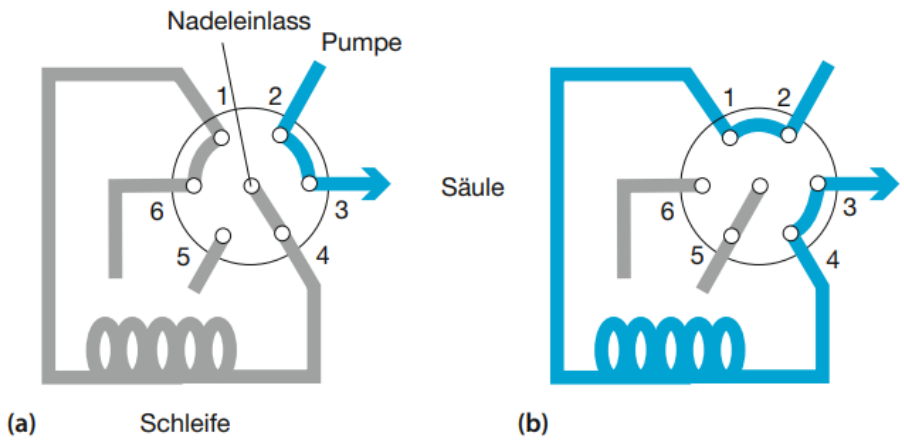


Abbildung 5-73 Darstellung einer Dosierschleife mit Sechswegeventil für eine HPLC-Anlage – (a) Füllen der Probenschleife (Ladeposition); (b) Injektion (Injektionsposition) [Otto, 2019, S. 406]

Mithilfe der Mikroliterspritze wird die flüssige Probe in das Sechswegeventil geführt, welches sich in der Ladeposition befindet, das heißt, dass der Nadeleinlass direkt mit dem Überlauf verbunden ist. Erst durch Umlegen des Sechswegeventils in die Injektionsposition befindet sich die Probenschleife zwischen der Pumpe und der Trennsäule, sodass die Probe mit der mobilen Phase über die stationäre Phase transportiert und aufgetrennt wird [Otto, 2019, S. 405].

Trennsäulen bestehen vorwiegend aus Edelstahl, teilweise sind es aber auch dickwandige Duran- oder Plexiglasrohre. Die meisten HPLC-Säulen weisen aufgrund einer regelmäßigen Säulenpackung eine gute Trennwirkung auf, wodurch die Säulen nur eine Länge von 5 – 25 cm und einen Durchmesser von 2 – 5 mm besitzen. Gefüllt sind die Säulen mit einer Teilchengröße von 3 – 10 µm. Gefüllt sind die Säulen häufig mit Kieselgel, Aluminiumoxid oder

Ionenaustauscherharzen [Beckert et al., 2009, S. 72; Otto, 2019, S. 406; Skoog & Leary, 1996, S. 684]. Um unerwünschte adsorbierbare Teilchen abzutrennen und damit die eigentliche Trennsäule zu schützen, werden in der HPLC-Anlage häufig noch kurze Vorsäulen eingesetzt (Abbildung 5-71). Für die Vorsäulen wird eine gröbere Porengröße von 10 – 30 µm gewählt, um einen größeren Druckabfall zu verhindern. Der Innendurchmesser der Vorsäule beträgt in der Regel 4,5 mm bei einer Länge von 30 mm [Harris et al., 2014, S.675; Otto, 2019, S. 406]. Die Darstellung einer HPLC-Trennsäule ist in Abbildung 5-74 dargestellt.

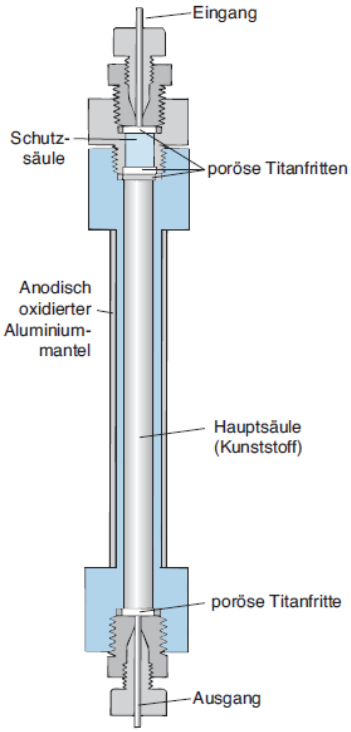


Abbildung 5-74 Darstellung einer HPLC-Trennsäule mit Schutzsäule [Harris et al., 2014, S. 675]

Bei der HPLC erfolgt die Trennung am häufigsten auf dem chemisch-physikalischen Trennprinzip der Verteilung. Dabei wird als stationäre Phase entweder eine immobilisierte Flüssigkeit auf einem Trägermaterial oder eine chemisch gebundene Phase verwendet. Bei der immobilisieren Flüssigkeit haftet diese durch Adsorption am Trägermaterial, welches häufig Kieselgel oder Aluminiumoxid darstellt. Die Trennflüssigkeit ist hingegen eine polare Flüssigkeit, wie beispielsweise Wasser. Aufgrund der polaren stationären Phase muss eine unpolare mobile Phase gewählt werden. Diese Art der Chromatographie wird als Normalphasenchromatographie (NP-Chromatographie; engl. normal phase chromatography) bezeichnet. Wird hingegen eine relativ unpolare stationäre Phase und eine polare mobile Phase verwendet, wird die Art der Chromatographie als Umkehrphasenchromatographie (RP-Chromatographie; engl. reversed phase chromatography) bezeichnet. Im Bereich der immobilisierten Flüssigkeiten als stationäre

Phase finden nur NP-Chromatographien statt. Bei chemisch gebundenen stationären Phasen können hingegen sowohl NP- (zu etwas 25 %) als auch RP-Chromatographien (zu etwa 75 %) ablaufen. Bei RP-Chromatographien wird als Trägermaterial vor allem Kieselgel eingesetzt. Um eine unpolare, chemisch gebundene, stationäre Phase zu erhalten, ist eine Hydrophierung des Kieselgels notwendig. Dies kann durch die Reaktion von Kieselgel mit Alkylchlorsilanen entstehen, wodurch als Produkte Siloxane gebildet werden, die meistens einen Alkylrest mit 18 Kohlenstoffatomen (*n*-Octadecyl) tragen. Durch die Stellung der Alkylreste parallel zueinander und senkrecht aus dem Trägermaterial heraus, weist die Struktur einen bürstenähnlichen Aufbau auf. An der Stelle ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, ob es bei der chromatographischen Trennung zur Adsorption an der Oberfläche der stationären Phase kommt oder ob sich das flüssige Kohlenstoffmedium an der Oberfläche der stationären Phase wie eine flüssige stationäre Phase verhält und damit das Trennprinzip der Verteilung vorliegt. Dabei ist die Trennleistung der Säule von der Kettenlänge des Alkylrestes abhängig. Es gilt, je länger die Kohlenstoffkette des Alkylrestes ist, desto stärker retardieren die Probenteilchen und desto mehr Probe kann auf die Säule aufgetragen werden. Zu beachten ist, dass nur etwa die Hälfte der stationären Phase silanisiert vorliegt und daher noch restliche Silanolgruppen vorliegen können, die es ermöglichen polare Verbindungen zu adsorbieren. Da sich die Adsorption polarer Verbindungen negativ auf die Peakform innerhalb der Chromatogramme in Form eines Tailings auswirkt, müssen die restlichen Silanolgruppen gekappt werden [Otto, 2019, S. 411 ff.].

Eine HPLC kann aber auch nach dem physikalisch-chemischen Trennprinzip der Adsorption ablaufen (siehe Kapitel 5.4.8.1).

Der Trennsäule nachgeschaltet ist der Detektor. Dieser hat die Aufgabe zu erkennen, wann eine Substanz aus der Trennsäule eluiert wird. Der Detektor erkennt die Veränderung der Zusammensetzung der mobilen Phase im Vergleich zur reinen mobilen Phase und wandelt die neuen Informationen in ein elektrisches Signal um, welches an die Auswerteinheit weitergeleitet wird. Das Signal wird dann als Abweichung von der Basislinie als Peak angezeigt [Meyer, 2004, S. 84].

An einen idealen Detektor werden verschiedene Anforderungen gestellt. Demnach soll ein Detektor robust, kostengünstig und einfach zu bedienen sein. Weiterhin soll der Detektor auf alle Substanzen gleich empfindlich reagieren, unabhängig sein gegenüber einem Wechsel der Zusammensetzung der mobilen Phase oder einem Temperaturwechsel. Geringe Konzentrationen müssen messbar sein und es dürfen bei der Detektion keine Substanzen zerstört werden. Zudem soll ein Detektor durch ein kleines Zellvolumen keine Bandenverbreiterung hervorrufen und auch schmale Peaks richtig erfassen. Alle Anforderungen zusammengesehen stellen

natürlich eine Modellvorstellung dar, die allesamt gar nicht eingehalten werden können [Harris et al., 2014, S. 690; Meyer, 2004, S. 84; Skoog & Leary, 1996, S. 684].

In der HPLC gibt es vier verschiedene Detektorarten (UV/VIS-, Fluoreszenz-, Brechungsindex- und elektrochemische Detektoren), die in verschiedene Gruppen eingeteilt werden können. Eine Einteilung kann einerseits durch die Messgröße und andererseits durch die Selektivität vorgenommen werden. Erfolgt eine Einteilung nach der Messgröße, wird in konzentrations- und stoffstromabhängige Detektoren unterschieden. Zu den konzentrationsabhängigen Detektoren werden beispielsweise UV/VIS-, Fluoreszenz- und Brechungsindexdetektoren gezählt, wohingegen elektrochemische Detektoren zur Gruppe der stoffstromabhängigen Detektoren zählen. Bei den konzentrationsabhängigen Detektoren werden Signale gebildet, die proportional zur Probenkonzentration sind und welche von der Fließgeschwindigkeit abhängig sind. Bei stoffstromabhängigen Detektoren werden hingegen Signale gebildet, die proportional zur Anzahl der Probenteilchen pro Zeit (Stoffstrom) sind. Nach der Selektivität kann man die HPLC-Detektoren in universelle und selektive Detektoren einteilen. Ein universeller und damit nicht selektiver Detektor ist beispielsweise der Brechungsindexdetektor (RI-Detektor), der jede Änderung des Brechungsindex zwischen der reinen mobilen Phase und der Probenelution wahrnimmt. Die selektiven Detektoren, wie beispielsweise die UV/VIS- und Fluoreszenzdetektoren, reagieren hingegen nur auf spezielle Eigenschaften von Probensubstanzen [Meyer, 2004, S. 84 f.].

Die UV/VIS-Detektoren sind die in der HPLC am häufigsten eingesetzten Detektorarten, dessen Prinzip auf einer spektralphotometrischen Messung beruht. Dabei können Detektoren mit fest eingestellter Wellenlänge oder mit variabler Wellenlängeneinstellung eingesetzt werden. Bei der Detektion wird demnach die Absorption der Probenteilchen gegen die reine mobile Phase als Referenzwert gemessen. Damit der Detektor ab einer Wellenlänge von 200 nm eine Absorption messen kann, müssen die Probenmoleküle verschiedene Voraussetzungen erfüllen. Bestimmbare Substanzen sind organische Verbindungen mit konjugierten Doppelbindungen, Carbonyl- oder Nitrogruppen, aromatischen Ringen oder welche, die Brom, Iod und Schwefel enthalten [Meyer, 2004, S. 89 f.]. Die Extinktionskoeffizienten (ε), die für viele unterschiedliche Substanzen in verschiedenen Werken tabelliert sind, werden herangezogen, um eine Aussage für die Fähigkeit der Lichtabsorption treffen zu können. Neben der Extinktionskoeffizienten ist die Lichtabsorption zudem von der molaren Konzentration der Substanz (c) sowie der Schichtdicke der Durchflusszelle (d) abhängig. Dieser Zusammenhang wird im Lambert-Beerschen-Gesetz beschrieben (Kapitel 5.4.8.3). Insgesamt gilt bei gleicher Menge der Probeninjektion: Je größer der Extinktionskoeffizient einer Probensubstanz ist, desto größere Peaks sind

in den Chromatogrammen zu finden. Entsprechend dazu gilt: Je kleiner der Extinktionskoeffizient einer Probensubstanz ist, desto kleinere Peaks erscheinen im entsprechenden Chromatogramm [Meyer, 2004, S. 90].

Das Detektionsprinzip basiert auf der Grundlage der spektralphotometrischen Messung und wird in Abbildung 5-75 dargestellt.

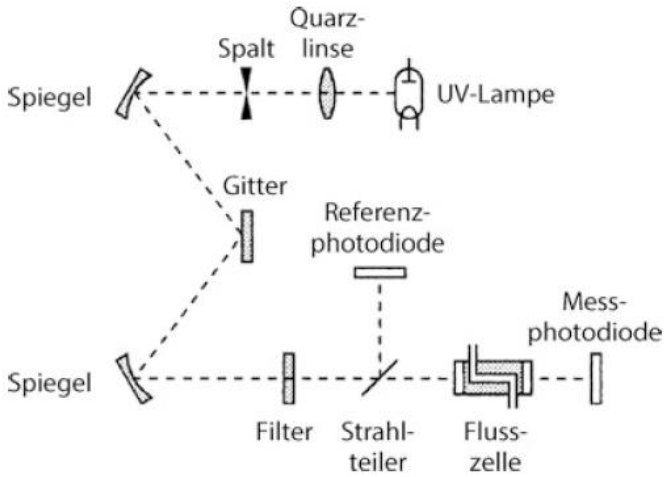


Abbildung 5-75 Detektionsprinzip eines UV/VIS-Detektors in der HPLC [aprentas, 2017, S. 268]

Als Lichtquelle wird in der Regel eine Deuteriumlampe verwendet. Dabei trifft das ausgestrahlte Licht auf einen Monochromator, ein Prisma oder Gitter, wodurch das Licht in die einzelnen unterschiedlichen Wellenlängen aufgespalten wird. Durch eine nachgeschaltete Blende oder einen Spalt wird nur das Licht der gewünschten Wellenlänge durchgelassen, sodass monochromatisches Licht auf die Durchflusszelle trifft, in der sich der Analyt mit dem Eluenten in einer Quarzküvette befindet [Meyer, 2004, S. 91 f.; Unger, 1989, S. 80 ff.].

Die Durchflusszellen sind häufig 10 mm lang und entsprechend dünn, damit das Zellvolumen möglichst geringgehalten wird [Meyer, 2004, S. 90]. Der Aufbau einer solchen Durchflusszelle für die UV/VIS-Detektion einer HPLC-Anlage kann Abbildung 5-76 entnommen werden.

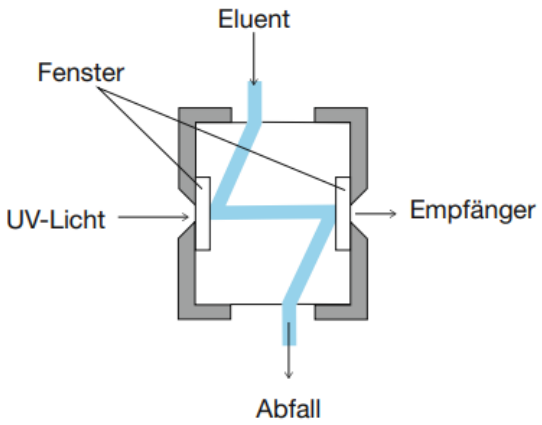


Abbildung 5-76 Darstellung einer Durchflusszelle für die UV/VIS-Detektion einer HPLC-Anlage [Otto, 2019, S. 407]

Die Mikrodurchflussküvette weist hierbei eine Z-förmige Struktur auf. Die Küvettenfenster bestehen bei Messungen im UV-Bereich aus Quarz und das Küvettenvolumen ist auf maximal 10 µL bei einer Schichtdicke von 10 mm beschränkt, sodass eine Bandenverbreitung innerhalb des Chromatogramms vermieden werden kann [Gey, 2021, S. 131; Otto, 2019, S. 407]. Nach dem eigentlichen Trennvorgang gelangt das Säuleneluat in die Durchflusszelle, wo die Detektion durch die Messung der Lichtabsorption abläuft. Die UV-aktiven Substanzen im Analyten absorbieren einen Teil des Lichts, woraus im Vergleich zum reinen Eluenten, ein Intensitätsverlust entsteht. Der Intensitätsverlust des Lichts wird an einer Photodiode registriert und an die Auswerteinheit weitergeleitet, wodurch das Signal im Chromatogramm entsteht [Unger, 1989, S. 80 ff.].

Eine besondere Art der UV/VIS-Detektoren stellt der Diodenarray-Detektor dar. Eine schematische Darstellung kann aus Abbildung 5-77 entnommen werden.

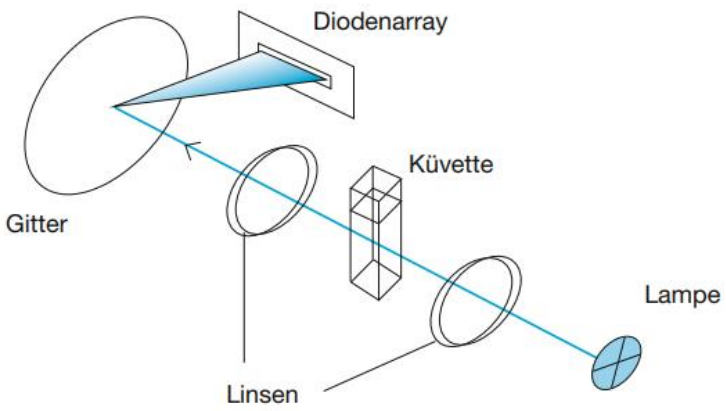


Abbildung 5-77 Darstellung eines Diodenarray-Detektors (DAD) [Otto, 2019, 233]

Bei der Detektion mit dem DAD tritt, durch die Verwendung einer Deuterium- oder Wolframlampe, polychromatisches Licht durch die Probelösung, wodurch die Analyten bei entsprechender Wellenlänge das Licht absorbieren können. Das nicht absorbierte polychromatische Licht trifft auf ein Gitter, wodurch dieses in Teilstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen aufgespalten wird. Die Teilstrahlen treffen auf das Diodenarray, wo der Intensitätsunterschied des Lichtes registriert, und in ein elektrisches Signal umgewandelt wird, welches an die Auswerteinheit weitergeleitet wird. Somit kann ein ganzes Wellenlängenspektrum im Bereich von 200 – 800 nm innerhalb kurzer Zeit aufgenommen werden [aprentas, 2017, S. 268 f.; Otto, 2019, S. 233].

Eine weitere Gruppe an HPLC-Detektoren stellen die Brechungsindexdetektoren (engl. refractive index detector; RI-Detektoren) dar. RI-Detektoren sind universell einsetzbar, weil nahezu alle Verbindungen detektieren werden können. Voraussetzung ist, dass die zu detektierenden Substanzen einen anderen Brechungsindex aufweisen müssen als die reine mobile Phase. Prinzipiell gilt, dass je größer die Differenz der Brechungsindices zueinander ist, desto größer sind die Signale in den Chromatogrammen [Meyer, 2004, S. 92 f.; Otto, 2019, S. 409]. Insgesamt gibt es drei Hauptarten an RI-Detektoren: Fresnel-Refraktometer, Ablenkungsrefraktometer und Interferometer.

Das Prinzip des Fresnel-Refraktometers basiert auf dem Prinzip der Reflexion. Dabei hängt die Menge des reflektierten Lichts einerseits vom Einfallswinkel und andererseits von den Brechungsindices der mobilen Phase, mit und ohne Probe, ab. In Abbildung 5-78 ist ein schematischer Aufbau eines Fresnel-Refraktometers dargestellt.

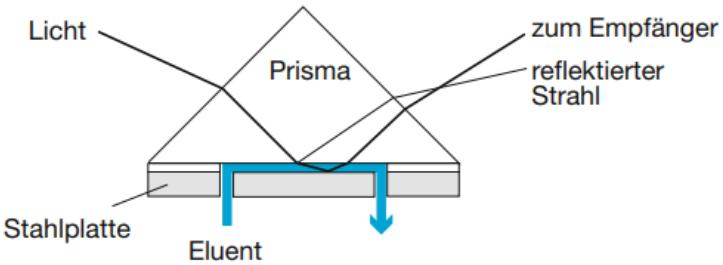


Abbildung 5-78 Schematische Darstellung des Fresnel-Refraktometers [Otto, 2019, S. 409]

Das Fresnel-Refraktometer enthält eine Mess- und eine Referenzzelle, welche analog aufgebaut sind. Ein Teil des Lichts wird an der Phasengrenze zwischen Prisma und Eluent reflektiert. Der nicht reflektierte Teil des Lichts trifft auf die Probe, wird an einer Stahlplatte reflektiert und wird an der Photodiode registriert. Anhand des Intensitätsunterschieds des Lichts zwischen der

Mess- und der Referenzzelle ergibt sich das Signal, welches im Chromatogramm abgebildet wird [Otto, 2019, S. 409].

Ein weiterer RI-Detektor ist das Ablenkungsrefraktometer, welches in Abbildung 5-79 gezeigt wird.

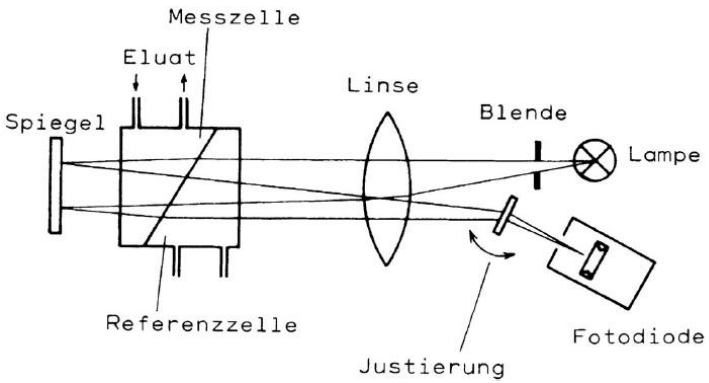


Abbildung 5-79 Darstellung eines Ablenkungsrefraktometers [Meyer, 2004, S. 94]

Wie das Fresnel-Refraktometer besteht auch das Ablenkungsrefraktometer aus einer Mess- und einer Referenzelle. Die beiden Zellen sind durch eine schräge Trennwand voneinander abgetrennt, sodass durch die Messzelle das Eluat fließen kann und durch die Referenzzelle die reine mobile Phase. Bei der Detektion tritt der Lichtstrahl zweimal durch die Zellen, denn nach dem ersten Durchgang durch die Mess- und die Referenzzelle wird der Lichtstrahl am Spiegel reflektiert und tritt erneut durch die Zellen hindurch. Dabei wird der Lichtstrahl durch eine bewegliche Glasplatte so justiert, dass der Lichtstrahl beim Durchgang durch die Messzelle mit der reinen mobilen Phase die maximale Intensität aufweist. Sobald der Analyt durch die Messzelle hindurchtritt, ändert sich der Brechungsindex innerhalb des Messzelle, sodass der Lichtstrahl abgelenkt wird und ein Intensitätsunterschied registriert werden kann [Meyer, 2004, S. 93].

Die dritte Bauart der RI-Detektoren ist das Interferometer, welches in Abbildung 5-80 dargestellt ist.

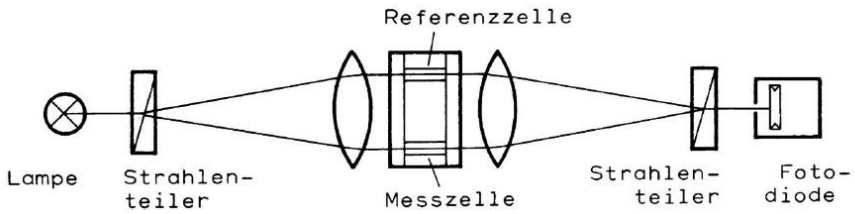


Abbildung 5-80 Darstellung eines Interferometers [Meyer, 2004, S. 94]

Auch das Interferometer besteht aus einer Mess- und einer Referenzzelle. Bei der Detektion wird das ausgestrahlte Licht durch einen Strahlenteiler geteilt. Die beiden Strahlen weisen die gleiche Lichtintensität auf. Der eine Lichtstrahl geht durch die Messzelle, der andere durch die Referenzzelle. Durch einen nachgeschalteten Strahlenteiler werden die beiden Lichtstrahlen zur Interferenz gebracht. Unterscheiden sich die Brechungsindices des Eluenten und der reinen mobilen Phase, so treffen die beiden Lichtstrahlen zu unterschiedlichen Zeiten auf den Strahlenteiler, sodass durch eine teilweise Auslöschung eine Intensitätsschwächung des Lichts resultiert, welche registriert wird [Meyer, 2004, S. 93]. Der Vorteil gegenüber den UV/VIS-Detektoren liegt darin, dass die RI-Detektoren für fast alle Substanzen eingesetzt werden können. Der Nachteil liegt vor allem in der starken Temperaturabhängigkeit. Daraus können Verfälschungen der Messergebnisse resultieren, weshalb die RI-Detektoren nur dann eingesetzt werden, wenn Substanzen erfasst werden sollen, die nicht UV-aktiv sind, wie beispielsweise Kohlenhydrate [Meyer, 2004, S. 92 f.].

Neben den UV/VIS- und den RI-Detektoren werden in der HPLC teilweise auch Fluoreszenzdetektoren eingesetzt, mit denen fluoreszierende Subtanzen erfasst werden können. Diese Art der Bestimmung ist in etwa 1000-mal empfindlicher als die der UV/VIS-Detektion [Otto, 2019, S. 409; Meyer, 2004, S. 94]. In Abbildung 5-81 wird ein Fluoreszenzdetektor für die HPLC dargestellt.

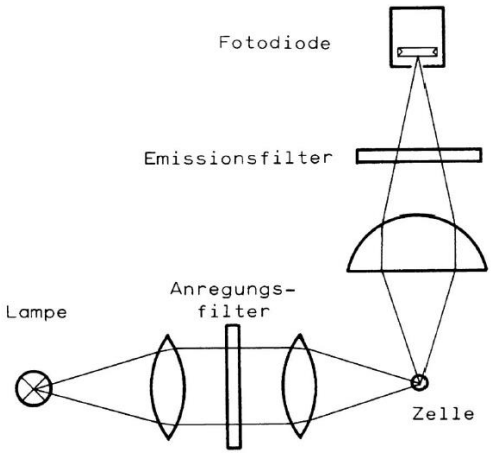


Abbildung 5-81 Darstellung eines Fluoreszenzdetektors in der HPLC [Meyer, 2004, S. 95]

Die Fluoreszenz wird mithilfe von Photodioden gemessen, die senkrecht zur Anregungsstrahlung angeordnet sind. Als Anregungsquelle kann entweder eine Quecksilberdampflampe oder eine Xenonhochdrucklampe eingesetzt werden. Zusätzlich verfügen die kostspieligeren Geräte über Monochromatoren, sowohl für das Anregungs- als auch das Fluoreszenzlicht. Im

Vergleich zu den UV/VIS- und den RI-Detektoren werden keine zwei Lichtintensitäten, sondern eine emittierte Strahlung gemessen. Dabei trifft das ausgestrahlte Licht auf den Anregungsfilter, der nur für kurzwelliges Licht durchlässig ist, sodass die Probe in der Messzelle mit kurzwelligem UV-Licht bestrahlt wird. Die Probensubstanzen absorbieren die Strahlung, wodurch diese angeregt wird. Die Abgabe der Energie erfolgt durch die Emission langwelliger Lichtstrahlen in Form von Fluoreszenz. Die Fluoreszenzstrahlung wird an der Photodiode registriert und an die Auswerteinheit weitergeleitet. Dabei erfolgt die Messung senkrecht zur Lichtquelle, um eine Registrierung der Anregungsstrahlung an der Photodiode zu vermeiden [Maier, 1990, S. 102 f.; Meyer, 2004, S. 94 f.; Skoog & Leary, 1996; S. 687]. Eingesetzt werden die Fluoreszenzdetektoren, aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit, vor allem bei der Bestimmung und Trennung von Arzneistoffen oder Naturstoffen [Otto, 2019, S. 409].

Neben den bereits erwähnten Detektoren, werden in der HPLC auch elektrochemische Detektoren eingesetzt, wobei verschiedene Arbeitsweisen unterschieden werden. In der Praxis hat sich die amperometrische Arbeitsweise als am effektivsten herausgestellt, weshalb sich auf diese Arbeitsweise beschränkt wird [Otto, 2019, S. 410]. Die elektrochemischen Detektoren werden für den spezifischen Nachweis von leicht oxidierenden oder reduzierenden organischen Verbindungen angewendet. Da es sich um die Messung von Oxidations- und Reduktionsvorgängen handelt, muss die Detektorzelle Elektroden enthalten [Meyer, 2004, S. 95 f.]. In Abbildung 5-82 kann die Darstellung eines elektrochemischen Detektors mit einer Arbeitselektrode aus Glaskohlenstoff entnommen werden.

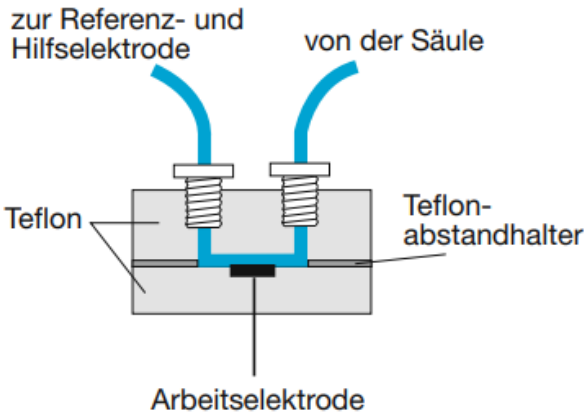


Abbildung 5-82 Darstellung eines elektrochemischen Detektors mit einer Arbeitselektrode aus Glaskohlenstoff [Otto, 2019, S. 410]

Die Detektorzelle enthält drei Elektroden: eine Arbeits-, eine Referenz- und eine Hilfselektrode. Als Materialien für die Arbeitselektroden werden entweder Glaskohlenstoff, Gold oder Platin

eingesetzt, wohingegen die Referenzelektrode häufig eine Silber-/Silberchlorid-Elektrode darstellt und als Hilfselektrode dient der Stahlblock des Detektors. Für die Detektion wird das für die Oxidations- und Reduktionsvorgänge benötigte Potential zwischen der Arbeits- und der Referenzelektrode angelegt. Die Hilfselektrode hat dabei die Aufgabe das Potential in der Detektorzelle konstant zu halten, indem der fließende Strom aus der elektrochemischen Reaktion abgeleitet wird. Passiert nun eine elektrochemisch aktive Substanz bei angelegtem Potential die Durchflusszelle, so wird diese oxidiert oder reduziert, wodurch der entstehende Strom gemessen und in ein Signal umgewandelt werden kann [Meyer, 2004, S. 95 f.; Otto, 2019, S. 410].

Die Detektion stellt aufgrund der hohen Nachweisgrenze in der HPLC die größte Herausforderung dar. Damit die Nachweisgrenze überschritten wird, werden die Proben teilweise durch eine chemische Reaktion derivatisiert, wobei die Derivatisierung entweder vor der Injektion stattfinden kann oder zwischen der Säule und dem Detektor [Meyer, 2004, S. 280]. In dieser Arbeit wird beispielsweise das Taurin der Energydrinks mit dem Derivatisierungsreagenz Dansylchlorid vor der Injektion zur Reaktion gebracht, sodass das UV-inaktive Taurin in ein fluoreszierendes Derivat überführt und mithilfe eines DAD-Detektors gemessen werden kann (Abbildung 5-83). Das entstehende Chromatogramm enthält die detektierten Substanzen in Form von Peaks, die eine bestimmte Höhe und Breite ausweisen und zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Probensubstanzen herangezogen werden können. Die entsprechenden Peaks und deren Intensität werden im Chromatogramm gegen die Zeit aufgetragen [Gey, 2021, S. 121; Meyer, 2004, S. 22]. Ein beispielhaftes Chromatogramm für eine Trennung zweier verschiedener Substanzen (S_1 und S_2) kann aus Abbildung 5-83 entnommen werden.

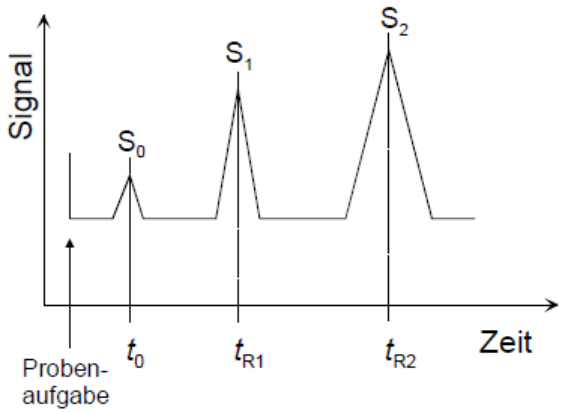


Abbildung 5-83 Beispiel für eine chromatographische Trennung von zwei verschiedenen Substanzen (S_1 und S_2) [Gey, 2021, S. 121]

Für die qualitative Bestimmung kann aus Abbildung 5-83 entnommen werden, dass es sich bei der Substanz S_0 bei der Zeit t_0 um die sogenannte Totzeit der Trennsäule handelt, das heißt,

dass diese Substanz keinerlei Wechselwirkung mit der stationären Phase eingeht. Die Totzeit beschreibt dabei die Zeit, die die reine mobile Phase benötigt, um die Trennsäule zu durchströmen. Die verschiedenen Probensubstanzen werden, je nach Eigenschaften, zeitlich verzögert voneinander getrennt. Die zugehörigen Peaks können anhand der Retentionszeiten (t_{R1} und t_{R2}) qualitativ betrachtet werden. Die Retentionszeiten der beiden Substanzen, die je nach vorliegenden chromatographischen Bedingungen (Art und Länge der stationären Phase, Flussraten der mobilen Phase und Temperatur) unterschiedlich sein können, sind die Zeiten, die vom Injizieren der Probe bis zur Darstellung des Peakmaximums benötigt werden. Um Substanzen qualitativ bestimmen zu können, werden in der Regel die reinen Substanzen in geeigneter Konzentration injiziert und die Retentionszeiten entsprechend miteinander verglichen [Gey, 2021, S. 121; Meyer, 2004, S. 22].

Die quantitative Bestimmung der Probensubstanzen erfolgt über die Flächen und Höhen der entsprechenden Peaks, da diese proportional zur injizierten Probenmenge sind [Meyer, 2004, S. 121]. Eine Darstellung eines Chromatogramms für die quantitative Auswertung kann Abbildung 5-84 entnommen werden.

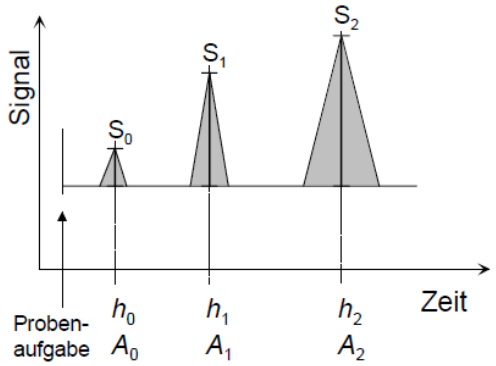


Abbildung 5-84 Beispiel einer quantitativen Auswertung eines Chromatogramms [Gey, 2021, S. 121]

Für die Auswertung wird eine externe Kalibrierung mit verschiedenen Konzentrationen einer Referenzsubstanz eingesetzt [Meyer, 2004, S. 22]. Aus den Werten für die Fläche kann eine Kalibriergerade erstellt werden, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Wird durch die einzelnen Punkte eine lineare Gerade gelegt, wird eine Geradengleichung erhalten, mit der Chromatogramme quantitativ ausgewertet werden können.

Neben der qualitativen und quantitativen Auswertung der Chromatogramme können weitere Aussagen über die dargestellten Peaks und die Chromatogramme allgemein herausgelesen

werden. Dazu gehören unter anderem die Peakbasisbreite (w_b) oder auch die Peakbreite auf halber Höhe (w_h). Die Darstellung dazu ist in Abbildung 5-85 zu finden.

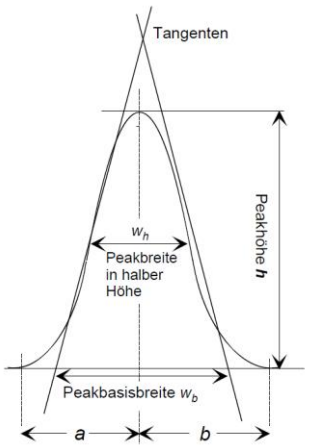


Abbildung 5-85 Darstellung eines Peakprofils mit Kenngrößen [Gey, 2021, S. 122]

Mit den Retentionszeiten (t_R) und den Basispeakbreiten (w_b) kann die Auflösung (R) berechnet werden (Gleichung 5-4). Die Auflösung bezieht sich auf die benachbarten Peaks und wird als Maß für das Trennvermögen von Säulen angesehen, wobei eine optimale chromatographische Auflösung einen Wert von R = 1,5 anstrebt [Gey, 2021, S. 122].

$$R = 2 \cdot \frac{(t_{R2} - t_{R1})}{w_{b1} + w_{b2}}$$

Gleichung 5-4 Berechnung der optischen Auflösung (R) [Gey, 2021, S. 122]

Zudem kann aus dem Chromatogramm die Trennstufenzahl (N) der Säule mithilfe der Retentionszeiten und der Basispeakbreite bestimmt werden (Gleichung 5-5). Die Trennstufenzahl ist die Anzahl der theoretischen Böden, das heißt, dass sich bei jeder Trennstufe ein neues Gleichgewicht zwischen der stationären und mobilen Phase einstellt. Somit muss die Substanz, die mit der mobilen Phase über die Trennsäule transportiert wird, sich von einer Trennstufe zur anderen bewegen. Die Trennstufenzahl zeigt demnach an, wie gut die Säuleneffizienz und damit die Auflösung der Peaks in den Chromatogrammen ist. Je größer die Zahl der Trennstufen, desto optimaler können Substanzen voneinander getrennt werden [Meyer, 2004, S. 26; Otto, 2019, S. 372 f.].

$$N = 16 \cdot \left(\frac{t_R}{w_b}\right)^2$$

Gleichung 5-5 Berechnung der Trennstufenzahl (N) [Otto., 2019, S. 373]

Gaschromatographie

Die Gaschromatographie (GC) stellt neben der HPLC eine weitere schnelle und leistungsfähige Trennmethode dar, die sowohl für die qualitative als auch für die quantitative Bestimmung eingesetzt werden kann. Dabei weist die GC als einzige chromatographische Trennmethode eine gasförmige mobile Phase auf, sodass die zu analysierenden Substanzen zunächst verdampft werden müssen, damit diese mit der mobilen Phase über die stationäre Phase transportiert werden können. Wichtig ist jedoch, dass die zu analysierenden Substanzen beim Übergang in die Gasphase nach Möglichkeit nicht zersetzt werden. Sollte es zur Zersetzung der Substanzen kommen, müssen die Zersetzungsprodukte gasförmig und auch definierbar sein [Beckert et al., 2009, S. 74; aprentas, 2017, S. 294; Otto, 2019, S. 381].

Die Gaschromatographie kann je nach Art der stationären Phase in Gas-Fest- (GSC; engl. gas solid chromatography) oder Gas-Flüssig-Chromatographie (GLC; engl. gas liquid chromatography) unterteilt werden. Die mobile Phase ist bei beiden Variationen gasförmig und stellt dabei das Trägergas dar, sodass keinerlei Wechselwirkung zwischen den zu analysierenden Substanzen und der mobilen Phase feststellbar ist. Wie der Name schon sagt, weist die Gas-Fest-Chromatographie als stationäre Phase einen festen Aggregatzustand auf, sodass als physikalisch-chemisches Trennprinzip eine Adsorptionschromatographie abläuft. Analysiert werden damit lediglich gasförmige Analyten, wie beispielsweise verschiedene Gase aus der Luft. Eine Gas-Flüssig-Chromatographie weist hingegen eine flüssige stationäre Phase auf. Bei der GLC ist das dominierende physikalisch-chemische Trennprinzip eine Verteilungschromatographie, bei der es zur Verteilung der Substanzen zwischen der gasförmigen mobilen Phase und der flüssigen stationären Phase kommt. In der GC wird fast ausschließlich die GLC angewendet, die es ermöglicht organische Verbindungen zu analysieren [Gey, 2021, S. 194; Otto, 2019; S. 381].

Neben der stationären und mobilen Phase enthält ein Gaschromatograph noch viele weitere Bauteile. Die verwendeten Trägergase, die Probeninjektionsgeräte sowie die eingesetzten Trennsäulen und Detektoren ergeben die Unterschiede der gaschromatographischen Geräte [Otto, 2019, S. 384]. In Abbildung 5-86 wird der schematische Aufbau eines Gaschromatographen dargestellt.

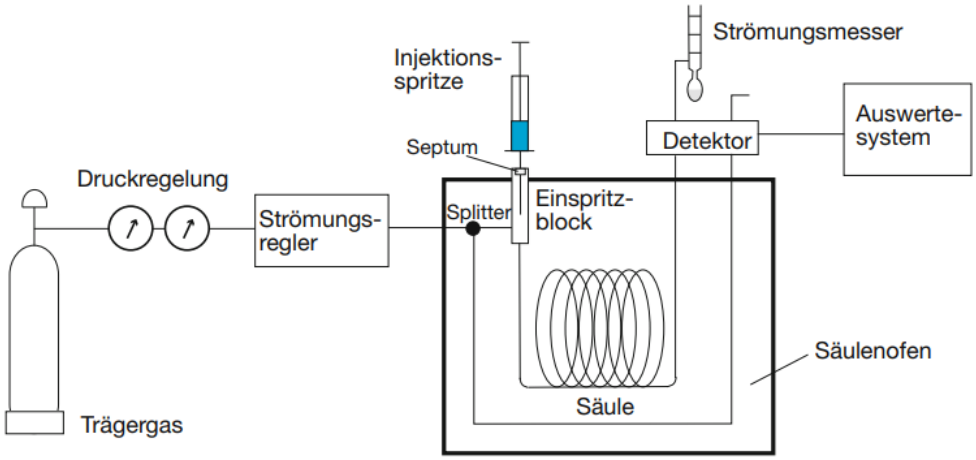


Abbildung 5-86 Schematischer Aufbau eines Gaschromatographen [Otto, 2019, S. 384]

Wie Abbildung 5-86 entnommen werden kann, wird das zu trennende Substanzgemisch in den beheizten Injektionsblock mithilfe der Injektionsspritze injiziert, wo die Probenteilchen verdampft werden. Die verdampften Probenteilchen werden mithilfe der mobilen Phase über die stationäre Phase transportiert. Die Trennsäule befindet sich dabei in einem Säulenofen mit variabel einstellbarer Temperatur, sodass die Trennsäule eine reproduzierbare Betriebstemperatur aufweist. Durchläuft das zu trennende Substanzgemisch die stationäre Phase, so wird dieses anhand von physikalisch-chemischen Eigenschaften (Verteilung und Adsorption) voneinander getrennt. Die einzelnen Komponenten werden mithilfe der mobilen Phase zum Detektor weitergeleitet, der die Veränderung der Zusammensetzung im Vergleich zur reinen mobilen Phase erkennt und diese Veränderung in ein Spannungssignal umwandelt. Das Signal wird an die Auswerteinheit weitergeleitet, wodurch die einzelnen Peaks im Chromatogramm entstehen.

Als mobile Phase werden chemisch inerte Gase mit guten Strömungseigenschaften, wie beispielsweise Helium, Argon, Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlenstoffdioxid verwendet. Welches Trägergas eingesetzt wird, hängt zum Teil auch vom verwendeten Detektortyp ab. Zudem können die Trägergase Spuren von Wasser aufweisen, die mithilfe von einem Molekularsieb entfernt werden können. Im Vergleich zur HPLC werden zum Transport der mobilen Phase keine Pumpen notwendig. Dies liegt daran, dass durch den Überdruck der Gasflaschen der Gasfluss gewährleistet werden kann. Dennoch muss der Fluss der mobilen Phase mithilfe von Strömungsreglern konstant gehalten werden, um reproduzierbare Messergebnisse zu erzielen. Je nachdem, ob eine gepackte oder eine Kapillarsäule vorliegt, muss der Fluss der mobilen Phase angepasst werden. Werden gepackte Säulen eingesetzt, so liegt der Fluss der mobilen Phase bei 25 – 150 mL/min. Bei Kapillarsäulen wird ein bedeutend geringer Fluss der mobilen Phase von nur 1 – 25 mL/min benötigt [Gey, 2021, S. 195; Otto, 2019, S. 384; Skoog & Leary, 1996, S. 652 f.].

Es werden in der GC zwei Arten von Säulentypen unterschieden: gepackte Säulen und Kapillarsäulen. Oft weisen die Säulen eine Länge von 2 – 50 m auf, wobei es aber auch längere und kürzere Säulen gibt. Als Säulenmaterialien für die stationären Phasen werden in der GC häufig Edelstahl, Quarz oder Glas eingesetzt. Auf den Trennsäulen findet die eigentliche chromatographische Trennung statt und damit diese reproduzierbar abläuft, wird bei der GC ein Säulenofen verwendet, dessen Temperatur variabel eingestellt werden kann. Damit die Säulen zur Thermostatisierung in den Säulenofen passen, werden diese in der Regel zu Spiralen aufgerollt [Otto, 2019, S. 386; Skoog & Leary, 1996, S. 654 f.].

Gepackte Säulen sind gleichmäßig mit einem einheitlichen, feinverteilten Packungsmaterial und einem dünnen Film aus stationärer Phase gefüllt. Dabei bestehen die Säulenwände meistens auch Edelstahl oder Glas. Gepackte Säulen sind mit einer Länge von 1 – 3 m ziemlich kurz, weisen dafür aber einen Innendurchmesser von 3 – 6 mm auf. Als Material für gepackte Säulen wird in der Regel silanisiertes Kieselgel verwendet, um eine Verringerung der Ausbildung von Wasserstoffbrücken zu polaren Substanzen zu erzielen [Harris et al., 2014, S. 646] . Bei gepackten Säulen ist eine Trennung bis zu einer Substanzmenge von 0,5 – 30 mg möglich [Beckert et al., 2009, S. 74]. Heute werden gepackte Säulen, aufgrund des schlechteren Trennvermögens, jedoch nur noch sehr selten verwendet [aprentas, 2017, S. 299].

Die überwiegende Anzahl der GC-Säulen stellen die Kapillarsäulen dar, welche aus Quarzglas bestehen, die mit einer dünnen Schicht Polyimid zur Stabilisierung ummantelt sind. Neben der Stabilität dient die Polyimid-Schicht als Schutz vor Luftfeuchtigkeit und die Biegsamkeit wird erhöht. Kapillarsäulen sind mit bis zu 100 m bedeutend länger als die gepackten Säulen, weisen jedoch einen geringeren Innendurchmesser von 0,1 – 0,8 mm auf, welches ein höheres Auflösungsvermögen, aber eine geringere Probenkapazität, mit sich bringt. So können mit Kapillarsäulen Substanzmengen im Mikrogrammbereich getrennt werden. Aufgrund der verbesserten Biegsamkeit ist es möglich die langen Säulen aufzuwickeln, sodass diese gut in den Säulenofen hineinpassen [aprentas, 2017, S. 299 f.; Beckert et al., 2009, S. 74; Gey, 2021, S. 196; Harris et al., 2014, S. 640 f.]. Ein Beispiel für eine GC-Kapillarsäule kann Abbildung 5-87 entnommen werden.

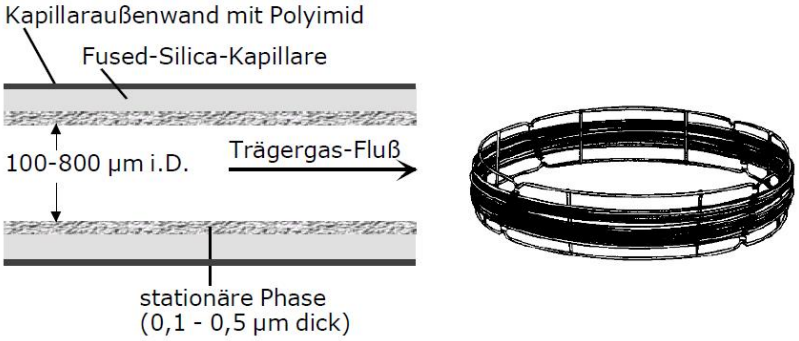


Abbildung 5-87 Beispiel für eine GC-Kapillarsäule (links eine Kapillarsäule in gerader Form und rechts eine Kapillarsäule in aufgewickelter Form) [Gey, 2021, S. 196]

Bei den Kapillarsäulen werden zwei verschiedene Arten der Beschichtung der flüssigen stationären Phase unterschieden: wandbeschichtete und trägerbeschichtete Kapillarsäulen. Wandbeschichtete Kapillarsäulen enthalten auf der Innenwand der Kapillare einen dünnen Flüssigkeitsfilm der stationären Phase von 0,1 – 5 µm, weshalb die Säulen auch als Dünnfilmkapillaren bezeichnet werden. Bei trägerbeschichteten Kapillarsäulen wird die stationäre Phase als Feststoff oder als Flüssigkeit auf einer porösen Trägerschicht, meist Kieselgel, aufgebracht. Daher werden die trägerbeschichteten Kapillarsäulen auch als Dünnschichtkapillaren bezeichnet. Ein Beispiel für eine Dünnfilmkapillare ist die WCOT-Säule (wall coated open tubular column), wohingegen Beispiele für die Dünnschichtkapillaren die PLOT-Säule (porous layer open tubular column) und die SCOT-Säule (support coated open tubular column) sind [Gey, 2021, S. 196 f.; Harris et al., 2014, S. 640 f.; Otto, 2019, S. 392]. Eine Darstellung der drei verschiedenen Beschichtungsarten von Kapillarsäulen kann Abbildung 5-88 entnommen werden.

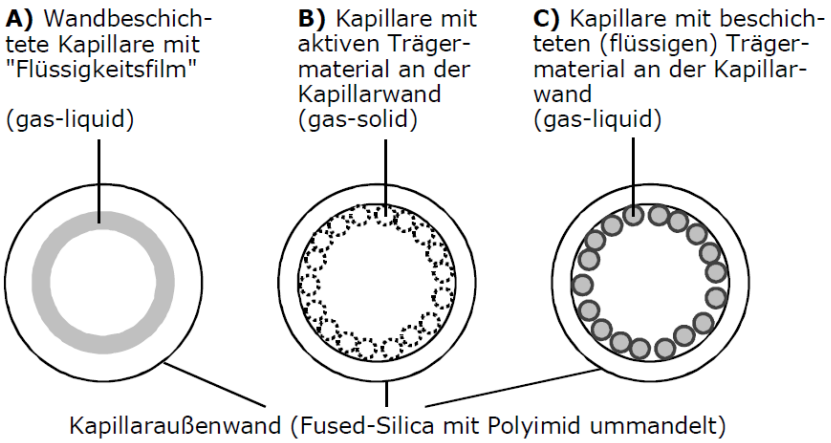


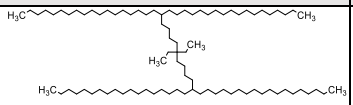
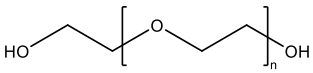
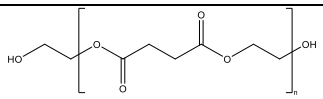
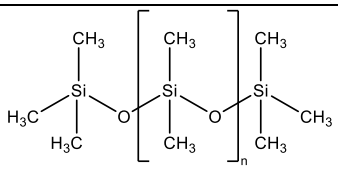
Abbildung 5-88 Unterschiedliche Beschichtungen der Kapillarsäulen in der GC [Gey, 2021, S. 197]

Die PLOT-Säule stellt demnach eine feste stationäre Phase dar, sodass das physikalisch-chemische Trennprinzip der Adsorption stattfindet. Bei den WCOT- und den SCOT-Säulen findet

hingegen das physikalisch-chemische Trennprinzip der Verteilung Anwendung, da in beiden Fällen die stationäre Phase flüssig ist [Gey, 2021, S. 197].

Damit eine Trennflüssigkeit in der GC als stationäre Phase eingesetzt werden kann, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Die Trennflüssigkeiten sollen sowohl chemisch als auch thermisch stabil sein, eine geringe Flüchtigkeit und eine bestimmte Selektivität für verschiedene Substanzen aufweisen, damit eine gute Trennung möglich ist. Zudem soll der Siedepunkt der Trennflüssigkeit 100 °C über der benötigten Säulentemperatur liegen. Als Faustregel kann bei der Wahl der Trennflüssigkeit das Prinzip „Ähnliches löst Ähnliches“ angewendet werden. Demnach werden für die Trennung unpolarer Substanzen, wie beispielsweise gesättigter Kohlenwasserstoffe, unpolare Trennflüssigkeiten verwendet, wohingegen für polare Substanzen, wie Alkohole oder organische Säuren, polare Trennflüssigkeiten eingesetzt werden [Harris et al., 2014, S. 643; Otto, 2019, S. 393]. Eine Auswahl an häufig verwendeten stationären Phasen in der Kapillar-GC ist in Tabelle 5-59 dargestellt.

Tabelle 5-59 Beispielhafte Auswahl für stationäre Phasen in der GC [Gey, 2021, S. 198; Otto, 2019, S. 394]

Stoffklasse	Vertreter	Strukturformel	Polarität	Temperaturbereich [°C]
Kohlenwasserstoffe	Apolan-87		unpolar	50 – 300
Polyglycole	Polyethylenglycol (CARBOWAX)		polar	40 – 250
Ester	Polyethylenglycolsuccinat		stark polar	100 – 200
Silicone (Siloxane)	Polydimethylsiloxan		unpolar	60 – 320

Wie auch bei der HPLC können bei der GC polare Verbindungen auf den unbehandelten Kapillarsäulen adsorbieren. Der Grund liegt im Vorhandensein restlicher Silanolgruppen auf der Oberfläche des Kieselgels, weshalb diese desaktiviert werden müssen [Otto, 2019, S. 392 f.]. Eine genauere Ausführung kann aus der Darstellung innerhalb der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie entnommen werden.

Die gaschromatographische Trennung und damit die Retentionszeiten der unterschiedlichen Probenbestandteile werden von der Säulentemperatur beeinflusst, weswegen sich die Säulen bei der GC in einem thermostatisierten Säulenofen befinden. Dabei hängt die optimale

Säulentemperatur sowohl vom Siedepunkt des Probengemisches als auch vom gewünschten Trennungsgrad ab. In der Regel sollte die Temperatur gleich oder höher als die durchschnittliche Siedetemperatur des Probengemisches sein, sodass die Elutionszeit 2 – 30 Minuten beträgt. Eine optimale Auflösung wird bei geringster Temperatur erhalten. Dabei steigen jedoch die Elutionszeit und somit die Analysenzeit an. Wird die Temperatur erhöht, so wird die Probe zwar schneller eluiert, jedoch auf Kosten der Auflösung [Skoog & Leary, 1996, S. 655].

Die Injektion der Probe in den Gaschromatographen ist ein Prozess, der je nach Probe auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen kann. So können gasförmige Proben direkt in den Fluss des Trägergases injiziert werden, wohingegen feste und flüssige Proben in einem beheizten Einspritzblock am Säuleneingang injiziert und verdampft werden [Otto, 2019, S. 385; Skoog & Leary, 1996, S. 653]. In Abbildung 5-89 ist eine schematische Darstellung eines Injektors dargestellt.

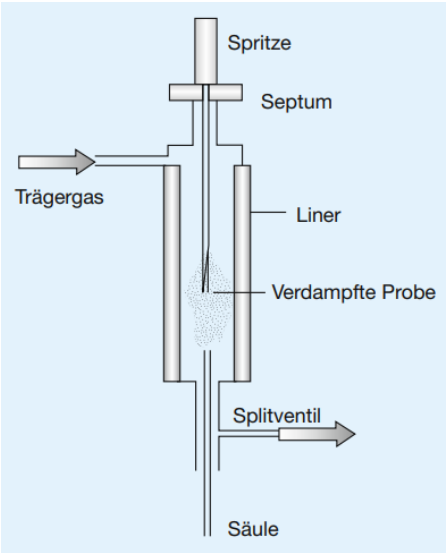


Abbildung 5-89 Schematische Darstellung eines Injektors in der GC [Otto, 2019, S. 386]

Der Injektor verbindet den Fluss des Trägergases mit der Trennsäule und hat die Aufgabe flüssige Proben zu verdampfen, die Dämpfe mit der mobilen Phase zu mischen und auf die Säule zu transportieren [aprentas, 2017, S. 296]. Injiziert wird mithilfe einer Injektionsspritze, wodurch die Probe in das System eingeführt wird. Bei der Injektion muss darauf geachtet werden, dass ein Dampfpropf entsteht, denn wenn die Probe zu langsam injiziert wird, dann resultieren breite Peaks in den Chromatogrammen, die für die Auswertung problematisch sind [Otto, 2019, S. 385]. Es können unterschiedliche Injektionstechniken angewendet werden. Als Injektionstechniken stehen die Split- und Splitless-Technik sowie die Injektion in einen kalten

Injektor (PTV-Injektor, programm temperature vaporisation) sowie die On-Column-Injektion zur Verfügung.

Da die Kapillarsäulen nur Probenmengen im Mikroliterbereich für eine gaschromatographische Trennung erfordern, wird in der Regel mit einem Splitverhältnis von 1:100 gearbeitet, damit die Kapillarsäulen nicht zu stark belastet werden. Das Splitverhältnis kann dabei über das Splitventil eingestellt werden. Die Probe wird verdampft und der Gasstrom nach der Injektion geteilt, sodass nur ein Bruchteil der Probenmenge auf die Trennsäule transportiert wird. Der überwiegende Teil der verdampften Probe wird seitlich am Einspritzblock in die Umgebung abgegeben. Wird das Splitventil hingegen geschlossen, wird die Splitless-Technik für die gaschromatographische Trennung angewendet. Diese Technik wird vor allem bei gepackten Säulen eingesetzt, denn dabei gelangt die gesamte Probenmenge von 0,2 – 1,0 µL auf die Trennsäule. Anwendung findet die Splitless-Technik bei stark verdünnten Proben [aprentas, 2017, S. 296 f.]. Abbildung 5-90 zeigt den Unterschied zwischen der Split- und Splitless-Technik.

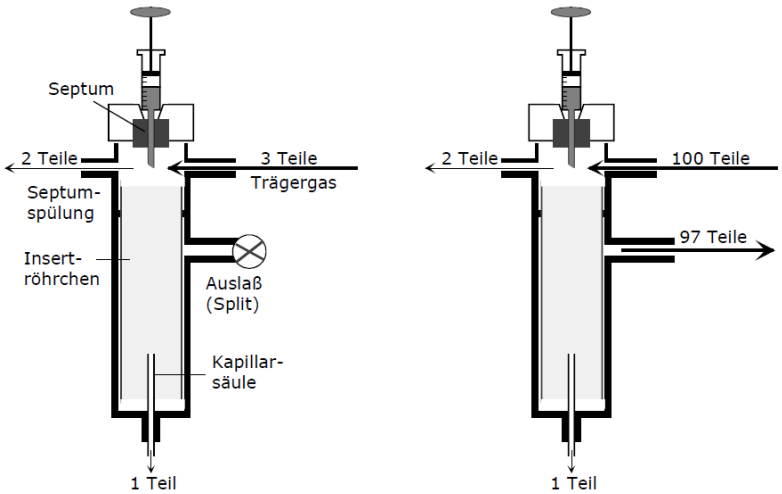


Abbildung 5-90 Darstellung von Einspritzblöcken der Splitless-Technik (links) und der Split-Technik (rechts) [Gey, 2021, S. 196]

Wie der Name schon verrät, wird bei einer On-Column-Injektion die flüssige Probe direkt auf die kalte Kapillarsäule injiziert. Diese Art der Injektion findet druckgeregelt statt. Erst nach Injektion der Probe wird die Trennsäule kontrolliert erhitzt, sodass sich die Injektionstechnik vor allem für Substanzen mit niedrigen Siedepunkten eignet [aprentas, 2017, S. 298]. Der Einspritzblock einer On-Column-Injektion ist in Abbildung 5-91 dargestellt.

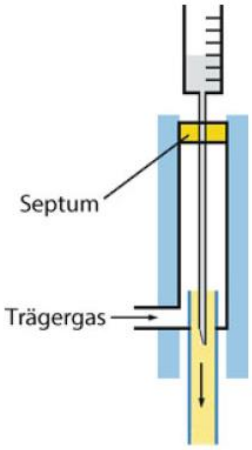


Abbildung 5-91 Schematische Darstellung eines Einspritzblocks einer On-Column-Injektion [aprentas, 2017, S, 298]

Bei der PTV-Injektion erfolgt die Injektion in einen kalten Einspritzblock. Erst nach der Injektion wird der Einspritzblock erhitzt, sodass sich diese Art der Injektion für niedersiedende Substanzen eignet [aprentas, 2017, S. 298].

Nach der Injektion werden die Probensubstanzen mithilfe der Trägergase auf die Trennsäule transportiert, wo die Trennung stattfindet. Die getrennten Probensubstanzen verlassen zu unterschiedlichen Zeiten die Säule und werden durch die Trägergase zum Detektor weitergeleitet. Auch in der Gaschromatographie gibt es eine Auswahl an verschiedenen Detektoren. Die wichtigsten Detektorarten stellen die Flammenionisationsdetektoren (FID), die Wärmeleitfähigkeitsdetektoren (WLD), die Elektroneneinfangdetektoren (ECD) sowie die Thermoionisationsdetektoren (TID) dar.

Auch in der GC werden an ideale Detektoren bestimmte Anforderungen gestellt. Diese Anforderungen entsprechen der Ausführung bei der HPLC.

In der GC können die Detektoren in konzentrations- und massenstromempfindliche Detektoren eingeteilt werden. Konzentrationsempfindliche Detektoren zeigen Signale, die proportional zur momentanen Konzentration einer Substanz im Detektorvolumen sind. Zu dieser Gruppe gehören sowohl der Wärmeleitfähigkeitsdetektor als auch der Elektroneneinfangdetektor. Der Flammenionisationsdetektor sowie der Thermoionisationsdetektor gehören zur Gruppe der massestromempfindlichen Detektoren, bei denen das Signal proportional zum Verhältnis von Masse zu Zeit (Massenstrom) ist [Gey, 2021, S. 198].

Der Flammenionisationsdetektor (Abbildung 5-92) ist der am häufigsten eingesetzte Detektor in der GC, der auf der Ionisation der zu detektierbaren Substanz in einer Wasserstoff/Luft-Flamme beruht. Das aus der Säule austretende Eluat wird mithilfe eines Brenners mit Wasserstoff und Luft vermischt und über einer Zündspule elektrisch gezündet. Dabei findet in der Flamme die Pyrolyse von organischen Verbindungen statt, wobei sich zunächst Radikale

bilden, die dann weiter ionisiert werden. Die dabei entstehenden Ionen orientieren sich im elektrischen Feld zwischen Kathode (Sammelelektrode) und Anode (Flammendüse) zur entgegengesetzten Elektrode. Über die Sammelelektrode kann der Ionenstrom als Spannungsabfall aufgezeichnet werden. Da der FID auf die Zahl der Kohlenstoffatome anspricht, die pro Zeiteinheit in den Detektor gelangen, handelt es sich um einen massenstromabhängigen Detektor. Daher wirken sich Änderungen in der Fließgeschwindigkeit der mobilen Phase nur wenig auf das Detektorsignal aus. Die Vorteile, die der FID mit sich bringt, liegen in einer niedrigen Nachweisgrenze und einem großen linearen Bereich. Nachteilig ist hingegen, dass die Probensubstanzen durch die ablaufende Ionisation zersetzt werden und der Detektor schlechte Signale für funktionelle Gruppe, wie Carbonyl-, Hydroxyl-, Halogen- und Aminogruppen, aufweist, da die funktionellen Gruppen kaum ionisieren [Gey, 2021, S. 200 f.; Otto, 2019, S. 388 f.; Skoog & Leary, 1996, S. 655 f.].

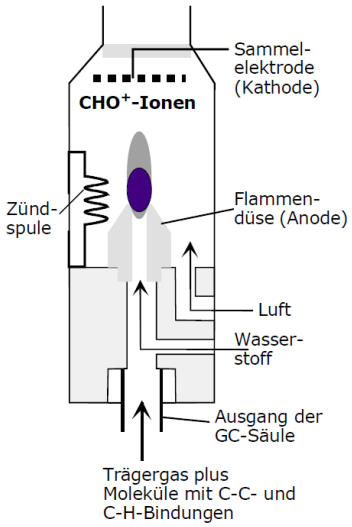


Abbildung 5-92 Darstellung eines Flammenionisationsdetektors in der GC [Gey, 2021, S. 200]

Der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (Abbildung 5-93) ist ein konzentrationsabhängiger Detektor, der die unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten des Trägergases und der zu detektierbaren Substanz ausnutzt. Dabei wird als Trägergas Helium oder Wasserstoff verwendet, da diese in der Regel 6 – 10-mal so wärmeleitfähig sind, wie die meisten zu detektierbaren Substanzen. Der Detektor besteht aus einem beheizten Metallblock. In diesen Metallblock sind zwei Messzellen, Mess- und Referenzzelle, eingelassen. In den Mess- und den Referenzzellen befinden sich Heizdrähte, die entweder aus Platin oder Wolfram bestehen und an eine Wheatstone´sche Brücke angeschlossen sind.

Strömt nur das Trägergas durch Mess- und Referenzzelle, dann wird in beiden Zellen die gleiche Wärmemenge vom Heizdraht an das Trägergas abgegeben, wodurch keine Spannungsdifferenz messbar ist, da die Widerstände alle denselben Wert aufweisen.

Strömt jedoch nun die zu detektierbare Substanz durch die Messzelle, so kann der Draht aufgrund der niedrigeren Wärmeleitfähigkeit weniger Wärme an das Eluat abgeben. Da weniger Wärme abgegeben werden kann, erwärmt sich der Heizdraht in der Messzelle und dadurch steigt auch der Wert des Widerstandes in der Messzelle an. Aufgrund dessen, ist eine Spannungsdifferenz zwischen der Mess- und der Referenzzelle messbar. Der Vorteil des WLD ist der universelle Einsatz für organische und anorganische Substanzen, welche bei der Detektion nicht zersetzt werden. Nachteilig im Vergleich zum FID ist jedoch die geringe Empfindlichkeit, sodass ein Einsatz in der Kapillar-GC nicht geeignet ist [Gey, 2021, S. 204.; Otto, 2019, S. 387; Skoog & Leary, 1996, S. 656 f.].

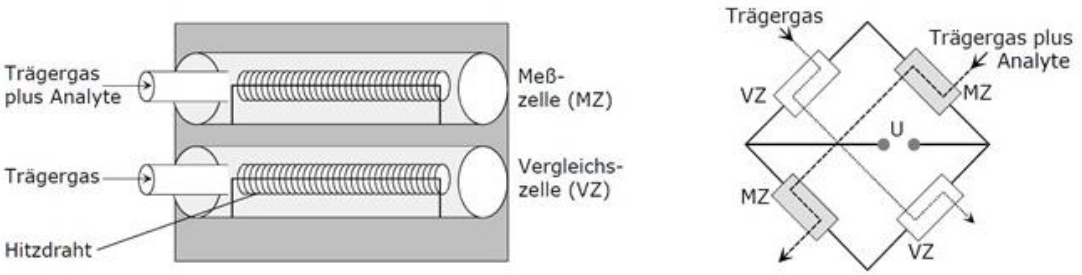


Abbildung 5-93 Darstellung eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors (links) [Gey, 2021, S. 204] und einer Wheatstone´schen Brückenschaltung (rechts) [Gey, 2021, S. 205]

Der Thermoionisationsdetektor (Abbildung 5-94) ist massenstromabhängig, welcher auf einem ähnlichen Prinzip wie der FID beruht und selektiv gegenüber stickstoff- und phosphorhaltigen organischen Verbindungen ist, weswegen dieser auch häufig als NP-Detektor bezeichnet wird. Im Vergleich zum FID ist der thermische Detektor ungefähr 500-mal empfindlicher gegenüber Phosphorverbindungen und 50-mal empfindlicher gegenüber Stickstoffverbindungen. Beim TID ist die Gasmischung wasserstoffarm und daher nicht mehr zündfähig, weshalb sich zwischen der Sammelelektrode und der Brennerdüse eine elektrisch geheizte rubidiumhaltige Glasperle an einem glühenden Platindraht befindet, die im Gegensatz zur Sammelelektrode auf 180 V gehalten wird. Es bildet sich um die rubidiumhaltige Glasperle ein Plasma mit einer Temperatur von 600 – 800 °C. Die dabei entstehenden Radikale reagieren mit Alkaliradikalen aus dem Plasma, wobei die Alkalikationen, die gebildet werden, an der Glasperle entladen werden. Die entstehenden Anionen wandern zur Sammelelektrode, wo sie unter Freisetzung eines Elektrons verbrannt werden. Die freiwerdenden Elektronen sind schließlich für die Bildung

eines Signals verantwortlich [Gey, 2021, S. 202 f.; Otto, 2019, S. 389 f.; Skoog & Leary, 1996, S. 657 f.].

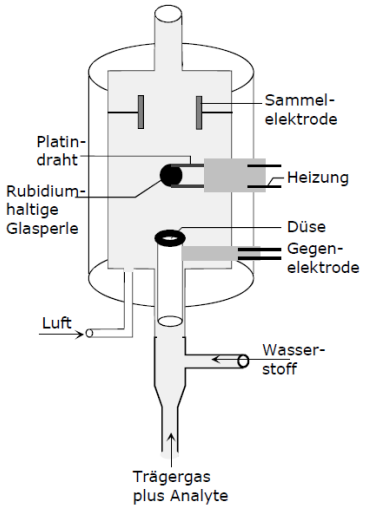


Abbildung 5-94 Darstellung eines Thermoionisationsdetektors [Gey, 2021, S. 203]

Der Elektroneneinfangdetektor (Abbildung 5-95) ist ein konzentrationsabhängiger Detektor, der sich die Elektronenaffinität, der zu detektierbaren Substanzen, zu Nutze macht. Aufgebaut ist der ECD aus einer gasdurchströmten Ionisationskammer mit Anode, Kathode und einer dünnen Nickelfolie. Das Trägergas dient hierbei als Referenzsubstanz und strömt über die Nickelfolie, die mit dem Isotop ^{63}Nickel beschichtet ist, wodurch dieses ionisiert wird, und langsame Elektronen entstehen. Diese werden aufgrund der angelegten Beschleunigungsspannung zur Anode geführt, wodurch ein Nullstrom detektiert wird. Tritt das Eluat in den Detektor ein, so fangen die elektronegativen Spezies, aufgrund ihrer Elektronenaffinität, die thermischen Ionen ein und bilden Elektronen. Dabei nimmt die Anzahl der freien Elektronen ab und somit sinkt der Nullstrom. Diese Änderung im Vergleich zum Nullstrom dient als Basis für ein Signal. Der Vorteil dieses Detektors liegt in der Selektivität und Empfindlichkeit gegenüber elektronegativen Gruppen, die beispielsweise Halogene oder Nitrogruppen enthalten [Gey, 2021, S. 201 f.; Otto, 2019, S. 389; Skoog & Leary, 1996, S. 658].

Die Signale der Detektoren werden an die Auswerteinheit weitergeleitet, wodurch die einzelnen Peaks im Chromatogramm entstehen. Wie auch bei der HPLC kann die GC zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Substanzgemischen herangezogen werden. Dabei gelten dieselben Zusammenhänge zwischen Peakfläche und Stoffmenge der Substanzen wie bei der HPLC und auch die charakteristischen Werte, wie beispielsweise die Retentionszeiten, sind im Chromatogramm so definiert wie bei der HPLC [Beckert et al., 2009, S. 75].

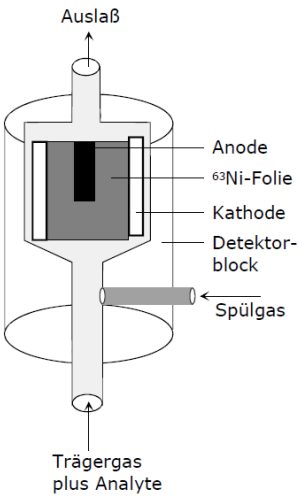


Abbildung 5-95 Darstellung eines Elektroneneinfangdetektors [Gey, 2021, S. 202]

Eine besondere Detektionsform in der GC, die unter anderem auch in dieser Arbeit eingesetzt wurde, ist die Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O, Abbildung 5-96). Hierbei stellt die menschliche Nase den empfindlichen und selektiven Detektor für flüchtige, geruchsaktive Verbindungen in der komplexen Matrix eines Lebensmittels dar. Die menschliche Nase „erschnüffelt“ das Eluat über den sogenannten „Sniffing-Port“, um festzustellen, ob geruchsaktive Verbindungen vorhanden sind, und versucht diese zu beschreiben und zu identifizieren [Delahunty et al., 2006].

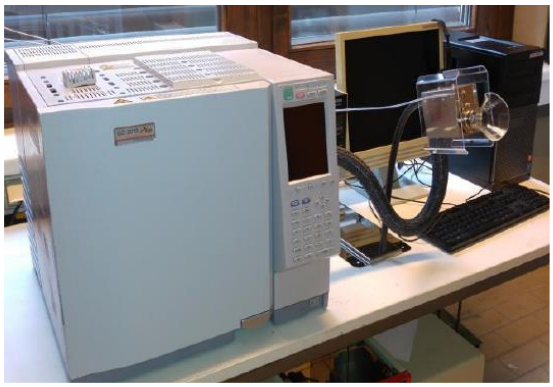


Abbildung 5-96 Darstellung eines GC-O mit „Sniffing-Port“ [Krause, 2015]

Bereits im Jahr 1964 wurden von Fuller et al. erstmals die Techniken über das „Schnüffeln“ in der GC veröffentlicht. Dabei ermöglicht die Olfaktometrieeinheit durch die empfindliche Nase des Menschen, zusätzlich zur Detektion mit herkömmlich eingesetzten Detektoren, eine gleichzeitige sensorische Bewertung der eluierenden Substanzen. Der „Sniffing-Port“ stellt dabei einen Nasenkonus dar, der über eine separate Transferleitung bedient wird [Delahunty et al.,

2006]. Im Fall dieser Arbeit wurde als herkömmlicher Detektor ein FID eingesetzt. Dabei wurden 90 % des Gasstroms zur Olfaktometrieeinheit und die restlichen 10 % zum FID geleitet.

Wenn es um die Beschreibung von Aromakomponenten in Lebensmitteln und anderen Matrices geht, ist es wichtig, dass die Bestimmungen allein in einem ruhigen Labor durchgeführt werden. So kann die prüfende Person ohne Ablenkung und mit voller Aufmerksamkeit „schnüffeln“. Zudem sollte in dem Labor, in dem die GC-O untergebracht ist, die Luft gefiltert werden, sodass Fremdgerüche nicht auftreten. Der Sniffing-Port sollte flexibel auf die prüfende Person eingestellt werden können, damit die sensorische Analyse mit angenehmer Körperhaltung durchgeführt werden kann, denn eine entsprechende Trennung kann länger als 30 Minuten andauern. Die Transferleitung des Sniffing-Ports führt aus dem Säulenofen hinaus und muss beheizt werden, damit auch spät eluierende Substanzen mit hohen Siedetemperaturen nicht in der Transferleitung kondensieren und so wahrgenommen werden können. Daher ist es wichtig, dass die prüfende Person weit genug vom heißen GC-Ofen entfernt sitzt. Aufgrund der warmen Luft, die eingeatmet wird, kann die Nase der prüfenden Person leicht austrocknen, weshalb es von zentraler Bedeutung ist, dass das Eluat mit Luft befeuchtet wird [Delahunty et al., 2006]. Zur Befeuchtung des Eluats wird Luft als Make-up-Gas mit einer Flussrate vom mindestens 50 mL/min eingesetzt. Durch das Make-up-Gas kann die Intensität der Wahrnehmung positiv beeinflusst werden [Hanaoka et al., 2000]. Die sensorische Analyse einer Probe wird mehrfach durchgeführt, da es im Falle der GC-O vorkommen kann, dass die prüfende Person einen Geruch verpasst. Das Gerüche verpasst werden, kann sowohl durch mangelnde Konzentrationen bei langen Trennungen als auch durch den Atemzyklus der prüfenden Personen erklärt werden [Delahunty et al., 2006; Hanaoka et al., 2001]. Weitere Faktoren, die die sensorische Wahrnehmung bei der Analyse mit der GC-O negativ beeinflussen können, sind Rauchen sowie das Essen und Trinken stark aromatisierter Lebensmittel. Daher sollte mindestens eine Stunde vor Analysenbeginn auf das Rauchen und den Verzehr stark aromatisierter Lebensmittel verzichtet werden. Zudem sollte am Tag der sensorischen Untersuchung auf Aftershave, Parfüm und parfümierte Deodorants verzichtet werden, damit die einzelnen Geruchskomponenten wahrgenommen werden können und nicht durch den Eigengeruch überdeckt werden [Delahunty et al., 2006].

In dieser Arbeit wurde sich mit der Beschreibung des Aromas in Kaffee beschäftigt. Somit erfolgt die Auswertung der sensorischen Kaffeeanalyse mittels GC-O ausschließlich qualitativ durch die Beschreibung der Gerüche, die wahrgenommen werden können. Um die wahrgenommenen Gerüche einfacher beschreiben zu können, kann das Aromarad für Getränke und Lebensmittel allgemein verwendet werden (Abbildung 5-97).

Abbildung 5-97 Aromarad für Getränke und Lebensmittel der Deutschen-Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) [Simat et al., 2017]

Die Aufarbeitung und damit die Extraktion der Geruchskomponenten aus dem Kaffeepulver erfolgt mithilfe der Apparatur einer SDE (Abbildung 5-10).

Bei der ablaufenden SDE werden die flüchtigen Komponenten aus dem Kaffeepulver destilliert und zusammen mit dem destillierten Extraktionsmittel aus dem Lösungsmittelkolben in einem Intensivkühler kondensiert. Es bilden sich aus dem Kondensat zwei Phasen, welche wieder in die jeweiligen Kolben zurückfließen. Die flüchtigen Komponenten konzentrieren sich in der organischen Phase, sodass die organische Phase nach abrotieren des Lösungsmittels zur Geruchsanalyse mittels GC-O herangezogen werden kann [Legrum, 2015, S. 54].

5.4.8.3 Spektralphotometrie

Die Photometrie stellt ein Verfahren der Spektrometrie dar, welches auf der Wechselwirkung von Materie und Energie in Form von Strahlung beruht. Als Strahlung wird der Bereich von der Röntgenstrahlung bis hin zum Bereich der Radiowellen bezeichnet, wobei für die Photometrie nur der sichtbare Bereich und der nahe UV-Bereich des elektromagnetischen Spektrums (Abbildung 5-98) bei Wellenlängen zwischen 200 nm und 800 nm von Bedeutung ist. Als Licht wird dabei nur der Wellenlängenbereich von 400 – 800 nm (sichtbarer Bereich/VIS-Bereich) bezeichnet [Matissek et al., 2014, S. 83 f.].

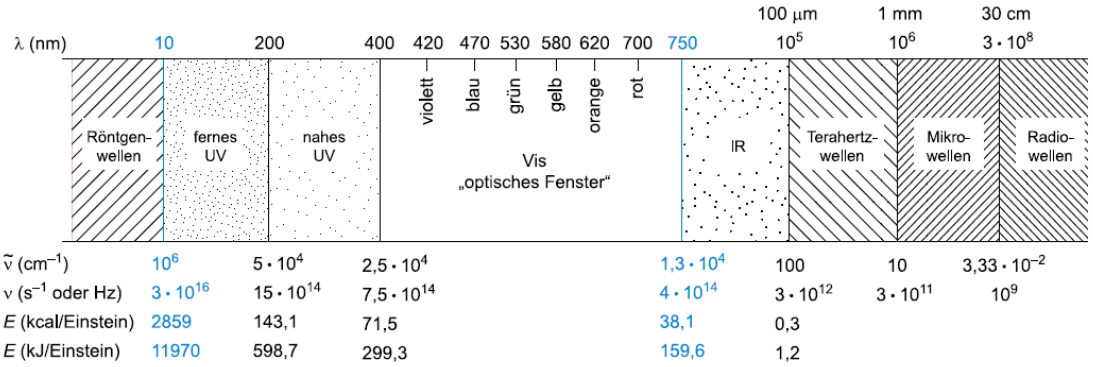


Abbildung 5-98 Darstellung des elektromagnetischen Spektrums [Hess et al., 2005, S. 1]

Das Prinzip der Photometrie beruht auf der Absorption von UV/VIS-Strahlung beim Durchstrahlen einer Probe. Die Absorption durch die Probe erfolgt dabei durch Elektronenübergänge zwischen den diskreten Energiezuständen der Moleküle, sodass die Elektronen vom Grundzustand in den angeregten Zustand angehoben werden. Bei welcher Wellenlänge eine Substanz absorbieren kann, hängt dabei maßgebend von den Abständen zwischen den Energiezuständen ab [Matissek et al., 2014, S. 84].

Die quantitative Bestimmung einer Probensubstanz erfolgt in der Photometrie mithilfe eines Photometers, die als Einstrahl- und Zweistrahlvarianten (Abbildung 5-99) angeboten werden. Werden Einstrahlphotometer verwendet, so muss vor jeder Probenmessung ein Nullabgleich mit der Referenzküvette durchgeführt werden, um die Eigenabsorption der Lösungsmittel durch Streuung und Reflexion zu eliminieren [Gey, 2021, S. 299; Matissek et al., 2014, S. 86].

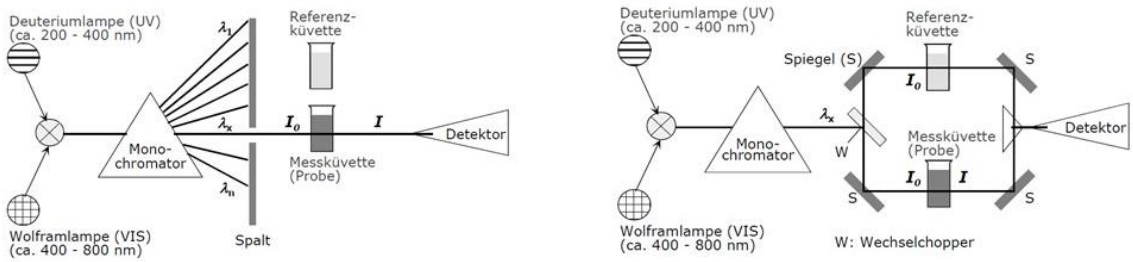


Abbildung 5-99 Schematischer Aufbau eines Einstrahlphotometers (links) [Gey, 2021, S. 299] und schematischer Aufbau eines Zweistrahlphotometers (rechts) [Gey, 2021, S. 300]

Als Strahlungsquelle wird im UV-Bereich bei einer Wellenlänge von 200 – 400 nm eine Deuteriumlampe verwendet, im sichtbaren Bereich von 400 – 800 nm eine Wolframlampe. Das ausgestrahlte polychromatische Licht fällt zunächst auf einen Monochromator, wodurch das Licht in die einzelnen Wellenlängen aufgespalten wird. Mit dem nachfolgenden Spalt kann auf eine bestimmte Wellenlänge eingestellt werden. Beim Einstrahlphotometer trifft der Lichtstrahl

der eingestellten Wellenlänge auf die Messküvette, wohingegen beim Zweistrahlphotometer der Lichtstrahl mithilfe eines Strahlenteilers geteilt wird, sodass die Mess- und die Referenzküvette zu gleichen Teilen durchstrahlt werden. In der Messküvette befindet sich die Probe in einem geeigneten Lösungsmittel, in der Referenzküvette hingegen nur das reine Lösungsmittel. Dabei werden im UV-Bereich Quarzküvetten und im sichtbaren Bereich Glasküvetten eingesetzt. Die Probe absorbiert einen Teil des eingestrahlten Lichts. Das durchgelassene Licht und damit der Intensitätsverlust des Lichts im Vergleich zur Referenzsubstanz wird vom Detektor registriert und in ein Signal umgewandelt. In der Photometrie werden als Detektoren entweder Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) oder Photodioden verwendet [Gey, 2021, S. 299]. Sekundärelektronenvervielfacher bestehen aus evakuierten Röhren, die eine Kathode aus Metall oder Legierungen aufweist. Beim Auftreffen der Strahlung auf den Detektor werden im Zuge des äußeren Photoeffektes Elektronen aus der Kathode gelöst, die durch den Aufprall weitere Elektronen, sogenannte Sekundärelektronen, aus der Kathode herauslösen. Durch eine Saugspannung gelangen diese Elektronen von der Kathode zur Anode, wodurch ein Elektronenstrom gemessen und an die Auswerteinheit weitergeleitet werden kann. Photodioden, bei denen Spannung angelegt wird, basieren hingegen auf dem Prinzip des inneren Photoeffektes. Aus der Halbleiterschicht der Photodioden werden durch die auftreffende Strahlung Elektronen herausgelöst, wodurch die elektrische Leitfähigkeit erhöht wird. Über den äußeren Stromkreis gelangen die Elektronen zurück zur Halbleiterschicht, wodurch ein Photostrom entsteht, der gemessen werden kann [Maier, 1990, S. 77].

Bei der Photometrie gibt es im Bereich der UV/VIS-Strahlung einen Zusammenhang zwischen der Konzentration der absorbierten Moleküle und der Durchlässigkeit der Probe (Gleichung 5-6), welches für verdünnte Probelösungen beschrieben werden kann. Die Durchlässigkeit der Probe (D_λ) entspricht dem Quotienten aus der Intensität der Strahlung nach Durchstrahlen der Probe (I_D) und der Intensität des Referenzstrahls (I_0). Dieser Quotient entspricht wiederum der Zehnerpotenz aus dem Produkt des molaren Extinktionskoeffizienten (ε_λ), der Konzentration der absorbierenden Moleküle (c) und der Schichtdicke der Küvette (d), welche in der Regel 1 cm beträgt [Matissek et al., 2014, S. 85].

$$D_\lambda = \frac{I_D}{I_0} = 10^{-\varepsilon_\lambda \cdot c \cdot d}$$

Gleichung 5-6 Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der absorbierenden Moleküle der Probe und der Durchlässigkeit der Probe bei UV/VIS-Strahlung [Matissek et al., 2014, S. 85]

Der negative dekadische Logarithmus der Durchlässigkeit der Probe liefert die Extinktion (E_λ; Gleichung 5-7), welche für die quantitative Bestimmung von Substanzen von zentraler Bedeutung ist [Matissek et al., 2014, S. 86].

$$E_\lambda = -\lg \frac{I_0}{I_D} = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot d$$

Gleichung 5-7 Darstellung des Lambert-Beerschen Gesetzes [Matissek et al., 2014, S. 86]

Mithilfe der Photometrie können sowohl qualitative als auch quantitative Bestimmungen durchgeführt werden. Für qualitative Bestimmungen werden UV/VIS-Spektren aufgenommen. Aus den Spektren kann die Anzahl, die Lage und die Intensität der Absorption herausgelesen werden. Voraussetzung für die Aufnahme eine UV/VIS-Spektrums ist die Anwesenheit von chromophoren Gruppen. Der Vergleich der Probenspektren erfolgt auch hier über Vergleichsspektren. Die quantitative Auswertung in der Photometrie erfolgt mithilfe des Lambert-Beerschen Gesetzes. Dafür wird nicht wie bei der Spektrenaufnahme der gesamte UV/VIS-Bereich genutzt, sondern es wird bei der Wellenlänge des Absorptionsmaximums gemessen. Gemessen wird die Strahlungsschwächung durch Absorption der Probensubstanz [Matissek et al., 2014, S. 85 f.]. Die quantitative Bestimmung erfolgt auch hier, wie bei der HPLC und GC, über Kalibriergeraden, die mithilfe von Standardlösungen unterschiedlicher Konzentrationen aufgenommen werden. Der genaue Weg der quantitativen Bestimmung kann demnach Kapitel 5.4.8.2 entnommen werden.

6 Aufbau des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*

Das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* wird den Chemie-Lehramtsstudierenden im Rahmen des Moduls *Konzepte der Chemie* als Wahlpflichtveranstaltung angeboten. Es findet wöchentlich für zwei Stunden statt und setzt sich aus einem theoretischen und einem praktischen Teil zusammen. In der ersten Hälfte des Seminars werden den Studierenden die theoretischen Grundlagen zu den ausgewählten Lebensmittelgruppen und der instrumentellen Analytik in Form von PowerPoint-Präsentationen vermittelt. In dieser Phase des Seminars werden zudem rechtliche Aspekte der Lebensmittelchemie betrachtet. Daneben werden Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie der Sekundarstufen I und II des Gymnasiums für die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zusammen mit den Studierenden herausgearbeitet. In der aufbauenden zweiten Hälfte des Seminars folgt die praktische Durchführung verschiedener Experimente zu den betrachteten Lebensmittelinhaltsstoffen mit den Geräten und Methoden der instrumentellen Analytik.

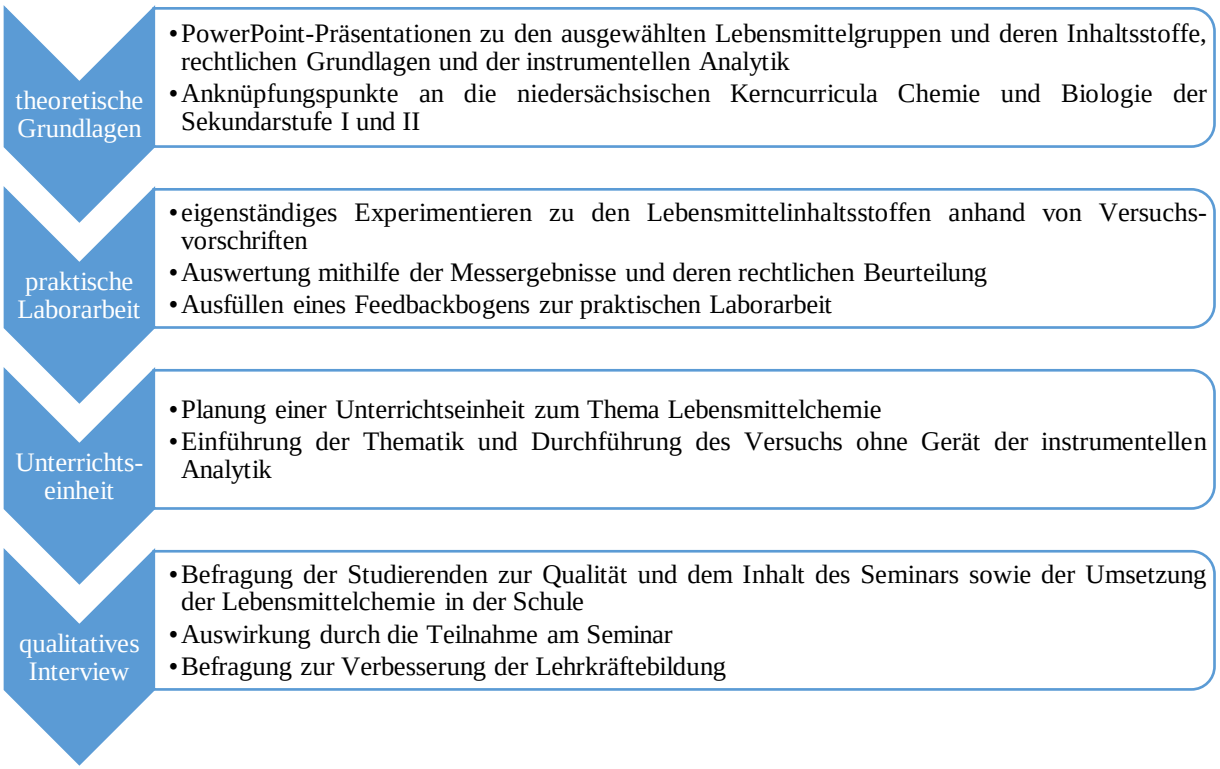


Abbildung 6-1 Ablauf des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung]

Die Experimente werden mithilfe der erzielten Messergebnisse ausgewertet und es erfolgt eine Beurteilung der Ergebnisse anhand rechtlicher Grundlagen der Lebensmittelchemie. Während der Durchführung der verschiedenen Experimente füllen die Studierenden einen Feedbackbogen mit positiven und negativen Aspekten aus und sie können Verbesserungsvorschläge sowie

Probleme, die beim Verständnis oder bei der Durchführung entstanden sind, notieren. Aufbauend auf die Durchführung, Auswertung und Beurteilung der Laborergebnisse, sollen die Studierenden überlegen, wie sie die entsprechende Thematik und zugehörigen Experimente auch ohne das Vorhandensein der Analytikgeräte im schulischen Chemieunterricht umsetzen können. Nachdem sowohl der theoretische als auch der praktische Teil des Seminars absolviert worden ist, wurde mit den teilnehmenden Chemie-Lehramtsstudierenden ein qualitatives Interview durchgeführt. Der Ablauf des Seminars und die zugehörigen Inhalte der einzelnen Phasen können aus Abbildung 6-1 entnommen werden.

Während der praktischen Laborzeit arbeiten die Studierenden eigenständig mithilfe der ihnen ausgehändigten Versuchsvorschriften, wobei die Studierenden selbst entscheiden können, welche Experimente sie von den vorgegebenen Experimenten durchführen wollen. Insgesamt können die Studierenden 23 entwickelte und optimierte Experimente durchführen, die auf die sechs Versuchstage aufgeteilt werden. In Tabelle 6-1 werden die 23 verschiedenen Experimente mit dem zugehörigen Gerät der instrumentellen Analytik dargestellt.

Tabelle 6-1 Darstellung der 23 verschiedenen Experimente mit dem zugehörigen Gerät der instrumentellen Analytik

Versuch	Experiment	Analytikgerät
1	Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
2	Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
3	Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
4	Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
5	Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
6	Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
7	Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
8	Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
9	Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
10	Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst und Gemüse	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie

Versuch	Experiment	Analytikgerät
11	Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig	Photometrie
12	Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken	Enzymatik/Photometrie
13	Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig	Enzymatik/Photometrie
14	Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken	Photometrie
15	Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken	Photometrie
16	Bestimmung des Nitratgehaltes in Obst und Gemüse	Photometrie
17	Bestimmung des Prolingehaltes in Honig	Photometrie
18	Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken	Dünnschichtchromatographie
19	Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken	Dünnschichtchromatographie
20	Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten	Dünnschichtchromatographie
21	Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen	Gaschromatographie
22	Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten	Gaschromatographie
23	Beschreibung des Aromas von Kaffee	Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit

Die Studierenden führen die Experimente in Einzelarbeit durch und protokollieren die Messergebnisse. Anhand der Messergebnisse erfolgt die Auswertung mithilfe der Versuchsvorschriften, an die sich die Bewertung der Lebensmittel anschließt.

7 Qualitative Forschungsmethode

Die Ansichten und Einstellungen von Chemie-Lehramtsstudierenden zur Behandlung lebensmittelchemischer Inhalte im Chemieunterricht wurden noch nicht erforscht. Daher wird eine qualitative Methode zur Beantwortung der Forschungsfragen (Kapitel 4) eingesetzt, da sich die Anwendung der qualitativen Forschung für wenig oder noch nicht betrachtete Forschungsfelder eignet [Flick et al., 2000, S. 17]. Somit können mithilfe von offenen Fragen Informationen und Erkenntnisse zu den Ansichten und Einstellungen Chemie-Lehramtsstudierender gewonnen und untersucht werden. Nach Kuckartz et al. (2008) zeichnet sich die qualitative Forschung durch die Offenheit gegenüber dem Forschungsfeld aus, wodurch neue Erkenntnisse erschlossen werden können. Mit der qualitativen Forschung können Themenbereiche aus der Sicht der befragten Personen beschrieben werden, sodass ein Einblick in die Lebenswelt dieser gewährt wird, wodurch verschiedene Abläufe, Muster und Strukturen erkannt werden können [Flick et al., 2000, S. 14]. Demnach kann unter qualitativer Forschung die Interaktion und Kommunikation zwischen Personen verstanden werden, die ihre eigenen Vorstellungen und Perspektiven mit einbringen [Flick et al., 2000, S. 20; Kuckartz et al., 2008, S. 11].

Nach Flick et al. (2000) gibt es in der qualitativen Forschung insgesamt drei Forschungsperspektiven. Dazu gehören die Zugänge zu den subjektiven Sichtweisen, die Beschreibung von Prozessen, der Herstellung sozialer Situationen und die hermeneutische Analyse tieferliegender Strukturen. Den einzelnen Perspektiven werden theoretische Positionen, Methoden der Datenerhebung und der Interpretation sowie Anwendungsfelder zugeordnet. Zur ersten Forschungsperspektive, den Zugängen zu den subjektiven Sichtweisen, gehören beispielsweise Interviews als Methode der Datenerhebung und verschiedene Analyseverfahren als Methode der Interpretation [Flick et al., 2000, S. 18 f.]. Da es sich bei den Ansichten und Einstellungen der Chemie-Lehramtsstudierenden um subjektive Wahrnehmungen handelt, wird das Interview als Methode dieser Forschungsperspektive für die Untersuchung dieser Arbeit herangezogen. Für diese Arbeit wurde sich für ein Leitfaden-Interview entschieden, in denen Fragen oder Stichworte für Fragen enthalten sind, wobei die Reihenfolge der Fragen flexibel eingesetzt werden kann [Helfferich, 2011, S. 36].

Bei der Durchführung von Interviews handelt es sich um eine Kommunikationssituation zwischen der interviewenden und der befragten Person, die maßgeblich für die Qualität der erhaltenen Daten ist. Daher sollten bei der Durchführung von Interviews vier grundsätzliche Prinzipien betrachtet werden, die in der nachfolgenden Tabelle 7-1 zusammengefasst dargestellt werden [Helfferich, 2011, S. 24].

Tabelle 7-1 Grundsätzliche Prinzipien bei der Durchführung von Interviews [Helfferich, 2011, S. 24]

Prinzip	Erläuterung
Kommunikation	die interviewende und die befragte Person interagieren und kommunizieren miteinander
Offenheit	die interviewende Person muss der befragten Person genügend Zeit geben, damit diese, aus der eigenen Perspektive heraus, alle wichtigen Aspekte in der Antwort thematisieren kann
Umgang mit Vertrautheit und Fremdheit	die interviewende Person kann eigene Vorstellungen bestätigt bekommen, muss aber auch akzeptieren, dass die befragte Person andere Vorstellungen zu einem Thema haben kann
Reflexivität	die interviewende Person reflektiert sowohl die eigene Rolle im Interview als auch den Verständnisprozess sowie die Interpretation der Ergebnisse

7.1 Interviewleitfaden zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Die Interviews mit den Chemie-Lehramtsstudierenden erfolgt mithilfe eines Interviewleitfadens. Durch das Leitfaden-Interview können die Chemie-Lehramtsstudierenden subjektiv darstellen, welches Wissen sie aus dem Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* mitgenommen haben. Zudem kann erfragt werden, welche Qualität das Seminar aus ihrer Perspektive hat, ob sie selbst eine Unterrichtseinheit zur Lebensmittelchemie in der Schule umsetzen würden, welche Auswirkungen die Teilnahme an diesem Seminar für sie selbst hatte und für die Lehrkräftebildung im Allgemeinen haben könnte.

Wichtig ist, dass bei der Erstellung des Leitfadens einige Anforderungen zu berücksichtigen sind. Dazu gehört, dass alle Fragen, die gestellt werden, den vier Grundprinzipien der qualitativen Forschung (Tabelle 7-1) entsprechen. Zudem sollte der Interviewleitfaden nicht zu viele Fragen enthalten, damit die befragten Personen auch genügend Zeit haben, um ihre Perspektiven darzustellen. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass der Leitfaden keine Themensprünge aufweist, sodass die befragten Personen nicht verwirrt werden. Die interviewende Person sollte die Fragen des Leitfadens nicht ablesen und auch offen dafür sein, wenn die befragte Person über die Frage hinaus noch vertiefende Argumente bringt [Helfferich, 2011, S. 180]

Ein Leitfaden für ein Interview sollte jedoch nicht nur aus einer Liste mit Fragen bestehen, sondern sollte komplexer aufgebaut werden. Eine Erstellung eines Interviewleitfadens sollte nach dem sogenannten „SPSS-Prinzip“ entwickelt werden. Dabei handelt es sich um einen vierstufigen Prozess: Sammeln, Prüfen, Sortieren und Subsumieren. In der ersten Phase, dem Sammeln, werden möglichst viele Fragestellungen aufgeschrieben, die mit der entsprechenden Thematik zusammenhängen. Es folgt im zweiten Schritt das Prüfen der Fragenliste,

indem die Fragen konkret formuliert und strukturiert werden, wobei auch einige Fragen, die sich nicht für die Datenerhebung eignen, von der Liste gestrichen oder verschoben werden. Gerade statistische Daten werden im Prozess des Prüfens an das Ende des Interviews verschoben, da diese für die allgemeine Thematik in der qualitativen Forschung weniger relevant sind [Helfferich, 2011, S. 182]. Nachdem die Fragen konkret formuliert und strukturiert worden sind, schließt sich das Sortieren der übriggebliebenen Fragen und Stichworte nach dem Forschungsinteresse an. In der vierten und letzten Phase wird subsumiert, das heißt, dass der Leitfaden in ein spezielle Form überführt wird. Diese spezielle Form des Interviewleitfadens besteht aus vier Spalten [Helfferich, 2011, S. 185]:

1) Leitfragen (Erzählaufforderung)
2) Notizen (Memos) für mögliche Nachfragen
3) konkrete Fragen, die an geeigneter Stelle (in dieser Formulierung) gestellt werden können
4) Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen, um die befragte Person zu motivieren weiterzureden

Auf dieser Basis wurde der Leitfaden, unter Berücksichtigung der Forschungsfragen (Kapitel 4), für das Interview der Chemie-Lehramtsstudierenden zum Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* entwickelt. Die Chemie-Lehramtsstudierenden wurden nach der persönlichen Begrüßung und dem Hinweis auf die Tonbandaufnahme zu fünf Themenbereichen befragt. Der Leitfaden ist in Anhang B.1 zu finden. Zum Einstieg wurde gefragt, warum sich die Studierenden für die Teilnahme am Seminar entschieden haben. Eine solche Einstiegsfrage ist nach Atteslander (2008) wichtig, damit die befragten Personen sich auf die Atmosphäre des Interviews einstellen können, sodass zu Beginn nicht die wichtigste Frage gestellt werden sollte [Atteslander, 2008, S. 129]. Aufbauend auf die Einstiegsfrage ging es im zweiten Themenblock um die Qualität und den Inhalt des Seminars. Im dritten Themenbereich werden die Studierenden über die Thematik der Lebensmittelchemie in der Schule befragt. Dabei geht es unter anderem um die Verankerung der Lebensmittelchemie und weiterer Analytikmethoden in den niedersächsischen Kerncurricula der Chemie sowie um die Thematisierung der erlernten Experimente ohne die Gerätschaften und Materialien der instrumentellen Analytik. Der vierte Themenbereich umfasst die Auswirkungen durch die Teilnahme am Seminar, sodass die Studierenden unter anderem dazu befragt werden, ob sie selbst eine Lerneinheit zur Lebensmittelchemie in ihrem zukünftigen Unterricht einbauen würden. Im abschließenden fünften Themenbereich geht es um die Lehrkräftebildung und das Fortbildungsangebot für bereits praktizierende Lehrkräfte.

7.2 Feedbackbogen zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Bezug auf die praktische Laborarbeit des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*

Feedback ist ein wichtiges Instrument, um Rückmeldung zu geben oder eine Rückmeldung zu bekommen und stellt somit eine Reaktion auf eine Aktion dar [Dainton, 2018, S. 11]. Das Geben und Bekommen von Feedback können sowohl den Studierenden als auch den Dozierenden helfen. So setzen sich die Studierenden mit einer Thematik auseinander und überlegen, ob es positive oder negative Aspekte sowie Verbesserungsvorschläge gibt. Durch die Rückmeldung des Feedbacks sind die Studierenden direkt an der Weiterentwicklung beteiligt, wodurch die Meinung der Studierenden wertgeschätzt wird [Dainton, 2018, S. 16 f.]. Während die Studierenden lernen Feedback zu geben, erhalten die Dozierenden Feedback, wodurch die eigene Arbeit reflektiert werden kann. Dabei können die Dozierenden erkennen, an welchen Stellen noch eine Überarbeitung stattfinden sollte. Dadurch können die Dozierenden ihre eigene Arbeit hinterfragen und die Qualität durch Anpassung erhöhen [Dainton, 2018, S. 19].

Um die ausgearbeiteten Experimente des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* in Bezug auf die Verständlichkeit, Vollständigkeit und die Durchführbarkeit zu evaluieren, wurde ein Feedbackbogen zur praktischen Laborarbeit entwickelt. Der Feedbackbogen besteht aus vier Fragen, die von den Studierenden nach der Durchführung der jeweiligen Experimente beantwortet werden sollen. Mithilfe der ersten Fragen sollen die Studierenden für jedes der 23 Experimente separat rückmelden, ob es positive oder negative Aspekte gab und ob es aus ihrer Sicht Verbesserungsvorschläge gibt. Bei der zweiten Fragen sollen die Studierenden erläutern, welche Experimente ihnen gut gefallen haben und auch entsprechende Gründe dafür angeben. Weiterhin wurde um Feedback in Bezug auf Verständlichkeit der Versuchsvorschriften gebeten. Dabei sollten die Studierenden erläutern bei welchem Experiment welche Probleme aufgetreten sind und ob ihnen bei der Behebung dieser Probleme geholfen werden konnte. Schließlich sollten die Studierenden bei der vierten und letzten Frage des Feedbackbogens erläutern, ob es Probleme bei der praktischen Durchführung mit den entsprechenden Versuchsvorschriften gab. Wenn es Probleme gab, sollten diese entsprechend, unter Angabe der Versuchsnummer, rückgemeldet werden. Der Feedbackbogen findet sich in Anhang C.

Aus dem erhaltenen Feedback können die verschiedenen Experimente weiterentwickelt oder überarbeitet werden, sodass das Feedback zu einer Steigerung der Qualität der Experimente beitragen kann. Mithilfe von Feedback können Probleme bei der praktischen Durchführung der Experimente und der erstellten Versuchsvorschriften aufgezeigt werden, sodass

negative Aspekte erkannt und entsprechend überarbeitet werden können. Dies führt ebenfalls zur Steigerung der Qualität der ausgearbeiteten Materialien.

7.3 Durchführung

Nach Erstellung des Interviewleitfadens und des Feedbackbogens wurden diese in einer Gruppe aus Doktorandinnen und Doktoranden sowie Dozierenden aus der Chemiedidaktik der Universität Oldenburg auf Vollständigkeit und Verständlichkeit durchgearbeitet. Dabei sind keine Verständnisschwierigkeiten aufgefallen, sodass sowohl der Leitfaden für die Interviews mit den Chemie-Lehramtsstudierenden als auch der Feedbackbogen zur praktischen Laborarbeit unverändert eingesetzt werden konnten.

7.3.1 Interview

Die Datenerhebung mithilfe des Interviews erfolgte im Monat März des Wintersemesters 2020/2021. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zehn Chemie-Lehramtsstudierende befragt, wovon neun Teilnehmer:innen bereits im Master und eine Person im Bachelor studierte. Zu Beginn der Datenerhebung wurden alle Teilnehmer:innen darauf hingewiesen, dass das Interview anonym durchgeführt wird, sodass kein Rückschluss auf die Person gezogen werden kann. Die Interviews wurden online über die Webkonferenzplattform BigBlueButton durchgeführt und aufgezeichnet, wobei die Interviews zwischen 28 Minuten und 119 Minuten lang waren.

Alle Teilnehmer:innen haben vor dem Interview am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen. Aufgrund der COVID-19-Pandemie hat das Seminar online stattgefunden, weshalb der praktische Teil des Seminars nicht stattfinden konnte. Um die fehlende Praxisphase auszugleichen, wurde ein Teil der Experimente für die Studierenden gefilmt, sodass die Teilnehmer:innen sich die entsprechenden Experimente als Video von zu Hause anschauen konnten. Dadurch konnten die Studierenden trotz der fehlenden Laborpraxis die Experimente kennenlernen. Für die Auswertung und Bewertung der Experimente wurden den Teilnehmer:innen Beispielwerte zur Verfügung gestellt. Somit konnten die Studierenden, mithilfe der, zur Verfügung gestellten, Versuchsvorschriften, die Experimente durcharbeiten, auswerten und anhand der berechneten Ergebnisse die Lebensmittel bewerten.

7.3.2 Feedbackbogen

Die Datenerhebung mithilfe des Feedbackbogens erfolgte im Wintersemester 2021/2022. In diesem Semester war es trotz der COVID-19-Pandemie möglich, dass die Studierenden in

kleinerer Gruppengröße laborpraktisch arbeiten konnten, sodass sie die Experimente eigenständig durchführen konnten. Demnach konnten die Studierenden die Versuchsvorschriften zur Durchführung der Experimente nutzen und anhand der eigenen Messwerte die Auswertungen und Berechnungen durchführen, sodass sie anhand ihrer Ergebnisse eine Bewertung der Lebensmittel vornehmen konnten.

Im Rahmen dieser Untersuchung haben zwölf Chemie-Lehramtsstudierende an der praktischen Laborarbeit des Seminars teilgenommen, wovon elf Teilnehmer:innen bereits im Master und eine Person im Bachelor studierte. Die Studierenden haben den Feedbackbogen am ersten Labortag ausgehändigt bekommen und haben diesen über die ganzen sechs Labortage, entsprechend der von ihnen durchgeführten Versuche, ausgefüllt. Nach Beendigung des letzten Labortages wurden die Feedbackbögen eingesammelt und zur Auswertung herangezogen.

7.4 Auswertungsverfahren

Die Auswertung der erhobenen Daten aus den Interviews und den Feedbackbögen erfolgt qualitativ. So werden die Interviews, die mit den Chemie-Lehramtsstudierenden durchgeführt worden sind, im Anschluss an die Erhebung transkribiert. Es wurde wörtlich und nicht lautsprachlich oder zusammenfassend transkribiert, wobei jedoch Zögerungslaute beziehungsweise Füllwörter, wie beispielsweise „äh“ oder „ähm“ bei der zweiten Überarbeitung weggestrichen wurden, es sei denn, dass es sich um eine Denkpause handelte. Diese Denkpausen wurden entsprechend mit [Pause] gekennzeichnet. Auch Wortverschleifungen wurden nicht transkribiert, sondern an das Schriftdeutsch angenähert und Wort- und Satzabbrüche wurden geglättet beziehungsweise ausgelassen, ebenso wie Wortdoppelungen, wenn diese nicht als Stilmittel der Betonung eingesetzt worden sind. Eine vollständige Darstellung aller Transkriptionsregeln kann dem Anhang (A) entnommen werden. Dabei handelt es sich um eine Zusammenstellung von Transkriptionsregeln, die sich an ausgewählte Fachliteratur zur qualitativen Forschung und Interviewführung anlehnen [Bortz & Döring, 2006, S. 313; Dresing & Pehl, 2018, S. 21 f.; Kuckartz et al., 2008, S. 27 f.; Mayring, 2015, S.57].

Im Zentrum der Auswertung steht die qualitative Inhaltsanalyse der Interviews und Feedbackbögen nach Mayring (2015). Die qualitative Inhaltsanalyse basiert auf einer systematischen Interpretation der Daten durch aufeinander aufbauende Interpretationsschritte. Dabei sollen die Grundsätze der qualitativen Inhaltsanalyse eingehalten werden. Dazu gehört, dass sich die Ergebnisse aus der Datenanalyse der Interviews ergeben müssen. Daneben ist es wichtig systematisch vorzugehen, sodass es eine festgelegte Reihenfolge gibt, die den Ablauf unter festgelegten Bedingungen vorgeben, wodurch verschiedene Personen beim Untersuchen des

Datenmaterials zu ähnlichen Ergebnissen kommen. Somit zeigt sich für die qualitative Inhaltsanalyse eine gewisse Systematik. Trotz der Systematik gibt es kein festgelegtes Standardsystem, sodass das System an das Datenmaterial und die Forschungsfragen angepasst werden kann [Mayring, 2015, S. 50 f.]. Demnach erlaubt die qualitative Inhaltsanalyse eine enge Arbeit mit und am Interviewmaterial.

Mayring (2015) stellt für die qualitative Inhaltsanalyse ein systematisches und regelgeleitetes Vorgehen für die qualitative Forschung vor, welches in Abbildung 7-1 dargestellt wird [Mayring, 2015, S. 62].

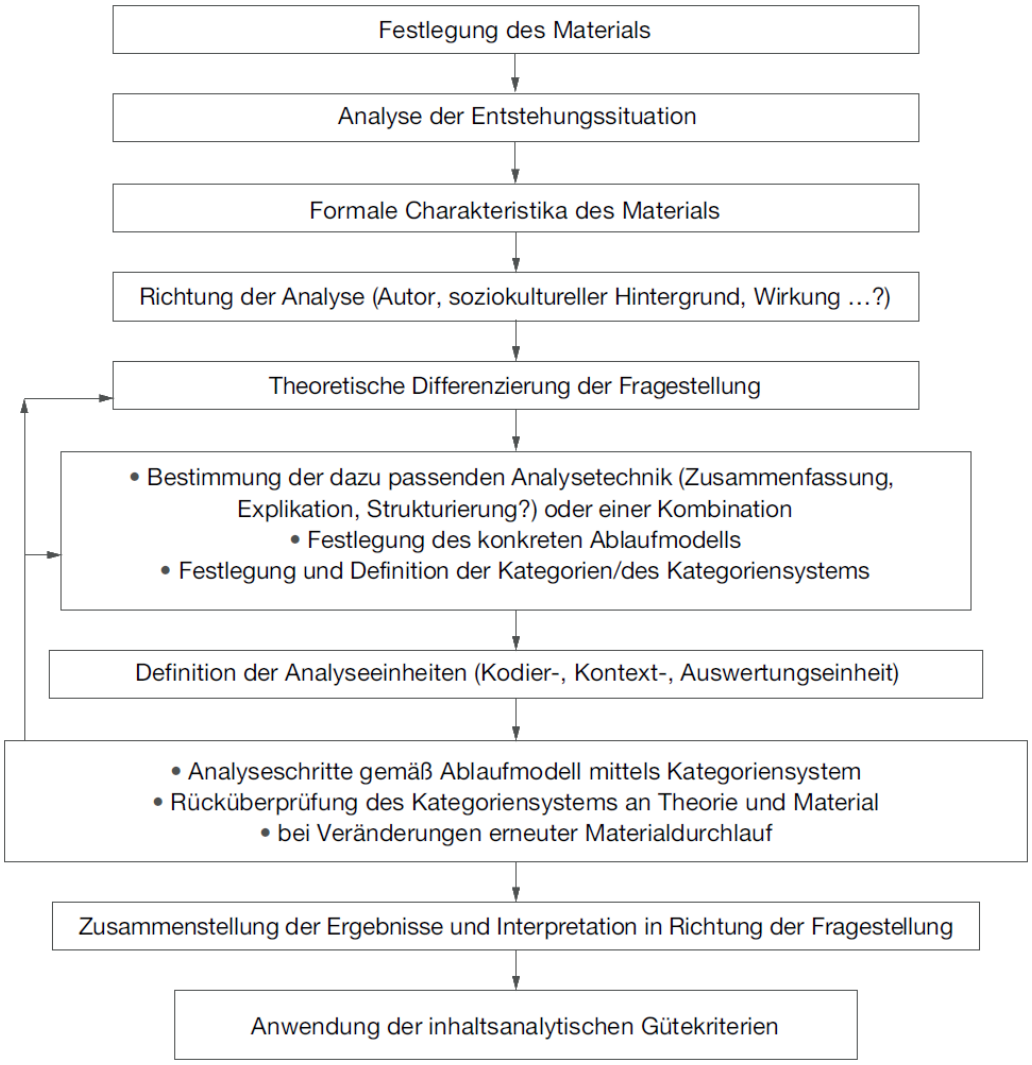


Abbildung 7-1 Allgemeines Ablaufschema einer qualitativen Inhaltsanalyse [Mayring, 2015, S. 62]

Anhand der Darstellung wird im ersten Schritt der qualitativen Inhaltsanalyse das Untersuchungsmaterial festgelegt [Mayring, 2015, S. 54]. Das zu analysierende Material dieser Arbeit besteht einerseits aus den zehn durchgeführten und transkribierten Interviews mit den Chemie-Lehramtsstudierenden (siehe digitaler Anhang D.2.2) und andererseits aus den zwölf

ausgefüllten Feedbackbögen zur praktischen Laborarbeit (siehe digitaler Anhang D.2.4). Zudem stellt die Analyse der Entstehungssituation einen wichtigen Schritt in der qualitativen Inhaltsanalyse dar, in der unter anderem die Entstehung des Materials und daran beteiligten Personen betrachtet werden, ebenso wie die Zielgruppe des Materials [Mayring, 2015, S. 55]. Nach Helfferich (2011) ist es wichtig, die Situation zur Entstehung der Materialien zur Datenerhebung zu kennen, um Äußerungen, die in der qualitativen Forschungsmethode gemacht werden, nachvollzuziehen und verstehen zu können. Demnach werden zur Interpretation der Ergebnisse auch Informationen zur Situation der Interpretation benötigt [Helfferich, 2011, S. 23]. In dieser Arbeit sind die Daten der Interviews im Anschluss an die freiwillige Teilnahme des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* erhoben worden. Bereits in der ersten Sitzung des Seminars wurde den teilnehmenden Personen mitgeteilt, dass nach der Teilnahme an diesem Seminar ein Interview mit ihnen durchgeführt wird (Interviewleitfaden siehe Kapitel 7.1). Die Äußerungen, welche die Teilnehmer:innen während des Interviews gemacht haben, wurden vertraulich behandelt und anonymisiert. Zur Evaluierung der praktischen Laborarbeit des Seminars wurde der Feedbackbogen herangezogen, dessen Entstehung in Kapitel 7.2 bereits dargestellt worden ist. Dafür wurde den Studierenden am ersten Labortag ein Feedbackbogen ausgehändigt, den sie über die insgesamten sechs Labortage ausfüllen sollten.

Im dritten Schritt werden die formalen Charakteristika des Materials beschrieben, also in welcher Form das Material der Datenerhebung vorliegt. Wie bereits beschrieben, handelt es sich dabei um zehn transkribierte Interviews (siehe digitaler Anhang D.2.2) und zwölf Feedbackbögen (siehe digitaler Anhang D.2.4). Die Transkription erfolgt anhand verschiedener Transkriptionsregeln, die dem Anhang (A) entnommen werden können. Aufbauend auf die Festlegung des Materials folgt die Angabe der Richtung der Analyse. Nach Mayring (2015) lässt sich die Richtung der Analyse von der Fragestellung ableiten. Demnach ergibt sich aus den Forschungsfragen (Kapitel 4), unter welchen Aspekten das Material betrachtet wird.

Der fünfte Schritt handelt von der theoretischen Differenzierung der Fragestellung. Die qualitative Inhaltsanalyse ist sowohl regel- als auch theoriegeleitet. Somit erfolgt die Interpretation einerseits anhand einer gewissen Systematik und andererseits muss die leitende Fragestellung der qualitativen Inhaltsanalyse vorab genau geklärt sein, sodass weitere Unterfragen differenziert betrachtet werden können [Mayring, 2015, S. 59 f.]. Aus der Thematik dieser Arbeit über die *Ansichten und Einstellungen von Chemie-Lehramtsstudierenden zum Thema Lebensmittelchemie* als Leitfragestellung lassen sich verschiedene Unterfragestellungen ableiten und ausdifferenzieren.

Der sechste Schritt der Darstellung nach Mayring (2015) ist das Festlegen des konkreten Ablaufmodells und der Kategorien beziehungsweise des Kategoriensystems sowie deren Definition. Das Datenmaterial wird auf die Fragestellungen der Forschungsfragen (Kapitel 4) hin untersucht. Dabei wird der Ablauf der Analyse vorab festgelegt, sodass die Interpretation der Daten für andere nachvollziehbar und reproduzierbar wird. Die Festlegung der Kategorien erfolgt in Anlehnung an den Prozess der induktiven Kategorienbildung, bei der die Bildung der Kategorien anhand der Inhalte aus dem Datenmaterial heraus erfolgt. Aufgrund dessen, dass es zu den Ansichten und Einstellungen Chemie-Lehramtsstudierender zum Thema Lebensmittelchemie keine weiteren Anhaltspunkte in der Literatur gibt, erfolgt die Bildung der Kategorien induktiv aus dem Datenmaterial heraus.

Im darauffolgenden siebten Schritt erfolgt die Definition und Festlegung der Analyseneinheit, die neben der Kodiereinheit, auch die Kontexteinheit und die Auswertungseinheit umfasst. Mayring (2015) beschreibt die Kodiereinheit als kleinste Materialeinheit (Proposition), die zur Auswertung und Einordnung in einer Kategorie verwendet werden darf. Die Kontexteinheit wird hingegen als größte Materialeinheit definiert, die zur Auswertung in eine Kategorie fallen darf und die Auswerteinheit beschreibt die Reihenfolge, in der die Materialeinheiten ausgewertet werden dürfen [Mayring, 2015, S. 61]. In dieser Arbeit wird als Kodiereinheit ein Wort als kleinste Einheit für eine Kategorie und als Kontexteinheit das komplette Interview festgelegt, wobei bei der Interpretation des Datenmaterials jede Frage des Interviews einzeln durchgearbeitet worden ist, und zwar Zeile für Zeile. Demnach stellt die Auswertungseinheit die Fundstelle des jeweiligen Erhebungszeitpunktes dar [Mayring, 2015, S. 63].

Als letzte Schritte folgen die Analysenschritte gemäß dem Ablaufmodell mittels Kategoriensystem und die Rücküberprüfung des Kategoriensystems anhand der Theorie und dem Material sowie die Anwendung der inhaltsanalytischen Gütekriterien [Mayring, 2015, S. 62]. Zur Auswertung des Datenmaterials werden die Kategorien anhand der Interviewfragen erstellt und weitere Unterkategorien induktiv aus den Aussagen des Datenmaterials herausgebildet, sodass ein Kategoriensystem entsteht. Das so erstellte Kategoriensystem wurde mit den Doktorandinnen und Doktoranden sowie den Dozierenden aus der Chemiedidaktik der Universität Oldenburg rücküberprüft und evaluiert. Anhand des erarbeiteten und evaluierten Kategoriensystems wurden alle zehn Interviews analysiert und deren Inhalt entsprechend kodiert. Die Kodierung der Interviews erfolgt mit der Software MAXQDA (VERBI GmbH, 2020; VERBI GmbH, 2022).

8 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der qualitativen Interviewstudie und der Feedbackbögen zusammengefasst und entsprechend dargestellt. Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse wird im darauffolgenden Kapitel vorgenommen.

8.1 Beschreibung der Stichprobe

8.1.1 Interviewstudie

Insgesamt haben an der qualitativen Interviewstudie zehn Chemie-Lehramtsstudierende im Anschluss an die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen. Da es sich bei diesem Seminar um ein Wahlpflichtseminar handelt, war die Teilnahme an dem Seminar freiwillig. Von den zehn Chemie-Lehramtsstudierenden, im Alter von 22 – 28 Jahren, sind bereits neun Teilnehmer:innen im Masterstudiengang immatrikuliert und eine Person im Bachelorstudiengang. Acht der zehn befragten Personen waren weiblich und zwei männlich.

8.1.2 Feedbackbögen

Insgesamt haben zwölf Chemie-Lehramtsstudierende Feedbackbögen zur praktischen Laborarbeit des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*, während der Labortage, ausgefüllt. Von den zwölf Chemie-Lehramtsstudierenden sind elf Teilnehmer:innen im Masterstudiengang immatrikuliert und eine Person im Bachelorstudiengang. Insgesamt waren es vier weibliche Teilnehmerinnen und acht männliche Teilnehmer.

8.2 Ergebnisdarstellung der Interviewstudie

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der qualitativen Interviewstudie dargestellt, die zur Beantwortung der einzelnen Forschungsfragen beitragen können. Dabei werden die Ergebnisse direkt nach den Forschungsfragen geordnet dargestellt.

8.2.1 Welches Vorwissen haben Chemie-Lehramtsstudierende über Lebensmittel, instrumentelle Analytikmethoden und rechtliche Grundlagen von Lebensmitteln?

Um die Forschungsfrage und deren Unterfragestellungen beantworten zu können (Kapitel 4), sind die Kategorien induktiv aus dem Interviewmaterial heraus entwickelt worden. Dabei wurde so vorgegangen, dass das Vorwissen zu den Lebensmittel- und Genussmittelgruppen, den instrumentellen Analytikmethoden und den rechtlichen Grundlagen getrennt voneinander betrachtet worden sind.

8.2.1.1 Vorwissen zu den Lebensmittel-/Genussmittelgruppen

Die Beantwortung der Forschungsfrage, welches Vorwissen die Chemie-Lehramtsstudierenden vor der Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* bereits zu den angesprochenen Lebensmittelgruppen hatten, kann anhand der induktiven Kategorien erfolgen, welche in Abbildung 8-1 dargestellt werden.

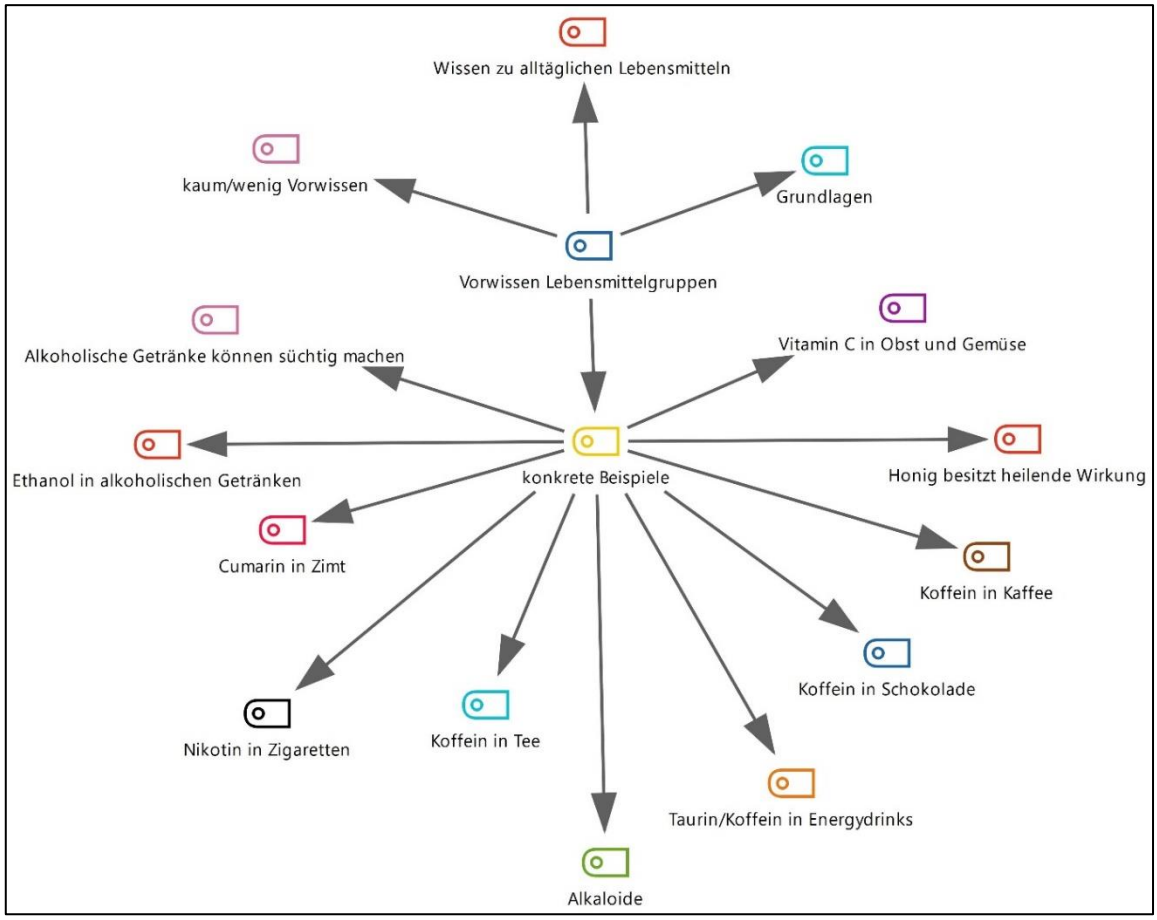


Abbildung 8-1 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den verschiedenen angesprochenen Lebensmittelgruppen [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-1 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-1 die einzelnen Codes sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, welche die Bildung der Kategorien und der Codes veranlasst haben. Diese Kategorien und Codes wurden bei der Analyse aller Interviews verwendet. Zudem wird die Anzahl der Nennungen angegeben und, in den nachfolgenden Klammern, wie viele dieser Nennungen von männlichen Teilnehmern (m) und weiblichen Teilnehmerinnen (w) angegeben worden sind und wie viele der Nennungen auf die verschiedenen Zweitfächer, Biologie (B), Physik (P), Mathematik (M) und Deutsch (D) entfallen. Bei den Ankerbeispielen bezieht sich die Bezeichnung „BP01“ auf das Transkript der befragten Person 01. Es wird dazu eine Textstelle mit Zeilennummer aus dem jeweiligen MAXQDA-Projekt angegeben, welches sich

im digitalen Anhang der beigefügten CD (Kapitel D.2.2) befindet. Für alle anderen dargestellten Ergebnisse gilt das erläuterte Verfahren.

Tabelle 8-1 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den angesprochenen Lebensmittel-/Genussmittelgruppen

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
kein/kaum Vorwissen	4 (1/3) (3/1/0/0)	BP07 (Z 19): B: Na ja, tatsächlich wenig.
Wissen zu alltäglichen Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 15): B: Genau und sonst so Dinge die man aus dem alltäglichen Leben eben weiß.
Grundlagen	4 (1/3) (3/1/0/0)	BP02 (Z 17): B: Aber ich würde sagen, so die Grundlagen.
konkrete Beispiele		
alkoholische Getränke können süchtig machen	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP05 (Z 33): B: … also bei den Zigaretten und dem Nikotin, dann auch mehr, dass es süchtig macht und schädlich ist. Beim Alkohol genauso.
Ethanol in alkoholischen Getränken	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 21): B: … bei den alkoholischen Getränken, wie gesagt, über das Ethanol kannte man es schon.
Cumarin in Zimt	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 21): B: … und ja, das war beim Zimt auch ähnlich, dass man, man hat ja schon mal gehört da, dass da was ist, dass man das nicht zu (-) äh [Pause], hier also das Cumarin war da ja drin.
Nikotin in Zigaretten	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 33): B: … also bei den Zigaretten und dem Nikotin, dann auch mehr, dass es süchtig macht und schädlich ist. Beim Alkohol genauso.
Koffein in Tee	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 17): B: …und das auch im (-) schwarzen Tee, also ja, Tee, grünem Tee, Koffein drin ist oder so.
Alkaloide	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 15): B: Also direkt zu den Alkaloiden kann ich sagen, da habe ich ein Referat schon zu gehalten in organischer Chemie. Da kannte ich mich also schon ein bisschen zumindest aus, so grob eher gesagt.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Taurin/Koffein in Energydrinks	3 (2/1) (1/1/1/0)	BP08 (Z 15): B: … ja, so zu Energydrinks zum Beispiel, einem ist ja bekannt, dass da nicht nur Koffein drin ist, sondern eben auch Taurin …
Koffein in Schokolade	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 17): B: … und das auch in Zartbitterschokolade Koffein drin ist …
Koffein in Kaffee	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 17): B: Ja natürlich auch so ein paar Inhaltsstoffe in Bezug auf das Kaffee Koffein besitzt …
Honig besitzt heilende Wirkung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 17): B: … und auch Honig hat viele, ja, heilende Wirkungen auch. Also ich kenne das tatsächlich von klein auf, dass wir auch immer so dieses Propolis, hieß das immer, ich weiß nicht, ob Ihnen das was sagt, dieser (-), Ja, zum Beispiel das weiß ich gar nicht, was das genau ist (LACHEN), aber was sozusagen aus den Bienenstöcken irgendwie gewonnen wird, was halt auch zur Wundheilung oder ähnliches verwendet wird (-), das sind so Sachen, die ich, ja vielleicht vorher schon wusste.
Vitamin C in Obst und Gemüse	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP03 (Z 17): B: Wenn ich so zurückdenke, also Obst und Gemüse. Das ist das erste, was mir so einfällt, da wusste ich schon zum Beispiel, dass da der Vitamin C-Gehalt vorhanden ist, deswegen soll man ja auch Obst und Gemüse essen.

In Bezug auf das Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den behandelten Lebensmittel- und Genussmittelgruppen gaben vier Studierende an, dass sie kaum beziehungsweise wenig Vorwissen hatten. Zudem haben vier Studierende geantwortet, dass sie über ein Grundlagenwissen verfügen und eine befragte Person hat angegeben, dass sie über das alltägliche Wissen der Lebensmittelgruppen informiert ist. Einige Studierende konnten jedoch konkrete Beispiele liefern, was sie bereits vor der Teilnahme am Seminar zu den verschiedenen Lebensmittelgruppen gewusst haben. So haben beispielsweise drei Studierende den Vitamin C-Gehalt in Obst und Gemüse angesprochen. Weiterhin gaben drei Studierende an, dass ihnen bewusst war, dass die Energydrinks Taurin und Koffein enthalten und zwei Studierende nannten die Suchtgefahr, die durch den regelmäßigen Konsum von alkoholischen Getränken ausgehen kann. Zwei weitere Studierende gaben als konkrete Beispiele den Koffeingehalt in Kaffee an. Daneben

erwähnte jeweils eine befragte Person als konkretes Beispiel den Ethanolgehalt in alkoholischen Getränken, dass Cumarin in Zimt enthalten ist, den Nikotingehalt in Zigaretten, dass Koffein in Tee sowie Schokolade enthalten ist, und dass Honig eine heilende Wirkung besitzt. Dennoch erfolgt, mit Ausnahme zu den Inhaltsstoffen Ethanol und Nikotin, keine weitere Erläuterung zu den genannten Inhaltsstoffen und deren Aufgabe beziehungsweise Wirkung auf den menschlichen Körper. Dies kann gut am Beispiel der heilenden Wirkung des Honigs festgemacht werden, wobei die befragte Person, auf Propolis eingeht, wobei dieser Person eigentlich im Vorfeld nicht bewusst war, was Propolis überhaupt ist.

Authentizität von Lebensmitteln/Lebensmittelbetrug

Um zu bewerten, welches Vorwissen die Chemie-Lehramtsstudierenden vor der Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* über Lebensmittel und Genussmittel hatten, wurden die Studierenden auch über die Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug befragt. Dabei wurden aus den Interviews verschiedenen induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-2 dargestellt werden.

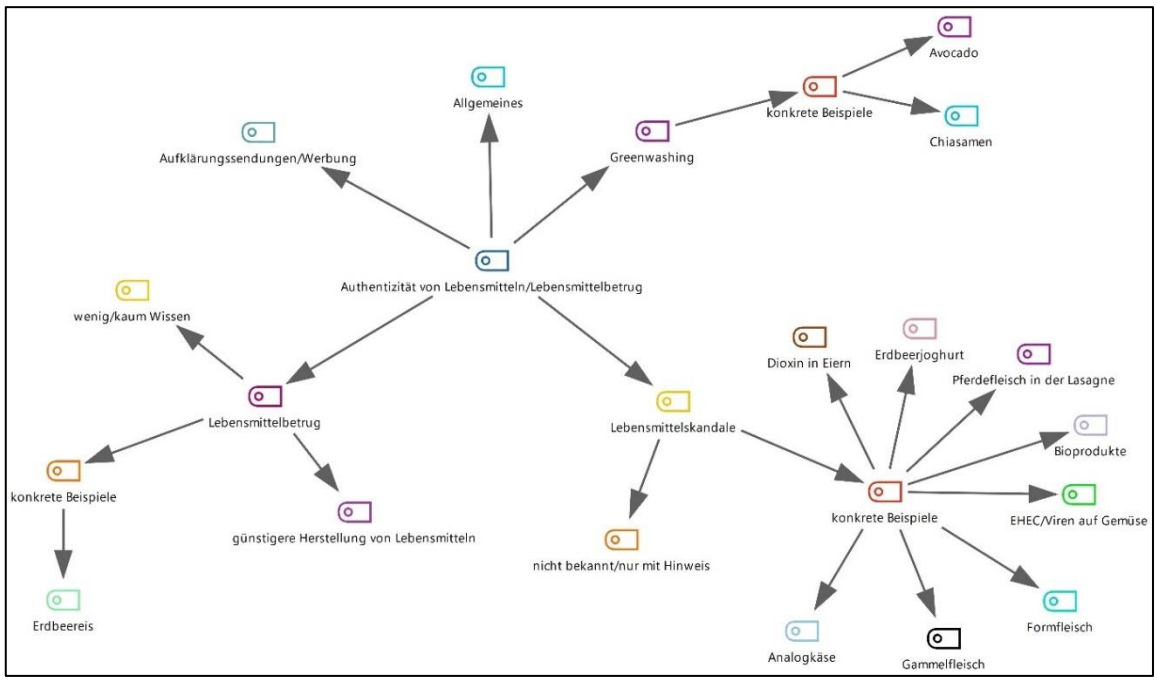


Abbildung 8-2 Darstellung der induktiven Kategorien zur Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-2 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-2 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-2 Kategorien zum Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden im Bereich der Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Aufklärungs-sen-dung/Wer-bung	4 (1/3) (2/0/1/1)	BP04 (Z 37): B: Ich - also tatsächlich - kein konkretes Beispiel, nur solche Aufklärungssendungen irgendwie, wenn es dann irgendwie hieß, in Chips sind Schweineborsten oder (-) keine Ahnung, Fischgelatine im Fruchtsaft oder sowas. Also (-) so was halt, so versteckte tierische Produkte dann halt irgendwie, weil ich glaube, dass es ein großes Thema auch sowieso gerade in unserer Gesellschaft ist.
Allgemeines	3 (2/1) (0/1/1/1)	BP04 (Z 35): B: Also vielleicht nicht so sehr im eigentlichen Sinne. Ich habe mich schon oft gefragt, wie Lebensmittel von anderen Marken so identisch schmecken können, aber es ist dann ja einfach, weil es gleich hergestellt wird und eigentlich das gleiche Produkt ist. Tatsächlich habe ich mich schon viel damit beschäftigt (-), was beispielsweise Lebensmitteln, also Gelatine ist ein guter Inhaltsstoff ja auch, der Lebensmitteln zugefügt wird damit sie eine andere Konsistenz haben und das ja aber auch zum Beispiel in Frischkäse, was ja irgendwie, also was er ja eigentlich nicht braucht, also, wenn er genug Fett hat, dann ist er ja auch so streichbar und über solche Sachen habe ich mich tatsächlich schon mal informiert, aber jetzt diese klassischen "Dubes" tatsächlich glaube ich nicht.
Green-washing	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 29): B: Also ich finde es, ja, wie ich schon halt meinte mit diesen "Greenwashing" ist ja bei vielen auch so ein Begriff, dass alles grün dargestellt wird. Alles ist plötzlich biologisch, ökologisch, nachhaltig und sonst was.
konkrete Beispiele		
Chiasamen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 29): B: … oder Chiasamen ist ja auch so ein Beispiel, wo viele drauf schwören, wo man auch sagen kann: "Hey, es gibt auch Leinsamen, zum Beispiel in Deutschland, die nicht erst sonst woher transportiert werden mussten".

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Avocado	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 29): B: Es ist nicht nachhaltig eine Avocado zu kaufen, die einmal um die Welt geflogen ist, beispielsweise. Das muss man, ja, vielen, glaube ich, noch bewusst machen, …
Lebensmittelbetrug		
kaum/wenig Wissen	5 (1/4) (4/1/0/0)	BP08 (Z 37): B: Auch im Alltag der Schüler und aber gerade so Lebensmittelbetrug oder Verfälschungen, also darüber habe ich mir noch nie irgendwelche Gedanken gemacht, weder in Bezug auf Schule noch in Bezug auf mein eigenes Leben.
günstigere Herstellung von Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 33): B: … aber natürlich versucht ja jeder irgendwie Lebensmittel billiger herzustellen und verpfuscht dann natürlich auch.
konkrete Beispiele		
Erdbeereis	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 35): B: Ich weiß auch zum Beispiel, wenn ich so, das meiste, was mir jetzt einfällt ist vielleicht so Joghurt oder Eis, wo ich dann ganz oft gehört habe, wir mögen kein Erdbeereis, weil es so künstlich schmeckt. Wo man dann schon gedacht hat, okay, sitzen dann da überhaupt richtige Erdbeeren drin oder, ja, oder machen die das mit bestimmten Aromen …
Lebensmittelskandale		
nicht bekannt/nur mit Hinweis	5 (0/5) (4/0/0/1)	BP09 (Z 35): B: Oh (6s), ich weiß, dass ich bestimmt von diversen mitbekommen habe, aber ich (überlege?) und mir fällt so konkret, glaube ich, aktuell erst mal (-) nicht wirklich was ein.
konkrete Beispiele		
Dioxin in Eiern	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 51): B: Und aber das war, glaube Dioxin in Eiern, meine ich, war irgendwas (-) nochmal.
Erdbeerjoghurt	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 51): B: … ich weiß nicht, ob es stimmt, war zumindest das gesagt wurde, dass in Erdbeerjoghurt oder so, das da irgendwie Sägespäne mit drin sind und, dass es eigentlich keine echten Erdbeerstückchen sind, sondern, ähm [Pause], ja, was auch immer.
Pferdefleisch in der Lasagne	4 (2/2) (2/1/1/0)	BP06 (Z 29): B: Man kennt natürlich die Skandale, das irgendwo Pferdefleisch zum Beispiel verarbeitet wurde.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Bioprodukte	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 51): B: Ähm [Pause] (5s), ansonsten (7s), äh [Pause] (-), also mit Bio ist ja generell gerade in (-) jetzt nicht (-) Bio-Geschäften, sondern in normalen Discountern, oder so, dass es quasi eine Debatte für sich ist, inwiefern Bio da wirklich (-) Bio ist und, äh [Pause] (4s), ja. (-) Beispielsweise bei Bananen ist es häufig so, dass das eigentlich keine Bio-Bananen sind, weil es einfach mit dem Preisdumping für die, äh [Pause] (-), Bauern nicht möglich ist unter Bio-Standards die Bananen zu produzieren und dann landen die aber trotzdem teurer als Bio-Bananen hier im Supermarkt (-) und, ähm [Pause], genau, deswegen geht es halt über dieses nur bei Eiern ein bisschen hinaus. Ich glaube, das betrifft auch ein paar mehr Lebensmittel, ähm [Pause] (-), und dass dadurch auch so ein bisschen Skepsis aufkommt bei Bürgerinnen und Bürgern, inwiefern das überhaupt einen Sinn hat Bioprodukte zu kaufen …
EHEC/Viren auf Gemüse	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP05 (Z 65): B: Dann erinnere ich mich noch an (-), ich glaube das waren Viren auf Gemüse. Das war genau auf den Gurken, das weiß ich noch.
Formfleisch	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 35): B: … oder Fertigprodukten und (Formfleisch?) war ja eigentlich so ein dauerhaftes Diskussionsthema, seitdem die Idee des Formfleisch eigentlich aufgekommen ist und das sind so zwei, die mir so einfallen.
Gammel-fleisch	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 51): B: … und ja Gammelfleischskandal weiß man auch noch.
Analogkäse	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 35): B: Ich weiß, dass es früher den großen Formfleisch-, Analogkäse-Skandal gab und diverse Dinge, die in diese Richtung gingen, ähm [Pause], weil ich das einfach persönlich sehr witzig finde, dass man sich früher extrem über Analogkäse aufgeregt hat und (nun?) vegane (Käsealternativen?) fordert, die in dieselbe Richtung gehen, wie das was (man früher?) verteufelt hat. Ähm [Pause] (-), das weiß ich, dass das eine Zeit lang eine ganz ganz große Debatte war, Analogkäse auch auf Tiefkühlpizza und Tiefkühlprodukten beispielsweise …

Vier Studierende gaben an, dass ihnen die Authentizität von Lebensmitteln beziehungsweise Lebensmittelbetrug bereits in verschiedenen Aufklärungssendungen und Dokumentationen begegnet ist, in denen beispielsweise thematisiert worden ist, wie viele Erdbeeren wirklich in einer Erdbeermarmelade enthalten sind. Drei Befragte nannten allgemeine Aspekte, sodass sie sich gefragt haben, warum Produkte von verschiedenen Marken fast identisch schmecken. Aber auch die Deklaration, gerade von Bioprodukten, ist teilweise sehr verwirrend, sodass für die Studierenden nicht klar hervorgeht, was die verschiedenen Siegel für eine Bedeutung haben. Eine Person nannte bei der Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug „Greenwashing“ als Schlagwort. Demnach sollen viele Produkte plötzlich ökologisch und nachhaltig sein. Als Beispiel wird angeführt, dass es jedoch nicht nachhaltig ist, eine Avocado zu kaufen, die bereits um die Welt geflogen ist oder auch, dass anstelle von Chiasamen Leinsamen aus Deutschland verwendet werden könnten. Diese Beispiele zeigen das Problem, was vielen Menschen einfach nicht bewusst ist, dass Produkte, die über weite Strecken transportiert werden, nicht unbedingt nachhaltig sind.

Die Chemie-Lehramtsstudierenden kennen sich im Bereich des Lebensmittelbetrugs nicht sonderlich gut aus, denn die Hälfte aller Teilnehmer:innen gaben an, dass sie kaum oder nur wenig Wissen in dem Bereich aufweisen.

Auch im Bereich der Lebensmittelskandale ist das Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden begrenzt. So konnte die Hälfte der Studierenden keine Lebensmittelskandale nennen beziehungsweise nur durch einen Hinweis. Die andere Hälfte der Studierenden hat bereits von Lebensmittelskandalen gehört und konnte auch konkrete Beispiele nennen. Der für die Studierenden bekannteste Lebensmitteskandal war der Pferdefleischskandal, bei dem Pferdefleisch in Lasagne eingesetzt worden ist. Daran konnten sich insgesamt vier Teilnehmer:innen erinnern. Zwei Studierende nannten die EHEC-Erreger auf dem Gemüse, vor allem auf Gurken.

8.2.1.2 Vorwissen zur instrumentellen Analytik

Die Beantwortung der Forschungsfrage, welches Vorwissen die Chemie-Lehramtsstudierenden vor der Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* bereits zur instrumentellen Analytik in Form der DC, HPLC, GC und Photometrie hatten, kann anhand der induktiven Kategorien erfolgen, welche in Abbildung 8-3 dargestellt werden.

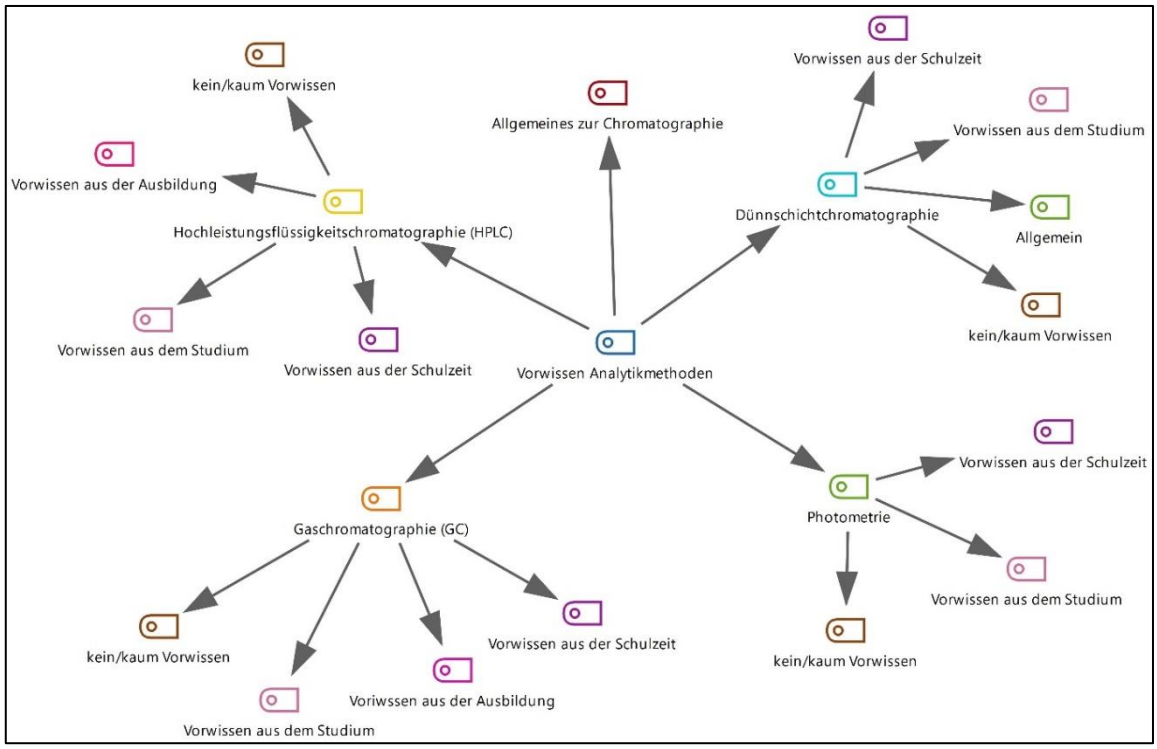


Abbildung 8-3 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik in Form von DC, HPLC, GC und Photometrie [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-3 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-3 die einzelnen Codes sowie Ankerbeispiele aufgezeigt. Anhand der Kategorien kann an dieser Stelle auch eine Aussage darüber getroffen werden, welches Vorwissen in Bezug zur instrumentellen Analytik aus der Schulzeit beziehungsweise aus dem Studium stammt, sodass die Unterfragestellungen der Forschungsfrage mit beantwortet werden können.

Tabelle 8-3 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Allgemeines zur Chromatographie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 17): B: Oh, äh [Pause] (LACHEN) (-) tatsächlich, ich wusste was der Grundsatz (dahinter?) ist und wie beispielsweise die Theorie hinter der Funktion, hinter der Verwendung von Chromatographien beispielsweise ist. Das heißt, wie das Ganze, die Wechselwirkung dort verwendet wird, um diese Auftrennung zu gewinnen, aber ich habe es auch schon selbst gemacht. Von daher war mir (dass?) in dem Teil bewusst, aber mir war nicht bewusst, ähm [Pause] (-), welche Schritte da noch alles zugehören. Das heißt man wusste so grob, was da passiert …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Dünnschichtchromatographie		
Vorwissen aus der Schulzeit	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP06 (Z 23): B: Also ich kann mich erinnern, dass wir, meine ich, in der Oberstufe auch schon mal eine Dünnschichtchromatographie gemacht haben. (-) Ähm [Pause], ich kann es nur gar nicht mehr zuordnen, ob es nun im Chemie-Leistungskurs oder im Biologie-Leistungskurs war.
Vorwissen aus dem Studium	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP02 (Z 25): B: … und im Studium habe ich, glaube ich, im OC-Praktikum mit Dünnschichtchromatographie die Inhaltsstoffe von verschiedenen Medikamenten untersucht.
Allgemein	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 23): B: Ich wusste, dass man die Dünnschichtchromatographie halt verwendet, um halt auch Stoffe zu trennen und das auch eine Methode ist, die relativ schnell auch geht, die man auch relativ zügig auch mit Schülern und so durchführen kann.
kein/kaum Vorwissen	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP08 (Z 19): B: In der Schulzeit, also es mag meinem schlechten Gedächtnis geschuldet sein, aber ich kann mich nicht daran erinnern, dass wir irgendwas davon wirklich gemacht haben. Also es kann sein, dass wir irgendwas mal theoretisch angesprochen haben (-), aber ich glaube wirklich selber gemacht, haben wir nichts davon. (-) Und im Studium (-), ja, also ich habe jetzt dieses Jahr zum Beispiel nicht die Schulchemie belegt, ich weiß nicht, ob da irgendwas gemacht wurde in dem Bereich, deswegen, das habe ich nicht.
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie		
Vorwissen aus der Schulzeit	-	-
Vorwissen aus dem Studium	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 29): B: … und ja, HPLC (-) habe ich auch schon (-) genutzt. Also, wie gesagt, ich habe vorher auch mal Fachchemie studiert. Deswegen habe ich in der Bachelorarbeit musste ich auch mit der HPLC arbeiten.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Vorwissen aus der Ausbildung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 21): B: Also ich habe tatsächlich schon mal mit der, Chromatographie Kontakt gehabt, also mit der Gaschromatographie, da ich eine Ausbildung gemacht habe und da auch schon mal so, wirklich so ein hochtechnisches Gerät auch mit der HPLC schon mal gesehen habe. (-) Das ist aber halt auch schon wieder einige Zeit her, aber deswegen kannte ich das schon mal so ein bisschen und auch grob das Funktionsprinzip.
kein/kaum Vorwissen	8 (1/7) (6/1/0/1)	BP05 (Z 39): B: … und die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie, die kannte ich zum Beispiel noch gar nicht.
Gaschromatographie		
Vorwissen aus der Schulzeit	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP03 (Z 21): B: In Bezug auf die Gaschromatographie, da kann ich mich noch daran erinnern, was wir die theoretisch im der Schule damals hatten.
Vorwissen aus dem Studium	2 (2/0) (0/1/1/0)	BP08 (Z 19): B: Im Bachelor haben wir Gaschromatographie gemacht …
Vorwissen aus der Ausbildung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 21): B: Also ich habe tatsächlich schon mal mit der, Chromatographie Kontakt gehabt, also mit der Gaschromatographie, da ich eine Ausbildung gemacht habe …
kein/kaum Vorwissen	5 (1/4) (4/1/0/0)	BP08 (Z 17): B: Also ich meine mein Bachelor ist schon 4 Jahre her (-) und da haben wir das natürlich alles irgendwie auch schon mal ausführlicher besprochen (LACHEN) (-), aber da ich mich dann eben auch ein paar Jahre mit was anderem beschäftigt habe, ist das auch so ein bisschen wieder in Vergessenheit geraten, deswegen (-) bis auf die Tatsache, dass man damit eben Konzentrationen (-) bestimmen kann (-), war mir nicht mehr viel bekannt.
Photometrie		
Vorwissen aus der Schulzeit	-	-

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Vorwissen aus dem Studium	8 (1/7) (6/1/0/1)	BP06 (Z 23): B: Ähm [Pause] (-) und ich weiß auch, dass ich dann halt im Studium mal eine Photometrie gemacht habe im ersten Semester. Ich glaube das war dann das Grundpraktikum, wo dann mal eine Photometrie durchgeführt wurde. Aber sonst gab es da jetzt noch keine Berührungspunkte.
kein/kaum Vorwissen	4 (2/2) (2/1/1/0)	BP06 (Z 21): B: Ja aber sonst (-) gerade mit der Photometrie, das war etwas, was ich vorher noch gar nicht so kennengelernt hatte.

Das Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Bezug auf die instrumentelle Analytik kann nicht pauschalisiert werden, sodass eine getrennte Betrachtung der vier Methoden (DC, HPLC, GC und Photometrie) erfolgen sollte. Nur eine befragte Person gab eine allgemeine Antwort zum Ablauf der Chromatographie, den vorhandenen Wechselwirkungen und der daraus resultierenden Auftrennung. Ansonsten wurden die verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik isoliert betrachtet.

Im Bereich der Dünnschichtchromatographie gaben zwei Studierende allgemeines Wissen zur Dünnschichtchromatographie wieder, indem geantwortet wurde, dass es sich um eine schnelle Methode handelt, um Stoffe voneinander zu trennen, sodass diese gut mit Schüler:innen im Unterricht durchgeführt werden kann. Vier Studierende gaben an, dass ihnen die DC bereits aus der Schulzeit bekannt war, drei Studierenden hatten Vorwissen aus dem Studium und weitere zwei Studierende hatten kaum Vorwissen zur dieser Methode der instrumentellen Analytik. Die meisten der Chemie-Lehramtsstudierenden konnten in ihrer Schulzeit selbst schon einmal eine DC praktisch durchfuhren, wobei die Trennung von Stoffgemischen scheinbar nicht im Chemieunterricht mit Lebensmitteln, sondern im Biologieunterricht mit Blattfarbstoffen durchgeführt worden ist.

Die Photometrie ist keinem der befragten Chemie-Lehramtsstudierenden aus der Schulzeit bekannt, sodass sich weder im Unterrichtsfach Chemie noch in der Physik Berührungspunkte ergeben haben. Dafür haben jedoch die meisten Studierenden (8 befragte Personen) die Photometrie im Studium kennengelernt und teilweise auch selbst mit einem Photometer gearbeitet. Obwohl acht von zehn Befragten die Photometrie bereits im Studium kennengelernt haben, gaben vier Studierende an, dass sie kein oder kaum Vorwissen zu dieser Methode der instrumentellen Analytik aufweisen.

Im Vergleich zur Photometrie konnten bereits vier Studierende Vorwissen im Bereich der Gaschromatographie sammeln. Im Studium hingegen wurde die Gaschromatographie nicht zentral thematisiert, sodass nur zwei Studierende angaben, dass sie Vorwissen durch den Studiengang zur Gaschromatographie bekommen haben. Eine befragte Person konnte bereits Vorwissen durch die Ausbildung sammeln, die vor dem Studium absolviert worden ist. Die Hälfte aller befragten Personen gab jedoch an, dass sie kein oder kaum Vorwissen zu dieser Methode der instrumentellen Analytik hat.

Bei der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie hatten die Chemie-Lehramtsstudierenden durchgehend kein Vorwissen aus der Schulzeit. Lediglich eine befragte Person hatte Berührungspunkte mit der HPLC durch eine Ausbildung, die vor dem Studium absolviert worden ist, und eine weitere befragte Person hat in der Bachelorarbeit im Studium mit einem Hochleistungsflüssigkeitschromatographen gearbeitet. Demnach war bei der HPLC das geringste Vorwissen vorhanden, sodass insgesamt acht Studierende angaben, noch kein beziehungsweise kaum Vorwissen zu haben.

8.2.1.3 Vorwissen zu den rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel und Genussmittel

Die Beantwortung der Forschungsfrage, welches Vorwissen die Chemie-Lehramtsstudierenden vor der Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* bereits zu den rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen hatten, kann anhand der induktiven Kategorien erfolgen, welche in Abbildung 8-4 dargestellt werden.

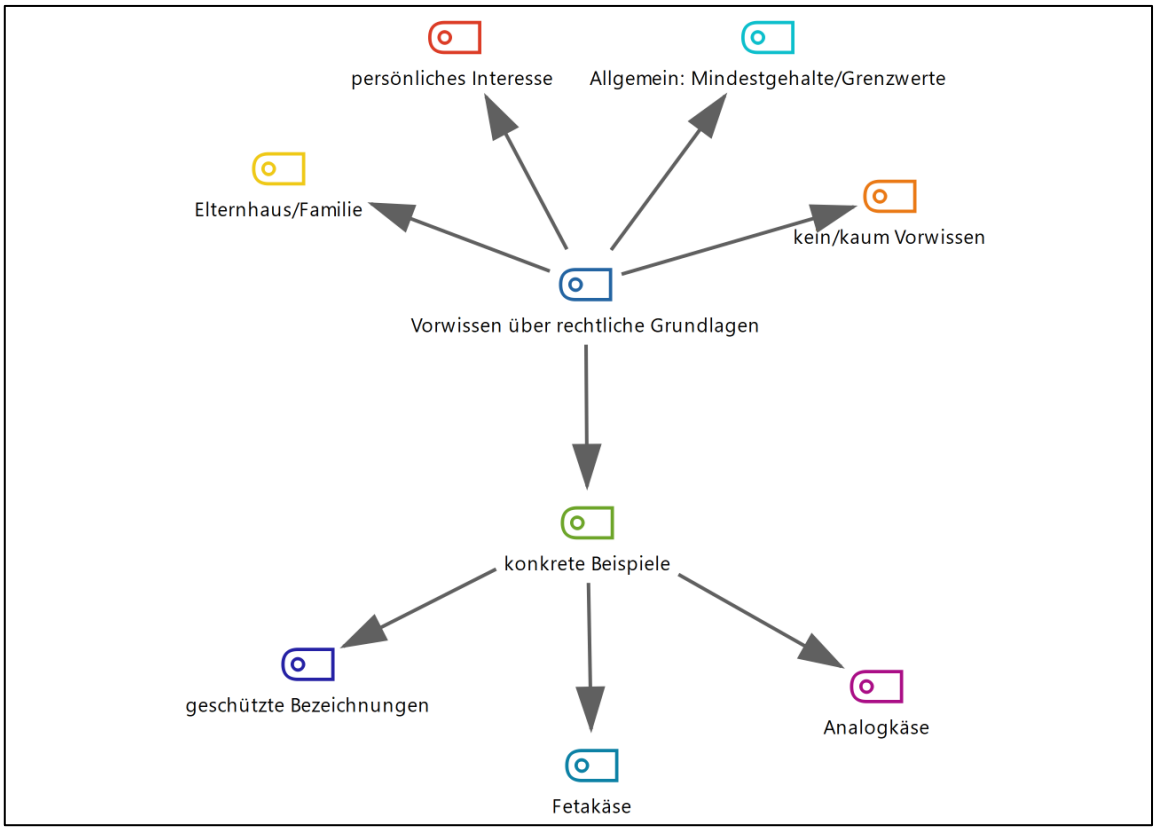


Abbildung 8-4 Darstellung der induktiven Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-4 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-4 die einzelnen Codes sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die die Bildung der Kategorien und der Codes veranlasst haben.

Tabelle 8-4 Kategorien zum Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Elternhaus/ Familie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 23): B: … oder eventuell auch durch die Verbindung von meinem Vater und ansonsten bin ich ein bisschen dadurch geplagt, dass mein Partner Jurastudent ist und sich deswegen sehr sehr sehr viel in seinem Studium bereits mit Fällen damit auseinandersetzen musste, wo diverse Grenzwerte irgendwie überschritten worden sind und welche Folgen das hat.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
persönliches Interesse	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 31): B: Also ich habe mir einige Dokus schon angeguckt einfach aus Interesse, aber, ähm [Pause] (-), also was generell, ähm [Pause], sich mit Ernährung auseinandersetzt oder (-) Nahrungsergänzungsmittel …
Allgemein: Mindestgehalte/ Grenzwerte	8 (2/6) (6/1/1/0)	BP03 (Z 27): B: Ne, ich wusste nur, dass es solche bestimmten Mengen gibt, die man einhalten muss, aber genaue Daten und so wusste ich gar nicht.
kein/kaum Vorwissen	7 (1/6) (5/1/0/1)	BP01 (Z 23): B: Tatsächlich so gar nichts.
konkrete Beispiele		
geschützte Bezeichnungen	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 33): B: Also, dass es da schon (-) je nach Produkt auch wirklich strenge Ergebnis, also (-) dass man jetzt nicht einfach, also für die Benennung. Das es wirklich, das sie teilweise geschützt sind und das auch bestimmte Sachen zum Beispiel mit Ortsangaben (-) waren. Weiß nicht, war zum Beispiel mal auf einer Klassenfahrt bei Erdinger (-), bei der Brauerei und also beim Bier, die da wurde auch erzählt, dass (-) Erdinger, das nur so heißen darf, wenn es auch in Erdingen produziert wurde und sonst nicht.
Fetakäse	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 33): B: … oder das zum Beispiel Fetakäse nur aus Ziegenmilch kommt und sowas.
Analogkäse	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 33): B: … aber sowas wie, dass zum Beispiel Analogkäse nicht Käse genannt werden darf …

In Bezug auf das Vorwissen der rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe ist auffällig, dass sieben von zehn Studierenden kein oder nur kaum Vorwissen zu den rechtlichen Grundlagen hatten. Insgesamt wussten jedoch acht befragte Personen, dass es allgemeine Grenzwerte und Höchstmengenbeschränkungen gibt oder haben es zumindest vermutet, konnten jedoch keine konkreten Beispiele nennen. Lediglich eine Person konnte dabei konkrete Beispiele für rechtliche Grundlagen nennen.

8.2.2 Was lernen Chemie-Lehramtsstudierende durch die theoretische und praktische Teilnahme am Seminar über Lebensmittel und instrumentelle Analytik?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage (Kapitel 4) werden mehrere Bereiche des Interviews herangezogen, die nachfolgend genauer beschrieben werden sollen.

8.2.2.1 Neues Wissen über Lebensmittel-/Genussmittelgruppen

Um herauszufiltern, welches neue Wissen die Chemie-Lehramtsstudierenden über die verschiedenen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen erhalten haben, wurden verschiedene induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-5 entnommen werden können.

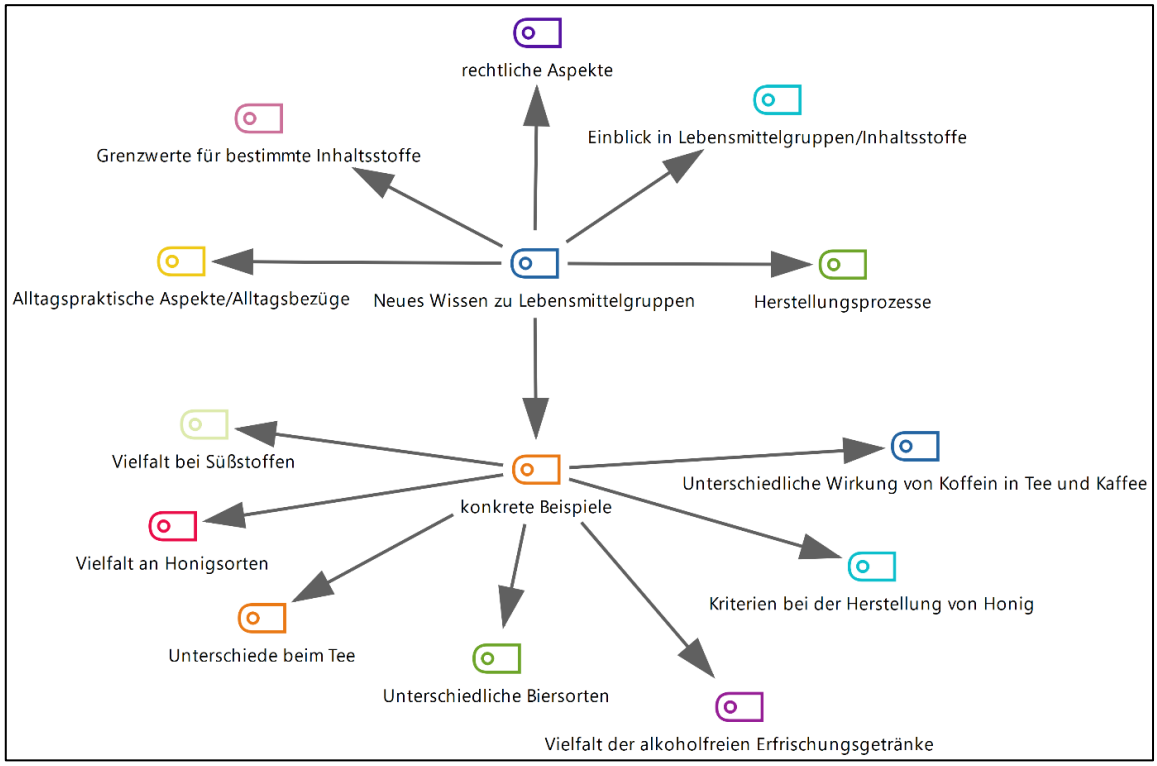


Abbildung 8-5 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-5 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-5 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-5 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu einzelnen Lebensmittel- und Genussmittelgruppen

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
rechtliche Aspekte	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP04 (Z 19): B: Also, ich denke (-), dass wir, also, dass ich, ich sage immer wir (LACHEN), das ich vor allem darüber viel gelernt habe, wie rechtlich das eigentlich geregelt ist.
Grenzwerte für bestimmte Inhaltsstoffe	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 35): B: Oh, ich habe vieles dazugelernt, vor allen Dingen, wenn es dann auch um die Grenzwert ging, was eigentlich alles so auch rein darf gesetzlich gesehen.
alltagspraktische Aspekte/Alltagsbezüge	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 21): B: Ähm [Pause] (-), also, ich würde so zusammenfassen, eher diese Alltagsbezüge, die wirklich irgendwie was in mir ausgelöst haben, wo ich erstaunt war, wo ich dachte: "Ach, das hätte ich jetzt nicht gedacht", (-) ähm [Pause], als mehr Detailwissen …
Herstellungsprozesse	4 (1/3) (3/0/1/0)	BP06 (Z 17): B: Aber jetzt wie genau auch zum Beispiel die Teeernte, kann ich mich erinnern, dass wir die auch sehr sehr genau besprochen haben, was da eigentlich für ein Aufwand hinter steckt. Das war mir auf jeden Fall vorher nicht bewusst …
Einblick in Lebensmittelgruppen/ Inhaltsstoffe	8 (1/7) (7/1/0/0)	BP02 (Z 21): B: Ja, das ist immer eine gute Frage, also wie man lernen definiert (LACHEN). Also ähm [Pause] (-), aufgrund der Fülle an Informationen würde ich nicht sagen das ich mir jetzt viele Details wirklich abgespeichert habe und die jetzt auf Abruf bereit hätte. (-) Ähm [Pause] (-), aber das sehe ich bei mir auch gar nicht als Ziel, auch nicht als Ziel vom ganzen Studium, sondern ich finde es eher wichtiger, da mal einen Einblick zu bekommen, dass man das schon mal gehört hat und erstens weiß man wo man es nachgucken kann und zweitens die Sachen schnell wieder, ähm [Pause] (-), ja irgendwie für sich aufbereiten kann.
konkrete Beispiele		
Vielfalt bei Süßstoffen	1 (0/1) (0/0/0/1)	BP04 (Z 19): B: Ähm [Pause] und (-), ja, gerade auch bei den Süßstoffen fand ich sehr interessant, was man da dann auch eigentlich für eine Auswahl hat. Also Süßstoff ist ja für einen Haushaltsverbraucher immer schnell auch einfach nur Süßstoff, also, als wäre es ein Stoff, was es ja nicht ist. Das fand ich sehr interessant, dass man da auch, also wirklich einmal zu sehen, wie viel Vielfalt da ist.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Vielfalt bei Honigsorten	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 21): B: Auch beim Honig, dass es da so viele Varianten gibt, wie man dann was benennen muss (-), war mit auch unbekannt und neu (LACHEN).
Unter-schiede bei Tee	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 21): B: … oder (-) das Sie gesagt hatten das in Tee, dass eigentlich nur grüner Tee und schwarzer Tee wirklich als Tee bezeichnet werden dürfte und die anderen Tees, also Kräutertee, eigentlich gar nicht wirklich. Also da sind ja keine Teeblätter drin, also quasi ein Aufguss ist oder so. Das fand ich auch interessant.
unterschied-liche Bier-sorten	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 21): B: Ähm [Pause] (-) die Herstellung von Bier fand ich interes-sant, auch wenn ich es selbst nicht mag, da (LACHEN) konnte ich meinen Mann beeindrucken, dass ich die verschiedenen Un-terschiede jetzt wusste. Die habe ich mir auch tatsächlich, ähm [Pause] (-), warum auch immer, gemerkt, also was zum Bei-spiel Starkbier oder Vollbier oder Schankbier oder so sind …
Vielfalt an alkohol-freien Erfri-schungsge-tränken	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP10 (Z 21): B: Das da was ist, aber wie gesagt noch nicht so ausführlich (-), ähm [Pause], und (-) ja, was kannte ich noch? Und ich sage mal, dass es vielleicht Unterschiede gibt, so genaue Bezeich-nungsmengen, was zum Beispiel, war bei den Säften, glaube ich auch so, dass da Grenzen. Ich sage, dass es da Unterschiede gibt, wann ist was wann, aber (-) was es da so alles gibt, das wusste ich noch nicht.
Kriterien bei der Her-stellung von Honig	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 15): B: … wie Honig entsteht und wie man ihn gewinnt, war mir nicht bewusst was für Kriterien dort beispielsweise aus Sicht der (Lebensmittelchemie?) vorhanden sind und wie da be-stimmte Grenzwerte eingehalten werden müssen …
unterschied-liche Wir-kung von Koffein in Tee und Kaffee	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 15): B: Was so, ich habe mich eigentlich schon immer gefragt, was ist jetzt eigentlich der Unterschied zwischen Koffein und Teein ist. (-) Was jetzt nun im Endeffekt irgendwie eigentlich das Gleiche ist, aber trotzdem aufgrund der, wenn ich mich richtig erinnere, irgendwie Komplexstruktur anders, also halt anders im Körper auch aufgenommen wird und wirkt.

Durch die Teilnahme am *Seminar Lebensmittelchemie in der Schule* scheinen alle Studierende neues Wissen erlangt zu haben, denn keiner der Studierenden hat geantwortet, dass kein oder

kaum neues Wissen dazugekommen ist. Acht der zehn befragten Personen haben einen Einblick in die verschiedenen Lebensmittelgruppen bekommen und vier Studierende gaben an, dass sie neues Wissen zu Herstellungsprozessen von Lebensmitteln, beispielsweise von Tee, Bier und Wein, erworben haben. Eine befragte Person hat die aufgezeigten Alltagsbezüge des Themas der Lebensmittelchemie als neues Wissen hervorgehoben. Insgesamt hat die Hälfte der Befragten angegeben, dass sie rechtliche Aspekte zu den Lebensmittel dazugelernt haben. Weitere zwei Studierende haben Grenzwerte für bestimmte Lebensmittelinhaltsstoffe als Wissen mitgenommen. Einige Studierende konnten zudem konkrete Beispiele nennen, was sie Neues dazugelernt haben (Tabelle 8-5). So gaben beispielsweise zwei befragte Personen an, dass sie vor der Teilnahme an Seminar nicht wussten, was es alles für verschiedene Biersorten gibt.

8.2.2.2 Neues Wissen über die Methoden der instrumentellen Analytik

Um zu bewerten, welches neue Wissen die Chemie-Lehramtsstudierenden über die verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik erhalten haben, wurden verschiedenen induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-6 entnommen werden können.

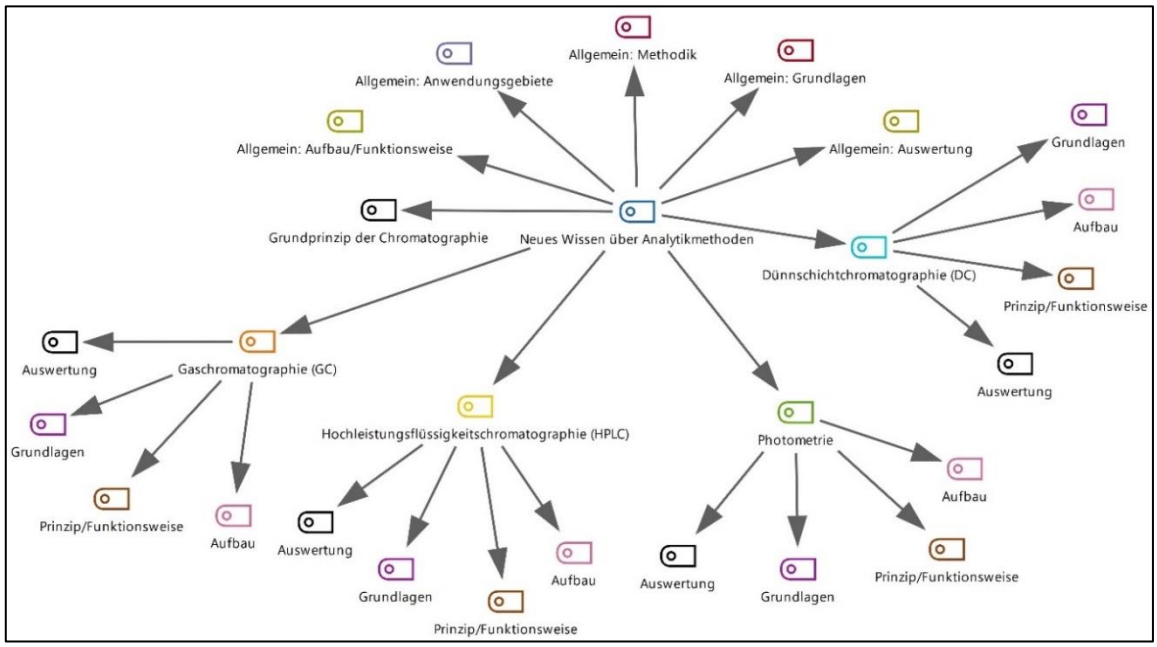


Abbildung 8-6 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den einzelnen Methoden der instrumentellen Analytik (DC, HPLC, GC und Photometrie) [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-6 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-6 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-6 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zur instrumentellen Analytik und deren Methoden (DC, HPLC, GC und Photometrie)

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Grundprinzip der Chromatographie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 41): B: Also abgesehen jetzt von der Photometrie, also die Chromatographie-Methoden eigentlich immer auf diesem gleichen Grundprinzip basieren und dann halt unterschiedlich genau dann auch Auswertung bilden und unterschiedliche, also je nachdem, welches Laufmittel wir benutzen oder welche stationäre Phase wir haben oder wie auch immer, dann die verschiedenen Inhaltsstoffe auftrennen können und das man da dann halt die (-) (unv., Störung der Internetverbindung) ... sich aus auswählen kann, um seine Lebensmittel zu analysieren.
Allgemein: Aufbau/ Funktionsweise	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP02 (Z 29): B: Ähm [Pause] (4s), ich würde sagen (-) die Funktionsweise, also ähm [Pause] (-), auf der einen Seite natürlich das Gerät, wie das aufgebaut ist.
Allgemein: Anwendungsgebiete	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 21): B: Na ja, also generell irgendwie eine Auffrischung der (-) der Funktionsweise und der Anwendungsgebiete.
Allgemein: Methodik	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP07 (Z 31): B: Also, die, äh [Pause] (-), also diese Methodik, wie man dann das, äh [Pause] (-), verwenden kann und wofür. Also für den (-) jeweiligen Versuchen verwenden.
Allgemein: Grundlagen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 21): B: Also, natürlich das, was man, ohne sie selber zu machen eben lernen kann, also grundlegend erst mal das (-) wie es gemacht wird, was man eben aus den Versuchsvorschriften rausnehmen kann.
Allgemein: Auswertung	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP09 (Z 21): B: Bei den Methoden, die ich selber schon mal ausgewertet habe, das heißt bei der Photometrie, war es einfach eine gewisse Art von (-) Gewohnheit reinzubekommen mit diesen Werten umzugehen und diese gewisse, ähm [Pause] (4s) Selbstverständlichkeit, dass wenn man (einfach?) sieht oder Daten so bekommt, dass man weiß, wie man damit umzugehen hat, um auf ein Ergebnis zu kommen und bei der DC war es vor allem einfach, also das war Routine.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie		
Prinzip/ Funktions-weise	3 (2/1) (0/1/1/1)	BP04 (Z 23): B: Also ich fand es gerade jetzt im Fall von der HPLC, die mir ja vorher komplett unbekannt war, sehr interessant zu sehen, wie das alles verknüpft ist. Also das es tatsächlich so eigentlich dann nur noch ist, wir machen eine Probe rein und wir haben am Ende das Ergebnis und was da eigentlich alles zwischengeschaltet ist, also das fand ich gerade bei dem Gerät also sehr sehr komplex.
Auswertung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 21): B: Also vor allem in Richtung (-) HPLC und (-) (Gaschromatographie?) komplette Auswertung, also zum einen wie (es?) abläuft, was man dabei für Besonderheiten hat, wobei es sich manchmal (-) besser anbietet als eine andere Methode. Also, dass was wir quasi als (Theorie-Sitzung?) gemacht haben (-) und einfach mal die Handlichkeit damit mit diesen (Werten?) umzugehen, die dabei rauskommen und das Ganze nachvollziehen zu können.
Gaschromatographie		
Aufbau	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 21): B: In Bezug auf die Gaschromatographie, da kann ich mich noch daran erinnern, was wir die theoretisch im der Schule damals hatten. Da haben wir das Verfahren nämlich besprochen, aber da habe ich es an sich alles praktisch, was man jetzt so sehen könnte, neu dazugelernt …
Prinzip/ Funktions-weise	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP10 (Z 31): B: wie heißt, die Gaschromatographie, dass sie (-) wie man das auch wirklich (-) so analytisch (-), also so durchführt, dass man es wirklich analytisch macht. Also mit der Kalibrierkurve, das war mir zum Beispiel neu und sowas, dass man das allgemein die Gaschromatographie wirklich analytisch benutzt, um auch wirklich (-) quantitative Analyse zu machen. Nicht nur qualitativ (-), das war neu und (-) bei der HPLC (-) ähnlich (-), auch.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Auswertung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 21): B: Also vor allem in Richtung (-) HPLC und (-) (Gaschromatographie?) komplette Auswertung, also zum einen wie (es?) abläuft, was man dabei für Besonderheiten hat, wobei es sich manchmal (-) besser anbietet als eine andere Methode. Also, dass was wir quasi als (Theorie-Sitzung?) gemacht haben (-) und einfach mal die Handlichkeit damit mit diesen (Werten?) umzugehen, die dabei rauskommen und das Ganze nachvollziehen zu können.

Während die Chemie-Lehramtsstudierenden bei den Lebensmittelgruppen konkrete Beispiele für das neu erlernte Wissen genannt haben, fällt beim neuen Wissen der instrumentellen Analytik auf, dass das neue Wissen eher allgemein betrachtet wird und sich weniger auf die einzelnen Methoden der instrumentellen Analytik bezieht. So gab eine befragte Person an, dass sie als neue Erkenntnis mitnimmt, dass die Chromatographie-Methoden (DC, HPLC und GC) auf dem gleichen Grundprinzip beruhen. Zwei Studierende nannten, dass sie im Allgemeinen den Aufbau und die Funktionsweisen der einzelnen Methoden kennengelernt beziehungsweise aufgefrischt bekommen haben. Daneben haben zwei Studierende allgemein neues Wissen im Bereich der Auswertungen bekommen und eine befragte Person antwortete auf die Frage, was sie Neues dazugelernt hat, die allgemeinen Anwendungsgebiete der instrumentellen Analytik sowie die verschiedenen Methoden, die zur Bestimmung der verschiedenen Inhaltsstoffe eingesetzt werden.

Auffällig ist, dass die Studierenden scheinbar kein neues Wissen im Bereich der Dünnschichtchromatographie und der Photometrie erhalten haben. Dies wurde von keinem der Studierenden angegeben. Im Bereich der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und der Gaschromatographie haben die Chemie-Lehramtsstudierenden jedoch Neues dazugelernt. Bei der GC haben zwei Befragte angegeben, dass sie durch die Teilnahme am Seminar das Prinzip und die Funktionsweise der Gaschromatographie vermittelt bekommen haben und eine Person nannte den Aufbau der GC als neues Wissen. Weiterhin wurde einmal die Auswertung über Kalibriergeraden als neues Wissen im Bereich der Gaschromatographie genannt. Bei der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie, bei der die Studierenden das wenigste Vorwissen hatten, nannten drei Studierende das Prinzip und die Funktionsweise der HPLC als neues Wissen. Hierbei wurde unter anderem die Verknüpfung vom Injizieren der Probe bis zum eigentlichen

Ergebnis genannt und die dabei zwischengeschalteten Schritte. Zudem nannte eine Person die Auswertung, sodass verstanden werden konnte, wie die erhaltenen Ergebnisse weiter betrachtet und bewertet werden können. Demnach haben die Chemie-Lehramtsstudierenden neues Wissen im Bereich der allgemeinen instrumentellen Analytik, sowie der GC und der HPLC, erhalten, wohingegen die DC und die Photometrie kein neues Wissen mit sich gebracht haben.

8.2.2.3 Neues Wissen über die rechtlichen Aspekten der Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe

Um zu bewerten, welches neue Wissen die Chemie-Lehramtsstudierenden über die verschiedenen rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe erhalten haben, wurden verschiedenen induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-7 entnommen werden können.

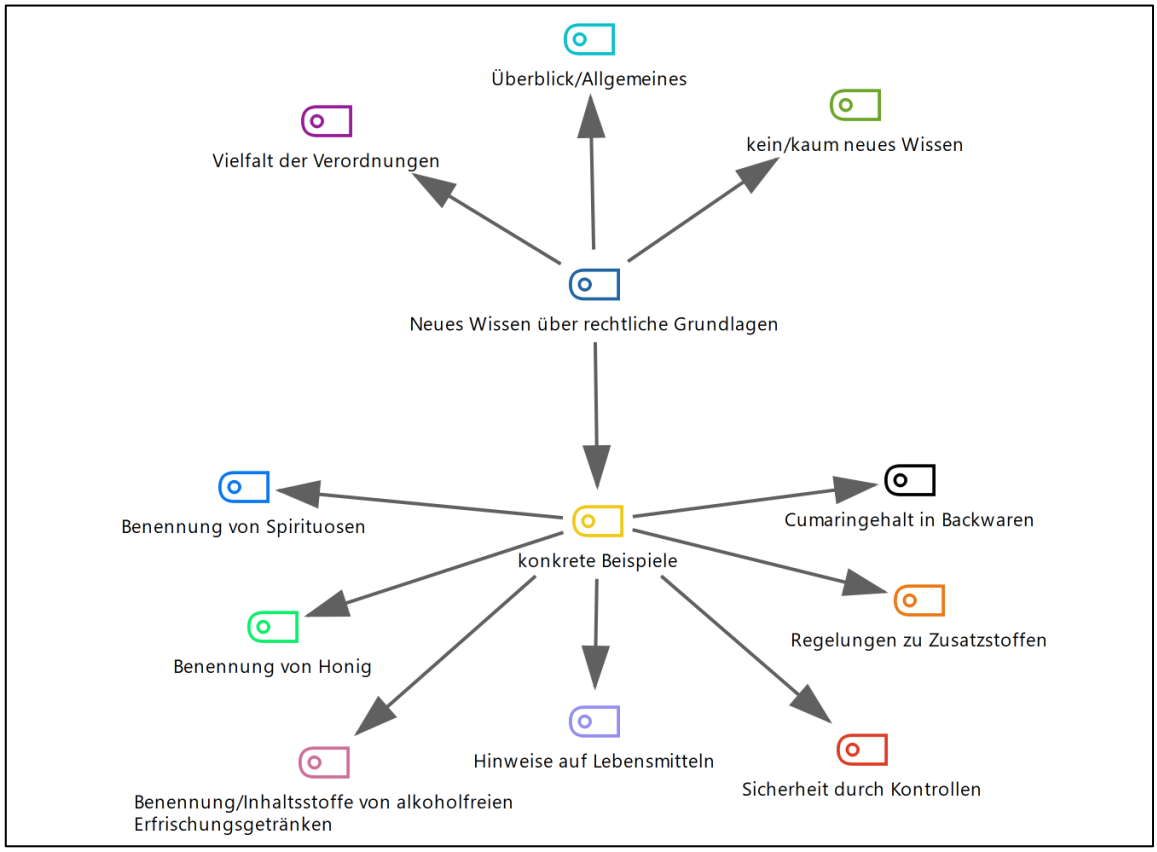


Abbildung 8-7 Darstellung der induktiven Kategorien zum neu erlernten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-7 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-7 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-7 Kategorien zum neu erlangten Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel- und Genussmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Vielfalt der Verordnungen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 49): B: Das es (-) wahnsinnig viele verschiedene Verordnungen gibt für jedes einzelne Lebensmittel und jede einzelne Lebensmittelgruppe …
Überblick/ Allgemeines	4 (1/3) (3/1/0/0)	BP03 (Z 29): B: Ja, das es auf jeden Fall sehr viele Beschränkungen gibt. Also das es manchmal wirklich so einen Höchstwert gibt, der nicht überschritten werden darf. Das es manchmal aber auch Werte gibt, an die man sich so ungefähr richten muss, das aber jetzt nicht so festgelegt ist und ja, also genau das ist eigentlich das, was ich da jetzt so Neues dazugelernt habe und das es eigentlich in jedem Lebensmittel irgendwelche Werte gibt, die man einhalten soll.
kein/kaum neues Wissen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP07 (Z 37): B: Muss ich ehrlich sagen, ich erinnere mich an die gar nicht dran.
konkrete Beispiele		
Cumarin in Backwaren	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 27): B: Das hat mich total beschäftigt, noch im Nachhinein, dass es da ja dann Höchstwerte für den Cumaringehalt gab in Backwaren, äh [Pause], aber das da auch in der Saisonalität unterschieden wird, also, dass dann tatsächlich davon ausgegangen wird, okay in Zimtsternen darf jetzt mehr Cumarin enthalten sein als beispielsweise in einem Zimtbrötchen, das man sich jeden Tag beim Bäcker kaufen kann. Nur weil ich das (-) weniger häufig zur Verfügung habe und ich das seltener essen kann. Das hat mich irgendwie noch nachhaltig total beschäftigt, weil ich das, damit irgendwie gearbeitet habe.
Regelungen zu Zusatzstoffen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 25): B: Also das war sicherlich Neuland, auch gerade was so die ganzen Zusatzstoffe angeht. Man wusste zwar immer, ja, das sind welche drin und die sind auch nicht so toll, so dieses Image haben ja viele Zusatzstoffe, aber wie das genau gesetzlich geregelt ist, war mir überhaupt nicht bekannt zuvor.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Sicherheit durch Kontrollen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP06 (Z 27): B: Mir persönlich hat das sogar eher Sicherheit gegeben, dass ich mal so dachte: "Ja okay, irgendwer scheint das ja zu kontrollieren, wenn es solche Grenzwert gibt". Das heißt, dass man wirklich jetzt viel zu viel von einem irgendeinem Stoff ungewollt zu sich nimmt, das kann eigentlich nicht passieren, außer man ernährt sich ausschließlich von einem gewissen Nahrungsmittel oder ähnliches. Ähm [Pause], das ist so das, was ich daraus eher so gezogen habe, dass ich dachte: "Gut, das wird ja in Deutschland alles kontrolliert und (-) es kann eigentlich einem nichts passieren, außer man, ja, konsumiert es halt im übertriebenen Maße".
Hinweise auf Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 39): B: … und auch das, ähm [Pause], es lebensmittelrechtlich verordnet ist auf bestimmte Dinge hinzuweisen wie zum Beispiel mit, ähm [Pause] (-), ja, während der Schwangerschaft sollte man das und das nicht trinken, weil erhöhter Koffeingehalt oder Alkohol oder was auch immer.
Benennung/ Inhaltsstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP09 (Z 23): B: So war es beispielsweise für mich als wir das Thema Erfrischungsgetränke (angefangen?) haben, hatte ich so ein gewisses Vorbild in meinem Kopf, was könnte beispielsweise, was würde ein Erfrischungsgetränk ausmachen und dann kam diese Auflistung das A B, C enthalten sein, beziehungsweise es muss A B und C enthalten sein. Andere Dinge dürfen sein, dürfen nur zu bestimmte Sätzen drinne sein, wo wirklich sich so entfaltet hat für jemanden, der sich damit vorher nicht auseinander gesetzt hat in dieser (Tiefe?) …
Benennung von Honig	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 37): B: … ja zum Beispiel mit dem Honig (-), was es da so alles gibt, wie der wann benannt werden darf …
Benennung von Spirituosen	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 37): B: … oder auch diese, was gerade bei den Spirituose, das war mir auch neu, dass es da so (-), also dass es das wirklich reguliert ist, wann darf man etwas Whisky nennen oder Wodka oder, wie gesagt, oder Weinbrand.

In Bezug auf die rechtlichen Grundlagen gaben zwei Studierende an, dass sie kein oder nur kaum neues Wissen in dem Bereich mitgenommen haben, da der Input zu den Lebensmittelgruppen und den Methoden der instrumentellen Analytik schon sehr ausführlich war. Dadurch

haben sie bei den rechtlichen Grundlagen abgeschaltet und konnten sich somit nicht mehr daran erinnern. Vier Studierende nannten, dass sie ein allgemeines Überblickswissen zu den rechtlichen Grundlagen bekommen haben und weitere zwei Studierenden war vor der Teilnahme am Seminar nicht bewusst, was es für eine Vielfalt an Verordnungen im Lebensmittelrecht gibt. Einige befragte Personen konnten aber auch konkrete Beispiele angeben, was sie Neues in Bezug auf die rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe dazugelernt haben. So gaben zwei Studierende an, dass sie sich durch die stattfindenden Kontrollen in Bezug auf die Einhaltung von Grenzwerten sicherer fühlen und damit die Wahrscheinlichkeit geringer ist, ungewollt von einem bestimmten Inhaltsstoff zu viel zu sich zu nehmen. Zwei befragte Personen gaben zudem an, dass sich das neue Wissen auf die Benennung und die enthaltenen Inhaltsstoffe der alkoholfreien Erfrischungsgetränke bezieht. Ihnen war vorher nicht bewusst, dass es bestimmte Anforderungen an Erfrischungsgetränke gibt, damit diese eine bestimmte Bezeichnung, wie beispielsweise Fruchtsaft oder Fruchtschorle, tragen dürfen.

8.2.2.4 Qualität des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* (Theorie und Praxis)

Um zu bewerten, welche Qualität die theoretischen und praktischen Teile des Seminars für die Chemie-Lehramtsstudierenden aufweisen, wurden verschiedenen induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-8 entnommen werden können.

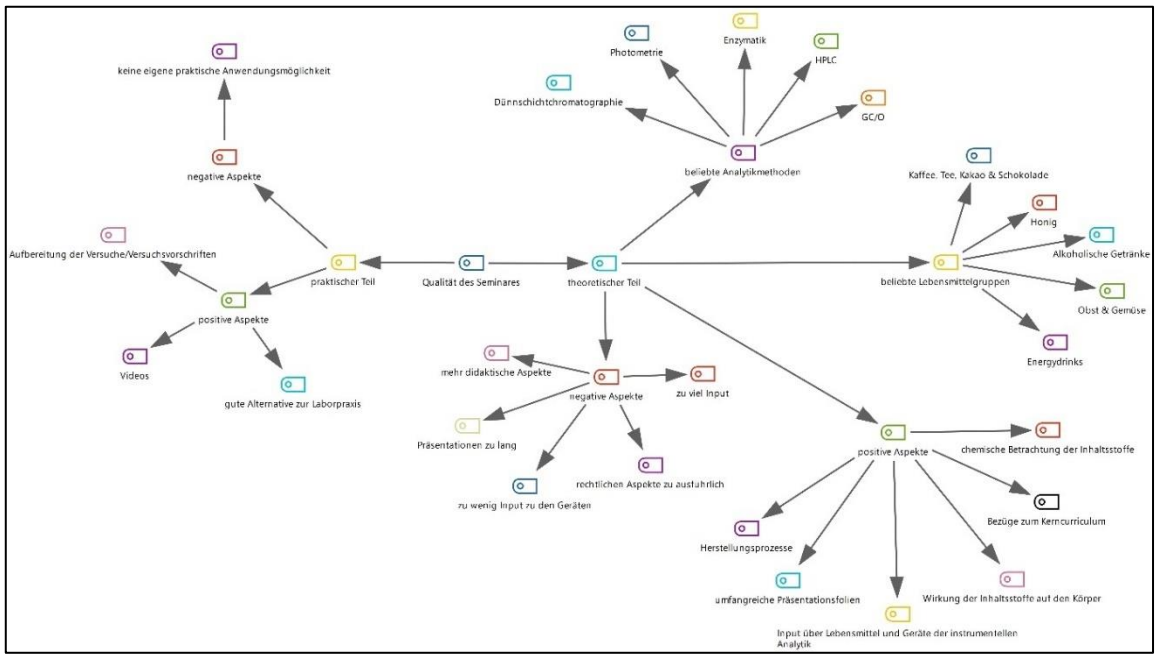


Abbildung 8-8 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich der Qualität des Seminars [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-8 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-8 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-8 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zur Qualität des Seminars

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Theoretischer Teil – positive Aspekte		
chemische Betrachtung der Inhaltsstoffe	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP10 (Z 13): B: … besonders gut fand ich so diese (-), dass an auch mal Lebensmittel wirklich chemisch betrachtet, was sind das genau für Inhaltsstoffe und was weiß ich, zum Beispiel das Cumarin beim Zimt meine ich und andere Sachen, was da wirklich drin steckt so an Sachen oder beim Energydrink, was da für Stoffe drin sind. Das man das wirklich mal kennenlernt (-) und wie gesagt auch mal, wie wird das wirklich analytisch gemessen, also wie misst man sowas überhaupt genau.
Bezüge zum Kerncurriculum	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 13): B: … und natürlich auch das wir diesen Bezug zum Kerncurriculum herstellen sollten.
Wirkung der Inhaltsstoffe auf den Körper	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 29): B: … und halt auch die Wirkung auf den Körper, wie viel von dem Inhaltsstoff drinne ist, auch wenn zum Beispiel was für Nebenwirkungen das mit sich führen kann. Allgemein die Wirkung, das hat mir immer sehr gut gefallen.
Input über Lebensmittel und Geräte der instrumentellen Analytik	6 (2/4) (3/1/1/1)	BP09 (Z 11): B: Besonders gut hat mir zum einen gefallen, dass wir tatsächlich eine große Breite an Lebensmittelgruppen (behandelt?) haben, vor allem auch welche die (-) man inhaltlich sehr gut an die Schülerschaft bringen kann, die also wirklich von der Altersgruppe her ansprechend sein würden für die Schüler, die man (im Unterricht?) tatsächlich hat, also alles zwischen fünf und 13 irgendwo in den Jahrgangsstufen.
umfangreiche Präsentationsfolien	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 13): B: … und auch die Folien dazu, das fand ich wirklich gelungen und umfangreich, …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Herstellungs-prozesse	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 13): B: … auch zum Beispiel den Herstellungsprozess, wie beispielsweise die Kaffeebohnen gewonnen werden, also explizit das hatte (LACHEN) ich schon selbst mal recherchiert, aber auch zum Beispiel auch mit dem Wein und was der Unterschied zwischen, ja, unterschiedlichen Spirituosen ist usw.
Theoretischer Teil – beliebte Lebensmittelgruppen		
Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade	4 (1/3) (2/1/0/1)	BP05 (Z 31): B: … am besten gefallen haben mir die von der Lebensmittelgruppe, das war (-) Kaffee, Tee und Schokolade. Einfach weil das so Genussmittel sind, die man ja jeden Tag eigentlich fast konsumiert, also ich trinke jeden Tag eine Tasse Kaffee und meistens esse ich auch mindestens ein Stück Schokolade …
Honig	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP09 (Z 13): B: … von den Lebensmittelgruppen, haben mich tatsächlich zum einen die angesprochen, wo ich wusste, dass die Umsetzung mit den Schülern besonders gut funktioniert, aber auf persönlicher Ebene fand ich vor allem auch so Sachen wie den Honig sehr interessant, weil ja auch Honig als Naturprodukt doch immer eine ganz andere Ebene hat, als etwas was, äh [Pause], wie beispielsweise bei uns Getränke tatsächlich zusammen gemischt wird, dass Honig ja auch so eine ganz andere Geschichte dahinter hat, wieso er eben welche Inhaltsstoffe hat und das fand ich besonders interessant.
alkoholische Getränke	3 (2/1) (1/1/1/0)	BP02 (Z 15): B: … Alkohol fand ich interessant, insbesondere im Hinblick auf den Unterricht, also ich selbst (-) bin nicht der größte Alkoholliebhaber, aber da habe ich auch immer im Hinterkopf gehabt, wie man könnte das man vielleicht verknüpfen. Im Praktikum hatte ich schon mal eine Stunde, wo man Promillewerte ausgerechnet hat und geguckt hat, wie viel darf man trinken, bis man nicht mehr fahrtüchtig ist und so weiter und da dachte ich, dass könnte man ja auch gut verknüpfen sogar die beiden Stunden.
Obst und Gemüse	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP04 (Z 15): B: … aber Obst und Gemüse fand ich auch super interessant, weil man das, glaube ich, irgendwie nie so, also das da so viele verschiedene Sachen auch drin sind …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Energydrinks	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 13): B: Zu den Lebensmittelgruppen fand ich tatsächlich (-) Alkohole, Koffein, Teein, Energydrinks …
Theoretischer Teil – beliebte Analytikmethoden		
Dünnschicht-chromatographie	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP03 (Z 15): B: … ja, also ich fand sowieso immer die Dünnschichtchromatographie immer sehr cool und auch schön mit Schülern durchzuführen, da ich die auch schon des Öfteren jetzt schon mal machen durfte. Deswegen finde ich das sowieso immer ganz cool.
Photometrie	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP02 (Z 15): B: … ja, ich persönlich fand, äh [Pause], die Photometrie (-) cool, das noch mal erklärt zu bekommen, weil ich selbst auch schon in Bio, in einem Mikrobio-Praktikum, schon mal mit dem Photometer gearbeitet habe (-) und ähm [Pause] (-), genau fand es cool das mal erklärt zu bekommen, wie das eigentlich richtig funktioniert und, äh [Pause] (-), genau. Auch weil Sie ja auch gesagt hatten, dass manche Schulen auch ein Photometer haben, ähm [Pause] (-), fand ich das natürlich nicht schlecht (LACHEN) und weil ich es noch verhältnismäßig einfach finde. Also ich glaube das runterzubrechen, beziehungsweise auch in der Auswertung diese Spektren zu vergleichen, das stelle ich mir später für den Unterricht (-) sehr geeignet vor, ob mit oder ohne Photometer umzusetzen, weil man halt diese Vergleichsspektren auf jeden Fall einfach reingeben kann und erklären kann wie es funktioniert und die Schülerinnen und Schüler die Auswertungen auch selbst vornehmen können und ähm [Pause] (-), ja, ich finde es nicht sehr abstrakt, also ich finde es recht eingänglich was da passiert.
Enzymatik	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 17): B: Die Enzymatik, genau. Das fand ich mal interessant, weil das ist, halt wirklich auch mal (-), das hätte ich vorher nicht so erwartet.
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 15): B: Ja, was ich auch sehr interessant war, war jetzt sowieso diese HPLC, das Verfahren, was ich auch eigentlich total cool finde, weil ich es vorher auch gar nicht kannte, dass man da jetzt auch so einen Einblick bekommen hat.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O)	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 31): B: … (was?) die Analytikmethoden anging, war es vor allen Dingen die Gaschromatographie mit dem Geruchssensor beim Kaffee.
Theoretischer Teil – negative Aspekte		
zu viel Input	5 (2/3) (3/1/1/0)	BP03 (Z 13): B: … obwohl das manchmal auch echt sehr viel war und ich das auch manchmal echt anstrengend fand nach einer Stunde noch zuzuhören, weil das so viel Input war, dass ich mich nicht mehr konzentrieren konnte.
rechtliche Aspekte zu ausführlich	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP01 (Z 13): B: Und die rechtlichen Aspekte, die sind auch sehr ausführlich ausgefallen. Ist natürlich klar, da gibt es auch viel was man beachten muss, aber ich hätte vielleicht dann mehr damit anfangen können, wenn man das Rechtliche ein bisschen knapper gefasst hätte.
zu wenig Input zu den Geräten	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 13): B: Ich denke, dass ich (-) gerne vielleicht noch ein bisschen mehr über die, ähm [Pause] (-) Geräte, also wir haben die Geräte ja recht spät kennengelernt. Erst haben wir ja uns viel mit den Lebensmittelgruppen beschäftigt und dann kamen für mich die Geräte so on top, dass es vielleicht ein bisschen viel Inhalt war, während ich die Geräte eigentlich auch noch super interessant fand, weil wir einige davon ja einfach wirklich nicht kennen und jetzt, im Nachhinein, ja leider auch nicht live erleben konnten.
Präsentationen zu lang	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 13): B: Es war aber teilweise, also die Präsentationen waren teilweise sehr sehr lang und sehr sehr voll, also so dass man irgendwann einfach nicht mehr richtig zuhören konnte.
mehr didaktische Aspekte	3 (0/3) (3/0/0/0)	BP03 (Z 13): B: Das Einzige, was ich vielleicht schöner gefunden hatte, wenn man in den Präsentationen vielleicht schon ein bisschen didaktisches mit drin gehabt, hätte in Bezug auf die Schule, aber ja und dass wir das danach selbst auch schauen sollten, habe ich eigentlich nichts Großartiges auszusetzen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Praktischer Teil – positive Aspekte		
gute Alternative zur Laborpraxis	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP04 (Z 13): B: Ja, also besonders gut gefallen hat mir ja auf jeden Fall Ihre Flexibilität in dem Umgang mit den Bedingungen durch die Corona-Pandemie, dass wir eben nicht selber ins Labor gehen konnten, aber das Sie uns das Labor so nach Hause geholt haben und das wir es trotzdem geschafft haben irgendwie Kontakt zu den Versuchen zu bekommen und diese halt auch auszuwerten. Also das wir uns wirklich damit auch noch ein bisschen intensiver beschäftigt haben.
Videos	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP07 (Z 15): B: Also gut, ähm [Pause] (-), wie wir dann am Ende das gemacht haben mit Videos, weil (-), ja, bei manchen (-) Praktika mussten wir dann, ja, hatten wir keine Videos. Also was ich (unv., Rauschen des Mikrofons) ... diese Videos habe ich richtig gut gefunden.
Aufbereitung der Versuche/Versuchsvorschriften	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP01 (Z 13): B: Also besonders gut, muss ich sagen, hat mir gefallen, wie die Versuche aufbereitet wurden …
Praktischer Teil – negative Aspekte		
keine eigene praktische Anwendungsmöglichkeit	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 11): B: Ähm [Pause] (-), was mir weniger gut gefallen hat war, zum einen war es natürlich unfassbar schade, dass wir jetzt das Ganze nicht praktisch machen konnten. Das war natürlich einfach ein großer Dämpfer, mit dem wir nicht rechnen konnten. Das war tatsächlich (sehr?) schade, weil ich es gern in der Praxis gesehen hätte und was ich mir vielleicht persönlich deswegen gewünscht hätte ist, auch wenn ich weiß, dass in der Lebensmittelchemie und vor allem auch in der Industrie, Methoden, Untersuchungsmethoden wie HPLC und Gaschromatographie und sonstiges gang und gäbe sind, dass das eben in der Schule nicht immer so einfach ist.

Der theoretische Teil des Seminars wird von den Studierenden überwiegend als positiv bewertet. Dabei empfanden sechs Teilnehmer:innen den theoretischen Input über die Lebensmittelgruppen und über die verschiedenen Geräte der instrumentellen Analytik als positive Aspekte. Zudem gaben vier Studierende als positiven Aspekt an, dass die verschiedenen Inhaltsstoffe der

Lebensmittel chemisch betrachtet worden sind, inklusive der Strukturformeln. Besonders beliebte Lebensmittelgruppen waren bei den Chemie-Lehramtsstudierenden Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade (vier Nennungen), alkoholische Getränke (drei Nennungen), Honig (zwei Nennungen), Obst und Gemüse (zwei Nennungen) sowie die Energydrinks (eine Nennung). Bei den Methoden der instrumentellen Analytik hat sich als besonders beliebt die Photometrie (vier Nennungen) herausgestellt, gefolgt von der Dünnschichtchromatographie (drei Nennungen), der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (zwei Nennungen), sowie der Enzymatik und der Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (jeweils mit einer Nennung).

Auch die Betrachtung der Wirkung der Inhaltsstoffe auf den Körper wurden von zwei befragten Personen als positiv bezeichnet.

Als negative Aspekte des theoretischen Teils des Seminars gab die Hälfte der Studierenden an, dass insgesamt zu viel Input vermittelt worden ist, sodass die Konzentration irgendwann nachgelassen hat und sie kein weiteres Wissen aufnehmen konnten. Gerade die rechtlichen Aspekte sind nach drei Teilnehmer:innen zu ausführlich ausgefallen. Stattdessen nannten drei Studierende, dass es schön gewesen wäre, wenn dafür noch mehr didaktische Aspekte betrachtet würden, sodass eine einfachere Umsetzung in der Schule erfolgen könnte.

Der praktische Teil des Seminars, der für die Gruppe der Chemie-Lehramtsstudierenden, aufgrund der COVID-19-Pandemie leider nicht stattfinden konnte, wurde dennoch durch die gewählte Alternative insgesamt als positiv angesehen (5 Nennungen). Drei Studierende haben die gute Alternative zur Laborpraxis hervorgehoben und weitere zwei Teilnehmer:innen die Videos zu ausgewählten Versuchen, sodass sie das Gefühl hatten, dass die praktische Laborarbeit zu ihnen nach Hause geholt worden ist. Ebenfalls haben zwei Studierende die Aufarbeitung der Versuche und die Versuchsvorschriften als besonders positiv hervorgehoben, sodass mithilfe der Videos und der Versuchsvorschriften keine Fragen offengeblieben sind und auch eine Auswertung mit theoretischen Werten erfolgen konnte. Demnach sind einige Studierende der Meinung, dass sie mithilfe der Versuchsvorschriften die Versuche praktisch im Labor, ohne Schwierigkeiten, durchführen können.

8.2.2.5 Qualität der Experimente im Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Um zu bewerten, welche Qualität die Experimente des praktischen Teils des Seminars für die Chemie-Lehramtsstudierenden aufweisen, wurden verschiedenen induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-9 entnommen werden können.

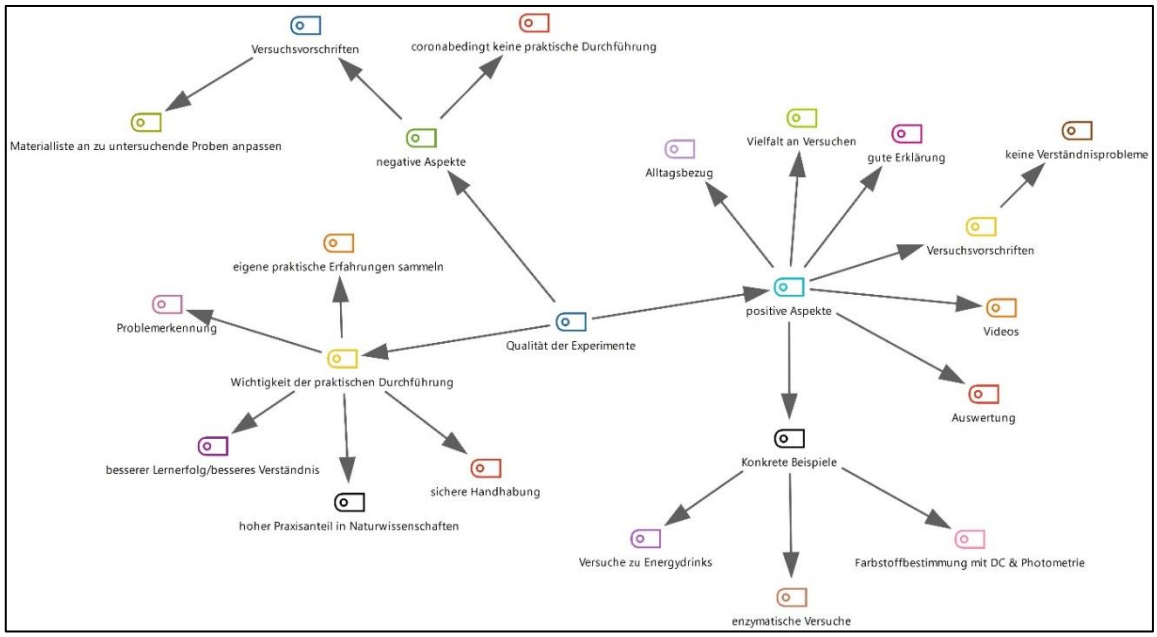


Abbildung 8-9 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich der Qualität der Experimente [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-9 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-9 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-9 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zur Qualität der Experimente

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
positive Aspekte		
Alltagsbezug	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 29): B: Diesen Alltagsbezug zu haben, dass ich quasi (-) Lebensmittel, die ich auch einfach bei mir zu Hause im Regal stehen habe oder im Kühlschrank liegen habe, sich daraus wirklich so einfach so eine Probe machen kann, die ich dann analysieren kann, das fand ich irgendwie auch cool.
Vielfalt an Versuchen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 51): B: Und dann natürlich die Vielfalt. Also das wir wirklich dann auch jede Lebensmittelgruppe auf mindestens einen Inhaltsstoff untersucht haben.
gute Erklärung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 27): B: … und Sie haben das auch super erklärt, also so kleinschrittig, so wie man es eben selber im Labor dann machen würde und so dass man es auch eben versteht, wenn man gerade zu Hause sitzt, weil das hat mir super gefallen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Versuchs-vorschriften	9 (2/7) (6/1/1/1)	BP05 (Z 55): B: Ja, also dadurch, dass man ja schon selber mal im Labor gearbeitet hatte durch die Praktika an der Uni, konnte man die Versuchsvorschriften sehr sehr gut verstehen. Die waren sehr ausführlich geschrieben, jeder einzelne Schritt war nachvollziehbar und es blieben eigentlich keine Fragen offen bei der Durchführung und auch bei der (Auswertung?)
keine Verständnis-probleme	9 (2/7) (6/1/1/1)	BP01 (Z 29): B: Ich hatte gar keine Probleme. Das lief alles super.
Videos	8 (1/7) (6/1/0/1)	BP03 (Z 31): B: Ja, ich fand sowieso die Idee von den Videos, die Sie gemacht haben, super. Ich habe mir die angeschaut und ja, es war allein schon durch den Text hat man schon alles gut nachvollziehen, aber durch diese bildliche Veranschaulichung, ja, hat man irgendwie noch mehr dazugelernt, weil man auch wusste, okay wie sehen diese Geräte aus, wie macht man das direkt und, ja …
Auswertung	5 (0/5) (4/0/0/1)	BP04 (Z 31): B: Ich fand vor Allem auch den Auswertungsteil sehr hilfreich. Die Auswertung ging auch ohne, dass ich den Versuch durchgeführt habe, fiel mir das sehr leicht die zu Hause dann vorzunehmen.
konkrete Beispiele		
Versuche zu Energydrinks	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 27): B: Das heißt, ähm [Pause] (-), ich fand das Thema Energydrinks, was ich ja selber für meine Ausarbeitung gewählt habe (unv., schlechte Internetverbindung) und interessant, weil es eben diese (Nähe?) hat …
enzymatische Versuche	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 41): B: An sich diese Enzymatik, diese Sachen, wo man dann nun auch wusste, dass das irgendwie verarbeitet wird, diese Inhaltsstoffe. Nicht nur direkt so gemessen wird, das fand ich auch, das fand ich interessant.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Farbstoffbestimmung mit Dünnschichtchromatographie und Photometrie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 29): B: Ähm [Pause], mir hat wirklich, das habe ich ja vorhin auch schon einmal angesprochen, mir hat wirkliches dieses, ich glaube, das war als wir die Farbstoffe in den alkoholischen Getränken gemacht haben. Das fand ich einfach super cool, aber ich glaube, dass liegt vielleicht auch da einfach, also Farbstoffe sind halt auch einfach cool, weil man sie gut sehen kann und, das hat mir sehr gut gefallen, wie gesagt, diese Herangehensweise mit der DC so eine Voruntersuchung machen und dann mit der Photometrie überprüfen.
negative Aspekte		
coronabedingt keine praktische Durchführung	4 (2/2) (2/1/1/0)	BP05 (Z 51): B: Schade war natürlich, dass wir sie nicht selbst durchführen konnten …
Versuchsvorschriften		
Materialliste an zu untersuchende Proben anpassen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 29): B: Eine Sache, die aufgefallen ist, ist natürlich, die Versuchsvorschrift war natürlich immer für eine Probe in den meisten Fällen ausgedacht. Das heißt, das ist für die Laborpraxis an sich bestimmt sehr sehr sehr sehr praktisch, vor allem wenn man sonderlich viele Proben hat. Es war (-) vielleicht am Anfang so ein bisschen verwirrend zu sehen, dass Materialliste und (-) Stoffliste oder Inhaltsstoffliste nicht immer 100%ig aufeinander abgepasst waren. Das heißt in der (Liste?) der möglichen Substanzen standen dann vier, fünf verschiedene (Lebensmittel?) die untersucht werden können, wo hingegen dann häufiger mal bei den Materialien eben für genau (eine?) Versuchsdurchführung das Ganze (angegeben?) war. Ich bin mir aber auch nicht sicher, ob es nicht andernfalls zu überschlagen wäre, wenn man alles auf einmal angeben würde, also, wenn man das Ganze mal eben vervier- oder verfünffachen würde für die jeweilige Anzahl an Messungen, die man durchführt, …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Wichtigkeit der praktischen Durchführung		
sichere Handhabung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 33): B: Ich finde es sehr wichtig. Allein dadurch, dass die Laborarbeit, man wird ja allein das man das selbst macht viel viel sicherer, auch wenn man es dann zum Beispiel in der Schule mal irgendwie sowas machen kann, falls es natürlich möglich ist von der Ausstattung her, ja, würde einem das ja auf jeden Fall richtig viel geben, wenn man das selbst schon mal gemacht hat und nicht nur gesehen hat, einfach weil man sagt ja sowieso immer Übung macht den Meister und je mehr man selbst halt durchführt, desto besser wird man auf jeden Fall.
hoher Praxisanteil in Naturwissenschaften	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 35): B: Richtig wichtig. Also (-) ich finde generell in so gut wie allen Naturwissenschaften eigentlich ein sehr hohen experimentellen Anteil ziemlich wichtig, weil also nicht nur (-), weil es eben eine gewisse Kompetenz ausbildet, dass man irgendwie halt Versuchsvorschriften verstehen und umsetzen kann und halt so ein bisschen experimentelles Geschick erlernt, …
besserer Lernerfolg/ besseres Verständnis	5 (2/3) (3/1/1/0)	BP02 (Z 43): B: Sehr wichtig (LACHEN). (-) Also das, äh [Pause] (-), bei den Instrumenten, die wir gesehen haben, war es häufig so, dass ich mir das erst durchgelesen habe und dachte: „Oh, was genau ist damit gemeint? Das habe ich irgendwie noch nicht gehört." (-) Und dann im Labor aber: „Ach, okay.", also im Video. Das, genau, und ich glaube man prägt sich das auch viel mehr ein, wenn man das wirklich mal gemacht hat, gesehen hat die einzelnen Schritte, man versteht was das, warum man das macht …
Problemerkennung	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 59): B: Hmm [Pause] (-), ich halte das schon für wichtig, da bei (unv., Störung der Internetverbindung) (-) ... ein paar Durchführungen auch nochmal Aspekte oder Probleme oder Fragen offen werden, die man so in der Theorie vielleicht gar nicht vermuten kann, weil man es einfach nicht selber gemacht hat.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
eigene praktischen Erfahrungen sammeln	6 (2/4) (3/1/1/1)	BP03 (Z 33): B: Ich finde es sehr wichtig. Allein dadurch, dass die Laborarbeit, man wird ja allein das man das selbst macht viel viel sicherer, auch wenn man es dann zum Beispiel in der Schule mal irgendwie sowas machen kann, falls es natürlich möglich ist von der Ausstattung her, ja, würde einem das ja auf jeden Fall richtig viel geben, wenn man das selbst schon mal gemacht hat und nicht nur gesehen hat, einfach weil man sagt ja sowieso immer Übung macht den Meister und je mehr man selbst halt durchführt, desto besser wird man auf jeden Fall.

Die Resonanz zur Qualität der Experimente ist bei den Chemie-Lehramtsstudierenden fast durchgängig positiv ausgefallen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass neun Studierende angegeben haben, keine Probleme beim Verständnis der Versuchsvorschriften gehabt zu haben. Zudem nannte die Hälfte aller Studierenden die Auswertung als positiven Aspekt. Die Auswertung sei gut strukturiert und klar verständlich, sodass man die Auswertung auch gut von zu Hause aus mit den theoretischen Werten durchführen konnte. Ein weiterer positiver Aspekt, der hervorzuheben ist, sind die erstellten Videos zu ausgewählten Experimenten, die den Studierenden zur Verfügung gestellt worden sind, sodass die Teilnehmer:innen alle thematisierten Geräte der instrumentellen Analytik einmal kennenlernen konnten. Dies haben neun Studierende angegeben. Weiterhin haben zwei Teilnehmer:innen die Vielfalt der verschiedenen Versuche angeführt. Eine befragte Person nannte den hohen Alltagsbezug, der durch die Verwendung von Lebensmitteln für die Versuche ausgeht.

Als negativer Aspekt wurde von zwei Studierenden ausschließlich angemerkt, dass aufgrund der COVID-19-Pandemie leider keine praktische Durchführung der Experimente möglich war.

Wenn über die Qualität der Experimente gesprochen wird, sollte auch die Wichtigkeit der praktischen Durchführung der Experimente thematisiert werden. Insgesamt sind die Chemie-Lehramtsstudierenden der Meinung, dass es sehr wichtig ist, die Experimente selbst praktisch durchzuführen. Als Gründe für die Wichtigkeit wurden von der Hälfte der Studierenden genannt, dass sich durch die eigene praktische Durchführung der Lernerfolg und das Verständnis verbessert. Sechs Teilnehmer:innen sind der Meinung, dass man durch die Durchführung der Experimente eigene praktische Erfahrungen sammeln kann, die für den späteren Chemieunterricht in der Schule Vorteile mit sich bringen. Dies wird durch die Aussage einer befragten

Person unterstützt, weil man sich dadurch in der Handhabung sicherer fühlt. Weitere zwei Teilnehmer:innen denken, dass man durch die praktische Durchführung noch Probleme im Ablauf und der Versuchsvorschrift erkennen kann, die qualitätsverbessernd wirken können. Demnach kann festgehalten werden, dass es wichtig ist, die Versuche auch wirklich praktisch durchzuführen und nicht nur theoretisch zu besprechen.

8.2.2.6 Lernerfolg durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Um zu bewerten, welchen Lernerfolg die Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar erreicht haben, wurden verschiedene induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-10 entnommen werden können.

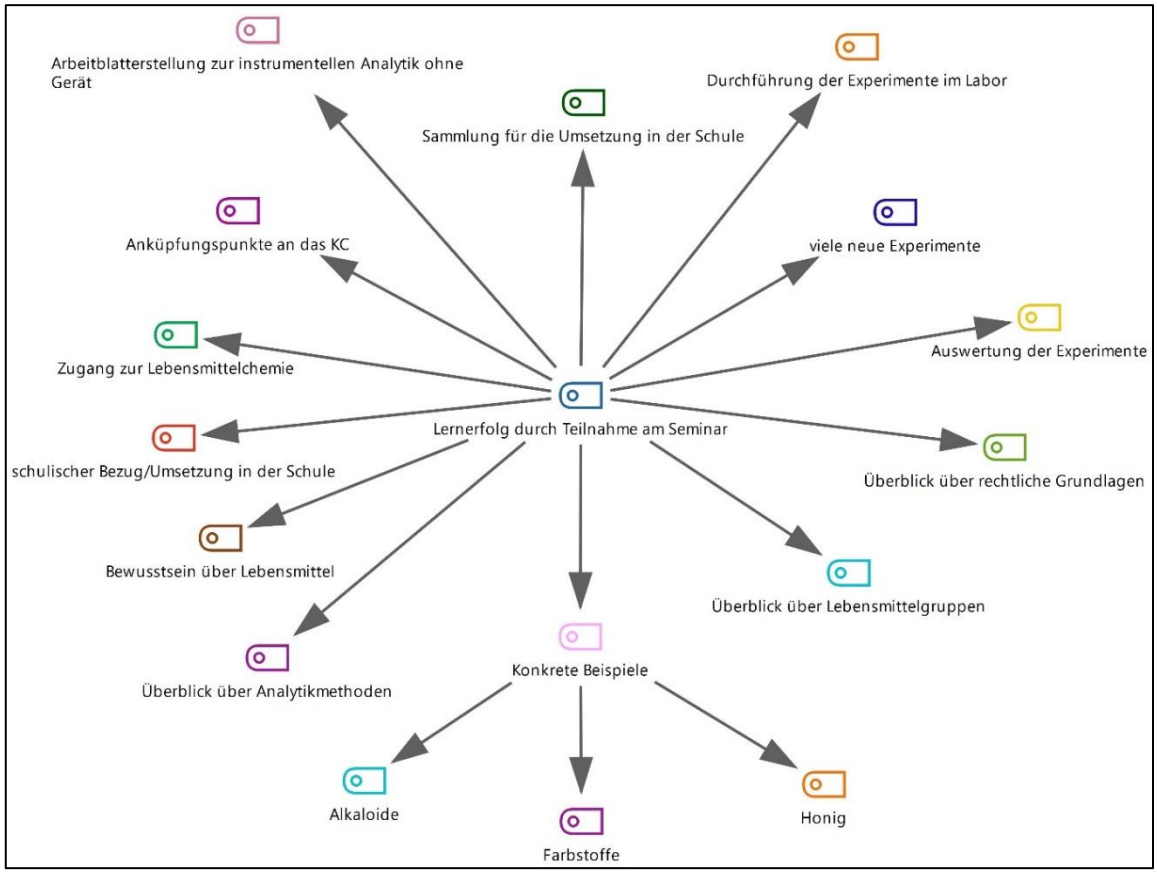


Abbildung 8-10 Darstellung der induktiven Kategorien zum Lernerfolg der Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-10 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-10 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-10 Kategorien zum Lernerfolg der Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Sammlung für die Umsetzung in der Schule	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP01 (Z 64): B: … und ich nehme natürlich aus dem Seminar mit das ich jetzt so mein Sammelsurium habe, wenn ich das in der Schule mal selber durchführen möchte, dass ich auf jeden Fall weiß, wo ich nachgucken kann und schon zumindest erste Anhaltspunkte habe.
Durchführung der Experimente im Labor	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 85): B: Ähm [Pause], ja, aber natürlich auch die Verfahrensweisen mit dem man dann im Labor arbeiten kann, …
viele neue Experimente	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP05 (Z 105): B: Ich habe viele Versuche mitgenommen, die ich vorher noch nicht kannte und (-), die auch gut selbst, mit natürlich den richtigen Gerätschaften durchführbar sind, ohne allzu großen Aufwand.
Auswertung der Experimente	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 85): B: Ähm [Pause], ja, aber natürlich auch die Verfahrensweisen mit dem man dann im Labor arbeiten kann, die Auswertungen …
Überblick über Lebensmittelgruppen	7 (1/6) (5/0/1/1)	BP04 (Z 53): B: Also, zuallererst habe ich ganz viele verschiedene Lebensmittelgruppen kennengelernt, von denen ich vorher unter Umständen auch gar nicht dachte, dass sie so differenziert auch existieren und es ja auch noch viel mehr gibt, was mich auch irgendwie, ja, also (LACHEN) ich denke das habe ich gelernt.
Überblick über Analytikmethoden	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP04 (Z 53): B: Dann habe ich auf jeden Fall (-) verschiedene Methoden zur Analytik in der Lebensmittelchemie kennengelernt und wie sie da funktionieren und das finde ich auch sehr interessant …
Überblick über rechtliche Grundlagen	4 (1/3) (3/0/1/0)	BP09 (Z 51): B: Ich habe sehr sehr viel dazugelernt, was wirklich rechtliche Vorschriften sind, solche Sachen mit den, hatten wir ja gesagt, da hat sich eine ganz neue Welt irgendwie aufgemacht von Grundlagen, von denen man vorher noch nicht so wusste.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Bewusstsein über Lebensmittel	6 (1/5) (5/1/0/0)	BP08 (Z 89): B: Ähm [Pause] und (-) ja, ich glaube also ich habe es jetzt irgendwie schon ein- zweimal gesagt, aber ich glaube hauptsächlich ein Bewusstsein dafür. Also jetzt nicht nur dafür, dass das eben in der Schule und im Leben so relevant ist und auch, dass ich einfach tatsächlich irgendwie im Alltag öfter über sowas nachdenke und dass mir irgendwie "random", wenn ich irgendwelche Lebensmittel sehe, wenn das mir dann einfällt: "Ach ja hier übrigens, das wirkt so und so" (-) oder so das. (-) Das war, glaube ich, so der größte (-) Input.
schulischer Bezug/Umsetzung in der Schule	6 (1/5) (4/0/1/1)	BP09 (Z 69): B: Das hat großes Interesse daran gehoben, konkrete (Umsetzungsbeispiele?) im Schulalltag zu schaffen. Das heißt, es hat wieder so ein bisschen in den Fingern gekitzelt tatsächlich irgendwann in die Schule zu gehen und so etwas umsetzen zu können.
Zugang zur Lebensmittelchemie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 71): B: Hmm [Pause] (7s), also was ich mitnehme, ist wieder so ein bisschen dieses (-) größere Ganze als so konkrete Dinge, ist auf jeden Fall, dass ich einen Zugang zur Lebensmittelchemie bekommen habe.
Anknüpfungspunkte an das KC	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP04 (Z 69): B: Ich finde auch gerade die Auseinandersetzung mit dem KC, fand ich sehr gut, wie wir das gemacht haben (-), dass wir wirklich einmal ganz genau geguckt haben, wo kann ich eigentlich alles anknüpfen (-) und das ist tatsächlich auch etwas, was mich auch nachhaltig, glaube ich, also abseits vom Seminar insgesamt sehr mitnimmt, dass man wirklich das KC ganz genau liest und sich ganz genau guckt, was habe ich für Spielräume und wie kann ich die vielleicht auch mit Dingen füllen, die ich persönlich als sinnvoll erachte, die ja auch wirklich sinnvoll sind. Natürlich muss das gegeben sein.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Arbeitsblatterstellung zur instrumentellen Analytik ohne Gerät	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 85): B: Und zwar wie und wo ich das am besten mit einordnen kann und auch vor allem auch dadurch, dass wir selbst mal eine Studienleistung erbringen mussten und gucken mussten, wie man ein Arbeitsblatt erstellt in Bezug auf zum Beispiel die HPLC, …
konkrete Beispiele		
Alkaloide	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 64): B: … was man mit Lebensmittelchemie überhaupt so erreichen kann, was man (-) da alles rausfinden kann und auch mit den Farben, Farbstoffen, die da drin sind oder auch Alkaloide, was da alles drin ist, wie man das eben ja (-) erforschen kann, sage ich jetzt mal so.
Farbstoffe	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 64): B: … was man mit Lebensmittelchemie überhaupt so erreichen kann, was man (-) da alles rausfinden kann und auch mit den Farben, Farbstoffen, die da drin sind oder auch Alkaloide, was da alles drin ist, wie man das eben ja (-) erforschen kann, sage ich jetzt mal so.
Honig	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 64): B: Das hinter einem Lebensmittel doch mehr steckt als man erst mal (LACHEN) so (LACHEN) denkt , also auch, ähm [Pause], Honig jetzt speziell, damit hatte ich mich auch, wie gesagt, für die Studienleistung auseinandergesetzt.

Die Chemie-Lehramtsstudierenden wurden zum Lernerfolg durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* befragt. Hierbei haben sieben Studierende genannt, dass sie einen Überblick über die verschiedenen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe bekommen haben. Vier Studierende antworteten, dass sie den Lernerfolg im Überblick über die verschiedenen Analytikmethoden der instrumentellen Analytik und deren Anwendung sehen und ebenfalls vier befragte Personen gaben den Überblick über die rechtlichen Grundlagen als Lernerfolg an. Neben dem Überblickswissen über die Lebensmittelgruppen, die Analytikmethoden und die rechtlichen Grundlagen wird von mehr als der Hälfte der Studierenden (6 Nennungen) das Bewusstsein über die Lebensmittel genannt, sodass eine Thematisierung in der Schule relevant ist und dass sie sich auch im ihrem Alltag mehr mit Lebensmitteln auseinandersetzen und darüber nachdenken, welche Inhaltsstoffe enthalten sind und wie ein Inhaltsstoff wirkt. Die

Umsetzung der Thematik beziehungsweise der schulische Bezug wurde von sechs Teilnehmer:innen genannt. So konnte bei mehr als der Hälfte aller Teilnehmer:innen das Interesse geweckt werden, die Thematik der Lebensmittelchemie mit in die Schule zu nehmen und dort mit den Schüler:innen umzusetzen, um ihnen Wissen über alltägliche Lebensmittel zu vermitteln. Um die Thematik im schulischen Chemieunterricht auch umsetzen zu können, haben zwei befragte Personen hervorgehoben, dass sie nun über eine Sammlung im Bereich der Lebensmittelchemie verfügen, sodass eine Umsetzung im schulischen Chemieunterricht möglich ist. Damit verbunden sahen drei Studierende den Lernerfolg darin, dass die Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula der Unterrichtsfächer Chemie und Biologie, sowohl für die Sekundarstufe I als auch für die Sekundarstufe II, diskutiert und offengelegt wurden. Dadurch haben die Studierenden viele Anknüpfungsmöglichkeiten der Lebensmittelchemie erhalten, wodurch sie sich überlegen können, an geeigneten Stellen die Lebensmittelchemie in den schulischen Unterricht zu integrieren. Einige Teilnehmer:innen gaben an, dass sie durch die Experimente Neues dazugelernt haben. So lag der Lernerfolg von zwei Studierenden im Kennenlernen vieler neuer Experimente, die in der Schule umgesetzt werden können, ebenfalls zwei Studierende nannten die Durchführung der Experimente im Labor, wobei die Verfahrensweisen der praktischen Laborarbeit gemeint waren. Daneben gab eine befragte Person an, dass der Lernerfolg vor allem in der Auswertung der verschiedenen Methoden liegt.

8.2.2.7 Besondere Aspekte/Inhalts des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*

Um bewerten zu können, was die Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar gelernt haben, werden auch die, von den Teilnehmer:innen genannten besonderen Aspekte und Inhalte, betrachtet. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden induktive Kategorien zu den besonderen Aspekten und Inhalten des Seminars gebildet, die aus Abbildung 8-11 entnommen werden können.

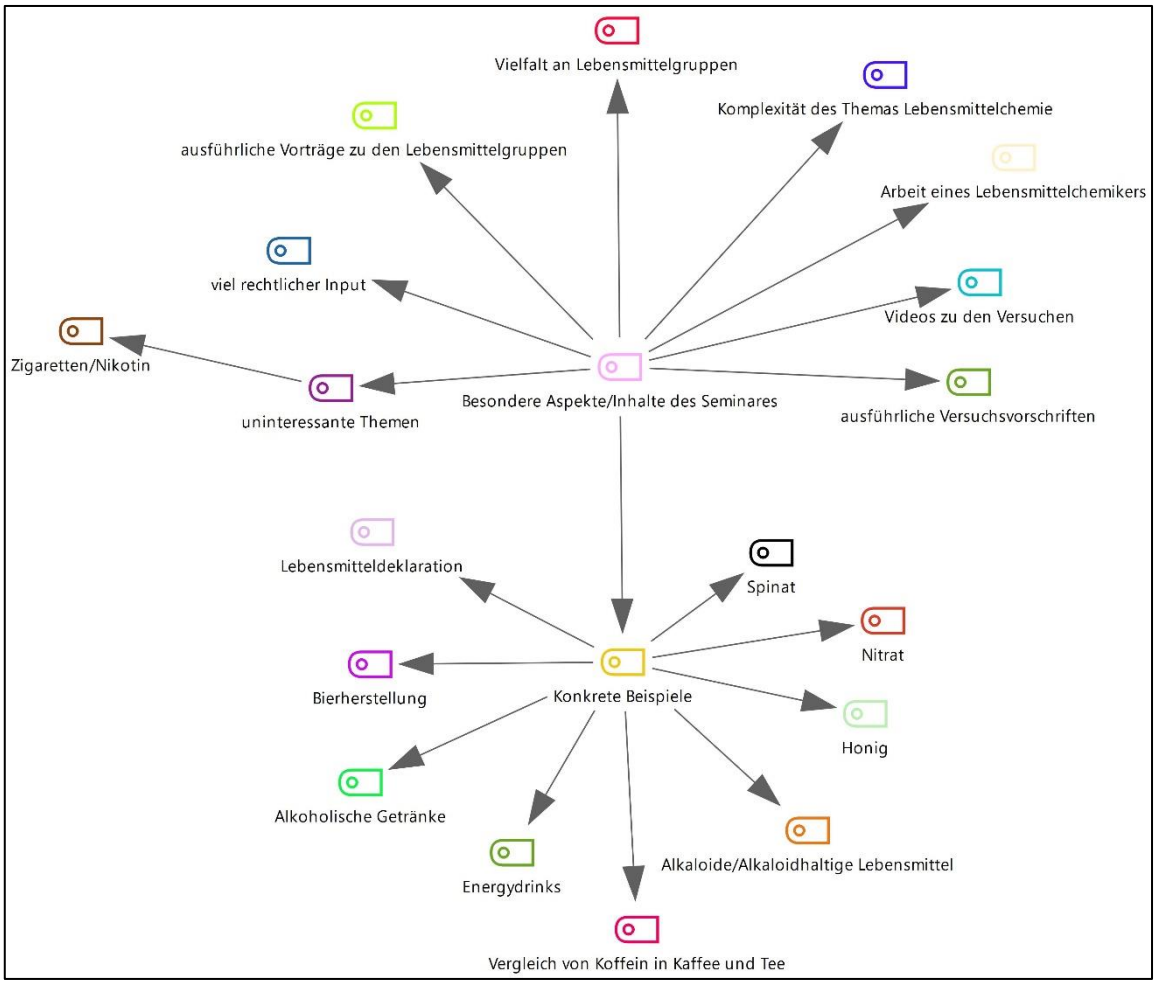


Abbildung 8-11 Darstellung der induktiven Kategorien zu den besonderen Aspekten und Inhalten des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-11 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-11 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-11 Kategorien zu den besonderen Aspekten und Inhalten des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule*

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Vielfalt an Lebensmittelgruppen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP09 (Z 55) B: Ich mochte die Vielfalt. Ich mochte, dass wir tatsächlich einiges an Themen durchgegangen sind, was Lebensmittelgruppen, was wirklich für uns (-) bekannte Sachen sind, wie eben beispielsweise diese ganze Welt der alkoholfreien/alkoholhaltigen Getränke, die alltagsnah wirklich für jeden greifbar sind, die halt einfach (-) auf einmal in einem neuen Licht standen und das hat mir unfassbar gut gefallen und zum anderen hat es mir halt gezeigt, dass das ja auch nur ein kleiner Ausschnitt ist.
Komplexität des Themas Lebensmittelchemie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 53): B: … ähm [Pause], dass es teilweise sehr sehr komplex ist und das auch ich dadurch für mich gelernt habe, egal wie interessant die sind, an welchen Punkten man tatsächlich didaktisch reduzieren muss.
Arbeit eines Lebensmittelchemikers	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 73) B: Ähm [Pause] (-) ansonsten würde ich sagen, dass ich auch mir ein bisschen besser vorstellen kann, was, äh [Pause] (-), in Lebensmittel-Laboren passiert, also was die Arbeit eines Lebensmittelchemikers ist, ähm [Pause] (-), wie viel da kontrolliert werden kann und muss …
Videos zu den Versuchen	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP04 (Z 55) B: … aber ich fand schon, ich war schon sehr beeindruckt, als ich das erste Video geguckt habe. Also, weil ich das irgendwie total, also weil ich einfach von der Situation überrascht war, wie sehr es mir das wirklich nach Hause geholt hat und wie sehr ich mich da eigentlich gefühlt habe, als wäre ich dabei, weil ich Ihnen so gut über die Schulter gucken konnte.
ausführliche Versuchsvorschriften	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 63): B: Auch die Verfahren, wie man es dann im Labor macht und vor allem die Auswertung, das fand ich sehr sehr interessant und auch eigentlich sehr sehr cool. Das man das wirklich so machen kann und wirklich mit dem Werten wirklich was anfangen kann und die vergleichen kann und daraus ein Ergebnis ziehen kann, eine Schlussfolgerung.
ausführliche Vorträge zu den Lebensmittelgruppen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 49): B: … sind es tatsächlich eher die ausgiebigen, ja, Ausflüge in die verschiedenen Vorträge, die tatsächlich mir eher in Erinnerung geblieben sind, wo man die verschiedensten Vorgänge, wie Tee oder, ja, Bier-, Weinherstellung und ähnliches …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
viel rechtlicher Input	3 (0/3) (3/0/0/0)	BP09 (Z 53): B: Äh [Pause], zum einen ist mir deutlich in Erinnerung geblieben, dass ich gelernt habe, ich kann mir nicht 45 Minuten Rechtsgrundlagen anhören. Also das ich die dann partout nicht, also, ich weiß, warum ich nicht Jura studiere …
konkrete Beispiele		
Spinat	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 73): B: Ähm [Pause] (-), das sind (-), ja (-), wieder die Beispiele, die ich eigentlich (LACHEN), die ich schon genannt hatte mit dem Spinat …
Nitrat	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 68): B: Nitrat, genau, bezüglich Nitrat.
Honig	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 51): B: Und auch an den Honig-Vortrag.
Alkaloide/ alkaloidhaltige Lebensmittel	3 (1/2) (2/1/0/0)	BP05 (Z 109): B: … geblieben ist aus persönlichem Interesse, die Thematik Kaffee, Schokolade und Tee.
Vergleich von Koffein in Kaffee und Tee	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 73): B: Am meisten erinnern/besonders angesprochen, ähm [Pause], woran ich mich am meisten erinnere, ist tatsächlich der Vergleich zwischen Koffein und Teein und warum es so unterschiedlich wirkt.
Energydrinks	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 73): B: Aber gerade so den Bereich der Energydrinks, Kaffee, Tee, das fand ich, glaube ich, spannend.
alkoholische Getränke	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP06 (Z 51): B: Ähm [Pause] (-), ja also am, glaube ich, was bei vielen halt der Fall ist so die Alkohol-Geschichten sind, glaube ich, mit am präsentesten einfach geblieben, weil da die intrinsische Motivation vielleicht auch hoch war, das noch genauer zu verstehen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Bierherstellung	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP10 (Z 71): B: Vielleicht, ja beim Thema Bier vielleicht, wie die Herstellung genau ist, weil das fand ich schon mal interessant. Wusste ich halt auch vorher nicht. Wie das jetzt genau, wie man überhaupt Bier braut (-), das fand ich mal, was da alles, dass das relativ viele Schritte sind alles. Also das ist jetzt nicht einfach irgendwie zusammenkippen, einmal aufkochen und dann fertig ist, sondern dass das schon deutlich mehr zugehört.
Lebensmitteldeklaration	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 73): B: Ich sehe die Etiketten auf Lebensmitteln und so. (-) Das ist wirklich konkret hängen geblieben.

Aspekte, die den Chemie-Lehramtsstudierenden aus dem Seminar besonders in Erinnerung geblieben sind, sind vor allem die Videos zu den Versuchen (drei Nennungen) und der Input zum Lebensmittelrecht in Bezug zu den verschiedenen Inhaltsstoffen der Lebensmittelgruppen (ebenfalls drei Nennungen). Dabei ist auffällig, dass die Erinnerung an die Videos positiv ist, wohingegen die Erinnerung an den rechtlichen Input eher negativ belastet ist. Weitere besondere Aspekte und Inhalte, die von jeweils zwei Teilnehmer:innen genannt worden sind, ist die große Vielfalt an Lebensmittelgruppen, die im Seminar betrachtet worden ist, die ausführlichen Versuchsvorschriften inklusive Auswertung und Informationen unter anderem zum Lebensmittelrecht, sodass eine Bewertung der untersuchten Lebensmittelproben stattfinden kann. Daneben wurde von einer befragten Person die ausführlichen Vorträge zu den Lebensmittel- und Genussmittelgruppen sowie der instrumentellen Analytik hervorgehoben, in denen nicht nur die Lebensmittel, sondern auch die Inhaltsstoffe, die Wirkungen auf den menschlichen Körper, rechtliche Aspekte und Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie betrachtet worden sind.

Neben den allgemeinen Angaben zu den besonderen Aspekten und Inhalten zum Seminar haben einige der Chemie-Lehramtsstudierenden auch konkrete Beispiele für interessante Themenbereiche angegeben. Anhand der Tabelle 8-11 kann entnommen, dass die alkaloidhaltigen Lebensmittel Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade besonders von Interesse waren (drei Nennungen), gefolgt von den alkoholischen Getränken und der Bierherstellung mit jeweils zwei Nennungen.

Zwei Teilnehmer:innen können sich an das Thema Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten mit dem Inhaltsstoff Nikotin erinnern, wobei diese Erinnerung eher negativer Natur ist, weil für die beiden das Thema uninteressant ist, weil sie selbst nicht rauchen.

8.2.3 Warum setzen sich Chemie-Lehramtsstudierende mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander?

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, warum sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinandersetzen, werden verschiedene Fragestellung der Interviews getrennt voneinander betrachtet. Dazu gehört neben der Betrachtung der Auseinandersetzung der Studierenden mit Lebensmitteln im Alltag, auch welche Lebensmittel die Studierenden in ihrem Alltag interessant finden und aus welchen Gründen sie sich für die Teilnahme am Seminar entschieden haben. Daneben wird betrachtet, welche Erwartungen die Studierenden an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* hatten und ob ihre Erwartungen dahingehend erfüllt werden konnten oder nicht.

8.2.3.1 Auseinandersetzung mit Lebensmitteln im Alltag

Zur Beantwortung der Fragestellung, ob sich die Chemie-Lehramtsstudierenden im Alltag mit Lebensmitteln auseinandersetzen, wurden verschiedenen induktive Kategorien aus dem Interviewmaterial gebildet, welche aus Abbildung 8-12 entnommen werden können.

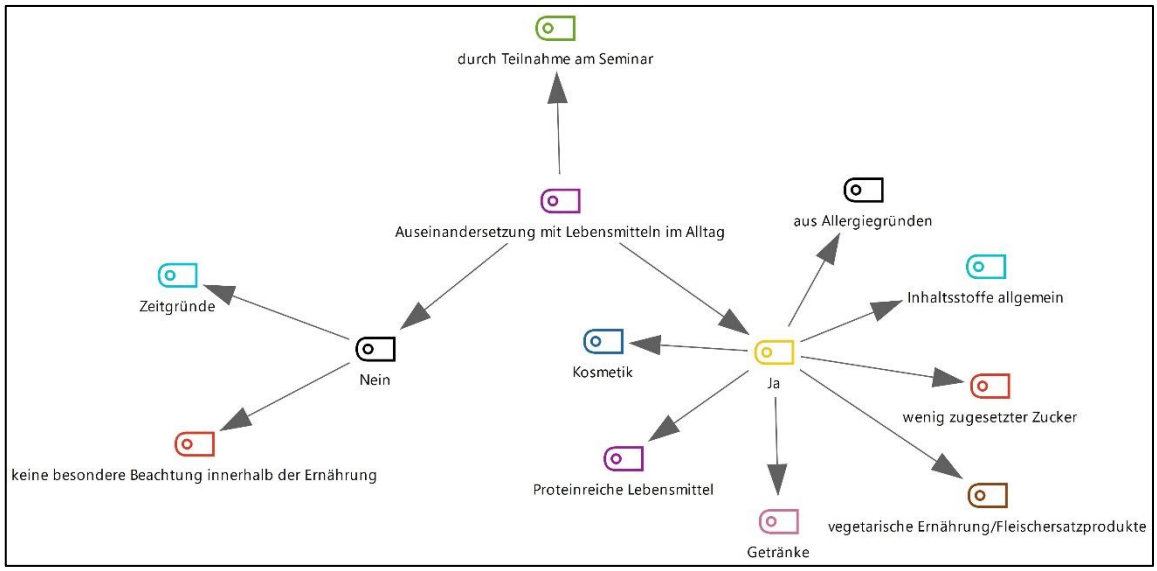


Abbildung 8-12 Darstellung der induktiven Kategorien zur Auseinandersetzung von Chemie-Lehramtsstudierenden mit Lebensmitteln im Alltag [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-12 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-12 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-12 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob und inwieweit sie sich mit Lebensmitteln in ihrem Alltag auseinandersetzen

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Ja		
aus Allergiegründen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 5): B: Ja, tatsächlich schon. Größtenteils aus (privaten?) Interesse, nicht zwingend aus Allergiegründen meinerseits, aber ich habe in meiner Familie sehr viele Menschen mit Lebensmittelunverträglichkeiten, weshalb ich dadurch dann doch schon relativ gezwungen war mich da irgendwann mal einzulesen. Das hat man einfach, auch, wenn man alleine wohnt, irgendwie noch total drin, einfach mal auf die Rückseite zu gucken und dort zu lesen was da drinsteht.
Inhaltsstoffe allgemein	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP04 (Z 5): B: Also, genauer vielleicht nicht, aber das gehört schon irgendwie dazu, für mich zumindest, dass ich mir die Zutatenliste von Lebensmitteln angucke, die ich kaufe, weil es mich einfach interessiert.
wenig zugesetzter Zucker	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 7): B: … ansonsten gucke ich häufig drauf, weil ich einfach, also möglichst wenig Zucker dazugesetzt haben möchte und zum Beispiel die unterschiedlichen Zuckerformen, die dann auch auftauchen, dass man mal guckt, was ist denn eigentlich Glukosesirup oder was ist der Unterschied zum normalen Haushaltszucker und ist der besser (LACHEN), schlechter, wie wirkt der, was auch immer, genau.
vegetarische Ernährung/ Fleischersatzprodukte	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 5): B: Was auch viele nicht so wissen, also ich meine, durch den, ja, den Trend, dass immer mehr auf Fleisch verzichten und vegetarischer leben wollen oder sogar vegan leben wollen, finde ich, ist unsere Generation schon viel mehr damit Berührung, wo man vielleicht auch ersatzweise viel Protein oder ähnliches her bekommen kann und also, ja, ich interessiere mich schon dafür und finde es auch immer spannend, wie kreativ die Leute werden können, um irgendwelche Ersatzstoffe zu finden, aber (-) es ist jetzt nicht, dass ich da selbst drauf achte.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Getränke	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 5): B: Manchmal tatsächlich. Also so bei bestimmten Getränken oder bestimmten Lebensmitteln schaue ich doch oft drauf, was so drin ist, einfach aus Interesse, aber nicht immer.
proteinreiche Lebensmittel	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 5): B: Also das ich mich jetzt mit genauen Nährwerten beschäftige, aber, natürlich weiß man, okay, da ist jetzt besonders viel Protein drin oder ähnliches. Das finde ich schon interessant und spannend.
Kosmetik	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 7): B: … insbesondere auch bei Kosmetik oder so, also (-), dass ich mich da mal genauer hinsetze und gucke, was ist da eigentlich drin und was ist (LACHEN) gut und nicht gut.
Nein		
Zeitgründe	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 5): B: So an sich im Alltag gerade nicht, also nicht jetzt das ich sage, ich habe so viel Freizeit, dass ich mich auch noch damit auseinandersetze. Aber an sich interessiert es mich schon. Also wenn ich denn Zeit hätte, würde ich mich da auch mit auseinandersetzen.
keine besondere Betrachtung in der Ernährung	2 (2/0) (0/1/1/0)	BP10 (Z 5): B: Also jetzt im Alltag nicht wirklich. Also (LACHEN) (-) ich gucke da nicht drauf, wie viel Zucker oder wie viel Fett in irgendwas drin ist oder ob welche Zusatzstoffe da wo enthalten sind. Da achte ich eher nicht drauf.
durch Teilnahme am Seminar	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 5): B: So im Bereich, so Alkohol oder irgendwie andere, ne weiß ich nicht, Nikotin, Koffein in dem Bereich schon so ein bisschen mehr, aber ich glaube, das ist auch tatsächlich jetzt erst mit der Teilnahme an dem Seminar mehr geworden.

Bei der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie sich in ihrem Alltag mit Lebensmitteln auseinandersetzen, haben sechs Teilnehmer:innen mit „Ja“ und vier Teilnehmer:innen mit „Nein“ geantwortet. Dabei haben zwei Studierende als Grund angegeben, dass sie im Alltag nicht besonders auf ihre Ernährung achten. Eine Person, die mit „Nein“ geantwortet hatte, hob jedoch hervor, dass sich dies durch die Teilnahme am Seminar geändert hätte, gerade was alkoholische Getränke, Nikotin und Koffein angeht.

Die Teilnehmer:innen, die mit „Ja“ bei der Auseinandersetzung mit Lebensmitteln im Alltag geantwortet haben, haben ebenfalls verschiedene Gründe dafür angegeben. So gaben zwei Studierende an, dass sie sich die Zutatenlisten von Lebensmitteln anschauen, die sie kaufen, weil sie an den Inhaltsstoffen interessiert sind. Eine Person nannte Allergien und Unverträglichkeiten innerhalb der Familie als Grund, eine andere, dass sie im Alltag darauf achtet, Lebensmittel zu konsumieren, die möglichst wenig zugesetzten Zucker enthalten und eine weitere Person achtet aus persönlichem Interesse bei manchen Lebensmitteln, vor allem bei Getränken, auf die Inhaltsstoffe. Weitere Gründe, die von jeweils einer befragten Person genannt worden sind, ist das Interesse an proteinreichen Lebensmitteln, das Interesse an kosmetischen Mitteln sowie die Betrachtung einer vegetarischen/veganen Ernährung mit Fleischersatzprodukten, die in der heutigen Gesellschaft immer mehr in den Fokus rückt.

8.2.3.2 Lebensmittel, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden im Alltag interessant finden

Welche Lebensmittel, die Chemie-Lehramtsstudierenden in ihrem Alltag besonders interessant finden, kann anhand der induktiven Kategorien aus den Interviewmaterialien entnommen werden, die in Abbildung 8-13 dargestellt sind.

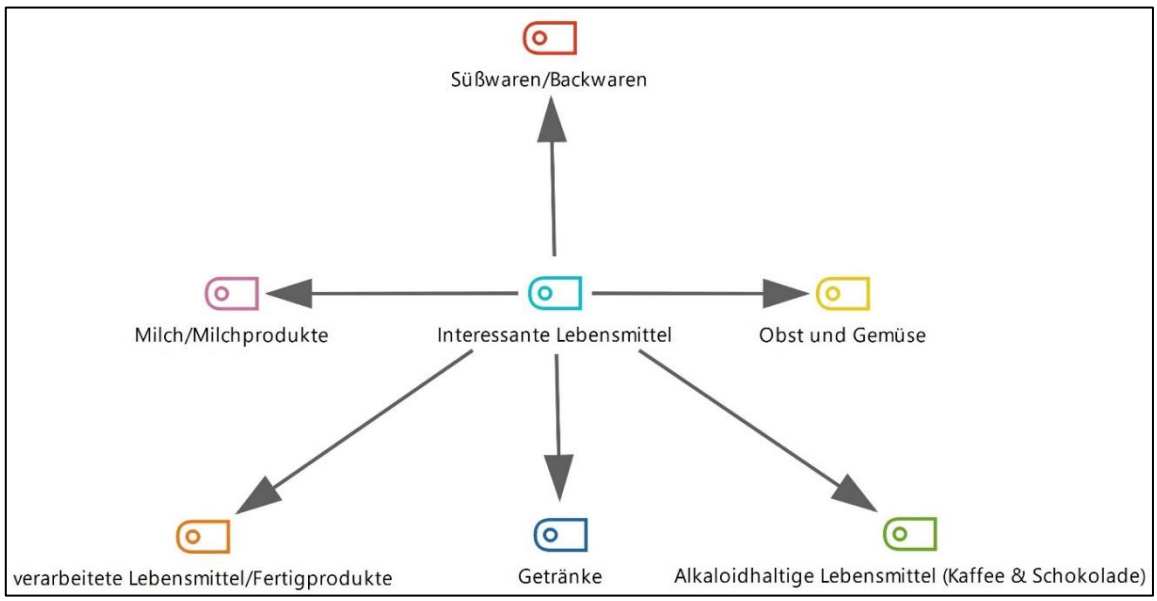


Abbildung 8-13 Darstellung der induktiven Kategorien von Lebensmitteln, welche die Studierenden im Alltag interessieren [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-13 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-13 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-13 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Lebensmittel für sie im Alltag interessant sind

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Süßwaren/ Backwaren	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 7): B: … aber insbesondere natürlich auch bei Süßwaren und Backwaren.
Obst und Gemüse	3 (0/3) (3/0/0/0)	BP06 (Z 7): B: Ja, also der Trend ist ja groß zum, ja, gesunden Leben und also ich versuche auf jeden Fall schon, dass ich auch meiner eigene Ernährung immer genug Obst und Gemüse esse und finde es da auch ganz interessant (-), ja, wie unterschiedlich die wahrgenommen werden zum Beispiel Avocados etwas großes trendmäßiges, was ich persönlich jetzt gar nicht so gerne esse und wo viele auch meinen, dass das so gesund, wo ich sage: "Ja, ihr wisst aber schon, dass das viele Fettsäuren und ähnliches drin sind" (LACHEN). Ähm [Pause], dass also, dass das so gehypt werden kann, dass finde ich immer aus gesellschaftlicher Sicht auch spannend, aber ja, Gemüse und Obst, ist auf jeden Fall was, womit ich mich öfter schon mal auseinandergesetzt habe, ja.
alkaloidhaltige Lebensmittel (Kaffee & Schokolade)	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP02 (Z 7): B: Ähm [Pause], was ich auch im Seminar zum Beispiel sehr spannend fand ist, einfach, weil ich Kaffee liebe (LACHEN), alles um Kaffee oder auch Schokolade. Das fand ich im Seminar interessant. Das habe ich im Vorfeld jetzt noch nicht vertieft begutachtet.
Getränke	3 (1/2) (1/0/1/1)	BP04 (Z 7): B: Also, mich interessieren tatsächlich viel was in Getränken drin ist. Sowieso, allgemein, finde ich Getränke sehr faszinierend, weil man ja eigentlich, also eigentlich bräuchte man ja nur Wasser und man trinkt so viele verschiedene Sachen …
verarbeitete Lebensmittel/Fertigprodukte	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP09 (Z 7): B: Ich habe mich viel damit auseinandergesetzt, wie das so aussieht, was alles in Fertigessen ist, weil eben durch mein Lebensmittel-Seminarfach in der Schule, ich ein Thema hatte was in die Richtung ging und von daher, immer wenn ich irgendwo so Fertiggerichte sehe oder so was wie fünf Minuten Terrinen, dann schau ich da ganz gern mal drauf, was denn da tatsächlich eigentlich wirklich drinsteckt, bevor ich es dann eventuell auch kaufe oder verzehre.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Milch/Milch-produkte	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 7): B: Vielleicht so (-) was vielleicht noch interessant wäre, also wie (-) aus dem Bezug vom Eltern, also ich komme vom Bauernhof und dann vielleicht die Milch, Milchprodukte sind sicherlich interessant.

Auf die Frage, welche Lebensmittel die Chemie-Lehramtsstudierenden im Alltag besonders interessant finden, antworteten zwei Teilnehmer:innen Kaffee und Schokolade. Dabei handelt es sich um Lebensmittel, die viele der Studierenden täglich konsumieren, weshalb hier besonderes Interesse besteht. Weitere drei Studierende nannten Obst und Gemüse. Auch hier wurden als Gründe das persönliche Interesse angegeben, ebenso wie eine gesunde Ernährung, auf die geachtet wird. Ebenfalls drei Antworten fielen auf Getränke, inklusive Energydrinks. Die Studierenden gaben an, dass sie es fasziniert, wie viele verschiedene Getränkearten man konsumieren kann, obwohl der menschliche Körper lediglich Wasser bräuchte. Weiterhin interessant ist die Zusammensetzung der Energydrinks, die von einigen Teilnehmer:innen ebenfalls öfter konsumiert werden. Daneben nannten drei befragte Personen verarbeitete Lebensmittel und Fertigprodukte als besonders interessant, einfach um nachvollziehen zu können, welche Inhaltsstoffe verarbeitet werden, um selbst entscheiden zu können, ob für sie ein Konsum in Frage kommt.

8.2.3.3 Gründe für die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Aus welchen Gründen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden für die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* entschieden haben, kann aus den induktiven Kategorien (Abbildung 8-14) entnommen werden, die aus den Interviewmaterialien abgeleitet worden sind.

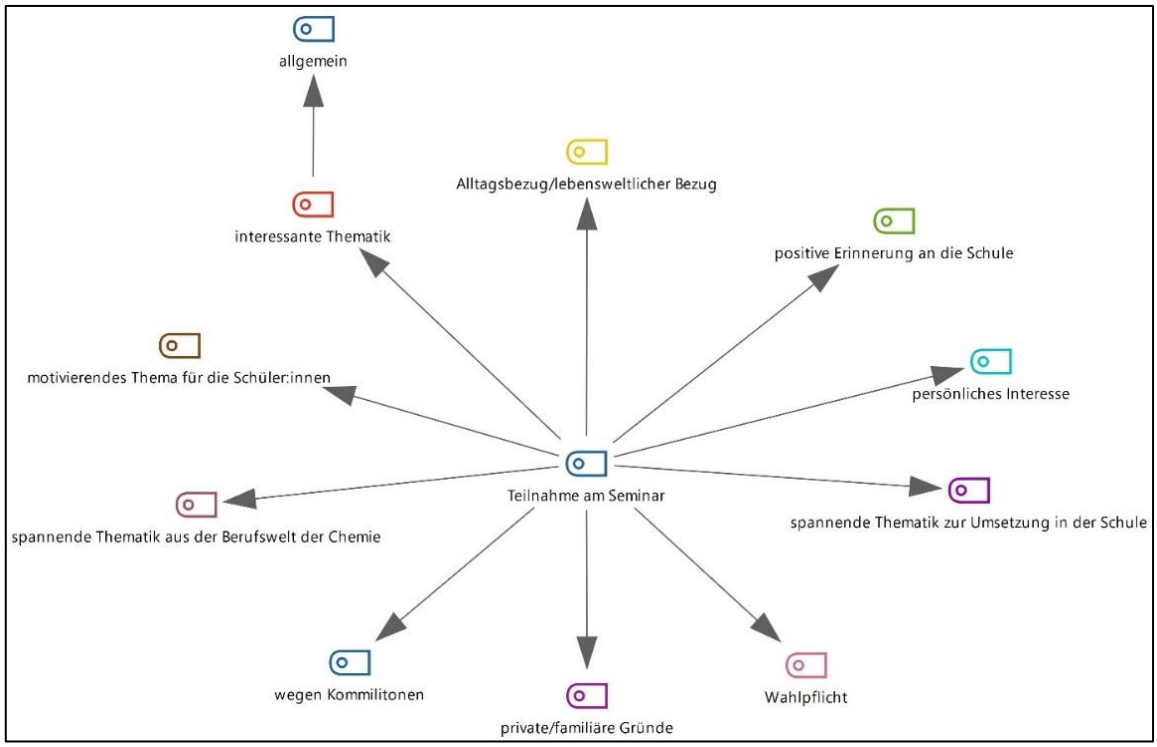


Abbildung 8-14 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, warum sie am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen haben [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-14 dargestellten Kategorie werden in Tabelle 8-14 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorie und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-14 Kategorien der Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, warum sie am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* teilgenommen haben

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Alltagsbezug/ lebensweltlicher Bezug	8 (2/6) (6/1/1/0)	BP06 (Z 3): B: Der Hauptpunkt war, dass ich finde Lebensmittel ist ein sehr alltagsnahes Thema für die Schüler …
positive Erinnerung an die Schule	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP09 (Z 3): B: … zum anderen habe ich selber in der Oberstufe als Seminarfach das Seminarfach Lebensmittelchemie belegt und dort schon mal so ein bisschen mehr reingeschnuppert und wusste, dass das inhaltlich mich einfach interessiert.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
persönliches Interesse	5 (1/4) (4/1/0/0)	BP02 (Z 3): B: Und darüber hinaus finde ich es natürlich auch selbst interessant, was Inhaltsstoffe angeht, also teilweise recherchiere ich auch selbst schon ein bisschen, weil es mich interessiert, was es bedeutet, wenn ich es nicht kenne und deswegen. Genau, das waren so die beiden Hauptargumente.
spannende Thematik zur Umsetzung in der Schule	5 (0/5) (4/0/0/1)	BP09 (Z 3): B: Zum einen hat mich der Titel angesprochen, weil an sich einfach Lebensmittelchemie so alltagsnah ist, dass ich schon vom Anfang an das Gefühl hatte, dass sich das einfach (-) anbietet im Schulunterricht umzusetzen, weil das nur ein lebensweltlicher Aspekt ist, der unabhängig von Interessen, bei eigentlich jedem Schüler irgendwo besteht …
Wahlpflicht	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 3): B: … zunächst einmal mussten wir eins auswählen. Lag ja an der Modulbeschreibung …
private/familiäre Gründe	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 3): B: … zum anderem habe ich zwei private Gründe gehabt das zu machen. Das heißt, zum einen habe ich Familie, die in Richtung Lebensmittelchemie arbeitet.
wegen Kommilitonen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 3): B: Ich muss ehrlich sagen, das kam einfach durch meine Kommilitonen.
spannende Thematik aus der Berufswelt der Chemie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 3): B: Ich glaube der Hauptgrund, weshalb ich mich dazu entschieden habe, ist, dass ich das ein sehr interessantes Thema finde aus der Berufswelt der Chemie …
motivierendes Thema für die Schüler:innen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP06 (Z 3): B: Ich denke mal viele Schüler fragen sich auch, warum manche Sachen so passieren oder warum so gewisse Hausmittel vielleicht funktionieren, die immer Oma oder ähnliches anwendet und wenn man da dann vielleicht dann den chemischen Aspekt dahinter auch erklären kann oder den biologischen, je nachdem, dass das, glaube ich, schon für viele Schüler faszinierend und was sie vielleicht auch in ihren Alltag später mitnehmen können.
Allgemein: interessante Thematik	2 (2/0) (0/1/1/0)	BP08 (Z 3): B: …, weil ich die Thematik irgendwie echt ganz interessant finde …

Als Grund für die Teilnahme am Seminar wurden von acht Teilnehmer:innen angegeben, dass sie sich aufgrund des hohen Alltagsbezuges und dem eigenen Lebensweltbezug der Lebensmittelchemie für eine Teilnahme am Seminar entschieden haben. Aufgrund der Alltagsnähe ist dies ein Thema, welches gut in den schulischen Chemieunterricht mit eingebracht werden kann. Diesen Aspekt vertreten weitere fünf Teilnehmer:innen, indem sie als Grund nannten, dass es sich bei der Lebensmittchemie um eine spannende Thematik handelt, die in der Schule umgesetzt werden kann. Dem hinzu meinten zwei befragte Personen, dass die Lebensmittelchemie, aufgrund des Lebensweltbezuges, ein motivierendes Thema für die Schüler:innen darstellen könnte. Weiterhin stellt die Lebensmittelchemie auch eine spannende Thematik aus dem Berufsfeld der Chemie dar, sodass den Schüler:innen innerhalb der Berufsorientierung die Aufgaben von Lebensmittelchemiker:innen nähergebracht werden können.

Neben dem schulischen Bezug hat die Hälfte aller Teilnehmer:innen das persönliche Interesse an der Thematik als Grund angegeben, weil sich jeder Mensch ernähren muss, und weitere zwei Personen finden die Lebensmittelchemie im Allgemeinen ganz interessant. Zwei befragte Personen konnten sich an die eigene Schulzeit erinnern, in der auch Lebensmittel im schulischen Chemieunterricht eingesetzt worden sind und ein Seminarfach zur Lebensmittelchemie angeboten worden ist. Demnach hatten die Teilnehmer:innen positive Erinnerung an Lebensmittel aus ihrer eigenen Schulzeit.

8.2.3.4 Erwartungen an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, warum sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mit der Thematik *Lebensmittelchemie in der Schule* auseinandersetzen, wurde im Interview auch nach ihren Erwartungen an das Seminar gefragt und ob sich ihre Erwartungen dahingehend erfüllt oder auch nicht erfüllt haben. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden induktive Kategorien gebildet, die aus Abbildung 8-15 entnommen werden können.

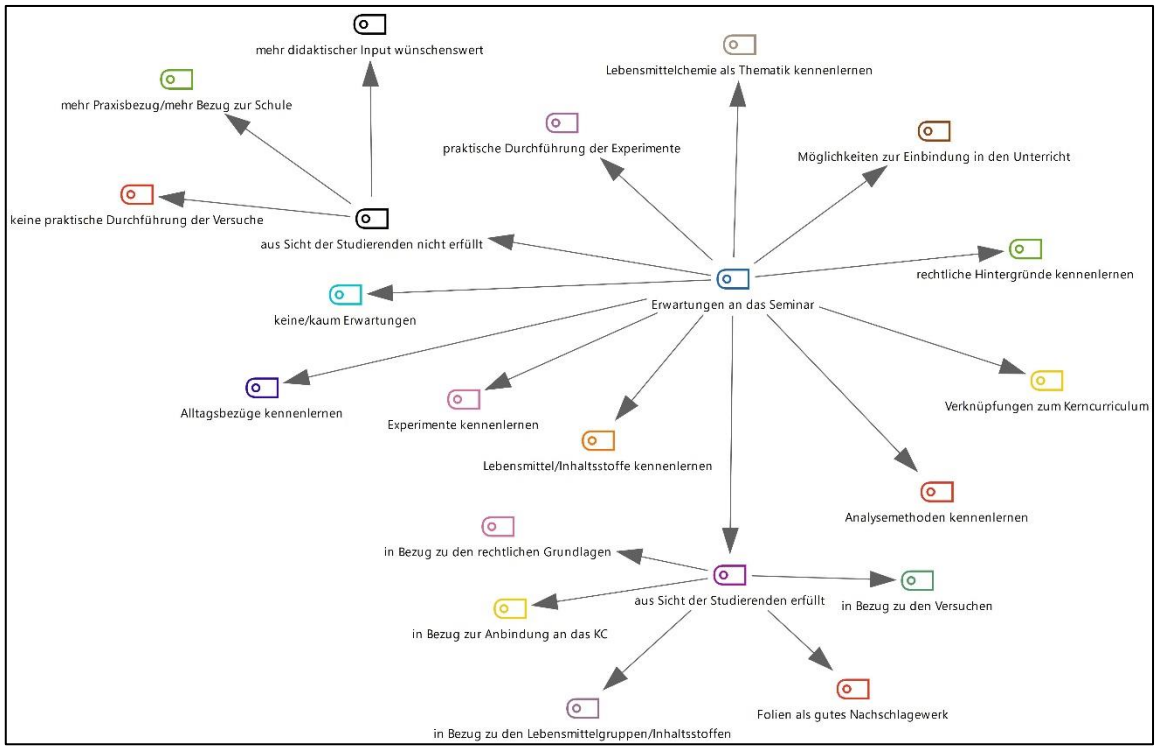


Abbildung 8-15 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Erwartungen sie an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* hatten und ob ihre Erwartungen dahingehend erfüllt oder nicht erfüllt worden sind [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-15 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-15 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-15 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, welche Erwartungen sie an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* hatten und ob ihre Erwartungen dahingehend erfüllt oder nicht erfüllt worden sind

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Lebensmittelchemie als Thematik kennenlernen	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP10 (Z 9): B: Ähm [Pause] (4s), ja erstmal so ein bisschen (-), weiß nicht so ein neuen Bereich quasi kennenlernen, den man ja eigentlich, wie gesagt, eigentlich nicht behandelt. Wie gesagt, die (-) Lebensmittelchemie also, wie gesagt, im normalen Studium kommt das ja nicht vor, obwohl es ja, wie gesagt, interessant ist und dass man da mal einen Einblick erhält, wie man da arbeitet.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Möglichkeiten zur Einbindung in den Unterricht	7 (1/6) (6/1/0/0)	BP06 (Z 9): B: … das ich halt einfach ja mir gewünscht habe dadurch, ja, Möglichkeiten zu finden, wie man diese Themen auch gut in den Unterricht einbinden kann.
rechtliche Hintergründe kennenlernen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 9): B: Ähm [Pause] (4s), auf der anderen Seite auch tatsächlich ein Stück weit, was ja auch passiert ist, diesen rechtlichen Hintergrund, weil da kannte ich mich überhaupt nicht aus. Ähm [Pause] (-), da so einen kleinen Einblick zu bekommen, was (LACHEN) Lebensmittelchemie eigentlich auch rechtlich bedeutet.
Verknüpfungen zum Kerncurriculum	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 7): B: Deswegen fand ich es auch sehr gut, dass wir darüber gesprochen haben, wo Bezugspunkte im KC sind. Das man da direkt Anknüpfungspunkte findet, wo man das vielleicht auch dann, ja, entsprechend auch begründen kann, warum man sich intensiver mit diesem Thema auseinandersetzt …
Lebensmittel/Inhaltsstoffe kennenlernen	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP07 (Z 11): B: Ja also das wir dann den verschiedenen Lebensmittel dann behandeln und die Inhaltsstoffen.
Experimente kennenlernen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 9): B: … und unterschiedliche Versuche, um dann halt eben, ja, mit den Lebensmitteln quasi im Labor zu arbeiten, was man da vielleicht alles untersuchen kann.
Alltagsbezüge kennenlernen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 7): B: … und das man da einfach, wie gesagt, viele Alltagsbezüge lernt, die man anwenden kann.
keine/kaum Erwartungen	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP09 (Z 9): B: Tatsächlich bin ich da relativ (-) ohne großartige Erwartungen rangegangen, weil ich mir nicht bewusst war, wie sich das vom Niveau her unterscheiden wird zu dem was ich kenne, wenn man das Ganze dann auf universitäres Niveau hebt.
praktische Durchführung der Experimente	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP07 (Z 11): B: Äh [Pause], ja nur so ein bisschen, dass wir dann im Labor auch gehen dürfen, was leider nicht geklappt hat, aber (-) sonst war (-) hat ich mir auch so gedacht, dass wir erstmal so theoretisch Inhaltsstoffe und dann praktisch das (-) machen werden.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
aus Sicht der Studierenden nicht erfüllt		
keine praktische Durchführung der Versuche	4 (2/2) (2/1/1/0)	BP06 (Z 11): B: Ja gut, ich denke mal, das geht auch (LACHEN) vieles auf Corona-Kappe halt. Ne, es ist halt sehr sehr schade, dass man das weltpraktisch nicht so durchführen konnte.
mehr Praxisbezug/mehr Bezug zur Schule	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 11): B: Ähm [Pause], genau und mit dem Bezug zur Schule (-), ich glaube, ähm [Pause] (-), ursprünglich, also ganz (-) naiv, hätte ich da gedacht, dass es ein bisschen mehr sein könnte …
mehr didaktischer Input wünschenswert	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 11): B: Ich hat mir vielleicht gewünscht, dass das was wir an KC-Arbeit gemacht hätten, dass da von Ihnen schon bisschen mehr Input gekommen wäre, …
aus Sicht der Studierenden erfüllt		
in Bezug zu den Versuchen	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP04 (Z 11): B: Das fand ich sehr sehr interessant und das dann auch zum Anlass zu nehmen für die Versuche, um halt herauszufinden, wie viel ist denn jetzt eigentlich wirklich drin, fand ich super super interessant. Das hat mich, also das hat meine Erwartungen eigentlich ein bisschen übertroffen. Schade war natürlich, dass wir nicht ins Labor konnten, aber da hat ja hier überhaupt niemand die Verantwortung für und das haben Sie ja auch sehr toll gelöst mit den Videos von den Versuchen. Das (-) hat Einen dann das Labor nach Hause gebracht.
Folien als gutes Nachschlagewerk	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 11): B: … vor allen Dingen die Folien, die haben wir jetzt ja auch noch im Nachhinein, und die fand ich wirklich (-) gut ausgearbeitet, also auch quasi als Nachschlagewerk, wenn man da jetzt irgendwie noch was nachschauen möchte. Also, ich bin froh, dass ich sie zur Verfügung habe, auch weiterhin und ich glaube es ist dann eine gute Hilfe auch später für den Unterricht zum Beispiel, ja, da was raus zu entnehmen.
in Bezug zu den Lebensmittelgruppen/Inhaltsstoffen	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP04 (Z 11): B: Also, auf jeden Fall. Mir hat das sehr gut gefallen, dass wir diese einzelnen Lebensmittelgruppen auch so intensiv uns damit auseinandergesetzt haben …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
in Bezug zur Anbindung an das KC	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 9): B: … und auch dadurch, dass wir die ja selbst auch Bezüge herstellen, sollten zum Kerncurriculum, mussten wir uns natürlich auch mit auseinandersetzen, wo man die Thematiken eingliedern kann …
in Bezug zu den rechtlichen Grundlagen	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP04 (Z 11): B: … vor allem auch die rechtlichen Bedingungen, das war, glaube ich, etwas, was mir vorher gar nicht bewusst war. Also, mir war schon bewusst, dass es rechtliche Vorgaben gibt für gewisse Inhaltsstoffe in Lebensmitteln, aber nicht wie (-) stark das eigentlich geregelt ist.

Insgesamt hatten die Chemie-Lehramtsstudierenden ganz unterschiedliche Erwartungen an das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*. Sieben der Studierenden haben die Möglichkeiten zur Einbindung in den Unterricht als Erwartung genannt. Weiterhin hatte die Hälfte aller Teilnehmer:innen die Erwartung, verschiedene Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe kennenzulernen, wohingegen keiner der befragten Personen Erwartungen an die Vermittlung von Analysemethoden nannte. Jeweils eine befragte Person gab als Erwartung an, Alltagsbezüge sowie Experimente kennenzulernen und diese praktisch durchzuführen. Zwei Teilnehmer:innen nannten daneben als Erwartungen, dass sie Anknüpfungspunkte an das niedersächsische Kerncurriculum kennenlernen. Ebenso gaben zwei Studierenden an, dass die durch den Titel erwartet haben, die Lebensmittelchemie als allgemeine Thematik kennenzulernen. Es gab aber auch zwei Teilnehmer:innen, die zunächst ohne große Erwartungen in das Seminar reingegangen sind und sich überraschen lassen wollten, was sie in diesem Seminar vermittelt bekommen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die meisten Erwartungen aus Sicht der Chemie-Lehramtsstudierenden erfüllt worden sind. Die Hälfte aller Studierenden gab an, dass die Erwartungen in Bezug auf die Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe erfüllt worden sind. Ebenfalls drei Studierende sehen die Erwartungen in Bezug zu den Versuchen erfüllt. Jeweils zwei befragte Personen sehen die Erwartungen aus ihrer Sicht in Bezug zu den rechtlichen Grundlagen und den Bezug zur Anbindung an die niedersächsische Kerncurricula Chemie und Biologie als erfüllt an.

Aus Sicht der Studierenden wurden die Erwartungen in Bezug auf die praktische Durchführung der Experimente nicht erfüllt. Dies gaben insgesamt vier Teilnehmer:innen an, weil es

aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht möglich gewesen ist, die Versuche eigenständig im Labor durchzuführen.

8.2.4 Wie und warum ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird?

Um die Forschungsfrage und deren Unterfragestellungen (Kapitel 4) beantworten zu können, wird neben der Anwendung der Lebensmittelchemie in der Schule auch die Wichtigkeit der Thematisierung nachfolgend betrachtet.

8.2.4.1 Anwendung der Lebensmittelchemie in der Schule

Die Chemie-Lehramtsstudierenden wurden im Interview gefragt, ob sie die Thematik der Lebensmittelchemie, inklusive der instrumentellen Analytik, in der Schule anwenden würden. Wenn dies mit „Ja“ beantwortet worden ist, wurde weiter gefragt, welche Thematik sie dann entsprechend in welcher Jahrgangsstufe thematisieren würden. Aus den Interviewmaterialien wurden aus den Antworten der Studierenden induktive Kategorien entwickelt, die aus Abbildung 8-16 entnommen werden können.

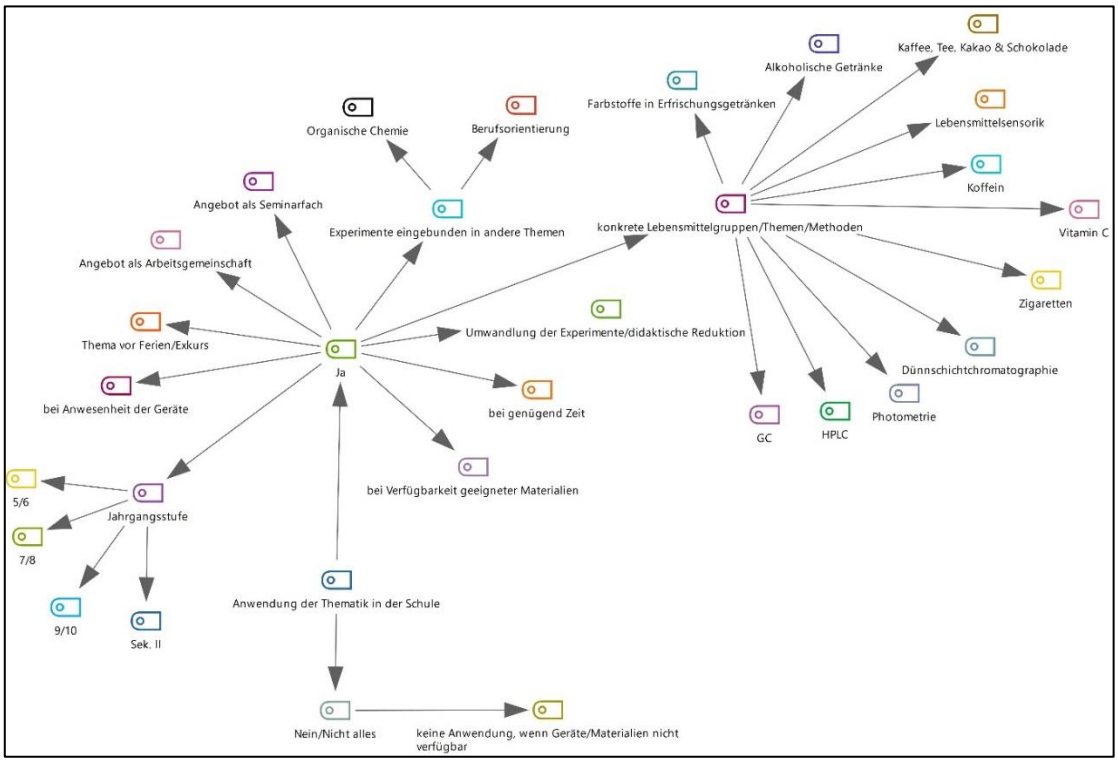


Abbildung 8-16 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie die Thematik der Lebensmittelchemie in der Schule anwenden würden und wenn ja, welches Thema sie in welcher Jahrgangsstufe betrachten würden [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-16 dargestellten Kategorie werden in Tabelle 8-16 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-16 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie die Thematik der Lebensmittelchemie in der Schule anwenden würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe/Thematik/Methode sie in welcher Jahrgangsstufe betrachten würden

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Ja		
bei Verfügbarkeit geeigneter Materialien	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 50): B: … wenn man gute Videos hat, so wie wir die jetzt auch hatten, dann wäre es eine Möglichkeit, ja,
bei genügend Zeit	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP02 (Z 61): B: Ähm [Pause] (-), jein, also ich glaube ich würde es mir sehr wünschen. Ich hoffe, dass ich dafür zwischen (LACHEN), also, das KC ist ja schon (-) voll wahrscheinlich und ich bin gespannt, ob man da gerade am Anfang oder ob ich da am Anfang die, ähm [Pause] (-), Zeit und Kraft und, wie auch immer, habe da über das hinaus gehen zu können, was vorgeschrieben ist. (-) Ich schätze im Ref wird das noch nicht möglich sein, zumindest das, was ich jetzt so von Freunden mitbekomme. Ähm [Pause] (-), aber langfristig, wenn so einen, also man so schon einen Grundstock an Stunden hat, kann ich mir sehr gut vorstellen das mit einfließen zu lassen und mit aufzunehmen.
Umwandlung der Experimente/didaktische Reduktion	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 51): B: Nur natürlich, man muss natürlich schauen, in Bezug auf Experimente mit der HPLC oder der GC, da man dann gucken muss, ob die Schule überhaupt, ja, die Möglichkeit hat, (dort?) diese, ja, Geräte vor Ort hat, dass man das so durchführen kann, ansonsten müsste man das wahrscheinlich ein bisschen umwandeln.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Angebot als Seminarfach	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 89): B: … was denn so die Inhaltsstoffe sind (-) und das wäre eventuell auch vielleicht so ein ganz guter (-), ich sage mal so, in der Schule kann man ja auch (-), es gibt ja nicht nur das Fach Chemie, sondern auch irgendwie das Seminarfach. (-) Da wäre es (-) wenn man da mal was machen würde, dass, ich sage mal da würde es sich vielleicht auch sehr gut anbieten, wenn man das nochmal so als Seminarfach in der Oberstufe, da irgendwas mit Lebensmittelchemie macht, also dass man da so (-) sich halt durch dieses Seminar dann gute Anhaltspunkte dafür bekomme, wenn man sowas eventuell mal machen sollte.
Angebot als Arbeitsgemeinschaft	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP05 (Z 87): B: Ansonsten würde ich aber auch gerne eine Arbeitsgemeinschaft dazu eröffnen, weil ich glaube, dass das schon großer Interesse bei den Schülerinnen und Schülern hervorrufen kann, wenn es um Lebensmittel geht.
Thema vor Ferien/Exkurs	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 63): B: Ähm [Pause] und (-) Koffein, Kaffee und so weiter, würde ich dann, glaube ich eher, wenn ich noch Zeit über habe, vor den Ferien oder so als Extrablock machen.
bei Anwesenheit der Geräte	3 (1/2) (2/1/0/0)	BP06 (Z 37): B: … also ich würde es auf jeden Fall, ja, ein bisschen schauen, wie die Ausstattung der Schule ist. Man weiß halt einfach nicht, wo man dann am Ende landet, aber wenn man vor allem irgendwie Möglichkeiten dazu hat, finde ich, ist man fast dazu verpflichtet, das auch dann mal zu benutzen, weil was bringt es, dass es nur in der Sammlung steht.
Experimente eingebunden in andere Themen	3 (0/3) (3/0/0/0)	BP03 (Z 51): B: … und die anderen, da muss man halt immer gucken, welche Thematik man macht, aber sie sind halt irgendwie, kann man überall einordnen an irgendeine Thematik und weshalb die auch gut anwendbar sind.
organische Chemie	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP06 (Z 39): B: Ähm [Pause], deswegen glaube ich, ist es schon dann in der 11./12. vielleicht am besten noch unterzukriegen, auch einfach, weil dann schon vieles bekanntes aus der organischen Chemie.
Berufsorientierung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 39): B: … und bieten vielleicht auch den Aspekt schon der Motivation zur Berufswahl. Das hatten wir, meine ich, auch öfters im KC, dass das einfach ein Berufsfeld ist.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
konkrete Lebensmittelgruppen/Themen/Methoden		
Farbstoffe in Erfrischungsgetränken	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP03 (Z 51): B: … zum Beispiel das hier die Farbstoffe in Erfrischungsgetränken, die man ja mit der Dünnschichtchromatographie gemacht hat, den Versuch, den kann man natürlich auch schon anwenden …
alkoholische Getränke	5 (2/3) (3/1/1/0)	BP07 (Z 73): B: Ja, also Alkohol auf jeden Fall. Ist, ähm [Pause] (-), wichtige Gruppe, finde ich.
Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 73): B: … wenn ich mich auf eine Lebensmittelgruppe, ähm [Pause] (-), konzentrieren muss, dann würde ich wieder bei Alkohol und Kaffee sein …
Lebensmittelsensorik	1 (0/1) (0/0/0/1)	BP04 (Z 45): B: Also, wie gesagt, gerade wenn es in den unteren Jahrgangsstufen irgendwie auch umso dann Geschmackstest oder Geruchstest oder so etwas geht, das finde ich super cool, weil ich denke das ist auch sehr gut umsetzbar.
Koffein	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP09 (Z 43): B: Koffein bietet sich dadurch an, dass man einfach häufig den Bezug zu den Eltern hat und auch später, in der späteren Jugend und im höher werdenden Alter dann, wenn man ja in Richtung Oberstufe auch in Richtung Volljährigkeit geht, dass dort einfach das Interesse an diesen Produkten größer wird, die beispielsweise Koffein enthalten, aber das auch die Struktur an sich häufig noch nicht so ganz begreifbar ist …
Vitamin C	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Ich glaube tatsächlich, dass das auch so ein bisschen nach dem (Prinzip?) des Interessenfeldes geht, dass man sagt: "Okay, so Sachen wie Vitamin C, ähm [Pause], lassen sich relativ schnell und relativ früh verordnen", vor allem, weil ja auch in der Biologie, spätestens in Niedersachsen in der siebten, achten, das Thema Ernährung drankommt. Das heißt spätestens dort ließe sich Vitamin C durchaus, also ich würde tatsächlich, glaube ich sagen, dass Vitamin C-Nachweis im Obst, was wir ja hatten, tatsächlich spätestens dort gemacht werden kann, einfach weil da noch dieser (Fächerübergriff?) gut gemacht werden kann.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Zigaretten	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 55): B: Aber so Alkohol und Zigaretten wahrscheinlich dann erst in der Oberstufe.
Dünn-schicht-chromato-graphie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Ja, also das Ganze nach der Analytik zu sortieren ist, glaube ich, tatsächlich noch ein bisschen (einfacher?), weil ich eben, wie gesagt, die DC tatsächlich ja schon in der fünf/sechs als (Doppeljahrgang?) angesprochen wird und dementsprechend man (-) dort die DC relativ früh schon einsetzen könnte. Das bietet (sich dann?) einfach an und das kann man auch dann durchführen bis oben hin.
Photomet-rie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Photometrie steht ja noch mal irgendwo in ihrer Form für sich. Ähm [Pause], da habe ich, glaube ich einfach ein bisschen zu wenig Ahnung (vom?) Physik-Curriculum, aber ich glaube, dass, sobald dort irgendwo Licht als Thema in der Physik (behandelt?) wird, ich glaube, das kommt irgendwann in der siebten, achten, könnte aber auch in der neunten erst kommen, dass (schon?), wenn das Thema Licht und Brechung das erste Mal so ein bisschen in der Physik angeschnitten worden ist, dass dort auch so der (Weg?) für die Photometrie geebnet werden würde.
HPLC	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Eine HPLC (-) und eventuell auch, also eine HPLC würde ich tatsächlich eher in Richtung Oberstufe (verorten?) eigentlich.
GC	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Eine HPLC (-) und eventuell auch, also eine HPLC würde ich tatsächlich eher in Richtung Oberstufe (verorten?) eigentlich. Ähm [Pause], eine Gaschromatographie sieht ähnlich aus …
Jahrgangsstufe		
5/6	3 (1/2) (1/0/1/1)	BP09 (Z 45): B: Ähm [Pause], aber wenn dann würde ich tatsächlich sagen, dass man so was wie (-) einfache Stoffe, Farbstoffe eventuell auch, dass man das Ganze in Richtung fünf, sechs schon machen könnte, dass all das, was so ein bisschen Alltagsbezug ist für Schüler oder halt auch dieses Ernährungsding …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
7/8	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 45): B: Ich glaube tatsächlich, dass das auch so ein bisschen nach dem (Prinzip?) des Interessenfeldes geht, dass man sagt: "Okay, so Sachen wie Vitamin C, ähm [Pause], lassen sich relativ schnell und relativ früh verordnen", vor allem, weil ja auch in der Biologie, spätestens in Niedersachsen in der siebten, achten, das Thema Ernährung drankommt. Das heißt spätestens dort ließe sich Vitamin C durchaus, also ich würde tatsächlich, glaube ich sagen, dass Vitamin C-Nachweis im Obst, was wir ja hatten, tatsächlich spätestens dort gemacht werden kann, einfach weil da noch dieser (Fächerübergriff?) gut gemacht werden kann.
9/10	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP08 (Z 55): B: Koffein, Teein vielleicht so 9./10. Klasse.
Sek. II	7 (2/5) (5/1/1/0)	BP06 (Z 39): B: Ja, also Sie es schon, also, wie ich es eigentlich schon gesagt habe, glaube ich, wäre es dann in der Qualifikationsphase schon besser angesiedelt, weil ich glaube, da sind die, ja, maßanalytischen Verfahren auch einfach verständlicher schon für die Schüler …
Nein/Nicht alles		
keine Anwendung, wenn Geräte/Materialien nicht verfügbar	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 50): B: … aber sonst eher wahrscheinlich nicht, weil das wirklich sehr trocken ist und ich glaube da gibt es genug trockene Sachen im Chemieunterricht dann ja.

Insgesamt würden alle zehn Teilnehmer:innen die Lebensmittelchemie in ihrem eigenen Chemieunterricht anwenden. Dabei haben drei Personen eine Bedingung für die Anwendung genannt, sodass sie die Thematik umsetzen würde, wenn auch die entsprechenden Geräte der instrumentellen Analytik zur Verfügung stehen. Zwei Studierende gaben den Zeitfaktor als Einschränkung für die Anwendung in der Schule an. Sie würden es sehr gerne anwenden, können aber zurzeit noch nicht einschätzen, ob sie die Zeit dafür haben, da es ja genügend Themen gibt, die von den niedersächsischen Kerncurricula für das Unterrichtsfach Chemie vorgegeben werden. Daher haben zwei befragte Personen vorgeschlagen, dass man die Thematik der Lebensmittelchemie, einschließlich der instrumentellen Analytik, in einer Arbeitsgemeinschaft

anbieten könnte. Jeweils eine Person würde gerne ein Seminarfach zu dieser Thematik in der Sekundarstufe II anbieten oder das Thema vor den Ferien als Exkurs einbauen. Drei Teilnehmer:innen haben überlegt, die Experimente in eine andere Thematik einzubinden. Davon würde eine befragte Person die Experimente in die Berufsorientierung integrieren, sodass die Schüler:innen an dieser Stelle schon das Berufsfeld von Lebensmittelchemiker:innen als Variante von Chemiker:innen kennenlernen können. Die anderen beiden Teilnehmer:innen würden es gerne im Themenbereich der organischen Chemie einbinden. Zwei befragte Personen könnten sich vorstellen, die Experimente ein wenig umzuwandeln, wenn die Geräte der instrumentellen Analytik in der Schule nicht zur Verfügung stehen, oder würden in den niedrigeren Jahrgangstufen didaktisch reduzieren, um die Thematik trotzdem anwenden zu können.

Auf Nachfrage hin, ob die Studierenden eine Präferenz haben, welche Lebensmittelgruppe oder Methode der instrumentellen Analytik sie in welcher Jahrgangstufe thematisieren würden, wurden von den Teilnehmer:innen konkrete Beispiele genannt. So gab die Hälfte aller Teilnehmer:innen an, dass sie gerne die alkoholischen Getränke im Chemieunterricht der Sekundarstufe II thematisieren würden, sodass durch die Betrachtung des Alkoholstoffwechsels auch ein Fachübergriff zur Biologie möglich ist.

Drei Studierende nannten als konkretes Beispiel die Farbstoffbestimmung in Erfrischungsgetränken und alkoholischen Getränken mittels Dünnschichtchromatographie. Bei Verwendung von alkoholfreien Erfrischungsgetränken würde eine befragte Person die Thematik in der Jahrgangsstufe 5/6 einsetzen, eine andere Person in der sechsten oder siebten Jahrgangstufe. Werden hingegen alkoholische Getränke für die Farbstoffbestimmung mittels DC eingesetzt, dann sollte dies erst entsprechend später, Richtung Oberstufe, angewendet werden. Eine befragte Person präferiert Kaffee zur Anwendung im schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe II. Zwei Studierende wollen Koffein als Inhaltsstoff verschiedener Lebensmittel ab der Jahrgangsstufe 9/10 oder in der Sekundarstufe II betrachten.

Insgesamt kann demnach festgehalten werden, dass die Studierenden die Thematik der Lebensmittelchemie vor allem in der Sekundarstufe II anwenden würden, wohingegen auch schon erste Berührungspunkte in der Sekundarstufe I denkbar wären.

8.2.4.2 Wichtigkeit der Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule

In den Interviews wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden gefragt, wie wichtig sie es finden, dass die Lebensmittelchemie, inklusive der instrumentellen Analytik, im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden aus den Antworten

der Studierenden und deren Begründungen induktive Kategorien erstellt, die aus Abbildung 8-17 entnommen werden können.

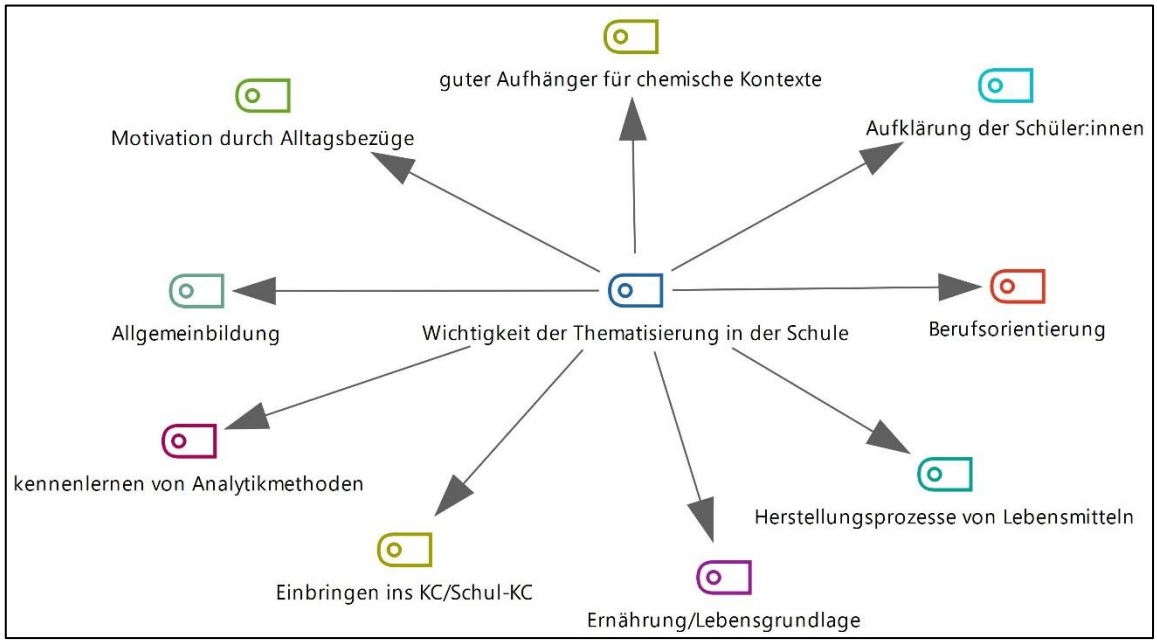


Abbildung 8-17 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig die Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule ist [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-17 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-17 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-17 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig es ist, die Lebensmittelchemie in der Schule zu thematisieren

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
guter Aufhänger für chemische Kontexte	3 (1/2) (1/1/0/1)	BP06 (Z 31): B: Da ist gerade so eine Lebensmittelchemie-Reihe vielleicht ein guter Einstieg auch zu zeigen: "Hey, wir können auch mit ganz, ja, ungefährlichen Haushaltsmitteln ganz interessante Aspekte der Chemie beantworten oder bearbeiten oder erstmal überhaupt allgemein kennenlernen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Aufklärung der Schüler:innen	5 (0/5) (4/0/0/1)	BP05 (Z 71): B: Genau, durch die Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule werden die Schülerinnen und Schüler halt zu mündigen Konsumenten gemacht, sie wissen, was sie dort konsumieren. Sie kennen die Inhaltsstoffe und ich finde das macht das Thema sehr wichtig.
Berufsorientierung	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP04 (41): B: Also, ebenso wie ich es sie, mir quasi immer in der Schule gewünscht habe, auch als Berufsfeld sie kennenzulernen. Das finde ich super super klasse.
Herstellungsprozesse von Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 39): B: … wie auch so zum Beispiel Honig hergestellt wird oder auch andere Lebensmittel …
Ernährung/ Lebensgrundlage	5 (1/4) (4/1/0/0)	BP06 (Z 31): B: Also ich finde es auf jeden Fall einen wichtigen Bereich, einfach weil jeder sich in irgendeiner Art und Weise ernähren muss, logischerweise. Und da auch besonders viele junge Menschen ja inzwischen sehr auf ihre Ernährung achten, dass man da auch vielleicht drauf eingeht auch ja, es ist halt eher ein Thema der Biologie, aber auch gerade was Essstörung und ähnliches angeht, …
Einbringen ins KC/ Schul-KC	3 (0/3) (3/0/0/0)	BP01 (Z 39): B: Aber ich glaube ich finde es schwierig das so ins KC mit einzubringen. Also es gibt ja Anknüpfungspunkte, ja, aber es ist ja im Schul-KC jetzt nicht unbedingt überall großartig mit verankert. Ich habe mir heute auch noch mal das Schul-KC von meiner Praktikumsschule hier durchgelesen, also da habe ich direkt keine Anknüpfungspunkte gefunden. Also da müsste doch, aus meiner Sicht, mal dran gearbeitet werden, dass das auch mit aufgenommen wird.
Kennenlernen von Analytikmethoden	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 39): B: … und auch die Analytikmethoden finde ich wichtig.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Allgemeinbildung	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 43): B: … finde ich es schon wichtig irgendwie zumindest ansatzweise so Bescheid zu wissen über das, was man da zu sich nimmt und warum man es zu sich nimmt und worauf man vielleicht achten sollte. (-) Also das halt wichtig einfach so als Allgemeinbildung für jeden irgendwie relevant …
Motivation durch Alltagsbezüge	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP03 (Z 41): B: … es steigt auch die Motivation, wenn man diese Alltagsbezüge mit den Lebensmitteln mit in den Unterricht einbaut, da jeder Lebensmittel kennt. Jeder trinkt vielleicht auch, ja, vor allem in der im höheren Jahrgang ist natürlich Alkohol ganz wichtig, auch, ja, in den jüngeren auch, aber da dürfen die das ja noch nicht. Und ich glaube, wenn man sich mit solchen Alkoholischen Getränken auch schon befasst oder Erfrischungsgetränken, dann ist es auf jeden Fall viel wert und ich glaube, dass die Schüler sowieso viel Spaß macht …

Alle zehn Studierenden sind sich einig, dass es wichtig ist, die Lebensmittelchemie in der Schule zu thematisieren. Die Hälfte aller Teilnehmer:innen gab an, dass die Schüler:innen durch die Thematisierung von Lebensmitteln im Chemieunterricht aufgeklärt werden, was in den Lebensmitteln, die sie konsumieren für Inhaltsstoffe enthalten sind. Dadurch können sie zu mündigen Verbrauchern werden, weil das Bewusstsein in Bezug zu Lebensmitteln geschärft werden würde. Weiterhin nannte die Hälfte aller Studierenden, dass der Einsatz von Lebensmitteln im Chemieunterricht eine motivierende Wirkung auf die Schüler:innen haben kann, weil ein sehr hoher Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen vorliegt. Aufgrund der Tatsache, dass die Lebensmittel der menschlichen Ernährung dienen und somit die Lebensgrundlage der Menschen darstellen, ist es für fünf Studierende eine wichtige Thematik, die in der Schule angesprochen werden sollte. Die Lebensmittel als solche stellen zudem einen guten Aufhänger für chemische Kontexte dar, wie drei Teilnehmer:innen angeben. Ebenfalls drei befragte Personen gaben an, dass es daher auch sinnvoll und wichtig ist, die Lebensmittelchemie als solche in die schuleigenen Curricula mit einzubauen. Zudem sind zwei Studierende der Meinung, dass sich die Thematik sehr gut eignet, um im Bereich der Berufsorientierung eingebracht zu werden. Demnach können die Schüler:innen den Blick vom Berufsfeld der Chemiker:innen auf das Berufsfeld von Lebensmittelchemiker:innen erweitern, um eine weitere Berufsgruppe kennenzulernen, die weniger bekannt ist.

8.2.4.3 Unterrichtseinheiten zur Lebensmittelchemie

Um die Unterfragestellungen zur Thematisierung der Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht beantworten zu können (Kapitel 4), wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden gefragt, welche Thematiken der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik sie in ihrem Unterricht integrieren würden und in welcher Jahrgangsstufe die Anwendung stattfinden sollte. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-18 dargestellt werden.

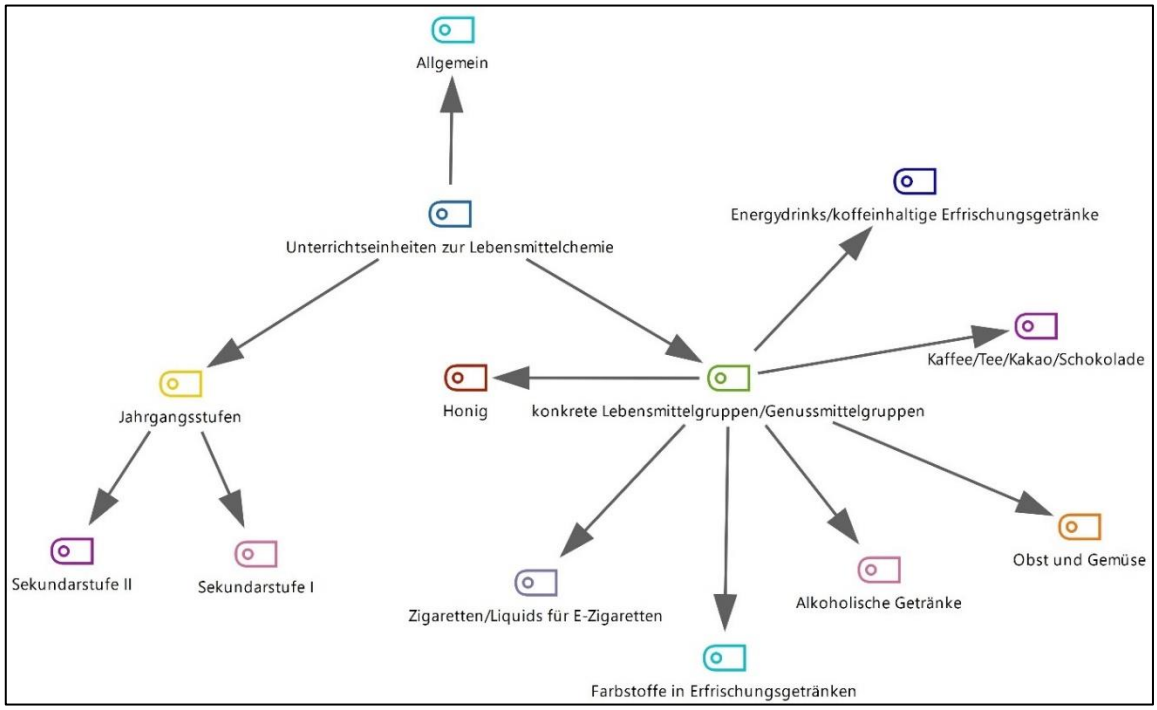


Abbildung 8-18 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie in ihrem Unterricht eine Einheit zur Lebensmittelchemie integrieren würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe in welcher Jahrgangsstufe [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-18 dargestellten Kategorie werden in Tabelle 8-18 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-18 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, ob sie eine Einheit zur Lebensmittelchemie in ihrem Unterricht integrieren würden und wenn ja, welche Lebensmittelgruppe sie in welcher Jahrgangsstufe thematisieren würden

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Allgemein	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP01 (Z 72): B: Also, ich weiß auch, dass ich selber in der Schule damals was zu Lebensmitteln hatte und das war so alltagsnah und das hat mir auch sehr gut gefallen und deshalb würde ich da auch so was gerne mit reinbringen, klar. Wenn [I: Und] [B: es] die Zeit und das Schul-KC eben zulässt.
konkrete Lebensmittelgruppe/Genussmittelgruppe		
Energydrinks/ koffeinhaltige Erfrischungsgetränke	4 (1/3) (3/1/0/0)	BP09 (Z 61): B: Ich fand tatsächlich, dass sich Erfrischungsgetränke und vor allem Energydrinks, äh [Pause], tatsächlich unfassbar gut angeboten haben (-), weil ich einfach das Thema super interessant fand und weil ich finde, dass man irgendwo, klingt immer so ein bisschen böse, aber dass man Schülern da auch ein bisschen vor den Kopf stoßen muss von ihrem eigenen Konsumverhalten. Das heißt, dass ich das wirklich tatsächlich furchtbar gerne in Richtung achte, neunte Klasse ansetzen würde und ich die Idee das als Einstieg (in die Nachweisverfahren?) zu benutzen tatsächlich ganz gut fand.
Kaffee/Tee/ Kakao/ Schokolade	4 (0/4) (4/0/0/0)	BP03 (Z 69): B: Aber vielleicht auch Koffein, da ich auch aus Erfahrung weiß, dass viele ja immer ganz viel Kaffee trinken, um wach zu bleiben, was da natürlich auch sehr alltagsbezogen ist.
Obst und Gemüse	5 (0/5) (4/0/0/1)	BP04 (Z 61): B: … ich denke auf jeden Fall, also vielleicht tatsächlich, je nachdem wie es sich ergibt in der Zusammenarbeit mit Biologie, vielleicht auch Obst und Gemüse, also weil das ja, also insgesamt auch ein wichtiges Thema ist, was in der Schule auf jeden Fall ja vorhanden ist, Ernährung und ich denke, dass man da gut anknüpfen kann, weil man da auch gut schon die Gesamtaufmerksamkeit der Schüler irgendwie auf Lebensmittel und auf die Ernährung hat und dann einfach gut daran anknüpfen kann.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
alkoholische Getränke	7 (2/5) (5/1/1/0)	BP06 (Z 55): B: Also vor allem halt zu dem (RÄUSPERN) zu den Alkoholen, glaube ich, ist das eine hohe Motivation da und (-) vielleicht auch irgendwie ein ja gewisser (-) Lerneffekt, der auch nachträglich hängen bleibt, weil ich denke mal, wenn man vielleicht sowas auch dann im Unterricht behandelt hat und man sitzt dann abends zusammen und trinkt ein Bier, das man jemanden fragt: "Hey, weißt du eigentlich, dass das ein Starkbier ist?". Also sowas sind so Sachen, die man vielleicht auch ganz gut in seinen, ja, die Lebenswelt der Schüler ganz gut einbauen könnte.
Farbstoffe in Erfrischungsgetränken	3 (1/2) (1/0/1/1)	BP10 (Z 75): B: … oder, wie gesagt so Erfrischungsgetränke, wenn man in der Sek. I Farbstoffe behandelt.
Honig	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 61): B: … und tatsächlich ja, wie gesagt, der Honig in den unteren Jahrgangsstufen hat es mir auch wirklich sehr angetan.
Zigaretten/ Liquids für E-Zigaretten	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP09 (Z 61): B: Wir hatten ja auch einmal das Thema Nikotin und Tabak, dass man das vielleicht noch mal macht, einfach weil (-) in der Oberstufe, wenn man denn erst mal so was dran genommen hat wie organische Chemie man, glaube ich, noch mehr Freiraum hat so (was zu machen?) und einfach die Idee dahinter (-) so gut ist sich so was anzugucken, weil ich persönlich war auf einer Schule, wo die Stufe mit einem Berufsgymnasium zusammengelegt worden ist. Das heißt man ist in einem Gebäude mit vielen Leuten, die tatsächlich noch einen ganzen Schub älter sind als man selber und es gab grundsätzlich immer so etwas wie die Raucherecke außen vor und dann gab es immer die Leute, die geraucht haben oder die E-Zigarette geraucht haben. Du hast immer diesen Geruch von diesen E-Liquids in der Nase. Der wabert immer durch die Gegend und das ist einfach ein, glaube ich, ein idealer Punkt an den man (anbinden?) könnte, ähm [Pause] (-), um eben (-) (dieses?) Thema noch mal anschneiden zu können.
Jahrgangsstufe		
Sekundarstufe I	5 (1/4) (3/0/1/1)	BP03 (Z 71): B: Ähm [Pause], anderes kann man natürlich dann wissensmäßig reduzieren und dann auch in der Sekundarstufe I machen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Sekundar-stufe II	7 (1/6) (6/1/0/0)	BP03 (Z 71): B: Ähm [Pause] (4s) (SEUFZEN), ja also ich glaube das ist eher so, wenn es umfangreiche Themen sind und man das sehr umfangreich und detailliert behandeln möchte, auf jeden Fall in der Sekundarstufe II.

Die beliebteste Lebensmittelgruppe, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden im eigenen schulischen Chemieunterricht thematisieren würden, sind die alkoholischen Getränke. Dies würden insgesamt sieben der Teilnehmer:innen anwenden. Gründe die dafür unter anderem genannt worden sind, sind einerseits die motivierende Wirkung des Themas für die Schüler:innen aufgrund des hohen Alltagsbezuges, und andererseits, dass in der Oberstufe die Alkohole auf der Basis des niedersächsischen Kerncurriculums Chemie sowieso thematisiert, werden sollen. Aufgrund dessen, sind die Chemie-Lehramtsstudierenden sich einig, dass die Thematik der alkoholischen Getränke in der Sekundarstufe II angewendet werden sollte.

Neben den alkoholischen Getränken würden fünf Studierende die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse im Chemieunterricht anwenden, vor allem die Betrachtung der Vitamingehalte sowie der Vergleich zwischen ökologisch und konventionell angebauten Produkten werden hier genannt. Daneben ist laut der Studierenden die Ernährung ein wichtiges Thema, sodass die Schüler:innen innerhalb gesunder Lebensmittel entsprechend geschult werden sollten. Da sich jeder Mensch ernähren muss, bietet sich das Thema an, um die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu erhöhen. Zwei der Studierenden würden Obst und Gemüse als Lebensmittelgruppe zudem auch im Zweitfach Biologie einbinden, um einen fächerübergreifenden Unterricht durchzuführen. Insgesamt würden die Teilnehmer:innen die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse eher in der Sekundarstufe II anwenden, wobei durch geeignete didaktische Reduktion auch eine Anwendung in der Sekundarstufe I denkbar wäre. Eine befragte Person ist der Meinung, dass die Bestimmung von Vitamingehalten und der Vergleich zwischen konventionell und ökologisch angebauten Produkten auch bereits in den Doppeljahrgängen 5/6 oder 7/8 interessant wäre.

Vier Teilnehmer:innen würden sich für eine Unterrichtseinheit mit alkaloidhaltigen Lebensmitteln, Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade, entscheiden. Der Hauptgrund liegt dabei in der Alltagsnähe der Studierenden, da einige von ihnen Kaffee wegen des enthaltenen Koffeins trinken, um wach zu bleiben, und viele von ihnen regelmäßig Schokolade konsumieren. Die

vier Teilnehmer:innen sind sich dabei einig, dass sie diese Thematik aufgrund der Komplexität in der Sekundarstufe II anwenden würden. Zudem wird in der Sekundarstufe II die Naturstoffchemie betrachtet, sodass die alkaloidhaltigen Lebensmittel an dieser Stelle gut mit eingebunden werden könnten.

Ebenfalls beliebt bei den Studierenden ist die Lebensmittelgruppe der Energydrinks und der koffeinhaltigen Erfrischungsgetränke. Zu dieser Thematik würden ebenfalls vier Teilnehmer:innen eine Unterrichtseinheit planen. Als Grund wird auch hier die Alltagsnähe zur Lebenswelt der Schüler:innen genannt. Drei der Teilnehmer:innen würden die Unterrichtseinheit in der Sekundarstufe II durchführen, wohingegen eine befragte Person die Energydrinks bereits in der Jahrgangsstufe 8/9 einführen würde, um die Schüler:innen mit ihrem eigenen Konsumverhalten zu konfrontieren.

Drei Chemie-Lehramtsstudierende würden gerne die Farbstoffe mittels Dünnschichtchromatographie in eine Unterrichtseinheit einbauen. Sollten alkoholische Getränke dafür eingesetzt werden, würden sie es in der Sekundarstufe II behandeln. Werden hingegen Farbstoffen in alkoholfreien Erfrischungsgetränken untersucht, dann würden die Studierenden es in der Sekundarstufe I in den unteren Jahrgangstufen (5. – 7. Klasse) einbinden.

Als Genussmittelgruppe würden zwei Teilnehmer:innen Zigaretten und Liquids für die E-Zigaretten thematisieren. Die Thematisierung sollte innerhalb der Sekundarstufe II stattfinden, weil Wissen aus der organischen Chemie vorausgesetzt wird. Eine befragte Person assoziiert die Thematik mit der eigenen Schulzeit, in der immer ein gewisser Geruch von Zigaretten und verschiedener Aromen von Liquids der E-Zigaretten aus der „Raucherecke“ wahrzunehmen war. Daher ist diese Person der Meinung, dass dieses Phänomen mehrere Schüler:innen kennen könnten, sodass eine motivierende Atmosphäre durch diesen Lebensweltbezug erreicht werden könnte. Die andere Person würde in der Sekundarstufe II eine Unterrichtseinheit zu Rauschmitteln planen, in der neben den Zigaretten auch alkoholische Getränke und Energydrinks thematisiert werden. Die Person ist der Meinung, dass dies ein motivierendes Thema darstellen würde, da in diesem Alter viele der Schüler:innen bereits Kontakt zu Zigaretten, alkoholischen Getränken und Energydrinks hatten.

Zwei Teilnehmer:innen antworteten eher allgemein auf die Frage zur Unterrichtseinheit und gaben dabei kein konkretes Beispiel an. Beide Studierenden würden gerne eine Unterrichtseinheit zur Lebensmittelchemie in ihrem Unterricht einbauen. Eine der Personen nannte als Grund die Faszination, dass man aus allen Lebensmitteln, beispielsweise aus der Brotdose der Schüler:innen, eine Probe für ein Experiment machen kann. Die andere Person würde die Schüler:innen mit in die Entscheidung einbeziehen, indem sie die Schüler:innen fragen möchte,

welche Lebensmittelgruppe sie interessant finden würden, damit sie auch motiviert sind, über die Thematik Wissen zu erlangen.

8.2.5 Wie wichtig ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden?

Während im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe I ausschließlich die Dünnschichtchromatographie als Methode der instrumentellen Analytik genannt wird, finden wir im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II daneben noch die namentliche Benennung der Gaschromatographie. Die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und die Photometrie werden hingegen nicht namentlich benannt, ebenso wenig, wie die Lebensmittelchemie im Allgemeinen. Aus diesem Grund wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden gefragt, inwieweit sie es wichtig finden, dass die Lebensmittelchemie und auch die instrumentelle Analytik im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie verankert werden. Damit sollte auch überprüft werden, inwieweit die Studierenden über die niedersächsischen Kerncurricula Chemie informiert sind. Aus den Daten der Interviews mit den Chemie-Lehramtsstudierenden wurden induktive Kategorien abgeleitet, die in Abbildung 8-19 dargestellt werden.

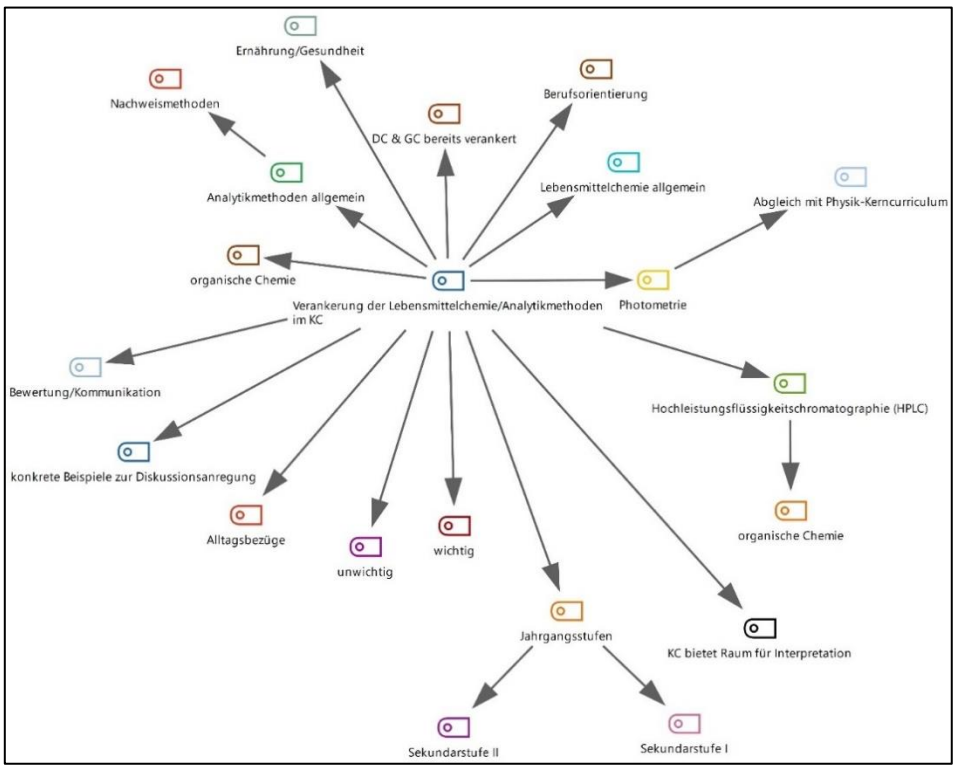


Abbildung 8-19 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig sie es finden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden (HPLC und Photometrie) im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-19 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-19 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-19 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie wichtig es ist, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden (HPLC und Photometrie) im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
wichtig	7 (1/6) (5/0/1/1)	BP09 (Z 47): B: Äh [Pause], Lebensmittelchemie im Allgemeinen oder auch Lebensmittelgruppen zu verankern, finde ich, an sich, eine (super?) Idee, …
unwichtig	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 93): B: Ich glaube so eine explizite Erwähnung (unv., Störung der Internetverbindung) (-) ... (im?) unterrichten gar nicht wichtig.
Alltagsbezüge	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP10 (Z 63): B: … und wie gesagt, dass man solche Sachen kennenlernt (-), so Analytikmethoden (-) und die Lebensmittelchemie (-), äh [Pause], ja. (4s). Man sollte schon, wie gesagt, paar Grundzüge sollte man schon, dass man, wie gesagt, so ein Alltagsbezug (-) kennen /, also, wie gesagt (-), dass man nicht nur trocken irgendwelche chemischen Reaktionen macht, sondern auch mal wirklich was in den Alltagsbezug reinbekommt und da finde ich bietet sich die Lebensmittelchemie schon an.
konkrete Beispiele zur Diskussionsanregung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 54): B: Ich finde es aber doch (-) schon wichtig auch mit den Diskussionen um die Landwirtschaft, wenn man jetzt auf Obst und Gemüse eingeht. Das nimmt ja immer mehr Stellenwert an so diese ganzen Geschichten mit Lebensmitteln und wo kommen sie her und dies und das und was ist da dann drin und genau.
Bewertung/ Kommunikation	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 61): B: … ja also ich meine generell spielt da wahrscheinlich relativ stark dieser Punkt der Bewertung mit rein. Also das es gar nicht, also natürlich geht es auch um das Fachliche, aber das es eben auch stark darum geht, diese Erkenntnisse auch auf die reale Welt zu übertragen. Also eben Bewertung/Kommunikation in dem Bereich kann man oder fällt da wahrscheinlich relativ viel rein.
organische Chemie	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 61): B: Ähm [Pause], fachlich halt viel im Bereich der Organik (4s), joar.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Ernährung/ Gesundheit	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 67): B: … und ähm [Pause] (-), ja, da fände ich (LACHEN), also Ernährung betrifft jeden Schüler und jede Schülerin in jeder Jahrgangsstufe. Das heißt, äh [Pause] (-), ja, ich fände es sehr geeignet (LACHEN) das mit aufzunehmen, weil ich glaube, dass es auch Interesse einfach wecken kann (-) und neben der Interesse aber auch wirklich (-), ja, was ich schon gesagt habe, wichtige Inhalte vermitteln kann, was zum Beispiel die Gesundheit angeht …
DC/GC bereits verankert	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP03 (Z 53): B: Also ich weiß, dass zum Beispiel Dünnschichtchromatographie schon mit im Kerncurriculum drin ist, aber auch die Gaschromatographie, aber da weiß ich gerade gar nicht, ob die namentlich benannt sind, aber ich fände es auf jeden Fall sehr wichtig, weil es ja auch Verfahren sind in der Berufswelt …
Berufsorientierung	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP06 (Z 41): B: Ja, vor allem finde ich es wichtig, da es ja wirklich viele Berufe gibt, die auch in die Richtung gehen und diese Schüler, die jetzt gerade, ja, in ihrem Weg zum Abitur sind oder kurz vor dem Abitur stehen, glaube ich, ist auch die Berufsfrage eine ganz große, die schon abläuft im Kopf und wenn man da schon in der Schule ganz viele Bereiche aufzeigt, die möglich sind, das sich dann auch mehr Schüler vielleicht auch dafür interessieren oder sie überhaupt erstmal informieren, was gibt es denn für Bereiche eben auch in der Chemie. Also ich habe aktuell immer noch den Eindruck, entweder man war schon immer naturwissenschaftlich interessiert und es hat einem schon immer Spaß gemacht, dann wählt man diese Leistungskurse und dann geht man auch beruflich in eine solche Richtung oder halt so gar nicht. Also es gibt selten welche, die sagen: "Och ja, ich fand in der Schule Chemie nicht so toll" und plötzlich bin ich doch im Berufsfeld der Chemie gelandet und ich glaube, wenn es da noch mehr Bereiche gibt, die man, ja, vorstellt, dass es dadurch dann auch, ja, mehr Schüler vielleicht die Richtung ergreifen oder sich zu mindestens erstmal informieren darüber.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Lebensmittelchemie allgemein	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP08 (Z 57): B: Hmm [Pause] (-), also ich glaube die Lebensmittelchemie als solche, also generell dieses Bewusstsein über Inhaltsstoffe von Lebensmitteln sind wichtiger als die Analysemethoden (-), weil, also weil das halt eben das ist, was auch hängen bleiben soll, weil ja jetzt, keine Ahnung, von 30 Schülern vielleicht einer oder zwei sich dafür entscheiden irgendwie in Richtung Chemie weiterzugehen. Deswegen (-) würde ich sagen, generell Lebensmittelchemie und das Bewusstsein für Inhaltsstoffe ziemlich wichtig und die Analysemethoden nicht ganz so wichtig.
KC bietet Raum für Interpretation	3 (0/3) (2/0/0/1)	BP05 (Z 93): B: … ich finde aber auch, dass das Kerncurriculum mehr so ein Raum zur Interpretation bietet und dadurch man ja selber gucken kann, welche Analysemethoden man noch weiterführen möchte.
Analytikmethoden allgemein	3 (1/2) (1/0/1/1)	BP04 (Z 47): B: Also ja, es ist, also ich fände es schon gut, also gerade die Analytikmethoden dann auch wirklich einmal zu benennen, dass das das ist, womit sich beschäftigt werden soll, weil das ist immer so schön, steht da Analytikmethoden und irgendwas von Berufsfeld.
Nachweismethoden	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 97): B: … und vielleicht so in Richtung auch Nachweismethoden. (-) Ähm [Pause] (-) und in der (unv., Störung der Internetverbindung) (-) ... vor allem, wenn es um, ja (-), Analytik geht allgemein, ja.
Abgleich mit dem Physik-Kerncurriculum	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP03 (Z 55): B: Und die Photometrie (-) tatsächlich könnte ich mir auch vorstellen in der Sekundarstufe I , aber so eher Jahrgang 9/10. Ähm [Pause], ja weil das könnte man gut abgleichen mit dem Physik-Kerncurriculum, um zu schauen, weil das ja sehr physikalisch auch ist das Prinzip.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Photometrie	5 (1/4) (4/0/1/0)	BP09 (Z 47): B: Eine Photometrie wäre, an sich, unfassbar interessant, weil ich glaube, dass die super nachvollziehbar ist, wenn Schülern einmal bewusst wird was das Prinzip ist, wie bei einer Photometrie tatsächlich die Anwesenheit von Teilchen und von (Stoffen?) nachgewiesen wird, dass das tatsächlich einen guten Klickmoment auslösen könnte, wenn sie tatsächlich wissen (-), (okay?), es geht dabei also darum inwiefern das Licht gebrochen wird und inwiefern dann welche Konzentration darin enthalten ist und das dort (schon?) eine Brücke geschlagen werden kann, dass sie wirklich verstehen worum es geht. Ich glaube, dass die sich besonders gut anbieten, würde im Kerncurriculum als Verankerung, weil die (einfach?) sehr nachvollziehbar ist, wenn man es erst mal hat und ich glaube, dass dort tatsächlich ein Interesse an diesen wissenschaftlichen Methoden der Chemie geweckt werden kann auf eine gute Art und Weise.
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP03 (Z 55): B: Da könnte ich die mir gut vorstellen und sowieso die HPLC eher in der Sekundarstufe II. Auf jeden Fall, dass man sie damit eingliedert, weil die sehr komplex ist, auch die Auswertung, wo ich mir vorstellen könnte, dass Schüler und Schülerinnen in der Sekundarstufe I da noch nicht vielleicht ganz mit klarkommen.
Organische Chemie	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP03 (Z 55): B: Also die HPLC tatsächlich (-) in der organischen Chemie.
Jahrgangsstufen		
Sekundarstufe I	3 (1/2) (1/1/0/1)	BP04 (Z 49): B: Also, wenn ich es in die siebte Klasse packe oder in die neunte Klasse und ich habe den Anspruch und das KC vermittelt den Anspruch, dass sie das als analytisches Verfahren verstehen und auch die einzelnen Schritte dort verstehen können, dann könnte das schwierig werden. Wenn es aber nur darum geht das irgendwie kennenzulernen und das Prinzip vielleicht einmal zu verdeutlichen. Ich glaube, dann ist es möglich.
Sekundarstufe II	9 (2/7) (6/1/1/1)	BP04 (Z 49): B: Aber prinzipiell, um sie halt wirklich gut zu verstehen, würde ich in die Oberstufe tendieren, aber um die auch nicht völlig zu überfrachten mit.

Sieben Teilnehmer:innen finden es wichtig und würden es begrüßen, wenn die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik namentlich mit in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie verankert werden würden. Dadurch wäre es vorgegeben, sodass auch eine Thematisierung in der Schule stattfindet. Drei Studierende gaben an, dass sie es gut finden, dass das niedersächsische Kerncurriculum Chemie einen so großen Spielraum bietet, um Themen entsprechend einsetzen zu können. Vier Studierende wussten jedoch, dass die DC und die GC bereits in den Kerncurricula Chemie des Landes Niedersachsens verankert sind.

Bei der Betrachtung der Verankerung der Lebensmittelchemie im Allgemeinen gaben zwei Studierende an, dass sie es eine gute Idee finden, die Lebensmittelchemie im Allgemeinen zu verankern. Dem hinzu kommt, dass zwei Studierende der Meinung sind, dass die niedersächsischen Kerncurricula des Faches Chemie nicht so viele Alltagebezüge aufweisen, sodass durch die Lebensmittelchemie ein weiteres alltagsnahes Thema für die Schüler:innen aufgenommen werden würde. Eine befragte Person ist der Meinung, dass die Aufnahme der Lebensmittelchemie ins KC dazu führen könnte, weitere Diskussionen anzuregen. Als Beispiele dafür wurde im Bereich der Landwirtschaft Obst und Gemüse genannt, sodass ein Vergleich zwischen konventionellen und ökologisch angebauten Produkten herangezogen werden könnte.

Ein befragte Person ist der Meinung, dass die Verankerung der Lebensmittelchemie in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie im Allgemeinen wichtiger sei als die Verankerung der Methoden der instrumentellen Analytik, wohingegen drei Studierende die Benennung der Analytikmethoden in den Kerncurricula wichtig finden. Drei Teilnehmer:innen gaben an, dass gerade die instrumentellen Analytikmethoden im Bereich der Berufsorientierung von zentraler Bedeutung sind. Denn in der Sekundarstufe II kommt die Berufsorientierung leider manchmal zu kurz, weshalb durch die Verankerung der verschiedenen Methoden auf die Berufswelt von Lebensmittelchemiker:innen übergeleitet werden kann.

Gezielt auf die Frage, ob die Photometrie Bestandteil der niedersächsischen Kerncurricula Chemie werden sollte, gab die Hälfte aller Teilnehmer:innen an, dass sie es gut finden würden. Davon sind drei Studierende der Meinung, dass die Verankerung in Bezug zu den niedersächsischen Kerncurricula des Unterrichtsfachs Physik erfolgen sollte. Somit kann sichergestellt werden, dass die Schüler:innen die entsprechenden Vorkenntnisse haben, wodurch auch ein Fachübergriff zur Physik möglich wird.

In Bezug auf die HPLC gaben zwei Studierende an, dass sie es sich gut vorstellen können, dass diese Methode der instrumentellen Analytik in der Sekundarstufe II im Bereich der organischen Chemie verankert werden könnte.

8.2.5.1 Wo sollte die Thematik verankert werden?

Betrachtet man die Jahrgangstufen, wo die Chemie-Lehramtsstudierenden die Methoden der instrumentelle Analytik in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie integrieren würden, fällt auf, dass neun Studierende dies eher in der Sekundarstufe II tun würden. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass die Schüler:innen ein gewisses Vorwissen benötigen, um die einzelnen Schritte verstehen zu können, gerade bei der HPLC und GC. Zudem sind physikalische Prinzipien von Vorteil, um entsprechende Thematiken nachvollziehen zu können. Drei Teilnehmer:innen gaben jedoch an, dass sie es sich auch gut vorstellen könnten, einen Teil der Methoden bereits in der Sekundarstufe I zu verankern. Hier kommt es jedoch darauf an, welchen Anspruch man hat, ob die Schüler:innen nur das Gerät und das Prinzip kennenlernen sollen oder ob es wirklich das Ziel ist, jeden einzelnen Schritt zu verstehen. Ist ersteres der Fall, so kann dies durch geeignete didaktische Reduktion erfolgen, ansonsten ist es schwer umsetzbar, sind drei Teilnehmer:innen der Meinung.

8.2.6 Wie sollte die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Experimente im schulischen Chemieunterricht, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchgeführt werden?

Während ein Photometer sowie DC-Platten eher zum schulischen Repertoire gehören, verfügen leider nur die wenigsten Schulen in Niedersachsen über einen eigenen Gas- oder Hochleistungsflüssigkeitschromatographen. Daher ist es wichtig, sich darüber Gedanken zu machen, welche Möglichkeiten es gibt, die Thematik und die Experimente auch ohne die entsprechenden Gerätschaften im schulischen Chemieunterricht zu thematisieren. Demnach wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden gefragt, ob sie Ideen haben, wie sie die Lebensmittelchemie und die Experimente, auch ohne das entsprechende Geräte, einführen und durchführen können. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-20 dargestellt werden.

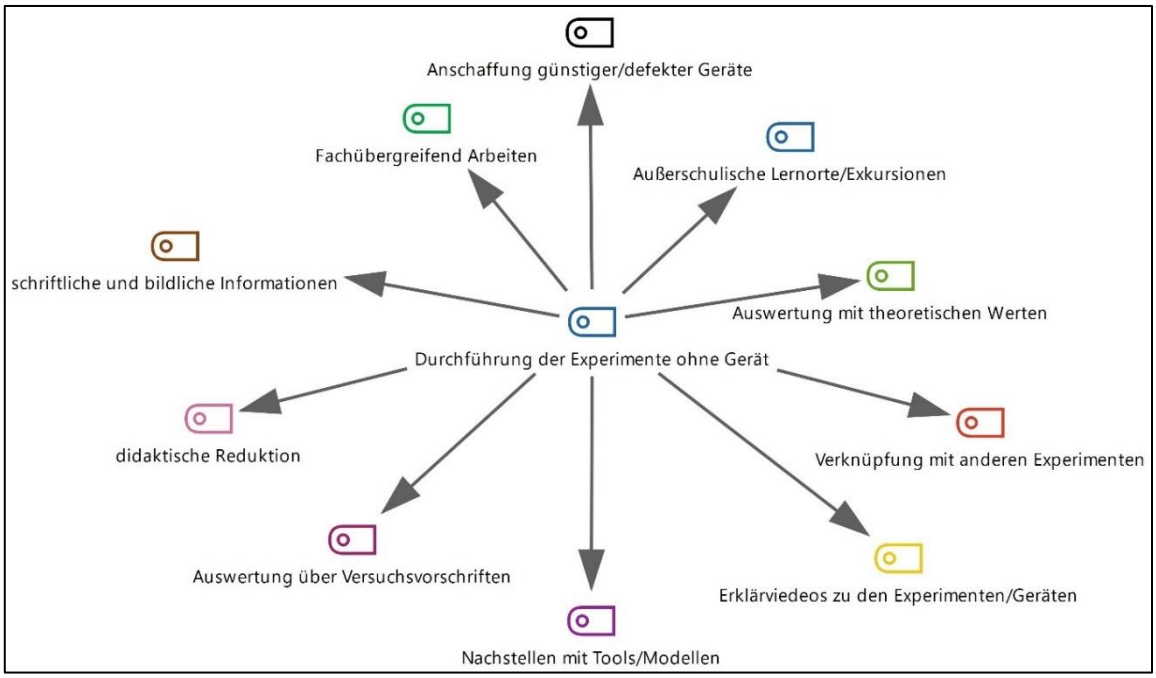


Abbildung 8-20 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie sie die erlernten Experimente ohne das entsprechende Gerät in der Schule umsetzen können [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-20 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-20 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-20 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie sie die neu erlernten Experimente auch ohne die entsprechenden Geräte der instrumentellen Analytik in der Schule umsetzen würden

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Anschaffung günstiger/defekter Geräte	2 (2/0) (0/1/1/0)	BP10 (Z 67): B: Ähm [Pause] (-), ja, wie gesagt, sonst bei der Gaschromatographie ist es auch eher der Wirkmechanismus, dass man das versteht und vielleicht kriegt man ja irgendwo ein Gerät, was irgendwie (-) sehr alt ist oder vielleicht sogar auch kaputt, irgendwie schrottreif, dass man da vielleicht mal so ein paar Teile zeigen kann, wie ist da so eine Säule aufgebaut, diese Trennsäule (-) und (-) ja.
außerschulische Lernorte/Exkursionen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 45): B: … oder eine Möglichkeit ist natürlich auch, dass man einen Betrieb oder ähnliches besuchen würde mit den Schülern, dass man eine Exkursion oder ähnliches macht.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Auswertung mit theoretischen Werten	4 (1/3) (3/0/1/0)	BP03 (Z 57): B: … und zum Beispiel dann noch mit theoretischen Werten, das machen kann, so wie das auch im Seminar gehandhabt wurde.
Verknüpfung mit anderen Experimenten	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP05 (Z 101): B: Man kann es natürlich mit einem anderen Experiment verknüpfen, das eine ähnliche Analyse behandelt und dann darauf zurückführen, das genauere Ergebnisse (unv., Störung der Internetverbindung) (-) .... ja erlangt werden können …
Erklärvideos zu den Experimenten/Geräten	8 (1/7) (6/0/1/1)	BP01 (Z 60): B: Also, wie gesagt, ähm [Pause] (-) durch irgendwelche Videos, die das dann erklären. (-) Speziell zu Photometrie habe ich auch für meine Seminarleistung dann geguckt. Da gibt es auch im Internet schon schöne Videos, die das gesamte Erklären, wie ein Photometer überhaupt funktioniert und auch Messungen durchführen. (-) Dann ist es auf jeden Fall anschaulich und man kann es mit Schülern durchführen.
Nachstellen mit Tools/Modellen	2 (1/1) (0/1/0/1)	BP08 (Z 67): B: … dann gibt es halt bei fast allen, ich glaube, also ich meine ich habe jetzt irgendwie für die Gaschromatographie mal geguckt. Es gibt ja online Tools, mit denen man das nachstellen kann. (-) Ähm [Pause] und da müsste man sich halt irgendwie intensiv mit diesem Tool auseinandersetzen und gucken, inwiefern man das für geeignet befindet, aber dann könnte man das natürlich irgendwie (-) dazu ziehen, damit die Schülern zumindest mal gesehen haben (-), wie es so aussehen könnte.
Auswertung über Versuchsvorschriften	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP02 (Z 69): B: … und anschließend die Auswertung kann man ja, oder könnte man tatsächlich sogar mit, also nach Ihrer Anweisung denke ich könnten das selbst Schülerinnen und Schüler machen.
didaktische Reduktion	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 51): B: … in den unteren Jahrgangsstufen vielleicht das Prinzip ein bisschen modellhafter darstellt, also das man dann vielleicht auch eine Photometrie erklärt, ein bisschen didaktisch reduziert, damit sie dann (-) mit den Peaks irgendwie etwas anfangen können, aber nicht anfangen zu versuchen komplett die Absorption zu verstehen.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
schriftliche und bildliche Informationen	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP04 (Z 51): B: Wenn man möchte das die Schüler:innen den Aufbau kennenlernen, dann muss man ihnen den Aufbau mit Abbildungen oder anders vermitteln …
fachübergreifend Arbeiten	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 51): B: Ja, aber ich denke, dass sich da, auch gerade in der Photometrie, unter Umständen ja auch wirklich ein guter Zusammenarbeit mit der Physik auch anbietet und ich denke, dass man das dann irgendwie, also dass man sich da vielleicht auch einfach absprechen muss sowieso auch mit den anderen Naturwissenschaften.

Das beliebteste Verfahren, die Thematik und die Experimente, ohne das entsprechende Gerät einzuführen, ist das Arbeiten mit Erklärvideos zu den entsprechenden Geräten und Experimenten. Dies gaben insgesamt acht der Teilnehmer:innen an. So haben die Schüler:innen das Gerät zumindest über ein Video sehen können, damit sie auch das Prinzip nachvollziehen können. Weiterhin nannten vier Studierende den Einsatz von schriftlichen und bildlichen Informationen. Entsprechend dazu könnte die Erklärung zum Aufbau eines Geräts mithilfe von Abbildungen und Informationstexten erfolgen. Zwei Teilnehmer:innen hatten zudem die Idee, günstige oder defekte Geräte anzuschaffen, um den Schüler:innen anhand derer das Prinzip zu erläutern oder man könnte einen außerschulischen Lernort besuchen beziehungsweise eine Exkursion machen. Daneben nannten zwei Studierende, dass man die Geräte mit Modellen oder anderen Tools entsprechend nachstellen könnte.

Drei Studierende gaben an, dass mithilfe der hier entwickelten Versuchsvorschriften (Anhang E) eine Auswertung der Experimente durchgeführt werden kann. Vier Teilnehmer:innen nannten dabei das Vorgehen aus dem Seminar, sodass die Auswertung über die Versuchsvorschriften auch mit theoretischen Werten erfolgen kann.

8.2.7 Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung?

Um die Lehrkräftebildung im Bereich der Lebensmittelchemie verbessern zu können, wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden befragt, ob sie Verbesserungsmöglichkeiten sehen, wie die Thematik der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik an zukünftige und bereits praktizierende Lehrkräfte vermittelt werden kann. Dabei wird unter anderem hinterfragt,

welche Berührungspunkte die Studierenden bereits in ihrem bisherigen Studium mit der Lebensmittelchemie hatten und welche Studienangebote in diesem Bereich zur Verfügung standen. Zudem werden die Studierenden auf Fortbildungsangebote für bereits praktizierende Lehrkräfte angesprochen und wie die entsprechenden Inhalte dann vermittelt werden sollten. Aus dem Datenmaterial der Interviews wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage und deren Unterfragestellung (Kapitel 4) induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-21 dargestellt sind.

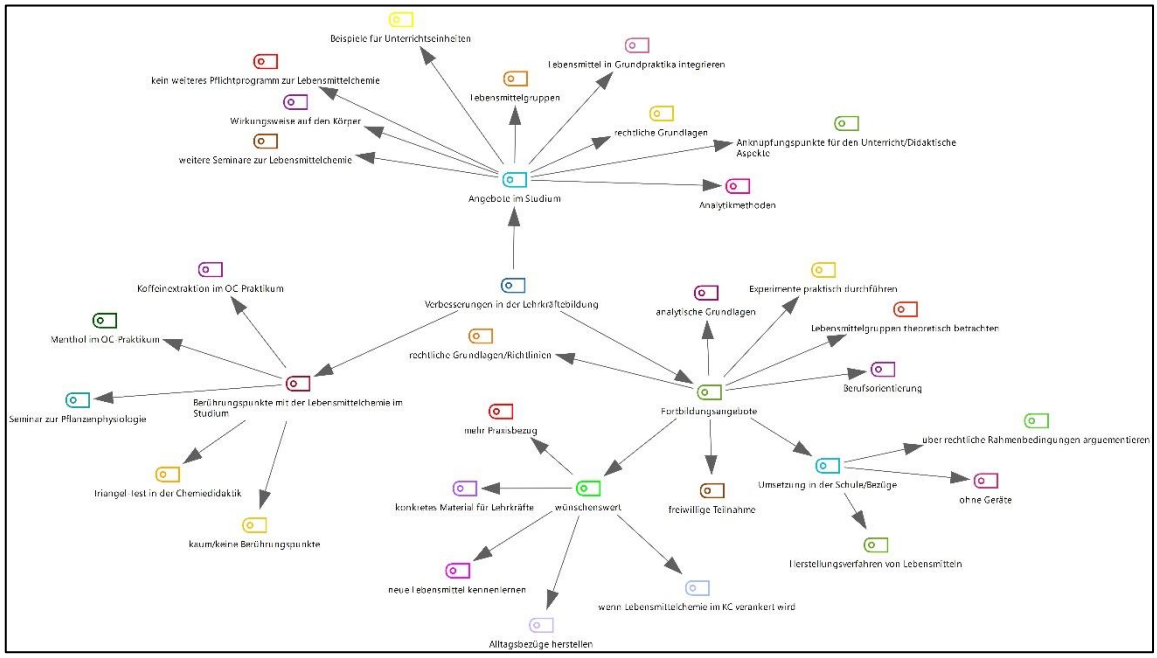


Abbildung 8-21 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie die Lehrkräftebildung in Bezug auf die Lebensmittelchemie verbessert und umgesetzt werden könnte [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-21 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-21 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-21 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden, wie die Lehrkräftebildung im Bereich der Lebensmittelchemie verbessert und umgesetzt werden könnte

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Berührungspunkte mit der Lebensmittelchemie im Studium		
Koffeinextraktion im OC-Praktikum	3 (1/2) (2/1/0/0)	BP08 (Z 83): B: Wir hatten im (-) Bachelor im Organik-Praktikum haben wir zumindest einmal (-), ähm [Pause] (-) Teein aus oder Koffein aus Tee extrahiert, aber eben auch nicht mit Bezug auf irgendwas, sondern einfach nur als Versuch in der Organischen Chemie. Deswegen würde ich das jetzt nicht unbedingt als Lebensmittelchemie-Bildung bezeichnen.
Menthol im OC-Praktikum	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 65): B: Ich überlege gerade, ob wir was in der organischen Chemie gemacht haben. (-) Ja, im OC-Praktikum haben wir es gemacht. Also im OC-Praktikum haben wir (-) Menthol untersucht …
Seminar zur Pflanzenphysiologie	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 63): B: Ich hatte noch das Seminar auch zur Pflanzenphysiologie, wo wir auch ein bisschen, auf jeden Fall über Lebensmittel natürlich gesprochen haben. (-) Ja, aber auch eher im Bereich der Genmutationen, das man, ja (-), verschiedenste Varianten nutzt und damit die, ja, Früchte größer werden und ähnliches. Aber das war eher so ein Randbereich, der Lebensmittelchemie. Das war auch eher Lebensmittelbiologie.
Triangel-Test in der Chemiedidaktik	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 67): B: Mir fällt übrigens gerade doch noch ein, dass wir das doch einmal im Studium gemacht haben, nämlich in der Chemiedidaktik haben wir einmal einen Triadentest [I: Triangel-Test] [B: Nicht ein Test], ein Triangel-Test zur Verkostung von Cola gemacht, glaube ich.
kaum/keine Berührungspunkte	8 (2/6) (6/1/1/0)	BP03 (Z 81): B: Ähm Pause] (-), ja, ne, dass also das Seminar jetzt war, das Einzige, was jetzt so richtig lebensmittelmäßig bezogen war und wo man dann auch schön Bezüge auch herstellen konnte und wissen auch selbst mal schauen konnte, wo man diese Thematik eigentlich in die Schule einbauen kann ins Kerncurriculum.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Angebote im Studium		
weitere Seminare zur Lebensmittelchemie	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 87): B: Aber eben, also so in Form von so Seminaren wie dem, was wir jetzt gemacht haben, finde ich es, glaube ich, ganz sinnvoll, dass man, also das man nicht nur irgendwie mal in der Vorlesung nebenbei erwähnt: "Ach ja, übrigens (-) hier Alkohole gibt es auch als Lebensmittel und das ist in der Schule wichtig oder so" sondern, das also das man eben auch irgendwie gezielt darauf hinweist, was man damit machen kann.
Wirkungsweise auf den Körper	2 (1/1) (1/1/0/0)	BP05 (Z 131): B: … und die chemische Wirkungsweise und das geht dann mehr so in Richtung Biochemie, auch die Wirkweise auf den Körper.
kein weiteres Pflichtprogramm zur Lebensmittelchemie	4 (0/4) (3/0/0/1)	BP02 (Z 81): B: Ähm [Pause] (11s), ja (-), also ich fand das, also von mir aus müsste es jetzt nicht über dieses Seminar hinaus gehen als Pflichtprogramm, weil ich glaube gerade solche, ja, „Türöffner-Seminare" in verschiedenen Themen sind super super wertvoll für später …
Beispiele für Unterrichtseinheiten	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 83): B: Vielleicht, das man auch mal so ein Beispiel-Unterrichtseinheiten präsentiert, also (-) wie kann ich das, also wie kann ich ein bestimmtes Thema erstmal reinbringen in den Unterricht, also Vorstellungen von Unterrichtseinheiten mit Beispielexperimenten, die man auch in der Schule gut machen kann, die auch anschaulich sind.
Lebensmittelgruppen	4 (1/3) (3/0/1/0)	BP03 (Z 83): B: Dann auf jeden Fall, ja, so vielleicht auch Lebensmittel an den sehr viel rumgepfuscht wird, die ja auch vielleicht auch sehr beliebt sind. Das man da auch mal drauf achtet, was zurzeit gerade so richtig im Trend ist, aber ja alkoholischen Getränke (-) eigentlich so alles, was wo man weiß, dass jeder da irgendwie mit in Berührung kommt, Obst und Gemüse, ja.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Lebensmittel in Grundpraktika integrieren	4 (1/3) (2/0/1/1)	BP06 (Z 69): B: Ja, also ich denke, dass, ja, eigentlich auch schon im Grundpraktikum da vielleicht ein bisschen mehr Bezug drauf genommen werden könnte. Das man da auch schon mal sagt, dass diese Methode bietet sich auch an, um den Alkoholgehalt in, was weiß ich was, zu bestimmen. Dass es da schon einfach mehr als häufiger als Beispiel genannt werden sollte und dass man da auch, ja, öfters mal so die Brücke dahin schlagen sollte, was einfach ein bisschen näher an der Lebenswelt dran ist, als immer nur in der, ja, universitären Denken zu bleiben.
rechtliche Grundlagen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 83): B: Ja, auf jeden Fall natürlich die rechtlichen Grundlagen.
Anknüpfungspunkte für den Unterricht/Didaktische Aspekte	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP01 (Z 88): B: Wie man das didaktisch mit einbringen kann, aufarbeiten kann, auf jeden Fall und wie man das, wo man das speziell anknüpfen kann und wie man das anknüpfen kann.
Analytikmethoden	1 (1/0) (0/0/1/0)	BP10 (Z 87): B: Wie gesagt, diese ganzen Analytikmethoden, wobei die sind, ja jetzt zum Beispiel was die HPLC und (-) Gaschromatographie und so weiter, das ist ja jetzt nicht nur quasi Lebensmittelchemie, sondern das ist ja auch, damit kann man ja auch andere Sachen analysieren, die jetzt nicht unbedingt mit Lebensmittelchemie zu tun haben. (-) Also (-) die ganze Analytik sollte schon vermittelt werden …
Fortbildungsangebote		
wünschenswert	9 (2/7) (7/1/1/0)	BP05 (Z 123): B: Ähm [Pause] (unv., Störung der Internetverbindung) (7s), das Seminar schon sehr aufschlussreich und vor allen Dingen auch lehrend in meiner Lehrerbildung jetzt. Ähm [Pause] (-), ich würde mir auch für zukünftige Lehrer wünschen, dass das weiter angeboten wird und dass sie die Möglichkeit haben das zu thematisieren.
mehr Praxisbezug	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 59): B: Ja, also (LACHEN), ich glaube jeder wünscht sich Verbesserungen (LACHEN) im Bereich der Lehrerbildung, das man einfach da mehr Praxisbezug hat.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
konkretes Material für Lehrkräfte	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 63): B: Aber ich glaube, dass es sich wirklich anbieten würde, wenn man Lehrkräften oder Chemielehrkräften im Allgemeinen konkrete Beispiele an die Hand geben würde, wie man eben die Lebenswelt der Schüler stärker in den Bereichen einbringen kann.
neue Lebensmittel kennenlernen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 73): B: … und vielleicht auch, weil das die Industrie entwickelt sich ja auch immer weiter. Es gibt ja immer wieder neue Produkte und dann wäre es eigentlich ganz schön, wenn man auf dem neusten Stand ist und den Schülern und Schülerinnen natürlich das Neueste vom Neuesten mit präsentieren kann und ja …
Alltagsbezüge herstellen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP03 (Z 73): B: Ja, auf jeden Fall. Ich weiß selbst, dass diese Alltagsbezüge nicht oft in der Schule vorgenommen wurden und auch in meinem Schulpraktikum vor eins, zwei Jahren, ist mir das auch nicht begegnet, dass wir irgendwie Lebensmittel untersucht haben. Ich finde es aber auf jeden Fall sehr sinnvoll und würde es mir auf jeden Fall wünschen, dass es da irgendwie Angebote gibt, dass man sich selbst da nochmal fortbilden kann …
wenn Lebensmittelchemie im KC verankert wird	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 80): B: … aber wenn das KC so Lebensmittelchemie auf jeden Fall mehr mit aufnimmt, dann würde ich natürlich auch mehr Fortbildungsmöglichkeiten mir wünschen in der Ausbildung.
rechtliche Grundlagen/ Richtlinien	4 (2/2) (1/1/1/1)	BP03 (Z 75): B: Also vor allem auch die rechtlichen Grundlagen, weil die ja vor allem auch bei Lebensmitteln eine sehr wichtige Rolle einnehmen …
analytische Grundlagen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP01 (Z 82): B: … und wie man die eben auch analytisch eben herausfinden kann oder die Gehalte eben auch rausfinden kann …
Experimente praktisch durchführen	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP01 (Z 84): B: Gerne so praktisch wie möglich …

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Lebensmittelgruppen theoretisch betrachten	5 (2/3) (3/1/1/0)	BP10 (Z 81): B: Ähm [Pause], ja gerade so was sind da für Inhaltsstoffe drin, also welche Inhaltsstoffe sind da interessant (-) und wie kann man das zu den (-) behandeln, also die zu den Stoffgruppen oder so, die im Unterricht behandelt werden. Die Verbindungen setzen, also (-) gerade so Inhaltsstoffe, was ist wirklich die Chemie dahinter …
Berufsorientierung	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 61): B: Also bezogen auf die Lebensmittelchemie, glaube ich, halt vor allem, dass die, ja, einerseits die Berufskenntnis, dass man vielleicht auch einfach mehr darüber als Lehrer wissen sollte, welche chemischen Berufe es wirklich gibt. Auch gerade in der Lebensmittelchemie, dass man darüber auch vielleicht die Schüler ein bisschen mehr informieren kann.
freiwillige Teilnahme	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 79): B: … das einen das dann selbst frei steht, ob man das machen möchte oder nicht. Da wenn es jetzt Pflicht wäre, bräuchten ja manche Lehrer trotzdem könnten die sagen, ja ne, das möchte ich aber nicht mit in meinen Unterricht integrieren, deswegen fände ich das freiwillig auf jeden Fall vollkommen in Ordnung und würde es mir auch wünschen, wenn es sowas gibt.
Umsetzung in der Schule/Bezüge	5 (2/3) (2/1/1/1)	BP08 (Z 85): B: Deswegen wäre es, glaube ich, wichtiger irgendwie darauf zu schulen, wie man das im Kontext Schule auch verwenden kann. (-) Also was es für mögliche Anknüpfungspunkte gibt, was es für Versuche gibt.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
über rechtliche Rahmenbedingungen argumentieren	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP04 (Z 67): B: Also ich würde auf jeden Fall auch, also ich würde immer die rechtlichen Rahmenbedingungen im Blick behalten. Ich würde es aber nicht zu sehr übertreiben. Also ich würde sie als Rahmenbedingung immer mitnehmen, weil es ja auch im Endeffekt daraus viel Handlungsbedarf entsteht, um zum Beispiel zu überprüfen ob die Grenzwerte eingehalten werden und daraus ergeben sich ja viele Fragestellungen, die man auch untersuchen kann. Ähm [Pause] (-), ich glaube, dass ich aber, also es bleibt ja Chemieunterricht und es ist ja keine Jura-Vorlesung, also dass ist jetzt sehr überspitzt ausgedrückt. Ja, ich glaube tatsächlich, dass ich, ähm [Pause] (-), ja diesen, ich würde aber diese rechtlichen Rahmenbedingungen verwenden, weil ich diesen (-) problemorientierten Gang interessant finde, also das ich eine Frage verfolge und ja, so ein bisschen handlungsorientiert, problemorientiert dann da ran gehe, das finde ich, also ich glaube, ja, weil ich das sehr realistisch finde auch. Also (-) das bringt ja einen sehr realistischen Weg aus der Lebensmittelchemie in die Schule. Also ich glaube, so würde ich schon viel vorgehen.
ohne Geräte	2 (1/1) (1/0/1/0)	BP06 (Z 59): B: Dass es da Möglichkeiten gibt, gerade zu zeigen, wie man das vielleicht auch ohne die entsprechenden Geräte in der Schule thematisieren könnte.
Herstellungsverfahren von Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 82): B: … und sonst auch so Herstellungsverfahren so im geringen Maße …

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden in ihrem bisherigen Studium keine oder nur kaum Berührungspunkte mit der Thematik der Lebensmittelchemie hatten. Dies gaben insgesamt acht Teilnehmer:innen an. Für sieben der acht Teilnehmer:innen war dieses Seminar der erste Berührungspunkt im Studium mit der Lebensmittelchemie. Lediglich eine befragte Person hat ein Seminar zur Pflanzenphysiologie belegt, indem auch pflanzliche Lebensmittel, wie Kaffee, Tee und Rotwein sowie Tabak als Genussmittel thematisiert worden sind. Eine andere befragte Person konnte sich daran erinnern, dass sie in der Chemiedidaktik-Vorlesung einmal mit der Lebensmittelsensorik in Berührung gekommen ist. Dort wurde

ein Triangel-Test durchgeführt, bei dem Cola-Getränke verkostet wurden. Zudem hat diese Person im Praktikum der organischen Chemie Menthol untersucht, jedoch ohne Bezug zur Lebensmittelchemie.

Drei Teilnehmer:innen gaben zudem an, dass sie ebenfalls im Praktikum der organischen Chemie einmal Koffein extrahiert haben, wobei lediglich das Verfahren der Extraktion im Fokus stand und das Koffein als Inhaltsstoff in Lebensmitteln nicht weiter betrachtet wurde.

Aufgrund der geringen Anzahl an Berührungspunkten im Studium für die Chemie-Lehramtsstudierenden zum Thema Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik, ist es interessant herauszufinden, ob sich die Studierenden zu dieser Thematik bereits im Studium Angebote wünschen und wenn dies der Fall ist, in welcher Art diese erfolgen sollten. Für weitere vier befragte Personen müsste die Betrachtung der Lebensmittelchemie nicht über das Seminar hinaus gehen und vor allem nicht als Pflichtprogramm. Durch die Möglichkeit der freien Seminarwahl können die Studierenden selbst entscheiden, welches Interessenfeld sie besonders anspricht. Wiederum andere vier Teilnehmer:innen sind der Meinung, dass man die Lebensmittelchemie beziehungsweise Lebensmittel bereits im Grundstudium in die Grundpraktika, die verpflichtend für alle Chemie-Lehramtsstudierenden sind, integrieren sollte. Dies sollte vor allem im Bereich der organischen Chemie eingebunden werden, wodurch auch eine motivierende Atmosphäre für die Studierenden geschaffen werden kann, wenn sie mit Proben experimentieren, die einen Alltagsbezug aufweisen. Die Teilnehmer:innen nannten zudem konkrete Beispiele, was bereits im Studium in Bezug auf die Lebensmittelchemie vermittelt werden sollte. Vier Teilnehmer:innen gaben an, dass es interessant wäre, bereits im Studium, unabhängig von diesem Seminar, etwas über Inhaltsstoffe und Stoffgruppen von Lebensmitteln zu lernen. Besonders beliebt sind dabei die Lebensmittelgruppen der alkoholischen Getränke sowie Obst und Gemüse. In Anlehnung dazu nannten zwei Teilnehmer:innen, dass es auch interessant wäre, die Wirkungsweise von verschiedenen Lebensmittelinhaltsstoffen auf den menschlichen Körper zu vermitteln. Für zwei Teilnehmer:innen steht zudem im Fokus, dass innerhalb des Studiums auch schon Möglichkeiten aufgezeigt werden sollten, an welche Themen man didaktisch anknüpfen und wie man die Lebensmittelchemie schließlich im schulischen Chemieunterricht anwenden kann. Somit hat man eine für die Schüler:innen alltagsnahe Thematik bereits im Kopf, die später umgesetzt werden kann.

Fortbildungsangebote im Bereich der Lebensmittelchemie sind für neun der zehn Teilnehmer:innen für bereits praktizierende, aber auch zukünftige Lehrkräfte wünschenswert.

In Bezug auf Fortbildungen sind zwei Teilnehmer:innen der Meinung, dass die Teilnahme an entsprechenden Veranstaltungen freiwillig sein sollte, dass jede Lehrkraft nach dem eigenen

Interessengebiet entscheiden kann, ob Interesse an einer Teilnahme besteht. Als Antwort darauf, welche Inhalte in den Fortbildungsveranstaltungen vermittelt werden sollten, gab die Hälfte alle Teilnehmer:innen an, dass die Lebensmittelgruppen theoretisch besprochen werden sollten. Dabei sollten die verschiedenen Inhaltsstoffe thematisiert werden, sodass die Lehrkräfte erfahren, welche Chemie hinter den Lebensmitteln wirklich steckt. Vier Studierenden nannten zudem als Inhalt die rechtlichen Grundlage beziehungsweise Richtlinien, die für verschiedene Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe nach dem Lebensmittelrecht gelten. Dieser Punkt sollte zwar nicht den größten Teil der Fortbildung einnehmen, sollte jedoch angesprochen werden, um nachvollziehen zu können, warum gerade ein bestimmter Inhaltsstoff quantifiziert wird. Für zwei Teilnehmer:innen wäre auch die Thematisierung der verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik von Bedeutung, denn ohne das Verständnis über die Gerätschaften, können entsprechende Experimente im schulischen Chemieunterricht nicht umgesetzt werden. In dem Bezug nannten zwei Studierenden, dass während der Fortbildungsveranstaltungen vor allem die Experimente praktisch durchgeführt werden sollten. Natürlich verfügen nicht alle Schulen über einen Hochleistungsflüssigkeits- oder Gaschromatographen, sodass die Umsetzung dieser Experimente im schulischen Chemieunterricht eine Barriere darstellt. In dem Zusammenhang schlug jedoch eine der befragten Personen vor, dass sich die verschiedenen Landkreise überlegen könnten, ob sie zusammen ein entsprechendes Gerät anschaffen, sodass durch eine Exkursion die Experimente entsprechend durchgeführt werden könnten. Diese Person gab als weiteren Gedankenweg an, dass es ja eventueller Weise auch möglich wäre, einen Chemie-Kurs anzubieten, der schulübergreifend ist, sodass interessierte Schüler:innen die Möglichkeit bekommen können, die Experimente auch mit einem entsprechenden Gerät durchzuführen. Ein Punkt, den eine befragte Person genannt hat, ist die Berufsorientierung, die thematisiert werden sollte. Denn nur, wenn die Lehrkräfte selbst Wissen über chemische Berufe, wie beispielsweise von Lebensmittelchemiker:innen, haben, können sie dieses Wissen an die Schüler:innen weitergeben. Neben dem Fachwissen über Lebensmittelgruppen, instrumenteller Analytik und rechtlichen Grundlagen, sowie der Thematisierung der Berufsorientierung und der praktischen Durchführung der Experimente, ist es für die Hälfte der Chemie-Lehramtsstudierenden von Bedeutung, in Fortbildungen ebenfalls etwas über die Umsetzung der Thematik im schulischen Chemieunterricht und Bezüge zu den niedersächsischen Kerncurricula Chemie zu erfahren. Dazu zählt beispielsweise, wie man die instrumentelle Analytik in Form von HPLC und GC, auch ohne das entsprechende Gerät, in den Unterricht einführen kann, sind zwei Teilnehmer:innen der Meinung.

8.2.8 Sonstige Ergebnisse aus den qualitativen Interviews

Neben der Beantwortung der Forschungsfragen konnten aus der Interviewstudie als Ergebnisse noch Anregungen für die Verbesserungen des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* sowie weitere Lebensmittel, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden in diesem Seminar noch gerne betrachtet hätten, gezogen werden.

8.2.8.1 Verbesserungsvorschläge und Anregungen für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Am Ende des Interviews haben die Chemie-Lehramtsstudierenden teilweise noch Verbesserungsvorschläge für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* angegeben. Aus diesen und weiteren Anregungen wurden ebenfalls induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-22 dargestellt werden. Die Verbesserungsvorschläge und Anregungen dienen entsprechend als Ausblick für eine Überarbeitung, um das Seminar für die nachfolgenden Chemie-Lehramtsstudierenden noch weiter zu verbessern.

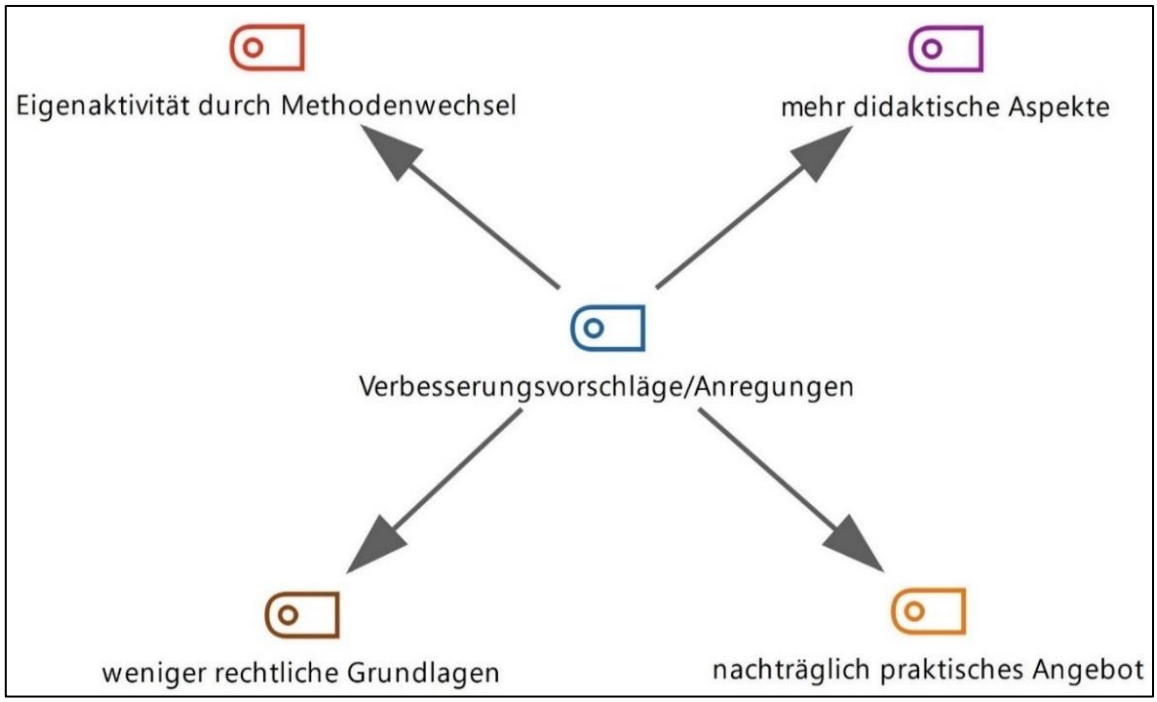


Abbildung 8-22 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu Verbesserungsvorschlägen und Anregungen zum Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-22 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-22 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-22 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu Verbesserungsvorschlägen und Anregungen zum Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Eigenaktivität durch Methodenwechsel	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 71): B: Es wäre nur manchmal ein bisschen einfacher gewesen, hätte man vielleicht ein bisschen mehr Austauschelemente zwischendurch da drinne gehabt schon, um so ein bisschen durchatmen zu können und wirklich einmal das Ganze, dadurch das man sich selber darüber unterhält beispielsweise, auf eine andere Art und Weise zu reflektieren, den reinen Input, den man am Anfang bekommen hat.
mehr didaktische Aspekte	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP01 (Z 94): B: … vielleicht das Rechtliche ein bisschen knapper fassen.
weniger rechtliche Grundlagen	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 94): B: Wie gesagt, ein bisschen mehr didaktisch das mit aufarbeiten …
nachträglich praktisches Angebot	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 73): B: Das ist jetzt vielleicht eher so etwas persönliches und, ja, und dass es halt sehr schade ist, dass es, ja, keinen praktischen Bezug gab. Ich weiß nicht, ob das irgendwann nochmal möglich ist, ob man da vielleicht nochmal, ja, so eine Öffnung macht für all diejenigen, die jetzt in dieser Coronazeit da nicht die Chance hatten. Das man zu mindestens die informiert, wenn es irgendwann mal möglich ist, dass man (-) dann nochmal die Chance hätte sich sowas auch in der Praxis anzuschauen. Zu mindestens so lang, sage ich mal, wir alle noch an der Uni sind.

Insgesamt kann anhand von Tabelle 8-22 entnommen werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden nur sehr wenige Verbesserungsvorschläge beziehungsweise Anregungen für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* haben. So hat eine befragte Person angegeben, dass sie es angenehmer finden würden, wenn man die Besprechung der rechtlichen Grundlagen knapper fassen würde. Gerade in dem Bereich haben die Chemie-Lehramtsstudierenden nicht mehr so viel aufnehmen können, weil es einfach sehr viele rechtliche Grundlagen zu den verschiedenen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe gibt. Anstelle der rechtlichen Grundlagen sollten, nach Meinung zweier Teilnehmer:innen, lieber mehr didaktische Aspekte mit eingebaut werden. Jeweils eine befragte Person gab als Verbesserungsvorschlag beziehungsweise Anregung an, dass es für die Teilnehmer:innen vielleicht angenehmer wäre, wenn man die Lebensmittelgruppen, die instrumentelle Analytik sowie die rechtlichen Grundlagen und die

Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie nicht einfach in Form von Präsentationen durchgehen würde. Stattdessen schlägt diese Person verschiedene Methodenwechsel vor, bei denen die Chemie-Lehramtsstudierenden mehr Eigenaktivität zeigen müssen. Eine andere Person würde sich wünschen, dass es nachträglich vielleicht nochmal die Möglichkeit gibt, die Experimente eigenständig im Labor durchzuführen, damit man die Experimente einmal durchgeführt hat, bevor man sie im schulischen Chemieunterricht einsetzt.

Anhand der Angabe der wenigen Vorschläge und Anregungen, um das Seminar zu verbessern, kann daraus geschlossen werden, dass den Chemie-Lehramtsstudierenden die Teilnahme am Seminar sehr gut gefallen hat. Die gesammelten Anregungen und Verbesserungsvorschläge sollen schließlich mit in die Reflektion des Seminars einfließen und werden gegebenenfalls umgesetzt.

8.2.8.2 Weitere Lebensmittel, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden gerne noch betrachten würden

Um das Seminar für die Chemie-Lehramtsstudierenden immer weiterzuentwickeln, ist es wichtig zu wissen, welche Lebensmittel die Teilnehmer:innen noch interessant finden würden, die im Seminar noch keine Anwendung gefunden haben. Daher wurden die Chemie-Lehramtsstudierenden nach weiteren Themenbereichen der Lebensmittelchemie gefragt, die sie gerne noch im Seminar behandelt hätten. Aus den Antworten aus den Interviews wurden induktive Kategorien gebildet, die in Abbildung 8-23 dargestellt werden.

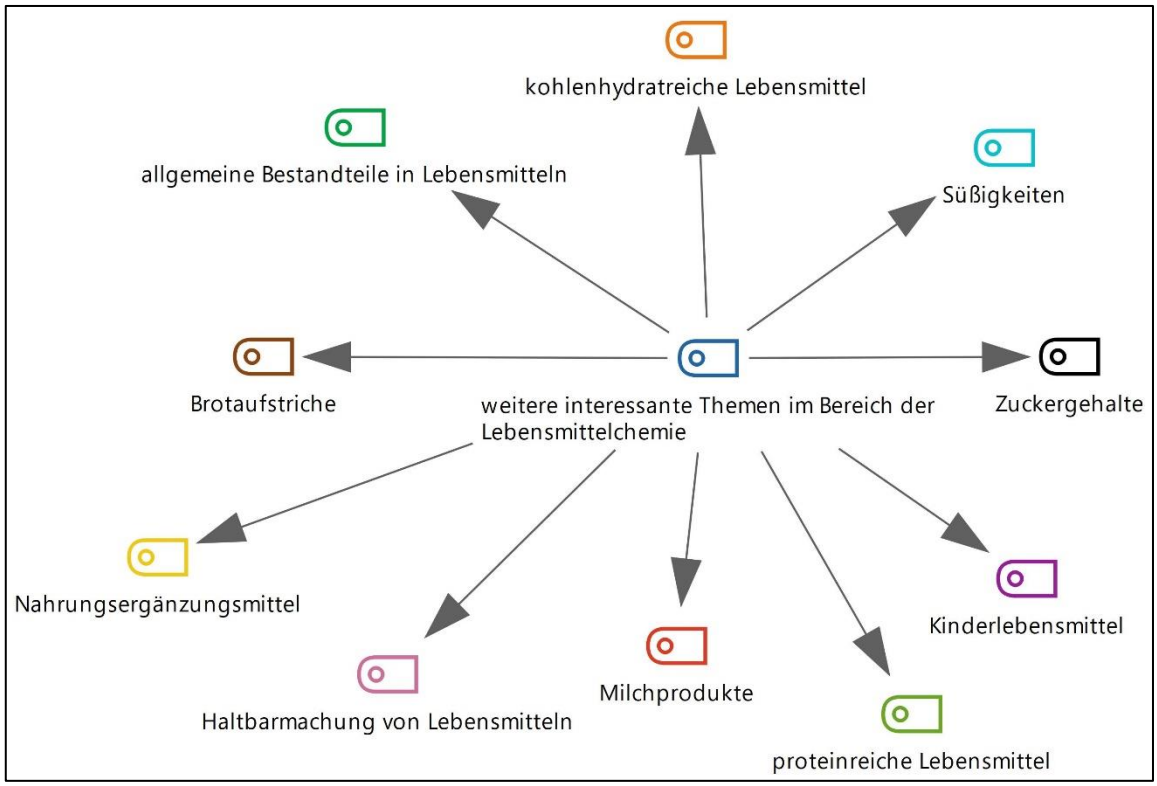


Abbildung 8-23 Darstellung der induktiven Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu weiteren interessanten Themenbereichen der Lebensmittelchemie, die sie gerne noch im Seminar betrachtet hätten [eigene Darstellung]

Für die in Abbildung 8-23 dargestellten Kategorien werden in Tabelle 8-23 die einzelnen Codes, die Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispiele aufgezeigt, die zur Bildung der Kategorien und der Codes geführt haben.

Tabelle 8-23 Kategorien zur Befragung der Chemie-Lehramtsstudierenden zu weiteren interessanten Themenbereichen der Lebensmittelchemie, die sie gerne noch im Seminar betrachtet hätten

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
kohlenhydratreiche Lebensmittel	1 (1/0) (0/1/0/0)	BP08 (Z 77): B: Hmm [Pause] (8s) (finde ich?), glaube ich (-), einerseits so, also Kohlenhydrate als solche ganz interessant, weil man halt immer hört wie gute Kohlenhydrate, schlechte Kohlenhydrate, was bedeutet das eigentlich und wie werden die irgendwie im Körper (-) umgesetzt. Und warum ist Vollkornbrot besser als Weißbrot. (-) So in die Richtung.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Süßigkeiten	2 (0/2) (1/0/0/1)	BP04 (Z 57): B: Also ich glaube tatsächlich, dass ich es auch noch mal ganz interessant finden würde, vielleicht, auch für Schüler, ein bisschen, ja so Süßwaren vielleicht noch mehr in den Betracht zu ziehen …
Zuckergehalte	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 70): B: … ich weiß nicht, ob man da irgendwie was zu machen kann, aber der Zuckergehalt in Kinderlebensmitteln wird ja auch immer wieder diskutiert, ob da zu viel drin ist, ob da überhaupt das drin ist, was drauf steht, sage ich jetzt mal.
Kinderlebens-mittel	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP01 (Z 70): B: … ich weiß nicht, ob man da irgendwie was zu machen kann, aber der Zuckergehalt in Kinderlebensmitteln wird ja auch immer wieder diskutiert, ob da zu viel drin ist, ob da überhaupt das drin ist, was drauf steht, sage ich jetzt mal.
proteinreiche Lebensmittel	2 (0/2) (2/0/0/0)	BP03 (Z 65): B: Aber auch, ähm [Pause] (-), vor allem so mit Produkten, was jetzt auch sehr gefragt ist, die viel Protein enthalten, ob das vielleicht wirklich so ist oder auch diese Proteinriegel. Allgemein eigentlich alles so im Fitnessbereich, weil ich merke halt, dass man durch die Medien sehr beeinflusst wird und man immer hört, ja Proteinpulver soll man zu sich nehmen, wenn man Sport macht oder die Proteinriegel sollen gut sein oder auch, es gibt ja immer so neue Produkte, die gut wären, so wie Linsenchips, wo man dann auch in Bezug auf die Kalorien achten muss und dass man vielleicht sowas mal untersucht, wie viel Protein ist da wirklich drin. Gibt es da vielleicht auch irgendwelche Richtwerte oder ist das tatsächlich nur Geldmacherei im Endeffekt.

Liste der Codes	Anzahl der Nennungen (m/w) (B/P/M/D)	Beispiele
Milchprodukte	3 (1/2) (2/0/1/0)	BP10 (Z 73): B: Ähm [Pause] (-), ja, wie gesagt, glaube, ja Milchprodukte hatten wir jetzt ja nicht da drin, also sowas wie Fette und sowas, aber wie gesagt, Milchprodukte aus dem, wie gesagt, ich komme aus, meine Eltern haben Landwirtschaft, äh [Pause] (-), Milchviehbetrieb und da halt Milch. Also da ist man schon irgendwie mit der Milch (-), ja, (-) hat man schon Bezug zu und da wäre es halt mal (-) und da so Milch und Milchprodukte, was da eigentlich alles so drinsteckt (-) an Lebensmittelchemie, würde ich auch sehr interessant finden. (-) Gerade auch so mit Eiweißen und Fetten und da ist ja sehr viel drin …
Haltbarmachung von Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP09 (Z 57): B: … Methoden der Haltbarmachung. Das heißt, so was wie, was ist denn eigentlich das Prozedere und was ist die Begründung, weshalb so Sachen wie Einmachen, Einkochen, wie früher man das gemacht hat, oder auch so ein Prozess wie das (Pökeln?). Wie macht das Pökeln etwas haltbar beispielsweise, dass solche Methoden der Lebensmittelindustrie und auch im Verfahren mit Lebensmitteln im Allgemeinen, dass das noch unfassbar (interessant wäre?), meiner Meinung nach.
Nahrungsergänzungsmittel	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP06 (Z 53): B: Also ich (-) also das ist jetzt der erste Gedanke, den ich jetzt gerade hatte, ich weiß nicht inwieweit das umsetzbar ist, aber gerade so diese Nahrungsergänzungsmittel fände ich sehr spannend. Auch mal zu wissen (-), wie dringend braucht das ein Körper.
Brotaufstriche	1 (0/1) (0/0/0/1)	BP04 (Z 57): B: … oder (HUSTEN), was ich auch insgesamt interessant finden würde, wäre, wenn man sich dann auch, wenn man dem Honig, vielleicht noch andere Brotaufstriche …
allgemeine Bestandteile in Lebensmitteln	1 (0/1) (1/0/0/0)	BP02 (Z 75): B: … wenn man jetzt zum Beispiel sich die allgemeinen (-) Bestandteile von Lebensmitteln angucken würde, wie Kohlenhydrate oder Ballaststoffe oder Mineralstoffe oder so.

Anhand von Tabelle 8-23 kann entnommen werden, dass es noch einige Themenbereiche in der Lebensmittelchemie gibt, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden gerne im Seminar noch

betrachtet hätten. Die beliebteste Gruppe von Lebensmitteln, die dabei von drei Teilnehmer:innen genannt worden ist, sind Milch und Milchprodukte. Neben den Inhaltsstoffen der Milch würden die Studierenden gerne als Beispiel für ein Milchprodukt Käse behandeln, einerseits aus persönlichem Interesse und andererseits aus familiären Gründen. Weiterhin beliebt wäre die Betrachtung von proteinreichen Lebensmitteln. Gerade im Alter der Studierenden und der Schüler:innen der gymnasialen Oberstufe gibt es viele Personen, die Sport im Fitnessstudio machen und vor beziehungsweise nach dem Training beispielsweise Proteinshakes konsumieren. Daher wäre wieder ein Alltags- und Lebensweltbezug vorhanden, sodass die Motivation gesteigert werden kann. Im Vergleich dazu haben aber auch zwei Teilnehmer:innen als interessante Thematik Süßigkeiten genannt, die in der Regel, aufgrund eines hohen Zuckergehaltes, einen ungesunden Charakter mit sich bringen. Dennoch sind Süßigkeiten bei vielen Menschen sehr beliebt, sodass viele davon sogar teilweise mehrmals am Tag Süßigkeiten konsumieren. Daher liegt auch hier ein starker Alltags- und Lebensweltbezug zu den Studierenden und den Schüler:innen, sowohl der Sekundarstufe I als auch der Sekundarstufe II, vor. Gerade, wenn man die Studierenden und Schüler:innen die Süßigkeiten noch zusätzlich, durch verschiedene Versuche der Lebensmittelsensorik, probieren lässt, wirkt sich dies nochmal zusätzlich positiv auf die Motivation dieser aus.

8.2.9 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Zweifachs?

Vergleicht man die Ergebnisse aus der qualitativen Interviewstudie mit den Chemie-Lehramtsstudierenden in Hinblick auf das Zweitfach, welches sie belegen, fällt im Bereich des Vorwissens zu den Lebensmittelgruppen auf, dass nur die Studierenden mit dem Zweifach Biologie und Physik über Grundlagenwissen verfügen. Bei den Biologie-Zweitfachstudierenden ist dabei konkretes Wissen bei Honig und Vitamin C in Obst und Gemüse vorhanden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei Honig und auch bei Obst und Gemüse um Naturstoffe handelt, die ebenfalls im Studienfach Biologie behandelt werden. Hingegen ist den Biologie-Zweitfachstudierenden wenig über die Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug bekannt. Dafür können die Biologie-Zweitfachstudierenden viele konkrete Beispiele für Lebensmittelskandale nennen, ebenso wie die Person, die Mathematik als zweites Fach studiert. Die Person, die Deutsch als zweites Fach studiert, kennt sich weder im Bereich Lebensmittelauthentizität und Lebensmittelbetrug aus, noch kann sie Beispiel für Lebensmittelskandale nennen.

Im Bereich des Vorwissen zur instrumentellen Analytik fällt auf, dass die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch, sich an die Durchführung der Dünnschichtchroma-

tographie aus dem eigenen schulischen Chemieunterricht erinnern können. Die Studierenden, die auch Biologie studierenden, sind bereits im Studium mit der Methode der DC in Berührung gekommen, ebenso wie die Person, die neben Chemie auch Mathematik studiert. Einzige Person, die kein Vorwissen im Bereich der DC hatte, war die Person, die Physik als Zweitfach studiert. Während die meisten Chemie-Lehramtsstudierenden demnach bereits Kontakt mit der DC, entweder während der Schulzeit oder dem Studium, hatten, ist auffällig, dass das Vorwissen bei der HPLC, unabhängig vom Zweitfach, bei fast keinem der Chemie-Lehramtsstudierenden vorhanden war. Im Vergleich zur HPLC sind die meisten der Chemie-Lehramtsstudierenden bereits in ihrer Schulzeit mit der GC in Berührung gekommen. Dies ist unabhängig von Zweitfach so, weil die Gaschromatographie als Thematik im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II fest verankert ist. Insgesamt hat die Thematisierung in der Schule jedoch theoretisch stattgefunden, sodass das Vorwissen zum Gerät mit den einzelnen Bauteilen und das Prinzip nicht als Wissen präsent war. Auffällig ist, dass die GC während des Studiums nur in den Zweitfächern Physik und Mathematik als Themengebiet vorkommt. Die Studierenden, die als Zweitfach Biologie und Deutsch belegen, besitzen hingegen kein beziehungsweise nur kaum Vorwissen im Bereich der GC aus dem Studium. Während die DC und die GC als Methoden aus der eigenen Schulzeit bekannt sind, haben die Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Zweitfach, keinerlei Vorwissen aus der Schulzeit im Bereich der Photometrie. Die Photometrie wird jedoch während des Studiums thematisiert, wobei auffällig ist, dass die Person mit Mathematik als Zweitfach kein Vorwissen zur Photometrie aufweist.

Bezüglich des Vorwissens zu den rechtlichen Grundlagen der Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe hat sich gezeigt, dass die Studierenden, die Biologie als Zweitfach belegen, mehr Vorwissen aufweisen als die Studierenden mit anderen Zweitfächern, was darauf zurückzuführen ist, dass die meisten der Teilnehmer:innen Biologie als Zweitfach studieren. Demnach kann hierzu keine genaue Aussage getroffen werden. Alle Chemie-Lehramtsstudierenden wussten, dass es bestimmte Grenzwerte und Mindestgehalte gibt und konnten auch alle, bis auf die Person mit dem Zweitfach Deutsch, konkrete Beispiele dazu nennen.

Vergleicht man das neu erlernte Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit von ihrem Zweitfach, kann wahrgenommen werden, dass es bei den Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, sowie der instrumentellen Analytik keine unterschiedlichen Einschätzungen gibt. Dafür jedoch beim neu erlangten Wissen bezüglich der rechtlichen Grundlagen. So ist aufgefallen, dass nur die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie und Mathematik konkrete Beispiele für neues Wissen im Bereich der rechtlichen Grundlagen nennen konnten. Dabei bezieht sich das neue Wissen bei den Biologie-Zweitfachstudierenden vor allem auf die

allgemeine Sicherheit, die ihnen durch die stattfindenden Kontrollen gegeben wird, sowie auf Zusatzstoffe in Lebensmitteln im Allgemeinen. Bei der Person mit dem Zweitfach Mathematik beziehen sich dagegen die konkreten Beispiele auf die rechtlichen Grundlagen zu den Spirituosen in der Lebensmittelgruppe der alkoholischen Getränke und zur Lebensmittelgruppe Honig.

Betrachtet man die Qualität des Seminars aus der Sicht der Chemie-Lehramtsstudierenden im Allgemeinen, ist in Bezug auf den Input über die Lebensmittelgruppen und die instrumentelle Analytik keine unterschiedliche Einschätzung aufgrund des Zweitfachs zu erkennen. Jedoch sehen die Studierenden mit den Zweitfach Biologie als einzige Gruppe die Betrachtung der Wirkung der Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe auf den menschlichen Körper als positiv an, ebenso wie die Ausarbeitung bezüglich der Anknüpfungspunkte der Thematik an die niedersächsischen Kerncurricula. Den Chemie-Lehramtsstudierenden, die entweder Physik, Mathematik oder Deutsch als zweites Fach belegen, sind deutlich weniger positive Aspekte aufgefallen. Unterschiede sind jedoch eindeutig bei der Beliebtheit der thematisierten Lebensmittelgruppen zu beobachten. So sind bei den Biologie-Zweitfachstudierenden vor allem die Lebensmittel Honig sowie Obst und Gemüse beliebt, wohingegen für die Studierenden, die neben Chemie als zweites Fach Mathematik und Physik belegen, vor allem die alkoholischen Getränke interessant sind. Unabhängig vom Zweitfach hat sich gezeigt, dass auch die alkaloidhaltigen Lebensmittel das Interesse der Teilnehmer:innen geweckt haben.

Bei der instrumentellen Analytik hat sich ergeben, dass die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch ihre Aufmerksamkeit auf die Methoden der Dünnschichtchromatographie und Photometrie legen, weil diese Methoden sehr gut in der Schule umsetzbar sind. Bei der Person mit den Zweitfach Mathematik ist es ebenfalls die Photometrie, die besonderes Interesse hervorruft, und zwar im speziellen Fall die enzymatischen Bestimmungen, wohingegen die Person mit dem Zweitfach Physik keine konkrete Angabe macht. Als negativer Aspekt wurde lediglich angemerkt, dass es ein wenig zu viel Input war. Dies ist unabhängig vom Zweitfach geantwortet worden. Was die Studierenden, die als zweites Fach Biologie belegen noch genannt haben, ist, dass die rechtlichen Aspekte aus ihrer Sicht zu ausgeprägt dargestellt worden sind und sie sich stattdessen mehr didaktische Aspekte gewünscht hätten. Die Alternative zur praktischen Laborarbeit in Form von Videos und der theoretischen Betrachtung der Experimente, empfanden vor allem die Teilnehmer:innen mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch als sehr gelungen, wohingegen die Teilnehmer:innen mit dem Zweitfach Physik und Mathematik keine Angabe dazu gemacht haben. Bezüglich der Qualität der Experimente haben die Teilnehmer:innen unabhängig von ihrem Zweitfach die sehr verständlichen Versuchsvorschriften gelobt, mit denen eine Besprechung und Auswertung ohne Verständnisprobleme durchgeführt

werden konnte. Konkrete Beispiele für besonders gelungen Experimente haben hingegen nur die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie angegeben. Unabhängig vom Zweitfach waren alle Teilnehmer:innen enttäuscht darüber, dass sie die Experimente nicht eigenständig durchführen konnten, weil die eigene Durchführung sehr wichtig ist, um praktische Laborerfahrungen sammeln zu können.

Als Lernerfolg durch die Teilnahme am Seminar haben die Chemie-Lehramtsstudierenden unabhängig von Zweitfach hervorgehoben, dass sie ein Überblickwissen in Bezug auf die Lebensmittelgruppen, die instrumentelle Analytik und die rechtlichen Grundlagen bekommen haben, ebenso wie den Bezug zum schulischen Chemieunterricht. Gerade die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden haben als Lernerfolg noch die Betrachtung der Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologe hervorgehoben, ebenso wie die Vielfalt der Experimente, die sie im Seminar kennengelernt haben. Ähnlich wie beim Lernerfolg konnten die Biologie-Zweitfachstudierenden die meisten Antworten für die besonderes Aspekte des Seminars nennen. Die Videos waren ein Highlight für die Chemie-Lehramtsstudierenden. Dies wurde jedoch nur von den Studierenden mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch angegeben, während sich die Person mit dem Zweitfach Mathematik besonders an die Bierherstellung erinnert und die Person mit Physik als Zweitfach an die Energydrinks sowie die alkaloidhaltigen Lebensmittel, bei denen der Vergleich zwischen dem Koffein in Tee und Kaffee thematisiert worden ist.

Bei der Betrachtung, inwieweit sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mit Lebensmitteln in ihrem Alltag auseinandersetzen, kann festgehalten werden, dass die Biologie-Zweitfachstudierenden sich am meisten mit Lebensmitteln im Alltag auseinandersetzen. Dabei werden bestimmte Lebensmittel genannt, aber auch Gründe für die Auseinandersetzung, wohingegen sich die Person mit Deutsch als Zweitfach mit allgemeinen Inhaltsstoffen auseinandersetzt. Die Personen mit Mathematik und Physik als Zweitfach achten in ihrer Ernährung nicht besonders auf spezielle Lebensmittel, wobei die Auseinandersetzung nach der Teilnahme am Seminar zugenommen hat. Unabhängig vom Zweitfach beschäftigen sich die Teilnehmer:innen im Alltag mit den verschiedensten Getränken. Die Biologie-Zweitfachstudierenden darüber hinaus noch mit Süßwaren, Obst und Gemüse sowie Kaffee und Schokolade, ebenso wie Fertigprodukte. Die Fertigprodukte stehen auch bei der Person mit Deutsch als Zweitfach im Vordergrund, wohingegen aus familiären Gründen die Person mit dem Zweitfach Mathematik sich mit Milch und Milchprodukten auseinandersetzt.

Warum die Chemie-Lehramtsstudierenden am Seminar teilgenommen haben, hat verschiedene Gründe. Unabhängig vom Zweitfach steht dabei der hohe Alltagsbezug und der

Bezug zur Lebenswelt im Mittelpunkt. Die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden fanden die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik besonders interessant, weil es sich um eine spannende Thematik handelt, die sich gut für die Umsetzung im schulischen Chemieunterricht eignet und dessen Thematisierung sich motivierend auf die Schüler:innen auswirken kann. Positive Erinnerungen an den eigenen Chemieunterricht kamen bei den Teilnehmer:innen mit dem Zweitfach Biologie wieder zum Vorschein, wohingegen die Personen mit Mathematik und Physik als Zweitfach die Lebensmittelchemie als eine allgemein interessante Thematik beschreiben.

Unabhängig vom Zweitfach hatten die Chemie-Lehramtsstudierenden als Erwartungen an das Seminar, dass sie die Lebensmittelchemie kennenlernen, in dem verschiedene Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe betrachtet und Möglichkeiten zur Einbindung in den schulischen Chemieunterricht thematisiert werden. Zudem erwarteten die Biologie-Zweitfachstudierenden die Betrachtung von rechtlichen Hintergründen zu verschiedenen Lebensmitteln, ebenso wie die Auseinandersetzung mit Anknüpfungspunkten an das niedersächsische Kerncurriculum. Dabei wurden die Erwartungen unabhängig vom Zweitfach dahingehend nicht erfüllt, dass die Experimente coronabedingt nicht eigenständig durchgeführt werden konnten. Für die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie wurden die Erwartungen bezüglich des didaktischen Inputs und den Bezug zur Schule nicht erfüllt. Erfüllt wurden jedoch die Erwartungen in Bezug auf die Betrachtung der Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, welches unabhängig vom Zweitfach festgehalten werden kann. Bezüglich der Experimente wurden die Erwartungen der Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden erfüllt, ebenso wie die Anbindungen an die niedersächsischen Kerncurricula und die rechtlichen Grundlagen, welche die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie als Erwartungen äußerten.

Unabhängig von Zweitfach sind die Chemie-Lehramtsstudierenden sich einig, dass die Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule wichtig ist. Inwieweit man die Thematik jedoch anwenden kann, zeigt Unterschiede. Dabei geben fast ausschließlich die Biologie-Zweitfachstudierenden Ideen an, wie eine entsprechende Umsetzung stattfinden könnte. Ideen, die dabei formuliert worden sind, sind unter anderem das Anbieten einer Arbeitsgemeinschaft zur Lebensmittelchemie, die Umsetzung im schulischen Chemieunterricht im Bereich der Berufsorientierung und der organischen Chemie. Zudem wäre eine didaktische Reduktion möglich, um die Themen auch bereits in jüngeren Jahrgangsstufen einzusetzen und die Experimente könnten in andere Themenbereiche mit eingebunden werden. Neben den Biologie-Zweitfachstudierenden hat auch die Person, die Mathematik als zweites Fach studiert, die Idee ein

Seminarfach zur Lebensmittelchemie zu eröffnen, indem dann die entsprechenden Thematiken und Experimente angewendet werden könnten.

Welche Lebensmittelgruppen in welcher Jahrgangsstufe thematisiert werden sollten, bringt ebenfalls wieder Unterschiede in der Einschätzung mit. Während die Chemie-Lehramtsstudierenden unabhängig vom Zweitfach die alkoholischen Getränke in der Schule anwenden würden und das in der Sekundarstufe II, würde die Person, die Deutsch als zweites Fach studiert die Sensorik von Lebensmitteln mit einfließen lassen. Hingegen würde die Person, die Mathematik als zweites Fach belegt, die Farbstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken thematisieren und die Biologie-Zweitfachstudierenden würden neben den Farbstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken auch die alkaloidhaltigen Lebensmittel, das Vitamin C in Obst und Gemüse sowie die unterschiedlichen Methoden der instrumentellen Analytik im schulischen Chemieunterricht anwenden. Die Person die Physik als Zweitfach belegt, würde gerne das Koffein als Inhaltsstoff verschiedener Lebensmittel thematisieren und in der Oberstufe die Thematik der Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten sowie andere Rauschmittel. Die Wichtigkeit der Thematisierung der Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht wird damit erläutert, dass es sich bei der Thematik um einen guten Aufhänger für chemische Kontexte handelt und, dass aufgrund der vielen Alltagsbezüge die Motivation der Schüler:innen gesteigert werden kann. Dabei stehen bei den Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden die Aufklärung der Schüler:innen und die Betrachtung der Berufsorientierung im Vordergrund, ebenso wie die Anbindung an die niedersächsischen Kerncurricula, wohingegen für die Person mit Physik als Zweitfach die Lebensmittel die Grundlage des Lebens und der Ernährung darstellen. Damit gehört die Lebensmittelchemie zur Allgemeinbildung.

Die Chemie-Lehramtsstudierenden sollten konkrete Beispiel für Unterrichtseinheiten nennen, die sie gerne in ihrem eigenen schulischen Chemieunterricht integrieren würden. Dabei fiel auf, dass die alkoholischen Getränke, unabhängig vom Zweitfach der Studierenden, für die Anwendung in der Schule am beliebtesten sind, gefolgt von der Farbstoffbestimmung mittels DC in alkoholfreien Erfrischungsgetränken, welche in der Sekundarstufe I durchgeführt werden, sollte. Während die Person, die Mathematik als Zweitfach belegt, keine weiteren Ideen für Unterrichtseinheiten beisteuern konnte, haben die Biologie-Zweitfachstudierenden weitere Favoriten. Dazu gehören neben den alkaloidhaltigen Lebensmitteln auch die Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten, ebenso wie die Thematisierung der Lebensmittelgruppe Honig sowie Obst und Gemüse. Dies unterstreicht nochmals die Vermutung, dass gerade die Naturstoffe für Biologiestudierende von besonderem Interesse sind. Ebenfalls Obst und Gemüse würde die Person, die Deutsch als zweites Fach studiert, in einer Unterrichtseinheit umsetzen wollen,

wohingegen die Person mit Physik als Zweitfach vor allem Energydrinks und Zigaretten sowie Liquids für E-Zigaretten thematisieren möchte. Dabei sind sich die Biologie- und Physik-Zweitfachstudierenden einig, dass die Anwendung in der Sekundarstufe II erfolgen sollte.

Die meisten der Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Zweitfach, empfinden es als sehr wichtig, dass die Lebensmittelchemie, aufgrund des hohen Alltagsbezuges, und auch die Methoden der instrumentellen Analytik in Form der Photometrie und HPLC fest im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie verankert werden. Dabei sehen die Teilnehmer:innen dies vor allem in der Sekundarstufe II als sinnvoll an. Unterschiede ergeben sich in Bezug auf das Zweitfach in der Begründung, die die Chemie-Lehramtsstudierenden angeben. Während nur die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden wissen, dass die Dünnschicht- und die Gaschromatographie als Methoden bereits in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie verankert sind, ist dies den Teilnehmer:innen, die als Zweitfach Mathematik oder Physik studieren, völlig unbekannt. Während für die Biologie-Zweitfachstudierenden der Fokus der Lebensmittelchemie auch hier auf der Berufsorientierung sowie der menschlichen Gesundheit und Ernährung liegt, welches zu Diskussionsanregungen eingesetzt werden kann, nennen die Studierenden mit Mathematik und Physik als Zweitfach eher direkte Bereiche, wo die Verankerung stattfinden sollte. Demnach sollte die Lebensmittelchemie, gekoppelt mit der instrumentellen Analytik, im Themenfeld der organischen Chemie verankert werden, am besten im Kompetenzbereich Bewertung und Kommunikation oder im Themenbereich der Berufsorientierung. Bezüglich der Thematisierung der Photometrie als Methode sind sich die Biologie- und Mathematik-Zweitfachstudierenden einig, dass ein Abgleich mit dem niedersächsischen Kerncurriculum Physik sinnvoll wäre, um einschätzen zu können, zu welchem Zeitpunkt eine Thematisierung sinnvoll wäre.

Unabhängig vom Zweitfach würden die Chemie-Lehramtsstudierenden bei der Durchführung der Experimente, ohne Anwesenheit des entsprechenden Geräte beziehungsweise der Materialien, auf Erklärvideos zurückgreifen. Während die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden auch entsprechende didaktische Reduktionen vornehmen würden, sind die Physik- und Mathematik-Zweitfachstudierenden der Meinung, dass es sinnvoll wäre, günstigere oder defekte Geräte anzuschaffen, sodass eine direkte Thematisierung am Gerät erfolgen könnte. Neben der Person, die Physik als zweites Fach belegt, ist auch die Person mit Deutsch als Zweitfach für ein Nachstellen mit entsprechenden Tools oder Modellen. Zusätzlich würde die Person mit Deutsch als zweites Fach, ebenso wie die Biologie-Zweitfachstudierenden mit schriftlichen und bildlichen Informationen arbeiten wollen. Auffällig ist, dass die Teilnehmer:innen mit Biologie als Zweitfach die meisten Ideen haben, sodass auch ein Besuch eines

außerschulischen Lernortes in Betracht gezogen wird, ebenso wie ein fächerübergreifendes Arbeiten, die Verknüpfung mit anderen Experimenten, welche auf die entsprechenden Methoden hinführen kann und die Auswertung der Experimente mithilfe theoretischer Werte. Somit könnten die Schüler:innen die Experimente beispielsweise bis zur Injektion bei der HPLC durchführen und würden dann entsprechend für die Auswertung theoretische Werte zur Verfügung gestellt bekommen, wobei die Versuchsvorschriften aus diesem Seminar verwendet werden könnten.

Innerhalb der Verbesserung der Lehrkräftebildung hat sich gezeigt, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Zweitfach, kaum Berührungspunkte in ihrem Studium mit der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik hatten. Während die Teilnehmer:innen mit Deutsch und Mathematik als Zweitfach keine Berührungspunkte angeben konnten, haben die Biologie- und Physik-Zweitfachstudierenden im Praktikum der organischen Chemie eine Koffeinextraktion durchgeführt, wobei es hier ausschließlich um die Methode der Extraktion und nicht um das Koffein als Lebensmittelinhaltsstoff ging. Für die Person mit Physik als Zweitfach war dies der einzige Berührungspunkt, wohingegen die Teilnehmer:innen, die Biologie als Zweitfach belegen, sich an weitere Inhalte des Studiums erinnern konnten. Auffällig ist jedoch insgesamt, dass es sich um ein viel zu geringes Angebot zu dieser Thematik handelt. Daher wäre es sinnvoll, dass die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik im Chemie-Lehramtsstudium immer wieder präsent sind, indem man diese Thematik in verschiedene Module mit einbauen würde. Dies ist auch ein Wunsch der Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Zweitfach, die Lebensmittelchemie in die Grundpraktika zu integrieren. Bei den Wünschen bezüglich der Angebote zu dieser Thematik im Studium gehen die Meinungen in Abhängigkeit des Zweitfachs auseinander. Die Biologe-Zweitfachstudierenden würden gerne bereits im Studium mehr über verschiedene Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, einschließlich der Wirkung auf den menschlichen Körper, sowie deren rechtlichen Grundlagen erfahren. Zudem sollten auch didaktische Aspekte angesprochen werden, ebenso wie die Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie. Die Teilnahme sollte jedoch auf freiwilliger Basis erfolgen, weil sich nicht jeder der Studierenden für die Thematik der Lebensmittelchemie interessiert.

Für bereits praktizierende Lehrkräfte wünschen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Zweitfach, Fortbildungsangebote, in denen sowohl die Lebensmittelgruppen als auch die rechtlichen Grundlagen betrachtet werden, ebenso wie die Umsetzung im schulischen Chemieunterricht. Vor allem die Durchführung der Experimente ohne Gerät sollten, nach der Meinung der Biologie- und Mathematik-Zweitfachstudierenden, im Vordergrund stehen.

Auffällig ist, dass gerade die Biologie-Zweitfachstudierenden viele Anregungen für Fortbildungsangebote geben, sodass eigentlich alle Punkte, die auch im Seminar betrachtet worden sind, in den Fortbildungen angeboten werden sollten. Aber auch die Fortbildungen sollten auf freiwilliger Basis angeboten werden.

Welche Lebensmittel die Chemie-Lehramtsstudierenden gerne im Seminar noch betrachtet hätten, sind ganz unterschiedlich. Während die Person mit Physik als Zweifach vor allem kohlenhydrathaltige Lebensmittel interessant findet, sind es bei der Person mit Mathematik als Zweitfach die Milchprodukte und bei der Person mit Deutsch als Zweitfach die Zuckergehalte in verschiedenen Lebensmitteln, sowie weitere Brotaufstriche, ergänzend zum Honig. Bei den Biologie-Zweitfachstudierenden sind es neben Süßigkeiten ebenfalls die Zuckergehalte, die vor allem in Kinderlebensmitteln besonderes Interesse geweckt haben. Aber auch proteinreiche Lebensmittel sowie Milchprodukte und allgemeine Bestandteile von Lebensmitteln, die Haltbarmachung von Lebensmitteln und die Thematisierung von Nahrungsergänzungsmitteln wäre für die Biologie-Zweitfachstudierenden noch interessant. Welche Lebensmittel die Chemie-Lehramtsstudierenden jedoch faszinierend finden und weiter betrachten möchten, hängt zum einen vom persönlichen Interesse ab und zum anderen von familiären Hintergründen, sodass eine Pauschalisierung nicht möglich ist.

Insgesamt muss an der Stelle jedoch festgehalten werden, dass 70 % der Chemie-Lehramtsstudierenden Biologie als Zweitfach studieren, sodass natürlicherweise mehr Antworten zu erwarten waren. Um aussagekräftigere Ergebnisse in Abhängigkeit des Zweitfachs zu erzielen, müssten in den kommenden Jahrgängen die Chemie-Lehramtsstudierenden weiterhin zu ihren Ansichten und Einstellungen zur Lebensmittelchemie befragt werden.

8.2.10 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Geschlechts?

Vergleicht man die Ergebnisse aus der qualitativen Interviewstudie mit den Chemie-Lehramtsstudierenden in Hinblick auf das Geschlecht, ist auffällig, dass die männlichen Studierenden im Bereich der Lebensmittelgruppen vor allem Vorwissen bei den alkoholischen Getränken und den Energydrinks aufweisen. Nach Mensink et al. (2007) konsumieren mehr männliche als weibliche Jugendliche Energydrinks. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich das Konsumverhältnis auch mit zunehmendem Alter nicht verändert. Daneben trinken nach Orth & Merkel (2020) mehr Männer im Alter von 18 – 25 Jahren Alkohol als Frauen. Demnach kann erklärt werden, warum die männlichen Teilnehmer ein grundlegendes Vorwissen im Bereich der Lebensmittelgruppen der alkoholischen Getränke und der Energydrinks aufweisen. Die

weiblichen Studierenden zeigen hingegen Vorwissen im Bereich der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse, sowie dem Inhaltsstoff Vitamin C. Die Ergebnisse lassen sich auf das unterschiedliche Konsumverhalten der männlichen und weiblichen Teilnehmer:innen zurückführen. Ausgehend von Mensink et al. (2007) konsumieren bei den Schüler:innen im Alter bis 17 Jahren mehr Mädchen als Jungen Obst und Gemüse. Mit zunehmender Alter steigt zudem das Bewusstsein für gesundheitliche, ökologische und nachhaltige Aspekte. Gerade Frauen ernähren sich zudem häufig vegetarisch oder vegan, sodass auch davon ausgegangen werden kann, dass sich die weiblichen Studierenden in ihrem Leben häufig mit der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse auseinandersetzen, woraus ein entsprechendes grundlegendes Vorwissen resultiert. Im Bereich des Wissens zur Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug weisen die Chemie-Lehramtsstudierenden unabhängig vom Geschlecht gleich wenig Vorwissen auf. Bei den Lebensmittelskandalen fällt jedoch auf, dass die weiblichen Teilnehmerinnen insgesamt weniger Lebensmittelskandale aus der Vergangenheit kennen als die männlichen Teilnehmer. In Bezug auf das Vorwissen zur Thematik der instrumentellen Analytik, gibt es unabhängig vom Geschlecht, kaum gravierende Unterschiede, ebenso wie bei den rechtlichen Grundlagen zu den Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe.

In Bezug auf das neue Wissen zu den Lebensmittelgruppen, der instrumentellen Analytik und der rechtliche Grundlagen zeigen sich ebenfalls kaum Unterschiede in der Einschätzung in Abhängigkeit des Geschlechts. Hervorzuheben ist hier, dass ein Teil der weiblichen Teilnehmerinnen bezüglich der rechtlichen Grundlagen kein neues Wissen erlangt hat.

Die Qualität des Seminars wird von den Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, als sehr gut angegeben. Dabei sind es vor allem die weiblichen Teilnehmerinnen, die sich besonders für die Wirkung der Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe auf den menschlichen Körper interessieren, ebenso wie für die Bezüge zu den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie. Besonders beliebte Lebensmittelgruppen sind für die weiblichen Studierenden Honig sowie Obst und Gemüse. Für die männlichen Studierenden sind es hingegen die Energydrinks und die alkoholischen Getränke, die ihnen besonders gut gefallen haben.

Auch bei den Analytikmethoden kann ein Unterschied in Abhängigkeit des Geschlechts wahrgenommen werden. Während die weilbliche Teilnehmerinnen besonders an der Dünnschichtchromatographie und der Photometrie interessiert sind, sind es bei den männlichen Teilnehmern die enzymatischen Methoden. Bei den weiblichen Studierenden zeichnet sich ab, dass es besonders die Analytikmethoden sind, die sie besonders faszinieren, die auch gut im schulischen Chemieunterricht umsetzbar sind. Bei den männlichen Teilnehmern spiegelt sich mit der Angabe der enzymatischen Methoden das Interesse an den alkoholischen Getränken wider, weil

mithilfe der enzymatischen Methoden der Ethanolgehalt in alkoholischen Getränken und Honig bestimmt werden kann. Dass gerade die didaktischen Aspekte für die weiblichen Teilnehmerinnen von besonderem Interesse sind, kann auch anhand der Angabe der negativen Aspekt zur Qualität des Seminars festgemacht werden, weil sie dort angegeben haben, dass sie sich mehr didaktische Aspekte im Seminar gewünscht hätten. Der praktische Teil wurde von den weiblichen Studierenden jedoch als besonders gelungen hervorgehoben, weil die theoretische Betrachtung der Versuchsvorschriften mit Beispielwerten und den dazugehörigen Videos zu den Experimenten eine gute Alternative zur Laborpraxis gewesen sind. Dadurch wurde den Chemie-Lehramtsstudierenden das Labor ein wenig nach Hause geholt, sodass sie trotzdem einige Methoden als Videos ansehen und alle Experimente einmal auswerten konnten. Unabhängig vom Geschlecht sehen die Chemie-Lehramtsstudierenden die Qualität der Experimente als sehr gut an, weil keine Verständnisprobleme aufgetreten sind und es zusätzlich dazu Videos gab. Der einzige Nachteil liegt darin, dass die Experimente nicht eigenständig durchgeführt werden konnten, was unabhängig vom Geschlecht angegeben worden ist. Demnach sind auch alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht der Meinung, dass es sehr wichtig ist, dass die Experimente auch wirklich praktisch durchgeführt werden und nicht nur theoretisch besprochen werden sollten. Denn durch die eigene Durchführung können praktische Laborerfahrungen gesammelt werden.

Auffällig ist zudem, dass sich die männlichen Teilnehmer nicht mit Lebensmitteln im Alltag auseinandersetzen. Sie achten nicht besonders auf ihre Ernährung, wobei es durch die Teilnahme am Seminar zugenommen hat. Im Vergleich dazu achten die weiblichen Teilnehmerinnen auf die Inhaltsstoffe im Allgemeinen, wollen möglichst wenig Zucker zu sich nehmen und interessieren sich für eine vegetarische Ernährung sowie kosmetische Produkte. Da sich die Teilnehmerinnen für allgemeine Inhaltsstoffe interessieren, finden sie es im Alltag auch spannend, Fertigprodukte zu betrachten, aber auch Obst und Gemüse als gesunde Alternativen, sowie Süßwaren, Schokolade und Kaffee aufgrund des Bezugs zu ihrer eigenen Lebenswelt. Auch bei den Angabe der Gründe für die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* können Unterschiede bezüglich des Geschlechts erkannt werden. Die weiblichen Teilnehmerinnen argumentieren eher auf der Basis der Umsetzung für den schulischen Chemieunterricht, wohingegen bei den männlichen Teilnehmern die Gründe eher allgemein gehalten werden. Somit zeigt sich eindeutig, dass die weiblichen Studierenden die Thematik spannend finden und sich schon auf die Umsetzung im schulischen Chemieunterricht freuen, wohingegen die männlichen Studierenden sich über die Umsetzung der Thematik im Unterricht wenig Gedanken machen. Dies kann auch mit den Erwartungen, welche die Chemie-

Lehramtsstudierenden an das Seminar hatten, unterstrichen werden. Während unabhängig des Geschlechts die Erwartungen darin bestanden, die Lebensmittelchemie im Allgemeinen kennenzulernen, etwas über verschiedene Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe zu erfahren, sowie Einbindungsmöglichkeiten für den schulischen Chemieunterricht vermittelt zu bekommen, wollten die weiblichen Teilnehmerinnen zudem etwas über rechtliche Hintergründe der Lebensmittel und die Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula erfahren. Für die männlichen Teilnehmer sind alle Erwartungen erfüllt worden. Bei den weiblichen Studierenden wurden einige Erwartungen erfüllt, andere hingegen nicht. In Bezug auf die Experimente, die Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffen, die rechtlichen Grundlagen und die Anbindung an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie wurden auch die Erwartungen der weiblichen Teilnehmerinnen erfüllt. Im Vergleich dazu, hätten sie sich jedoch mehr didaktische Aspekte und Bezüge zum schulischen Chemieunterricht gewünscht. Demnach zeigt sich auch hier die didaktische Ausrichtung der weiblichen Studierenden im Vergleich zu den männlichen Studierenden.

Auch wenn bei den männlichen Studierenden die didaktischen Aspekte nicht so im Mittelpunkt stehen, wie bei den weiblichen Studierenden, finden es alle Teilnehmer:innen, unabhängig vom Geschlecht, wichtig, dass die Lebensmittelchemie in der Schule als Thematik angewendet wird.

Dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird, empfinden alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, als sehr wichtig, weil die Lebensmittelchemie sich aufgrund des hohen Alltagsbezuges motivierend auf das Lernverhalten der Schüler:innen auswirken kann. Zudem stellt die Thematik einen guten Aufhänger für verschiedene chemische Kontexte dar. Die beliebteste Lebensmittelgruppe, welche die Teilnehmer:innen, unabhängig vom Geschlecht, in der Sekundarstufe II umsetzen wollen, ist die Gruppe der alkoholischen Getränke, ebenso wie die Genussmittelgruppe der Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten, gefolgt von den Farbstoffen in alkoholfreien Erfrischungsgetränken, die bereits in der Sekundarstufe I betrachtet werden können. Weiterhin unabhängig vom Geschlecht würden die Chemie-Lehramtsstudierenden die Energydrinks gerne in einer Unterrichtseinheit thematisieren. Auffällig ist, dass wiederum nur die weibliche Teilnehmerinnen die alkaloidhaltigen Lebensmittel, Obst und Gemüse sowie Honig in Unterrichtseinheiten thematisieren wollen würden. Dies zeigt wiederum das große Interesse der weibliche Teilnehmerinnen an den Naturstoffen, wohingegen die männlichen Teilnehmer den Fokus wiederum ausschließlich auf die Energydrinks, die alkoholischen Getränke sowie die Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten legen.

Betrachtet man die Einschätzung der Verankerung der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie in Abhängigkeit des Geschlechts, fällt auf, dass nur die weiblichen Studierenden über das Wissen verfügen, dass die Dünnschichtchromatographie und die Gaschromatographie bereits namentlich verankert sind. Dies zeigt wiederum, dass sich die männlichen Studierenden wenig bis gar nicht in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie auskennen und daran auch kein großes Interesse haben. Dennoch sind alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, der Meinung, dass es ebenfalls wichtig ist, die Lebensmittelchemie und auch die instrumentelle Analytik in Form der HPLC und Photometrie in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie zu verankern. Hervorgehoben werden dabei die starken Alltags- und Lebensweltbezüge zu den Schüler:innen, wodurch eine Thematisierung im schulischen Chemieunterricht wichtig ist.

Auch im Bereich der Fragestellung, wie die Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente im schulischen Chemieunterricht umsetzen wollen, wenn das entsprechende Gerät beziehungswiese die entsprechenden Materialien nicht zur Verfügung stehen, zeigen sich eindeutige Unterschiede in Abhängigkeit des Geschlechts. Zunächst würden alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, mit Erklärvideos zu den entsprechenden Geräten arbeiten, sodass die Probenaufarbeitung der Experimente bis zum Gerät durchgeführt werden könnten und dann eine entsprechende Erläuterung mit einem Erklärvideo erfolgt. Die Auswertung kann dann anhand von theoretischen Werten mithilfe der Versuchsvorschriften erfolgen, die hier im Seminar zum Einsatz gekommen sind. Während die männlichen Studierenden eher auf pragmatische Ideen zurückgreifen und günstige oder defekte Geräte anschaffen würden, um die einzelnen Bauteile und das Prinzip darstellen und erläutern zu können, haben die weiblichen Studierenden eindeutig mehr Ideen, wie eine Umsetzung erfolgen könnte. Neben den Erklärvideos würden die weiblichen Studierenden auf schriftliche und bildliche Informationen zurückgreifen, außerschulische Lernorte, wie beispielsweise eine Universität, besuchen oder würden versuchen, eine Verknüpfung mit anderen Experimenten herzustellen.

Ebenfalls können Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden zur Verbesserung der Lehrkräftebildung in Abhängigkeit des Geschlechts erkannt werden. Zunächst kann festgehalten werden, dass es im Lehramtsstudium, unabhängig vom Geschlecht, kaum Berührungspunkte zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik gibt. Auffällig ist jedoch, dass sich fast ausschließlich die weiblichen Teilnehmerinnen an diese Berührungspunkte erinnern können.

Insgesamt wünschen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden mehr Angebote zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik in ihrem Studium. So würden sie es, unabhängig

vom Geschlecht, begrüßen, dass verschiedene Lebensmittel bereits in den Grundpraktika integriert werden. Während sich die männlichen Studierenden mehr Seminare zur Lebensmittelchemie wünschen, sind die weiblichen Teilnehmerinnen der Meinung, dass dies jedoch auf freiwilliger Basis erfolgen sollte. Ebenfalls können bei den Inhalten, die im Studium bereits vermittelt werden sollten, Unterschiede festgestellt werden. Die weiblichen Studierenden würden gerne etwas über verschiedene Lebensmittelgruppen, deren Inhaltsstoffe und Wirkungen auf den menschlichen Körper erfahren. Zudem steht auch hier wieder die didaktische Betrachtung der Thematik und die Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie im Fokus. Im Vergleich dazu würden die männlichen Studierenden neben den Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, inklusive der Wirkung auf den menschlichen Körper, vor allem auch die analytischen Methoden intensiver behandeln. Weiterhin würden sie sich bereits fertig entwickelte Unterrichtseinheiten zur Lebensmittelchemie wünschen, sodass diese direkt im schulischen Chemieunterricht umgesetzt werden könnten.

Für bereits praktizierende Lehrkräfte wünschen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, Fortbildungsmöglichkeiten. Dabei sollten als Inhalte vor allem die Lebensmittel, die rechtlichen Hintergründe dazu und die Umsetzung im schulischen Chemieunterricht betrachtet werden. Für die männlichen Studierenden steht dabei im Fokus, wie man die Experimente auch ohne das entsprechende Gerät beziehungsweise ohne die entsprechenden Materialien umsetzen kann. Für die weibliche Studierenden sind bedeutend mehr Aspekte von zentraler Bedeutung. So ist es für die weiblichen Teilnehmerinnen wichtig, dass in solchen Fortbildungen die Experimente praktisch durchgeführt werden und praktische Bezüge zur Schule hergestellt werden, einschließlich der Arbeit mit den niedersächsischen Kerncurricula für die Anknüpfungspunkte. Bei den Lebensmittelgruppen sollten auch die Herstellungsprozesse thematisiert werden, ebenso wie die analytischen Grundlagen und die rechtlichen Rahmenbedingungen. Dabei sollten die Fortbildungsangebote jedoch auf freiwilliger Basis angeboten werden.

Weitere Unterschiede können zudem bei der Beantwortung der Frage, welche Lebensmittel sie gerne noch im Seminar betrachtet hätten, festgestellt werden. Während die männlichen Studierenden nur zwei Lebensmittelgruppen nennen, haben auch hier die weiblichen Teilnehmerinnen mehr Ideen. So würden die männlichen Studierenden gerne kohlenhydratreiche Lebensmittel sowie Milchprodukte betrachten, wohingegen für die weiblichen Studierenden Zuckergehalte in verschiedenen Lebensmitteln interessant sind, vor allem jedoch in Kinderlebensmitteln. Süßigkeiten und andere Brotaufstriche im Vergleich zum Honig wären, aufgrund des Alltagsbezuges zu den Schüler:innen, interessant, aber auch proteinreiche Lebensmittel, da

einige der Schüler:innen auch Sport im Fitnessstudio machen und gegebenenfalls Proteinshakes konsumieren.

Insgesamt muss an der Stelle jedoch festgehalten werden, dass 80 % der Chemie-Lehramtsstudierenden weiblich sind, sodass natürlicherweise mehr Antworten zu erwarten waren. Um aussagekräftigere Ergebnisse in Abhängigkeit des Geschlechts zu erzielen, müssten in den kommenden Jahrgängen die Chemie-Lehramtsstudierenden weiterhin zu ihren Ansichten und Einstellungen zur Lebensmittelchemie befragt werden.

8.3 Ergebnisdarstellung der Feedbackbögen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den Feedbackbögen zur Evaluation der praktischen Laborarbeit des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* dargestellt. Die Ergebnisse der Feedbackbögen können einerseits herangezogen werden, um die 2. Forschungsfrage (Kapitel 4) beantworten zu können und andererseits können die Feedbackbogen verwendet werden, um die Experimente für das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* nochmal zu überarbeiten. Interessant ist dabei ebenfalls herauszufinden, welche Experimente, die Chemie-Lehramtsstudierenden am interessantesten fanden und warum, ebenso wie Probleme, die sich beim Experimentieren mit den Versuchsvorschriften ergeben haben. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand der einzelnen Fragen aus dem Feedbackbogen (siehe Anhang C). Die Feedbackbögen wurden während des Seminars von den teilnehmenden Chemie-Lehramtsstudierenden handschriftlich ausgefüllt und sind im digitalen Anhang (D.2.4) hinterlegt. Bei der Angabe von Beispielen wurden Rechtschreibfehler von Seiten der Studierenden nicht korrigiert, sondern direkt übertragen.

8.3.1 Was hat Ihnen bei den Experimenten gut gefallen und was nicht? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

Während der praktischen Laborarbeit haben die Chemie-Lehramtsstudierenden selbst gewählt, welche Experimente sie am jeweiligen Labortag durchführen, sodass nicht alle Teilnehmer:innen alle Experimente durchgeführt haben, woraus die unterschiedliche Anzahl der Antworten zu den 23 verschiedenen Experimenten resultiert. Aus den Antworten, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden gegeben haben, wurden induktive Kategorien erstellt. In den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 8-24 – Tabelle 8-26) werden die Kategorien für die positiven und negativen Aspekte sowie die Verbesserungsvorschläge für die einzelnen Experimente getrennt voneinander betrachtet. Dabei werden neben den induktiven Kategorien auch die Anzahl der Nennungen sowie entsprechende Ankerbeispiele aufgeführt. Damit nachvollzogen werden

kann, aus welchem Feedbackbogen das Ankerbeispiel für die induktiven Kategorien entnommen worden ist, wurden die Feedbackbögen mit den Zahlen von 01 – 12 durchnummeriert. Die Ankerbeispiele werden entsprechend mit „FB“ für Feedbackbogen und der entsprechenden Nummer gekennzeichnet.

Tabelle 8-24 Induktive Kategorien zu den positiven Aspekten der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
1	Anwendung unterschiedlicher Labortechniken	1	FB03: „mehr schrittige Versuchsdurchführung mit unterschiedlicher Labortechnik → dies übt und schult den Umgang mit dieser“
	Vielfalt an Lebensmitteln	1	FB07: „viele unterschiedliche Lebensmittel (Tee, Kakao, Kaffee + Schoko)
	verständliche Versuchsvorschrift	2	FB08: „verständliche Versuchsdurchführung“
	aufwendigere/abwechslungsreichere Vorbereitung/Durchführung	3	FB04: „einer der aufwändigeren HPLC-Versuche“
	Alltagsbezug/lebensweltlicher Bezug zu den Schüler:innen	2	FB09: „nah an meiner Lebenswelt und der der Schüler und Schülerinnen“
2	einfache Probenvorbereitung	1	FB02: „sehr verständliche und einfache Probenvorbereitung“
	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB03: „übersichtliche und gut verständliche Versuchsvorschriften (bei allen Versuchen dieses Praktikums)“
	HPLC kennenlernen	1	FB03: „Kennenlernen von HPLC“
	Laborerfahrung sammeln	1	FB03: „praktische Laborerfahrung“
3	Hinweis für Notierung der Einwaage	1	FB11: „Die Hinweise aufs Notieren der Einwaage (dies war bei allen entsprechenden Versuchen sehr hilfreich!)

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
4	einfache und schnelle Probenvorbereitung	6	FB02: „sehr verständliche und einfache Probenvorbereitung“
	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB03: „übersichtliche und gut verständliche Versuchsvorschriften (bei allen Versuchen dieses Praktikums)“
	HPLC kennenlernen	1	FB03: „Kennenlernen von HPLC“
	Entgasung der Proben mit dem Ultraschallbad	1	FB06: „Wirkung des Ultraschallbads (Entgasung) war interessant zu beobachten“
	Lebensmittel haben Alltagsbezug/lebensweltlichen Bezug	2	FB07: „Getränke Auswahl sehr lebensnah“
	interessantes Thema für die Schule	1	FB10: „Coffein-Gehalt auch in der Schule interessantes Thema“
	Angabe von Verdünnungsschritten	1	FB10: „Genaue Angaben der Verdünnungen vorgegeben“
5	verständliche Versuchsvorschrift/einfache Durchführung	4	FB02: „verständliche Beschreibung der Probenvorbereitung“
	HPLC kennenlernen	1	FB03: „Kennenlernen von HPLC“
	aufwendigere/abwechslungsreichere Vorbereitung/Durchführung	2	FB04: „einer der aufwändigeren HPLC-Versuche“
	Auswahl der Lebensmittel	4	FB04: „interessante Auswahl an Lebensmitteln“
	Bezug zu Weihnachten	2	FB06: „der Bezug zu Weihnachten mit der Analyse von Lebkuchen hat mir sehr gut gefallen“
	Einsatz von Membranfiltern	1	FB10: „Verwendung von Membranfiltern sehr intuitiv“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Hinweis für Notierung der Einwaage	1	FB11: „Hinweise auf das Notieren der Einwaage“
6	keine Schwierigkeiten	1	FB09: „Alles gut“
7	einfache Durchführung	3	FB01: „sehr einfache Durchführung“
	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB03: „übersichtliche und gut verständliche Versuchsvorschriften (bei allen Versuchen dieses Praktikums)“
	HPLC kennenlernen	1	FB03: „Kennenlernen von HPLC“
	Laborerfahrung sammeln	1	FB03: „praktische Laborerfahrung“
8	einfache Durchführung/Probenvorbereitung	3	FB02: „einfache und verständliche Probenvorbereitung
	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB03: „übersichtliche und gut verständliche Versuchsvorschriften (bei allen Versuchen dieses Praktikums)“
	HPLC kennenlernen	1	FB03: „Kennenlernen von HPLC“
	Laborerfahrung sammeln	1	FB03: „praktische Laborerfahrung“
9	einfache Durchführung/Probenvorbereitung	2	FB02: „einfache und verständliche Probenvorbereitung
10	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB01: „genaue Versuchsvorschrift“
	Angabe von Verdünnungsschritten	1	FB01: „Angaben der Verdünnung vorgegeben“
	Verständliche Auswertung	1	FB01: „Auswertung sehr genau und schrittweise“
	einfache Durchführung/Probenvorbereitung	3	FB02: „verständliche Probenvorbereitung“
	HPLC und andere Laborgeräte kennenlernen	2	FB03: „Kennenlernen von HPLC“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Laborerfahrung sammeln	1	FB03: „praktische Laborerfahrung“
11	komplexe, aber verständliche Versuchsdurchführung	2	FB03: „komplexe Versuchsdurchführung mit Kalibrierung der Reaktionsmischung“
12	verständliche Versuchsvorschrift	2	FB02: „Versuchsanleitung ist übersichtlich und gut verständlich“
	Einführung in der Methode der Enzymatik	1	FB04: „kurze Einführung zur Arbeit mit Enzymkits, Eppendorfpipetten und einem Ultraschallbad“
	praktischer Umgang mit einem Photometer	1	FB03: „praktischer Umgang mit Photometer“
	einfache Versuchsdurchführung	1	FB12: „leichte Vorbereitung und Durchführung (wenn Skript richtig gelesen)“
13	einfache und verständliche Versuchsdurchführung	1	FB02: „verständliche Versuchsdurchführung“
	interessantes Experiment	1	FB06: „sehr interessanter Versuche“
14	verständliche und einfache Auswertung	2	FB01: „Auswertung sehr einfach“
	gut funktionierendes Experiment	1	FB01: „gemessene Werte stimmen sehr genau überein → funktioniert gut!“
	einfache und verständliche Versuchsdurchführung	4	FB02: „sehr verständliche Versuchsdurchführung“
	praktischer Umgang mit einem Photometer	2	FB03: „Arbeit mit Photometer“
	Kennenlernen unterschiedlicher Auswertungsverfahren	1	FB03: „Kennenlernen unterschiedlicher Photometer und Auswerteverfahren (im Vergleich zu V12)“
	Erzielung vergleichbarer Ergebnisse mit V 18 durch Kopplung	4	FB04: „ähnlich wie V 18, nur andere Messmethode → Ergebnisse vergleichbar“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
15	gut funktionierendes Experiment	1	FB01: „hat sehr gut funktioniert und passt zu DC-Ergebnissen“
	praktischer Umgang mit einem Photometer	1	FB04: „Arbeiten am „großen“ Photometer“
	Erzielung vergleichbarer Ergebnisse mit V 19 durch Kopplung	2	FB05: „Gekoppelt mit V 18“
	einfache und schnelle Versuchsdurchführung	2	FB06: „zügige und einfache Durchführung“
16	Vergleich zwischen ökologisch und konventionell angebauten Produkte	1	FB01: „Vergleich zwischen konventionellem und Bio-Gemüse sehr eindrücklich!“
	einfache und verständliche Versuchsdurchführung	1	FB08: „Versuchsdurchführung verständlich“
17	Verwendung lebensnaher Lebensmittel	1	FB01: „lebensnahe Lebensmittel“
	einfache und verständliche Versuchsdurchführung	2	FB05: „Klare Versuchsanleitung“
18	Vielfalt an Vergleichsfarbstoffen	1	FB01: „viele Vergleichsfarbstoffe“
	Ergebnisse als farbige Spots sichtbar	4	FB01: „schön bunt“
	praktische Anwendung der Dünnschichtchromatographie	1	FB03: „praktische Anwendung DC“
	Erzielung vergleichbarer Ergebnisse mit V 14 durch Kopplung	3	FB05: „Gekoppelt mit V 14“
	Anwendung in der Schule möglich	1	FB10: „bietet Möglichkeit in der Schule durchzuführen“
	einfache Durchführung	1	FB10: „einfach Handhabung“
19	verständliche und einfache Auswertung	1	FB01: „sehr verständliche Auswertung“
	verständliche Versuchsvorschrift	1	FB01: „sehr genaue Versuchsvorschrift“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Erzielung vergleichbarer Ergebnisse mit V 15 durch Kopplung	2	FB05: „Gekoppelt mit V 15“
	anschauliche Ergebnisse	2	FB06: „Versuch hat mir gefallen, da das Resultat, auch farblich gesehen, sehr eindrucksvoll war“
	einfache Durchführung	1	FB12: „einfache Vorbereitung und Durchführung“
20	praktische Anwendung der Dünnschichtchromatographie	1	FB03: „praktische Anwendung DC“
	einfache und anschauliche Ergebnisse	2	FB03: „sehr anschaulicher Versuch“
	interessanter Versuch	1	FB06: „sehr interessanter Versuch“
	einfache Durchführung	2	FB08: „sehr schön durchzuführen“
	Anwendung in der Schule möglich	1	FB10: „interessant für die Schule“
21	gute Erklärung zum Gaschromatographen	2	FB02: „GC-Erklärung ist sehr verständlich“
	praktische Anwendung der GC	5	FB03: „Kennenlernen der GC-Technik“
	geringe Aufarbeitung/ schnelle Durchführung	7	FB03: „keine Aufarbeitung der Spirituosen nötig“
	gut funktionierendes und spannendes Experiment	1	FB08: „hat gut funktioniert“
22	Extraktion als Methode	1	FB10: „Durchführung einer Extraktion“
	interessante Thematik	1	FB10: „inhaltlich interessant“
	einfache Vorbereitung/ Durchführung	1	FB12: „Durchführung einfach“
	praktische Anwendung der GC	1	FB12: „gilt für alle GC-Versuche: Mal überhaupt die Erfahrung damit gemacht zu haben“

Ver-suchs-nummer	Liste der Codes	Anzahl der Nen-nungen	Beispiel
23	interessanter Versuch durch eigenes Riechen der Geruchsstoffe	1	FB12: „Gerade das Riechen der einzelnen Stoffe zu unterschiedlichen Zeiten ist deutlich spannender als einfach „nur“ Peaks in einem Diagram zu beobachten“

Anhand von Tabelle 8-24 kann gezeigt werden, dass zu jedem der 23 verschiedenen Experimente von den Chemie-Lehramtsstudierenden positive Aspekte angegeben worden sind. Neben diversen Einzelnennungen sind die ausgearbeiteten Versuchsvorschriften für die Chemie-Lehramtsstudierenden insgesamt sehr verständlich verfasst worden. Dies wird bei fast jedem der 23 verschiedenen Experimente angegeben. Besonders hervorgehoben wurde dabei die Auswertung, die für die Studierenden gut nachvollziehbar war. Zudem wird gerade bei den Experimenten mit der HPLC (V 1 – V 10) die einfache und schnelle Probenvorbereitung und Durchführung als positiv angesehen. Nur in den seltensten Fällen liegen komplexere Probenvorbereitungen und Durchführungen vor, was einige der Studierenden jedoch ebenfalls als positiv empfinden, weil dadurch die Probenaufbereitung und Durchführung der Experimente abwechslungsreicher wird. Daneben ist es vor allem das Kennenlernen und die eigene praktische Anwendung, die den Chemie-Lehramtsstudierenden gut gefallen hat. Durch die Experimente haben sie verschiedene Gerätschaften und Methoden sowie deren Anwendung kennengelernt, wie beispielsweise die Hochleistungsflüssigkeits- und Gaschromatographie aber auch die Enzymatik und die Photometrie. Gerade die Kopplung der Experimente bei den Farbstoffen mit der Dünnschichtchromatographie und der anschließenden photometrischen Messung haben die Chemie-Lehramtsstudierenden als positiv hervorgehoben. Durch die eigene praktische Anwendungen konnten die Studierenden Laborerfahrungen sammeln.

Neben der Sammlung der Laborerfahrungen empfinden die Chemie-Lehramtsstudierenden die Auswahl der Lebensmittel für die Experimente, anhand des hohen Alltags- und Lebensweltbezuges, als sehr positiv, sowohl für sich selbst als auch für die Schüler:innen. Zusätzlich sind die Teilnehmer:innen der Meinung, dass die meisten Experimente sehr interessant sind und zusätzlich auch gut funktionieren. Besonders hervorzuheben sind dabei die dünnschichtchromatographischen Experimente mit den Farbstoffen, da die Ergebnisse in Form der farbigen Spots sehr anschaulich sind. Die Anwendung dieser Experimente ist zudem sehr einfach und kann, aufgrund des geringen Materialeinsatzes, gut im schulischen Chemieunterricht eingesetzt werden.

Neben den positiven Aspekten wurden auch negative Aspekte zu den einzelnen Experimenten angegeben. Aus den Antworten des Feedbackbogens wurden induktiv Kategorien gebildet, die mit der Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen aus Tabelle 8-25 entnommen werden können.

Tabelle 8-25 Induktive Kategorien zu den negativen Aspekten der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
1	HPLC nicht funktionsfähig	4	FB03: „fehlende Auswertung durch defekte HPLC“
	Filtration langwierig	3	FB03: „Filtrieren der Lösung mit Schokolade war sehr zeitaufwendig“
	Temperatureinstellung schwierig	1	FB04: „Temperatureinstellung der Heizplatten mangelhaft“
	langwieriger Versuch/ zeitaufwendig	2	FB07: „Schokolade mit großem Zeitaufwand verbunden“
	Zerkleinerung der Probe schwierig	1	FB08: „Schokolade schwer zu zerkleinern“
	zu viele Proben	1	FB10: „nach Versuchsvorschrift 3 Proben vorbereiten → angesichts der Zeit reichen 2 Proben (1x Tee oder Kaffee, Kakao; 1x Schokolade)“
2	HPLC nicht funktionsfähig	3	FB02: „HPLC → defekt“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	3	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
3	Temperatureinstellung schwierig	2	FB05: „Die Funktionalität der Heizplatten ist unzuverlässig und beansprucht viel Zeit“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Methanol-Wasser-Mischung	1	FB07: „50/50 Methanol-H_2O Mischung vor oder nach dem Schütteln? Volumen verringert sich.“
4	HPLC nicht funktionsfähig	2	FB02: „HPLC → defekt“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	3	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
	Entgasung zeitaufwendig	1	FB10: „Entgasung der Proben hat sehr lange gedauert. Viel Wartezeit dadurch“
5	HPLC nicht funktionsfähig	4	FB01: „HPLC leider nicht funktionsfähig“
	Probenverlust beim Überführen der Probelösung	1	FB01: „beim Überführen geht noch einiges an Probenlösung verloren“
	langwierige Filtration	1	FB02: „großes Probenvolumen für die Filtration“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	1	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
	Klumpenbildung bei Cini Minis	1	FB07: „Klumpenbildung bei Mischung mit Wasser + Rühren (Cini-Minies) (evtl. Cini-Minies schon zuvor sehr feucht).“
	Unterschied zwischen Theorie und Praxis	1	FB10: „Zimtsterne waren bereits zerkleinert. In Durchführung steht, dass es noch gemörsert werden sollte.“
6	Honige nur durchnummeriert	1	FB07: „Honige waren nicht näher bezeichnet“
	Honig lässt sich schlecht lösen	1	FB09: „das Lösen des Honigs war nervig, aber das lässt sich nicht umgehen.“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
7	HPLC nicht funktionsfähig	1	FB02: „HPLC → defekt“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	1	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
8	Überschneidung mit V 4	1	FB01: „Überschneidungen mit V 4“
	HPLC nicht funktionsfähig	1	FB02: „HPLC → defekt“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	1	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
9	-	-	-
10	Überführung/Filtration der Probe zeitaufwendig/schwierig	3	FB02: „Probenüberführung problematisch – hoher Zeitaufwand“
	HPLC nicht funktionsfähig	1	FB02: „HPLC → defekt“
	geringer Lerneffekt durch ähnliche Aufarbeitung	1	FB03: „die Vorbereitungsmaßnahmen für HPLC unterscheiden sich kaum → kaum ein Lerneffekt nach der ersten HPLC“
11	Honig löst sich schwer auf	2	FB03: „Honig löst sich nur schwer und schränkt die Funktion des Magnetrührers ein"
	Blauwert-Einstellung schwierig	1	FB08: „Blauwert-Einstellung war schwer, da optische Dichte immer über oder unter Bereich“
	zeitaufwendiger Versuch	1	FB11: „Der Versuch hat sehr lange gedauert aufgrund der vielschrittigen Verdünnungen, usw.“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
12	Zeitverzögerung bei photometrischer Messung	1	FB02: „Zeitverzögerung bei der photometrischen Messung“
	Entgasung zeitaufwendig	1	FB05: „Die Entgasung der Proben im Ultraschallbad dauert recht lang.“
13	Filtration langwierig	1	FB02: „Filtration nimmt relativ viel Zeit in Anspruch“
	Zeitverzögerung bei photometrischer Messung	1	FB02: „Zeitverzögerung bei der Messung“
	Temperierung der Proben zeitaufwendig	1	FB06: „Das Aufheizen auf 50 °C und das Abkühlen auf Raumtemperatur dauern → Zeit sollte daher gut genutzt werden“
14	geringe Auswahl an alkoholischen Getränken	1	FB01: „nur Dos Mas, Blue Curacoa und Sourz-Apple vorhanden → keine Auswahl“
15	ähnlich zu V 14	1	FB01: „dem Versuch der alkoholischen Getränken zu ähnlich“
16	lange Wartezeiten bei der Filtration	2	FB01: „Versuchsvorschrift gilbt Filtration der gesamten Lsg an → dauert sehr lange“
	Verbrennung der Probe mit Bunsenbrenner	2	FB05: „Bunsenbrenner ist eine wirksame Alternative, aber der richtige Moment muss getroffen werden.“
	Trocknungsdauer länger als angegeben	1	FB09: „das Trocknen im Trockenschrank dauert länger als im Skript steht.“
17	Schwierigkeiten bei der Messung am Photometer	1	FB01: „Schwierigkeiten beim Messen der Extinktionen gegen den Blindwert → nullen oder Blindwert abziehen?“
	langwieriger Versuch/ zeitaufwendig	2	FB05: „Zeitaufwand (z. B. die Heizplatten der Magnetrührer brauchen sehr lange um Wasser zu erwärmen“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Homogenisierung des Honigs schwierig	1	FB12: „Vorbereitung war etwas umständlich mit dem Homogenisieren des Honigs.“
18	Spot bei Sourz Apple schlecht erkennbar	1	FB01: „beim grünen Sourz Apple nur schwer zu erkennen“
	langwieriger Versuch/ zeitintensive Durchführung	5	FB10: „aufwendig durch Auftragen der vielen Referenzproben“
	Einsatz von mehr als ein Tropfen methanolischer Ammoniaklösung notwendig	1	FB01: „es wurden/mussten mehr als einige Tropfen methanolischer Ammoniaklösung genutzt werden“
	Schwierigkeiten bei der Auswertung	1	FB03: „Auswertung nicht ganz eindeutig, da Farbflecken häufig über längere Strecke verteilt sichtbar waren“
19	ähnlich zu V 18	1	FB01: „dem Vorgehen mit alkoholischen Getränken sehr ähnlich“
	Einsatz von mehr als ein Tropfen methanolischer Ammoniaklösung notwendig	1	FB01: „es wurden/mussten mehr als einige Tropfen methanolischer Ammoniaklösung genutzt werden“
	Entsorgung des Laufmittels fehlt in der Versuchsvorschrift	1	FB04: „kein Hinweis zur Laufmittelentsorgung“
	zeitaufwendiger Versuch	1	FB06: „langandauernder Versuch“
20	Schwierigkeiten bei der Auswertung	1	FB03: „Auswertung nicht ganz eindeutig, da Flecken häufig über längere Strecke verteilt sichtbar waren“
	Einsatz gesundheitsschädlicher Substanz	1	FB06: „Arbeiten mit sehr gesundheitsschädlichen Stoffen (Nicotin)“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	unglückliche Reihenfolge in Versuchsvorschriften	1	FB08: „Durchführung ist nicht ganz so schön von der Reihenfolge: Bei der Durchführung steht, dass man die DC bereits entwickeln lassen soll, aber man sollte alle Proben auf eine DC-Platte“
21	-	-	-
22	langwieriger Versuch/ zeitaufwendig	4	FB06: „langandauernder Versuch (Warten auf Filtration)“
23	coronabedingt nicht durchführbar	1	FB09: „wegen Corona leider nicht durchführbar, was sehr schade ist, weil sich der Versuch durch die Methode stark von allen anderen abhebt.“

Als ersten Punkt, den die Chemie-Lehramtsstudierenden als negativen Aspekt für die HPLC-Experimente angegeben haben, ist, dass die Messungen mit dem Hochleistungsflüssigkeitschromatographen während der praktischen Laborzeit, aufgrund eines Defektes des Diodenarray-Detektors, leider nicht durchgeführt werden konnten. Dies wurde bei fast jedem der Experimente zur HPLC (V 1 – V 10) von den Chemie-Lehramtsstudierenden angegeben. Weiterhin gaben die Teilnehmer:innen bei den Experimenten mit der HPLC als negativ an, dass die Probenaufarbeitung bei diesen Experimenten sehr ähnlich ist, sodass daraus ein geringerer Lerneffekt resultiert. Neben diversen Einzelnennungen hat sich insgesamt als negativ ergeben, dass sich der Honig bei den Experimenten sehr schlecht homogenisieren und lösen lässt. Teilweise sind die Experimente etwas zeitaufwendiger, gerade in Bezug auf die Filtration. Dies wurde von einigen Teilnehmer:innen ebenfalls als negativ bewertet, wobei dies sowohl Experimente mit der HPLC, der GC und der Photometrie betrifft. Bei den dünnschichtchromatographischen Experimenten gab es hingegen nur Einzelnennungen, sodass sich keine der negativen Aspekte häuften. Auffällig war zudem, dass bei den Experimenten V 9 und V 21 keine negativen Aspekte angegeben worden sind, sodass davon ausgegangen werden kann, dass diese Experimente den Chemie-Lehramtsstudierenden gut gefallen haben und keine Probleme aufgetreten sind.

Aufbauend auf die negativen Aspekte, sollten die Chemie-Lehramtsstudierenden angeben, welche Verbesserungsvorschläge sie für die einzelnen Experimente haben. Dabei sind aus

den Feedbackbögen induktive Kategorien erstellt worden, die mit entsprechender Anzahl der Nennungen sowie Ankerbeispielen aus Tabelle 8-26 entnommen werden können.

Tabelle 8-26 Induktive Kategorien zu den Verbesserungsvorschlägen der 23 verschiedenen Experimente mit Anzahl der Nennungen sowie entsprechenden Ankerbeispielen

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
1	Probenvolumen verringern	1	FB03: „für die Untersuchung mit HPLC sind nur kleine Mengen der zu überprüfenden Lösung nötig → es reicht weniger von der Schokoladenlösung zu filtrieren, solange anschließend auf das Mischungsverhältnis geachtet wird“
	Beschränkung auf flüssige Proben	2	FB07: „auf flüssige Produkte beschränken; evtl. statt Schokolade Schoko-Getränke verwenden.“
	Probelösungen bereitstellen	1	FB08: „Versuch eventuell verkürzen (eventuell Lösung bereitstellen?)“
	Wasserkocher bereitstellen	1	FB04: „Wasserkocher bereitstellen“
2	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern/zusammenfassen	2	FB03: „Anzahl der HPLC-Versuche verringern (wo liegt der Nutzen für Lernende?)“
3	Materialliste unvollständig	2	FB05: „250 ml Bechergläser (bei der Materialien-Liste)
	Einwaage reduzieren	1	FB07: „Espresso/Kaffee Sticks auf das Gewicht beschränken, welches in einem Stick ist. Statt 2 g → 1.8 g“
4	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern/zusammenfassen	4	FB04: „HPLC-Versuche kürzen/zusammenfassen
	entgaste Proben bereitstellen	1	FB10: „Entgasung evtl. vorher anstellen, um Zeit zu sparen, damit mehr Versuche in der Zeit durchgeführt werden können“
5	Probenvolumen verringern	1	FB02: „geringeres Probenvolumen“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Filtration in Messkolben	1	FB02: „Filtration in Messkolben“
	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern/zusammenfassen	1	FB04: „HPLC-Versuche kürzen/zusammenfassen
	Durchführung in Versuchsvorschrift ändern	1	FB10: „Entweder Durchführung abändern oder nicht vorher zerkleinern“
6	Auswahl an Honigen erweitern	1	FB07: „Auswahl an Honigen aus dem Ausland, Region + SüdDE“
	frische Honige bereitstellen	1	FB09: „evtl. „frischere“ Honige bereitstellen oder flüssigere Honige, damit nicht zu viel Zeit für das Lösen benötigt wird“
7	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern	3	FB03: „Anzahl der HPLC-Versuche verringern (wo liegt der Nutzen für Lernende?)“
8	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern	3	FB03: „Anzahl der HPLC-Versuche verringern (wo liegt der Nutzen für Lernende?)“
9	Erläuterung für Verwendung von Dansylchlorid ergänzen	1	FB09: „Ich hätte mir an geeigneter Stelle den Grund für die Verwendung von Dansylchlorid gewünscht.“
10	alternative Form zur Filtration	2	FB02: „Alternative Filtration evtl. mit Saugflasche“
	Anzahl an HPLC-Versuchen verringern	1	FB03: „Anzahl der HPLC-Versuche verringern (wo liegt der Nutzen für Lernende?)“
	Materialliste überarbeiten/ergänzen	1	FB11: „Die Kiwi war teilweise großstückig und passte nach dem Rühren nicht durch den Trichter – hier wird ein größerer Trichter + Spatel benötigt!“
11	Honig/Wasser vorher erhitzen	1	FB03: „Honig vor dem Mischen erhitzen; Wasser vor Zugabe des Honigs erhitzen“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	Werte für Blauwert-Einstellung überarbeiten	1	FB08: „angegebene Vorschläge eventuell überarbeiten“
12	-	-	-
13	Probenvolumen verringern	1	FB02: „geringeres Probenvolumen“
	Zeitersparnis durch Änderung der Reihenfolge in der Versuchsdurchführung	1	FB06: „Das Enzymtestkit sollte genau in dieser Zeit zubereitet werden, um Zeit einzusparen → Änderung der Reihenfolge in der Versuchsdurchführung“
14	Einsatz orange/gelber Farbstoffe	1	FB01: „eventuell neben den Farben pink, blau, grün noch orange/gelb?“
15	Nummerierung der Versuchsvorschriften nach Thema	1	FB01: „Anordnung der Versuchsvorschriften thematisch; damit nicht V 15 auf V 19 aufbaut“
16	Filtration in Becherglas anstelle eines Schraubdeckelgläschens	1	FB01: „uns ist nicht klar, warum es in ein Schraubdeckelgläschen filtriert wird, daher vlt auf Becherglas ändern“
	Volumen reduzieren	1	FB01: „Volumen reduzieren, da sonst sehr zeitaufwendig“
17	Hinweis auf Blindwert	1	FB05: „Ein Hinweis bezüglich des Blindwertes wäre gut.“
	Verhältnis von 2-Propanol/Wasser-Gemisch in Versuchsvorschrift ergänzen	1	FB12: „2-Propanol/Wasser Gemisch Verhältnis steht nicht im Skript“
18	Nummerierung der Versuchsvorschriften nach Thema	1	FB01: „Reihenfolge der Versuchsvorschriften verwirrend, da thematisch zu V 14“
	Gruppenarbeit	3	FB04: „Hinweis auf Partnerarbeit → DC soll von beiden (beginnend auf entgegengesetzten Seiten) mit Proben versehen werden.“

Versuchsnummer	Liste der Codes	Anzahl der Nennungen	Beispiel
	DC-Kammer in Abzug stellen	1	FB05: „DC-Kammer in den Abzug stellen“
	Hinweis für Menge an Laufmittel ergänzen	1	FB11: „Es hätte im Skript erwähnt werden können, dass das Laufmittel nicht zu hoch eingeschüttet werden darf. Ich hatte dies vergessen und somit war die Startlinie unter der Oberfläche“
19	Volumen methanolischer Ammoniaklösung überarbeiten	1	FB01: „mehr als „einige Tropfen“ methanolische Ammoniaklösung wurden genutzt“
	Anfertigen von Mischchromatogrammen	1	FB04: „gerne auch als Durchführung mit Varianten der DC (→ Probe und Farbstoff auf selben Punkt geben.)“
	DC-Kammer im Abzug stellen	1	FB05: „DC-Kammer in den Abzug stellen“
	Hinweis zur Lebensmittelentsorgung	1	FB05: „Hinweis auf Lösungsmittelentsorgung“
	Sättigung der DC-Kammer in Versuchsvorschrift ergänzen	2	FB06: „Lösung für die DC-Kammer sollte zuerst vorbereitet und eingefüllt werden, bevor mit den anderen Schritten begonnen wird (10 min Wartezeit) → wegen Warten auf Dampfentwicklung“
20	Überarbeitung der Versuchsvorschrift in Bezug auf Entwicklung der DC-Platte	1	FB08: „Versuchsdurchführung dahingehend ändern, dass die Entwicklung der DC Platte erst nach dem zweiten Teil beginnen soll“
	Einheitlichkeit in Theorie und Praxis	1	FB11: „Ich war verwirrt von den unterschiedlichen Bezeichnungen für dieselbe Substanz: Ammoniaklsg (25 %) im Skript und Ammoniumhydroxid-lsg. Im Labor“

Ver-suchs-nummer	Liste der Codes	Anzahl der Nen-nungen	Beispiel
21	Vergleichschromato-gramme	1	FB04: „vorherige Versuchsdurchführung durch Laborpersonal/Referenzwerte für LP. bereitstellen um Unsicherheiten und Ähnlichem vorzubeugen. → Alternativ mehrere Durchführungen“
22	auf Schwierigkeiten in Versuchsvorschrift hin-weisen	1	FB07: „Anmerkungen in Versuchsanleitung, dass pipettieren von Liquids schwierig ist“
	alternative Form der Filtration	2	FB10: „Saugflasche“
23	-	-	-

Aus Tabelle 8-26 kann entnommen werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden, bis auf die Versuche V 12 und V 23, zu jedem anderen Experiment Verbesserungsvorschläge geäußert haben. Neben diversen Einzelnennungen ist auffällig, dass einige der Teilnehmer:innen vorgeschlagen haben, dass die Anzahl an HPLC-Experimenten verringert werden sollte, beziehungsweise, dass die Experimente zusammengefasst werden. Dies ist jedoch nicht möglich, weil für die quantitativen Bestimmungen der jeweiligen Inhaltsstoffe immer andere mobile Phasen eingesetzt werden. Daneben gaben die Chemie-Lehramtsstudierenden als Verbesserungsvorschlag an, dass es sinnvoll wäre, nur mit flüssigen Probenmaterialien zu arbeiten, weil es beispielsweise schwierig war, die Schokolade entsprechend zu zerkleinern. Insgesamt sollten aber auch die Probenvolumina verringert werden, weil die Filtrationen häufig einige Zeit dauern. Würde man die Probenvolumina verringern, könnte Zeit eingespart werden. Alternativ könnte, nach Meinung der Teilnehmer:innen, überlegt werden, welche Methoden anstelle der Filtration eingesetzt werden könnten, um den Zeitfaktor zu reduzieren. Betrachtet man explizit die dünnschichtchromatographischen Farbstoffmethoden, so wäre ein Verbesserungsvorschlag der befragten Personen, dass diese Experimente in Gruppenarbeit durchgeführt werden. Durch die Gruppenarbeit könnten die Probe- und Vergleichslösungen der Farbstoffe schneller aufgetragen werden, sodass auch an dieser Stelle eine Zeitersparnis resultieren könnten. Zudem sollte in den Versuchsvorschriften zu den Experimenten mit der DC angegeben werden, dass die DC-Kammer zuvor mit Lösungsmitteldämpfen gesättigt sein muss, bevor die Trennungen durchgeführt werden kann. Ebenso sollte auch ein Hinweis angegeben werden, wie die entsprechende mobile

Phase am Ende entsorgt wird. Bei allen anderen Antworten der Teilnehmer:innen handelte es sich um Einzelnennungen, sodass sich diese Verbesserungsvorschläge nicht häuften.

8.3.2 Welche Experimente haben Sie besonders interessiert und warum?

Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnte die erste Gruppe der Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente nicht eigenständig durchführen, sodass sie die Experimente nur durch die theoretische Besprechung und die erstellten Videos kennenlernen konnten. Im Vergleich dazu konnten die Chemie-Lehramtsstudierenden der zweiten Gruppe die Experimente eigenständig durchführen, sodass die Studierenden gefragt werden konnten, welche Experimente ihnen besonders gut gefallen haben beziehungsweise welche Experimente sie besonders interessiert haben und warum. Die Antworten auf die Frage des Feedbackbogens (siehe Anhang D.2.4), die Anzahl der Nennungen und die entsprechenden Gründe werden in Tabelle 8-27 dargestellt.

Tabelle 8-27 Besonders interessante Experimente der praktischen Laborarbeit, aus Sicht der Studierenden, und deren Gründe, sowie die Anzahl der Nennungen

Versuchs-nummer	Gründe	Anzahl der Nennungen	Gesamtzahl der Nennungen des Experiments
1	-	-	-
2	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
3	-	-	-
4	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
5	lebensnahe Lebensmittel	3	5
	Unwissenheit über Cumaringehalte	1	
	Vergleich zwischen Herstellerangaben und eigenen Versuchsergebnissen	1	
6	familiärer Bezug zum Thema Honig	1	1
7	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
8	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
9	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
10	Obst/Gemüse als interessante Lebensmittelgruppe	1	3
	Vergleich zwischen biologischem und konventionellen Anbau	1	
	aktuelles Thema, welches gut in der Schule thematisiert werden kann	1	
11	Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Photometrie als Methode	1	2
	familiärer Bezug zum Thema Honig	1	
12	Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Photometrie als Methode	1	2

Versuchs-nummer	Gründe	Anzahl der Nennungen	Gesamtzahl der Nennungen des Experiments
	alltagsnahe Lebensmittel	1	
13	Honig als alltägliches Lebensmittel	2	7
	Unwissenheit über möglichen Inhaltsstoff Ethanol	2	
	Photometrie als Methode interessant	1	
	alkoholische Gärung als Thema interessant	1	
	familiärer Bezug zum Thema Honig	1	
14	Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Photometrie als Methode	2	3
	alltagsnahe Lebensmittel	1	
15	alltagsnahe Lebensmittel	1	1
16	Obst/Gemüse als interessante Lebensmittelgruppe	1	1
17	Honig als alltägliches Lebensmittel	1	3
	Unwissenheit über Inhaltsstoff Prolin	1	
	familiärer Bezug zum Thema Honig	1	
18	sichtbare/anschauliche Ergebnisse	3	4
	alltagsnahe Lebensmittel	1	
19	alltagsnahe Lebensmittel	1	2
	sichtbare/anschauliche Ergebnisse	1	
20	Bewusstsein über gesundheitsschädliche Wirkung des Nikotins auf den menschlichen Körper	1	2
	sichtbare/anschauliche Ergebnisse	1	
21	GC als interessante Methode/als interessantes Gerät	4	5
	alltagsnahe Lebensmittel	1	
22	GC als interessante Methode/als interessantes Gerät	1	1
23	GC-O als interessante Methode (coronabedingt leider nicht durchführbar)	2	2

Anhand von Tabelle 8-27 kann festgestellt werden, dass die enzymatische Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen das beliebteste Experiment der Chemie-Lehramtsstudierenden ist. Neben der enzymatischen Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen, ist auch die photometrische Bestimmung des Prolingehaltes bei den Teilnehmer:innen beliebt, weil sie vor dem Seminar gar nichts über den Inhaltsstoffe von Prolin im Honig wussten. Weitere Experimente, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden interessant fanden, waren die Bestimmung des

Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels HPLC (V 5) sowie die gaschromatographische Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen (V 21).

Ebenfalls sind die Experimente zu den Lebensmittelfarbstoffen bei den Chemie-Lehramtsstudierenden beliebt. Als Begründung für das Interesse an den Farbstoffbestimmungen wurde angegeben, dass mithilfe der Dünnschichtchromatographie sehr anschauliche Ergebnisse erhalten werden, die direkt als farbige Spots auf den DC-Platten sichtbar sind.

Weiterhin zeigten die Chemie-Lehramtsstudierenden Interesse an V 10, bei dem der Vitamin C-Gehalt in Obst bestimmt und ein Vergleich zwischen ökologisch und konventionell angebauten Produkte angestrebt wird.

Ebenfalls interessant für die Chemie-Lehramtsstudierenden ist die Bestimmung des Nikotingehaltes in Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten. Auffällig ist, dass keiner der Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente V 1 und V 3 als interessant bezeichnet hat.

Für das Interesse an den Experimenten wurden insgesamt verschiedene Gründe von den Chemie-Lehramtsstudierenden angegeben. Dazu gehört bei den Experimenten mit den Honig unter anderem der familiäre Bezug, weil Familienmitglieder selbst Imker:innen sind. Zudem handelt es sich bei den angegebenen Experimenten um interessante Lebensmittel- und Genussmittelgruppen. Hervorzuheben ist dabei besonders die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse, weil sich der Vergleich zwischen ökologisch und konventionell angebauten Produkten für eine Thematisierung im schulischen Chemieunterricht, aufgrund der Aktualität, eignet. Ein weiterer Grund für das Interesse an den Experimenten, welcher von mehreren Teilnehmer:innen angegeben worden ist, ist die Unwissenheit über bestimmte Inhaltsstoffe der Lebens- und Genussmittel. Als Beispiel wurden neben Ethanol und Nikotin auch Cumarin angegeben. Bei den Methoden der instrumentellen Analytik finden die Chemie-Lehramtsstudierenden neben der DC vor allem die GC und die Photometrie interessant. Bezüglich der GC ist es die Methode an sich, welche die Teilnehmer:innen interessiert, wohingegen bei der Photometrie die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten überzeugt.

8.3.3 Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Verständnisprobleme?

Aufgrund dessen, dass die eine Gruppe die Versuchsvorschriften ausschließlich theoretisch besprochen hat und die zweite Gruppe mithilfe der Versuchsvorschriften die Experimente eigenständig durchführen konnten, kann ein Vergleich zwischen beiden Gruppen angestrebt werden. Häufig treten Verständnisprobleme vor allem bei der Durchführung der Experimente auf, weshalb im Feedbackbogen nachgefragt worden ist, bei welchen Versuchsvorschriften es Verständnisprobleme gab, die zusätzlich erläutert werden sollten. Die Antworten, bei welchen

Versuchsvorschriften Probleme aufgetreten sind, die Begründung, sowie die Anzahl der Nennungen kann aus Tabelle 8-28 entnommen werden.

Tabelle 8-28 Verständnisprobleme der Versuchsvorschriften und deren Begründung, sowie die Anzahl der Nennungen

Versuchsnummer	Gründe	Anzahl der Nennungen	Gesamtzahl der Nennungen des Experiments
3	Wasser-Methanol-Mischung (50/50) nach Volumen oder Gewicht	1	I
5	Filtration aufgrund großer Volumina schwierig	1	2
	Filtration könnte direkt in den Messkolben erfolgen	1	
12	Unterschied zwischen Probe- und Reagenzlösung nicht ganz klar	1	1
13	Filtration aufgrund großer Volumina schwierig	1	1
16	Angabe für Volumen zur Befüllung der Küvetten	1	1
20	Reihenfolge der Versuchsvorschrift nicht klar	1	1
Allgemein	Umgang des Photometers mit dem Blindwert	1	9
	Kennzeichnung von Vorbereitungsschritten	1	
	Material- und Chemikalienlisten stimmen teilweise nicht mit Laborgeräten überein	1	
	keine Verständnisprobleme	6	

Insgesamt kann anhand von Tabelle 8-28 festgehalten werden, dass relativ wenig Verständnisprobleme bei den Versuchsvorschriften aufgetreten sind, denn mehr als die Hälfte aller Teilnehmer:innen (sechs Nennungen) hatte überhaupt keine Probleme beim Verstehen der Versuchsvorschriften. Drei Studierende gaben allgemeine Verständnisprobleme für die Versuchsvorschriften an, die sich nicht auf einzelne Experimente beziehen. Dabei wurde von einer Person der Umgang mit dem Photometer in Bezug auf den Blindwert genannt, eine andere Person hat es verwirrt, dass die Lebensmittel teilweise bereits vorbereitet waren und wiederum eine andere Person nannte, dass die Material- und Chemikalienlisten teilweise nicht mit den zur Verfügung gestellten Laborgeräten übereingestimmt haben. Andere Teilnehmer:innen gaben für die Versuchsvorschriften V 3, V 5, V 12, V 13, V 16 und V 20 explizite Verständnisproblemen an, die sich auf der Ebene bewegten.

8.3.4 Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Probleme beim praktischen Arbeiten?

Häufig treten erst bei der eigenen praktischen Durchführung der Experimente Probleme mit den Versuchsvorschriften auf. Um herauszufinden, an welchen Stellen die Versuchsvorschriften gegebenenfalls nochmal überarbeitet werden müssen, sollten die Chemie-Lehramtsstudierenden im Feedbackbogen angeben, bei welchen Versuchsvorschriften es Probleme gab. Dabei sollten sie die Probleme entsprechend erläutern (Frage 4; siehe Anhang C). Die Probleme, die bei der Handhabung der Experimente entstanden sind, können aus Tabelle 8-29 entnommen werden.

Tabelle 8-29 Probleme beim Arbeiten mit den Versuchsvorschriften, sowie die Anzahl der Nennungen

Versuchsnummer	Gründe	Anzahl der Nennungen	Gesamtzahl der Nennungen des Experiments
1	Filtration zeitaufwendig	2	3
	Zerkleinerung der Schokolade	1	
5	Probenverlust durch schwierige Filtration	1	1
11	vorgeschlagenes Mischungsverhältnis für Blauwert-Einstellung passt nicht	2	3
	Zeitabstände der Messungen genauer angeben	1	
13	Probenverlust durch schwierige Filtration	1	1
17	Stopfen im Wasserbad abgeflogen	1	4
	Experiment für eine Person zu aufwendig	1	
	sauberes Arbeiten mit Ninhydrin	1	
	aufheizen des Wassers sehr zeitaufwendig; eventuell anstelle der Heizplatte ein Wasserkocher verwenden	1	
22	Filtration zeitaufwendig	1	2
	Phasentrennung zeitaufwendig	1	

Beim Arbeiten mit den Versuchsvorschriften kam es bei insgesamt sechs Experimenten zu Problemen, sodass das Arbeiten bei den anderen 16 Experimenten ohne Probleme funktioniert hat. Die Hälfte aller Teilnehmer:innen gab jedoch an, dass es keine Probleme mit den Versuchsvorschriften bei der praktischen Durchführung der Experimente gab. Auch die genannten Probleme bei der Durchführung waren ausnahmslos Einzelnennungen, sodass kein Problem gehäuft auftrat.

9 Diskussion

Da es zu den Einstellungen und Ansichten der Chemie-Lehramtsstudierenden zum Thema Lebensmittelchemie bisher keine Studien gibt, können diesbezüglich keine Vergleiche angestellt werden. Dafür werden in diesem Kapitel die Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel ausführlich erläutert und diskutiert, wobei auch in diesem Kapitel die Diskussion anhand der Forschungsfragen dargestellt wird.

9.1 Welches Vorwissen haben Chemie-Lehramtsstudierende über Lebensmittel, instrumentelle Analytikmethoden und rechtliche Grundlagen von Lebensmitteln?

Anhand der Ergebnisdarstellung (Kapitel 8.2.1) kann festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden nur wenig oder teilweise gar kein Vorwissen über die thematisierten Lebensmittelgruppen hatten. Es fällt auf, dass es sich um ein oberflächliches Wissen handelte, sodass grundlegende Inhaltsstoffe zwar bekannt waren, jedoch eher seltener eine Ausführung zu diesen erfolgte. Auch wenn die Teilnehmer:innen zum Teil konkrete Beispiele für Vorwissen nennen konnten, ist hierbei ebenfalls auffällig, dass häufig nur Inhaltsstoffe der Lebensmittel genannt worden sind. Dennoch erfolgte keine weitere Erläuterung zu den genannten Inhaltsstoffen und deren Aufgabe beziehungsweise Wirkung im und auf den menschlichen Körper.

Das oberflächliche Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden spiegelte sich zudem aus der Befragung zur Authentizität von Lebensmitteln, zum Lebensmittelbetrug und zu Lebensmittelskandalen wider, denn nur vereinzelnd konnten Teilnehmer:innen Beispiele nennen. Angesprochen wurden dabei gesellschaftliche Themen, wie tierische und fleischlose Lebensmittel, sowie „Greenwashing“, sodass auch ökologische Lebensmittel und deren Nachhaltigkeit thematisiert wurden. Dies zeigt, dass nur einzelne Chemie-Lehramtsstudierende Vorwissen über die Authentizität von Lebensmitteln hatten.

Das geringe Vorwissen lässt sich auch im Bereich des Lebensmittelbetrugs erkennen, denn die Hälfte aller Teilnehmer:innen gab an, über kaum oder gar kein Vorwissen zu verfügen, weil man sich darüber, weder im eigenen Leben noch im schulischen Bezug, Gedanken gemacht hat.

Im Vergleich zur Authentizität von Lebensmitteln und Lebensmittelbetrug kann bei den Lebensmittelskandalen festgestellt werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden mehr Vorwissen hatten. Zwar waren bei der Hälfte der Teilnehmer:innen Lebensmittelskandale nicht präsent, jedoch konnten sie sich mit Hinweisen dann doch an verschiedene Lebensmittelskandale erinnern. Der für die Studierenden bekannteste Lebensmitteskandal war das Pferdefleisch,

welches in Lasagne eingesetzt worden ist, gefolgt vom EHEC-Erreger auf dem Gemüse. Demnach konnten die Chemie-Lehramtsstudierenden einige Lebensmittelskandale aus der Vergangenheit nennen, wobei auch hier festgestellt werden kann, dass es sich eher um ein oberflächliches als um ein tiefgreifendes Vorwissen handelte, denn auch hier wurden seltenerweise Erläuterungen zu abgegeben.

Im Bereich der instrumentellen Analytik fällt das Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden für die verschiedenen Geräte ganz unterschiedlich aus. Vergleicht man das Vorwissen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den einzelnen Geräten der instrumentellen Analytik (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie, Gaschromatographie, Dünnschichtchromatographie und Photometrie) fällt auf, dass die Studierenden das wenigste Vorwissen im Bereich der HPLC vorweisen konnten, gefolgt von der GC und der Photometrie. Das meiste Vorwissen war hingegen im Bereich der Dünnschichtchromatographie vorhanden.

Das wenigste Vorwissen weisen die Chemie-Lehramtsstudierenden jedoch im Bereich der rechtlichen Grundlagen der Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe auf, denn nur zwei der zehn Teilnehmer:innen setzen sich mit dieser Thematik in der eigenen Lebenswelt auseinander. Die meisten Teilnehmer:innen gaben hingegen an, dass sie gar kein oder nur kaum Vorwissen im rechtlichen Bereich der Lebensmittel hatten und wenn Vorwissen vorhanden war, hat sich dies auf das allgemeine Vorhandensein von Mindestgehalten und Grenzwerten bei Lebensmitteln beziehungsweise verschiedener Inhaltsstoffe beschränkt, wobei jedoch keine konkreten Beispiele dafür genannt werden konnten.

9.1.1 Welches Vorwissen stammt aus der Schulzeit?

Welches Vorwissen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden bereits während ihrer Schulzeit angeeignet konnten, kann ausschließlich in Bezug auf die instrumentelle Analytik beantwortet werden. Eine Antwort auf diese Frage ist in Bezug auf die Lebensmittelgruppen und die rechtlichen Grundlagen anhand des Datenmaterials aus den Interviews nicht möglich.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden in der Schulzeit das meiste Vorwissen im Bereich der Dünnschichtchromatographie sammeln konnten, weil sie diese Methode selbst auch schon praktisch durchführen konnten und nicht nur theoretisch besprochen haben. Die Trennung von Stoffgemischen wurde scheinbar jedoch nicht anhand von Lebensmitteln durchgeführt, weil dies keiner der Teilnehmer:innen explizit benannt hat. Explizit genannt wurde dagegen jedoch die Trennung von Blattfarbstoffen im Biologieunterricht.

Ebenfalls aus der Schulzeit ist einigen Teilnehmer:innen die Gaschromatographie bekannt, wobei der Aufbau und das Prinzip vor allem theoretisch besprochen worden ist. Auch

im Bereich der GC zeigt sich, dass keine Lebensmittel eingesetzt worden sind, um das Prinzip der gaschromatographischen Trennung zu erklären.

Sowohl die Photometrie als auch die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie sind Methoden der instrumentellen Analytik, die keiner der teilnehmenden Personen aus der Schulzeit kannte, sodass davon ausgegangen werden kann, dass dies Themenbereiche sind, die im schulischen Chemieunterricht nicht thematisiert werden. Dies resultiert vor allem daraus, dass diese Methoden nicht explizit in den niedersächsischen Kerncurricula genannt werden. Demnach kann insgesamt festgehalten werden, dass im schulischen Chemieunterricht die instrumentelle Analytik kaum bis gar nicht thematisiert wird, sondern eher auf nasschemische Verfahren zurückgegriffen wird. Es ist jedoch von zentraler Bedeutung, dass die Schüler:innen bereits im schulischen Chemieunterricht verschiedene Lebensmittel und Methoden der instrumentellen Analytik kennenlernen, damit aus ihnen mündige Verbraucher hervorgebracht werden können. Daher ist es wichtig, dass die zukünftigen Lehrkräfte die Möglichkeit haben, mehr über die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik zu lernen, damit sie das Wissen auch an die Schüler:innen weitergeben können. Aufgrund des hohen Alltagsbezuges zu den Schüler:innen ist es demnach sinnvoll dieses Seminar zu belegen, denn gerade die Bezüge zum Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen kann die Motivation zum Unterrichtsfach Chemie erhöhen. Nach Wanjek (2000) haben viele Schüler:innen kein Interesse am Unterrichtsfach Chemie, weil sie nicht nachvollziehen können, wofür sie die Chemie in ihrem weiteren Leben benötigen. Daher wünschen sich fast drei Viertel der befragten Schüler:innen aus der Forschungsarbeit von Wanjek (2000) mehr Bezüge zur eigenen Lebenswelt, wobei diese Bezüge vor allem in viele Experimente und wenig Theoriebausteinen eingebaut werden sollten [Wanjek, 2000, S. 89 f.]. Dieser Zusammenhang zwischen dem praxisorientierten Chemieunterricht und dem Lebensweltbezug zu den Schüler:innen kann mithilfe der entwickelten Experimente zu verschiedenen Lebensmittelinhaltsstoffen aus dieser Arbeit geschaffen werden, woraus eine Motivationserhöhung der Schüler:innen zum Unterrichtsfach Chemie erfolgen und zusätzlich das Interesse an Lebensmitteln und verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik geweckt werden kann.

9.1.2 Welches Vorwissen stammt aus dem bisherigen Studium?

Welches Vorwissen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden bereits während ihres Chemie-Lehramtstudiums angeeignet haben, kann ausschließlich in Bezug auf die instrumentelle Analytik beantwortet werden. Eine Antwort auf diese Frage ist in Bezug auf die

Lebensmittelgruppen und die rechtlichen Grundlagen anhand des Datenmaterials aus den Interviews nicht möglich.

Während des Studiums konnte praktisch niemand Erfahrungen im praktischen Umgang mit dem Gerät der HPLC sammeln. Demnach wird auch in den verschiedenen Praktika in der Fachchemie die Methode der HPLC nicht angewandt. Im Vergleich zur HPLC konnten die Studierenden dafür aber praktische Erfahrungen im Bereich der Photometrie sammeln.

Im Bereich der DC und der GC fällt auf, dass anhand der Nennungen durch die Chemie-Lehramtsstudierenden das Vorwissen eher aus der Schulzeit als aus dem Studium resultiert. Demnach scheint in den verschiedenen Praktika, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden in ihrem Studium durchlaufen, der Fokus eher auf nasschemischen Verfahren und einfacheren Anwendungen zu liegen als auf der Qualifizierung und Quantifizierung mittels instrumenteller Analytik in Form von HPLC und GC. Damit die zukünftigen Lehrkräfte das Wissen in Bezug auf die instrumentelle Analytik auch an die Schüler:innen weitergeben können, ist es wichtig, dass sie in ihrem Studium die Möglichkeit bekommen, dies auch selbst zu lernen. Dieser Aspekt ist von besonderer Bedeutung, weil die zukünftigen Lehrkräfte dafür verantwortlich sind, durch den Einsatz lebensweltlicher Bezüge in Form von Experimenten mit Lebensmitteln, das Interesse der Schüler:innen in Bezug auf die instrumentelle Analytik zu erhöhen. Damit verbunden kann das Interesse der Schüler:innen an den Berufsbildern von Chemiker:innen und Lebensmittelchemiker:innen möglicherweise ausgebildet werden. Nach van Vorst et al. (2018) können Schüler:innen erst ein Interesse für bestimmte Themenbereiche entwickeln, wenn sie mit diesen in Berührung gekommen sind. Das Interesse wiederum stellt eine grundlegende Voraussetzung dar, damit die Schüler:innen erfolgreich lernen und dies auch in ihrem Leben anwenden können [van Vorst et al., 2018]. Daher würde es sich anbieten die instrumentelle Analytik, gekoppelt an Lebensmittelgruppen, in das Studium der Chemie-Lehramtsstudierenden zu integrieren. Dies kann entweder durch die Aufnahme in entsprechende Grundpraktika erfolgen oder durch die verpflichtende Teilnahme an diesem Seminar. Denn wenn die zukünftigen Lehrkräfte selbst kein Wissen zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik vermittelt bekommen, können sie dieses Wissen auch nicht an die Schüler:innen weitergeben. Damit wären wir in einem Kreislauf, sodass im schulischen Chemieunterricht keine Vermittlung der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik erfolgen würde, sodass auch keine mündigen Verbraucher hervorgebracht werden könnten. Demnach ist es wichtig, die Thematik im Chemie-Lehramtsstudium aufzunehmen.

9.2 Was lernen Chemie-Lehramtsstudierende durch die theoretische und praktische Teilnahme am Seminar über Lebensmittel und instrumentelle Analytik?

Nach der Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* haben die Chemie-Lehramtsstudierende viele neue Aspekte der Lebensmittelchemie kennengelernt, sowohl über Lebensmittel, die instrumentelle Analytik als auch die rechtlichen Grundlagen, ebenso wie Anknüpfungspunkte an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie. Im Fokus standen das Kennenlernen und Durchführen der Experimente, welche die Lebensmittel, die instrumentelle Analytik und die rechtlichen Grundlagen miteinander verbinden.

Insgesamt bewerten die Chemie-Lehramtsstudierenden die theoretischen und praktischen Elemente des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* als positiv. Gerade in der theoretischen Betrachtung hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer:innen es als positiv empfunden haben, so viel Input über die verschiedenen Lebensmittel und die Geräte der instrumentellen Analytik erhalten zu haben. Damit konnten die Studierenden die Inhaltsstoffe von Lebensmitteln chemisch betrachten, Herstellungsprozesse kennenlernen und ihr Wissen im Bereich der Wirkung auf den menschlichen Körper erweitern. Durch die Bezüge, die zu den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie hergestellt worden sind, haben die Teilnehmer:innen nun einen Überblick erhalten, wo und in welchen Bereichen es Anknüpfungspunkte gibt, um die Lebensmittelchemie, inklusive der instrumentellen Analytik, im schulischen Chemie- und Biologieunterricht anwenden zu können.

Im Bereich der Lebensmittelgruppen hat sich abgezeichnet, dass gerade die alkaloidhaltigen Lebensmittel (Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade) das Interesse der Teilnehmer:innen geweckt hat. Dies liegt vor allem daran, dass fast alle der Studierenden täglich Kaffee, Tee und Schokolade konsumieren. Damit liegt ein hoher Alltags- und Lebensweltbezug vor, der die Motivation und das Interesse bei den Teilnehmer:innen anhebt. Neben Kaffee, Tee und Schokolade ist dieser Effekt auch bei den Energydrinks und den alkoholischen Getränken festzustellen. Die teilnehmenden Personen sind der Meinung, dass gerade die alkoholischen Getränke im schulischen Chemieunterricht gut eingesetzt werden könnten, weil dies ein Thema ist, welches durch den starken Lebensweltbezug die Motivation der Schüler:innen erhöht. Dass das Thema der Alkohole für die Schüler:innen von besonderem Interesse ist, konnte bereits durch eine Fragebogenstudie von Barke (1996) herausgefunden werden [Barke et al., 2012, S. 220]. Weiterhin zeigt sich besonderes Interesse an den Lebensmittelgruppen Honig sowie Obst und Gemüse. Somit zeigt sich, dass auch die Naturstoffe für die Studierenden sehr interessant sind,

was ebenfalls wieder mit dem Alltagsbezug erklärt werden kann. Zudem sind diese Lebensmittel auch für die Schüler:innen bekannt, wodurch die Teilnehmer:innen insgesamt der Meinung sind, dass sich diese Thematiken gut für die Anwendung im schulischen Chemieunterricht eignen würden. Generell sind Lebensmittel aufgrund des hohen Alltagsbezuges für die Schüler:innen sehr interessant, wie aus der Studie von Barke (1996) hervorgeht [Barke et al., 2012, S. 220].

Betrachtet man die verschiedenen Analytikmethoden, die im Seminar angesprochen worden sind, kann festgehalten werden, dass die Photometrie die beliebteste Analytikmethode der Chemie-Lehramtsstudierenden darstellt. Gerade die enzymatischen Experimente fanden die Studierenden besonders interessant, da diese Methode den Teilnehmer:innen zuvor noch gänzlich unbekannt war. Nach der Photometrie ist die Dünnschichtchromatographie für die Chemie-Lehramtsstudierenden die zweitbeliebteste Methode der instrumentellen Analytik. Dies wird vor allem damit begründet, dass es sich um eine schnelle und einfache Methode handelt, für die wenig Materialeinsatz benötigt wird. Aufgrund des geringen Materialeinsatzes können die Methoden gut im schulischen Chemie- und Biologieunterricht eingesetzt werden und aufgrund der Einfachheit und Schnelligkeit können auch die Schüler:innen diese Experimente eigenständig durchführen. Gerade das eigenständige Experimentieren der Schüler:innen führt dazu, dass das Interesse an der Chemie steigt. Werden zudem noch alltagsbezogene Thematiken herangezogen, wird dadurch die Motivation noch weiter gesteigert. Dies kann durch die Forschungsmethode von Wanjek (2000) bestätigt werden, bei der über 80 % der befragten Schüler:innen angaben, dass Schülerexperimente interessant sind. Im Vergleich zur Photometrie und zur DC, sind die Methoden der HPLC und GC weniger beliebt. Dies liegt vor allem an der Tatsache, dass die wenigsten Schulen über ein entsprechendes Gerät verfügen, sodass keine Schülerexperimente dazu durchgeführt werden können.

Der praktische Teil, in dem die Experimente eigenständig durchgeführt werden sollten, konnte in einer der beiden Gruppen coronabedingt leider nicht stattfinden. Damit die Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente trotzdem kennenlernen konnten, wurden alle Experimente mithilfe von Beispieldaten ausführlich besprochen und zusätzlich wurden Experimente ausgewählt, die gefilmt worden sind. Dies wurde von den Studierenden als sehr positiv bewertet, denn so hatten sie das Gefühl, dass ihnen das Labor nach Hause geholt wurde. Zudem sind die Teilnehmer:innen insgesamt sehr zufrieden mit der Aufbereitung der Versuchsvorschriften gewesen, bei denen keine Verständnisprobleme aufgetreten sind. Die Experimente haben demnach, nach Meinung der Studierenden, eine gute Qualität. Der einzige Wehmutstropfen, der

trotz der guten Alternative zur praktischen Laborarbeit bleibt, ist, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente nicht eigenständig durchführen konnten.

Besonders interessante Experimente waren für die Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente zu den Energydrinks, die enzymatischen Experimente beim Honig und den alkoholischen Getränken sowie die Farbstoffbestimmungen mittels DC und Photometrie. Anhand der Angabe der interessanten Themenbereiche der Studierenden kann eine Verbindung zu Interessengebieten von Schüler:innen aus der Forschungsarbeit von Wanjek (2000) hergestellt werden. Auch die Schüler:innen zeigen besonderes Interesse an der Thematik Alkohol sowie dem Färben, sodass sich eine Umsetzung im schulischen Chemieunterricht gut eignet.

Trotz der theoretischen Besprechung der Experimente sind die Chemie-Lehramtsstudierenden der Meinung, dass es sehr wichtig ist, die Experimente eigenständig praktisch durchzuführen. Durch die eigene Durchführung der Experimente kann der Lernerfolg und auch das praktische Verständnis verbessert werden. Dies konnten bereits Weltner und Warnkross (1974) sowie Demuth (1981) in verschiedenen Studien zeigen, in denen Schüler:innen die Schülerexperimente als größtes Lernergebnis angegeben haben. Das wiederum kann auch auf den Lernerfolg der Chemie-Lehramtsstudierenden übertragen werden. Somit kann insgesamt festgehalten werden, dass es natürlicherweise von Vorteil gewesen wäre, wenn die Experimente auch wirklich praktisch durchgeführt werden könnten.

Bei der Gruppe, welche die Experimente eigenständig durchführen konnten, kann festgestellt werden, dass die positiven Aspekten die negativen Aspekte zu den Experimenten insgesamt übersteigen. Durch die praktische Durchführung der Experimente haben die Chemie-Lehramtsstudierenden viele verschiedene interessante Experimente zu diversen Lebensmittelgruppen mit instrumenteller Analytik in Form von DC, HPLC, GC und Photometrie kennengelernt. Dabei handelt es sich überwiegend um Experimente, bei denen die Probenaufbereitung schnell und einfach ist, wobei es auch Experimente gibt, bei denen die Probenaufarbeitung und Durchführung komplexer ist. Die gewählten Thematiken haben einen starken Alltagsbezug zu den Chemie-Lehramtsstudierenden und entsprechend auch zu den Schüler:innen, sodass es sich auch gut für die Thematisierung im schulischen Chemieunterricht eignet. Die Teilnehmer:innen haben eine enorme Vielfalt an Lebensmitteln kennengelernt, mit denen sie experimentieren konnten. Die dazu verwendeten Versuchsvorschriften waren insgesamt gut verständlich und wenn Probleme aufgetreten sind, konnte allen Chemie-Lehramtsstudierenden bei der Behebung der Probleme geholfen werden. Durch das eigenständige Experimentieren konnten die Chemie-Lehramtsstudierenden weitere Laborerfahrungen sammeln. Sie haben verschiedene Labortechniken und Geräte der instrumentellen Analytik kennengelernt und konnten diese, mit der

Ausnahme der HPLC, eigenständig bedienen. Insgesamt hat sich dabei herausgestellt, dass die Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honigen mittels Enzymatik und Photometrie das beliebteste Experiment der Chemie-Lehramtsstudierenden bei der praktischen Durchführung im Labor gewesen ist, gefolgt von der Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels HPLC sowie der Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels GC. Die Bestimmung der Farbstoffe mittels Dünnschichtchromatographie und anschließender Überprüfung mit Photometrie hat sich ebenfalls als interessant herausgestellt. Demnach hat sich gezeigt, dass vor allem die Experimente, bei denen Ethanol qualitativ und quantitativ bestimmt worden ist, sowie die Bestimmung der Farbstoffe besonders faszinierend waren für die Chemie-Lehramtsstudierenden. Weiterhin zeigten die Teilnehmer:innen Interesse an den Experimenten zur Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse. Gerade der Vergleich in Bezug auf den Vitamin C- und den Nitratgehalt von Obst- und Gemüsesorten, die entweder ökologisch oder konventionell angebaut sein können, fanden die Chemie-Lehramtsstudierenden interessant, weil dies eine Thematik ist, die immer präsenter wird und sich damit sehr gut als Aufhänger für den schulischen Chemieunterricht eignet. Da es sich bei den umweltbezogenen Themen häufig um komplexe Thematiken handelt, können Medien herangezogenen werden, um diese Probleme zu erörtern, wodurch der Aspekt der Medienbildung ebenfalls mit aufgefasst werden kann [Childs et al., 2015].

Auch wenn die Studierenden die Messungen am Hochleistungsflüssigkeitschromatographen nicht eigenständig durchführen konnten, konnten dennoch alle Probenvorbereitungen bis hin zur Injektion der Probelösungen von den Studierenden durchgeführt werden. Demnach konnten die Studierenden alle Aufarbeitungsschritte kennenlernen und haben dann eine Einführung in das Gerät bekommen, in der ihnen nochmals die einzelnen Bauteile des Geräts vorgestellt und entsprechende Chromatogramme für die Experimente gezeigt worden sind. Für die Auswertung wurden den Studierenden die gemessenen Werte aus den gezeigten Beispielchromatogrammen zur Verfügung gestellt. Somit konnten die Chemie-Lehramtsstudierenden die Methodik der HPLC trotzdem kennenlernen, obwohl sie nicht selbst ihre Probelösungen injiziert haben.

Vergleicht man die beiden teilnehmenden Gruppen in Bezug auf das Interesse der Experimente, kann insgesamt festgehalten werden, dass die Experimente der HPLC und GC für die Chemie-Lehramtsstudierenden insgesamt weniger interessant sind als die Experimente mit der DC und Photometrie. Von besonderem Interesse sind für beide Gruppen die enzymatischen Methoden, bei denen der Ethanolgehalt in Honig und alkoholischen Getränken bestimmt wird. Aber auch die Farbstoffe, die dünnschichtchromatographisch und photometrisch bestimmt

werden, finden die Studierenden, unabhängig von der praktischen Durchführung, interessant. Die Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden kann darauf zurückgeführt werden, dass diese Methoden im schulischen Chemieunterricht einfacher umzusetzen sind als die Methoden der GC und der HPLC. Dies liegt vor allem daran, dass die meisten Schulen eher ein Photometer zur Verfügung haben als einen Hochleistungsflüssigkeits- oder Gaschromatographen. Dem hinzu kommt, dass die Studierenden selbst kaum Erfahrungen im Bereich der GC und HPLC sammeln konnten, weshalb sie es bevorzugen, auf die DC und die Photometrie zurückzugreifen.

Insgesamt kann demnach als Lernerfolg festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* ein Überblickswissen zu den verschiedenen Lebensmittelgruppen, den Methoden der instrumentellen Analytik sowie den rechtlichen Grundlagen des Lebensmittelrechts erhalten haben. Den Studierenden wurde ein Bewusstsein über Lebensmittel vermittelt, sodass sie einen Zugang zur Lebensmittelchemie bekommen haben. Sie haben viele neue Experimente und Versuchsvorschriften kennengelernt, die sie entweder selbst praktisch durchführen oder theoretisch mit Beispieldaten auswerten konnten. Somit haben die Studierenden verschiedene Auswertungsmethoden aufgezeigt bekommen. Demnach kann festgehalten werden, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden ein breitgefächertes Wissen zur Lebensmittelchemie vermittelt bekommen haben.

9.3 Warum setzen sich Chemie-Lehramtsstudierende mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander?

Die Chemie-Lehramtsstudierenden setzen sich anhand verschiedener Gründe mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander. Der Hauptgrund ist jedoch der starke Alltags- und Lebensweltbezug, sowohl für sich selbst als auch für die Schüler:innen, denn Lebensmittel stellen die Grundlage der menschlichen Ernährung dar. Aufgrund dessen bietet es sich an, diese spannende Thematik im schulischen Chemieunterricht umzusetzen, weil es dadurch auch zu einem motivierenden Thema für die Schüler:innen wird, wenn sie mit Lebensmitteln aus ihrem Alltag experimentieren können. Nach Seidel et al. (2007) weisen vor allem Schüler:innen, die sich im schulischen Chemieunterricht mit lebensweltlichen Kontexten auseinandersetzen und häufig selbst experimentieren können, ein höheres Interesse am Unterrichtsfach Chemie auf als Schüler:innen, deren Chemieunterricht kaum oder keine lebensweltlichen Bezüge aufweisen [Seidel et al., 2007]. Neben den verschiedenen Umsetzungsmöglichkeiten im schulischen Chemieunterricht, setzen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden aber auch durch das persönliche Interesse mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule auseinander. Das persönliche Interesse stellt eine grundlegende Voraussetzung dar, um erfolgreich etwas über die Thematik der

Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik zu lernen. Aufgrund des persönlichen Interesses der Studierenden können sie später in ihrem eigenen Unterricht lebensweltliche Kontexte in Form von Lebensmitteln einbauen, sodass sie das Interesse auf die Schüler:innen transferieren können [van Vorst et al., 2018]

Das eigene Interesse spiegelt sich auch darin wider, dass sich sechs der zehn Studierenden im Alltag mit Lebensmitteln auseinandersetzen. Dabei interessieren sich die Teilnehmer:innen unter anderem im Allgemeinen für die Inhaltsstoffe von Lebensmitteln, für Lebensmittel, denen möglichst wenig Zucker zugesetzt wird, sowie vegetarische und vegane Produkte. Weiterhin setzen sich die Teilnehmer:innen mit Inhaltsstoffen aus Getränken auseinander und interessieren sich für proteinreiche Lebensmittel, die gerade bei Sportlern von hohem Interesse sind. Natürlich spielen in der heutigen Zeit auch viele Allergien eine wichtige Rolle, weshalb sich die Studierenden mit der Thematik der Lebensmittelchemie auseinandersetzen. Besonderes Interesse zeigen die Chemie-Lehramtsstudierenden an Obst- und Gemüseprodukten. Dies wird damit begründet, dass immer mehr Menschen versuchen, sich gesund zu ernähren. Demnach spielt der gesellschaftliche Aspekt eine wichtige Rolle, aber natürlich auch der Lebensweltbezug, weil viele der Teilnehmer:innen fast täglich Obst oder Gemüse konsumieren. Das Interesse an umweltbezogenen Themen zeigt sich zudem auch bei Studien, in denen Schüler:innen befragt worden sind, für welche Themen sie sich im Chemieunterricht interessieren würden. So sind beispielsweise nach Wanjek (2000) die umweltbezogenen Themen gerade bei den weiblichen Schülerinnen sehr beliebt, gefolgt von lebensnahen Themen und Lebensmitteln im Allgemeinen. Neben Obst und Gemüse interessieren sich die Chemie-Lehramtsstudierenden vor allem für Getränke, weil der menschliche Körper ja eigentlich nur Wasser bräuchte, das Angebot diverser Getränke jedoch sehr vielfältig ist. Zudem haben sie eine Faszination für verarbeitete Lebensmittel sowie Fertigprodukte. Gerade in der heutigen Gesellschaft wird häufig auf Fertigprodukte zurückgegriffen, die meistens viel Fett und Zucker enthalten, sodass sich die Teilnehmer:innen für die Inhaltsstoffe der Produkte interessieren. Aufgrund des eigenen Konsumverhaltens stehen aber auch alkaloidhaltige Lebensmittel in Form von Kaffee und Schokolade im Fokus der Teilnehmer:innen sowie Süß- und Backwaren.

Aus der Darstellung der Gründe für die Auseinandersetzung mit der Thematik und dem Interesse an bestimmten Lebensmitteln, haben die Chemie-Lehramtsstudierenden mit bestimmten Erwartungen an diesem Seminar teilgenommen. Die Teilnehmer:innen wollten verschiedene Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe kennenlernen, ebenso wie die Alltagsbezüge der Lebensmittelchemie im Allgemeinen. Damit verbunden wollten die Studierenden Möglichkeiten erlernen, wie man es schaffen kann, die Lebensmittel und deren Chemie in den schulischen

Chemieunterricht einzubinden. Demnach wurde auch erwartet, dass eine Auseinandersetzung mit den niedersächsischen Kerncurricula des Fachs Chemie erfolgt. Weiterhin wurde als Erwartung formuliert, Experimente zu Lebensmitteln kennenzulernen und diese auch eigenständig durchführen zu können. Wie die Chemie-Lehramtsstudierenden angaben, konnten die Erwartungen in Bezug auf die Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, die Experimente, die rechtlichen Hintergründe und die Anbindungen an die niedersächsischen Kerncurricula Chemie erfüllt werden. Bezüglich der didaktischen Aspekte konnten die Erwartungen hingegen nicht bei allen Teilnehmer:innen erfüllt werden. Insgesamt sind die Chemie-Lehramtsstudierenden jedoch sehr zufrieden mit dem Seminar gewesen.

Anhand der verschiedenen Gründe für die Auseinandersetzung mit der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule kann ein allgemeines Interesse an Lebensmitteln festgehalten werden, weil die Lebensmittel einen starken Bezug zu ihrem Alltag und der Lebenswelt haben. Daher wollen die Chemie-Lehramtsstudierenden mehr über die Thematik erfahren, weshalb es wichtig ist, dass neben diesem Seminar weitere Seminare zu dieser Thematik angeboten werden. Denn nur wenn die zukünftigen Lehrkräfte selbst etwas über Lebensmittelchemie und damit verbunden die instrumentelle Analytik vermittelt bekommen, können sie das Wissen auch an die Schüler:innen weitergeben. Gerade gesellschaftliche Themen, aber auch Themen wie Massentierhaltung, vegetarische und vegane Ernährung sowie Nachhaltigkeit rücken in der Gesellschaft immer mehr in den Vordergrund, sodass auch das Thema der Lebensmittelchemie gut für die Umsetzung in der Schule geeignet ist. Dadurch bekommen die Schüler:innen schon früh Werte vermittelt, die in ihrem weiteren Leben wichtig sind. Gerade in Bezug auf die Lebensmittel können durch Wissensvermittlung mündige Verbraucher hervorgebracht werden, die selbst entscheiden können, welche Lebensmittel sie konsumieren und welche nicht. Dies ist vor allem bei Schüler:innen, die aus einem sozial schwächeren Status kommen, von besonderer Bedeutung. Denn die sozial schwächeren Schüler:innen konsumieren häufig leider wenig Obst und Gemüse, dafür jedoch viel Fett [Muff und Weyers, 2010]. Damit verbunden steigt das Risiko ernährungsbedingte Krankheiten mit zunehmenden Alter zu bekommen, beispielsweise Diabetes mellitus Typ 2, aber auch Herzkreislauferkrankungen sowie Bluthochdruck [Leitzmann, 2013].

9.4 Wie und warum ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert wird?

Die Chemie-Lehramtsstudierenden finden es insgesamt sehr wichtig, dass die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht thematisiert und angewendet wird. Für die Hälfte aller Teilnehmer:innen besteht die Wichtigkeit darin, die Schüler:innen über Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe aufzuklären, um aus ihnen mündige Verbraucher zu machen, denn Lebensmittel stellen die Grundlage der menschlichen Ernährung dar, weil sie jeder Mensch ernähren muss, um zu überleben. Demnach ist es besonders wichtig, dass die Schüler:innen etwas über die Inhaltsstoffe von Lebensmitteln lernen, um selbst entscheiden zu können, welche Lebensmittel sie konsumieren und welche hingegen nicht. Denn lernen die Schüler:innen dies nicht, kann daraus eine Fehlernährung resultieren, die negative Folgen für die eigene Gesundheit in Form von Diabetes mellitus Typ 2 und koronaren Herzerkrankungen mit sich bringen kann. Somit kann man die Aufklärung über Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe als eine Art der Allgemeinbildung betrachten, die den Schüler:innen nähergebracht werden sollte. Nach Childs et al. (2015) muss den Schüler:innen die Relevanz alltäglicher Thematiken, wie beispielsweise die Chemie in Lebensmitteln, für ihr zukünftiges Leben verständlich gemacht werden. Gerade in der heutigen Zeit ist es umso wichtiger, dass die Schüler:innen ein chemisches und wissenschaftliches Verständnis ausbilden, um in einer technologischen Gesellschaft leben zu können. Ohne ein solches Verständnis können Fragen des alltäglichen Lebens nicht verstanden und Probleme nicht bewältigt werden. Daher ist es von zentraler Bedeutung, dass im schulischen Chemieunterricht die grundlegenden chemischen Konzepte mit alltäglichen Problemen in Verbindung gebracht werden, um den Schüler:innen zu zeigen, wie man entsprechende Probleme bewältigen kann [Childs et al., 2015]. Zudem ist es wichtig, dass die Schüler:innen bereits im schulischen Chemieunterricht verschiedene Analytikmethoden kennenlernen, die über die Anwendung nasschemischer Verfahren hinausgeht. Damit die Thematik der Lebensmittelchemie in Verbindung mit der instrumentellen Analytik aber auch im schulischen Chemieunterricht zum Einsatz kommt, wäre es von Vorteil, wenn die Lebensmittelchemie sowie die Methoden der instrumentellen Analytik auch namentlich in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie aufgenommen werden würden, oder zumindest in den schuleigenen Curricula. Die Thematisierung würde aufgrund des starken Alltag- und Lebensweltbezuges der Lebensmittel auch motivationssteigernd auf die Schüler:innen wirken. Weiterhin eignen sich die Lebensmittel unglaublich gut als Aufhänger für andere chemische Kontexte, um bestimmte Aspekte der Chemie kennenzulernen. Durch die Verbindung, die zwischen Lebensmitteln und instrumenteller Analytik

geschaffen wird, bietet sich die Thematik auch als Beispiel innerhalb der Berufsorientierung an. Somit können die Schüler:innen die Aufgaben und Tätigkeiten von Lebensmittelchemiker:innen kennenlernen, einem Beruf, der für viele der Schüler:innen eher unbekannt ist. Demnach kann insgesamt festgehalten werden, dass es sehr wichtig ist, die Lebensmittelchemie in der Schule zu thematisieren.

9.4.1 Welche Thematiken in Bezug auf die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik sollten im schulischen Chemieunterricht verankert werden?

Drei Fünftel der Teilnehmer:innen finden es wichtig, dass die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik im schulischen Chemieunterricht angewendet und entsprechend verankert werden. Da es sich jedoch um eine Thematik handelt, die nicht explizit durch die niedersächsischen Kerncurricula vorgegeben wird, muss überlegt werden, wie und wann man diese Thematik anwenden kann. Die Chemie-Lehramtsstudierenden würden die Thematik als Arbeitsgemeinschaft oder in Form eines Seminarfaches anbieten, um dem Zeitfaktor aus dem Weg zu gehen, weil sie der Meinung sind, dass die Schüler:innen großes Interesse zeigen, wenn es um Lebensmittel im Chemieunterricht geht. Voraussetzung, um die entsprechenden Experimente auch durchführen zu können, ist die Verfügbarkeit geeigneter Materialien und nach Möglichkeit das Vorhandensein der entsprechenden Gerätschaften. Die geeigneten Materialien haben die Chemie-Lehramtsstudierenden in Form der Versuchsvorschriften zur Verfügung gestellt bekommen. In Bezug auf die Gerätschaften ist es von Schule zu Schule unterschiedlich, welche zur Verfügung stehen. Dabei sollte eine Schule zumindest über Materialien der DC verfügen, ebenso wie über ein kostengünstiges Photometer. Dann könnten die Experimente direkt in der dargestellten Form durchgeführt werden. Mittlerweile verfügen einige Schulen auch über einen Gaschromatographen, weil die GC neben der DC (Sek I) auch direkt namentlich im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie der Sekundarstufe II als zu betrachtender Inhalt genannt wird. Sollte ein Gaschromatograph zur Verfügung stehen, könnten die Alkohol- und Nikotingehalte mittels GC quantitativ bestimmt werden. Die Beschreibung des Kaffeearomas mittels GC-O ist ohne Olfaktometrie-Einheit in der Schule dann nicht umsetzbar, wobei hierfür auch ein außerschulischer Lernort besucht werden könnte. Die direkte Umsetzung der Experimente, bei denen mittels HPLC Inhaltsstoffe von Lebensmitteln qualifiziert und quantifiziert werden, stellt das größte Problem dar, weil die wenigsten Schulen über einen Hochleistungsflüssigkeitschromatographen verfügen. Auch hier würde sich der Besuch eines außerschulischen Lernortes eignen. Zudem gibt es die Möglichkeit, die Experimente in andere Themen mit einzubinden. Wie die Chemie-Lehramtsstudierenden und damit die zukünftigen Lehrkräfte dies

einsetzen und anwenden würden, ist ihnen selbst überlassen. Die dazu benötigten Materialien haben sie durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* zur Verfügung gestellt bekommen. Die Ideen, welche die Chemie-Lehramtsstudierenden für die Vermittlung der Thematik Lebensmittelchemie in der Schule nennen, lassen sich auch bei Barke et al. (2012) für allgemeine Unterrichtsprozesse finden, um alltägliche Themen mit wissenschaftlicher Chemie in Verbindung zu bringen. Somit wird nach Barke et al. (2012) beispielsweise vorgeschlagen praktisch zu experimentieren, Exkursionen zu Chemiebetriebe zu machen, außerschulische Lernorte zu besuchen oder auch visuelle Methoden einzusetzen sowie Expertengespräche durchzuführen [Barke et al., 2012, S. 231].

Die Chemie-Lehramtsstudierenden würden als Lebensmittelgruppen vor allem die alkoholischen Getränke im schulischen Chemieunterricht verankern und thematisieren. Neben der Betrachtung des Inhaltsstoffes Ethanol würde die Wirkung auf den Körper sowie der Alkoholstoffwechsel mit eingebracht werden, wodurch auch ein fächerverbindender Unterricht zum Fach Biologie entstehen würde. Neben der Betrachtung der verschiedenen Farbstoffe in alkoholischen Getränken können auch die Farbstoffe in alkoholfreien Erfrischungsgetränken betrachtet werden. Aufgrund dessen, dass die Ergebnisse mittels DC direkt sichtbar werden in Form von farbigen Spots, ist dies ein Experiment, welches die Chemie-Lehramtsstudierenden auf jeden Fall im schulischen Chemieunterricht integrieren würden. Neben den alkoholischen Getränken und den alkoholfreien Erfrischungsgetränken sollte die alkaloidhaltigen Lebensmittel (Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade) thematisiert werden, wobei gerade der Inhaltsstoff Koffein in den Fokus gesetzt werden sollte.

9.4.2 In welcher Jahrgangsstufe sollte die Thematik mit den entsprechenden Experimenten angewendet werden?

Der Großteil der Chemie-Lehramtsstudierenden wurde die entsprechenden Thematiken eher im schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe II anwenden. Gerade die instrumentelle Analytik in Form der HPLC und der GC würden sich besser in der Sekundastufe II eignen, weil die Schüler:innen zu diesem Zeitpunkt schon eine gewisse Erfahrung beim Experimentieren sammeln konnten, indem sie maßanalytische Verfahren kennengelernt haben. Da es sich bei den Lebensmittelinhaltsstoffen um organische Substanzen handelt, die qualitativ und quantitativ bestimmt werden, werden bestimmte Kenntnisse aus dem Bereich der organischen Chemie vorausgesetzt. Demnach würde eine Thematisierung in der Sekundarstufe I, ohne didaktische Reduktion, weniger sinnvoll sein, weil die organische Chemie erst in der Sekundarstufe II behandelt wird. Dem hinzu kommt, dass vor allem Lebensmittel- und Genussmittelgruppen, wie die

alkoholischen Getränke und die Zigaretten sowie Liquids für E-Zigaretten, erst in der Altersgruppe der Sekundarstufe II wirklich interessant werden. Dies betrifft auch den Inhaltsstoff Koffein, gerade in Bezug auf den Konsum von Kaffee. Zudem bietet sich im Bereich der alkoholischen Getränke auch ein fächerverbindender Unterricht zum Fach Biologie an, dessen Thematisierung auch in der Sekundarstufe II stattfinden sollte. Dort könnten neben dem Alkoholstoffwechsel auch Alkoholgehalte von verschiedenen Produkten miteinander verglichen werden. Die Möglichkeit der Thematisierung der Lebensmittel wird auch bei Childs et al. (2015) beschrieben. Demnach könnten mithilfe von Lebensmitteln als alltägliche Beispiele folgende Inhalte in einem Lehrplan der Chemie thematisiert werden: Atome, Moleküle, Elemente, Verbindungen und Gemischen, Arten von chemischen Bindungen, kovalente und molekulare Bindungen und Verbindungen, Säuren und Basen, Lebensmittelsensorik, Umweltverschmutzung sowie Qualitätskontrollen in Form von volumetrischen, komplexometrischen und instrumentellen Analysen [Childs et al., 2015]. Trotz der Angabe, dass die Lebensmittel durch die instrumentelle Analytik in den Lehrplan Chemie integriert werden könnten, gibt es kaum Materialien dazu. Daher ist es wichtig, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden die Experimente aus dem Seminar kennenlernen, damit diese im schulischen Chemieunterricht Anwendung finden.

Der Inhaltsstoff Koffein konnte jedoch bereits in der Sekundarstufe I in der Jahrgangsstufe 9/10 thematisiert werden. Dies würde sich gerade bei den Energydrinks eignen, weil in dieser Altersgruppe das Interesse an Energydrinks besonders groß ist. Das große Interesse an Getränken im Allgemeinen und damit an den Energydrinks kann durch Childs et al. (2015) bestätigt werden. Auch im Bereich der Schokolade würde eine Anwendung bereits in der Sekundarstufe I sinnvoll sein.

Durch einen Fachübergriff von Chemie und Biologie könnte eine Betrachtung des Lebensmittelinhaltsstoffs Vitamin C in verschiedenen Obstsorten durchgeführt werden. Im Unterrichtsfach Biologie wird in der Jahrgangsstufe 7/8 das Themengebiet der Ernährung eingeführt, sodass durch einen Fachübergriff der Vitamin C-Gehalt in verschiedenen Obstsorten auch im Chemieunterricht thematisiert werden kann. An dieser Stelle bietet es sich an mit den Schüler:innen über eine gesunde Ernährung zu sprechen. Gerade Obst und Gemüse enthalten viele wichtige sekundäre Pflanzenstoffe, die sich positiv auf die menschliche Gesundheit auswirken, sodass verschiedenen ernährungsbedingten Krankheiten vorgebeugt werden kann. Dazu gehören neben Diabetes mellitus Typ 2 auch Herzkreislauferkrankungen, Bluthochdruck und Gicht [Leitzmann, 2013]. Die Thematisierung der ernährungsbedingten Krankheiten ist vor allem für die Schüler:innen wichtig, die wenig Obst und Gemüse verzehren. Da es sich dabei häufig um

Schüler:innen aus einem sozial schwächeren Umfeld handelt, ist es wichtig ihnen die möglichen Folgen aufzuzeigen, sodass aus ihnen mündige Verbraucher:innen werden.

Anhand des Inhalts des niedersächsischen Kerncurriculums Chemie für die Jahrgangsstufe 5/6 sollen die Schüler:innen in dieser Jahrgangsstufe ihre Sinne einsetzen, um Eigenschaften zu beschreiben [Achtermann et al., 2015, S. 51]. Demnach eignet sich die Thematisierung der Lebensmittelsensorik, sodass bis auf die Lebensmittel- und Genussmittelgruppen der alkoholischen Getränke, der Energydrinks und der Zigaretten beziehungsweise Liquids für E-Zigaretten alle anderen Lebensmittelgruppen für sensorische Experimente eingesetzt werden können, sodass die Motivation der Schüler:innen durch die Möglichkeit des Probierens erhöht wird. Neben dem Einsatz der Sinne, wird im niedersächsischen KC in der Jahrgangstufe 5/6 gefordert, dass die Schüler:innen die Chromatographie kennenlernen [Achtermann et al., 2015, S. 52]. Neben der Papierchromatographie eignet sich hier besonders die Dünnschichtchromatographie zur Anwendung. Ein besonders gutes Ergebnis kann dabei mithilfe von Farbstoffen erzielt werden, weil hierbei das Ergebnis in Form farbiger Spots erkennbar ist. Demnach kann hier das Experiment zur Farbstoffbestimmung in alkoholfreien Erfrischungsgetränken mittels DC eingesetzt werden. Hingegen die dünnschichtchromatographische Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken eignet sich im Jahrgang 5/6 weniger gut, weil die Schüler:innen in dieser Jahrgangstufe noch keinen großen Bezug zu den alkoholischen Getränken haben.

Betrachtet man den Einsatz der möglichen Unterrichtseinheiten in Bezug auf die Angabe der Klassenstufen, zeichnet sich ab, dass die Chemie-Lehramtsstudierenden die Unterrichtseinheiten eher in der Sekundarstufe II anwenden würden. Dies bezieht sich vor allem auf die alkaloidhaltigen Lebensmittel, sowie die alkoholischen Getränke und die Genussmittel Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten mit dem Inhaltsstoff Nikotin. Für andere Lebensmittelgruppen, wie die alkoholfreien Erfrischungsgetränke und Energydrinks, Honig sowie Obst und Gemüse ist eine Anwendung der Thematik im schulischen Chemieunterricht der Sekundarstufe I denkbar, wenn die entsprechenden Inhalte didaktisch reduziert werden. Für diese Lebensmittelgruppen liegt ein Lebenswelt der Schüler:innen vor, sodass durch den Einsatz der Lebensmittel eine Motivationssteigerung der Schüler:innen erreicht werden kann.

9.5 Wie wichtig ist es, aus Sicht der Probandinnen und Probanden, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden im niedersächsischen Kerncurriculum verankert werden?

Für die Chemie-Lehramtsstudierenden ist es insgesamt wichtig, dass die Lebensmittelchemie und die Analytikmethoden in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie mit aufgenommen und somit verankert werden. Die Teilnehmer:innen finden dabei besonders wichtig, dass die Analytikmethoden DC, GC, HPLC und auch Photometrie explizit namentlich aufgenommen werden, damit diese auch wirklich thematisiert werden. Neben den Methoden der instrumentellen Analytik sollten nach der Meinung der Chemie-Lehramtsstudierenden im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie auch verschiedene Lebensmittelgruppen mit aufgenommen werden, weil viele der Teilnehmer:innen und entsprechend auch die Schüler:innen wenig Wissen im Bereich der Lebensmittel aufweisen, obwohl die Lebensmittel die Lebensgrundlage darstellen und damit im Fokus der menschlichen Ernährung und Gesundheit stehen. Gerade Themen wie fleischlose Ernährung, Tierwohl, ökologischer Landbau und Nachhaltigkeit werden in der heutigen Gesellschaft immer wichtiger, weshalb es wichtig ist, sich mit der Lebensmittelchemie auseinanderzusetzen, um die Chemie-Lehramtsstudierenden und damit die Schüler:innen zu informieren. Andere Teilnehmer:innen sind zwiegespalten, was die Wichtigkeit der expliziten Verankerung in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie angeht, weil sie der Meinung sind, dass die Kerncurricula einen gewissen Interpretationsspielraum darstellen. Somit können die Lehrkräfte selbst entscheiden, wie weit sie beispielsweise im Bereich der Analysemethoden und der Berufsorientierung gehen wollen.

Betrachtet man die Gründe der Wichtigkeit der Verankerung der Lebensmittelchemie und der Methoden der instrumentellen Analytik, werden vor allem die Alltagsbezüge genannt, weil die Schüler:innen dadurch motiviert werden könnten. Durch den Einsatz von Lebensmitteln aus ihrem Alltag beziehungsweise ihrer Lebenswelt können die Schüler:innen möglicherweise die Faszination für die Chemie erkennen und haben so mehr Spaß an diesem Unterrichtsfach. Zudem bieten Lebensmittel konkrete Beispiele für Diskussionen, die im schulischen Chemieunterricht mit den Schüler:innen geführt werden können. Als Beispiel ist hier vor allem die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse zu nennen, bei denen ein Vergleich zwischen konventionell und ökologisch angebauten Produkten in Bezug auf den Gehalt an Vitamin C und Nitrat angestellt werden kann. Gerade landwirtschaftliche Aspekte eignen sich für Diskussionsanregungen, wobei neben dem konventionellen und dem ökologischen Anbau auch Nachhaltigkeit, Massentierhaltung und Tierwohl angesprochen werden können. Aus der Darstellung kann demnach insgesamt festgehalten werden, dass es für die zukünftigen Lehrkräfte wünschenswert und

wichtig ist, dass die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie verankert werden.

9.5.1 Wo sollte die Thematik verankert werden?

Die Chemie-Lehramtsstudierenden würden die Lebensmittelchemie und die noch nicht verankerten Methoden der instrumentellen Analytik (HPLC und Photometrie) eher im niedersächsischen Kerncurriculum der Sekundarstufe II verankern, wobei einige der Teilnehmer:innen sich auch eine Verankerung in der Sekundarstufe I bei geeigneter didaktischer Reduktion vorstellen könnten. Einzig die Methode der Photometrie könnten sich einige der Teilnehmer:innen bereits in der Sekundarstufe I, auch ohne didaktische Reduktion, vorstellen, wobei hier ein Abgleich mit den niedersächsischen Kerncurriculum Physik vorgenommen werden sollte, um fächerübergreifend arbeiten zu können. Eine Verankerung der HPLC muss hingegen in der Sekundarstufe II erfolgen, weil zum Verständnis des Prinzips dieser Methode Vorwissen benötigt wird, welches die Schüler:innen in der Sekundarstufe I noch nicht vermittelt bekommen haben.

Die Chemie-Lehramtsstudierenden würden die Lebensmittelchemie im Allgemeinen im Kompetenzbereich Bewertung und Kommunikation verankern, denn aus dem Wissen zu den verschiedenen Lebensmitteln, kann dieses Wissen auf andere weltliche Aspekte übertragen und entsprechend bewertet werden. Gerade im Bereich der organischen Chemie würde sich die Thematisierung der verschiedenen Lebensmittelgruppen eignen, denn bei den Inhaltsstoffen, die betrachtet werden, handelt es sich um organische Substanzen. Um die Inhaltsstoffe, deren Funktion und auch Wirkung auf den menschlichen Körper verstehen zu können, ist ein fachliches Wissen im Bereich der organischen Chemie vorauszusetzen. Im Bereich der instrumentellen Analytik in Form von HPLC und Photometrie wäre es denkbar, dieses im Bereich der Nachweismethoden zu verankern. Die Photometrie sollte in Anlehnung an das niedersächsische KC Physik einen Platz im niedersächsischen KC Chemie finden, wohingegen die HPLC am geeignetsten im Bereich der organischen Chemie oder als Alternative zur GC als Analysemethode betrachtet werden sollte. Die Verbindung der Lebensmittelchemie mit der instrumentellen Analytik in Form der Experimente bedingt eine Verankerung im Bereich der Berufsorientierung, in denen die Schüler:innen über verschiedene Berufe der Chemie informiert werden sollen.

9.6 Wie sollte die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Experimente im schulischen Chemieunterricht, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchgeführt werden?

Eine Umsetzung der DC ist einfach und vor allem kostengünstig, sodass die Experimente in der Schule entsprechend den Versuchsvorschriften durchgeführt werden können. Das Vorhandensein eines Photometers ist ebenfalls wahrscheinlicher als das Vorhandensein eines Hochleistungsflüssigkeits- oder Gaschromatographen. Da jedoch nicht jede Schule über die Geräte der instrumentellen Analytik, vor allem der HPLC und GC, verfügt, ist es wichtig sich Gedanken darüber zu machen, wie man die Lebensmittelchemie und die entsprechenden Experimente mit instrumenteller Analytik, auch ohne das Vorhandensein des Gerätes, im schulischen Chemieunterricht einbringen und durchführen kann. Dafür haben die Chemie-Lehramtsstudierenden einige Ideen. Die meisten Teilnehmer:innen würden mit Erklärvideos arbeiten. Die Erklärvideos dienen dabei neben der Wissensvermittlung auch der Anschaulichkeit und der Verbesserung der Vorstellungskraft. Da die Probenaufarbeitung jedoch bei allen Experimenten auch ohne das Vorhandensein des entsprechenden Geräts möglich ist, wäre es auch eine gute Alternative, dass man die Experimente bis zum Punkt der Injektion bei der GC und HPLC durchführt. Dies würde den Lerneffekt nicht mindern, weil bei der Injektion in den Hochleistungsflüssigkeits- beziehungsweise Gaschromatographen kein visueller Effekt vorhanden ist. Die Schüler:innen würden nach der Injektion ebenfalls vor dem Gerät sitzen und warten, bis ein entsprechendes Chromatogramm erstellt wird. Demnach könnten die Lehrkräfte nach dem Anschauen des Erklärvideos entsprechende Chromatogramme austeilen, mit dessen Werten für die Retentionszeiten und Peakflächen eine entsprechende Auswertung anhand der zur Verfügung gestellten Versuchsvorschriften erfolgen könnte. Somit würden alle Aspekte des Experiments berücksichtigt werden und die Schüler:innen würden spannende Experimente von Anfang bis zu Ende nachvollziehen können. Durch die eigenen Durchführung lernen sie die Probenaufarbeitungsschritte kennen und können praktische Erfahrungen beim Experimentieren sammeln. Und durch das Erklärvideo erhalten sie Informationen zum Prinzip der Methode, den Bauteilen des Geräts und deren Funktionen, und können mithilfe von Beispielwerten zusätzlich verschiedene Auswertungsmethoden kennenlernen und durchführen. Weitere Ideen zur Umsetzung der Experimente, ohne Vorhandensein der entsprechenden Geräten, sind das Arbeiten mit Informationsabbildungen und -texten sowie dem Nachstellen der Geräte mit entsprechenden Modellen. Die zukünftigen Lehrkräfte könnten sich zudem vorstellen, die Experimente mit theoretischen Werten anhand der Versuchsvorschrift durchzuführen, so wie sie es coronabedingt selbst im Seminar kennengelernt haben. In beiden Fällen wäre auch so eine Durchführung des

Experiments bis zur Injektion der Probelösungen möglich, wodurch die Schüler:innen die entsprechenden Methoden kennenlernen und praktische Erfahrungen beim Experimentieren sammeln könnten. Ebenfalls wäre der Besuch eines außerschulischen Lernortes denkbar. Im Bereich der GC gibt es zudem kostengünstigere Geräte, beispielsweise die Kappenberg-Geräte, die sich eine Schule anschaffen könnte. Im Bereich der HPLC wird es mit kostengünstigeren Geräten schwieriger. Eventuell könnte man auf aussortierte oder defekte Geräte zurückgreifen, sodass man den Schüler:innen die entsprechenden Bauteile und deren Funktion erläutern kann. Sollten die Geräte noch funktionsfähig sein, könnten die Experimente entsprechend der Versuchsvorschriften durchgeführt werden. Natürlich kann auch die didaktische Reduktion ein Element sein, welches angewendet werden kann, sodass die Funktion der Geräte nicht im Fokus steht. Dies sind jedoch alles nur Ideen, die aufgezeigt werden können, wobei die Umsetzung der Thematiken bei den zukünftigen Lehrkräften liegt.

9.7 Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der Lebensmittelchemie in der Lehrkräftebildung?

Wie aus der Ergebnisdarstellung hervorgeht (Kapitel 8.2.7, Tabelle 8-21) gibt es an der Universität in Oldenburg für die Chemie-Lehramtsstudierenden im Lehramtsstudium kaum bis gar keine Berührungspunkte mit der Lebensmittelchemie. Dies zeigt eindeutig, dass sich die Chemie-Lehramtsstudierenden, mit der Ausnahme der freiwilligen Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule*, im Lehramtsstudium nicht mit Lebensmitteln auseinandersetzen. Da sie selbst kein Pflichtprogramm dazu in ihrem Studium verankert haben, kennen sich die zukünftigen Lehrkräfte in dieser Thematik, mit der Ausnahme eines alltäglichen Wissens, nicht aus. Das führt wiederum dazu, dass die zukünftigen Lehrkräfte keine Lebensmittel und damit verbunden auch keine instrumentelle Analytik in Form der HPLC und GC in ihrem eigenen Chemieunterricht integrieren würden. Demnach können die Schüler:innen im Chemieunterricht ebenfalls nichts zu dieser Thematik lernen, obwohl es zur naturwissenschaftlichen Grundbildung dazugehört. Die Betrachtung von Lebensmitteln und deren Inhaltsstoffe ist für das tägliche Leben der Schüler:innen von zentraler Bedeutung, sodass aus ihnen mündige Verbraucher hervorgebracht werden können, die selbst entscheiden können, ob sie bestimmte Lebens- und Genussmittel konsumieren möchten oder nicht und welche möglichen Auswirkungen und negative Folgen dies auf ihren eigenen Körper haben kann. Um dies zu ändern, sollte die Lehrkräftebildung also entsprechende Aspekte der Lebensmittelchemie enthalten. Dieser Meinung ist auch der Großteil der Teilnehmer:innen, die sich wünschen, dass es Verbesserungen in der Lehrkräftebildung gibt, die am besten schon im Studium beginnen sollten. Jedoch sollte die

Verbesserung der Lehrkräftebildung nicht nur auf das Studium begrenzt sein, sondern es sollten auch Fortbildungsmöglichkeiten für bereits praktizierende Lehrkräfte angeboten werden.

In Bezug auf die universitäre Ausbildung haben die Chemie-Lehramtsstudierenden klare Vorstellungen, welche Inhalte in Bezug auf die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik bereits im Studium angeboten werden sollten. Für sehr wichtig halten die Chemie-Lehramtsstudierenden, dass im Studium die verschiedenen Lebensmittelgruppen mit den Inhaltsstoffen, inklusive deren Funktionen und Auswirkungen auf den menschlichen Körper, ausführlich betrachtet werden. Dabei sollte die Thematik entsprechend an bestimmte Trends, welche die Schüler:innen und die Gesellschaft im Allgemeinen betrifft, angepasst werden, sodass die zukünftigen Lehrkräfte immer auf dem aktuellen Stand sind. Daher wäre es auch sinnvoll, entsprechende Lebensmittel und Methoden der instrumentellen Analytik in die chemischen Grundpraktika des Studiums, zumindest exemplarisch, mit aufzunehmen oder weitere Seminare mit der Betrachtung weiterer Lebensmittelgruppen anzubieten. Gerade für die Chemie-Lehramtsstudierenden ist es zudem von besonderer Bedeutung Anknüpfungspunkte für den schulischen Chemieunterricht mit an die Hand zu bekommen. Die Teilnehmer:innen würden es begrüßen, wenn das Seminar oder weitere Seminare sich noch mehr mit der didaktischen Umsetzung befassen würden und vielleicht ein paar Unterrichtseinheiten zur Lebensmittelchemie exemplarisch vorgestellt werden würden. Somit kann insgesamt festgehalten werden, dass mehr lebensmittelchemische Seminare ausgearbeitet werden sollten, in denen weitere Lebensmittelgruppen betrachtet werden und noch mehr didaktische Instrumente zum Einsatz kommen.

Um neben der universitären Ausbildung Möglichkeiten der Weiterbildung für bereits praktizierende Lehrkräfte im Bereich der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik zu schaffen, finden die Chemie-Lehramtsstudierenden Fortbildungsmaßnahmen sinnvoll. Welche Inhalte dabei vermittelt werden sollten, wird in der nachfolgenden Unterfragestellung betrachtet.

9.7.1 Wie sollten die Themen Lebensmittelchemie und instrumentelle Analytik an angehende und bereits praktizierende Lehrkräfte vermittelt werden?

Wie oben angegeben, würden sich die Chemie-Lehramtsstudierenden zur Verbesserung der Lehrkräftebildung, neben der universitären Ausbildung, auch Fortbildungsangebote für bereits praktizierende Lehrkräfte wünschen. Die Verbesserung der Lehrkräftebildung ist dahingehend wünschenswert, dass die bereits praktizierenden und zukünftigen Lehrkräfte neue Lebensmittel kennenlernen, bei denen verschiedene Inhaltsstoffe sowie Funktionen dieser und Auswirkungen auf den menschlichen Körper betrachtet werden. Dabei sehen die Chemie-

Lehramtsstudierenden es als sinnvoll an, dass innerhalb solcher Fortbildungen konkrete Materialien für die Lehrkräfte zur Verfügung gestellt werden.

Der Fokus der Inhalte der entsprechenden Fortbildungen sollte auf der theoretischen Betrachtung der verschiedenen Lebensmittelgruppen, der instrumentellen Analytik und der Umsetzung in der Schule liegen. Dabei sollte den Lehrkräften vermittelt werden, wie entsprechende Lebensmittel hergestellt werden und vor allem, wie man die Experimente mit der instrumentellen Analytik, auch ohne die entsprechenden Gerätschaften, im schulischen Chemieunterricht umsetzen kann. Natürlich sollten vor allem die Experimente ein wichtiger Teil der Fortbildungsangebote sein, sodass die Experimente von den Lehrkräften eigenständig durchgeführt werden könnten. Dadurch lernen die Lehrkräfte die Lebensmittel und die Analytikmethoden selbst besser kennen, sodass eine Wissensweitergabe an die Schüler:innen erfolgen kann. Gerade durch die eigenständige praktische Durchführung wird der Lernerfolg gesteigert, weswegen es auch für den schulischen Chemieunterricht von Bedeutung ist, dass die Schüler:innen eigenständig Experimente durchführen können. Das Schülerexperimente mit Alltagsbezug einen positiven Einfluss auf das Interesse, die Motivation und auch die Lernleistung haben, konnten bereits Weltner & Warnkross (1974) sowie Demuth (1981) zeigen. Neben der theoretischen Betrachtung der Lebensmittelgruppen und der instrumentellen Analytik sowie der Durchführung der Experimente ist es für die Chemie-Lehramtsstudierenden ebenfalls wichtig, den Beruf von Lebensmittelchemiker:innen kennenzulernen, damit sie das Wissen über ausgewählte chemische Berufe an die Schüler:innen weitergeben können. Demnach kann zusammenfassend festgehalten werden, dass sich die Chemie-Lehramtsstudierenden insgesamt eine Verbesserung der Lehrkräftebildung wünschen, sowohl in der universitären Ausbildung als auch auf der Ebene der Fortbildungen. Zudem sollten Überlegungen angestellt werden, wie man entsprechende Fortbildungen für bereits praktizierende Lehrkräfte anbieten könnte und in welchem Rahmen mit welchen Inhalten diese durchgeführt werden sollten. Es würde sich hierbei schon anbieten, das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* in eine Fortbildungsveranstaltung umzuwandeln.

9.8 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Zweifachs?

In Bezug auf das Zweitfach, welches die Teilnehmer:innen studieren, können einige Unterschiede festgestellt werden. Im Bereich des Vorwissens zu den Lebensmittel- und Genussmittelgruppen fällt auf, dass die Biologie- und Physik-Zweitfachstudierenden über ein größeres Grundlagenwissen verfügen als die die Studierende mit den Zweitfächern Mathematik und

Deutsch. Im Vergleich dazu kennt sich die Person mit Mathematik als zweites Fach am besten im Bereiche der Lebensmittelskandale aus.

Während keiner der Studierenden in der Schulzeit mit der HPLC in Berührung gekommen ist, haben fast alle Teilnehmer:innen in der Schulzeit die GC kennengelernt. Auch die DC wurde in der Schulzeit thematisiert, wobei die Chemie-Lehramtsstudierenden mit den Zweitfächern Biologie und Deutsch, das meiste Vorwissen dazu aufweisen.

Bezüglich des Vorwissens aus dem Studium hat sich gezeigt, dass das geringste Vorwissen zur GC bei den Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden vorliegt, weil nur bei den Teilnehmer:innen mit Mathematik und Physik als Zweitfach die GC im Studium thematisiert wird. Wiederum haben die Biologie-Zweitfachstudierenden im Bereich der rechtlichen Grundlagen zu den Lebensmittelgruppen das meiste Vorwissen.

Vergleicht man das neu erlernte Wissen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit von ihrem Zweitfach, kann festgestellt werden, dass es bei den Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, sowie der instrumentellen Analytik, keine unterschiedlichen Einschätzungen wahrgenommen werden können. Im Vergleich dazu sind Unterschiede bei den rechtlichen Grundlagen zu erkennen, sodass vor allem die Teilnehmer:innen mit Biologie- und Mathematik das meiste neue Wissen erlangt haben und auch wiedergeben konnten.

Betrachtet man die Qualität des Seminars aus Sicht der Chemie-Lehramtsstudierenden kann festgestellt werden, dass die Biologie-Zweitfachstudierenden, im Vergleich zu den Teilnehmer:innen mit anderen Zweitfächern, dem Seminar am positivsten gegenüberstehen. Dabei zeigt sich jedoch, dass in Abhängigkeit des Zweitfachs die Beliebtheit der thematisierten Lebensmittelgruppen und der instrumentellen Analytikmethoden auseinandergeht. Während die Teilnehmer:innen mit Biologie als Zweitfach die Lebensmittelgruppen Honig sowie Obst und Gemüse favorisieren, sind es bei den Studierenden mit Mathematik und Physik als Zweitfach die alkoholischen Getränke. Im Bereich der instrumentellen Analytik liegt der Fokus bei den befragten Personen mit dem Zweitfach Biologie und Deutsch auf der DC und der Photometrie, aufgrund der guten Umsetzbarkeit im schulischen Chemieunterricht, wohingegen die beliebteste Methode der instrumentellen Analytik für die Person mit Mathematik als Zweitfach die Enzymatik ist. Unabhängig vom Zweitfach wurde die Alternative zur praktischen Laborarbeit als sehr positiv empfunden, vor allem die Videos zu den Experimenten, ebenso wie die Aufarbeitung und die Qualität der Experimente. Dass sie die Experimente jedoch nicht praktisch durchführen konnten, wurde hingegen von allen Teilnehmer:innen als negativ angesehen.

Bezüglich des Lernerfolgs durch die Teilnahme am Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* haben alle Teilnehmer:innen ein Überblickswissen zu den Lebensmittelgruppen, der

instrumentellen Analytik, den rechtlichen Grundlagen sowie zum schulischen Bezug dieser Thematik bekommen. Dabei fällt jedoch auf, dass die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden sich besser in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie und Biologie auskennen als die Studierenden mit Mathematik und Physik als Zweitfach.

Bei der Betrachtung zur Auseinandersetzung der Chemie-Lehramtsstudierenden mit Lebensmitteln im Alltag fällt zudem auf, dass es vor allem die Biologie-Zweitfachstudierenden sind, die sich in ihrem Alltag mit Lebensmitteln auseinandersetzen, wohingegen die Studierenden mit Mathematik und Physik als zweites Fach nicht besonders auf ihre Ernährung achten. Demnach liegt auch ein Unterschied vor, warum die Chemie-Lehramtsstudierenden an dem Seminar teilgenommen haben, wobei alle den hohen Alltagsbezug und den Bezug zur eigenen Lebenswelt und zur Lebenswelt der Schüler:innen als besonders wichtig empfinden. Während die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden zudem als positiv empfinden, dass es sich um eine spannende Thematik für den schulischen Chemieunterricht handelt, wodurch die Schüler:innen durch die Betrachtung der Lebenswelt motiviert werden können, empfinden die Teilnehmer:innen mit Mathematik und Physik als Zweitfach die Lebensmittelchemie im Allgemeinen als sehr interessant. Damit sind auch die unterschiedlichen Erwartungen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu erklären. Die Biologie-Zweitfachstudierenden hatten zu den allgemeinen Erwartungen bezüglich dem Kennenlernen verschiedener Lebensmittelgruppen und Methoden der instrumentellen Analytik zudem die Erwartung, dass man sich mit den Anknüpfungspunkten an das niedersächsische Kerncurriculum und weiteren didaktischen Aspekten beschäftigt. Während für die Teilnehmer:innen mit Mathematik und Physik als zweites Fach alle Erwartungen erfüllt worden sind, empfanden die Biologie-Zweitfachstudierenden es als schade, dass der didaktische Input in diesem Seminar nicht so ausgeprägt dargestellt worden ist. Alle anderen Erwartungen wurden aus der Sicht der Studierenden mit Biologie als Zweitfach jedoch ebenfalls erfüllt.

Unabhängig von Zweitfach hat sich gezeigt, dass alle Chemie-Lehramtsstudierenden es als wichtig empfinden, die Lebensmittelchemie in der Schule zu thematisieren und anzuwenden. Die Wichtigkeit der Thematisierung der Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht wird damit erläutert, dass es sich bei der Thematik um einen guten Aufhänger für chemische Kontexte handelt und, dass aufgrund der vielen Alltagsbezüge die Motivation der Schüler:innen gesteigert werden kann. Ideen für eine Umsetzung in Form von Arbeitsgemeinschaften, Seminarfächern oder durch didaktische Reduktion kamen fast ausschließlich von den Biologie-Zweitfachstudierenden. Einig sind sich die Chemie-Lehramtsstudierenden hingegen, dass sich gerade die alkoholischen Getränke in der Sekundarstufe II gut anwenden lassen. Daneben

wäre auch eine Thematisierung der Lebensmittelfarbstoffe sinnvoll, wobei je nach eingesetztem Lebensmittel die Durchführung sowohl in der Sekundarstufe I als auch der Sekundarstufe II erfolgen könnte. Gerade die Studierenden mit dem Zweitfach Biologie würden auch gerne die Lebensmittelgruppen Obst und Gemüse sowie Honig thematisieren, weil es sich um Naturstoffe handelt, die auch im Biologieunterricht betrachtet werden.

Ebenfalls die Verankerung im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie für die Thematiken der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Methoden empfinden alle Studierenden als wichtig. Als Hauptgrund wird der hohe Alltagsbezug angegeben. Auffällig ist dabei, dass ausschließlich die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden sich mit den niedersächsischen Kerncurricula Chemie auseinandergesetzt haben und demnach wussten, dass die DC und die GC bereits verankert sind. Dabei hat sich ergeben, dass für die Biologie-Zweitfachstudierenden vor allem die menschliche Gesundheit und Ernährung im Vordergrund stehen, um Diskussionen im Chemieunterricht anregen zu können, wohingegen die Mathematik- und Physik-Zweitfachstudierenden ausschließlich Bereiche für Verankerungen nennen können.

Unabhängig vom Zweitfach würden die Chemie-Lehramtsstudierenden bei der Durchführung der Experimente, ohne Anwesenheit des entsprechenden Gerätes beziehungsweise der Materialien, auf Erklärvideos zurückgreifen. Während die Biologie- und Deutsch-Zweitfachstudierenden auch entsprechende didaktische Reduktionen vornehmen würden, sind die Physik- und Mathematik-Zweitfachstudierenden der Meinung, dass es sinnvoll wäre, günstigere Geräte oder defekt Geräte anzuschaffen, sodass eine direkte Thematisierung am Gerät erfolgen könnte.

Im Bereich der Lehrkräftebildung ist auffällig, dass es insgesamt ein viel zu geringes Angebot zur Thematik der Lebensmittelchemie im Chemie-Lehramtsstudium gibt, sodass sich alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig von Zweitfach, eine Verbesserung wünschen, sowohl für zukünftige als auch für praktizierende Lehrkräfte. Bei den Inhalten, die betrachtet werden sollten, unterscheiden sich jedoch die Meinungen. So würden die Biologie-Zweitfachstudierenden gerne bereits die Thematiken mehr verteilt im Studium kennenlernen, wohingegen die Studierenden mit Mathematik und Physik als Zweitfach weitere Seminare zur Lebensmittelchemie wünschen. Unabhängig von Zweitfach stehen die Chemie-Lehramtsstudierenden Fortbildungen für bereits praktizierende Lehrkräfte positiv gegenüber, wobei der Fokus in Bezug auf das Zweitfach unterschiedlich liegt. Nach der Meinung der Biologie- und Mathematik-Zweitfachstudierenden sollte in den Fortbildungen neben der Durchführung der Experimente vor allem der Fokus auf der Durchführung, ohne die entsprechenden Gerätschaften, liegen.

9.9 Gibt es Unterschiede in der Einschätzung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit Ihres Geschlechts?

Bezüglich der unterschiedlichen Einschätzungen der Chemie-Lehramtsstudierenden in Abhängigkeit des Geschlechts zeigt sich, dass die weiblichen Studierenden vor allem Vorwissen im Bereich der Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse aufweisen und die männlichen Teilnehmer im Bereich der alkoholischen Getränke und der Energydrinks. Dies ist auf die Studie zum Konsumverhalten nach Mensink et al. (2007) zurückzuführen, in der aufgezeigt worden ist, dass Frauen mehr Obst und Gemüse und Männer mehr alkoholischen Getränke und Energydrinks konsumieren. Zudem steigt mit zunehmenden Alter das Bewusstsein für gesundheitliche, ökologische und nachhaltige Aspekte, wobei sich auch gerade Frauen mit diesen Thematiken auseinandersetzen. Nach Wanjek (2000) zeigen auch die weiblichen Schüler:innen besonders großes Interesse an umweltbezogenen Themen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich das Interesse mit steigendem Alter noch weiter verstärkt.

Im Vergleich dazu sind bei den Analytikmethoden keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern zu erkennen. Ebenso kann auch kein Unterschied im Bereich des neu erlernten Wissens durch die Teilnahme am Seminar erkannt werden.

Unabhängig vom Geschlecht stehen die Chemie-Lehramtsstudierenden der Qualität des Seminars positiv gegenüber. Besonders interessant finden die weiblichen Teilnehmerinnen die DC und die Photometrie als Methoden der instrumentellen Analytik, was auf die gute Umsetzbarkeit im schulischen Chemieunterricht zurückzuführen ist. Das zeigt zudem, dass die didaktischen Aspekten bei den weiblichen Teilnehmer:innen im Fokus stehen. Im Vergleich dazu sind es bei den männlichen Teilnehmern die Methoden, die zur Bestimmung des Ethanolgehaltes herangezogen werden, was wiederum auf das Interesse der Lebensmittelgruppe zurückzuführen ist. Besonders hervorzuheben ist die Faszination der weiblichen Studierenden an den Videos, die als Alternative zur praktischen Laborarbeit angeboten worden sind, ebenso wie die theoretische Betrachtung der Versuchsvorschriften. Die guten und verständlichen Versuchsvorschriften wurden jedoch von allen Studierenden, unabhängig vom Geschlecht als positiv angesehen, wobei für es für alle Studierenden schade gewesen ist, dass die Experimente nicht eigenständig durchgeführt werden konnten, was auch einen negativen Aspekt des Seminars darstellt.

Betrachtet man in Abhängigkeit des Geschlechts die Auseinandersetzung mit Lebensmitteln im Alltag fällt auf, dass die männlichen Studierenden, im Vergleich zu den weiblichen Teilnehmerinnen, nicht auf ihre Ernährung achten. Das geringere Interesse der männlichen Teilnehmer an Lebensmitteln spiegelt sich bereits in den Themen des schulischen Chemieunterrichts wider. So haben die Jungen ein geringeres Interesse an Lebensmitteln als die Mädchen

[Wanjek, 2000, S. 92]. Das Interesse der männlichen Teilnehmer hat sich jedoch durch die Teilnahme an diesem Seminar positiv verändert. So kann gezeigt werden, dass das Interesse an einer Thematik häufig erst geweckt wird, wenn man mit dieser Thematik in Berührung kommt [van Vorst et al., 2018]. Somit sind die männlichen Teilnehmer mit der Thematik der Lebensmittelchemie erst in diesem Seminar in Berührung gekommen, wodurch das Interesse erhöht werden konnte. Dabei sind die Erwartungen, welche die männlichen Teilnehmer für das Seminar angaben, vollständig erfüllt worden, wohingegen für die weiblichen Studierenden die didaktischen Aspekte nicht ausführlich genug besprochen worden sind. Das zeigt, dass die weiblichen Chemie-Lehramtsstudierenden vor allem an der Umsetzung der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik im schulischen Chemieunterricht interessiert sind. Auch wenn bei den männlichen Studierenden die didaktischen Aspekte nicht so im Mittelpunkt stehen, wie bei den weiblichen Studierenden, finden es alle Teilnehmer:innen, unabhängig vom Geschlecht, wichtig, dass die Lebensmittelchemie in der Schule als Thematik angewendet wird. Dies wird vor allem durch den hohen Alltagsbezug bedingt, der sich motivierend auf das Lernverhalten der Schüler:innen auswirken kann. Unabhängig von Geschlecht würde eine favorisierte Thematisierung der alkoholischen Getränke in der Sekundarstufe II erfolgen.

In Bezug auf die Verankerung der Thematiken im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie fällt auf, dass ausschließlich die weiblichen Teilnehmerinnen über das Wissen verfügen, dass die DC und die GC als Methoden bereits namentlich verankert vorliegen. Dies zeigt, dass sich die männlichen Teilnehmer nicht oder nur oberflächlich mit den niedersächsischen KC Chemie auseinandergesetzt haben. Dennoch sind alle Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht der Meinung, dass es ebenfalls wichtig ist, die Lebensmittelchemie und auch die instrumentelle Analytik in Form der HPLC und Photometrie im niedersächsischen Kerncurriculum Chemie zu verankern.

Auch die Ideen zur Umsetzung der Lebensmittelchemie inklusive der instrumentellen Analytik im schulischen Chemieunterricht, ohne die entsprechenden Geräte und Materialien, gehen fast ausschließlich auf die weiblichen Teilnehmerinnen zurück. Dies zeigt auch wiederum die Wichtigkeit der didaktischen Umsetzung für die weiblichen Studierenden.

Unabhängig vom Geschlecht gibt es für die Chemie-Lehramtsstudierenden kaum Berührungspunkte mit der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik im Lehramtsstudium. Dies sollte jedoch nach Meinung aller Chemie-Lehramtsstudierende verbessert und überarbeitet werden. Während sich die weiblichen Studierenden wünschen, dass die Thematik bereits in den Grundpraktika aufgenommen werden sollten, würden es die männlichen Teilnehmer begrüßen, wenn es weitere Seminare in dieser Form geben würde. Für bereits praktizierende

Lehrkräfte wünschen sich die Chemie-Lehramtsstudierenden, unabhängig vom Geschlecht, Fortbildungsmöglichkeiten. In den Fortbildungen sollte neben dem Wissen zu den Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe auch Wissen zur instrumentellen Analytik vermittelt werden. Gerade für die weiblichen Studierenden ist es besonders wichtig, die Experimente auch praktisch durchzuführen sowie Bezüge zum schulischen Chemieunterricht herzustellen.

10 Ausblick

Da innerhalb dieser Studie nur eine kleine Stichprobe an Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich ihrer Ansichten und Einstellungen zum Thema Lebensmittelchemie befragt worden ist, müsste das Seminar *Lebensmittelchemie in der Schule* über weitere Semester angeboten werden. Zudem müssten die dann teilnehmenden Personen ebenfalls in qualitativen Interviews zu ihren Ansichten und Einstellungen zur Lebensmittelchemie befragt werden, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sich die Chemie-Lehramtsstudierenden, aufgrund des hohen Alltags- und Lebensweltbezuges für sich selbst und für die Schüler:innen, für die Thematik der Lebensmittelchemie interessieren und gerne weitere Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe kennenlernen würden. Demnach sollten noch weitere Seminare zur Lebensmittelchemie während des Studiums angeboten werden. Im Rahmen dieser Arbeit sind für acht verschiedene Lebensmittel- und Genussmittelgruppen (alkoholfreie Erfrischungsgetränke, Energydrinks, alkoholische Getränke, alkaloidhaltige Lebensmittel, Obst und Gemüse, Honig, Zimt sowie Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten) insgesamt 23 verschiedene Experimente entwickelt und optimiert worden. Da es sich bei den acht Lebensmittel- und Genussmittelgruppen nur um einen kleinen Bereich der Lebensmittelchemie handelt, wäre es sinnvoll, weitere Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe in weiteren Seminaren zu betrachten. Dabei haben die Chemie-Lehramtsstudierenden Lebensmittelgruppen genannt, die sie gerne noch betrachtet hätten. Dazu gehören unter anderem Süßigkeiten, der Zuckergehalt in verschiedenen Lebensmitteln, vor allem für Kinder, Brotaufstriche, Milchprodukte, Nahrungsergänzungsmittel sowie protein- und kohlenhydratreiche Lebensmittel. Dementsprechend könnten zu diesen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe Experimente mit der instrumentellen Analytik entwickelt und optimiert werden, sodass ein weiteres Seminar zur Lebensmittelchemie aufgebaut werden könnte.

Eine andere Möglichkeit wäre es auch, Schüler:innen zu interessanten Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe zu befragen, sodass entsprechende Experimente, zu den von den Schüler:innen genannten Lebensmittelgruppen beziehungsweise Inhaltsstoffen, entwickelt und optimiert werden könnten. Dadurch wäre ein größeres Spektrum der Lebensmittelchemie abgedeckt, sodass die zukünftigen Lehrkräfte ein größeres Überblickswissen zur Lebensmittelchemie erhalten würden. Eine andere Idee in diesem Bereich wäre es aber auch, dass aus den Inhalten des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* ein Schülerlabor entwickelt wird. So könnten die Lehrkräfte die Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe im schulischen Chemieunterricht oder in Form einer Arbeitsgemeinschaft oder eines Seminarfachs im Voraus mit

den Schüler:innen thematisieren und für die Durchführung der Experimente könnten sie dann entsprechend einen außerschulischen Lernort besuchen, indem sie an die Universität Oldenburg kommen und die entsprechenden Experimente dort durchführen. Somit könnte auch die Motivation der Schüler:innen für das Unterrichtsfach Chemie angehoben werden, wenn sie entsprechend mit Lebensmitteln aus ihrem Alltag beziehungsweise der Lebenswelt experimentieren können.

Da sich die Chemie-Lehramtsstudierenden zum Teil mehr didaktische Aspekte und beispielhafte Unterrichtseinheiten gewünscht hätten, könnten in einer weiteren Forschungsarbeit didaktische Unterrichtseinheiten ausgearbeitet werden. Aufbauend auf entsprechende Unterrichtseinheiten könnten in der Forschungsarbeit die Experimente so aufgearbeitet werden, dass diese, auch ohne die entsprechenden Geräte der instrumentelle Analytik, im schulischen Chemieunterricht eingesetzt werden könnten.

Die Chemie-Lehramtsstudierenden sind sich einig, dass es wichtig ist, die Lebensmittelchemie im schulischen Chemieunterricht anzuwenden, weil jeder Mensch sich ernähren muss. Somit können die Schüler:innen über bestimmte Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe aufgeklärt werden, sodass aus ihnen mündige Verbraucher:innen hervorgebracht werden können, die selbst entscheiden, welche Lebens- und Genussmittel sie konsumieren und welche nicht. Eine vereinfachte Anwendung würde resultieren, wenn die Lebensmittelchemie als solche und auch die instrumentelle Analytik in Form der HPLC und Photometrie, neben den Methoden der DC und GC, in den niedersächsischen Kerncurricula Chemie verankert werden würden. Denn damit wäre eine Thematisierung im schulischen Chemieunterricht verpflichtend. Solange dies nicht der Fall ist, kann nur darauf vertraut werden, dass die Thematik den zukünftigen Lehrkräften angeboten wird und sich dies weiterverbreitet. Damit die Lebensmittelchemie und die instrumentelle Analytik jedoch wirklich in den schulischen Chemieunterricht integriert werden, wäre es wichtig, dass es für die zukünftigen Lehrkräfte im Studium Pflichtmodule im Bereich der Lebensmittelchemie gibt, beziehungsweise, dass die Studierenden sich in ihrem Studium schon mit der Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik auseinandersetzen müssen. Demnach wäre es sinnvoll, dass verschiedene Lebensmittel und auch die instrumentelle Analytik bereits im Grundstudium integriert werden. Gerade im Grundpraktikum der organischen Chemie wäre eine Integration geeignet. Weiterhin könnten auch in Vorlesungen auf Beispiele aus der Lebensmittelchemie zurückgegriffen werden.

Da in den Schulen jedoch nicht nur junge Lehrkräfte, die gerade aus dem Studium und dem Referendariat kommen, arbeiten, ist es wichtig, dass die Inhalte des Seminars *Lebensmittelchemie in der Schule* in eine Fortbildungsveranstaltung für bereits praktizierende Lehrkräfte

umgewandelt werden. Dabei sind die befragten Chemie-Lehramtsstudierenden der Meinung, dass in den Fortbildungen die Inhalte aus dem Seminar so umgesetzt werden könnten, wobei es wichtig wäre, dass die Lehrkräfte die Experimente auch eigenständig durchführen könnten. Durch die ständige Erweiterung mit anderen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe, könnte das Angebot in den Fortbildungsveranstaltungen entsprechend variiert werden, sodass es die Möglichkeit gäbe, an mehreren Fortbildungen zur Lebensmittelchemie und der instrumentellen Analytik teilzunehmen.

Anhang

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

A Transkriptionsregeln 466

B Interview 468

B.1 Interviewleitfaden 468

B.2 Kurzfragebogen 473

C Feedbackbogen 475

D Datenträger 483

D.1 Seminarunterlagen 483

D.1.1 PowerPoint-Präsentationen 483

D.1.2 Versuchsvorschriften 483

D.2 Erhebungsmaterialien 483

D.2.1 Interviewleitfaden 483

D.2.2 Kurzfragebögen und Interviews 483

D.2.3 Feedbackbogen 483

D.2.4 Ausgefüllte Feedbackbögen 483

E Versuchsvorschriften 485

E.1 V 1: Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 486

E.2 V 2: Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 496

E.3 V 3: Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 501

E.4 V 4: Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 506

E.5 V 5: Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 511

E.6 V 6: Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 516

E.7 V 7: Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 522

E.8 V 8: Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 528
E.9 V 9: Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 537
E.10 V 10: Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst (Biologisch vs. Konventionell) mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) 542
E.11 V 11: Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie 548
E.12 V 12: Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken mittels Enzymatik & Photometrie 554
E.13 V 13: Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig mittels Enzymatik & Photometrie 558
E.14 V 14: Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Photometrie 562
E.15 V 15: Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Photometrie 574
E.16 V 16: Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse (Biologisch vs. Konventionell) mittels Photometrie 586
E.17 V 17: Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie 592
E.18 V 18: Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC) 596
E.19 V 19: Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC) 601
E.20 V 20: Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC) 606
E.21 V 21: Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID) 610
E.22 V 22: Bestimmung des Nikotingehaltes in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID) 615
E.23 V 23: Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O) 623

A Transkriptionsregeln

Um die durchgeführten Interviews mit den Chemie-Lehramtsstudierenden zu verschriftlichen, werden die nachfolgenden Transkriptionsregeln angewandt. Dabei handelt es sich um eine Zusammenstellung von Transkriptionsregeln, die sich an ausgewählter Fachliteratur zur qualitativen Forschung und Interviewführung anlehnen (Bortz & Döring, 2006, S. 313; Dresing & Pehl, 2018, S. 21 f.; Kuckartz et al., 2008, S. 27 f.; Mayring, 2015, S.57). In der linken Spalte sind die zu verwendenden Zeichen aufgelistet und in der rechten Spalte die dazugehörigen Erläuterungen sowie weitere Regeln.

Zeichen	**Bedeutung**
I:	die interviewende Person spricht
B:	die befragte Person spricht
A:	andere Person, die hereinkommt spricht
(-)	kurze Pausen (1 – 3 Sekunden)
(10s)	längere Pausen (ab ca. 3 Sekunden) mit der ungefähren Zeitangabe der Dauer der Pause in Sekunden
/	Abbruch eines Wortes oder Satzes
(LACHEN)	emotionales nonverbales Verhalten wird in Großbuchstaben gekennzeichnet (z. B. Lachen, Seufzen, Husten, Räuspern)
[…]	gleichzeitiges Sprechen von Interviewer (I) und befragter Person (B)
BETONUNG	Besonders betonte Wörter oder Äußerungen werden durch Großschreibung der Wörter gekennzeichnet
(unv., Ursache)	unverständliche Worte werden mit (unv.) versehen. Bei längeren unverständlichen Passagen werden diese möglichst mit der Ursache gekennzeichnet *Beispiel: (unv., Rauschen des Mikrofons)*
(Wort?)	Bei Vermutung eines Wortlauts trotz Verständnisproblemen, wird das Wort bzw. die Passage mit einem Fragezeichen in Klammern gesetzt
	Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden möglichst wortgenau ins Hochdeutsche übersetzt. *Beispiel: „zerscht = zuerst“* Ist keine eindeutige Übersetzung ins Hochdeutsche möglich, wird der Dialekt beibehalten. Das Verschriftlichen erfolgt nach Gehör. *Beispiel: „Ich gehe heuer auf das Oktoberfest.“*
	Wortverschleifungen werden nicht transkribiert, sondern an das Schriftdeutsch angenähert. *Beispiel: „Er hatte noch so´n Buch genannt.“ = „Er hatte noch so ein Buch genannt.“* Auch wenn die Satzform syntaktische Fehler beinhaltet, wird die Satzform beibehalten. *Beispiel: „Bin ich nach Kaufhaus gegangen.“*

Zeichen	Bedeutung
	Stottern, Wort- und Satzabbrüche werden geglättet bzw. ausgelassen. Wortdoppelungen werden nur dann mit transkribiert, wenn sie als Stilmittel zur Betonung eingesetzt werden. Beispiel: „Das ist mir sehr, sehr wichtig.“ „Ganze“ Halbsätze, denen nur die Vollendung fehlt, werden erfasst und mit dem Abbruchzeichen „/“ gekennzeichnet.
	Interpunktion wird zur Verbesserung der Lesbarkeit geglättet, sodass bei kurzem Senken der Stimme oder uneindeutiger Betonung eher ein Punkt als ein Komma gesetzt wird. Sinneinheiten sollen jedoch beibehalten werden.
	Zögerungslaute/Füllwörter (z. B. „äh“ und „ähm“) der sprechenden Person werden nicht mit transkribiert, es sei denn, dass es sich um eine Denkpause handelt. Die Denkpause wird dann mit [Pause] angegeben.
	Lautäußerungen und Verständnissignale der gerade nicht sprechenden Person (z. B. „mhm, aha, ja, ok, ähm, genau“) werden nicht mit transkribiert, es sei denn, dass die Antwort nur aus „mhm“ ohne weitere Ausführung besteht. Dies wird als „mhm“ (bejahend oder verneinend), je nach Interpretation, erfasst.
	Um die Lesbarkeit zu erhöhen, erhält jeder Sprecherbeitrag einen eigenen Absatz, sodass es zwischen den Beiträgen eine freie leere Zeile gibt (durch zweimaliges Drücken der Enter-Taste).
	Alle Angaben werden so anonymisiert, sodass kein Rückschluss auf die befragte Person gezogen werden kann.

B Interview

B.1 Interviewleitfaden

Leitfrage (Erzählaufforderung)	**Check – Wurde das erwähnt?** **Memo für mögl. Nachfragen** **(Formulierung anpassen)**	**Konkrete Fragen für passende Stellen** **(in dieser Formulierung stellen)**	**Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen**
Formelles			
Persönliche Vorstellung Hinweis auf Tonbandaufnahme			
Einstieg			
Warum haben Sie sich für die Teilnahme am Seminar *„Lebensmittelchemie in der Schule“* entschieden?		Setzen Sie sich mit Lebensmitteln und deren Inhaltsstoffen genauer auseinander?	Gibt es bestimmte Lebensmittel, die Sie besonders interessieren und warum?
Qualität und Inhalt des Seminars			
Was hatten Sie für Erwartungen an das Seminar *„Lebensmittelchemie in der Schule“*?	Wurden die Erwartungen erfüllt oder nicht?	Welche Erkenntnisse haben Sie sich aus dem Seminar *„Lebensmittelchemie in der Schule*“ erhofft?	Können Sie dafür ein konkretes Beispiel nennen?
Was hat Ihnen besonders gut gefallen, was nicht?	Besonders interessante Lebensmittel Besonders interessante Inhaltsstoffe	Gab es eine konkrete Lebensmittelgruppe oder eine konkrete Analytikmethode, die Ihnen am besten gefallen hat?	Können Sie mir Beispiele nennen und erläutern warum gerade diese Lebensmittelgruppe oder diese Analytikmethode?
Was wussten Sie im Voraus über die angesprochenen Lebensmittelgruppen und deren Inhaltsstoffe?	Natürliche Inhaltsstoffe Zusatzstoffe	Was haben Sie Neues dazugelernt?	Können Sie dafür konkrete Beispiele nennen?

Leitfrage (Erzählaufforderung)	**Check – Wurde das erwähnt?** **Memo für mögl. Nachfragen** **(Formulierung anpassen)**	**Konkrete Fragen für passende Stellen** **(in dieser Formulierung stellen)**	**Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen**
Was wussten Sie im Voraus über die verwendeten Analytikmethoden?	Dünnschichtchromatographie (DC) Photometrie Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) Gaschromatographie (GC)	Was haben Sie von den Analytikmethoden bereits selbst in Ihrer Schulzeit oder Ihrem Studium angewendet?	Was haben Sie Neues dazugelernt?
Was wussten Sie vor der Veranstaltung über die rechtlichen Grundlagen der einzelnen Lebensmittel und deren Inhaltsstoffe?	Höchstmengengehalte für bestimmte Lebensmittelinhaltsstoffe	Was haben Sie Neues dazugelernt?	Können Sie dafür konkrete Beispiele nennen?
Was hat Ihnen bei den Experimenten gut gefallen, was nicht?	Besonders interessante Experimente Gut verständliche Versuchsvorschriften Probleme mit den Versuchsvorschriften	Gab es Probleme beim Verständnis der Versuchsvorschriften? Konnte Ihnen bei der Behebung des Problems geholfen werden?	Für wie wichtig halten Sie es, dass die Experimente praktisch durchgeführt werden können und nicht nur theoretisch besprochen werden?
Thematik: Lebensmittelchemie in der Schule			
Haben Sie sich schon vorher mal Gedanken über die Authentizität von Lebensmitteln und deren Verfälschbarkeit bzw. Lebensmittelbetrug (Food Fraud) gemacht?	Beispiele für Lebensmittelskandale, z. B. Pferdefleischskandal (2013), Deklaration von Eiern als Bio, die keine Bio-Eier waren (2013), Mineralöl in Schokoadventskalendern (2012)	Können Sie sich an bestimmte Lebensmittelskandale erinnern?	Können Sie konkrete Beispiele für Lebensmittelskandale geben?

Leitfrage (Erzählaufforderung)	**Check – Wurde das erwähnt?** **Memo für mögl. Nachfragen** **(Formulierung anpassen)**	**Konkrete Fragen für passende Stellen** **(in dieser Formulierung stellen)**	**Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen**
Wie wichtig finden Sie die Thematisierung der Lebensmittelchemie in der Schule?	Relevanz/Nicht-Relevanz der Thematik erläutern	Denken Sie, dass die Lebensmittelchemie als Thema in den Chemieunterricht eingebaut werden sollte?	Wo würden Sie die Lebensmittelchemie in den Chemieunterricht verorten? Können Sie Anknüpfungspunkte an das Nds. Kerncurriculum Chemie im Bereich der Lebensmittelchemie nennen?
Würden Sie die Thematik und die Versuche in der Schule anwenden?		In welcher Jahrgangsstufe würden Sie welche Lebensmittelgruppe und deren Analytik unterrichten?	Können Sie mir konkrete Beispiele nennen?
Inwiefern finden Sie es wichtig, dass die Lebensmittelchemie und auch die Analytikmethoden in diesem Bereich im KC verankert werden?	DC & GC sind verankert, was ist mit HPLC & Photometrie	Wo würden Sie die Thematik verankern?	Können Sie das ausführlicher erläutern?
Haben Sie Ideen, inwiefern Sie die Thematik der Lebensmittelchemie und deren Versuche in der Schule, auch ohne die entsprechenden Geräte, durchführen können?	Dünnschichtchromatographie-Platten und Photometer: Repertoire in Schulen Wie sieht es mit der HPLC und GC aus?	Haben Sie Ideen zur Umsetzung der Vermittlung der Versuche ohne das Vorhandensein eines Hochleistungsflüssigkeits- bzw. eines Gaschromatographen?	Können Sie konkrete Beispiele für die Verankerung im KC nennen?

Leitfrage (Erzählaufforderung)	**Check – Wurde das erwähnt?** **Memo für mögl. Nachfragen** **(Formulierung anpassen)**	**Konkrete Fragen für passende Stellen** **(in dieser Formulierung stellen)**	**Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen**
Auswirkungen			
Was haben Sie durch die Teilnahme am Seminar „*Lebensmittelchemie in der Schule*“ gelernt?	Inhaltliche/fachliche Aspekte Methodische/experimentelle Fertigkeiten	Welche Rolle spielten die Experimente dabei für Sie?	Was haben Sie Neues dazugelernt?
Was ist Ihnen aus dem Seminar am meisten in Erinnerung geblieben?		Welche Inhalte des Seminares haben Sie besonders angesprochen? Welche Themen würden Sie im Bereich der Lebensmittelchemie noch interessant finden und warum?	Warum ist Ihnen gerade das in Erinnerung geblieben? Haben Sie ein Beispiel für mich? Haben Sie Beispiele für mich? Über welche Lebensmittelgruppen würden Sie gerne noch mehr lernen?
Würden Sie in Ihrem Unterricht eine Lerneinheit zur Lebensmittelchemie integrieren?	Beispiele?	Welche Lebensmittelgruppe würden Sie thematisieren? In welcher Jahrgangsstufe würden Sie die Unterrichtseinheit durchführen?	Können Sie mir konkrete Beispiele nennen?
Fortbildung und Verantwortung			
Wünschen Sie sich Verbesserungen für die Lehrerbildung im Bereich der Lebensmittelchemie?	Fortbildungsangebote Schulische Rahmenbedingungen Universitäre Ausbildung	Welche konkreten Inhalte der Lebensmittelchemie sollten an zukünftige und	Sind Sie bereits in Ihrem Studium mit dem Themenbereich in Berührung

Leitfrage (Erzählaufforderung)	Check – Wurde das erwähnt? Memo für mögl. Nachfragen (Formulierung anpassen)	Konkrete Fragen für passende Stellen (in dieser Formulierung stellen)	Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen
		praktizierende Lehrer vermittelt werden?	gekommen? Wenn ja, inwiefern?
		Wie sollen die Inhalte in den verschiedenen Angeboten vermittelt werden?	Welche Themen sollten Ihrer Meinung nach im Bereich der Lebensmittelchemie bereits im Studium vermittelt werden?
Abschluss			
Wenn Sie ein persönliches Fazit ziehen sollen – was hat Ihnen die Teilnahme am Seminar „*Lebensmittelchemie in der Schule*“ insgesamt gebracht? Wir sind mit dem Interview nun am Ende angelangt, vielen Dank für Ihre Antworten und dass Sie sich die Zeit genommen haben. Gibt es noch irgendwelche Anmerkungen Ihrerseits oder etwas, das Ihnen wichtig ist und bisher nicht angesprochen wurde? Zum Abschluss bräuchte ich noch ein paar statistische Daten. Diese werden auf einem separaten Blatt abgefragt (bei einem telefonischen Interview mündlich).			

B.2 Kurzfragebogen

Liebe Studierende,

vielen Dank für die Teilnahme am Interview. Zur Vervollständigung des Interviews benötige ich noch einige kurze Angaben. Personenbezogene Daten werden selbstverständlich nicht weitergegeben. Darüber hinaus werden auch im Interview sämtliche Angaben so anonymisiert, dass kein Rückschluss auf Ihre Person gezogen werden kann.

Kreuzen Sie bitte an, welche Experimente Sie durchgeführt haben.

1. Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao & Schokolade mittels HPLC	☐
2. Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water mittels HPLC	☐
3. Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee mittels HPLC	☐
4. Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC	☐
5. Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt mittels HPLC	☐
6. Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig mittels HPLC	☐
7. Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC	☐
8. Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC	☐
9. Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks mittels HPLC	☐
10. Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst mittels HPLC	☐
11. Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie	☐
12. Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken mittels Enzymatik & Photometrie	☐

13. Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig mittels Enzymatik & Photometrie	☐
14. Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Photometrie	☐
15. Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Photometrie	☐
16. Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse mittels Photometrie	☐
17. Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie	☐
18. Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels DC	☐
19. Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels DC	☐
20. Bestimmung von Nikotin in Liquids für E-Zigaretten und Tabakzigaretten mittels DC	☐
21. Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken mittels GC	☐
22. Bestimmung des Nikotingehaltes in Liquids für E-Zigaretten und Tabakzigaretten mittels GC	☐
23. Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels GC-O	☐

Angaben zur Person

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an. ☐ Männlich ☐ Weiblich ☐ Divers ☐ Keine Angabe

Bitte geben Sie Ihr Alter an. _____ Jahre

Bitte geben Sie an, ob Sie Bachelor- oder Masterstudent:in sind und in welchem Semester Sie studieren.

☐ Bachelor ☐ Master

☐ 1. Semester ☐ 2. Semester

☐ 3. Semester ☐ 4. Semester

☐ 5. Semester ☐ 6. Semester

anderes: _____

Was studieren Sie als zweites Fach?

_____

In welcher Schulform unterrichten Sie nach Ihrem Studium?

☐ Hauptschule

☐ Realschule

☐ Oberschule

☐ Gesamtschule

☐ Gymnasium

☐ Abendgymnasium

☐ Berufsbildende Schule

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

C Feedbackbogen

1) Was hat Ihnen bei den Experimenten gut gefallen und was nicht? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V1 Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao & Schokolade mittels HPLC			
V2 Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water mittels HPLC			
V3 Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee mittels HPLC			
V4 Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC			

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V5 Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt mittels HPLC			
V6 Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig mittels HPLC			
V7 Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC			
V8 Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken & Energydrinks mittels HPLC			

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V9 Bestimmung des Taurin-gehaltes in Energydrinks mit-tels HPLC			
V10 Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst mittels HPLC			
V11 Bestimmung der Di-astase-Aktivität in Honig mit-tels Photometrie			
V12 Bestimmung des Etha-nolgehalts in alkoholischen Getränken mittels Enzymatik & Photometrie			

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V13 Bestimmung des Ethanolgehalts in Honig mittels Enzymatik & Photometrie			
V14 Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Photometrie			
V15 Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Photometrie			
V16 Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse mittels Photometrie			

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V17 Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie			
V18 Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels DC			
V19 Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels DC			
V20 Bestimmung von Nikotin in Liquids für E-Zigaretten und Tabakzigaretten mittels DC			

Versuch	positive Aspekte	negative Aspekte	Verbesserungsvorschläge
V21 Bestimmung des Ethanolgehalts in alkoholischen Getränken mittels GC			
V22 Bestimmung des Nikotingehaltes in Liquids für E-Zigaretten und Tabakzigaretten mittels GC			
V23 Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels GC-O			

2) Welche Experimente haben Sie besonders interessiert und warum?

3) Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Verständnisprobleme? Erläutern Sie die Probleme.

Konnte Ihnen bei der Behebung des Problems/der Probleme geholfen werden?

4) Bei welchen Versuchsvorschriften gab es Probleme beim praktischen Arbeiten? Erläutern Sie die Probleme.

D Datenträger

Auf dem Datenträger befindet sich die im Folgenden angegebene Ordnerstruktur, in der sich die den Überschriften zugeordneten Dateien finden lassen.

Inhalt des digitalen Anhangs

D.1 Seminarunterlagen

D.1.1 PowerPoint-Präsentationen

D.1.2 Versuchsvorschriften

D.2 Erhebungsmaterialien

D.2.1 Interviewleitfaden

D.2.2 Kurzfragebögen und Interviews

Die Kurzfragebögen sind in den Interviews, die coronabedingt digital durchgeführt werden mussten, mündlich abgefragt worden. Die transkribierten Interviews und die Antworten auf die digital besprochenen Kurzfragebögen sind in einer MAXQDA-Datei zusammengefasst abgespeichert worden. Diese Datei inklusive aller Antworten befindet sich in dem hier angegebenen Ordner. Die entsprechenden Interviews können über die in dieser Arbeit verwendeten Kürzel gesucht und gefunden werden.

D.2.3 Feedbackbogen

D.2.4 Ausgefüllte Feedbackbögen

Die Daten können auf Anfrage in der Chemiedidaktik der Universität Oldenburg unter folgender E-Mail-Adresse erhalten werden:
chemie.didaktik@uni-oldenburg.de

E Versuchsvorschriften

Die folgenden Seiten enthalten die im Seminar verwendeten Versuchsvorschriften. Auf dem beiliegenden Datenträger befinden sich alle Vorschriften im verwendeten Original-Format, sowohl als PDF- als auch als WORD-Datei. Aus Gründen der Einheitlichkeit wurden die Vorschriften für die folgenden Seiten dieser Arbeit äußerlich angepasst, inhaltlich aber nicht verändert.

E.1 V 1: Bestimmung des Alkaloidgehaltes in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 25 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 500 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (3 x)
- 100 mL Erlenmeyerkolben (3 x)
- 2 mL Vollpipette (1 x)
- 1 mL Vollpipette (5 x)
- 25 mL Messpipette (1 x)
- 5 mL Messpipette (1 x)
- Peleusball
- Trichter (3 x)
- Faltenfilter (3 x)
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- 5 mL Einwegspritze (3 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (3 x)
- Magnetkern (3 x)
- Magnetkern-Entferner
- Heizplatte mit Rührfunktion
- Waage
- Wasserbad
- Wasserkocher
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Kaffee (Jacobs Krönung)
- Jacobs Kaffeesticks
- Jacobs Espressosticks
- Schwarzer Tee (Thiele)
- Grüner Tee (Meßmer)
- Nesquik Kakaopulver
- Bensdorp Kakaopulver
- Lindt Vollmilchschokolade
- Lindt Zartbitterschokolade (50 %)
- Lindt Zartbitterschokolade (85 %)
- Theobromin
- Theophyllin
- Koffein
- Carrez-Lösung I
  (150 g Kaliumhexacyanoferrat (II) in 1 L dest. Wasser)
- Carrez-Lösung-II
  (230 g Zinkacetat in 1 L dest. Wasser)
- verdünnte Ammoniaklösung
  (w = 5 %)
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Koffein		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken
Kaliumhexacyanoferrat (II)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung • entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
verdünnte Ammoniaklösung (w = 5 %)		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • reizt die Atemwege • kann gegenüber Metallen korrosiv sein
Theobromin		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken • verursacht schwere Augenreizung • kann vermutlich Krebs erzeugen
Theophyllin		Gefahr	• giftig bei Verschlucken
Zinkacetat		Gefahr	• verursacht schwere Augenschäden • gesundheitsschädlich beim Verschlucken • sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Bitte suchen Sie sich drei der vorne angegebenen Lebensmittel zur Bestimmung des Alkaloidgehaltes aus!

Durchführung: Kaffee/Espresso/Tee/Kakao

- 0,5 g Kaffee/Espresso/Tee/Kakao werden abgewogen und über einen Trichter in einen beschrifteten 100 mL Messkolben überführt **(Einwaage notieren!!!)**
- unter dem Abzug werden 2,5 mL verdünnte Ammoniaklösung (w = 5 %) und ca. 70 mL siedendes dest. Wasser hinzugegeben
- die Probe im offenen Messkolben wird für 15 Minuten im siedenden Wasserbad unter gelegentlichem Umschwenken suspendiert
- es wird 1 mL Carrez-I- Lösung hinzupipettiert und der Messkolben umgeschwenkt
- dann wird 1 mL Carrez-II-Lösung zugegeben, der Kolben umgeschwenkt und der Messkolben bei Raumtemperatur mit dest. Wasser aufgefüllt
- die Suspension im Messkolben wird geschüttelt und ca. 3 Minuten stehen gelassen
- anschließend wird die Suspension durch einen Faltenfilter in einen 100 mL Erlenmeyerkolben filtriert

- die Lösung wird schließlich wie folgt im Messkolben verdünnt:
    - Schwarzer Tee (Thiele), Grüner Tee (Meßmer): 1:25
      (1 mL aufgearbeiteter Tee wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
    - Kaffee (Jacobs Krönung): 1:10
      (1 mL aufgearbeiteter Kaffee wird in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
    - Kaffee (Jacobs Sticks), Espresso (Jacobs Sticks): 1:25
      (1 mL aufgearbeiteter Kaffee/Espresso wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
    - Nesquik (Kakaogetränk): 1:5
      (2 mL aufgearbeitetes Kakaogetränk wird in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
    - Bensdorp Kakao: 1:25
      (1 mL aufgearbeiteter Kakao wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösungen werden in die HPLC injiziert

Durchführung: Schokolade

- 1 g Schokolade wird abgewogen und in einen beschrifteten 100 mL Messkolben mit Magnetkern überführt **(Einwaage notieren!!!)**
- unter dem Abzug werden 2,5 mL verdünnte Ammoniaklösung (w = 5 %) und ca. 10 mL siedendes dest. Wasser hinzugegeben
- die Probe im offenen Messkolben wird für 15 Minuten unter ständigem Rühren auf der Heizplatte bei ca. 80 °C suspendiert
- den Magnetkern mit Hilfe eines Magnetkern-Entferners herausholen und mit dest. Wasser über dem Messkolben abspülen
- es wird 1 mL Carrez-I- Lösung hinzupipettiert und der Messkolben umgeschwenkt
- dann wird 1 mL Carrez-II-Lösung hinzugegeben, der Kolben umgeschwenkt und der Messkolben bei Raumtemperatur mit dest. Wasser aufgefüllt
- die Suspension im Messkolben wird geschüttelt und ca. 3 Minuten stehen gelassen
- anschließend wird die Suspension durch einen Faltenfilter in einen 100 mL Erlenmeyerkolben filtriert
- die Lösung wird schließlich wie folgt im Messkolben verdünnt:
    - Vollmilchschokolade (Lindt): 1:2
      (5 mL der aufgearbeiteten Vollmilchschokolade werden in einen 10 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)
    - Zartbitterschokolade (Lindt; 50 %): 1:8
      (12,5 mL der aufgearbeiteten Zartbitterschokolade (50 %) werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)
    - Zartbitterschokolade (Lindt; 85 %): 1:10
      (1 mL der aufgearbeiteten Zartbitterschokolade (85 %) wird in einen 10 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösungen werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 273 nm
- Fließmittel: Methanol/Wasser (40/60)
- Flussrate: 0,8 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 5 min

Beobachtung:

Probe	Einwaage [g]	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min] 1.Theobromin 2.Theophyllin 3.Koffein	Fläche [mAU·s] 1.Theobromin 2.Theophyllin 3.Koffein
			1.	1.
			2.	2.
			3.	3.
			1.	1.
			2.	2.
			3.	3.
			1.	1.
			2.	2.
			3.	3.
			1.	1.
			2.	2.
			3.	3.

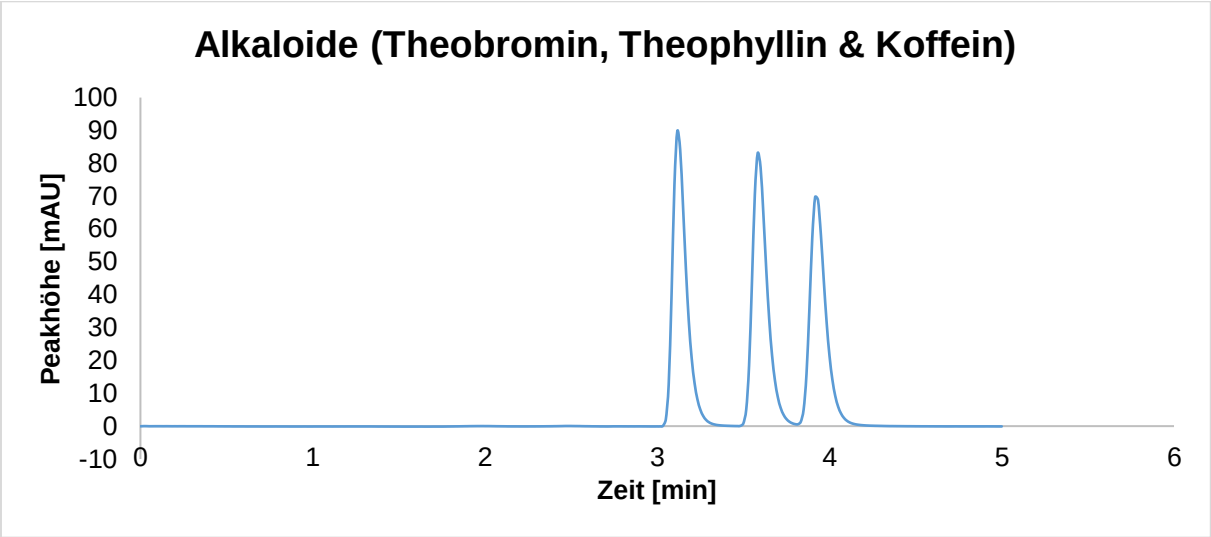
Entsorgung:

Die Probelösungen von Kaffee, Espresso, Tee, Kakao und Schokolade können im Ausguss entsorgt werden.
Die Faltenfilter mit den Rückständen werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung der Alkaloide in Lebensmitteln werden die Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen Theobromin, Theophyllin und Koffein verglichen. Theobromin wird hier bei einer Retentionszeit von 3,0 – 3,1 Minuten eluiert, Theophyllin bei 3,5 – 3,6 Minuten und Koffein bei 3,8 – 4,0 Minuten. Ein Vergleichschromatogramm der Alkaloide ist nachfolgend dargestellt.



Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen Theobromin, Theophyllin und Koffein kann eine Aussage darüber getroffen, welche Lebensmittel Alkaloide enthalten und wenn Alkaloide enthalten sind, um welche es sich handelt.

Quantifizierung:

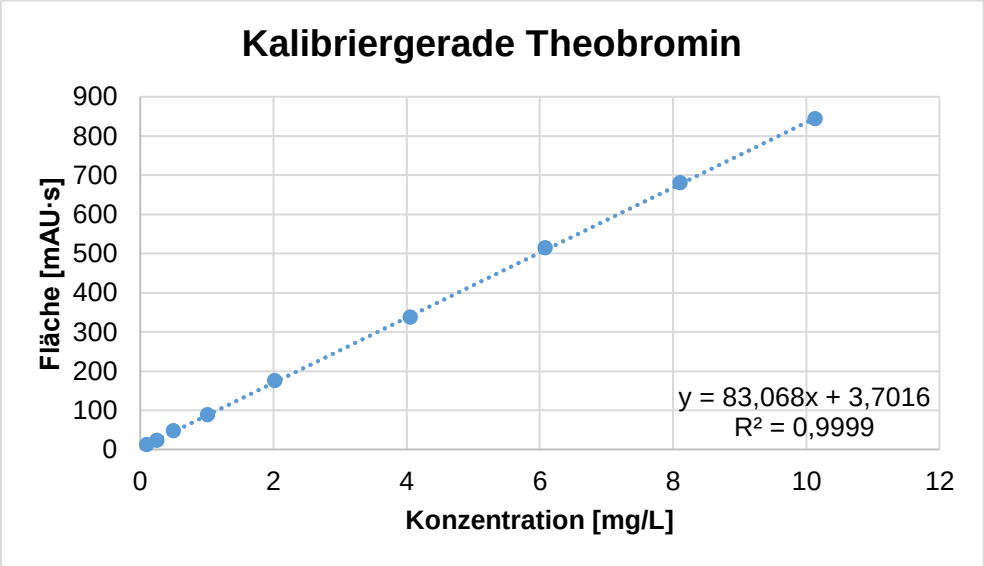
Die Quantifizierung der Alkaloide in den verschiedenen Lebensmitteln erfolgt über eine externe Kalibrierung. Die Flächen von je neun Kalibrierlösungen aus Theobromin, Theophyllin und Koffein sind mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der neun Kalibrierlösungen aus Theobromin, Theophyllin und Koffein sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt:

Konzentration Theobromin [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,10	12,021
0,25	22,587
0,51	46,294
1,01	87,308
2,03	174,689
4,05	337,345
6,08	514,029
8,11	679,319
10,14	842,526

Konzentration Theophyllin [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,10	10,143
0,25	22,538
0,50	42,966
1,01	86,470
2,01	172,977
4,02	335,663
6,04	511,630
8,05	677,255
10,06	840,330

Konzentration Koffein [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,10	13,725
0,25	20,288
0,50	38,855
1,00	77,733
2,00	156,348
4,00	303,331
6,00	463,693
8,00	611,993
10,00	760,780

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen aus Theobromin, Theophyllin und Koffein wird jeweils eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphischen Darstellungen der Kalibriergeraden kann den nachfolgenden Abbildungen entnommen werden.

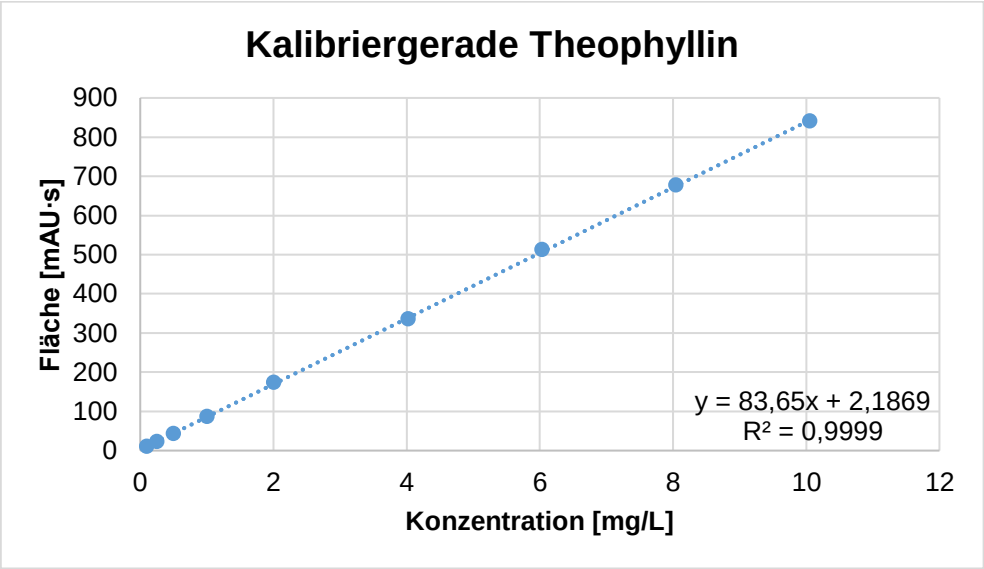


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Theobromin gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 83{,}068x + 3{,}7016$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Theobromingehaltes in Milligramm/Liter in Kaffee, Tee, Kakao oder Schokolade.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 3{,}7016}{83{,}068} \cdot F$$

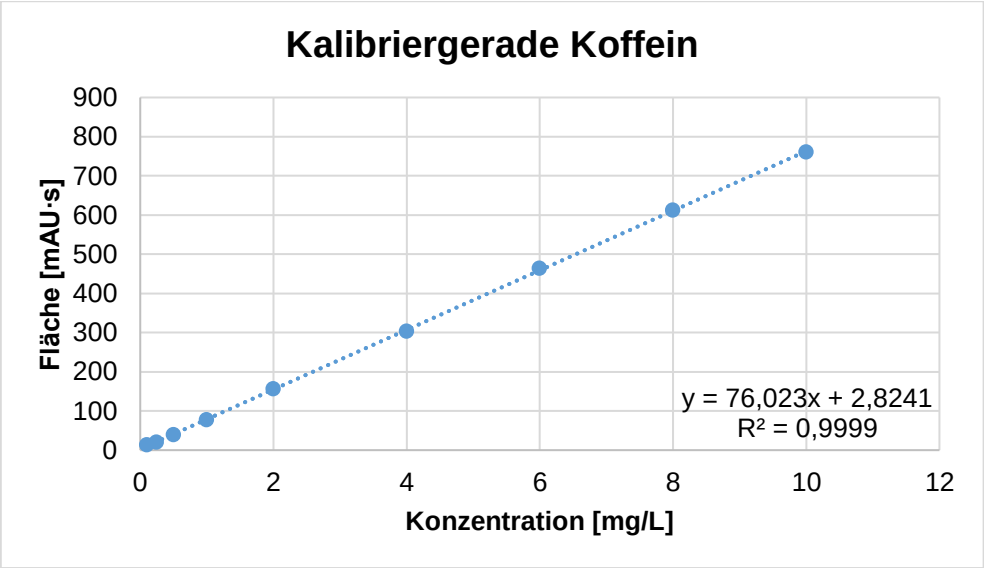


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Theophyllin gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 83{,}650x + 2{,}1869$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Theophyllingehaltes in Milligramm/Liter in Kaffee, Tee, Kakao oder Schokolade.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 2{,}1869}{83{,}650} \cdot F$$



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Koffein gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 76{,}023x + 2{,}8241$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Koffeingehaltes in Milligramm/Liter in Kaffee, Tee, Kakao oder Schokolade.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y - 2{,}8241}{76{,}023} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die entsprechende Geradengleichung von Theobromin, Theophyllin oder Koffein eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann der Gehalt an Theobromin, Theophyllin und Koffein in Kaffee, Tee, Kakao und Schokolade berechnet werden.

Probe	**Verdünnungsfaktor**	**Flächen [mAU·s]** **1.Theobromin** **2.Theophyllin** **3.Koffein**	**Gehalt [mg/L]** **1.Theobromin** **2.Theophyllin** **3.Koffein**
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.

Da Kaffee, Tee und Kakaopulver sowie Schokolade feste Lebensmittel sind, wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (100 mL = 0,1 L) der Gehalt der Alkaloide von Milligramm/Liter in Milligramm/Kilogramm umgerechnet. Dafür wird die nachfolgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/kg]} = \frac{\text{Gehalt}\left[\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right] \cdot 0{,}1\mathrm{L}}{\text{Einwaage [g]}/1000}$$

Um die ermittelten Alkaloidgehalte in den Lebensmitteln besser einordnen zu können, werden die Gehalte von Milligramm/Kilogramm in Prozent [g/100 g] mit folgender Gleichung umgerechnet.

$$\text{Gehalt [g/100g]} = \frac{\frac{\text{Gehalt}\left[\frac{mg}{kg}\right]}{1000}}{10}$$

Probe	Gehalt Theobromin [mg/L]	Gehalt Theobromin [mg/kg]	Gehalt Theobromin [%]

Probe	Gehalt Theophyllin [mg/L]	Gehalt Theophyllin [mg/kg]	Gehalt Theophyllin [%]

Probe	Gehalt Koffein [mg/L]	Gehalt Koffein [mg/kg]	Gehalt Koffein [%]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, werden die ermittelten Gehalte (in Prozent) mit den theoretischen Werten (in Prozent) aus der nachfolgenden Tabelle verglichen.

Probe/ Lebensmittel	theoretischer Theobromingehalt [%]	theoretischer Theophyllingehalt [%]	theoretischer Koffeingehalt [%]
Kaffee (Jacobs Krönung)	0,0036 – 0,004	unbedeutende Gehalte	1,30
Kaffeesticks (Jacobs Krönung)	unbedeutende Gehalte	unbedeutende Gehalte	0,06 – 3,20
Espressosticks (Jacobs Krönung)	unbedeutende Gehalte	unbedeutende Gehalte	2,50 – 5,40
Schwarzer Tee (Thiele)	0,07 – 0,17	0,10	3,00 – 3,50
Grüner Tee (Meßmer)	0,07	0,01	0,05 – 2,68
Kakaopulver (Nesquik)	0,30 – 0,60	unbedeutende Gehalte	0,02 – 0,10
Kakaopulver (Bensdorp)	1,50 – 3,00	unbedeutende Gehalte	0,10 – 0,50
Vollmilchschokolade (Lindt)	0,18	unbedeutende Gehalte	unbedeutende Gehalte

Probe/ Lebensmittel	**theoretischer Theobromingehalt [%]**	**theoretischer Theophyllingehalt [%]**	**theoretischer Koffeingehalt [%]**
Zartbitterschokolade (50 %) (Lindt)	0,45 – 1,20	unbedeutende Gehalte	0,0025 – 0,1500
Zartbitterschokolade (85 %) (Lindt)	0,80 – 2,00	unbedeutende Gehalte	0,04 – 0,30

E.2 V 2: Bestimmung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 500 mL Vorratsflasche (3 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 500 mL Messzylinder (2 x)
- 250 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Vollpipette (1 x)
- 5 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- 5 mL Einwegspritze (3 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (3 x)
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Bitter Lemon (Schweppes)
- Tonic Water (Schweppes)
- Tonic Water (Thomas Henry)
- Chinin
- Acetonitril
- Ammoniumacetat (0,1 mol/L)
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Acetonitril		Gefahr	• Flüssigkeiten und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
Ammoniumacetat	-	-	-
Chinin		Gefahr	• verursacht Hautreizungen • kann allergische Hautreaktionen verursachen • verursacht schwere Augenreizungen • kann beim Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Chiningehaltes nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die Erfrischungsgetränke werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Bitter Lemon (Schweppes): 1:10
    (10 mL Bitter Lemon (Schweppes) werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)
  - Tonic Water (Schweppes): 1:20
    (5 mL Tonic Water (Schweppes) werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)
  - Tonic Water (Thomas Henry): 1:20
    (5 mL Tonic Water (Thomas Henry) werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösungen werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 325 nm
- Fließmittel: Methanol/Acetonitril/0,1 mol/L Ammoniumacetat (45/15/40)
- Flussrate: 1,0 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 5 min

Beobachtung:

Probe	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

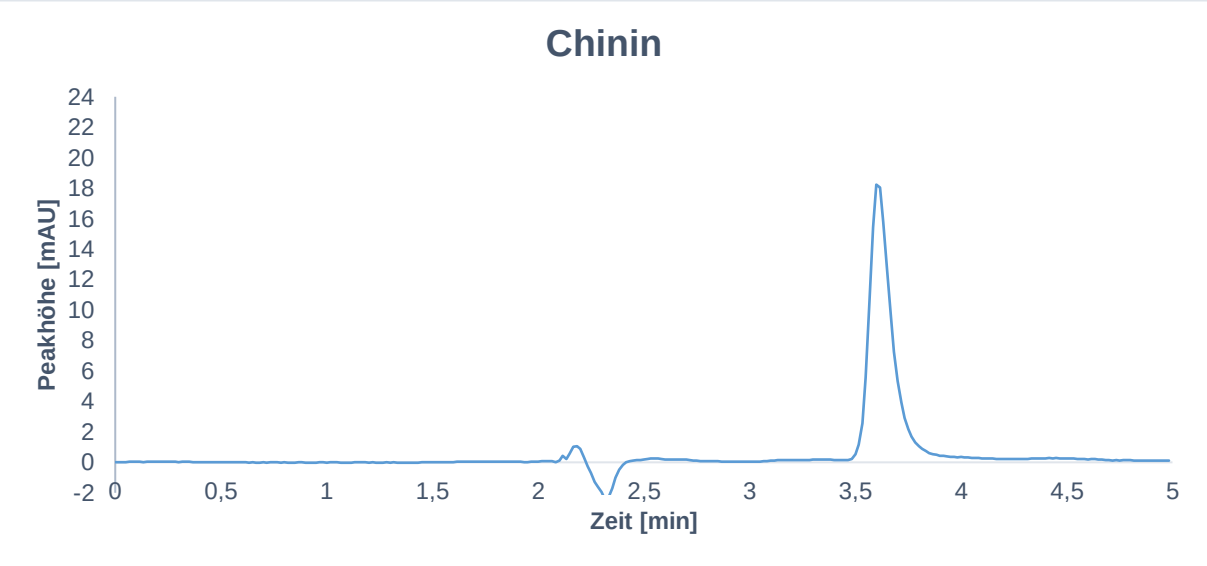
Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Chinins in Bitter Lemon und Tonic Water werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Chinin verglichen. Chinin wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von ca. 3,5 – 3,8 Minuten eluiert. Nachfolgend ist ein Vergleichschromatogramm von Chinin dargestellt.



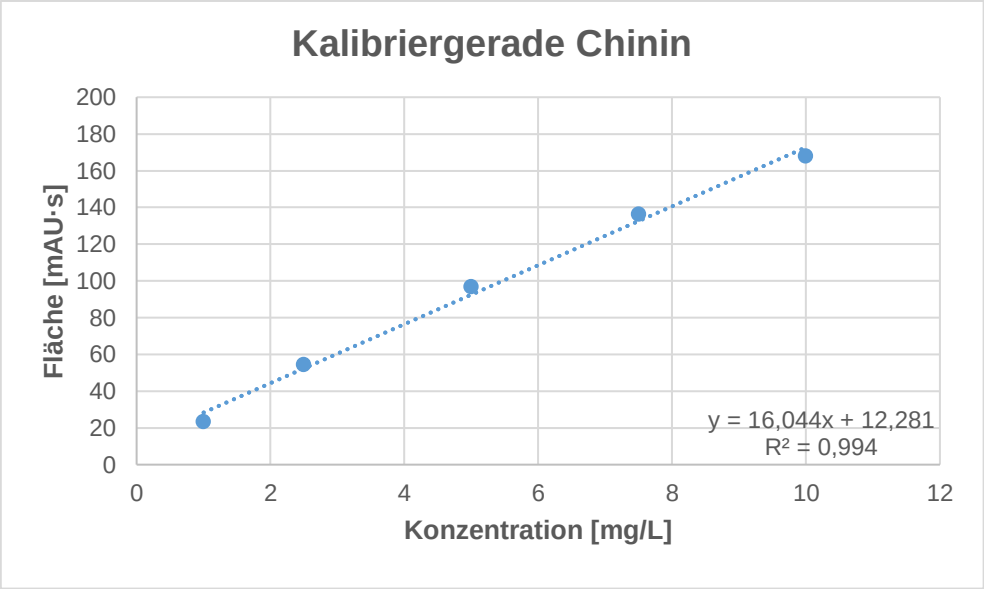
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Chinin kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob Bitter Lemon und Tonic Water chininhaltig sind.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Chiningehaltes in Bitter Lemon und Tonic Water erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von fünf Kalibrierlösungen des Chinins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der fünf Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
1,0	23,347
2,5	54,343
5,0	96,738
7,5	136,209
10,0	167,916

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Chinins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 16{,}044x + 12{,}281$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Chiningehaltes in Milligramm/Liter in den Erfrischungsgetränken.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y - 12{,}281}{16{,}044} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann der Gehalt an Chinin in Bitter Lemon und Tonic Water in Milligramm/Liter berechnet werden.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Die zulässigen Höchstgehalte der Zusatzstoffe, wie Chinin, werden in Milligramm/Kilogramm angegeben. Der Gehalt an Chinin in Bitter Lemon und Tonic Water wird daher von Milligramm/Liter in Milligramm/Kilogramm umgerechnet. Dafür wird die Dichte der Probelösungen herangezogen. Die Probelösungen bestehen überwiegend aus Wasser, somit wird für die Dichte der Probelösung [ρ] die Dichte von Wasser gleichgesetzt. Diese beträgt 1 Kilogramm/Liter.

$$\mathrm{Gehalt}\ [\mathrm{mg/kg}] = \frac{\mathrm{Gehalt}\ [\mathrm{mg/L}]}{\rho\ [\mathrm{kg/L}]}$$

Probe	Gehalt [mg/L]	Gehalt [mg/kg]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. Aus dieser wird die zulässige Höchstmenge an Chinin in verzehrfertigen aromatischen Lebensmitteln gemäß § 5 in Verbindung mit Anlage 4 der Aromenverordnung (AromenV) entnommen.

Stoff	Getränke [mg/kg]	Andere Lebensmittel [mg/kg]	Sonderregelungen
Chinin	0	0	300 mg/kg in Spirituosen 85 mg/kg in alkoholfreien Getränken

E.3 V 3: Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in Kaffee mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 250 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 250 mL Messzylinder (2 x)
- 25 mL Becherglas (2 x)
- 1 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Trichter
- Faltenfilter
- Schnappdeckelgläschen (2 x)
- 5 mL Einwegspritze (2 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (2 x)
- Spatel
- Magnetrührer mit Heizfunktion
- Waage
- Wasserkocher
- Ultraschallbad
- pH-Meter mit Kalibrierlösungen
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)
- feuerfeste Handschuhe

Lebensmittel & Chemikalien:

- gemahlener Kaffee (Jacobs Krönung)
- Nescafe Kaffeesticks
- Jacobs Kaffeesticks
- Jacobs Espressosticks
- Chlorogensäure
- Methanol
- Natriumdihydrogenphosphat
- ortho-Phosphorsäure (w = 85 %)
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
n-Chlorgensäure	-	-	-
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Natriumdihydrogen-phosphat	-	-	-
Phosphorsäure (w = 85 %)		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • kann gegenüber Metallen korrosiv sein

Herstellung von Lösungen
Natriumdihydrogenphosphatpuffer: 1 g Natriumdihydrogenphosphat auf 1 L mit dest. Wasser auffüllen; pH-Wert-Einstellung mit ortho-Phosphorsäure

Bitte suchen Sie sich zwei der zur Verfügung stehenden Kaffeeproben zur Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes aus!

Durchführung: Kaffee/Espresso

- Kaffee-/Espressosticks:
  - ca. 2 g Kaffee/Espresso werden abgewogen und in einen beschrifteten 250 mL Messkolben überführt **(Einwaage notieren!!!)**
  - der Kolbeninhalt wird mit 125 mL kochendem dest. Wasser übergossen und vorsichtig geschwenkt

- gemahlener Kaffee:
  - ca. 2 g Kaffee werden abgewogen und in ein Becherglas überführt **(Einwaage notieren!!!)**
  - der Kaffee wird mit 125 mL kochendem dest. Wasser übergossen und 5 Minuten auf einer Heizplatte weiter erhitzt
  - danach wird der Kaffeesud über einen Filter in einen Messzylinder abfiltriert
  - den Messzylinder mit dest. Wasser bis zur 125 mL-Marke auffüllen und in einen 250 mL Messkolben überführen

- nach Abkühlen auf Raumtemperatur wird der Messkolben mit Methanol bis zur Marke aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und mehrmals geschüttelt

- die Kaffee-/Espressoproben werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Kaffee/Espresso: 1:100
    (1 mL aufgearbeiteter Kaffee wird in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit einer Methanol-Wasser-Mischung (50/50) aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 270 nm
- Fließmittel: Methanol/Natriumdihydrogenphosphatpuffer (pH = 2,7) (15/85)
- Flussrate: 1,5 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 11 min

Beobachtung:

Probe	Einwaage [g]	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

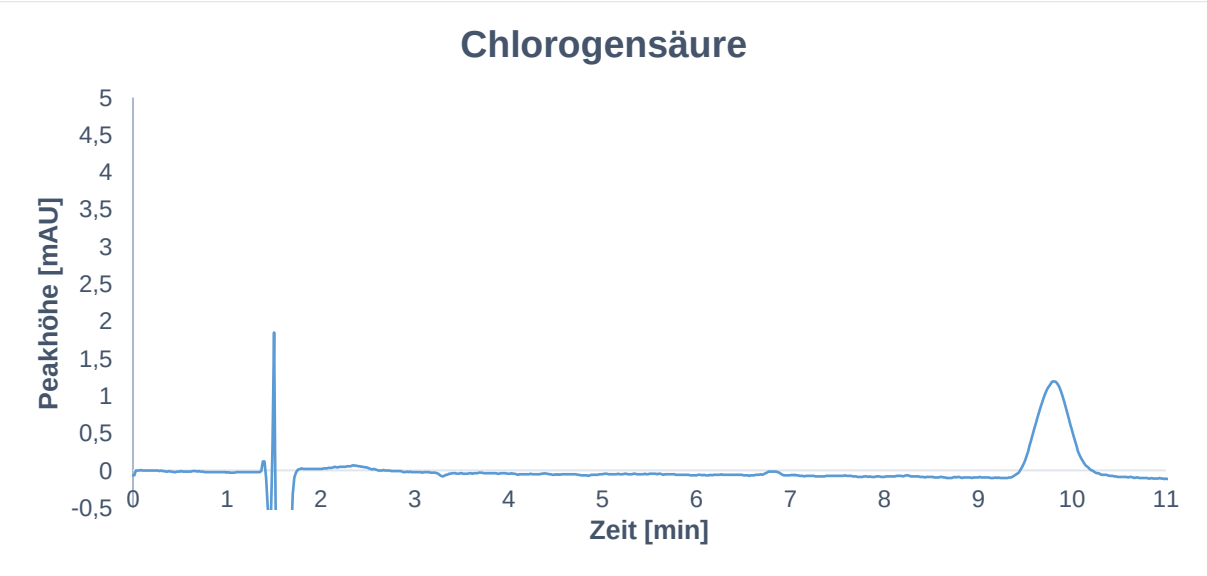
Entsorgung:

Die hergestellten Probelösungen des Kaffees, sowie die angesetzten Verdünnungen werden im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.
Die Faltenfilter werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Chlorogensäuregehaltes in verschiedenen Kaffeesorten werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Chlorogensäure verglichen. Chlorogensäure wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 9,3 – 10,0 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm der Chlorogensäure ist nachfolgend dargestellt.



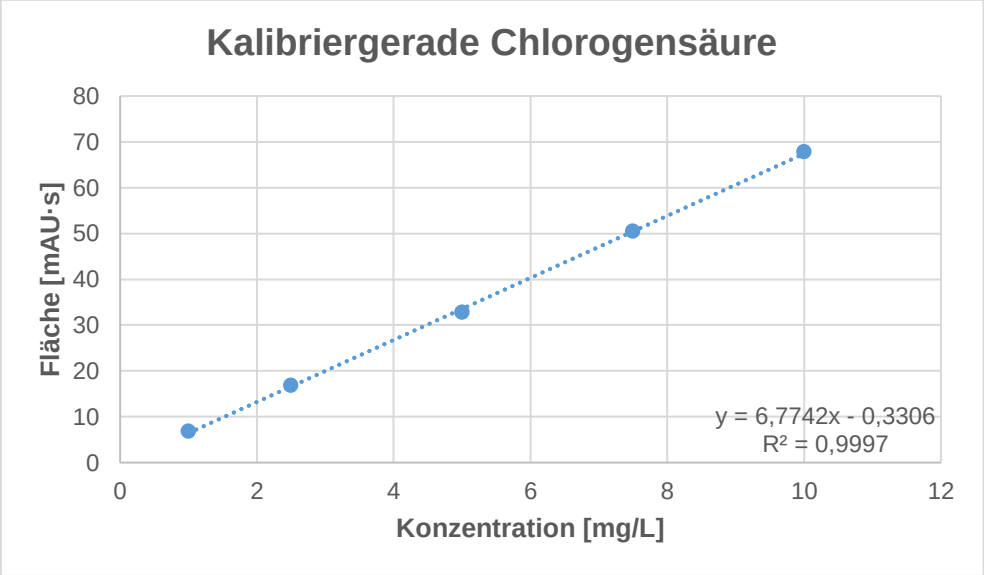
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Chlorogensäure kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Kaffeesorten Chlorogensäure enthalten.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung der Chlorogensäure in den verschiedenen Kaffeesorten erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von fünf Kalibrierlösungen der Chlorogensäure mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der fünf Kalibrierlösungen der Chlorogensäure sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
1,0	6,769
2,5	16,742
5,0	32,787
7,5	50,402
10,0	67,777

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen der Chlorogensäure wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Chlorogensäure gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 6{,}7742x - 0{,}3306$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Chlorogensäuregehaltes in verschiedenen Kaffeesorten.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 0{,}3306}{6{,}7742} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Chlorogensäure in den einzelnen Kaffeesorten in Milligramm/Liter berechnet.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Da Kaffeesorten feste Lebensmittel sind, wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (250 mL = 0,25 L) der Gehalt an Chlorogensäure von Milligramm/Liter in Milligramm/Kilogramm umgerechnet. Dafür wird die nachfolgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/kg]} = \frac{\text{Gehalt } \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right] \cdot 0{,}25\ \text{L}}{\text{Einwaage [g]}/1000}$$

Um die ermittelten Chlorogensäuregehalte im Kaffee besser einordnen zu können, werden die Gehalte von Milligramm/Kilogramm in Gramm/100 Gramm (%) mit folgender Gleichung umgerechnet.

$$\text{Gehalt [g/100g]} = \frac{\text{Gehalt } \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right]}{1000/10}$$

Probe	**Gehalt [mg/L]**	**Gehalt [mg/kg]**	**Gehalt [g/100 g]**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, werden die ermittelten Gehalte an Chlorogensäure in Gramm/100 Gramm mit den angegebenen Werten aus der nachfolgenden Tabelle verglichen.

Kaffeesorte	**Chlorogensäuregehalt [g/100 g]**
Arabica	1,9 – 2,5
Robusta	3,3 – 3,8

Der Chlorogensäure im Kaffee wird ein antioxidativer Effekt zugeschrieben. Die Gehalte an Chlorogensäure in Robusta-Sorten sind deutlich höher als in Arabica-Sorten. Darum wird der Geschmack aus Robusta-Kaffee häufig als bitterer und saurer beschrieben.
Der Chlorogensäuregehalt von Kaffee ist abhängig von:

- der Bohnensorte
- der Aufarbeitung der Kaffeekirschen
- der Lage der Anbaugebiete (saisonal starke Schwankungen)
- der Lufttemperatur bei der Fermentation und Trocknung
- der Röstung (dunkel geröstete Kaffeebohnen haben einen geringeren Chlorogensäuregehalt)
- dem Mahlgrad (je feiner der Mahlgrad, desto geringer der Chlorogensäuregehalt).

E.4 V 4: Bestimmung des Koffeingehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 500 mL Vorratsflasche (3 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 500 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Vollpipette (3 x)
- 5 mL Vollpipette (3 x)
- Peleusball
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- 5 mL Einwegspritze (3 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (3 x)
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Coca-Cola
- Coca-Cola Light
- Coca-Cola Zero
- Mio Mio Mate Original
- Mio Mio Mate Ginger
- Mio Mio Mate Cola
- Effect
- Effect Sugarfree
- Red Bull
- Red Bull Sugarfree
- Red Bull Zero
- Koffein
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließ-mittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensym-bol	Sig-nalwort	Handhabung
Koffein		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe

Bitte suchen Sie sich drei der vorne angegebenen Erfrischungsgetränke/Energydrinks zur Bestimmung des Koffeingehaltes aus!

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke und Energydrinks flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Koffeingehaltes nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die Erfrischungsgetränke werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Mio Mio Mate Original/Ginger/Cola: 1:10
    (5 mL Mio Mio Mate werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
  - Coca-Cola; Coca-Cola Light; Coca-Cola Zero: 1:5
    (10 mL Coca-Cola werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
- die Energydrinks werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Red Bull; Red Bull Sugarfree; Red Bull Zero; Effect; Effect Sugarfree: 1:10
    (5 mL Energydrink werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in den Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 273 nm
- Fließmittel: Methanol/Wasser (40/60)
- Flussrate: 0,8 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 5 min

Beobachtung:

Probe	Verdünnungs-faktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

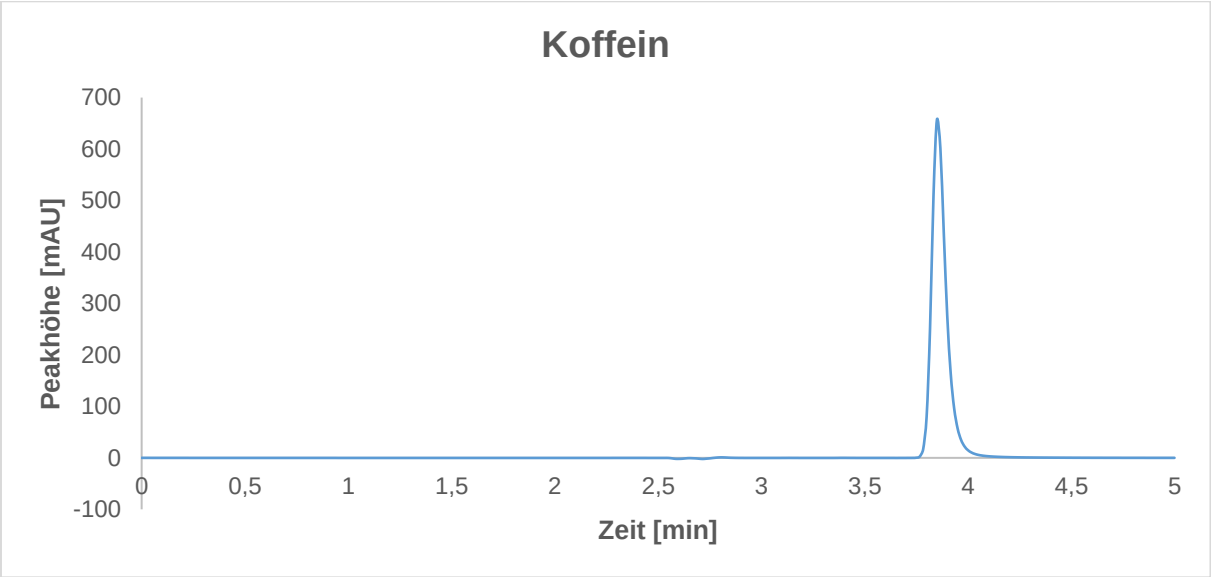
Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Koffeins in Erfrischungsgetränken werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Koffein verglichen. Koffein wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 3,8 – 4,0 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm der Alkaloide, bei dem der dritte Peak das Koffein darstellt, ist nachfolgend dargestellt.



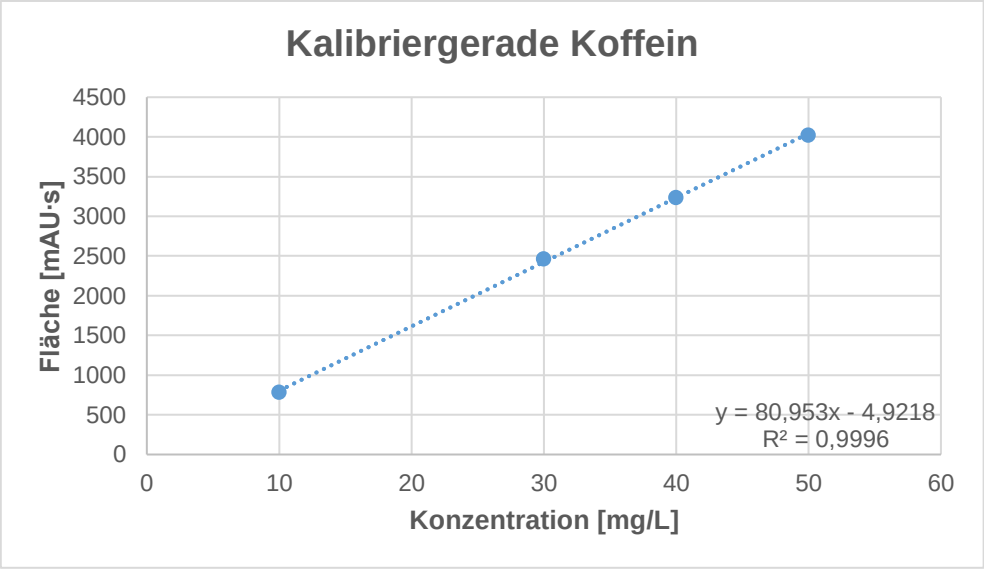
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Koffein kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Erfrischungsgetränke und Energydrinks koffeinhaltig sind.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Koffeingehaltes in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von vier Kalibrierlösungen des Koffeins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der vier Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
10	786,064
30	2459,828
40	3235,122
50	4023,250

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Koffeins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 80{,}953x - 4{,}9218$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Koffeingehaltes in Milligramm/Liter in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 4{,}9218}{80{,}953} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann der Gehalt an Koffein in den einzelnen Erfrischungsgetränken und Energydrinks in Milligramm/Liter berechnet werden.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden.
Aus dem ersten Teil der Tabelle sind die vom Hersteller angegeben Koffeingehalte in den jeweiligen Erfrischungsgetränken in Milligramm/Liter zu entnehmen.
Im zweiten Teil der Tabelle sind die maximal zulässigen Koffeingehalte in den Energydrinks in Milligramm/Liter, gemäß der Verordnung über Fruchtsaft, einige ähnliche Erzeugnisse, Fruchtnektar und koffeinhaltige Erfrischungsgetränke (Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung), dargestellt.

Erfrischungsgetränk	**vom Hersteller angegebener Koffeingehalt [mg/L]**
Mio Mio Mate Original	200
Mio Mio Mate Ginger	200
Mio Mio Mate Cola	200
Coca-Cola	100
Coca-Cola Light	120
Coca-Cola Zero	100
Energydrink	**maximal zulässiger Koffeingehalt [mg/L]**
Red Bull	320
Red Bull Sugarfree	320
Red Bull Zero	320
Effect	320
Effect Sugarfree	320

Zudem muss gemäß Art. 13 Abs. 1 i. V. m. Anhang 3 Nr. 4 VO (EU) Nr. 1169/2011 (Lebensmittelinformationsverordnung – LMIV) bei Getränken mit erhöhtem Koffeingehalt (über 150 mg/L) folgenden Hinweis erhalten sein:

„Erhöhter Koffeingehalt. Für Kinder und schwangere oder stillende Frauen nicht empfohlen."

Ausnahme: Kaffee, Tee und deren Extrakte, sowie Getränke, bei denen Kaffee oder Tee in der Bezeichnung vorkommt.
Der Hinweis muss dabei im selben Sichtfeld wie die Bezeichnung des Getränks erscheinen, und der Koffeingehalt in Milligramm je 100 mL muss angegeben werden.

E.5 V 5: Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (2 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Becherglas (1 x)
- 50 mL Becherglas (1 x)
- 50 mL Erlenmeyerkolben (1 x)
- Trichter (1 x)
- Faltenfilter (1 x)
- Schnappdeckelgläschen (1 x)
- 5 mL Einwegspritze (1 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (1 x)
- Magnetkern
- Magnetkern-Entferner
- Spatel
- Mörser mit Pistill
- Magnetrührer
- Stoppuhr
- Waage
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Cini Minis
- Lebkuchen
- Spekulatius
- Zimtpulver
- Zimtsterne
- Cumarin
- Acetonitril
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Acetonitril		Gefahr	• Flüssigkeiten und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen • gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
Cumarin		Gefahr	• giftig bei Verschlucken
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe

Bitte suchen Sie sich eines der vorne angegebenen zimthaltigen Lebensmittel zur Bestimmung des Cumaringehaltes aus!

Durchführung:

- etwa 10 g des mit dem Mörser zerkleinerten zimthaltigen Lebensmittels oder etwa 0,5 g Zimtpulver werden in je ein 100 mL Becherglas eingewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 35 mL Methanol-Wasser-Gemisch (80/20) mithilfe des Messzylinders zugegeben
- nach Zugabe eines Magnetkerns wird die Probe für 20 Minuten bei Raumtemperatur auf der Rührplatte gerührt
- anschließend wird der Magnetkern mithilfe des Magnetkern-Entferners aus der Probe entfernt
- die Probelösung wird in den Messkolben überführt, dieser bis zur Marke mit dem Methanol-Wasser-Gemisch aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt
- die Probelösung wird durch einen Trichter mit Faltenfilter in einen 50 mL Erlenmeyerkolben filtriert
- etwa 5 mL der Probelösung werden mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter auf die Spritze aufgesetzt und die Lösung in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 276 nm
- Fließmittel: Methanol/Acetonitril/dest. Wasser (10/10/80)
- Flussrate: 1,0 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 20 min

Beobachtung:

Probe	Einwaage [g]	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

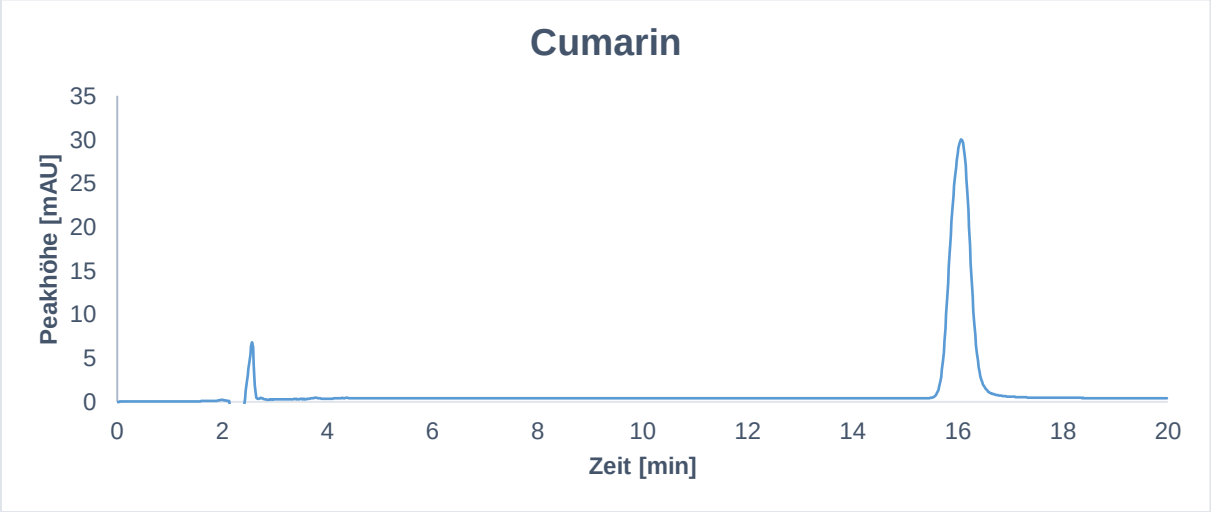
Entsorgung:

Die cumarinhaltigen Probelösungen werden im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt. Die Faltenfilter werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.
Die Entsorgung der Einwegspritzen und Membranfilter erfolgt ebenfalls im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Cumaringehaltes in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Cumarin verglichen. Cumarin wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 16,0 – 16,9 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm des Cumarins ist nachfolgend dargestellt.



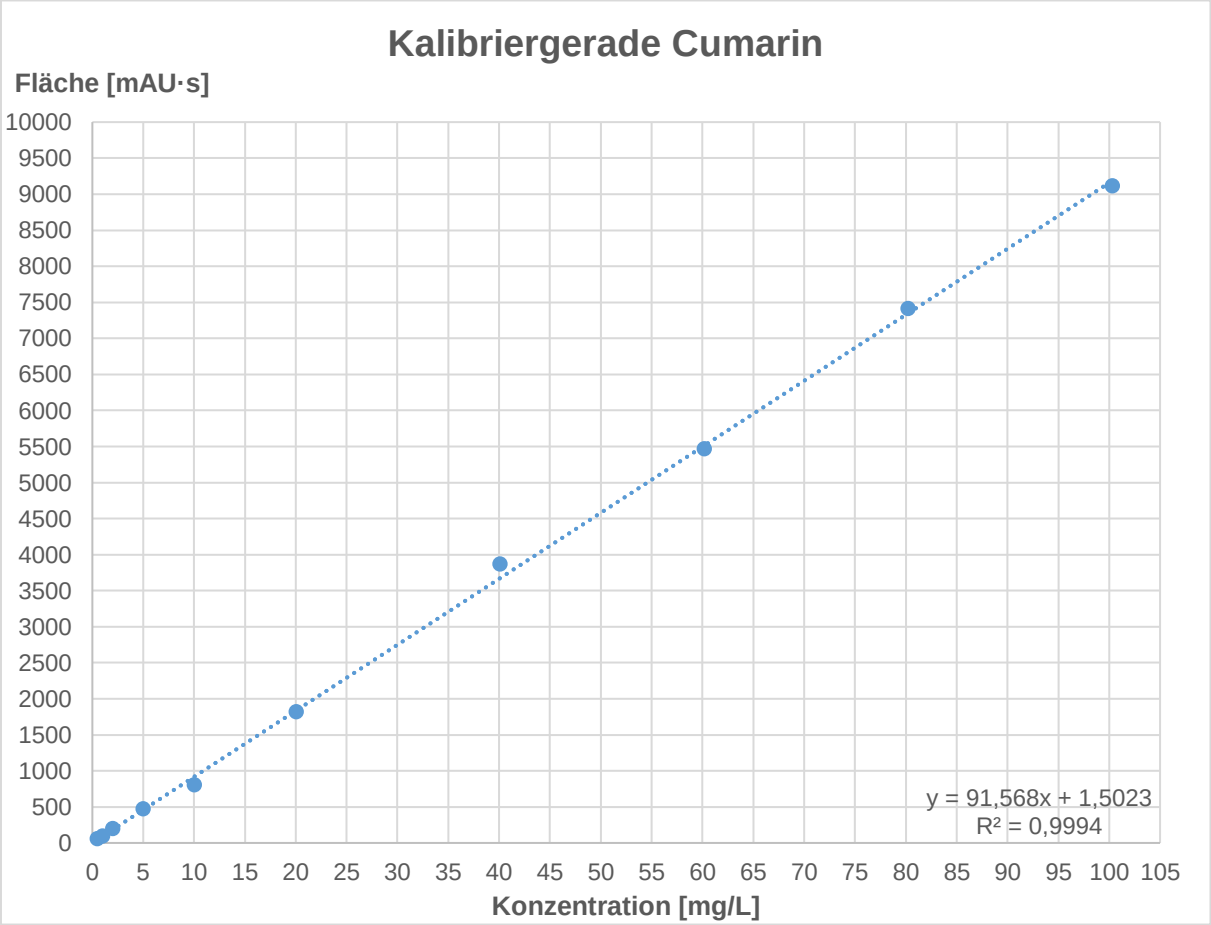
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Cumarin kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Lebensmittel cumarinhaltig sind.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Cumaringehaltes in Zimt und den zimthaltigen Lebensmitteln erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von zehn Kalibrierlösungen des Cumarins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der zehn Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,50	53,044
1,00	91,921
2,01	192,026
5,02	469,609
10,03	800,213
20,06	1815,957
40,12	3864,509
60,18	5464,449
80,24	7407,802
100,30	9107,322

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Cumarins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 91{,}568x + 1{,}5023$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Cumaringehaltes in Zimt oder den zimthaltigen Lebensmitteln in Milligramm/Liter.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 1{,}5023}{91{,}568}$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösung werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt, wodurch der Gehalt an Cumarin in Zimt und zimthaltigen Lebensmitteln in Milligramm/Liter berechnet wird.

Probe	**Fläche [mAU·s]**	**Gehalt [mg/L]**

Zimt und zimthaltige Lebensmittel sind feste Lebensmittel. Es wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (50 mL = 0,05 L) der Gehalt an Cumarin von Milligramm/Liter in Milligramm/Kilogramm umgerechnet. Dafür wird die nachfolgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/kg]} = \frac{\text{Gehalt}\ \left[\frac{mg}{L}\right] \cdot 0{,}05\ L}{\text{Einwaage [g]} / 1000}$$

Probe	**Gehalt [mg/L]**	**Gehalt [mg/kg]**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. Die Tabelle stellt die maximal zulässigen Cumaringehalte in zimthaltigen Lebensmitteln in Milligramm/Kilogramm, gemäß der Verordnung VO (EG) Nr. 1334/2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln (Aromen-Verfahrensverordnung), dar. Für Zimt als Gewürz gibt es hingegen keinen festgelegten Grenzwert.

Lebensmittelgruppe	**Höchstgehalt [mg/kg]**	**Beispiele für Lebensmittel**
traditionelle und/oder saisonale Backwaren, bei denen Zimt in der Kennzeichnung angegeben ist	50	Zimtsterne Lebkuchen Spekulatius
Frühstücksgetreideerzeugnisse einschließlich Müsli	20	Cini Minis Mini Zimtos
feine Backwaren (außer saisonale und traditionelle Backwaren)	15	Zimtschnecken Franzbrötchen
Dessertspeisen	5	Apfel-Zimt-Dessert Cremedesserts mit Zimt

E.6 V 6: Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Honig mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

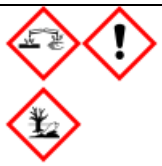
- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Becherglas (2 x)
- 25 mL Becherglas (1 x)
- 100 mL Erlenmeyerkolben (2 x)
- 1 mL Vollpipette (2 x)
- 5 mL Vollpipette (1 x)
- Peleusball
- Trichter (2 x)
- Faltenfilter (2 x)
- Schnappdeckelgläschen (2 x)
- 5 mL Einwegspritze (2 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- Spatel (2 x)
- Magnetrührer (2 x)
- Stoppuhr
- Waage
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeitschromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- verschiedene Honige
- 5-Hydroxymethylfurfural (HMF)
- Carrez-Lösung I (150 g Kaliumhexacyanoferrat (II) in 1 L dest. Wasser)
- Carrez-Lösung-II (230 g Zinkacetat in 1 L dest. Wasser)
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
5-Hydroxymethylfurfural (HMF)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizungen
Kaliumhexacyanoferrat (II)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung • entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Zinkacetat		Gefahr	• verursacht schwere Augenschäden • gesundheitsschädlich beim Verschlucken • sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Bitte suchen Sie sich zwei, der zur Verfügung stehenden, Honige zur Bestimmung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes aus!

Durchführung:

- der flüssige oder kandierte Honig wird mit dem Spatel für 2 Minuten intensiv gerührt, um den Honig zu homogenisieren
- 10 g homogenisierter Honig wird in ein 100 mL Becherglas eingewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 50 mL dest. Wasser und ein Magnetkern hinzugegeben
- das Becherglas wird auf den Magnetrührer gestellt und die Probe so lange gerührt, bis sich der Honig vollständig gelöst hat
- dann den Magnetkern mit dem Magnetkern-Entferner herausholen und mit ca. 5 mL dest. Wasser in das Becherglas abspülen
- anschließend wird die Probelösung mithilfe eines Trichters in einen 100 mL Messkolben überführt, das Becherglas zweimal mit ca. 10 mL dest. Wasser nachgespült und in den Messkolben überführt
- es wird 1 mL Carrez-I-Lösung hinzugegeben und der Messkolben geschwenkt
- dann wird 1 mL Carrez-II-Lösung hinzupipettiert und der Messkolben erneut geschwenkt
- der Messkolben wird bis zur Marke mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen, geschüttelt und die Probelösung für ca. 3 Minuten stehen gelassen
- danach wird die Probelösung durch einen Trichter mit Faltenfilter in einen 100 mL Erlenmeyerkolben filtriert
- 5 mL der nicht wärmebehandelten Honiglösung werden mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert

- wird ein wärmebehandelter Honig untersucht, muss die Probe 1:10 verdünnt werden:
    - 5 mL der filtrierten Lösung werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert, mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und geschüttelt
- 5 mL der wärmebehandelten und verdünnten Honiglösungen werden in je ein Becherglas gegeben, mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 285 nm
- Fließmittel: Methanol/Wasser (10/90)
- Flussrate: 1,0 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 8 min

Beobachtung:

Probe	Einwaage [g]	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

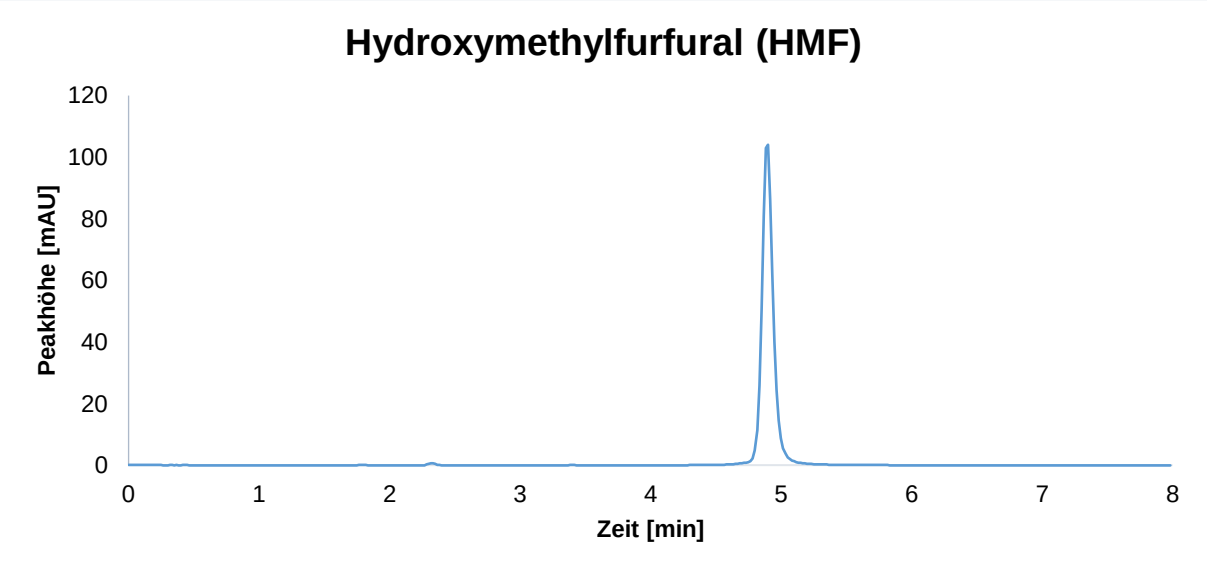
Entsorgung:

Die Honiglösungen können im Ausguss entsorgt werden.
Die Faltenfilter mit den Rückständen werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung von Hydroxymethylfurfural (HMF) in Honigen werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Hydroxymethylfurfural verglichen. Hydroxymethylfurfural wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 4,8 – 4,9 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm der Standardsubstanz Hydroxymethylfurfural ist nachfolgend dargestellt.



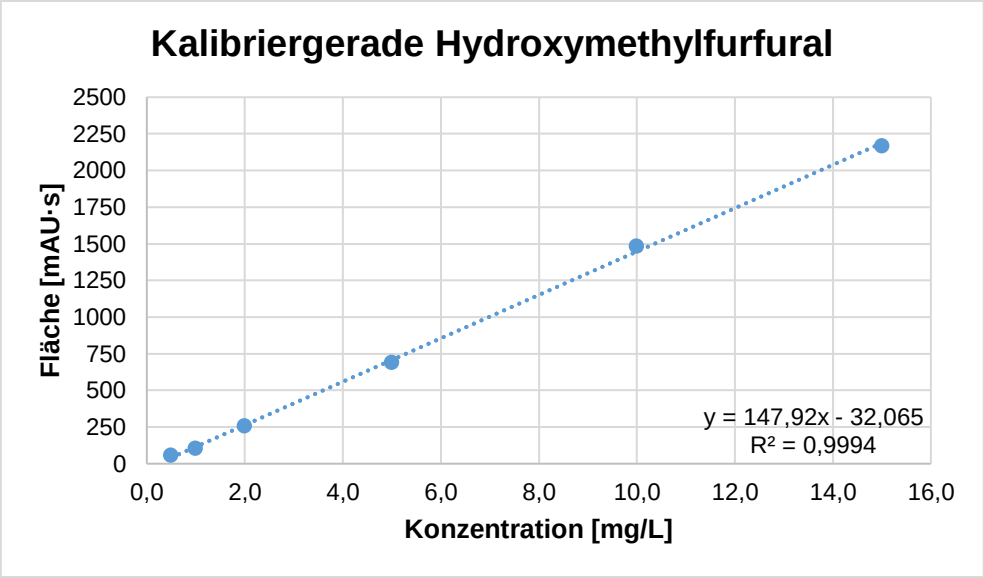
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Probe mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Hydroxymethylfurfural kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob in den vorliegenden Honigen Hydroxymethylfurfural enthalten ist.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in den verschiedenen Honigen erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von sechs Kalibrierlösungen der Substanz Hydroxymethylfurfural mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der sechs Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,5	56,721
1,0	105,905
2,0	256,019
5,0	691,933
10,0	1483,493
15,0	2169,000

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen von Hydroxymethylfurfural wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 147{,}92x - 32{,}065$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Hydroxymethylfurfuralgehaltes in Milligramm/Liter in den verschiedenen Honigen.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 32{,}065}{147{,}92} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann der Gehalt an Hydroxymethylfurfural in den verschiedenen Honigen in Milligramm/Liter berechnet werden.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Weil Honige zu den festen Lebensmitteln gehören, wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (100 mL = 0,1 L) der Hydroxymethylfurfuralgehalt von Milligramm/Liter in Milligramm/Kilogramm umgerechnet. Dafür wird die nachfolgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/kg]} = \frac{\text{Gehalt}\ \left[\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right] \cdot 0{,}10\ \mathrm{L}}{\text{Einwaage [g]}/1000}$$

Probe	Gehalt [mg/L]	Gehalt [mg/kg]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. Aus der Tabelle können die maximal zulässigen Hydroxymethylfurfuralgehalte in Honigen nach Behandlung und Mischung in Milligramm/Kilogramm, gemäß der Honigverordnung (HonigV), entnommen werden.

Honig	maximal zulässiger Hydroxymethylfurfuralgehalt [mg/kg]
Honige im Allgemeinen, mit Ausnahme von Backhonig	40
Honige mit angegebenem Ursprung in Regionen mit tropischem Klima und Mischungen solcher Honigarten untereinander	80

Der Gehalt an Hydroxymethylfurfural (HMF) in Honigen ist ein Merkmal für die Naturbelassenheit eines Honigs. In frischen Honigen ist diese Substanz entweder gar nicht oder in Spuren nachweisbar. Während der Lagerung kann sich Hydroxymethylfurfural aus Zuckern, hauptsächlich aus Fructose, durch Abspaltung von Wassermolekülen bilden. Bei einer Lagerungstemperatur zwischen 10 °C und 15 °C erhöht sich der Gehalt pro Jahr etwa um 3 – 5 Milligramm pro Kilogramm Honig. Der Gehalt an Hydroxymethylfurfural steigt umso schneller an, je höher der Säuregehalt des Honigs und die Lagertemperatur ist.
Der Gehalt in Honigen steigt auch durch zu starke Erwärmung, beispielsweise wenn die Temperatur beim Abfüllen eines kristallisierten Honigs zu hoch gewählt worden ist. Somit kann durch den ermittelten HMF-Gehalt eine Aussage über die Naturbelassenheit des Honigs sowie eine sachgerechte Lagerung getroffen werden.

E.7 V 7: Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 500 mL Vorratsflasche (2 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 250 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Becherglas (2 x)
- 10 mL Vollpipette (2 x)
- 5 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Schnappdeckelgläschen (2 x)
- 5 mL Einwegspritze (2 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (2 x)
- Ultraschallbad
- pH-Meter mit Kalibrierlösungen
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Fanta Lemon
- Pepsi Light
- Pepsi Max
- Monster Energy Original
- Monster Energy Ultra Red
- Benzoesäure
- Sorbinsäure
- Ammoniumacetat
- Essigsäure (Eisessig)
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Ammonium-acetat	-	-	-
Benzoesäure		Gefahr	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenschäden • schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition
Essigsäure (Eisessig)		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Sorbinsäure		Achtung	• verursacht schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen

Bitte suchen Sie sich zwei der vorne angegebenen Erfrischungsgetränke oder Energydrinks zur Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes aus!

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke und Energydrinks flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die Proben der Erfrischungsgetränke und Energydrinks werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Fanta Lemon; Pepsi Light; Pepsi Max: 1:2
    (5 mL Erfrischungsgetränk werden in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
  - Monster Energy Original; Monster Energy Ultra Red: 1:5
    (10 mL Energydrink werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 235 nm
- Fließmittel: Ammoniumacetat-Lösung (0,01mol/L)/Methanol (70/20) (pH-Wert = 4,5 – 4,6; pH-Wert-Einstellung mit Eisessig)
- Flussrate: 1,2 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 15 min

Beobachtung:

Probe	**Verdünnungsfak-tor**	**Retentionszeit [min] 1.Benzoesäure 2.Sorbinsäure**	**Fläche [mAU·s] 1.Benzoesäure 2.Sorbinsäure**
		1.	1.
		2.	2.
		1.	1.
		2.	2.
		1.	1.
		2.	2.
		1.	1.
		2.	2.

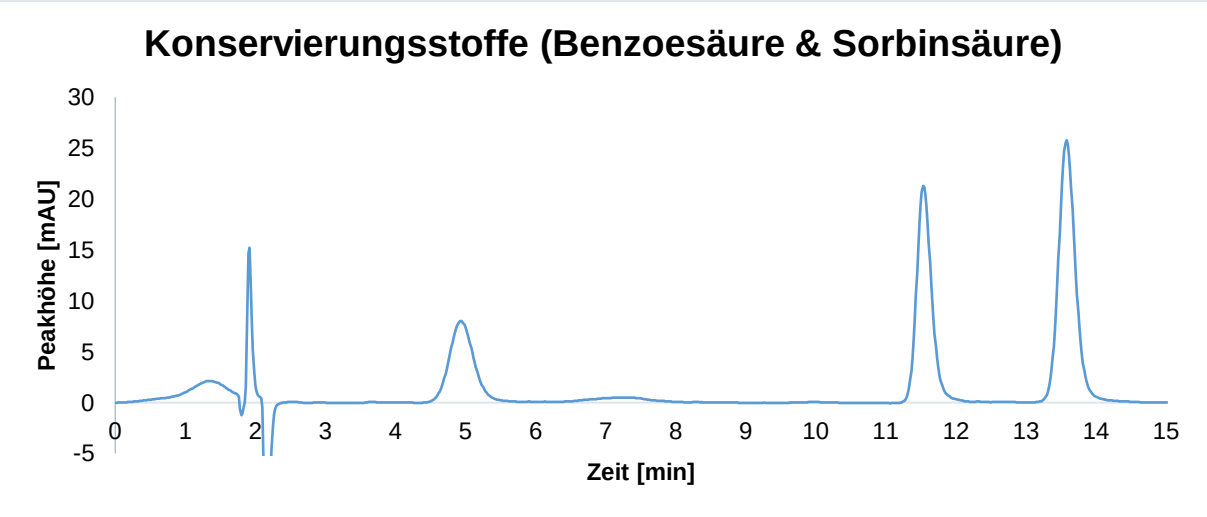
Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Konservierungsstoffgehaltes in Erfrischungsgetränken und Energydrinks werden die Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen Benzoesäure und Sorbinsäure verglichen. Benzoesäure wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 11,1 – 11,6 Minuten eluiert und Sorbinsäure bei 13,2 – 13,7 Minuten. Ein Vergleichschromatogramm der Konservierungsstoffe, bei dem der vordere Peak die Benzoesäure und der hintere Peak die Sorbinsäure abbildet, ist nachfolgend dargestellt. Die Peaks im vorderen Bereich (bis ca. 2,5 Minuten) stammen vom Lösemittel, die Peaks bei 5,0 und ca. 7,0 Minuten sind auf Verunreinigungen zurückzuführen.



Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen Benzoesäure und Sorbinsäure kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Erfrischungsgetränke und Energydrinks Konservierungsstoffe enthalten.

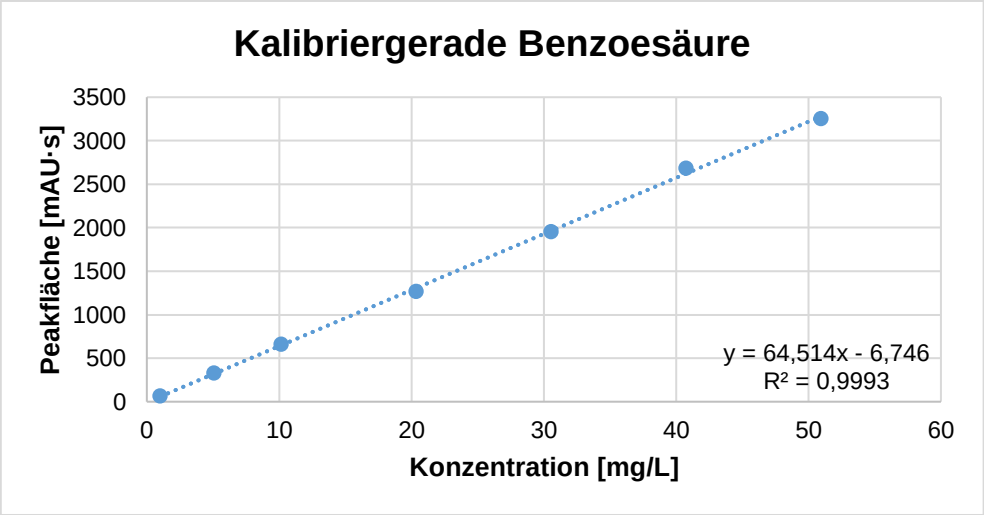
Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Gehaltes an Benzoe- und Sorbinsäure in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von sieben Kalibrierlösungen der Konservierungsstoffe mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der sieben Kalibrierlösungen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Konzentration Benzoesäure [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
1,02	64,091
5,10	326,473
10,19	661,209
20,38	1266,306
30,57	1955,814
40,76	2681,625
50,95	3253,093

Konzentration Sorbinsäure[mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
1,01	85,843
5,04	438,297
10,07	1052,610
20,14	1809,647
30,21	2791,679
40,28	3639,173
50,35	4426,871

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Konzentrationen der Kalibrierlösungen Benzoesäure und Sorbinsäure wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergeraden ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

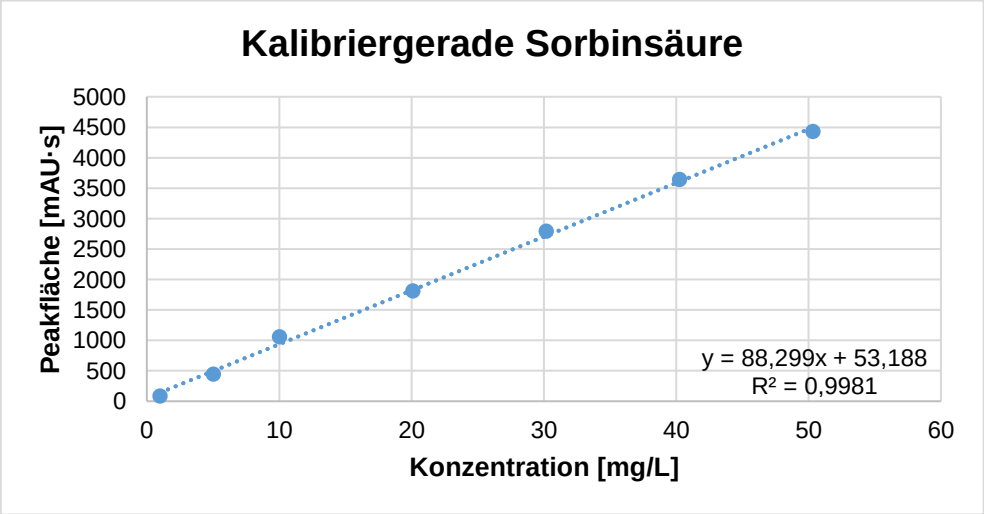


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Benzoesäure gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 65{,}514x - 6{,}746$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Benzoesäuregehaltes in Milligramm/Liter in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 6{,}746}{65{,}514} \cdot F$$



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Sorbinsäure gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 88{,}299x + 53{,}188$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Sorbinsäuregehaltes in Milligramm/Liter in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 53{,}188}{88{,}299} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung von Benzoe- und Sorbinsäure eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Benzoe- und Sorbinsäure in den einzelnen Erfrischungsgetränken und Energydrinks in Milligramm/Liter berechnet.

Probe	**Fläche Benzoesäure [mAU·s]**	**Fläche Sorbinsäure [mAU·s]**	**Verdünnungsfaktor**	**Gehalt [mg/L]**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. Aus der Tabelle können die maximal zulässigen Gehalte an Benzoe- und Sorbinsäure in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks in Milligramm/Liter, gemäß Anhang II Kategorie 14.1 aromatisierte Getränke der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe, entnommen werden.

Lebensmittelgruppe	**maximal zulässiger Höchstgehalt an Benzoesäure [mg/L]**	**maximal zulässiger Höchstgehalt an Sorbinsäure [mg/L]**
aromatisierte Getränke (z. B. Erfrischungsgetränke und Energydrinks)	150	250 (wenn zusätzlich Benzoesäure als Konservierungsstoff enthalten ist) 300 (ohne zusätzlichen Gehalt an Benzoesäure als Konservierungsstoff)

E.8 V 8: Bestimmung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 500 mL Vorratsflasche (2 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messkolben (2 x)
- 10 mL Messkolben (2 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (2 x)
- 10 mL Vollpipette (2 x)
- 5 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Schnappdeckelgläschen (2 x)
- 5 mL Einwegspritze (2 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (2 x)
- Ultraschallbad
- pH-Meter mit Kalibrierlösungen
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeitschromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Coca-Cola Light
- Coca-Cola Zero
- Fanta Zero
- Sprite Zero
- Deit Grapefruit
- Deit Tropische Früchte
- Effect Sugarfree
- Effect Zero
- Red Bull Sugarfree
- Red Bull Zero
- Acesulfam K
- Saccharin
- Aspartam
- Koffein
- Acetonitril
- Kaliumdihydrogenphosphat
- Phosphorsäure (5 %)
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Acesulfam K	-	-	-
Acetonitril		Gefahr	• Flüssigkeiten und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
Aspartam	-	-	-
Kaliumdihydrogenphosphat	-	-	-
Koffein		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken
Phosphorsäure (5 %)		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Saccharin	-	-	-

Bitte suchen Sie sich zwei der vorne angegebenen Erfrischungsgetränke/Energydrinks zur Bestimmung des Süßstoffgehaltes aus!

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke/Energydrinks flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Süßstoffgehaltes nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- Die Proben der Erfrischungsgetränke- und Energydrinks werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Red Bull Sugarfree; Red Bull Zero; Effect Sugarfree; Effect Zero: 1:10
    (10 mL Energydrink werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
  - Sprite Zero; Deit Grapefruit; Deit Tropische Früchte: 1:2
    (5 mL Erfrischungsgetränk werden in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)
  - Fanta Zero; Coca-Cola Light; Coca-Cola Zero: 1:5
    (10 mL Erfrischungsgetränk werden in einen 50 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 220 nm
- Fließmittel: Phosphatpuffer (pH = 4,3)/Acetonitril (90/10)
- Flussrate: 1,0 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 12 min

Beobachtung:

Standard/Probe	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min] 1.Acesulfam K 2.Saccharin 3.Koffein 4.Aspartam	Fläche [mAU·s] 1.Acesulfam K 2.Saccharin 3.Koffein 4.Aspartam
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.

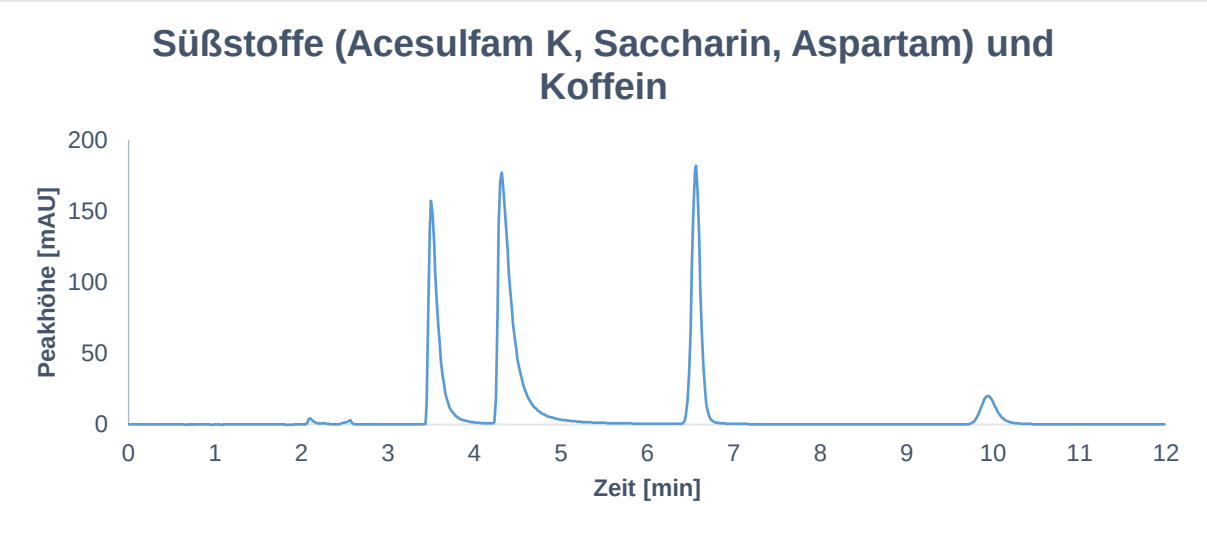
Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die Entsorgung der Spritzen und Membranfilter erfolgt im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung der Süßstoffe in Erfrischungsgetränken und Energydrinks werden die Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen Acesulfam K, Saccharin und Aspartam verglichen. Acesulfam K wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von ca. 3,4 - 3,7 Minuten eluiert, Saccharin bei ca. 4,2 - 4,5 Minuten und Aspartam bei ca. 9,9 - 10,5 Minuten. Mit dieser Methode kann auch gleichzeitig der Koffeingehalt in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks bestimmt werden. Koffein wird bei ca. 6,4 - 6,8 Minuten eluiert.



Durch den Vergleich der Retentionszeiten der Proben mit den Retentionszeiten der Standardsubstanzen kann eine Aussage getroffen werden, ob die vorliegenden Erfrischungsgetränke und Energydrinks Koffein und Süßstoffe enthalten und um welche Süßstoffe es sich handelt.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Süßstoff- und Koffeingehaltes in den Erfrischungsgetränken und Energydrinks erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von sieben Kalibrierlösungen der Süßstoffe und des Koffeins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der sieben Kalibrierlösungen der Süßstoffe und des Koffeins sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

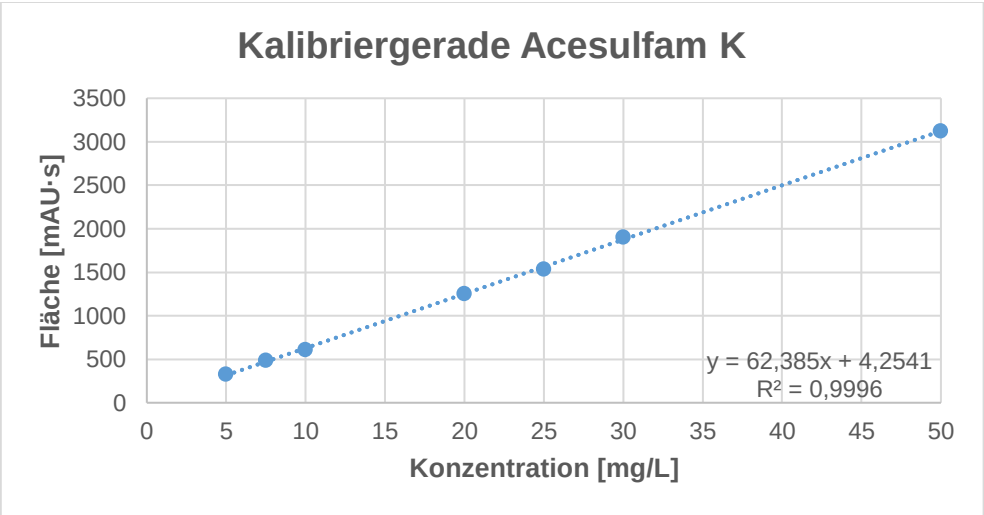
Konzentration Acesulfam K [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
5,0	323,473
7,5	487,463
10,0	607,040
20,0	1254,246
25,0	1534,059
30,0	1902,868
50,0	3122,489

Konzentration Saccharin [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
5,0	562,410
7,5	853,005
10,0	1061,877
20,0	2178,739
25,0	2663,998
30,0	3316,338
50,0	5453,470

Konzentration Koffein [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
5,0	351,441
7,5	530,027
10,0	656,325
20,0	1336,059
25,0	1635,552
30,0	2017,998
50,0	3238,276

Konzentration Aspartam [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
5,0	70,615
7,5	106,407
10,0	131,648
20,0	274,226
25,0	334,219
30,0	418,404
50,0	675,405

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen, bestehend aus Acesulfam K, Saccharin, Koffein und Aspartam, wird jeweils eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphischen Darstellungen der Kalibriergeraden werden in den nachfolgenden Abbildungen gezeigt.

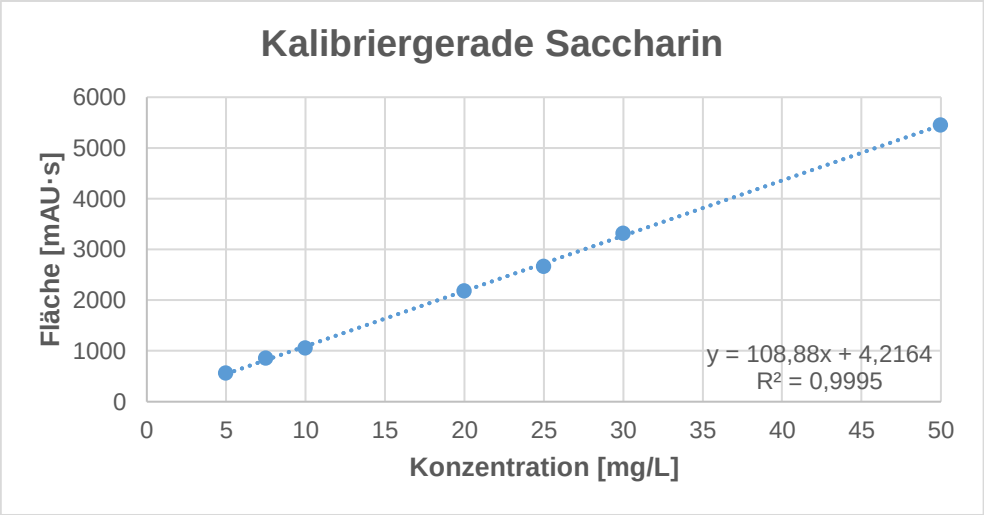


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 62{,}385x + 4{,}2541$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Gehaltes an Acesulfam K in den Erfrischungsgetränken/Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y - 4{,}2541}{62{,}385} \cdot F$$

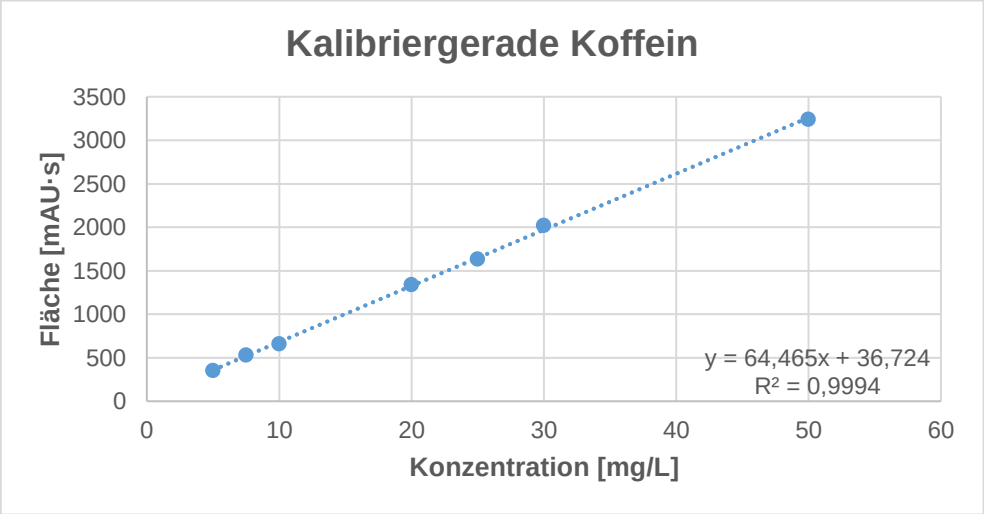


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 108{,}880x + 4{,}2164$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Saccharingehaltes in den Erfrischungsgetränken/Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y - 4{,}2164}{108{,}880} \cdot F$$

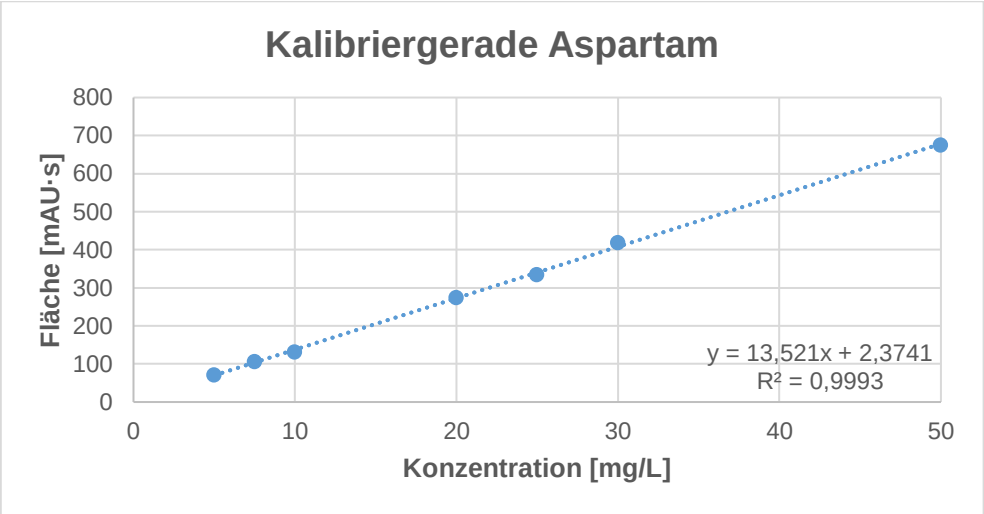


Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 64{,}465x + 36{,}724$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Koffeingehaltes in den Erfrischungsgetränken/Energydrinks.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 36{,}724}{64{,}465} \cdot F$$



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 13{,}521x + 2{,}3741$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Gehaltes an Aspartam in den Erfrischungsgetränken/Energydrinks.

$$x\ [mg/L] = \frac{y - 2{,}3741}{13{,}521} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die entsprechende Geradengleichung von Acesulfam K, Saccharin, Koffein oder Aspartam eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Süßstoffen und Koffein in den einzelnen Erfrischungsgetränken und zuckerfreien Energydrinks berechnet.

Probe	Verdünnungsfaktor	Fläche [mAU·s] 1.Acesulfam K 2.Saccharin 3.Koffein 4.Aspartam	Gehalt [mg/L] 1.Acesulfam K 2.Saccharin 3.Koffein 4.Aspartam
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
		4.	4.

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird die nachfolgende Tabelle herangezogen. In dieser Tabelle stehen die maximal zulässigen Süßstoffgehalte in aromatisierten Getränken in Milligramm/Liter gemäß der Verordnung VO (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe. Die Angaben der maximal zulässigen Süßstoffgehalte beziehen sich nur auf brennwertverminderte Produkte oder welche, die ohne Zuckerzusatz hergestellt werden.

Süßstoff	maximal zulässiger Gehalt [mg/L]
Acesulfam K	350
Saccharin	80
Aspartam	600

Bei der Einordnung des Koffeingehaltes in zuckerfreien Erfrischungsgetränken und Energydrinks wird die folgende Tabelle herangezogen.
Aus dem ersten Teil der Tabelle sind die vom Hersteller angegeben Koffeingehalte in den jeweiligen Erfrischungsgetränken in Milligramm/Liter dargestellt. Sprite Zero, Fanta Zero, Deit Grapefruit und Deit Tropische Früchte enthalten laut Hersteller kein Koffein und werden daher in der Tabelle nicht mit aufgeführt.
Im zweiten Teil der Tabelle sind die maximal zulässigen Koffeingehalte in den Energydrinks in Milligramm/Liter, gemäß der Verordnung über Fruchtsaft, einige ähnliche Erzeugnisse, Fruchtnektar und koffeinhaltige Erfrischungsgetränke (Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung), zu entnehmen.

Erfrischungsgetränk	**vom Hersteller angegebener Koffeingehalt [mg/L]**
Coca-Cola Light	120
Coca-Cola Zero	100
Energydrink	**maximal zulässiger Koffeingehalt [mg/L]**
Red Bull Sugarfree	320
Red Bull Zero	320
Effect Sugarfree	320
Effect Zero	320

E.9 V 9: Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 100 mL Vorratsflasche (2 x)
- 250 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 25 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- Eppendorf-Pipetten mit Spitzen (1 x)
- 10 mL Vollpipette (1 x)
- 1 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball (1 x)
- Schnappdeckelgläschen (1 x)
- 5 mL Einwegspritze (1 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (1 x)
- Stoppuhr
- Ultraschallbad
- Trockenschrank
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeits-chromatograph (HPLC)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Effect
- Effect Sugarfree
- Effect Zero
- Monster Original
- Red Bull
- Red Bull Sugarfree
- Red Bull Zero
- Rockstar Original
- Taurin
- Aceton
- Dansylchlorid (15 mg in 100 mL Aceton)
- Natriumcarbonat-Lösung (85 mg in 10 mL dest. Wasser)
- Essigsäure (Eisessig)
- Methanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung der Lösungen und des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Aceton		Gefahr	• Flüssigkeiten und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder und rissiger Haut führen
Dansylchlorid		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Essigsäure (Eisessig)		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Natriumcarbonat		Achtung	• verursacht schwere Augenreizungen
Taurin		Achtung	• verursacht Haut- und schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen

Bitte suchen Sie sich einen der vorne angegebenen Energydrinks zur Bestimmung des Tauringehaltes aus!

Durchführung:

a) Probenvorbereitung und Verdünnung

- die Probe wird im Ultraschallbad entgast
- die Probelösung wird wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Red Bull, Red Bull Sugarfree und Red Bull Zero: 1:25
    (1 mL aufgearbeitete Probe von Red Bull, Red Bull Sugarfree oder Red Bull Zero wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt)
  - Monster Original: 1:25
    (1 mL aufgearbeitete Probe von Monster Original wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt)
  - Effect, Effect Sugarfree und Effect Zero: 1:25
    (1 mL aufgearbeitete Probe von Effect, Effect Sugarfree oder Effect Zero wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt)
  - Rockstar Original: 1:10
    (1 mL aufgearbeitete Probe von Rockstar Original wird in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt)

b) Derivatisierung

- 1 mL der aufgearbeiteten und verdünnten Probe wird in ein Schnappdeckelgläschen pipettiert
- es folgt die Zugabe von 250 µL Natriumcarbonat-Lösung und 250 µL Dansylchlorid in Aceton mit der Eppendorf-Pipette
- der Inhalt des Schnappdeckelgläschens wird für 20 Sekunden geschwenkt und dann offen für 15 Minuten bei 50 °C in den Trockenschrank gestellt
- die verdünnte Probelösung wird mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösung werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 370 nm
- Fließmittel: Methanol/Essigsäure (1 %) (75/25)
- Flussrate: 1,2 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 11 min

Beobachtung:

Probe	Verdünnungsfaktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

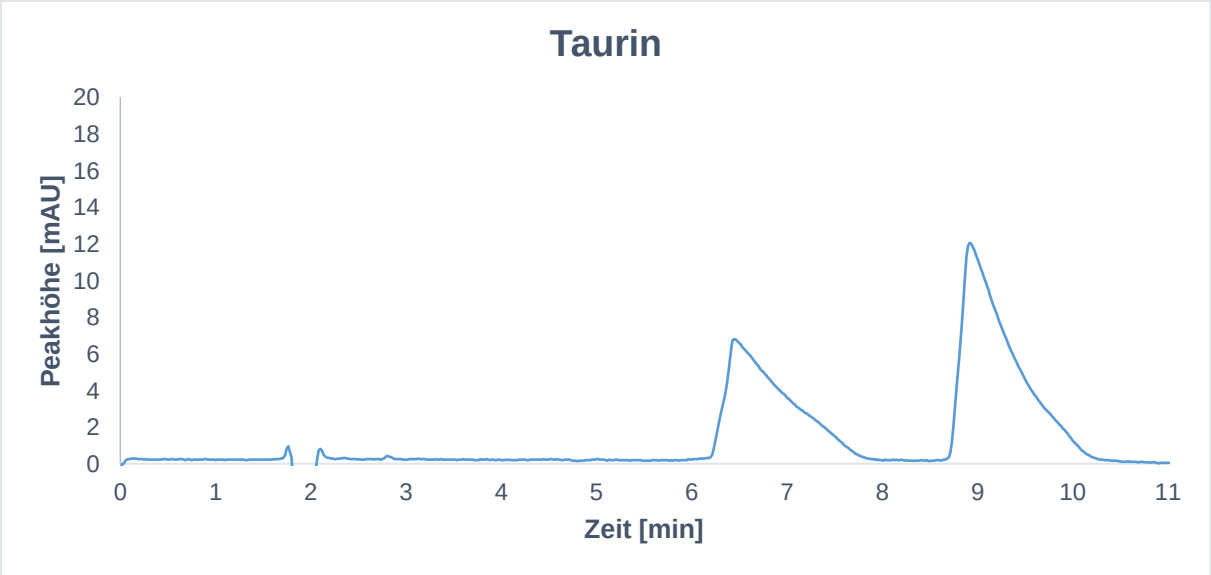
Entsorgung:

Die Probelösung des Energydrinks wird verdünnt im Ausguss entsorgt.
Die Reste der Lösung aus dem Schnappdeckelgläschen wird am Ende des Versuchstages im Abfall für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.
Die Entsorgung der Einwegspritze und des Membranfilters erfolgt ebenfalls im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Tauringehaltes in Energydrinks werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Taurin verglichen. Taurin wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von etwa 8,9 – 9,2 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm des Taurins ist nachfolgend dargestellt. Der erste Peak bei etwa 6,5 Minuten zeigt das überschüssige Derivatisierungsreagenz an, wohingegen der zweite Peak bei etwa 8,9 Minuten das Taurin anzeigt.

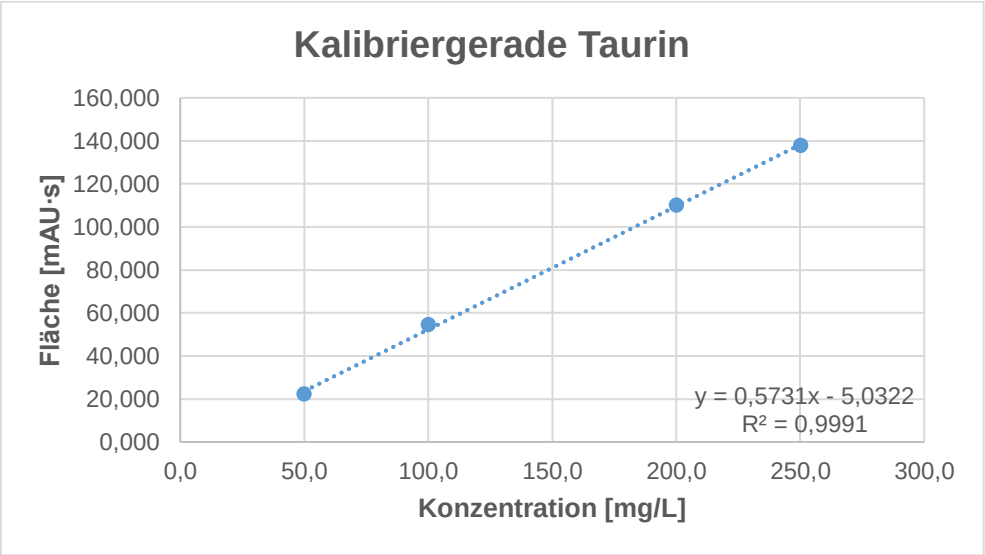


Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Taurin kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Energydrinks taurinhaltig sind.

Quantifizierung:
Die Quantifizierung des Tauringehaltes in den Energydrinks erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von vier Kalibrierlösungen des Taurins mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der vier Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
50,1	22,051
100,1	54,423
200,2	109,930
250,3	137,747

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Taurins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 3{,}9839x - 2{,}6103$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Tauringehaltes in Milligramm/Liter in den Energydrinks.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y + 2{,}6103}{3{,}9839} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Taurin in Energydrinks in Milligramm/Liter berechnet.

Probe	**Fläche [mAU·s]**	**Verdünnungsfaktor**	**Gehalt [mg/L]**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. Aus der Tabelle können sowohl die vom Hersteller angegebenen Tauringehalte in Milligramm/Liter als auch die maximal zulässigen Tauringehalte in den Energydrinks in Milligramm/Liter, gemäß der Verordnung über Fruchtsaft, einige ähnliche Erzeugnisse, Fruchtnektar und koffeinhaltige Erfrischungsgetränke (Fruchtsaft- und Erfrischungsgetränkeverordnung), entnommen werden.

Energydrink	**vom Hersteller angegebener Tauringehalt [mg/L]**	**maximal zulässiger Tauringehalt [mg/L]**
Red Bull	4000	4000
Red Bull Sugarfree	4000	4000
Red Bull Zero	4000	4000
Effect	4000	4000
Effect Sugarfree	4000	4000
Effect Zero	4000	4000
Monster Original	4000	4000
Rockstar Original	2000	4000

E.10 V 10: Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes in Obst (Biologisch vs. Konventionell) mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Materialien:

- 1000 mL Vorratsflasche (1 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 250 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 1000 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (2 x)
- 250 mL Becherglas (2 x)
- 25 mL Becherglas (2 x)
- 100 mL Erlenmeyerkolben (2 x)
- 2 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Trichter (4 x)
- Faltenfilter (2 x)
- Schnappdeckelgläschen (2 x)
- 5 mL Einwegspritze (2 x)
- Membranfilter (0,45 µm) (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- 50 mL Zentrifugenglas aus Plastik (2 x)
- Rührplatte (2 x)
- Waage
- Zentrifuge
- Mixer
- Ultraschallbad
- HPLC-Spritze
- Hochleistungsflüssigkeitschromatograph (HPLC)
- Schälmesser

Lebensmittel & Chemikalien:

- Orangen (biologisch angebaut)
- Orangen (konventionell angebaut)
- Kiwi (biologisch angebaut)
- Kiwi (konventionell angebaut)
- L-Ascorbinsäure (Vitamin C)
- Ethanol
- meta-Phosphorsäure (w = 6 %)
- Methanol
- Tetrabutylammoniumhydrogensulfat
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
L-Ascorbinsäure	-	-	-
Ethanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
meta-Phosphorsäure		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Tetrabutylammoniumhydrogensulfat		Gefahr	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Herstellung von Lösungen

Tetrabutylammoniumhydrogensulfat-Lösung: 2,5 g Tetrabutylammoniumhydrogensulfat werden in 945 mL dest. Wasser gelöst

Bitte suchen Sie sich entweder Orangen oder Kiwis zur Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes aus!

Durchführung:

- 50 g geschälte und pürierte Orangen beziehungsweise Kiwis (biologisch oder konventionell angebaut) werden in je ein 250 mL Becherglas abgewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 100 mL meta-Phosphorsäure (w = 6 %), drei Tropfen Ethanol und ein Magnetkern hinzugegeben
- dann wird die Lösung für ca. 10 Minuten auf einer Rührplatte gerührt
- der Magnetkern wird mithilfe des Magnetkern-Entferners herausgeholt
- anschließend wird die Lösung mithilfe eines Trichters in einen 250 mL Messkolben überführt
- das Becherglas und der Trichter werden mit meta-Phosphorsäure (w = 6 %) nachgespült, der Kolben bis zur Marke mit dieser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt
- ca. 50 mL dieser Aufschlämmung werden in ein Zentrifugenglas aus Plastik überführt und gewogen
- die Zentrifuge wird mit den beiden Probengläsern gegenüberliegend bestückt und für drei Minuten bei 4000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert
- danach wird die überstehende Lösung durch einen Trichter mit Faltenfilter in einen 100 mL Erlenmeyerkolben filtriert

- die Lösung wird wie folgt im Messkolben verdünnt:
    - Orange; Kiwi (biologisch oder konventionell angebaut): 1:5
      (2 mL der aufgearbeiteten Lösungen werden in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit meta-Phosphorsäure (w = 6 %) bis zur Marke aufgefüllt)

- die verdünnten Probelösungen werden in je ein Becherglas überführt, 5 mL mit einer Einwegspritze aufgezogen, ein Membranfilter aufgesetzt und in ein Schnappdeckelgläschen membranfiltriert
- 20 µL der membranfiltrierten Probelösungen werden in die HPLC injiziert

Geräteparameter der HPLC:

- Gerät: Knauer Smartline HPLC
- Säule: Phenomenex Kinetex C18, 5 µm
- Säulenlänge: 4,6 x 250 mm
- Detektor: Knauer Platin Blue
- Detektion: 250 nm
- Fließmittel: Tetrabutylammoniumhydrogensulfat in Wasser/Methanol (945/55)
- Flussrate: 1,0 mL/min (isokratisch)
- Laufzeit: 4 min

Beobachtung:

Probe	Verdünnungs-faktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

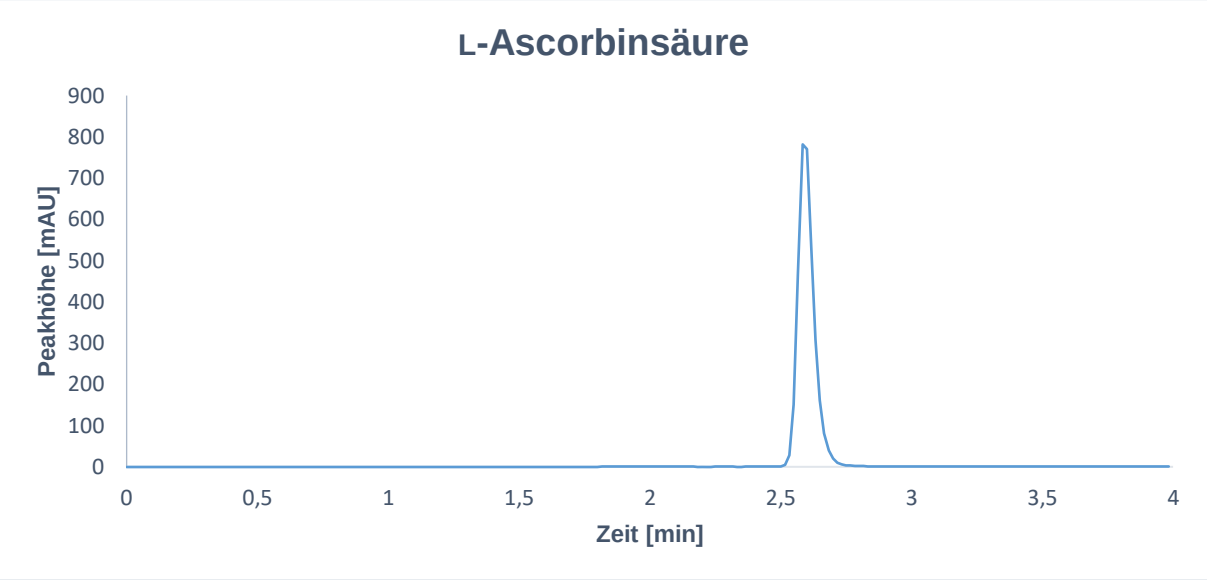
Entsorgung:

Die Probelösungen der Orangen und Kiwis können stark verdünnt im Ausguss entsorgt werden.
Die Faltenfilter mit den Rückständen werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.
Die Entsorgung der Einwegspritzen und Membranfilter erfolgt ebenfalls im Hausmüll.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung der L-Ascorbinsäure (Vitamin C) in Obst und Gemüsesorten werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz L-Ascorbinsäure verglichen. L-Ascorbinsäure wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 2,5 – 2,7 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm der Standardsubstanz L-Ascorbinsäure ist nachfolgend dargestellt.



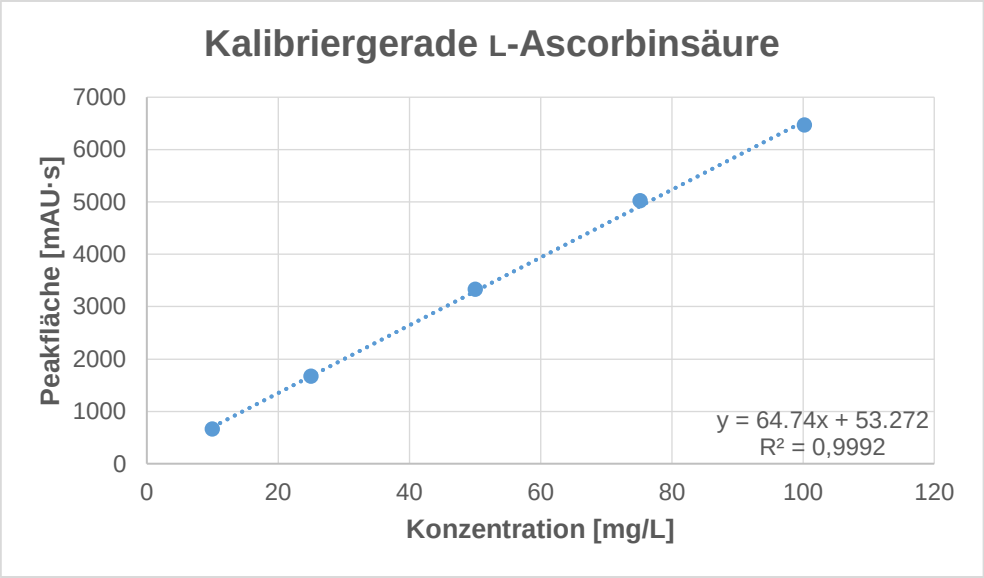
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz L-Ascorbinsäure kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob in den vorliegenden Obst- und Gemüsesorten Vitamin C enthalten.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Vitamin C-Gehaltes in den Obst- und Gemüsesorten erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von fünf Kalibrierlösungen der L-Ascorbinsäure mittels HPLC bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der fünf Kalibrierlösungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/L]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
10,030	665,251
25,075	1669,574
50,150	3331,318
75,225	5016,266
100,300	6466,784

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen der L-Ascorbinsäure wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 64{,}74x + 53{,}272$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Vitamin C-Gehaltes in Milligramm/Liter in den Obstsorten.

$$x\ [\mathrm{mg/L}] = \frac{y - 53{,}272}{64{,}74} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) kann schließlich der Gehalt an Vitamin C in den einzelnen Obstsorten in Milligramm/Liter berechnet werden.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Obst ist ein festes Lebensmittel. Es wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (250 mL = 0,25 L) der Vitamin C-Gehalt von Milligramm/Liter in Milligramm/100 Gramm umgerechnet. Dafür wird die nachfolgende Gleichung verwendet.

$$\mathrm{Gehalt}\ [\mathrm{mg/100g}] = \frac{\mathrm{Gehalt}\ \left[\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right] \cdot 0{,}25\ \mathrm{L}}{\mathrm{Einwaage}\ [\mathrm{g}]/100}$$

Probe	Gehalt [mg/L]	Gehalt [mg/100 g]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, werden die ermittelten Gehalte an Vitamin C in Milligramm/100 Gramm mit den angegebenen Mittelwerten vom Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) aus der nachfolgenden Tabelle verglichen.

Obst-/Gemüsesorte	Vitamin C-Gehalt [mg/100 g]
Orange/Apfelsine	50
Erdbeeren (roh)	62
Apfel Jonagold	15
Kiwi	46
Sanddornbeerensaft	266
Brokkoli (gekocht)	115
Paprika (roh)	120
Kohlrabi (roh)	63
Spinat (gekocht)	16

Der Vitamin C-Gehalt in Lebensmitteln ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören:

- die Dauer des Transports,
- die Art und Dauer der Lagerung,
- der Standort mit den klimatischen Bedingungen,
- die Dauer der Sonneneinstrahlung,
- der Erntezeitpunkt,
- der Reifegrad,
- die Sorte.

In Abhängigkeit der dargestellten Faktoren kann festgehalten werden, dass biologisch angebaute Obst- und Gemüsesorten unter gleichen Bedingungen mehr Vitamin C enthalten als konventionell angebaute Obst- und Gemüsesorten.

E.11 V 11: Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig mittels Photometrie

Materialien:

- 500 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 250 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 25 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Becherglas (2 x)
- 50 mL Becherglas (ca. 22 x)
- 250 mL Erlenmeyerkolben (1 x)
- 25 mL Erlenmeyerkolben (4 x)
- Eppendorf-Pipetten mit Spitzen
- 20 mL Vollpipette (1 x)
- 10 mL Vollpipette (2 x)
- 5 mL Vollpipette (4 x)
- 2 mL Vollpipette (1 x)
- 5 mL Messpipette (1 x)
- Peleusball
- Trichter (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- Spatel (2 x)
- VIS-Küvette (ca. 20 x)
- Magnetrührer (2 x)
- Stoppuhr
- Waage
- Wasserbad
- Trockenschrank
- pH-Meter mit Kalibrierlösungen
- Photometer
- Wägegläschen

Lebensmittel & Chemikalien:

- verschiedene Honige
- Essigsäure (Eisessig)
- Iod (doppelt sublimiert)
- Kaliumiodid
- lösliche Stärke
- Natriumacetat Trihydrat
- Natriumchlorid
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung der Lösungen

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Essigsäure (Eisessig)		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Iod (doppelt sublimiert)		Gefahr	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen • schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition • sehr giftig für Wasserorganismen • gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder Einatmen
Kaliumiodid		Gefahr	• schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition
Natriumacetat Trihydrat	-	-	-
Natriumchlorid	-	-	-
Stärke (löslich)	-	-	-

Herstellung von Lösungen

Stärke-Lösung: 2 g getrocknete, lösliche Stärke mit 90 mL dest. Wasser versetzen, schnell zum Sieden erhitzen und etwa 3 min am Sieden halten. Die heiße Lösung in einen 100 mL Messkolben überführen und unter fließendem Wasser auf Raumtemperatur abkühlen. Den Messkolben mit dest. Wasser bis zur Marke auffüllen.

Iod-Stammlösung: 11 g doppelt sublimiertes Iod + 22 g Kaliumiodid in dest. Wasser lösen und auf 500 mL mit dest. Wasser auffüllen

verdünnte Iod-Lösung: 20 g Kaliumiodid in dest. Wasser lösen + 2 mL Iod-Stammlösung und auf 500 mL mit dest. Wasser auffüllen

Pufferlösung (pH = 5,3): 43,5 g Natriumacetat in dest. Wasser lösen, pH-Wert mit Eisessig auf pH = 5,3 einstellen und mit dest. Wasser auf 250 mL auffüllen.

Bitte suchen Sie sich zwei, der zur Verfügung stehenden, Honige für die Bestimmung der Diastase-Aktivität aus!

Ablauf:

- a) Vorbereitung der Probe
- b) Herstellen der Probelösung
- c) Kalibrierung der Reaktionsmischung (Blauwert-Einstellung)
- d) Bestimmung der Diastase-Aktivität
- e) Blindwertkontrolle

Durchführung:

a) Vorbereitung der Probe

- der flüssige oder kandierte Honig wird mit dem Spatel zum Homogenisieren für ca. 2 Minuten intensiv gerührt

b) Herstellen der Probelösung

- ca. 10 g homogenisierter Honig werden in ein 100 mL Becherglas eingewogen
- es werden 20 mL dest. Wasser, 5 mL Natriumacetat-Pufferlösung und ein Magnetkern hinzugegeben
- das Becherglas wird auf den Magnetrührer gestellt und so lange gerührt, bis sich der Honig vollständig gelöst hat
- in einen 50 mL Messkolben werden 3 mL Natriumchlorid-Lösung (0,5 mol/L) pipettiert
- die Honiglösung aus dem Becherglas wird mithilfe eines Trichters in den vorbereiteten Messkolben überführt
- das Becherglas mit Magnetkern wird zweimal mit 5 mL dest. Wasser nachgespült und in den Messkolben gegeben
- der Messkolben wird bis zur Marke mit dest. Wasser aufgefüllt, mit dem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt
- die Probelösung kann zur Bestimmung der Diastase-Aktivität verwendet werden (Abschnitt d))

c) Kalibrierung der Reaktionsmischung (Blauwert-Einstellung)

- es werden vier Bechergläser bereitgestellt, die mit 16 mL, 19 mL, 22 mL und 25 mL beschriftet und mit der entsprechenden Menge an dest. Wasser befüllt werden
- es werden jedem Becherglas 5 mL verdünnte Iod-Lösung hinzugefügt
- in das erste Becherglas werden 0,5 mL des Stärke-Wasser-Gemisches pipettiert und das Becherglas geschwenkt
- ein Teil dieser Lösung wird in eine Küvette überführt und sofort die Extinktion bei 660 nm gegen Wasser als Blindwert gemessen
- mit den anderen Bechergläsern wird äquivalent verfahren
- die optische Dichte muss zwischen E = 0,770 und E = 0,745 liegen
- sollte keiner der gemessenen Werte in diesem Bereich liegen, müssen weitere Bechergläser mit unterschiedlichen Mengen an dest. Wasser gefüllt und äquivalent behandelt werden
- diese ermittelte Wassermenge ist die Standardverdünnung für alle mit Stärke-Lösung durchgeführten Bestimmungen

d) Bestimmung der Diastase-Aktivität
- in einen 25 mL Erlenmeyerkolben werden 10 mL Probelösung pipettiert und in einen zweiten 25 mL Erlenmeyerkolben 5 mL Stärkelösung
- die beiden Erlenmeyerkolben werden in ein 40 °C temperiertes Wasserbad gestellt und für 15 Minuten erwärmt
- nach Ablauf der 15 Minuten wird die Stärke-Lösung in den Erlenmeyerkolben mit Probelösung überführt, ordentlich geschwenkt, der Erlenmeyerkolben wieder in das temperierte Wasserbad zurückgestellt und die Stoppuhr gestartet (t = 0)
- in periodischen Zeitabständen (erstmals nach 3 Minuten) werden 0,5 mL der Reaktionsmischung aus dem Erlenmeyerkolben entnommen (Stoppen der Reaktion) und schnell zu 5 mL verdünnter Iod-Lösung in einem 50 mL Becherglas gegeben
- es wird die ermittelte Wassermenge aus c) zugegeben und der Becherglasinhalt mittels Schwenken gut durchmischt
- ein Teil der Probenmesslösung wird in eine Küvette überführt und gegen Wasser als Blindwert bei 660 nm photometrisch gemessen
- die Zeitabstände sind so zu wählen, dass 3 – 4 Messwerte der Extinktion im Bereich zwischen E = 0,456 und E = 0,155 liegen

e) Blindwertkontrolle
- 10 mL Probelösung werden mit 5 mL dest. Wasser in ein 50 mL Becherglas versetzt und gut durchmischt
- 0,5 mL dieser Lösung werden zu 5 mL verdünnter Iod-Lösung gegeben, die sich in einem 50 mL Becherglas befindet
- die ermittelte Wassermenge aus c) wird hinzugegeben und die Lösung mittels Schwenken gut durchmischt
- ein Teil der Blindwertlösung wird in eine Küvette überführt und gegen Wasser bei 660 nm photometrisch gemessen
- ergibt sich hierbei eine messbare Extinktion, dann wird dieser Blindwert von den erhaltenen Messwerten aus d) abgezogen

Geräteparameter:
- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Fixed Wavelength Measurement
- Detektion: 660 nm

Beobachtung:

Probe	Zeit [min]	Extinktion

Entsorgung:

Die Probelösungen aus den Messkolben können im Ausguss entsorgt werden.
Die Lösungen aus der Kalibrierung der Reaktionsmischung (Blauwert-Einstellung), die Lösungen der Blindwertkontrolle und die Lösungen, die bei der Bestimmung der Diastase-Aktivität vorliegen, werden im Behälter für halogenhaltige Lösemittel entsorgt.
Der Inhalt aus den Küvetten wird ebenfalls im Behälter für halogenhaltige Lösemittel entsorgt.
Die Küvetten und die Pipettenspitzen werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Zur Auswertung der Diastase-Aktivität in verschiedenen Honigen werden in Excel oder Origin die Extinktionswerte der Probelösungen, gegebenenfalls. nach Abzug des Extinktionswertes für den Blindwert, gegen die entsprechenden Reaktionszeiten in Minuten aufgetragen. Dazu werden nur die Messpunkte im Bereich von E = 0,456 bis E = 0,155 betrachtet. Für die Messpunkte in diesem Extinktionsbereich wird eine lineare Regression durchgeführt und so der Zeitpunkt t_x in Minuten für E = 0,301 ermittelt.

Um die gemessene Reaktionszeit t_x auszuwerten, kann die dies auch anstelle von digitalen Medien mithilfe von Millimeterpapier durchgeführt werden. Dafür werden alle Extinktionswerte der Probelösungen gegen die entsprechende Reaktionszeit in Minuten aufgetragen. Durch die im Extinktionsbereich von E = 0,155 bis E = 0,456 liegenden Messpunkte wird eine Ausgleichsgerade gezeichnet. Damit kann der Zeitpunkt t_x für E = 0,301 ermittelt werden.

Die Diastase-Aktivität wird häufig in Form der Diastase-Zahl (*DZ*) angegeben. Die Diastase-Zahl wird mit der folgenden Gleichung berechnet.

$$DZ = \frac{300}{t_x}$$

Probe	**ermittelte Reaktionszeit t_x [min]**	**Diastase-Zahl**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird die nachfolgende Tabelle herangezogen Die Tabelle zeigt die Mindestgehalte der Diastase-Zahl in Honigen gemäß § 2 Absatz 1 in Verbindung mit Anlage 2 Abschnitt II Nr. 7 der Honigverordnung (HonigV).

Honig	**Diastase-Zahl nach Schade**
Honige im Allgemeinen mit Ausnahme von Backhonig	mindestens 8
Honigarten mit einem geringen natürlichen Enzymgehalt (z. B. Zitrushonig) und einem Hydroxymethylfurfuralgehalt von höchstens 15 mg/kg	mindestens 3

Unterschreitet ein Speisehonig die mindestens geforderte Diastase-Zahl, dann muss der Honig nicht entsorgt werden, sondern kann weiterhin als Back- oder Industriehonig in den Verkehr gebracht.

E.12 V 12: Bestimmung des Ethanolgehaltes in alkoholischen Getränken mittels Enzymatik & Photometrie

Materialien:

- 50 mL Schraubdeckelglas (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (4 x)
- Eppendorf-Pipetten mit Spitzen
- 15 mL Vollpipette (1 x)
- 5 mL Messpipette (5 x)
- Peleusball
- Pinzette
- UV-Küvette mit Deckel (5 x)
- Stoppuhr
- Ultraschallbad
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- Berliner Kindl Himbeer
- Berliner Kindl Waldmeister
- Corona
- Desperados
- Dos Mas Berry Pink
- Gin
- Itarol
- Jägermeister
- Korn
- Sourz Apple
- Wodka
- Enzymkit (Ethanol UV-Test) Flaschen 1 – 3
- destilliertes Wasser

Bitte suchen Sie sich vier der vorne angegebenen alkoholischen Getränke/Spirituosen zur enzymatischen Bestimmung des Ethanolgehaltes aus!

Vorbereitung des Enzymtestkits:

Flasche 1: Kaliumdiphosphatpuffer-Lösung
Flasche 2: Nicotinamid-adenin-dinucleotid/Aldehyd-Dehydrogenase Tabletten (NAD/Al-DH-Tabletten)
Flasche 3: Alkohol-Dehydrogenase-Suspension (ADH-Suspension)

Herstellung der Reagenzlösung:

- es werden 10 Tabletten aus Flasche 2 des Enzymkits mit einer Pinzette entnommen und in ein 50 mL Schraubdeckelglas gegeben
- 30 mL aus Flasche 1 des Enzymkits werden hinzugegeben und die Tabletten in der Flüssigkeit durch Schwenken gelöst
- dann werden 0,5 mL aus Flasche 3 des Enzymkits in das Schraubdeckelglas hinzupipettiert und geschwenkt

Diese Reagenzlösung wird nun für die anschließende Bestimmung des Ethanolgehaltes in verschiedenen alkoholischen Getränken und Spirituosen verwendet.

Durchführung:

Da alkoholische Getränke flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung des Ethanolgehaltes mittels Enzymatik nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

Die alkoholhaltigen Getränke und Spirituosen werden wie folgt im Messkolben verdünnt:

- Desperados, Corona, Berliner Kindl Himbeere, Berliner Kindl Waldmeister: 1:1000 (0,1 mL des alkoholischen Getränks werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Markierung aufgefüllt)
- Itarol, Sourz Apple 1:1000
  (0,1 mL des alkoholischen Getränks werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Markierung aufgefüllt)
- Dos Mas Berry Pink, Korn, Wodka, Gin, Jägermeister: 1:10000
  (0,01 mL der Spirituose werden in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Markierung aufgefüllt)

Messung des Ethanolgehaltes:

- in die vier Proben- und die eine Blindwertküvette werden je 3 mL Reagenzlösung pipettiert
- die Extinktionen der Lösungen werden am Photometer bei 340 nm gegen eine leere Küvette gemessen (gemessene Extinktion E_1 von den Probenwerten und vom Blindwert notieren)
- anschließend erfolgt die Zugabe der verdünnten Probelösungen und die Reaktion startet
  - zum Blindwert werden 0,1 mL dest. Wasser und zu den Probenküvetten 0,1 mL der jeweiligen Probelösung hinzugegeben
  - die Küvetten werden mit einem Deckel verschlossen, vorsichtig zwei- bis dreimal umgeschwenkt und 7 Minuten stehen gelassen
  - nach Ablauf der 7 Minuten werden die Küvetten erneut vorsichtig umgeschwenkt, die Deckel abgenommen und die Extinktionen der Lösungen in der Blindwert- und den Probenküvetten gemessen
    (gemessene Extinktion E_2 von den Probenwerten und vom Blindwert notieren)

Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Fixed Wavelength Measurement
- Detektion: 340 nm

Beobachtung:

Probe/Blindwert	Extinktion 1 (E_1)	Extinktion 2 (E_2)

Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen der alkoholischen Getränke/Spirituosen und die Küvetteninhalte können im Ausguss entsorgt werden.
Die Küvetten werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Das Ethanol in den alkoholischen Getränken/Spirituosen wird in Gegenwart des Enzyms Alkohol-Dehydrogenase (ADH) durch Nicotinamid-adenin-dinucleotid (NAD) zu Acetaldehyd oxidiert.

$$\text{Ethanol} + NAD^+ \rightleftharpoons \text{Acetaldehyd} + NADH + H^+$$

Anschließend wird der Acetaldehyd in Gegenwart des Enzyms Aldehyd-Dehydrogenase (AlDH) quantitativ zu Essigsäure oxidiert.

$$\text{Acetaldehyd} + NAD^+ + H_2O \rightleftharpoons \text{Essigsäure} + NADH + H^+$$

NADH kann als Messgröße bei einer Absorption von 340 nm gemessen werden.

Um den Gehalt an Ethanol quantitativ zu bestimmen, muss mit den gemessenen Extinktionswerten die Extinktionsdifferenz mit folgender Gleichung berechnet werden.

$$\Delta E = (E_2 - E_1)_{Probe} - (E_2 - E_1)_{Blindwert}$$

mit
ΔE = Extinktionsdifferenz
E_1 = Extinktion des Blindwertes/der Probe vor Zugabe der Probelösung
E_2 = Extinktion des Blindwertes/der Probe nach Zugabe der Probelösung und einer Reaktionszeit von 7 Minuten

Probe	**Extinktionsdifferenz (ΔE)**

Mithilfe der Extinktionsdifferenz kann der Gehalt an Ethanol in Gramm/Liter Probelösung nachfolgender Gleichung berechnet werden.

$$\beta\ [g/L] = \frac{V \cdot MG}{\varepsilon \cdot d \cdot v \cdot 2 \cdot 1000} \cdot \Delta E \cdot F$$

mit
V = Testvolumen [mL]
v = Probevolumen [mL]
MG = Molekulargewicht der zu bestimmenden Substanz [g/mol]
d = Schichtdicke [cm]
ε = Extinktionskoeffizient von NADH bei 340 nm = 6,3 [L/mmol·cm]
ΔE = Extinktionsdifferenz
F = Verdünnungsfaktor

Durch Einsetzen der Werte in die Gleichung ergibt sich der Gehalt an Ethanol in Gramm/Liter Probelösung.

$$\beta\ [g/L] = \frac{3{,}100 \cdot 46{,}07}{6{,}3 \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}100 \cdot 2 \cdot 1000} \cdot \Delta E \cdot F = \frac{0{,}714}{6{,}3} \cdot \Delta E \cdot F$$

Probe	**Extinktionsdifferenz (ΔE)**	**Verdünnungsfaktor**	**Ethanolgehalt [g/L]**

Der Gehalt an Ethanol in Gramm/Liter Probelösung wird mit der Dichte von Ethanol bei 25°C in den Ethanolgehalt in Prozent mit folgender Gleichung umgerechnet.

$$\text{Prozent}_{\text{Ethanol}}\ [\%] = \frac{\beta_{\text{Ethanol}}\ [\frac{g}{L\ \text{Probelösung}}]}{10 \cdot 0{,}78924\ [\frac{g}{mL}]}$$

Probe	**Ethanolgehalt [g/L]**	**Ethanolgehalt [%]**

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird ein Vergleich des ermittelten prozentualen Ethanolgehaltes der einzelnen alkoholischen Getränke/Spirituosen mit den auf den Flaschen angegebenen Ethanolgehalten [% vol.] angestellt. In der nachfolgenden Tabelle sind die auf den Flaschen angegebenen Ethanolgehalte in % vol. dargestellt.

Alkoholisches Getränk	**Ethanolgehalt [% vol.]**
Desperados	5,9
Corona	4,5
Itarol	15,0
Sourz Apple	15,0
Berliner Kindl Himbeer	3,0
Berliner Kindl Waldmeister	3,0
Dos Mas Berry Pink	17,0
Korn	32,0
Wodka	37,5
Gin	37,5
Jägermeister	35,0

E.13 V 13: Bestimmung des Ethanolgehaltes in Honig mittels Enzymatik & Photometrie

Materialien:

- 100 mL Schraubdeckelglas (2 x)
- 50 mL Schraubdeckelglas (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Becherglas (2 x)
- Eppendorf-Pipetten mit Spitzen
- 15 mL Vollpipette (1 x)
- 5 mL Messpipette (1 x)
- Peleusball
- Trichter (4 x)
- Faltenfilter (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- Pinzette
- UV-Küvette mit Deckel (4 x)
- Magnetrührer mit Heizfunktion (2 x)
- Stoppuhr
- Waage
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- verschiedene Honige
- Enzymkit (Ethanol UV-Test) Flaschen 1 – 3
- destilliertes Wasser

Bitte suchen Sie sich zwei, der zur Verfügung stehenden, Honige zur enzymatischen Bestimmung des Ethanolgehaltes aus!

Vorbereitung des Enzymtestkits:

Flasche 1: Kaliumdiphosphatpuffer-Lösung
Flasche 2: Nicotinamid-adenin-dinucleotid/Aldehyd-Dehydrogenase Tabletten (NAD/Al-DH-Tabletten)
Flasche 3: Alkohol-Dehydrogenase-Suspension (ADH-Suspension)

Herstellung der Reagenzlösung:

- es werden 5 Tabletten aus Flasche 2 des Enzymkits mit einer Pinzette entnommen und in ein 50 mL Schraubdeckelglas gegeben
- 15 mL aus Flasche 1 des Enzymkits werden hinzugegeben und die Tabletten in der Flüssigkeit durch Schwenken gelöst
- Die Reagenzlösung und die Lösung aus Flasche 3 werden nun für die anschließende Alkoholgehaltsbestimmung in verschiedenen Honigen verwendet.

Durchführung:

- der flüssige oder kandierte Honig wird mit dem Spatel zur Homogenisierung für ca. 2 Minuten intensiv gerührt
- ca. 20 g homogenisierter Honig wird in ein 100 mL Becherglas eingewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 50 mL dest. Wasser und ein Magnetkern hinzugegeben
- das Becherglas wird auf den Magnetrührer mit Heizfunktion gestellt und bei 50 °C so lange gerührt, bis sich der Honig vollständig gelöst hat
- die Probe wird auf Raumtemperatur abgekühlt und dann mithilfe eines Trichters in einen 100 mL Messkolben überführt
- das Becherglas mit Magnetkern wird zweimal mit ca. 10 mL dest. Wasser nachgespült und in den Messkolben überführt
- der Messkolben wird bis zur Marke mit dest. Wasser aufgefüllt
- anschließend wird die Probelösung durch einen Trichter mit Faltenfilter in ein 100 mL Schraubdeckelglas filtriert
- die filtrierte Probelösung wird zur Bestimmung des Ethanolgehaltes eingesetzt

Messung des Ethanolgehaltes:

- in die zwei Proben- und die eine Blindwertküvette werden je 3 mL Reagenzlösung pipettiert
- zum Blindwert werden 0,1 mL dest. Wasser und zu den Proben 0,1 mL der jeweiligen Probelösung hinzugegeben
- die Küvette wird mit einem Deckel verschlossen und vorsichtig zwei- bis dreimal umgeschwenkt; danach wird der Deckel vorsichtig abgenommen.
- die Extinktionen der Lösungen werden nach 3 Minuten am Photometer bei 340 nm gegen eine leere Küvette gemessen
  (gemessene Extinktion E_1 von den Probenwerten und vom Blindwert notieren)
- anschließend erfolgt die Zugabe der Lösung aus Flasche 3 und die Reaktion startet
  - es werden in die Küvetten (Blindwert und Proben) jeweils 0,05 mL Lösung aus Flasche 3 hinzugegeben
  - die Küvette wird wieder mit einem Deckel verschlossen, vorsichtig zwei bis dreimal umgeschwenkt und 7 Minuten stehen gelassen
  - nach Ablauf der 7 Minuten werden die Küvetten erneut vorsichtig umgeschwenkt, die Deckel abgenommen und die Extinktionen der Lösungen in den Blindwert- und Probenküvetten gemessen
    (gemessene Extinktion E_2 von den Probenwerten und vom Blindwert notieren)

Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Fixed Wavelength Measurement
- Detektion: 340 nm

Beobachtung:

Probe/Blindwert	Einwaage [g]	Extinktion 1 (E_1)	Extinktion 2 (E_2)

Entsorgung:
Die verdünnten Probelösungen der verschiedenen Honige und die Küvetteninhalte können im Ausguss entsorgt werden.
Die Küvetten werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:
Das Ethanol in den verschiedenen Honigen wird in Gegenwart des Enzyms Alkohol-Dehydrogenase (ADH) durch Nicotinamid-adenin-dinucleotid (NAD) zu Acetaldehyd oxidiert.

$$\text{Ethanol} + NAD^+ \rightleftharpoons \text{Acetaldehyd} + NADH + H^+$$

Anschließend wird der Acetaldehyd in Gegenwart des Enzyms Aldehyd-Dehydrogenase (Al-DH) quantitativ zu Essigsäure oxidiert.

$$\text{Acetaldehyd} + NAD^+ + H_2O \rightarrow \text{Essigsäure} + NADH + H^+$$

NADH kann als Messgröße bei einer Absorption von 340 nm gemessen werden.

Um den Gehalt an Ethanol quantitativ zu bestimmen, muss mit den gemessenen Extinktionswerten die Extinktionsdifferenz mit folgender Gleichung berechnet werden.

$$\Delta E = (E_2 - E_1)_{Probe} - (E_2 - E_1)_{Blindwert}$$

mit
ΔE = Extinktionsdifferenz
E_1 = Extinktion des Blindwertes/der Probe vor Zugabe der Lösung aus Flasche 3
E_2 = Extinktion des Blindwertes/der Probe nach Zugabe der Lösung aus Flasche 3 und einer Reaktionszeit von 7 Minuten

Probe	**Extinktionsdifferenz (ΔE)**

Mithilfe der Extinktionsdifferenz kann der Gehalt an Ethanol in Gramm/Liter Probelösung nach folgender Gleichung berechnet werden.

$$\beta\ [g/L] = \frac{V \cdot MG}{\varepsilon \cdot d \cdot v \cdot 2 \cdot 1000} \cdot \Delta E \cdot F$$

mit
V = Testvolumen [mL]
v = Probevolumen [mL]
MG = Molekulargewicht der zu bestimmenden Substanz [g/mol]
d = Schichtdicke [cm]
ε = Extinktionskoeffizient von NADH bei 340 nm = 6,3 [L/mmol·cm]
ΔE = Extinktionsdifferenz
F = Verdünnungsfaktor

Durch Einsetzen der Werte in die Gleichung ergibt sich der Gehalt an Ethanol in Gramm/Liter Probelösung.

$$\beta\ [g/L] = \frac{3{,}150 \cdot 46{,}07}{6{,}3 \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}100 \cdot 2 \cdot 1000} \cdot \Delta E \cdot F = \frac{0{,}7256}{6{,}3} \cdot \Delta E \cdot F$$

Probe	Extinktionsdifferenz (ΔE)	Ethanolgehalt [g/L]

Honig ist ein halbfestes Lebensmittel. Der Gehalt an Ethanol wird von Ethanol pro Liter Probelösung in Gramm pro 100 Gramm (Prozent) mit folgender Gleichung umgerechnet.

$$\text{Prozent}_{\text{Ethanol}}\ [g/100\ g] = \frac{\beta_{\text{Ethanol}}\ [\frac{g}{L\ \text{Probelösung}}]}{\text{Einwaage}_{\text{Probe}}[\frac{g}{L\ \text{Probelösung}}]} \cdot 100$$

Probe	Ethanolgehalt [g/L]	Ethanolgehalt [g/100 g; %]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann der nachfolgende Text herangezogen werden:
Gemäß § 2 Abs. 1 i. V. m. Anlage 2 Abschnitt 1 Honigverordnung (HonigV) darf Honig, mit Ausnahme von Backhonig, keinen fremden Geruch und Geschmack aufweisen und nicht in Gärung übergegangen beziehungsweise gegoren sein. Bei der alkoholischen Gärung entsteht als Hauptprodukt Ethanol. Darum ist Ethanol ein eindeutiger Parameter für einen in Gärung übergegangenen beziehungsweise gegorenen Honig. Durch die Gärung verändert sich der Geruch und Geschmack des Honigs. Die Menge an Ethanol, die dabei entsteht, ist abhängig von den gärenden Hefestämmen und der Wasserverfügbarkeit.
Ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die Honigqualität ist eine sachgerechte Lagerung. Um diese zu gewährleisten, muss der Honig trocken und in verschlossenen Gläsern stehen.
Zeigt sich mit zunehmender Temperatur eine Entmischung, dann geht der Honig wahrscheinlich in Gärung über.

Für den Ethanolgehalt in Honigen gibt es keine gesetzliche Höchstmenge, aber eine Empfehlung von staatlichen Laboratorien. Die Empfehlung liegt bei maximal 20 mg Ethanol pro Kilogramm Honig. Beim Überschreiten des Empfehlungswertes wird davon ausgegangen, dass die Honige in Gärung übergegangen sind oder sich schon einmal in Gärung befanden. Diese Honige dürfen nicht mehr als Speisehonig in den Verkehr gebracht werden. Damit die „Honige“ jedoch nicht entsorgt werden müssen, dürfen diese weiterhin als Back- oder Industriehonig vermarktet werden.

E.14 V 14: Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Photometrie

Materialien:

- 500 mL Vorratsflasche (3 x)
- 50 mL Becherglas (3 x)
- 5 mL Vollpipette (3 x)
- 2 mL Vollpipette (1 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Küvetten (4 x)
- Ultraschallbad
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- Berliner Kindl Himbeere
- Berliner Kindl Waldmeister
- Blue Curacao
- Dos Mas Berry Pink
- Sourz Apple
- Farbstoffvergleichslösung
  - Riboflavin (E 101)
  - Tartrazin (E 102)
  - Chinolingelb (E 104)
  - Gelborange (E 110)
  - Azorubin (E 122)
  - Amaranth (E 123)
  - Cochenillerot A (E 124)
  - Erythrosin (E 127)
  - Allurarot AC (E 129)
  - Patentblau V (E 131)
  - Indigotin (E 132)
  - Brilliantblau FCF (E 133)
  - Grün S (E 142)
  - Brilliantschwarz PN (E 151)
- destilliertes Wasser

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Allurarot AC (E 129)	-	-	-
Amaranth (E 123)	-	-	-
Azorubin (E 122)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Brilliantblau FCF (E 133)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Brilliant-schwarz (E 151)	-	-	-
Chinolingelb (E 104)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Cochenillerot A (E 124)	-	-	-
Erythrosin (E 127)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • kann für Wasserorganismen schädlich sein mit langfristiger Wirkung
Gelborange (E 110)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Grün S (E 142)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Indigotin (E 132)		Achtung	• kann allergische Hautreaktionen verursachen
Patentblau V (E 131)	-	-	-
Riboflavin (E 101)	-	-	-
Tartrazin (E 102)	-	-	-

Bitte verwenden Sie die drei alkoholischen Getränke, die Sie bereits für die Bestimmung der Farbstoffe mittels Dünnschichtchromatographie verwendet haben!

Durchführung:

Da alkoholische Getränke flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung der Farbstoffe mit dem Photometer nur die Entgasung (Berliner Kindl Himbeere und Waldmeister) der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der gegebenenfalls. entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die alkoholischen Getränke werden, für die Aufnahme des UV-VIS-Spektrums im Photometer wie folgt im Becherglas verdünnt:
  - Dos Mas Berry Pink 1:4
    (5 mL Dos Mas Berry Pink werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 20 mL aufgefüllt)
  - Blue Curacao: 1:10
    (2 mL Blue Curacao werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 20 mL aufgefüllt)
  - Sourz Apple: 1:2
    (5 mL Sourz Apple werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 10 mL aufgefüllt)
  - Berliner Kindl Himbeer: 1:4
    (5 mL entgastes Berliner Kindl Himbeer werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 20 mL aufgefüllt)

- Berliner Kindl Waldmeister: 1:2
  (5 mL entgastes Berliner Kindl Waldmeister werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 10 mL aufgefüllt)

- danach werden die Probelösungen mit Pasteurpipetten in die Küvetten pipettiert und das UV-VIS-Spektrum mit dem Photometer gegen das UV-VIS-Spektrum von dest. Wasser aufgenommen

Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Spectrameasurement
- Spektrenaufnahme: 800 – 200 nm

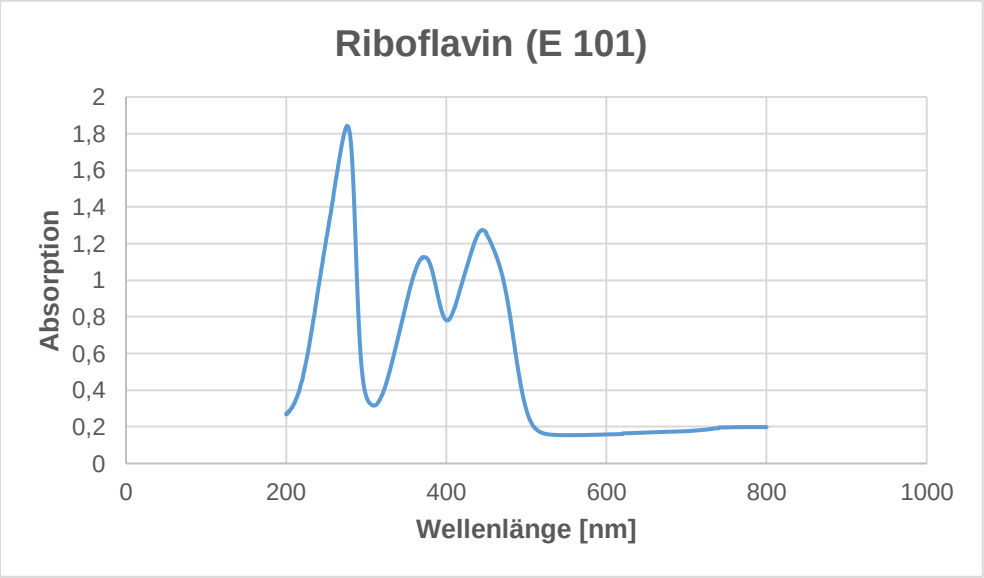
Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen und die Küvetteninhalte werden im Ausguss entsorgt.
Die entleerten Küvetten werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

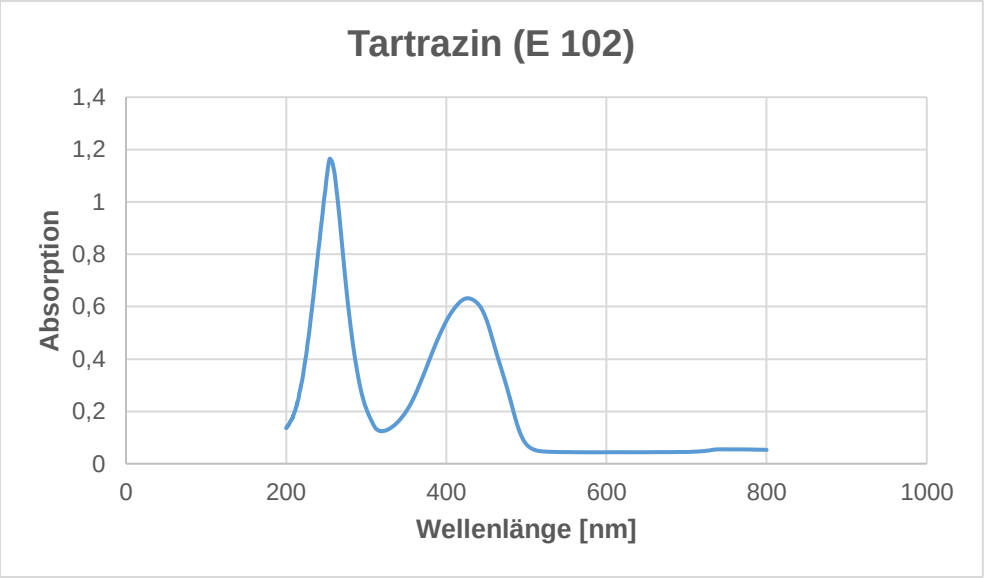
Die qualitative Auswertung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken erfolgt über den Vergleich der Maxima in den UV-VIS-Spektren der Probe mit den Maxima der UV-VIS-Spektren der Farbstoffvergleichslösungen (E 101; E 102; E 104; E 110, E122; E 123; E 124; E 127; E 129; E 131; E132; E 133; E 142; E 151).

Vergleichsspektren:



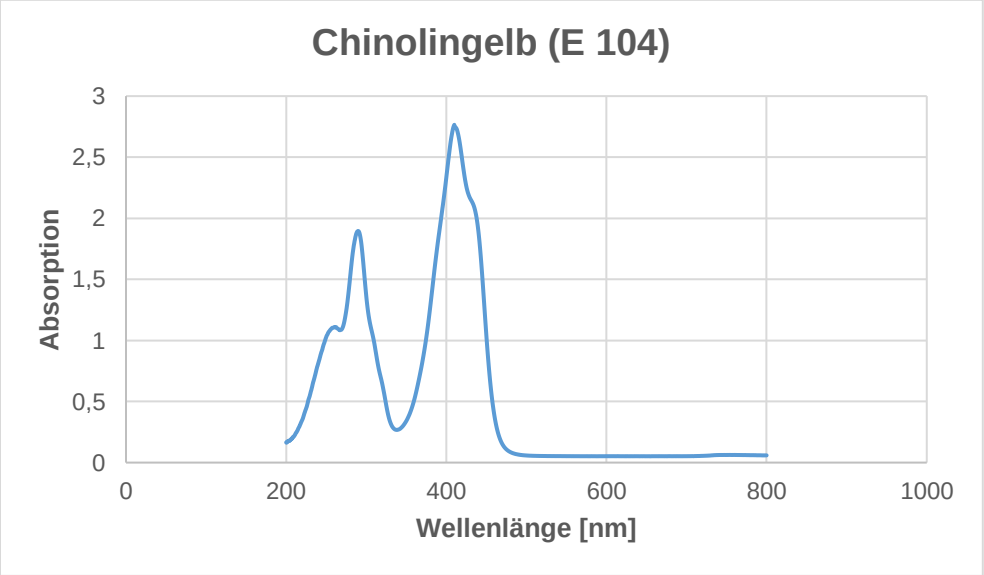
UV-Maxima von Riboflavin (E 101):

- **445 nm**
- 370 nm
- 276 nm



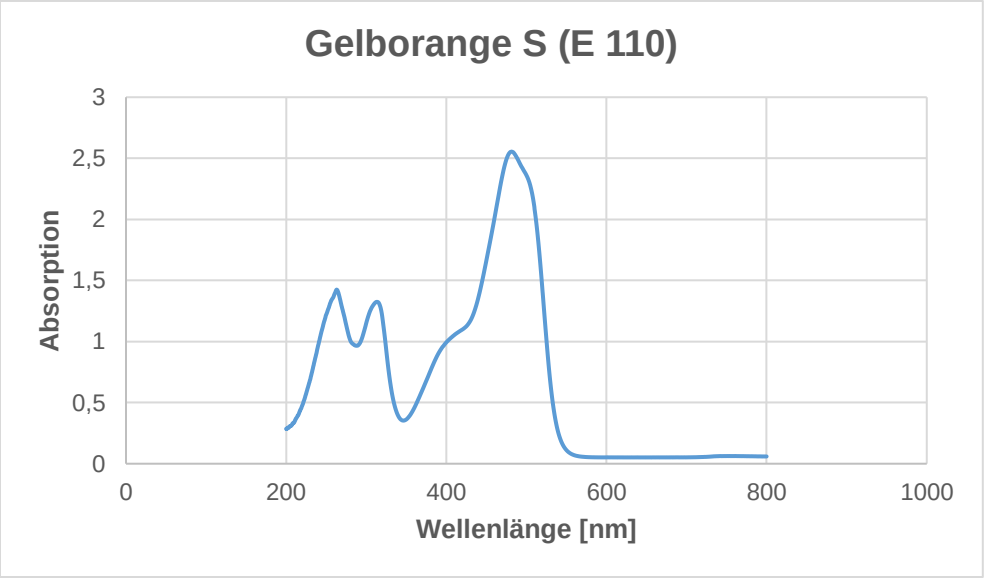
<u>UV-Maxima von Tartrazin (E 102):</u>

- **427 nm**
- 255 nm



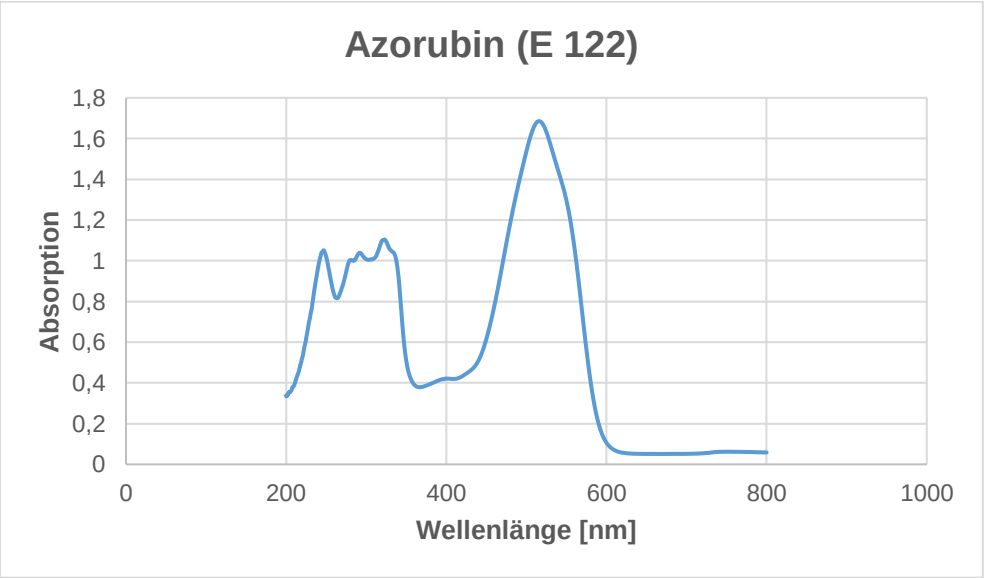
<u>UV-Maxima von Chinolingelb (E 104):</u>

- **411 nm**
- 289 nm
- 260 nm



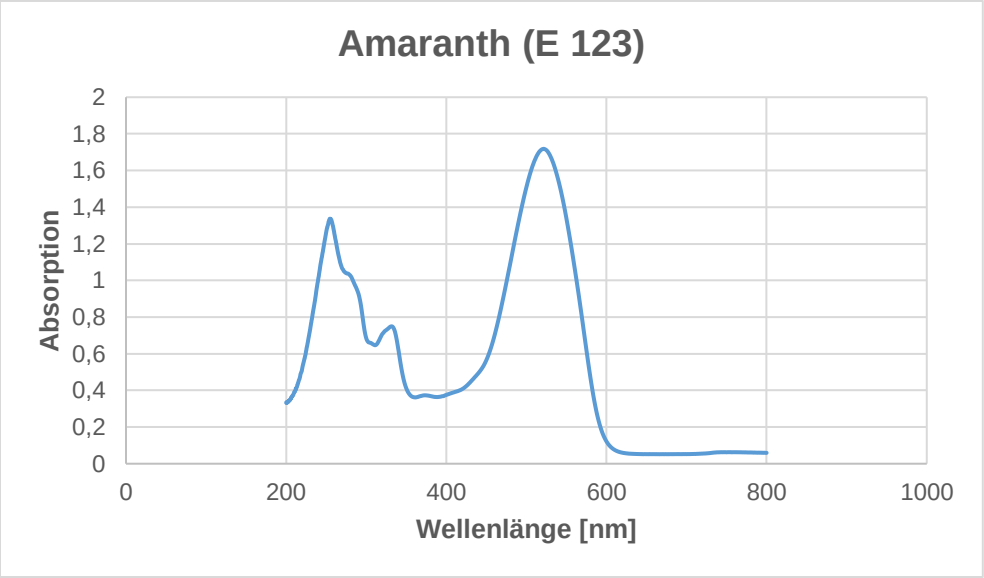
UV-Maxima von Gelborange S (E 110):

- **482 nm**
- 309 nm
- 256 nm



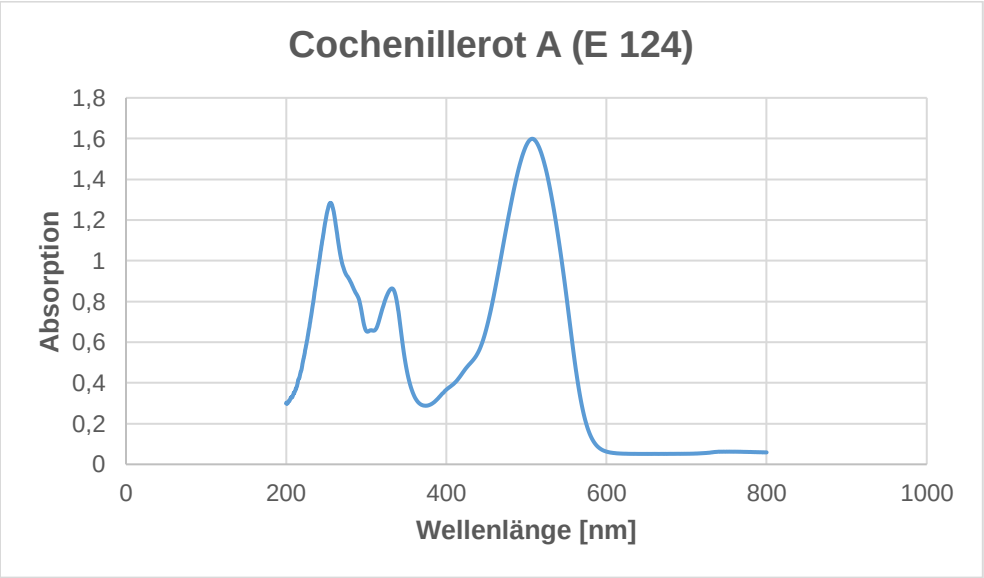
UV-Maxima von Azorubin (E 122):

- **516 nm**
- 323 nm
- 292 nm
- 247 nm



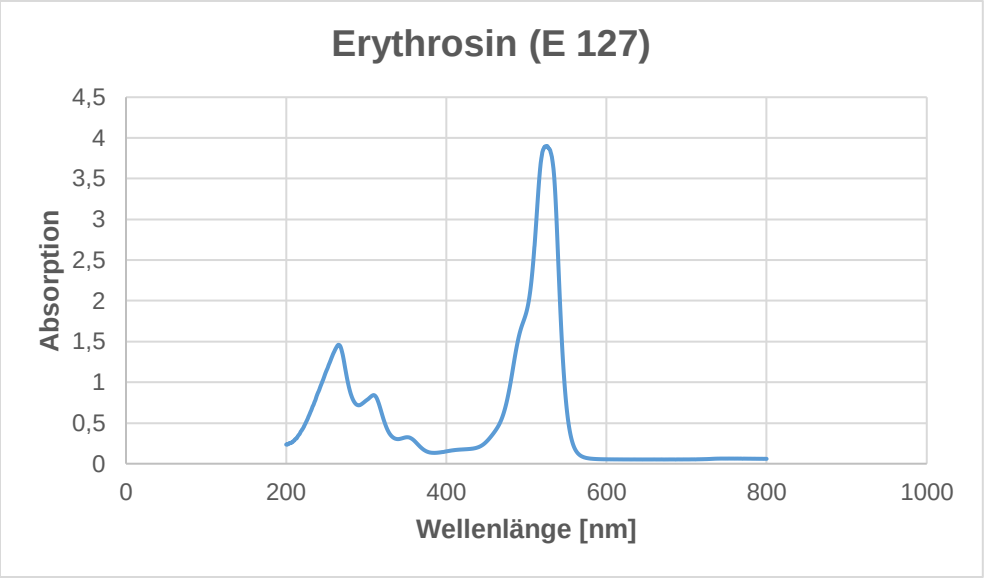
<u>UV-Maxima von Amaranth (E 123):</u>

- **522 nm**
- 332 nm
- 255 nm



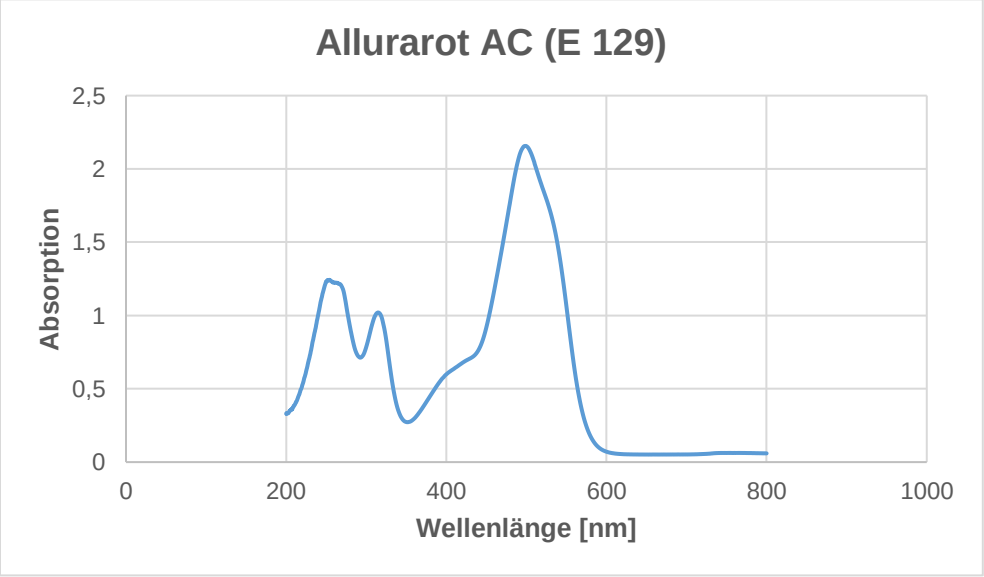
<u>UV-Maxima von Cochenillerot A (E 124):</u>

- **507 nm**
- 332 nm
- 255 nm



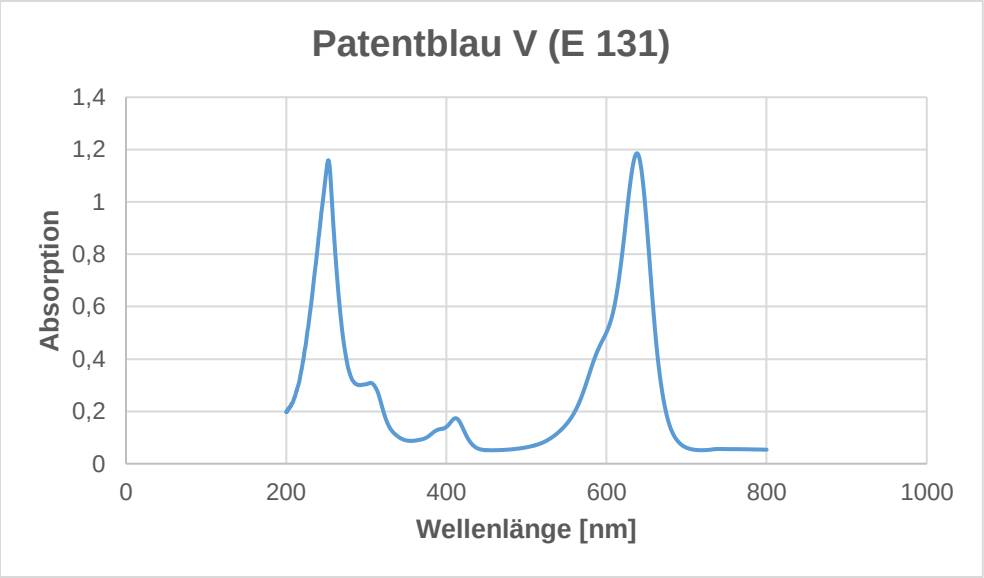
UV-Maxima von Erythrosin (E 127):

- **527 nm**
- 351 nm
- 307 nm
- 263 nm



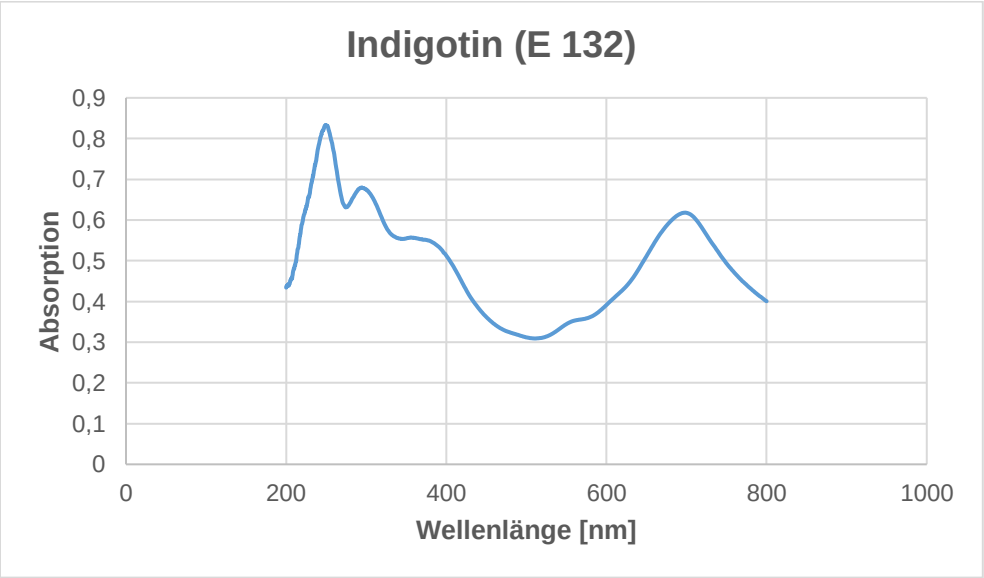
UV-Maxima von Allurarot AC (E 129):

- **499 nm**
- 315 nm
- 254 nm



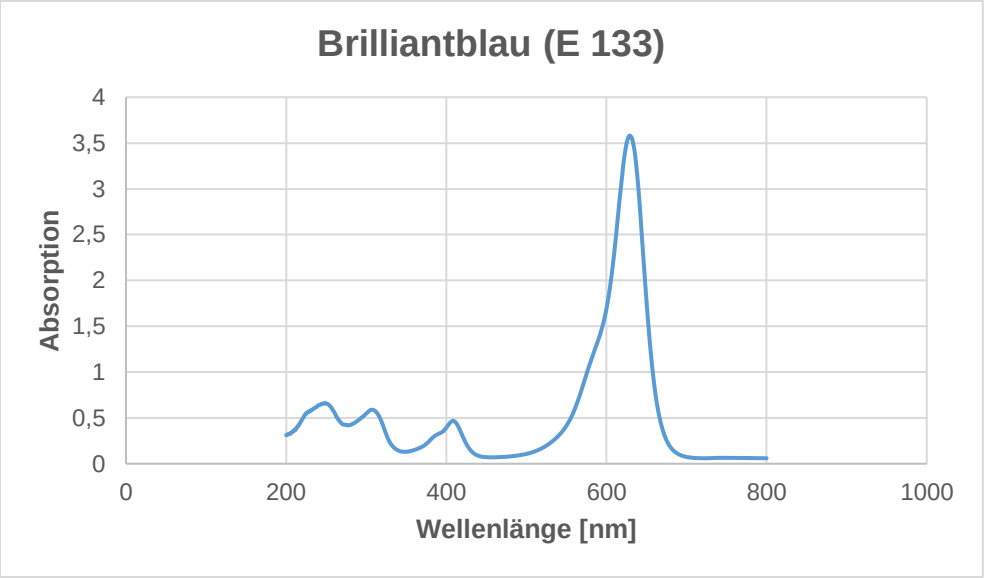
UV-Maxima von Patentblau V (E 131):

- **638 nm**
- 412 nm
- 252 nm



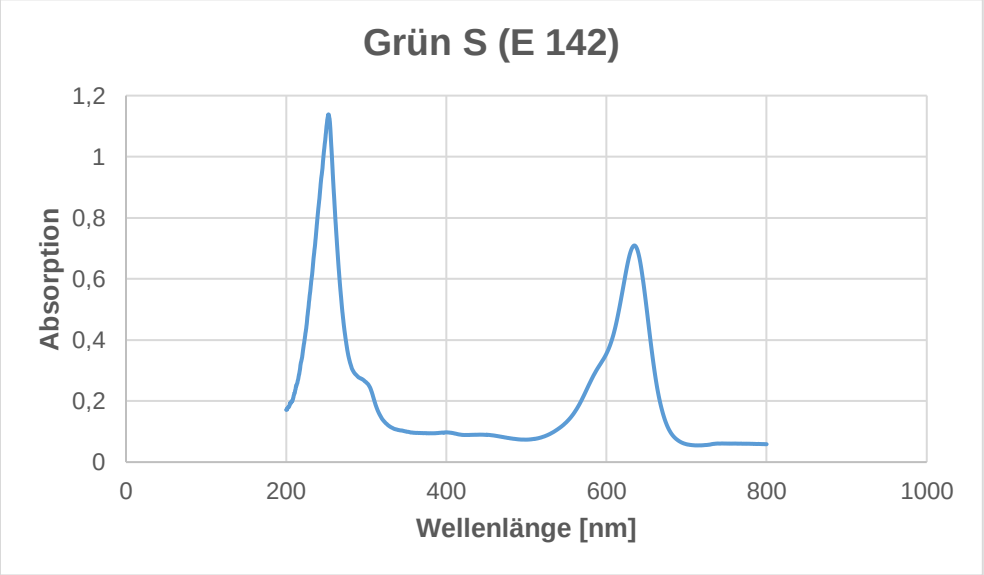
UV-Maxima von Indigotin (E 132):

- **698 nm**
- 295 nm
- 250 nm



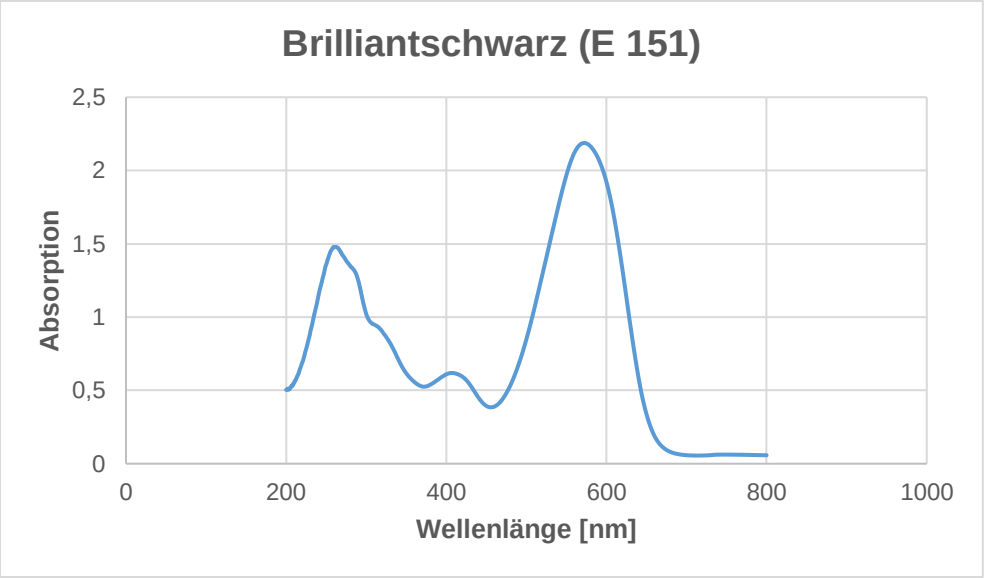
<u>UV-Maxima von Brilliantblau (E 133):</u>

- **629 nm**
- 409 nm
- 308 nm
- 248 nm



<u>UV-Maxima von Grün S (E 142):</u>

- **635 nm**
- 253 nm



UV-Maxima von Brilliantschwarz (E 151):

- **573 nm**
- 407 nm
- 263 nm

In der nachfolgenden Tabelle werden die UV-VIS-Maxima sowie die aus der Bestimmung resultierenden Farbstoffe der Proben eingetragen.

Probe	UV-VIS-Maxima	enthaltene Farbstoffe

Somit kann verglichen werden, ob sich die Ergebnisse aus der dünnschichtchromatographischen Bestimmung der Farbstoffe mit den Ergebnissen aus der Bestimmung der Farbstoffe mittels Photometrie decken. Dafür werden die Ergebnisse in der folgenden Tabelle gegenübergestellt.

Probe	enthaltene Farbstoffe (DC)	enthaltene Farbstoffe (Photometrie)

Gemäß Art. 4 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe dürfen nur die in der Gemeinschaftsliste in Anhang II aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe als solche in den Verkehr gebracht und unter den darin festgelegten Bedingungen in Lebensmitteln verwendet werden. Es dürfen nach Anhang II Teil B Nr. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 folgende Farbstoffe in Lebensmitteln eingesetzt werden:

E-Nummer	Bezeichnung
E 100	Kurkumin
E 101	**Riboflavin**
E 102	**Tartrazin**
E 104	**Chinolingelb**
E 110	**Gelborange S**
E 120	Echtes Karmin
E 122	**Azorubin (Carmoisin)**
E 123	**Amaranth**
E 124	**Cochenillerot A (Ponceau 4R)**
E 127	**Erythrosin**
E 129	**Allurarot AC**
E 131	**Patentblau V**
E 132	**Indigotin (Indigokarmin)**
E 133	**Brilliantblau FCF**
E 140	Chlorophylle und Chlorophylline
E 141	Kupferkomplexe der Chlorophylle und Chlorophylline
E 142	**Grün S**
E 150 a	Zuckerkulör
E 150 b	Sulfitlaugen-Zuckerkulör
E 150 c	Ammoniak- Zuckerkulör
E 150 d	Ammoniumsulfit- Zuckerkulör
E 151	**Brilliantschwarz PN**
E 153	Pflanzenkohle
E 155	Braun HAT
E 160 a	Carotin
E 160 b	Annatto (Bixin, Norbixin)
E 160 c	Paprikaextrakt (Capsanthin, Capsorubin)
E 160 d	Lycopin
E 160 e	Beta-apo-8´-Carotinal (C 30)
E 161 b	Lutein
E 161 g	Canthaxanthin
E 162	Betanin (Betenrot)
E 163	Anthocyane
E 170	Calciumcarbonat
E 171	Titandioxid
E 172	Eisenoxide oder Eisenhydroxide
E 173	Aluminium
E 174	Silber
E 175	Gold
E 180	Litholrubin BK

Um die Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird die nachfolgende Tabelle herangezogen. Diese enthält nur die Farbstoffe (vom Hersteller angegeben), die mit dieser Methode ermittelt werden.

Alkoholisches Getränk	enthaltene Farbstoffe
Berliner Kindl Himbeere	Azorubin (E 122) Patentblau V (E 131)
Berliner Kindl Waldmeister	Tartrazin (E 102) Patentblau V (E 131)
Darendraechter Blue Curacao	Brilliantblau FCF (E 133)
Dos Mas Berry Pink	Azorubin (E 122)
Sourz Apple	Tartrazin (E 102) Brilliantblau FCF (E 133)

E.15 V 15: Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Photometrie

Materialien:

- 500 mL Vorratsflasche (2 x)
- 50 mL Becherglas (2 x)
- 10 mL Vollpipette (1 x)
- 5 mL Vollpipette (1 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Küvetten (3 x)
- Ultraschallbad
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- Powerade blau (Mountain Blast)
- Powerade rot (Wild Cherry)
- Farbstoffvergleichslösung
  - Riboflavin (E 101)
  - Tartrazin (E 102)
  - Chinolingelb (E 104)
  - Gelborange (E 110)
  - Azorubin (E 122)
  - Amaranth (E 123)
  - Cochenillerot A (E 124)
  - Erythrosin (E 127)
  - Allurarot AC (E 129)
  - Patentblau V (E 131)
  - Indigotin (E 132)
  - Brilliantblau FCF (E 133)
  - Grün S (E 142)
  - Brilliantschwarz PN (E 151)
- destilliertes Wasser

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Allurarot AC (E 129)	-	-	-
Amaranth (E 123)	-	-	-
Azorubin (E 122)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Brilliantblau FCF (E 133)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Brilliant-schwarz (E 151)	-	-	-
Chinolingelb (E 104)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken
Cochenillerot A (E 124)	-	-	-

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Erythrosin (E 127)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • kann für Wasserorganismen schädlich sein mit langfristiger Wirkung
Gelborange (E 110)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Grün S (E 142)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Indigotin (E 132)		Achtung	• kann allergische Hautreaktionen verursachen
Patentblau V (E 131)	-	-	-
Riboflavin (E 101)	-	-	-
Tartrazin (E 102)	-	-	-

Durchführung:

Da Erfrischungsgetränke flüssig sind, erfolgt für die Bestimmung der Farbstoffe mit dem Photometer nur die Entgasung der Proben im Ultraschallbad und eine Verdünnung der entgasten Proben als Aufarbeitung.

- die Erfrischungsgetränke werden für die Aufnahme des UV-VIS-Spektrums im Photometer wie folgt im Becherglas verdünnt:
  - Powerade blau (Mountain Blast): 1:3
    (10 mL entgastes blaues Powerade werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 30 mL aufgefüllt)
  - Powerade rot (Wild Cherry): 1:8
    (5 mL entgastes rotes Powerade werden in ein 50 mL Becherglas pipettiert und mit dest. Wasser auf ca. 40 mL aufgefüllt)

- danach werden die Probelösungen mit Pasteurpipetten in die Küvetten pipettiert und das UV-VIS-Spektrum mit dem Photometer gegen das UV-VIS-Spektrum von dest. Wasser aufgenommen

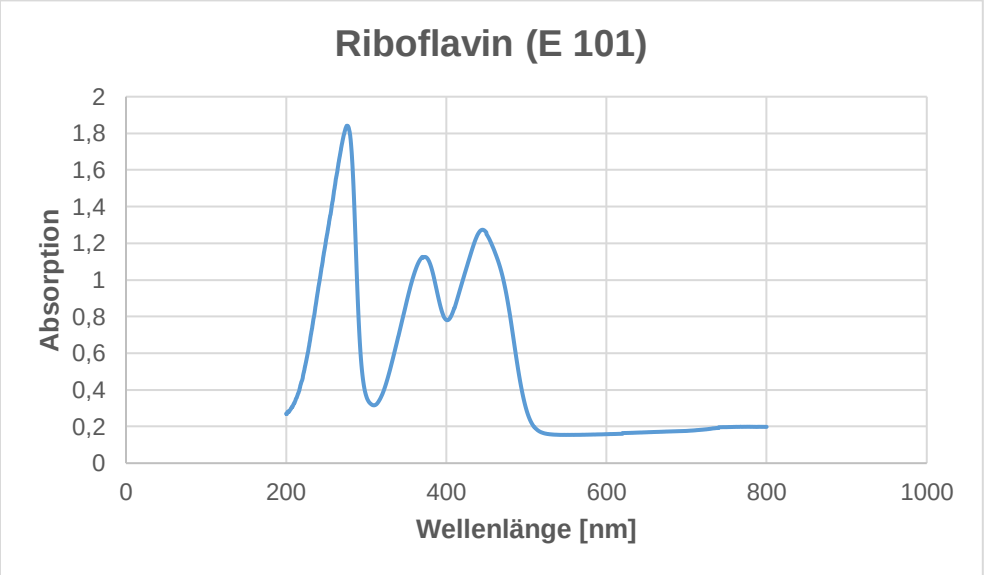
Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Spectrameasurement
- Spektrenaufnahme: 800 – 200 nm

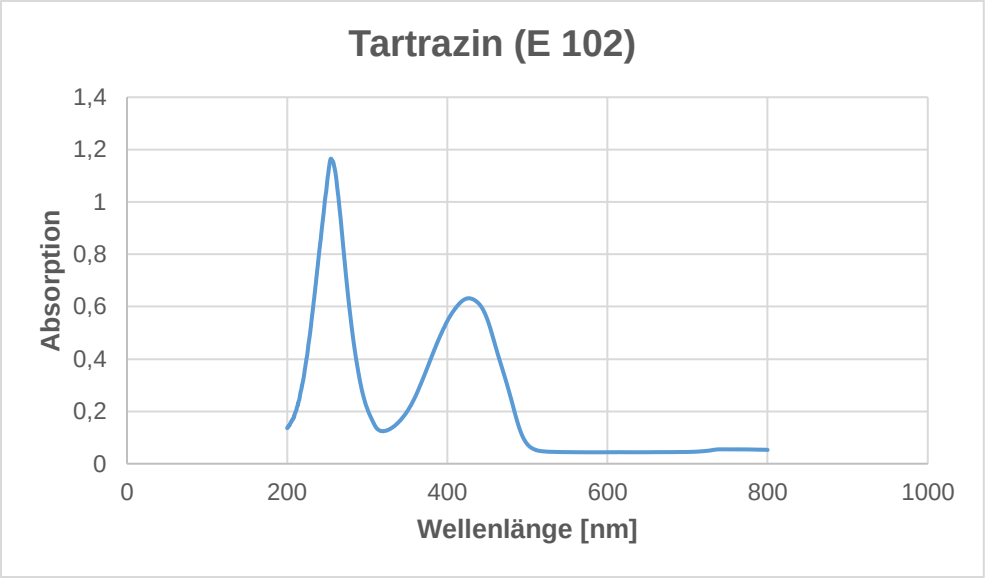
Entsorgung:
Die verdünnten Probelösungen und die Küvetteninhalte werden im Ausguss entsorgt.
Die entleerten Küvetten werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:
Die qualitative Auswertung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken erfolgt über den Vergleich der Maxima in den UV-VIS-Spektren der Probe mit den Maxima der UV-VIS-Spektren der Farbstoffvergleichslösungen (E 101; E 102; E 104; E 110, E122; E 123; E 124; E 127; E 129; E 131; E132; E 133; E 142; E 151).

Vergleichsspektren:

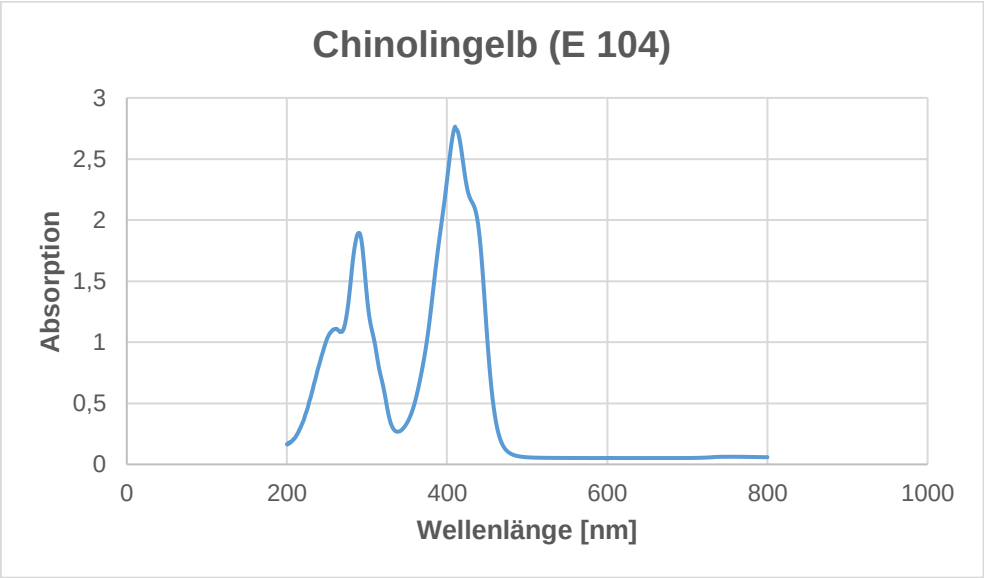


UV-Maxima von Riboflavin (E 101):
- **445 nm**
- 370 nm
- 276 nm



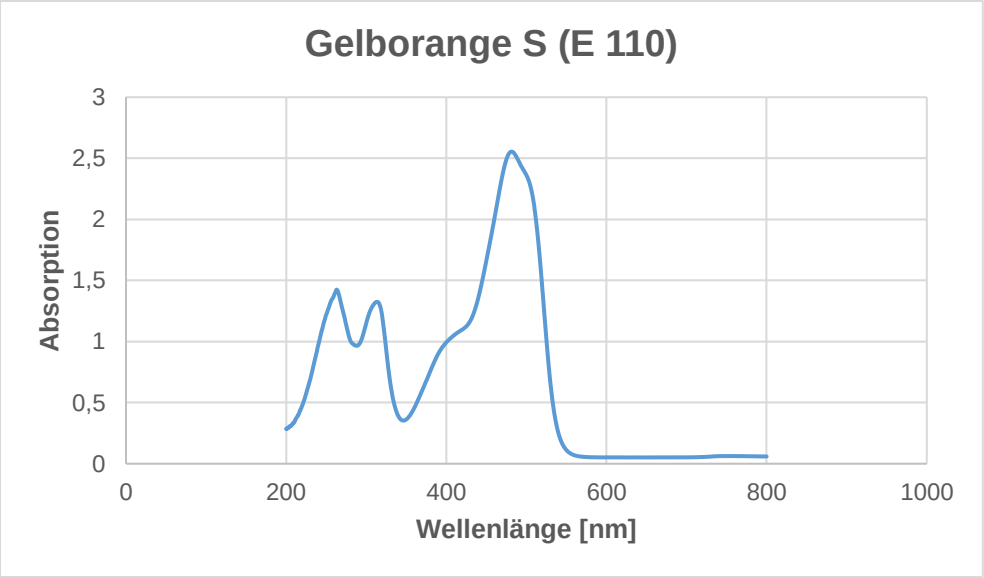
<u>UV-Maxima von Tartrazin (E 102):</u>

- **427 nm**
- 255 nm



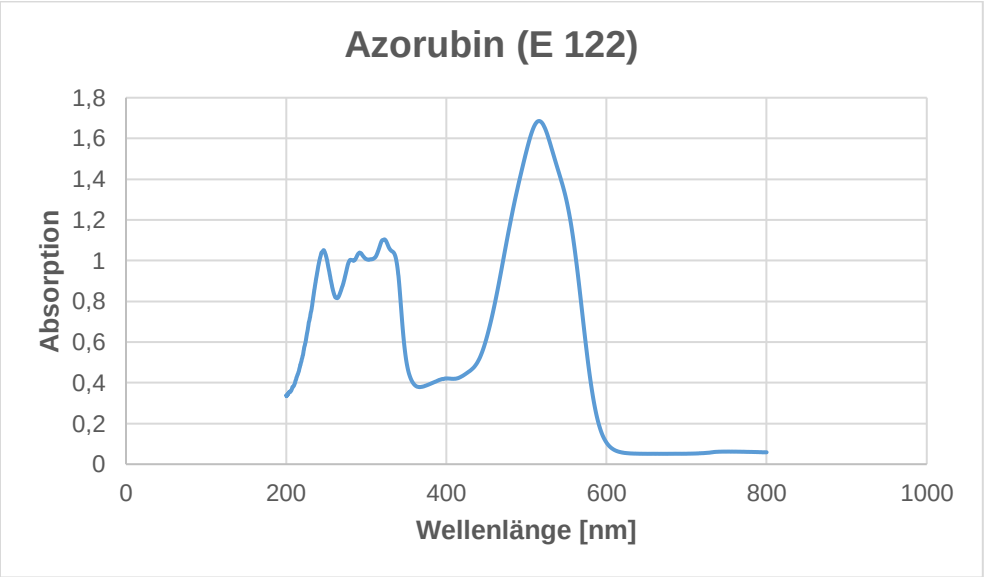
<u>UV-Maxima von Chinolingelb (E 104):</u>

- **411 nm**
- 289 nm
- 260 nm



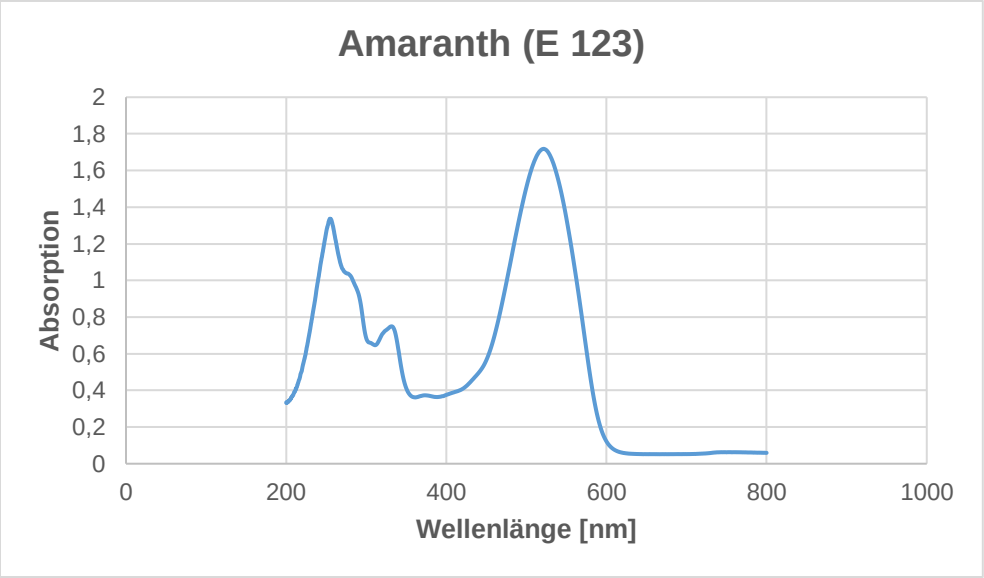
UV-Maxima von Gelborange S (E 110):

- **482 nm**
- 309 nm
- 256 nm



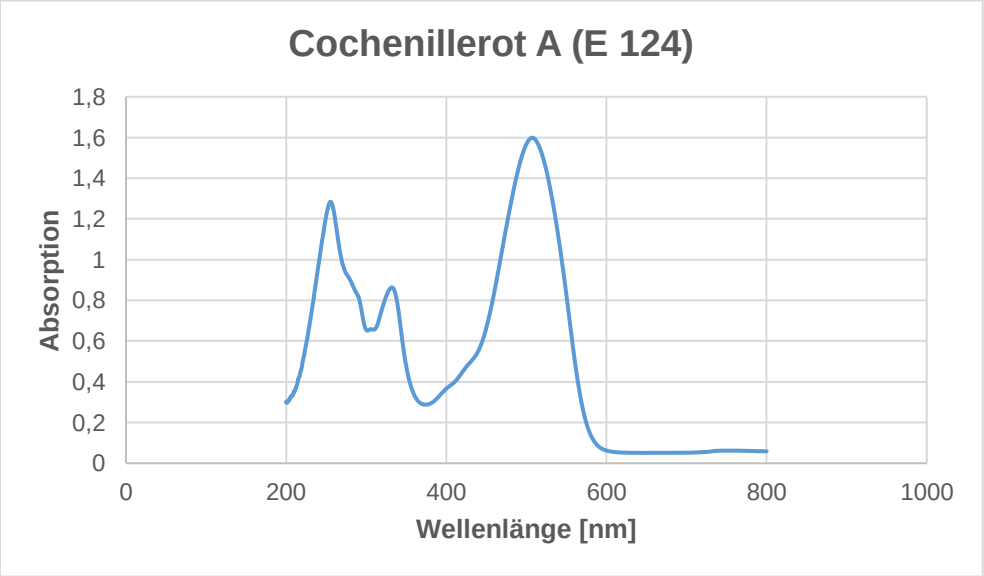
UV-Maxima von Azorubin (E 122):

- **516 nm**
- 323 nm
- 292 nm
- 247 nm



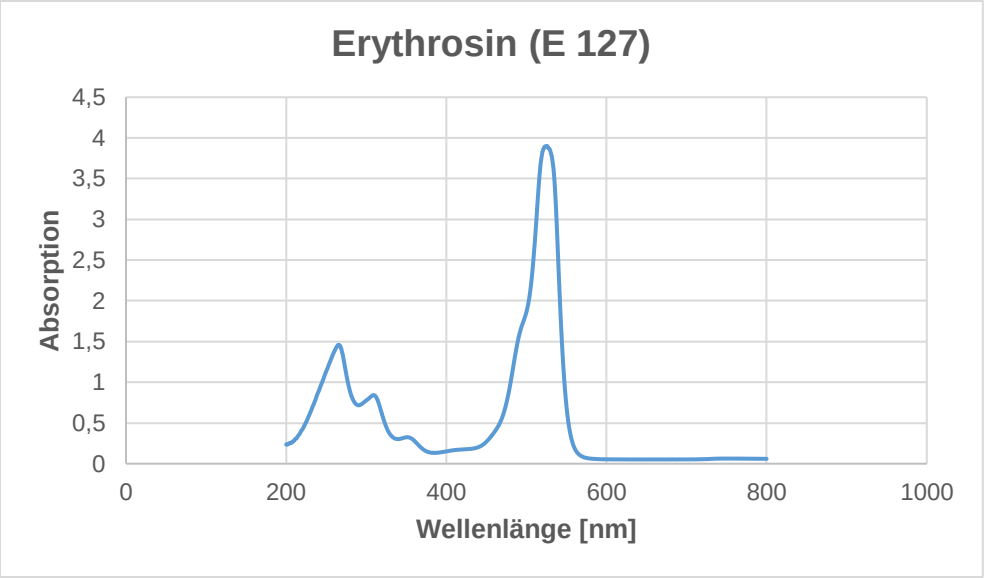
<u>UV-Maxima von Amaranth (E 123):</u>

- **522 nm**
- 332 nm
- 255 nm



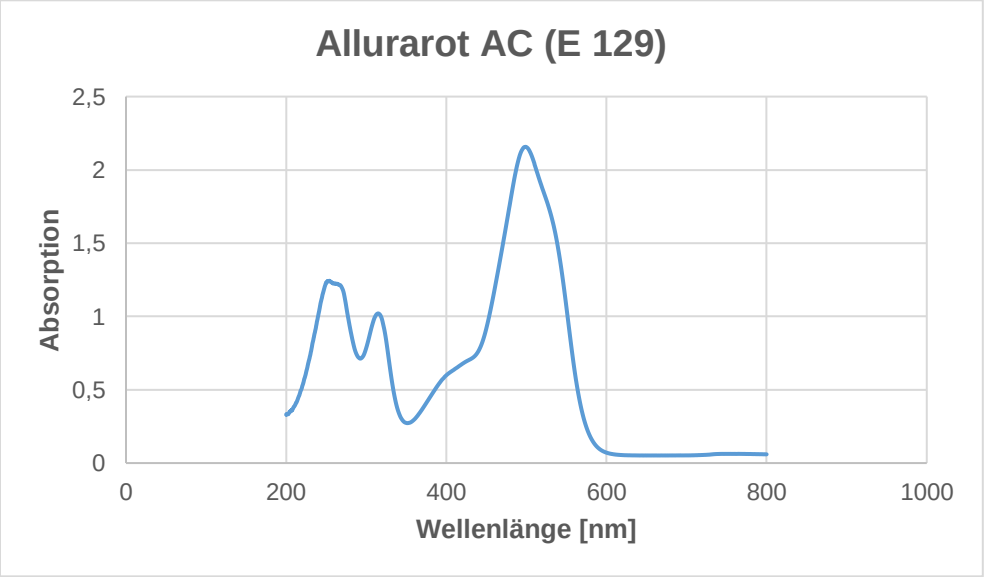
<u>UV-Maxima von Cochenillerot A (E 124):</u>

- **507 nm**
- 332 nm
- 255 nm



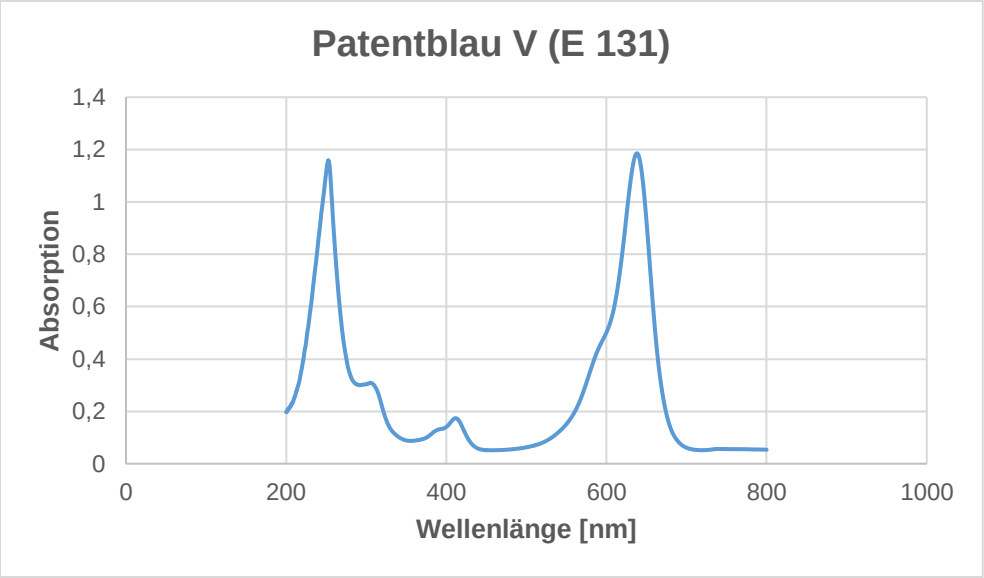
UV-Maxima von Erythrosin (E 127):

- **527 nm**
- 351 nm
- 307 nm
- 263 nm



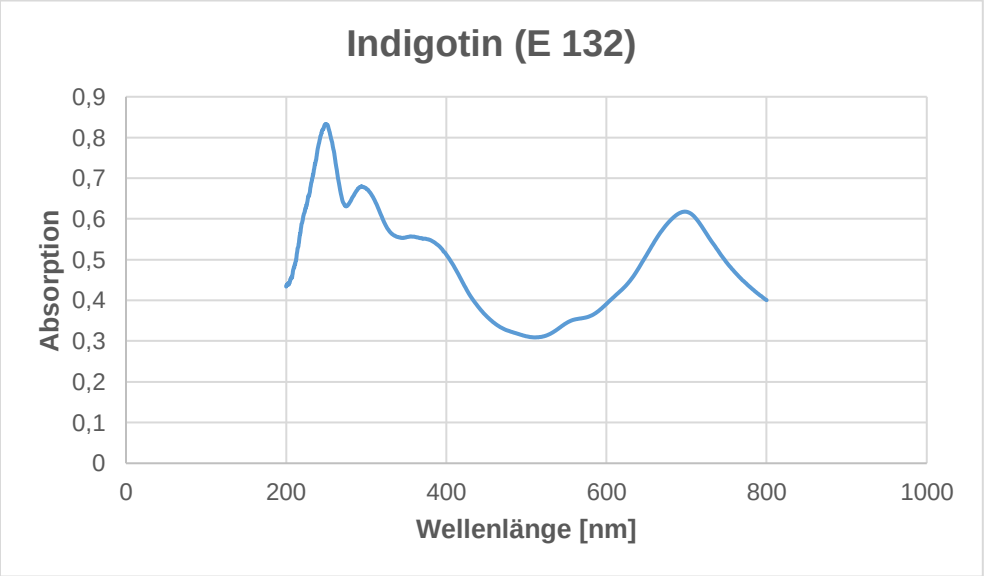
UV-Maxima von Allurarot AC (E 129):

- **499 nm**
- 315 nm
- 254 nm



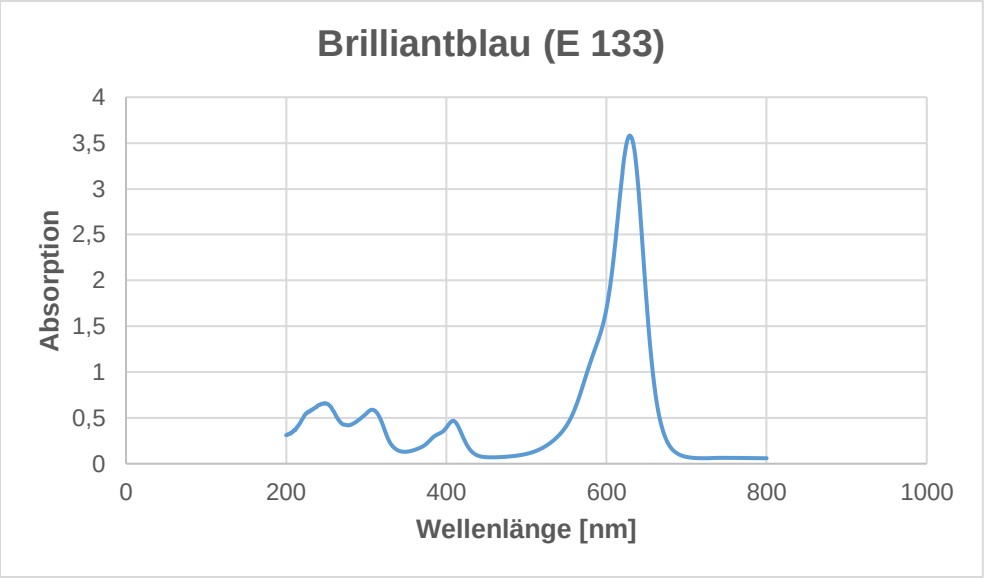
UV-Maxima von Patentblau V (E 131):

- **638 nm**
- 412 nm
- 252 nm



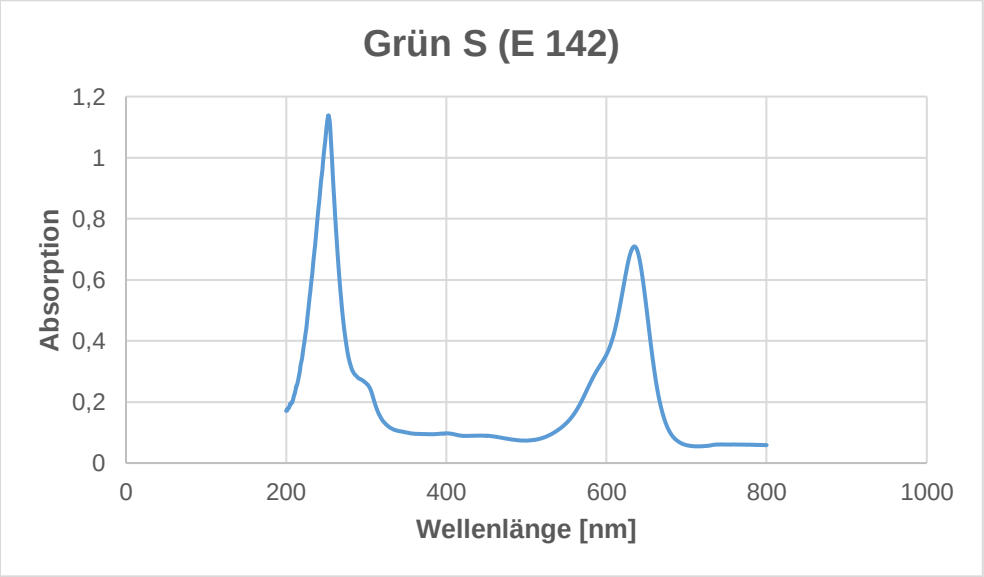
UV-Maxima von Indigotin (E 132):

- **698 nm**
- 295 nm
- 250 nm



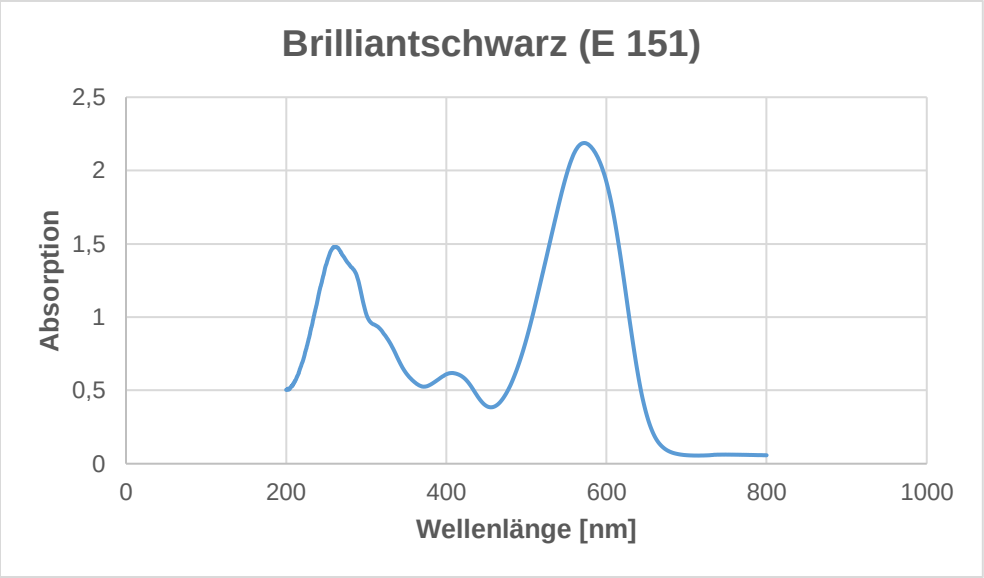
<u>UV-Maxima von Brilliantblau (E 133):</u>

- **629 nm**
- 409 nm
- 308 nm
- 248 nm



<u>UV-Maxima von Grün S (E 142):</u>

- **635 nm**
- 253 nm



<u>UV-Maxima von Brilliantschwarz (E 151):</u>

- **573 nm**
- 407 nm
- 263 nm

In der nachfolgenden Tabelle werden die UV-VIS-Maxima, sowie die aus der Bestimmung resultierenden Farbstoffe der Proben eingetragen.

Probe	UV-VIS-Maxima	enthaltene Farbstoffe

Somit kann verglichen werden, ob sich die Ergebnisse aus der dünnschichtchromatographischen Bestimmung der Farbstoffe mit den Ergebnissen aus der Bestimmung der Farbstoffe mittels Photometrie decken. Dafür werden die Ergebnisse in der folgenden Tabelle gegenübergestellt.

Probe	enthaltene Farbstoffe (DC)	enthaltene Farbstoffe (Photometrie)

Gemäß Art. 4 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe dürfen nur die in der Gemeinschaftsliste in Anhang II aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe als solche in den Verkehr gebracht und unter den darin festgelegten Bedingungen in Lebensmitteln verwendet werden. Es dürfen nach Anhang II Teil B Nr. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 folgende Farbstoffe in Lebensmitteln eingesetzt werden:

E-Nummer	Bezeichnung
E 100	Kurkumin
E 101	**Riboflavin**
E 102	**Tartrazin**
E 104	**Chinolingelb**
E 110	**Gelborange S**
E 120	Echtes Karmin
E 122	**Azorubin (Carmoisin)**
E 123	**Amaranth**
E 124	**Cochenillerot A (Ponceau 4R)**
E 127	**Erythrosin**
E 129	**Allurarot AC**
E 131	**Patentblau V**
E 132	**Indigotin (Indigokarmin)**
E 133	**Brilliantblau FCF**
E 140	Chlorophylle und Chlorophylline
E 141	Kupferkomplexe der Chlorophylle und Chlorophylline
E 142	**Grün S**
E 150 a	Zuckerkulör
E 150 b	Sulfitlaugen-Zuckerkulör
E 150 c	Ammoniak- Zuckerkulör
E 150 d	Ammoniumsulfit- Zuckerkulör
E 151	**Brilliantschwarz PN**
E 153	Pflanzenkohle
E 155	Braun HAT
E 160 a	Carotin
E 160 b	Annatto (Bixin, Norbixin)
E 160 c	Paprikaextrakt (Capsanthin, Capsorubin)
E 160 d	Lycopin
E 160 e	Beta-apo-8´-Carotinal (C 30)
E 161 b	Lutein
E 161 g	Canthaxanthin
E 162	Betanin (Betenrot)
E 163	Anthocyane
E 170	Calciumcarbonat
E 171	Titandioxid
E 172	Eisenoxide oder Eisenhydroxide
E 173	Aluminium
E 174	Silber
E 175	Gold
E 180	Litholrubin BK

Um die Ergebnisse richtig einordnen zu können, wird die nachfolgende Tabelle herangezogen. Diese enthält nur die Farbstoffe (vom Hersteller angegeben), die mit dieser Methode ermittelt werden.

Erfrischungsgetränk	enthaltene Farbstoffe
Powerade blau (Mountain Blast)	Brilliantblau FCF (E 133)
Powerade rot (Wild Cherry)	Azorubin (E 122)

Gemäß Art. 24 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe enthält die Kennzeichnung von Lebensmitteln (Anhang V), die in dem genannten Anhang aufgeführten zusätzlichen Angaben. Nach Anhang V VO (EG) Nr. 1333/2008 müssen folgende Farbstoffe den Zusatz „Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen“ in Verbindung mit der Bezeichnung oder der E-Nummer des Farbstoffs tragen:

- Tartrazin (E 102)
- Chinolingelb (E 104)
- Gelborange S (E 110)
- Azorubin (E 122)
- Cochenillerot A (E 124)
- Allurarot AC (E 129).

Die genannten Farbstoffe stehen in Verdacht, dass sie bei Kindern zu Hyperaktivität und Aufmerksamkeitsstörungen führen können. Seit 2010 müssen Lebensmittel, die mit diesen Azofarbstoffen gefärbt sind, folgenden Warnhinweis auf der Verpackung tragen: „Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen“.
Deshalb muss auf dem Etikett vom roten Powerade (Wild Cherry) dieser Zusatz in Verbindung mit dem Farbstoff Azorubin (E 122) aufgeführt werden.

E.16 V 16: Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse (Biologisch vs. Konventionell) mittels Photometrie

Materialien:

- 100 mL Schraubdeckelglas (2 x)
- 1000 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 100 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 250 mL Becherglas (2 x)
- 50 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Vollpipette (1 x)
- 2 mL Vollpipette (3 x)
- 1 mL Vollpipette (1 x)
- 10 mL Messpipette (1 x)
- 5 mL Messpipette (3 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Trichter (5 x)
- Faltenfilter (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- VIS-Küvette (3 x)
- Rührplatte (2 x)
- Stoppuhr
- Waage
- Trockenschrank
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- Rucola (biologisch angebaut)
- Rucola (konventionell angebaut)
- Aubergine (biologisch angebaut)
- Aubergine (konventionell angebaut)
- Zucchini (biologisch angebaut)
- Zucchini (konventionell angebaut)
- Kaliumnitrat
- Natriumhydroxid-Seignettsalz-Lösung
  (400 g Natriumhydroxid + 50 g Kaliumnatriumtartrat auf 1 Liter mit dest. Wasser auffüllen)
- Natriumsalicylat-Lösung
  (0,5 g Natriumsalicylat in 100 mL dest. Wasser)
- Schwefelsäure (96%)
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung der Lösungen

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Kaliumnatriumtartrat	-	-	-
Kaliumnitrat		Achtung	• kann Brand verstärken; Oxidationsmittel
Natriumhydroxid		Gefahr	• kann gegenüber Metallen korrosiv sein • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Natriumsalicylat		Achtung	• gesundheitsschädlich bei Verschlucken • verursacht schwere Augenreizungen • kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Schwefelsäure (96 %)		Gefahr	• kann gegenüber Metallen korrosiv sein • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden

Bitte suchen Sie sich eine der vorliegenden Gemüsesorte zur Bestimmung des Nitratgehaltes aus!

Durchführung:

Zur quantitativen Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse werden zerkleinerte Proben von Rucola, Aubergine oder Zucchini bereitgestellt. Die Nitratgehalte werden in Milligramm/Kilogramm in biologisch und konventionell angebauten Produkten miteinander verglichen.

- 5 g der zerkleinerten Rucola- beziehungsweise 10 g der Aubergine/Zucchini-Proben werden in ein beschriftetes 250 mL Becherglas abgewogen (Einwaage notieren!!!)
- die Probenmasse wird mit 100 mL dest. Wasser sowie einem Magnetkern versetzt und 20 Minuten auf einer Rührplatte gerührt
- nach Ablauf der 20 Minuten wird der Magnetkern mithilfe des Magnetkern-Entferners aus dem Becherglas herausgenommen
- die Proben werden durch einen Trichter mit Faltenfilter in ein 100 mL Schraubdeckelglas filtriert
- als Blindwert wird dest. Wasser verwendet, welches wie die Probelösung bearbeitet wird

- je 2 mL der Probelösungen und des Blindwertes werden unter Zusatz von 2 mL Natriumsalicylat-Lösung in je ein 50 mL Becherglas pipettiert und im Trockenschrank bei 120 °C bis zur vollständigen Trocknung eingedampft (Dauer: ca. 10 Minuten)
- die Bechergläser mit den Rückständen werden abgekühlt
- anschließend wird dieser in 1 mL konzentrierter Schwefelsäure gelöst und 10 Minuten stehen gelassen
- danach werden 10 mL dest. Wasser zugegeben
- nach dem Erkalten werden 7 mL Natriumhydroxid-Seignettsalz-Lösung zugesetzt
- die gelb gefärbten Lösungen werden mithilfe eines Trichters in je einen beschrifteten 50 mL Messkolben überführt
- das Becherglas wird mit zweimal 10 mL dest. Wasser in den Messkolben ausgespült
- der Messkolben wird bis zur Markierung mit dest. Wasser aufgefüllt, mit einem Stopfen verschlossen und umgeschwenkt.
- die Lösungen werden zur Farbstabilisierung 10 Minuten stehen gelassen und dann noch einmal umgeschwenkt
- 3 mL der Probelösungen sowie des Blindwertes werden in Küvetten pipettiert
- es folgt die Messung der Probelösungen gegen den Blindwert bei 420 nm mit dem Photometer
- sollten die Messwerte außerhalb der Kalibrierung liegen, müssen die Probelösungen verdünnt werden

Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Fixed Wavelength Measurement
- Detektion: 420 nm

Beobachtung:

Probe	Verdünnungsfaktor	Extinktion

Entsorgung:

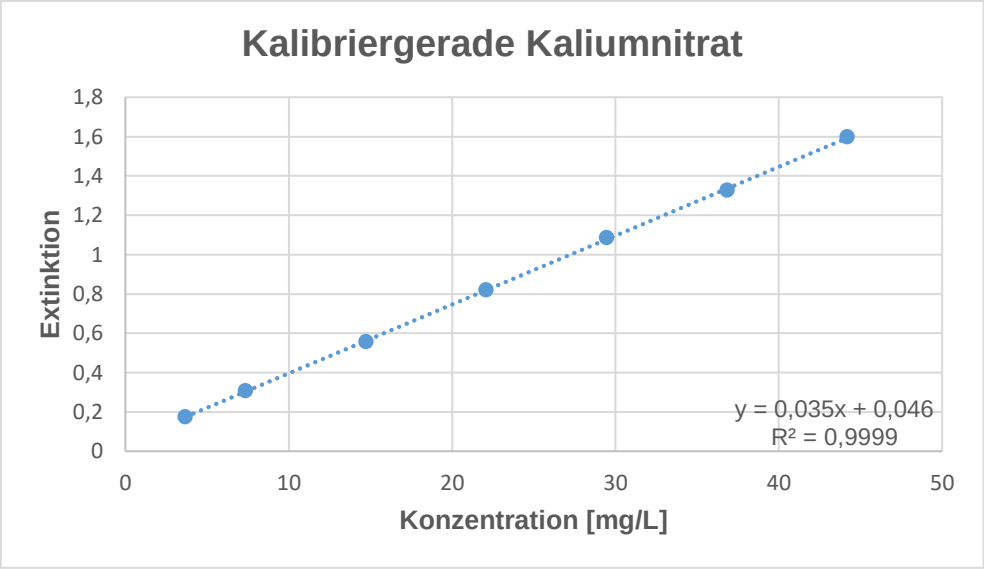
Die gelb gefärbten Lösungen werden nach photometrischer Messung im Behälter für anorganische Salzlösungen entsorgt.
Die Entsorgung der Küvetten erfolgt im Hausmüll.
Die Faltenfilter mit den Rückständen werden in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.
Die Reste der Gemüsesorten werden ebenfalls am Ende des Versuchstages im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:

Die Quantifizierung des Nitratgehaltes in biologisch und konventionell angebauten pflanzlichen Lebensmitteln erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind sieben Kalibrierlösungen des Kaliumnitrats sowie die einzelnen Proben aufgearbeitet worden. Anschließend wurde die Extinktion der einzelnen Konzentrationen photometrisch bei 420 nm gemessen. Die bei der photometrischen Messung erhaltenen Werte für die Extinktion der sieben Kalibrierlösungen des Kaliumnitrats sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration Kaliumnitrat [mg/L]	Mittelwert der Extinktion
3,69	0,1756
7,37	0,3066
14,74	0,5563
22,11	0,8203
29,48	1,0848
36,85	1,3269
44,22	1,5973

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Extinktionen für die Kalibrierlösungen des Kaliumnitrats wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Mittelwerte der Extinktionen gegen die Konzentration der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann aus der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms von Kaliumnitrat gelegt, erhält man durch Anwendung einer linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 0{,}035x + 0{,}046$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Nitratgehaltes in biologisch und konventionell angebauten pflanzlichen Lebensmitteln wie Rucola, Aubergine oder Zucchini.

$$x = \frac{y - 0{,}046}{0{,}035} \cdot F$$

Die erhaltenen Extinktionen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung von Nitrat eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Nitrat in den biologisch und konventionell angebauten pflanzlichen Lebensmitteln berechnet.

Probe	Extinktion	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/L]

Da Rucola, Aubergine und Zucchini (biologisch und konventionell angebaut) feste Lebensmittel sind, wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (100 mL = 0,1 L) der Gehalt an Nitrat in Milligramm/Kilogramm Lebensmittel umgerechnet. Dafür wird die folgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/kg]} = \frac{\text{Gehalt } \left[\frac{mg}{L}\right] \cdot 0{,}1L}{\text{Einwaage [g]}/1000}$$

Probe	Gehalt [mg/L]	Gehalt [mg/kg]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann die nachfolgende Tabelle herangezogen werden. In der ersten Tabelle sind die maximal zulässigen Nitratgehalte von pflanzlichen Lebensmitteln in Milligramm/Kilogramm, gemäß der Verordnung VO (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, zu entnehmen. In der zweiten Tabelle sind die Richtwerte und Unterschiede für Nitratgehalte in einigen Gemüsesorten in Milligramm/Kilogramm dargestellt.

Lebensmittel	maximal zulässiger Höchstgehalte an Nitrat [mg/kg]	weitere Informationen/ Einschränkungen
Frischer Spinat	3500	/
Haltbar gemachter Spinat (gefroren/tiefgefroren)	2000	/
Frischer Salat (*Lactuca sativa* L.) Gilt nicht für den Salat vom Typ „Eisberg“	5000	Ernte vom 01.10. – 31.03. unter Glas/Folie angebaut
	4000	Ernte vom 01.10. – 31.03. im Freiland angebaut
	4000	Ernte vom 01.04. – 30.09. unter Glas/Folie angebaut
	3000	Ernte vom 01.04. – 30.09. im Freiland angebaut
Salat vom Typ „Eisberg“	2500	unter Glas/Folie angebaut
	2000	im Freiland angebaut
Rucola	7000	Ernte vom 01.10. – 31.03.
	6000	Ernte vom 01.04. – 30.09

hohe Nitratgehalte 1000 – 4000 mg/kg Nitrat	**mittlere Nitratgehalte 500 – 1000 mg/kg Nitrat**	**geringe Nitratgehalte unter 500 mg/kg Nitrat**
Blattgemüse: Kopfsalat, Eisbergsalat, Feldsalat, Spinat, Mangold	Wurzel- und Knollengemüse: Karotten, Kohlrabi, Sellerie	Fruchtgemüse: Erbsen, Gurke, Paprika, grüne Bohnen, Tomate
Kohlgemüse: Grünkohl, Weißkohl, Wirsing	Kohlgemüse: Blumenkohl	Kohlgemüse: Rosenkohl
Wurzelgemüse: Rote Beete, Radieschen, Rettich	Zwiebelgemüse: Lauch	Zwiebelgemüse: Knoblauch, Zwiebeln
	Fruchtgemüse: Auberginen, Zucchini	

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, weisen die verschiedenen Gemüsesorten unterschiedliche Nitratgehalte auf. Wie viel Nitrat in einer Pflanze enthalten ist, hängt von der Pflanzenart, den Lichtverhältnissen, der Art und dem Umfang der Düngung sowie der Bodenzusammensetzung ab.

a) Pflanzenart
   - Pflanzen benötigen Nitrat für Stoffwechselsysteme und Speicherorgane. Diese befinden sich hauptsächlich in Wurzeln, Blättern und Stielen. Daher weisen Blatt- und Wurzelgemüse mit einem Nitratgehalt von mehr als 1000 mg/kg einen deutlich höheren Nitratgehalt als Fruchtgemüse (500 mg/kg) auf.

b) Lichtverhältnis
   - Je mehr Licht eine Gemüsesorte erhält, desto weniger Nitrat wird nachgewiesen. Im Winter ist der Nitratgehalt somit höher als im Sommer. Auch bei morgendlich geerntetem Gemüse ist der Gehalt an Nitrat höher als am Nachmittag.

c) Vergleich biologisch und konventionell
   - Beim konventionellen Anbau wird hauptsächlich Mineraldünger (anorganischer Dünger) verwendet. Dieser enthält viel Nitrat.
     Der biologische Anbau verwendet ausschließlich organischen Dünger (tierische und pflanzliche Abfälle).
     Ein Vergleich im Jahr 2007 des Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL Bayern) zeigt auf, dass die Gemüsesorten aus dem biologischen Anbau im Vergleich zu den konventionellen Gemüsesorten einen geringeren Nitratgehalt enthalten

E.17 V 17: Bestimmung des Prolingehaltes in Honig mittels Photometrie

Materialien:

- 100 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 25 mL Messkolben mit Stopfen (2 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- 400 mL Becherglas (2 x)
- 100 mL Becherglas (2 x)
- 5 mL Vollpipette (1 x)
- 1 mL Vollpipette (2 x)
- 0,5 mL Messpipette (4 x)
- Peleusball
- Reagenzglas mit Stopfen (6 x)
- Reagenzglasklammer
- Reagenzglasständer (1 x)
- Trichter (2 x)
- Magnetkern (2 x)
- Magnetkern-Entferner
- Spatel
- VIS-Küvette (6 x)
- Magnetrührer mit Heizfunktion (4 x)
- Stoppuhr
- Waage
- Eisbad
- Photometer

Lebensmittel & Chemikalien:

- verschiedene Honige
- Prolin
- Ameisensäure
- Diethylenglykolmonoethylether
- Ninhydrin
- 2-Propanol
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung der Lösungen

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Ameisensäure		Gefahr	• verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • gesundheitsschädlich beim Verschlucken • giftig beim Einatmen • wirkt ätzend auf die Atemwege • Flüssigkeit und Dampf entzündbar
Diethylenglykolmonoethylether	-	-	-
Ninhydrin		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizungen
Prolin	-	-	-
2-Propanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen

Herstellung von Lösungen

- Ninhydrin-Lösung: 1,5 g Ninhydrin werden in 50 mL Diethylenglykolmonoethylether gelöst. Die Lösung muss vor der Bestimmung frisch angesetzt werden.
- Prolin-Stammlösung: 40 mg Prolin werden in 50 mL dest. Wasser gelöst.
- Prolin-Standardlösung: 1 mL der Prolin-Stammlösung wird auf 25 mL mit dest. Wasser aufgefüllt.
- 2-Propanol-Wasser-Mischung: Es werden jeweils zur Hälfte 2-Propanol und dest. Wasser gemischt.

Bitte suchen Sie sich zwei von den, zur Verfügung stehenden, Honigen zur Bestimmung des Prolingehaltes aus!

Durchführung:

a) Probenvorbereitung

- der flüssige oder kandierte Honig wird mit dem Spatel für ca. 2 Minuten intensiv gerührt, um den Honig zu homogenisieren
- ca. 5 g homogenisierter Honig wird in ein 100 mL Becherglas eingewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 50 mL dest. Wasser und ein Magnetkern hinzugegeben
- das Becherglas wird auf den Magnetrührer gestellt und so lange gerührt, bis sich der Honig vollständig gelöst hat
- der Magnetkern wird mithilfe des Magnetkern-Entferners aus dem Becherglas entfernt
- die Probe wird mit einem Trichter in einen 100 mL Messkolben überführt
- das Becherglas wird zweimal mit 10 mL dest. Wasser nachgespült und in den Messkolben überführt
- der Messkolben wird bis zur Marke mit dest. Wasser aufgefüllt, mit dem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt

- die Probelösung kann nun zur Bestimmung des Prolingehaltes verwendet werden

b) Probenbestimmung
Die Durchführung erfolgt unter dem Abzug!

- es werden 6 Reagenzgläser im Reagenzglasständer bereitgestellt und mit 1 bis 6 durchnummeriert
- in Reagenzglas 1 und 2 werden 0,5 mL Probelösung gegeben, in Reagenzglas 3 0,5 mL dest. Wasser als Blindwert und in die Reagenzgläser 4 – 6 jeweils 0,5 mL Prolin-Standardlösung
- in diese sechs Reagenzgläser werden je 1 mL Ninhydrin-Lösung und 1 mL Ameisensäure pipettiert
- die Reagenzgläser werden fest mit einem Stopfen verschlossen, geschüttelt und für 15 Minuten in ein siedendes Wasserbad gestellt
- nach Ablauf der 15 Minuten werden in jedes Reagenzglas 5 mL 2-Propanol-Wassermischung hinzugegeben, die Reagenzgläser sofort wieder mit den Stopfen verschlossen und für 10 Minuten in ein Wasserbad mit 70 °C gestellt
- dann werden die Reagenzgläser auf Raumtemperatur mithilfe eines Eisbades abgekühlt
- nach weiteren 10 Minuten werden die Extinktionen der Probe- und Standardlösungen photometrisch bei 510 nm gegen den Blindwert gemessen

Geräteparameter:

- Gerät: JASCO V-750 Spectrophotometer
- Methode: Fixed Wavelength Measurement
- Detektion: 510 nm

Beobachtung:

Probe	Einwaage [g]	Extinktion der Standardlösungen	Extinktion der Probelösung
		1.	
		2.	
		3.	
		$\bar{x}$	
		1.	
		2.	
		3.	
		$\bar{x}$	

Entsorgung:

Die Probelösungen, die Prolin-Standardlösungen und der Blindwert werden im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.
Der Inhalt aus den Küvetten wird ebenfalls im Behälter für halogenfreie organische Lösungsmittel entsorgt.
Die Küvetten werden im Hausmüll entsorgt.

Auswertung:
Der Prolingehalt in Milligramm/Kilogramm der verschiedenen Honige wird mithilfe der nachfolgenden Gleichung berechnet.

$$\text{Prolingehalt [mg/kg]} = \frac{E_P}{E_s} \cdot m_1 \cdot \frac{80}{m_2}$$

mit
E_P = Extinktion der Probelösung
E_S = Extinktion der Prolin-Standardlösung, ermittelt durch Mittelwertbildung
m_1 = Einwaage von Prolin für die Prolin-Stammlösung in Milligramm (m_1 = 40 mg)
80 = Verdünnungsfaktor bezogen auf 1 kg Honig
m_2 = Honigeinwaage in Gramm

Probe	Prolingehalt [mg/kg]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann der nachfolgende Text herangezogen werden:
Gemäß § 1 i. V. m. Anlage 1 Abschnitt I der HonigV ist „Honig der natursüße Stoff, der von Honigbienen erzeugt wird, indem die Bienen Nektar von Pflanzen oder Sekrete lebender Pflanzenteile befindende Exkrete von an Pflanzen saugenden Insekten aufnehmen, durch Kombination mit eigenen spezifischen Stoffen umwandeln, einlagern, dehydratisieren und in den Waben des Bienenstocks speichern und reifen lassen“.
Die Aminosäure Prolin ist ein charakteristisches Merkmal des Speichels der Bienen. Sie wird bei der Bestimmung des Reifegrades und der Naturbelassenheit herangezogen. In der Honigverordnung ist kein Mindestgehalt festgelegt.

a) Reifegrad: In Bezug auf den Reifegrad des Honigs haben *von der Ohe et al.* (1991) für enzymschwache Honige einen Mindestgehalt an Prolin von 183 mg/kg für einen reifen Honig festgelegt. *Von der Ohe* vom Institut für Bienenkunde Celle des Niedersächsischen Landesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) hat zudem 2010 aus empirischen Daten einen Mindestgehalt für den Prolingehalt von 200 mg/kg für nicht enzymschwache Honige festgelegt, der nicht unterschritten werden darf.

b) Naturbelassenheit: Ein Honig, der ohne Wärmeschädigung geerntet und bearbeitet worden ist. Naturbelassenheit wird durch die Enzymaktivität, den Hydroxymethylfurfural- und den Prolingehalt bestimmt.

Bei Erwärmung ändert sich der Prolingehalt nicht. Im Gegensatz dazu nimmt die Enzymaktivität ab und der Hydroxymethylfurfuralgehalt zu, da beide Komponenten wärmeempfindlich sind. Am Verhältnis von Enzymen zu Prolin kann ein Hinweis auf eine Wärmeschädigung gefunden werden, auch wenn der HMF-Gehalt unterschritten wird.
Ohne Bestimmung von Enzymaktivität und HMF-Gehalt kann somit nicht gesagt werden, ob der Honig Naturbelassen ist oder nicht. Über den Reifegrad kann dennoch eine Aussage getroffen werden.

E.18 V 18: Bestimmung der Farbstoffe in alkoholischen Getränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC)

Materialien:

- 500 mL Vorratsflasche (3 x)
- 100 mL Vorratsflasche (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Messzylinder (2 x)
- 25 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Becherglas (3 x)
- 10 mL Vollpipette (3 x)
- 1 mL Messpipette (1 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Schnappdeckelgläschen (4 x)
- Pinzette (2 x)
- entfettete Wollfäden
- Glaskapillaren
- Dünnschichtchromatographie-Platte (Kieselgel F 254)
- Dünnschichtchromatographie-Kammer (DC-Kammer)
- Lineal
- Bleistift
- Schere
- Papiertücher
- Handschuhe

Lebensmittel & Chemikalien:

- Berliner Kindl Himbeere
- Berliner Kindl Waldmeister
- Blue Curacao
- Dos Mas Berry Pink
- Sourz Apple
- Farbstoffvergleichslösung
    - Riboflavin (E 101)
    - Tartrazin (E 102)
    - Chinolingelb (E 104)
    - Gelborange S (E 110)
    - Azorubin (E 122)
    - Amaranth (E 123)
    - Cochenillerot A (E 124)
    - Erythrosin (E 127)
    - Allurarot AC (E 129)
    - Patentblau V (E 131)
    - Indigotin (E 132)
    - Brilliantblau FCF (E 133)
    - Grün S (E 142)
    - Brilliantschwarz PN (E 151)
- Aceton
- methanolische Ammoniaklösung (w = 5 %)
- Petrolether
- 2-Butanol
- Essigsäure (Eisessig)
- Ethanol
- Seife/Spülmittel
- Leitungswasser
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Aceton		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
Allurarot AC (E 129)	-	-	-
Amaranth (E 123)	-	-	-
Ammoniak, wässrige Lösung		Gefahr	• kann Metallen gegenüber korrosiv sein • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • kann die Atemwege reizen • sehr giftig für Wasserorganismen
Azorubin (E 122)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen
Brilliantblau FCF (E 133)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Brilliantschwarz (E 151)	-	-	-
2-Butanol		Achtung	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen
Chinolingelb (E 104)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken
Cochenillerot A (E 124)	-	-	-
Erythrosin (E 127)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • kann für Wasserorganismen schädlich sein mit langfristiger Wirkung
Essigsäure (Eisessig)		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Ethanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Gelborange (E 110)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Indigotin (E 132		Achtung	• kann allergische Hautreaktionen verursachen
Grün S (E 142)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Patentblau V (E 131)	-	-	-
Petrolether		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein • verursacht Hautreizungen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen • kann die Organe schädigen • giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung • kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
Riboflavin (E 101)	-	-	-
Tartrazin (E 102)	-	-	-

Bitte suchen Sie sich drei der vorne genannten alkoholischen Getränke zur Farbstoffbestimmung aus!

Durchführung:

Vorbereitung am Tag vor der Farbstoffbestimmung:

Die Durchführung erfolgt unter dem Abzug!

- neun 5 – 10 cm lange Wollfäden abschneiden, für 1 – 2 Minuten in Petrolether einlegen und danach ca. 5 Minuten auf einem Papiertuch trocknen lassen
- 10 mL der jeweiligen Spirituosen werden in je ein 25 mL Becherglas gegeben und mit 5 Tropfen konzentrierter Essigsäure versetzt
- es werden drei entfettete Wollfäden mithilfe einer Pinzette zu jeder Lösung gegeben und über Nacht stehen gelassen

Vorbereitung der DC-Kammer

- ein Teil des Laufmittelgemisches, bestehend aus 2-Butanol/Ethanol/dest. Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5), wird in die DC-Kammer eingefüllt, sodass sich diese mit Lösungsmitteldämpfen sättigen kann

Farbstoffbestimmung:

- die gefärbten Wollfäden werden mit einer Pinzette aus der Lösung genommen
- behandschuht werden diese mit dest. Wasser über dem Waschbecken abgespült, mit Seifenlösung gewaschen und mit viel dest. Wasser nachgespült
- zum Antrocknen werden die Wollfäden auf einem Papiertuch ausgedrückt
- die vorbereiteten Wollfäden werden mit einer Pinzette in jeweils ein 10 mL Becherglas gegeben und mit einigen Tropfen methanolischer Ammoniaklösung (w = 5 %) bedeckt
- nach ca. 5 Minuten werden die gefärbten Probelösungen aus den Bechergläsern mit Pasteurpipetten in beschriftete Schnappdeckelgläschen überführt
- die gefärbten Probelösungen, sowie die Vergleichslösungen der Farbstoffe, werden mit einer Glaskapillare auf eine Kieselgel-Dünnschichtchromatographie-Platte (DC-Platte) aufgetragen

- es wird wie folgt vorgegangen:
    - auf die DC-Platte wird, ohne die Kieselgelschicht zu beschädigen, mit Bleistift und Lineal etwa 1 cm über dem unteren Rand ein Strich gezogen und somit der Startpunkt der Chromatographie festgelegt
    - anschließend werden auf der Startpunktlinie im Abstand von 1 – 1,5 cm senkrechte kleine Striche mit dem Bleistift aufgezeichnet und beschriftet, welche Probelösung beziehungsweise Vergleichslösung dort aufgetragen werden soll
    - die Kapillare wird dann in die jeweilige Probe- beziehungsweise Vergleichslösung gehalten, die Lösung aufgezogen und mehrmals auf den jeweiligen Startpunkt auf der DC-Platte aufgetragen (solange bis ein ausreichend farbiger Fleck der jeweiligen Lösungen auf der DC-Platte sichtbar ist)
    - nach jeder Probe- beziehungsweise Vergleichslösung wird die Kapillare mit Aceton gespült

- dann wird die DC-Platte mit einer Pinzette in die feststehende DC-Kammer (Abzug) mit der Aufschrift „2-Butanol/Ethanol/dest. Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5)“ gestellt (die Startpunktlinie befindet sich unten), verschlossen und entwickelt (bis die Lösungsmittelfront ca. 2 cm unter dem oberen Rand angekommen ist)
- die DC-Platte wird mit der Pinzette aus der DC-Kammer genommen, die Laufmittelfront mit Bleistift markiert und unter dem Abzug getrocknet

Entsorgung:

Die Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die DC-Platten werden nach Entwicklung und Auswertung im Hausmüll entsorgt.
Die Wollfäden werden ebenfalls im Hausmüll entsorgt.
Das Laufmittel wird im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.

Auswertung:

Die Auswertung zur qualitativen Bestimmung der Farbstoffe in den alkoholischen Getränken erfolgt über den Vergleich der Retentionsfaktoren (R_f-Werte) der Probe mit den Retentionsfaktoren der Farbstoffvergleichslösungen (E 102; E 104; E 110, E122; E 123; E 124; E 127; E 129; E 131; E132; E 133; E 142). Dafür werden jeweils mithilfe eines Lineals die Strecken von der Startlinie bis zur Mitte der Spots der Probe und der Farbstoffvergleichslösungen abgemessen und die Werte notiert. Auch wird die Strecke von der Startlinie bis zur Fließmittelfront gemessen und notiert.

Die R_f-Werte für die Probe und die Farbstoffvergleichslösungen ergeben sich aus dem Quotienten aus der Laufstrecke der Proben beziehungsweise der Farbstoffvergleichslösungen zur Laufstrecke der Fließmittelfront vom Startpunkt aus.

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke der Probe/Farbstoffvergleichslösung}}{\text{Laufstrecke der Fließmittelfront}}$$

Berechne die Retentionsfaktoren der Probe und der Farbstoffvergleichslösungen und trage die Werte in die nachfolgende Tabelle ein.

Probe/Farbstoffvergleichslösung	**Laufstrecke der Probe/ Farbstoffvergleichslösung**	**Laufstrecke Fließmittelfront**	**R_f-Wert**

Anhand des Vergleichs der R_f-Werte und der Farbigkeit der Substanzflecken kann nun eine qualitative Aussage darüber getroffen werden, ob und wenn, welche Farbstoffe in den alkoholischen Getränken enthalten sind.

Probe	**enthaltene Farbstoffe**

Um die erzielten Ergebnisse zu bestätigen, wird die Bestimmung der Farbstoffe mittels Photometrie durchgeführt.

E.19 V 19: Bestimmung der Farbstoffe in Erfrischungsgetränken mittels Dünnschichtchromatographie (DC)

Materialien:

- 500 mL Vorratsflasche (2 x)
- 100 mL Vorratsflasche (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Messzylinder (2 x)
- 25 mL Becherglas (2 x)
- 10 mL Becherglas (2 x)
- 10 mL Vollpipette (2 x)
- 1 mL Messpipette (1 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- Pinzette (2 x)
- entfettete Wollfäden
- Glaskapillaren
- Dünnschichtchromatographie-Platte (Kieselgel F 254)
- Dünnschichtchromatographie-Kammer (DC-Kammer)
- Lineal
- Bleistift
- Schere
- Papiertücher
- Handschuhe

Lebensmittel & Chemikalien:

- Powerade blau (Mountain Blast)
- Powerade rot (Wild Cherry)
- Farbstoffvergleichslösung
  - Riboflavin (E 101)
  - Tartrazin (E 102)
  - Chinolingelb (E 104)
  - Gelborange S (E 110)
  - Azorubin (E 122)
  - Amaranth (E 123)
  - Cochenillerot A (E 124)
  - Erythrosin (E 127)
  - Allurarot AC (E 129)
  - Patentblau V (E 131)
  - Indigotin (E 132)
  - Brilliantblau FCF (E 133)
  - Grün S (E 142)
  - Brilliantschwarz PN (E 151)
- Aceton
- methanolische Ammoniaklösung (w = 5 %)
- Petrolether
- 2-Butanol
- Essigsäure (Eisessig)
- Ethanol
- Seife/Spülmittel
- Leitungswasser
- destilliertes Wasser

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Aceton		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
Allurarot AC (E 129)	-	-	-
Amaranth (E 123)	-	-	-
Ammoniak, wässrige Lösung		Gefahr	• kann Metallen gegenüber korrosiv sein • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • kann die Atemwege reizen • sehr giftig für Wasserorganismen
Azorubin (E 122)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen
Brilliantblau FCF (E 133)	-	-	• schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Brilliantschwarz (E 151)	-	-	-
2-Butanol		Achtung	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen
Chinolingelb (E 104)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken
Cochenillerot A (E 124)	-	-	-
Erythrosin (E 127)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • kann für Wasserorganismen schädlich sein mit langfristiger Wirkung
Essigsäure (Eisessig)		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf entzündbar • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Ethanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Gelborange (E 110)		Achtung	• verursacht Hautreizungen • verursacht schwere Augenreizung • kann die Atemwege reizen
Indigotin (E 132		Achtung	• kann allergische Hautreaktionen verursachen
Grün S (E 142)		Achtung	• gesundheitsschädlich beim Verschlucken • verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Patentblau V (E 131)	-	-	-
Petrolether		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein • verursacht Hautreizungen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen • kann die Organe schädigen • giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung • kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
Riboflavin (E 101)	-	-	-
Tartrazin (E 102)	-	-	-

<u>Durchführung:</u>

<u>Vorbereitung am Tag vor der Farbstoffbestimmung:</u>

Die Durchführung erfolgt im Abzug!

- sechs 5 – 10 cm lange Wollfäden abschneiden, für 1 – 2 Minuten in Petrolether einlegen und danach ca. 5 Minuten auf einem Papiertuch trocknen lassen
- 10 mL der jeweiligen Erfrischungsgetränke werden in je ein 25 mL Becherglas gegeben und mit 5 Tropfen konzentrierter Essigsäure versetzt
- es werden drei entfettete Wollfäden mithilfe einer Pinzette zu jeder Lösung gegeben und über Nacht stehen gelassen

Vorbereitung der DC-Kammer

- ein Teil des Laufmittelgemisches, bestehend aus 2-Butanol/Ethanol/dest. Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5), wird in die DC-Kammer eingefüllt, sodass sich diese mit Lösungsmitteldämpfen sättigen kann

Farbstoffbestimmung:

- die gefärbten Wollfäden werden mit einer Pinzette aus der Lösung genommen
- behandschuht werden diese mit dest. Wasser über dem Waschbecken abgespült, mit Seifenlösung gewaschen und mit viel dest. Wasser nachgespült
- zum Antrocknen werden die Wollfäden auf einem Papiertuch ausgedrückt
- die vorbereiteten Wollfäden werden mit einer Pinzette in jeweils ein 10 mL Becherglas gegeben und mit einigen Tropfen methanolischer Ammoniaklösung (w = 5 %) bedeckt
- nach ca. 5 Minuten werden die gefärbten Probelösungen aus den Bechergläsern mit Pasteurpipetten in beschriftete Schnappdeckelgläschen überführt
- die gefärbten Probelösungen, sowie die Vergleichslösungen der Farbstoffe, werden mit einer Glaskapillare auf eine Kieselgel-Dünnschichtchromatographie-Platte (DC-Platte) aufgetragen

- es wird wie folgt vorgegangen:
    - auf die DC-Platte wird, ohne die Kieselgelschicht zu beschädigen, mit Bleistift und Lineal etwa 1 cm über dem unteren Rand ein Strich gezogen und somit der Startpunkt der Chromatographie festgelegt
    - anschließend werden auf der Startpunktlinie im Abstand von 1 – 1,5 cm senkrechte kleine Striche mit dem Bleistift aufgezeichnet und beschriftet, welche Probelösung beziehungsweise Vergleichslösung dort aufgetragen werden soll
    - die Kapillare wird dann in die jeweilige Probe- beziehungsweise Vergleichslösung gehalten, die Lösung aufgezogen und mehrmals auf den jeweiligen Startpunkt auf der DC-Platte aufgetragen (solange bis ein ausreichend farbiger Fleck der jeweiligen Lösungen auf der DC-Platte sichtbar ist)
    - nach jeder Probe- beziehungsweise Vergleichslösung wird die Kapillare mit Aceton gespült

- dann wird die DC-Platte mit einer Pinzette in die feststehende DC-Kammer (Abzug) mit der Aufschrift „2-Butanol/Ethanol/dest. Wasser/Eisessig (60/10/20/0,5)“ gestellt (die Startpunktlinie befindet sich unten), verschlossen und entwickelt (bis die Lösungsmittelfront ca. 2 cm unter dem oberen Rand angekommen ist)
- die DC-Platte wird mit der Pinzette aus der DC-Kammer genommen, die Laufmittelfront mit Bleistift markiert und unter dem Abzug getrocknet

Entsorgung:

Die Probelösungen werden im Ausguss entsorgt.
Die DC-Platten werden nach Entwicklung und Auswertung im Hausmüll entsorgt.
Die Wollfäden werden ebenfalls im Hausmüll entsorgt.
Das Laufmittel wird im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.

Auswertung:

Die Auswertung zur qualitativen Bestimmung der Farbstoffe in den Erfrischungsgetränken erfolgt über den Vergleich der Retentionsfaktoren (R_f-Werte) der Probe mit den Retentionsfaktoren der Farbstoffvergleichslösungen (E 102; E 104; E 110, E122; E 123; E 124; E 127; E 129; E 131; E132; E 133; E 142). Dafür werden jeweils mithilfe eines Lineals die Strecken von der Startlinie bis zur Mitte der Spots der Probe und der Farbstoffvergleichslösungen abgemessen und die Werte notiert. Auch wird die Strecke von der Startlinie bis zur Fließmittelfront gemessen und notiert.

Die R_f-Werte für die Probe und die Farbstoffvergleichslösungen ergeben sich aus dem Quotienten aus der Laufstrecke der Proben beziehungsweise der Farbstoffvergleichslösungen zur Laufstrecke der Fließmittelfront vom Startpunkt aus.

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke der Probe/Farbstoffvergleichslösung}}{\text{Laufstrecke der Fließmittelfront}}$$

Berechne die Retentionsfaktoren der Probe und der Farbstoffvergleichslösungen und trage die Werte in die nachfolgende Tabelle ein.

Probe/Farbstoffvergleichslösung	**Laufstrecke der Probe/ Farbstoffvergleichslösung**	**Laufstrecke Fließmittelfront**	**R_f-Wert**

Anhand des Vergleichs der R_f-Werte und der Farbigkeit der Substanzflecken kann nun eine qualitative Aussage darüber getroffen werden, ob und wenn, welche Farbstoffe in den Erfrischungsgetränken enthalten sind.

Probe	**enthaltene Farbstoffe**

Um die erzielten Ergebnisse zu bestätigen, wird die Bestimmung der Farbstoffe mittels Photometrie durchgeführt.

E.20 V 20: Bestimmung von Nikotin in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Dünnschichtchromatographie (DC)

Materialien:

- 500 mL Vorratsflasche (1 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 500 mL Messzylinder (1 x)
- 100 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- 25 mL Becherglas (1 x)
- 25 mL Erlenmeyerkolben (1 x)
- Eppendorf-Pipette mit Spitze
- 5 mL Vollpipette (1 x)
- 2 mL Vollpipette (2 x)
- Peleusball
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Trichter (1 x)
- Faltenfilter (1 x)
- Schnappdeckelgläschen (3 x)
- Magnetkern (1 x)
- Magnetkern-Entferner
- Pinzette (1 x)
- Glaskapillaren
- Dünnschichtchromatographie-Platte (Kieselgel F 254)
- Dünnschichtchromatographie-Kammer (DC-Kammer)
- Rührplatte
- Waage
- UV-Lampe

Lebensmittel & Chemikalien:

- Zigaretten (z. B. Marlboro)
- Liquids für E-Zigaretten mit unterschiedlichen Nikotingehalten (z. B. Himbeere, Vanille, Sauerkirsche und Menthol)
- Nikotin
- Aceton
- Methanol
- konzentrierte Ammoniaklösung (w = 25 %)
- Diethylamin
- Ethylacetat
- Toluol

rot markiert: benötigte Materialien und Chemikalien zur Herstellung des Fließmittels

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Aceton		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • kann die Augen reizen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
Ammoniak, wässrige Lösung		Gefahr	• kann Metallen gegenüber korrosiv sein • Kontakt mit Haut und Augen vermeiden, da dies zu schweren Verätzungen führt • kann die Atemwege reizen • sehr giftig für Wasserorganismen
Diethylamin		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig bei Hautkontakt • gesundheitsschädlich beim Verschlucken und Einatmen • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • kann die Atemwege reizen
Ethylacetat		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizungen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
Methanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Hautkontakt • schädigt die Organe
Nikotin		Gefahr	• Lebensgefahr bei Verschlucken, Hautkontakt und beim Einatmen • giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Toluol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht Hautreizungen • kann beim Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • kann die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition schädigen • kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen

Bitte suchen Sie sich neben der Zigarette zwei Liquids für E-Zigaretten zur Bestimmung des Nikotingehaltes aus!

Vorbereitung der DC-Kammer

- ein Teil des Laufmittelgemisches, bestehend aus Toluol/Ethylacetat/Diethylamin (7/2/1), wird in die DC-Kammer eingefüllt, sodass sich diese mit Lösungsmitteldämpfen sättigen kann

Durchführung: Zigarette

Die Durchführung erfolgt unter dem Abzug!

- für die Vergleichslösung werden 20µL Nikotin in einen 10 mL Messkolben gegeben und mit Methanol aufgefüllt

- der Tabak aus einer Zigarette wird in ein 25 mL Becherglas mit Magnetkern gegeben und 4 Tropfen Ammoniaklösung (w = 25 %) hinzugefügt
- anschließend werden 5 mL Methanol zugegeben und das Gemisch für 5 Minuten auf der Rührplatte gerührt
- es folgt die Filtration durch einen Faltenfilter in einen 25 mL Erlenmeyerkolben
- die filtrierten Probelösungen sowie die Vergleichsstandardsubstanz Nikotin wird mit einer Kapillare auf die Dünnschichtchromatographie-Platte (DC-Platte) aufgetragen

- es wird wie folgt vorgegangen:
    - auf die DC-Platte wird, ohne die Kieselgelschicht zu beschädigen, mit Bleistift und Lineal etwa 1 cm über dem unteren Rand ein Strich gezogen und somit der Startpunkt der Chromatographie festgelegt
    - anschließend werden auf der Startpunktlinie im Abstand von 1 – 1,5 cm senkrechte kleine Striche mit dem Bleistift aufgezeichnet und beschriftet, welche Probelösung beziehungsweise Vergleichslösung dort aufgetragen werden soll
    - anschließend wird die Kapillare in die jeweilige Probe- beziehungsweise Vergleichslösung gehalten, die Lösung aufgezogen und mehrmals auf den jeweiligen Startpunkt auf der DC-Platte aufgetragen (solange bis ein ausreichend intensiver Fleck der jeweiligen Lösungen auf der DC-Platte sichtbar ist)
    - eine Überprüfung erfolgt, indem die DC-Platte unter die UV-Lampe gehalten wird
    - nach jeder Probe- beziehungsweise Vergleichslösung wird die Kapillare mit Aceton gespült

- dann wird die DC-Platte mit einer Pinzette in die feststehende DC-Kammer mit der Aufschrift „Toluol/Ethylacetat/Diethylamin (7/2/1)“ gestellt (die Startpunktlinie befindet sich unten), verschlossen und entwickelt, bis die Lösungsmittelfront ca. 2 cm unter dem oberen Rand angekommen ist
- die DC-Platte wird mit der Pinzette aus der DC-Kammer genommen, die Laufmittelfront mit Bleistift markiert und unter dem Abzug getrocknet

Durchführung: Liquids für E-Zigaretten

Liquids für E-Zigaretten sind bereits flüssig, sodass zur qualitativen Bestimmung von Nikotin, bis auf eine Verdünnung, keine spezielle Aufarbeitung notwendig ist.

- die Liquids werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Himbeer-Liquid; Vanille-Liquid; Sauerkirsch-Liquid; Menthol-Liquid: 1:5 (2 mL Liquid werden in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit Methanol bis zur Markierung aufgefüllt)
- die verdünnten Probelösungen werden in ein Schnappdeckelgläschen überführt und dann ebenfalls mit einer Kapillare auf die DC-Platte aufgetragen (siehe Durchführung: Zigarette)

Entsorgung:

Die verdünnten Probelösungen der Liquids für die E-Zigaretten, sowie die übrig gebliebene Lösung der Zigarettenaufarbeitung, werden nach Beendigung des Versuchs im Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt.
Der Magnetkern wird aus dem Filterkuchen entfernt, die Faltenfilter mit den Rückständen in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages in der Feststofftonne entsorgt.
Die Entsorgung der DC-Platten erfolgt nach Entwicklung und Auswertung im Hausmüll.

Auswertung:

Die Auswertung zur qualitativen Nikotinbestimmung in den Liquids für die E-Zigaretten und der Zigarette erfolgt über den Vergleich der Retentionsfaktoren (R_f-Werte) der Proben mit dem Retentionsfaktor der Nikotinvergleichslösung. Dafür werden jeweils mithilfe eines Lineals die Strecken von der Startlinie bis zur Mitte der Spots der Probe und der Nikotinvergleichslösung abgemessen und die Werte notiert. Auch wird die Strecke von der Startlinie bis zur Fließmittelfront gemessen und notiert.
Die R_f-Werte für die Probe und die Nikotinvergleichslösung ergeben sich aus dem Quotienten aus der Laufstrecke der Probe beziehungsweise der Nikotinvergleichslösung zur Laufstrecke der Fließmittelfront vom Startpunkt aus.

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke der Probe/Nikotinvergleichslösung}}{\text{Laufstrecke der Fließmittelfront}}$$

Berechne die Retentionsfaktoren der Proben und der Nikotinvergleichslösung und trage die Werte in die nachfolgende Tabelle ein.

Probe/Nikotinvergleichslösung	R_f-Wert

Anhand des Vergleichs der R_f-Werte wird eine qualitative Aussage darüber getroffen, ob und in welchen Liquids und Zigaretten Nikotin enthalten ist.

E.21 V 21: Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)

Materialien:

- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Gaschromatographie-Vial (3 x)
- GC-Spritze (1 µL)
- Gaschromatograph mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Gin
- Grappa
- Korn
- Weißer Rum
- Wodka
- Ethanol (GC Qualität)
- Wasserstoff
- Stickstoff
- synthetische Luft

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Ethanol		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • verursacht schwere Augenreizung
Synthetische Luft		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
Stickstoff		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
Wasserstoff		Gefahr	• extrem entzündbares Gas • enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren

Bitte suchen Sie sich drei der vorne angegebenen Spirituosen zur gaschromatographischen Bestimmung des Ethanolgehaltes aus!

Durchführung:

Spirituosen sind flüssig. Es wird zur gaschromatographischen Bestimmung des Ethanolgehaltes keine Aufarbeitung benötigt.

- mithilfe von Pasteurpipetten wird ein Teil der Spirituosen in ein GC-Vial überführt
- von den Spirituosen werden je 0,4 µL mit der GC-Spritze in den Gaschromatographen injiziert

Geräteparameter des Gaschromatographen:

- Gerät: SHIMADZU GC-2010 Plus Gas Chromatograph
- Säule: Phenomenex ZB-WAX (Zebron Capillary GC Column)
  30 m Säulenlänge
  0,25 mm Innendurchmesser
  0,25 µm Filmdicke
- Detektion: Flammenionisationsdetektor (FID)

Methode:

SPL (Injektor):

- Temperatur: 250 °C
- Split: Splitless
- Druck: 170 kPa
- Total Flow: 369,1 mL/min
- Column Flow: 1,82 mL/min
- Purge Flow: 3,0 mL/min

Säule:

- Temperatur: 150 °C

Flammenionisationsdetektor (FID):

- Temperatur: 250 °C
- Stop Time: 5 min
- Makeup Gas: Stickstoff (N_2)
- Makeup Flow: 30 mL/min
- H_2 Flow: 40 mL/min
- Air Flow: 400 mL/min

Beobachtung:

Standard/Probe	Injektionsvolumen [µL]	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

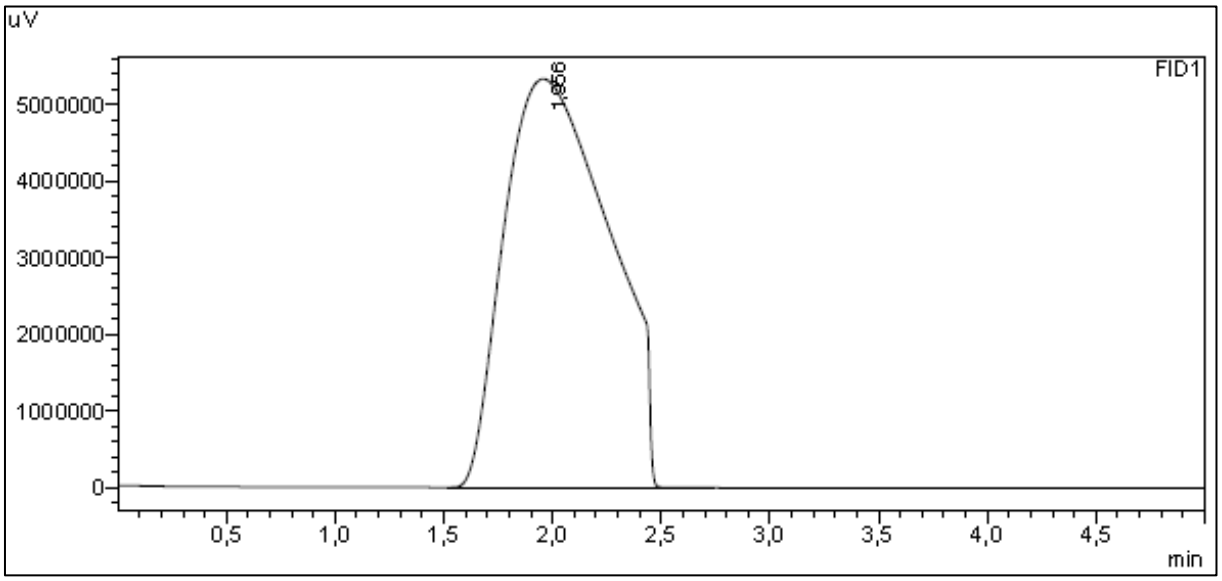
Entsorgung:

Die Pasteurpipetten werden im Glasmüll entsorgt.
Die Lösungen aus den GC-Vials werden im Ausguss entsorgt.

Auswertung:

Qualifizierung:

Zur qualitativen Bestimmung des Ethanolgehaltes in Spirituosen werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Ethanol verglichen. Ethanol wird in der vorliegenden Methode bei einer Retentionszeit von 1,8 – 2,1 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm von Ethanol wird nachfolgend dargestellt.



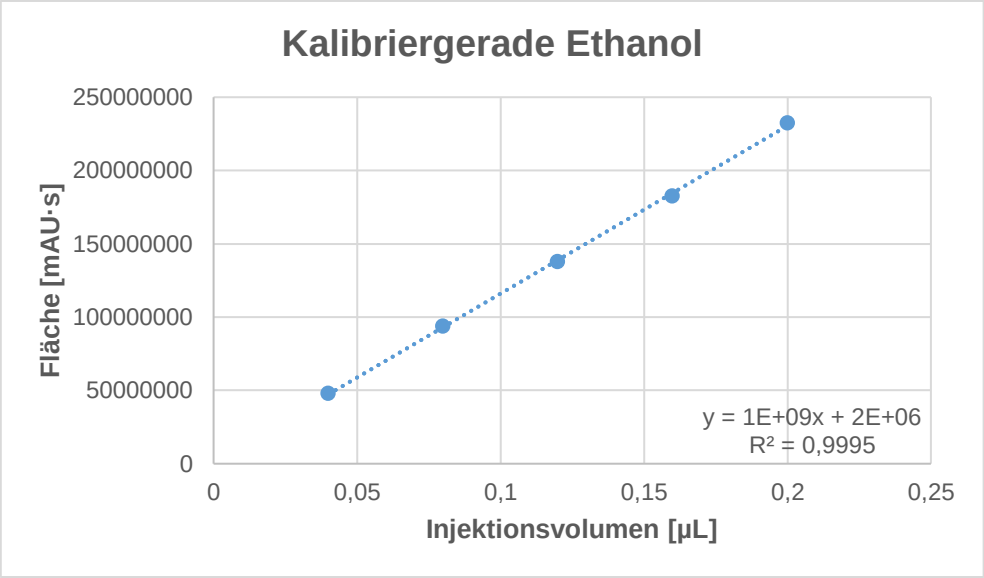
Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Ethanol wird eine Aussage darüber getroffen, ob die vorliegenden Proben Ethanol enthalten.

Quantifizierung:

Die Quantifizierung des Ethanolgehaltes in den Spirituosen erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von fünf unterschiedlichen Injektionsvolumina des Ethanols mittels Gaschromatographie bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der fünf unterschiedlichen Injektionsvolumina des Ethanols sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Injektionsvolumina [µL]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,04	48004255
0,08	93669433
0,12	137818470
0,16	182458499
0,20	232562647

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die unterschiedlichen Injektionsvolumina des Ethanols wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die unterschiedlichen Injektionsvolumina des Ethanols aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann aus der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 1.000.000.000x + 2.000.000$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Ethanolgehaltes in den Spirituosen in Volumenprozent (% vol.). Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Proben werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Injektionsvolumens (V_I = 0,4 µL) und der Volumenprozentangabe des reinen Ethanols (100 % vol.) wird der Alkoholgehalt in Volumenprozent (% vol.) in den einzelnen Spirituosen berechnet.

$$x\ [\%\ vol.] = \frac{\frac{y - 2.000.000}{1.000.000.000}}{V_I} \cdot 100\ \%\ vol.$$

Probe	Fläche [mAU·s]	Injektionsvolumen [µL]	Gehalt [% vol.]

Um die erzielten Ergebnisse richtig einordnen zu können, kann der nachfolgende Text und die dargestellte Tabelle herangezogen werden. Gemäß Art. 2 Buchstabe c VO (EU) 2019/787 über die Begriffsbestimmung, Bezeichnung, Aufmachung und Kennzeichnung von Spirituosen, die Verwendung der Bezeichnungen von Spirituosen bei der Aufmachung und Kennzeichnung von anderen Lebensmitteln […] bezeichnet der Ausdruck „Spirituose“ ein alkoholisches Getränk, das über einen Alkoholgehalt von mindestens 15 % vol. verfügt (mit der Ausnahme von Eierlikör, dessen Mindestalkoholgehalt 14 % vol. betragen muss). In Anhang I dieser Verordnung sind 44 Kategorien an Spirituosen angelegt, in denen bestimmte Anforderungen geregelt sind (Herstellung, Mindestalkoholgehalt, Aromatisierung, Zuckerung etc.). Sie müssen erfüllt werden, damit die Spirituose beispielsweise als Rum bezeichnet werden darf. Alkoholische Getränke, die mindestens einen Alkoholgehalt von 15 % vol. aufweisen, aber keiner

Kategorie aus dem Anhang zugeordnet werden können, werden einfach als Spirituosen bezeichnet.
Die nachfolgende Tabelle zeigt die Mindestanforderungen an den Alkoholgehalt gemäß der Verordnung (EU) 2019/787.

Spirituose	**Hersteller-angabe [% vol.]**	**Mindestalkoholgehalt [% vol.] gemäß Anhang II Kategorie 1, 3, 7, 15 & 20 Buchstabe b VO (EU) 2019/787**
Rum	37,5	37,5
Korn	32,0	32,0
Grappa (Brand aus Obsttrester)	40,0	37,5
Wodka	37,5	37,5
Gin	37,5	37,5

E.22 V 22: Bestimmung des Nikotingehaltes in Zigaretten und in Liquids für E-Zigaretten mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)

Materialien:

- 25 mL Messkolben mit Stopfen (1 x)
- 10 mL Messkolben mit Stopfen (3 x)
- 50 mL Messzylinder (3 x)
- 100 mL Becherglas (3 x)
- 50 mL Becherglas (1 x)
- 1 mL Vollpipette (2 x)
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Scheidetrichter (1x)
- Trichter (2 x)
- Faltenfilter
- Magnetkern
- Magnetkern-Entferner
- Rührplatte
- Stoppuhr
- Waage
- Gaschromatographie-Vial (3 x)
- GC-Spritze (1 µL)
- Gaschromatograph mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Zigaretten (z. B. Marlboro)
- Liquids für E-Zigaretten mit unterschiedlichen Nikotingehalten (z. B. Himbeere, Vanille, Sauerkirsche und Menthol)
- Nikotin
- Dichlormethan
- Natriumhydroxid-Lösung (1 mol/L)
- Natriumsulfat
- Wasserstoff
- Stickstoff
- synthetische Luft
- destilliertes Wasser

Sicherheitsaspekte:

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Dichlormethan		Achtung	• verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen • kann die Atemwege reizen • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • kann vermutlich Krebs erzeugen • kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition
synthetische Luft		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
Natriumhydroxid-Lösung (1 mol/L)		Gefahr	• kann Metallen gegenüber korrosiv sein • verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
Natriumsulfat	-	-	-

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Nikotin		Gefahr	• Lebensgefahr bei Verschlucken, Hautkontakt und beim Einatmen • giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
Stickstoff		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
Wasserstoff		Gefahr	• extrem entzündbares Gas • enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren

Bitte suchen Sie sich neben der Zigarette zwei Liquids für E-Zigaretten zur gaschromatographischen Bestimmung des Nikotingehaltes aus!

Durchführung: Zigarette

Die Durchführung erfolgt unter dem Abzug!

- der Tabak aus zwei Zigaretten (ca. 1 g) wird in ein 100 mL Becherglas eingewogen (Einwaage notieren!!!)
- es werden 20 mL dest. Wasser, 40 mL Dichlormethan und 10 mL Natriumhydroxid-Lösung (1 mol/L) hinzugefügt
- ein Magnetkern wird in die Probe gegeben und die Lösung im Becherglas für 20 Minuten auf der Rührplatte gerührt
- nach Ablauf der 20 Minuten wird die Probensuspension durch einen Faltenfilter in ein zweites Becherglas filtriert und der Inhalt in einen Scheidetrichter überführt. Stoppt die Filtration, ohne dass die ganze Suspension durchgelaufen ist, wird ein zweiter Faltenfilter verwendet
- die organische Phase (untere Phase) wird in einem Becherglas aufgefangen, mit Natriumsulfat getrocknet und über einen Trichter mit Faltenfilter in ein weiteres Becherglas filtriert
- ein Teil der getrockneten organischen Phase wird mit einer Pasteurpipette in ein GC-Vial pipettiert
- die wässrige Phase (obere Phase) wird verworfen
- 0,5 µL der organischen Phase werden mit der GC-Spritze in den Gaschromatographen injiziert

Durchführung: Liquids für E-Zigaretten

Die Durchführung erfolgt unter dem Abzug!

Liquids für E-Zigaretten sind flüssig. Für die qualitative und quantitative Bestimmung von Nikotin bedarf es nur einer Verdünnung.

- Die Liquids werden wie folgt im Messkolben verdünnt:
  - Himbeer-Liquid; Vanille-Liquid; Sauerkirsch-Liquid: 1:10
    (1 mL Liquid wird in einen 10 mL Messkolben pipettiert und mit Dichlormethan bis zur Markierung aufgefüllt)
  - Menthol-Liquid: 1:25
    (1 mL Menthol-Liquid wird in einen 25 mL Messkolben pipettiert und mit Dichlormethan bis zur Markierung aufgefüllt)

- die Verdünnungen werden in je ein Becherglas überführt, mit Natriumsulfat getrocknet und über einen Trichter mit Faltenfilter in ein weiteres Becherglas filtriert
- ein Teil der Probelösungen wird mit einer Pasteurpipette in je ein GC-Vial pipettiert
- 0,5 µL der jeweiligen Probelösungen werden mit der GC-Spritze in den Gaschromatographen injiziert

Geräteparameter des Gaschromatographen:

- Gerät: SHIMADZU GC-2010 Plus Gas Chromatograph
- Säule: Phenomenex ZB-WAX (Zebron Capillary GC Column)
  30 m Säulenlänge
  0,25 mm Innendurchmesser
  0,25 µm Filmdicke
- Detektion: Flammenionisationsdetektor (FID)

Methode:

SPL (Injektor):

- Temperatur: 250 °C
- Split: Splitless
- Druck: 170 kPa
- Total Flow: 369,1 mL/min
- Column Flow: 1,82 mL/min
- Purge Flow: 3,0 mL/min

Säule:

- Temperatur: 150 °C

Flammenionisationsdetektor (FID):

- Temperatur: 250 °C
- Stop Time: 8 min
- Makeup Gas: Stickstoff (N_2)
- Makeup Flow: 30 mL/min
- H_2 Flow: 40 mL/min
- Air Flow: 400 mL/min

Beobachtung Zigarette:

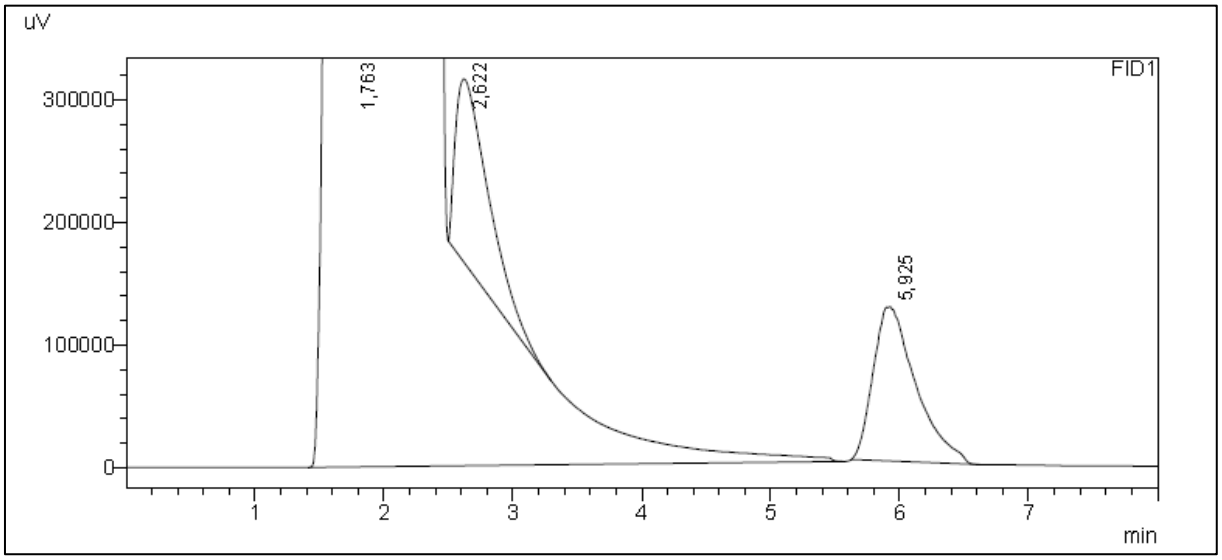
Probe	Einwaage [g]	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

Beobachtung Liquids:

Probe	Verdünnungs-faktor	Retentionszeit [min]	Fläche [mAU·s]

Entsorgung:
Die organische Phase aus der Aufarbeitung der Zigarette wird im Behälter für halogenierte organische Lösemittel und die wässrige Phase im Ausguss entsorgt. Die Liquids, die mit Dichlormethan verdünnt worden sind, werden ebenfalls im Behälter für halogenierte organische Lösemittel entsorgt. Der Magnetkern wird aus dem Filterkuchen entfernt, die Faltenfilter mit den Rückständen in einem großen Becherglas gesammelt und am Ende des Versuchstages in der Feststofftonne entsorgt. Die Lösungen aus den GC-Vials werden im Behälter für halogenierte organische Lösemittel entsorgt.

Auswertung:
Qualifizierung:
Zur qualitativen Bestimmung des Nikotins in Zigaretten und Liquids für E-Zigaretten werden die Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Nikotin verglichen. Nikotin wird in dieser Methode bei einer Retentionszeit von 5,5 – 6,0 Minuten eluiert. Ein Vergleichschromatogramm von Nikotin ist nachfolgend dargestellt.

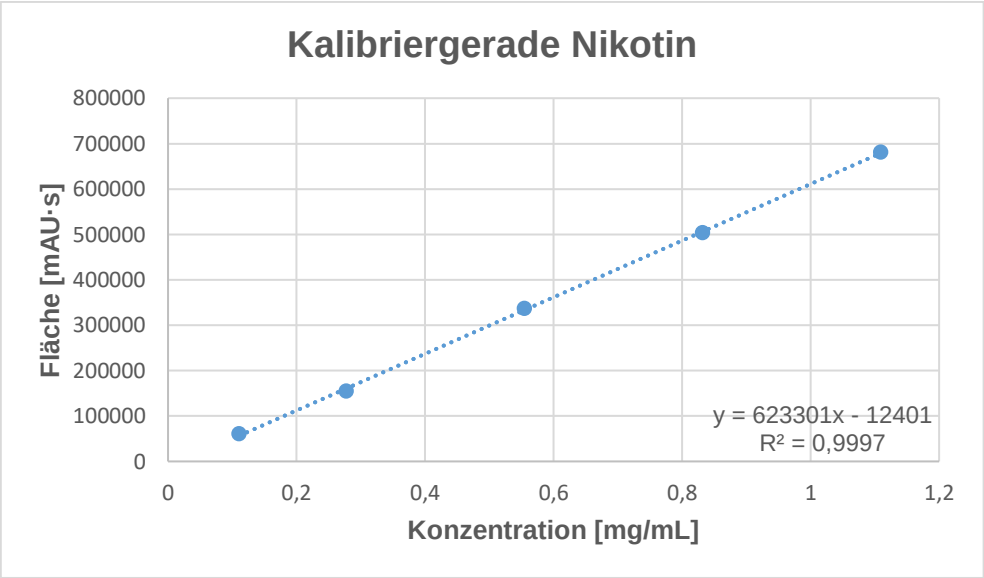


Anhand des Vergleichs der Retentionszeiten der Proben mit der Retentionszeit der Standardsubstanz Nikotin kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die vorliegenden Zigarettensorten und Liquids für E-Zigaretten nikotinhaltig sind.

Quantifizierung:
Die Quantifizierung des Nikotingehaltes in den Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten erfolgt über eine externe Kalibrierung. Dafür sind die Flächen von fünf Kalibrierlösungen des Nikotins mittels Gaschromatographie bestimmt worden. Die bei der Messung erhaltenen Werte für die Flächen der fünf Kalibrierlösungen des Nikotins sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Konzentration [mg/mL]	Mittelwert der Flächen [mAU·s]
0,111	60333
0,278	154880
0,555	336968
0,832	503598
1,110	680750

Aus den erhaltenen Mittelwerten der Flächen für die Kalibrierlösungen des Nikotins wird eine Kalibriergerade erstellt, indem die Flächeneinheiten gegen die Konzentrationen der einzelnen Kalibrierlösungen aufgetragen werden. Die graphische Darstellung der Kalibriergerade kann aus der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Wird eine lineare Gerade durch die einzelnen Punkte des Diagramms gelegt, erhält man durch Anwendung der linearen Regression folgende Geradengleichung.

$$y = 623301x - 12401$$

Durch Umstellen der Geradengleichung nach x erhält man die Gleichung zur Berechnung des Nikotingehaltes in den Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten in Milligramm/Milliliter.

$$x\ [\text{mg/mL}] = \frac{y + 12401}{623301} \cdot F$$

Die erhaltenen Flächen aus der Messung der Probelösungen werden für den Parameter y in die Geradengleichung eingesetzt. Unter Einbezug des Verdünnungsfaktors (F) wird der Gehalt an Nikotin in Milligramm/Milliliter in den einzelnen Zigaretten/Liquids für E-Zigaretten berechnet.

Probe	Fläche [mAU·s]	Verdünnungsfaktor	Gehalt [mg/mL]

Anhand der erzielten Ergebnisse wird entschieden, um welche Nikotinstufen es sich bei den untersuchten Liquids für die E-Zigaretten handelt. Um eine eindeutige Aussage treffen zu können, sollten die nachfolgenden Informationen herangezogen werden.

Die Liquids für die E-Zigaretten sind flüssig, weshalb der Nikotingehalt auch auf den Verpackungen dieser in Milligramm/Milliliter angegeben wird. Dabei ist zu beachten, dass gemäß § 14 des Tabakerzeugnisgesetzes (TabakerzG) die Nachfüllbehälter nur ein Volumen von höchstens 10 Millilitern und die nikotinhaltigen zu verdampfenden Flüssigkeiten höchstens einen Nikotingehalt von 20 Milligramm pro Milliliter aufweisen dürfen. Die Liquids werden von den jeweiligen Herstellern mit folgenden Nikotingehalten angegeben:

- 0 mg/mL
- 3 mg/mL
- 6 mg/mL
- 12 mg/mL
- 15 mg/mL
- 18 mg/mL

Da der Tabak in den Zigaretten fest ist, wird mithilfe der Einwaage sowie dem Probenvolumen (70 mL) der Gehalt an Nikotin von Milligramm/Milliliter in Milligramm/Gramm umgerechnet. Dafür wird folgende Gleichung verwendet.

$$\text{Gehalt [mg/g]} = \frac{\text{Gehalt} \left[\frac{\text{mg}}{\text{mL}}\right] \cdot 70\ \text{mL}}{\text{Einwaage [g]}}$$

Die Einwaage von ca. 1 Gramm zur Bestimmung des Nikotingehaltes in der Zigarette bezieht sich auf den Tabak von zwei Zigaretten, d. h., dass eine Zigarette in etwa 0,5 Gramm Tabak enthält. Um vom Nikotingehalt in Milligramm/Gramm auf den Nikotingehalt in einer Zigarette schließen zu können, muss der Nikotingehalt in Milligramm/Gramm durch zwei geteilt werden. Das Ergebnis zeigt den Nikotingehalt in der Zigarette an.

Probe	**Gehalt Nikotin [mg/mL]**	**Gehalt Nikotin [mg/g]**	**Gehalt Nikotin/ Zigarette**

Um das bei der Zigarette erzielte Ergebnis richtig einordnen zu können, sollten die nachfolgenden Informationen herangezogen werden.

Auf den Verpackungen von Zigaretten müssen immer Angaben zum Teer-, Nikotin- und Kohlenstoffmonoxidgehalt in Milligramm/Zigarette gemacht werden. Dabei sind gemäß § 4 des Tabakerzeugnisgesetzes (TabakerzG) bestimmte Vorgaben für Emissionswerte festgelegt. Demnach dürfen Zigaretten nur in der Weise hergestellt oder in den Verkehr gebracht werden, wenn die folgenden Emissionswerte nicht überschritten werden:

- Teer: 10 Milligramm/Zigarette
- Nikotin: 1 Milligramm/Zigarette
- Kohlenmonoxid: 10 Milligramm/Zigarette.

Als Beispiel wird die Zigarettenmarke „Marlboro (rot)“ betrachtet. Auf der roten Marlboro-Schachtel sind folgende Emissionswerte angegeben:

- Teer: 10 Milligramm/Zigarette
- Nikotin: 0,8 Milligramm/Zigarette
- Kohlenmonoxid: 10 Milligramm/Zigarette.

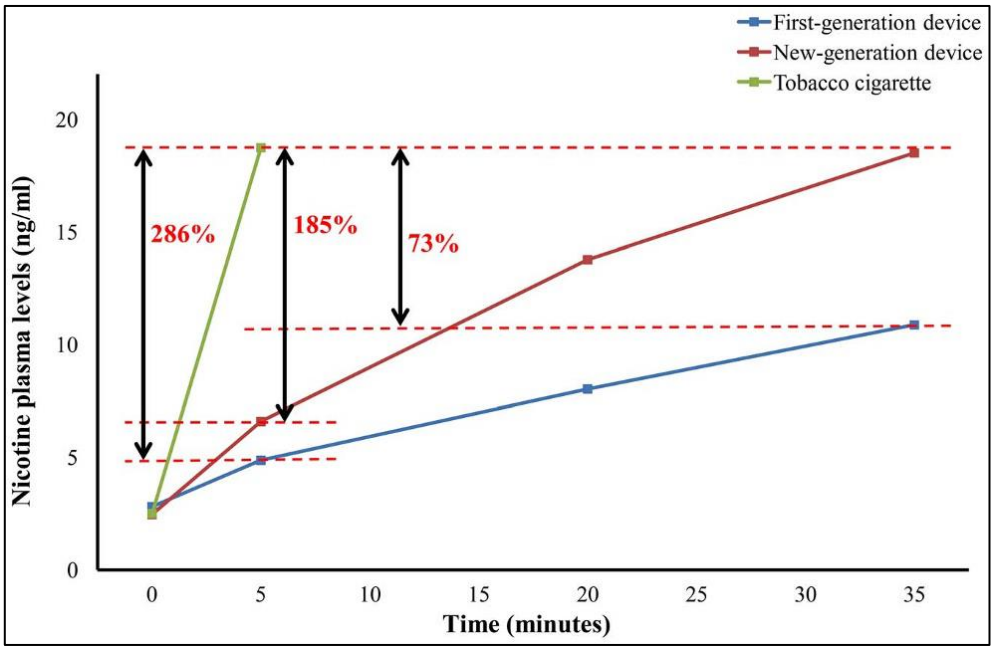
Der Nikotingehalt in den Zigaretten wird im Labor mit ca. 12 Milligramm Nikotin bestimmt.
Das ist deutlich höher als auf den Zigarettenschachteln angegeben (0,8 Milligramm/Zigarette).
Im Tabakerzeugnistgesetz (TabakerzG) bezieht sich dieser Wert nur auf die Emission, das heißt auf maschinell im Rauch gemessene Werte.

Stellt man einen Vergleich an, ob Zigaretten oder die Liquids für die E-Zigaretten einen höheren Nikotingehalt aufweisen, dann muss neben dem bestimmten Nikotingehalt auch die Nikotinresorption und persönlichen Gegebenheiten einbezogen werden.
Die nachfolgende Tabelle zeigt sowohl die ausgezeichneten als auch berechneten Nikotingehalte der verschiedenen Liquids. Zudem kann entnommen werden, wie viele Zigaretten diesem Nikotingehalt entsprechen.

Liquid	**ausgezeichneter Nikotingehalt [mg/mL]**	**Volumen Liquid [mL]**	**Nikotingehalt im Liquid [mg]**	**entsprechende Anzahl an Zigaretten**
Sauerkirsch	0	10	0	0
Himbeere	3	10	30	3
Vanille	6	10	60	5
Menthol	12	10	120	10

Vergleicht man den Nikotingehalt einer Schachtel Zigaretten (20 Stück = 240 mg Nikotin) mit dem Menthol-Liquid (10 ml à 12 mg/mL = 120 mg Nikotin) erkennt man, dass das Liquid nur die Hälfte an Nikotin enthält.

Von den 12 Milligramm Nikotin/Zigarette wird ein Großteil des Nikotins beim Rauchen der Zigarette verbrannt. Es werden vom Körper ca. 2 Milligramm/Zigarette an Nikotin resorbiert. Da in den Tabakzigaretten diverse zusätzliche Stoffe enthalten sind, die ebenfalls beim Rauchen inhaliert werden, gelangt das Nikotin schneller in den Blutkreislauf als beim Dampfen der Liquids für die E-Zigaretten. Beim Dampfen wird im Vergleich zu den Tabakzigaretten nur ca. ein Drittel des Nikotins vom Körper resorbiert. Dies wird in dem nachfolgenden Diagramm dargestellt.



Die persönlichen Gegebenheiten im Vergleich des Nikotingehaltes von Tabakzigaretten und Liquids für E-Zigaretten mit einzubeziehen, ist schwieriger. Jeder einzelne Raucher/Dampfer raucht eine unterschiedliche Anzahl an Tabakzigaretten beziehungsweise verdampft eine unterschiedliche Menge an Millilitern eines Liquids.

E.23 V 23: Beschreibung des Aromas in Kaffee mittels Gaschromatographie mit Olfaktometrieeinheit (GC-O)

Materialien:

- 1000 mL Rundkolben (1 x)
- 100 mL Rundkolben (1 x)
- 500 mL Messzylinder (1 x)
- 50 mL Messzylinder (1 x)
- Trichter (1 x)
- Faltenfilter (1 x)
- Simultane-Destillations-Extraktions-Apparatur (SDE)
- Siedesteinchen
- Stativmaterial
- Heizpilz (2 x)
- Hebebühne (2 x)
- Schlauchmaterial mit Schellen (2 x)
- Schliffklemmen
- Korkring (2 x)
- Pasteurpipetten mit Hütchen
- Schnappdeckelgläschen (1 x)
- Parafilm
- Alufolie
- Schlifffett
- Spatel
- Waage
- Gaschromatograph mit Olfaktometrieeinheit (GC-O)

Lebensmittel & Chemikalien:

- Kaffee (Jacobs Krönung)
- *n*-Pentan
- Natriumsulfat
- Wasserstoff
- Stickstoff
- Synthetische Luft
- destilliertes Wasser

Sicherheitsaspekte

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Natriumsulfat	-	-	-
n-Pentan		Gefahr	• Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar • kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein • kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen • giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung • wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen
Synthetische Luft		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Handhabung
Stickstoff		Achtung	• enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
Wasserstoff		Gefahr	• extrem entzündbares Gas • enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren

Aufbau der Simultanen-Destillations-Extraktions-Apparatur (SDE):

- die SDE wird spannungsfrei und gerade an 2 – 3 Stativen aufgebaut. Dabei müssen Vorder- und Rückseite beachtet werden.
- zusätzlich muss auf die Höhe geachtet werden, da die Rundkolben, Heizpilze und Hebebühnen noch unter die SDE gesetzt werden
- die Kühlleitungen werden angeschlossen und die Anschlüsse mit Schlauchschellen fixiert
- der Ablaufschlauch wird gesichert an den Rückfluss gehängt

Durchführung:

- in den 1000 mL Rundkolben werden ca. 30 g gemahlener Kaffee eingewogen, mit 5 – 10 Siedesteinchen und 500 mL dest. Wasser versetzt
- in den 100 mL Rundkolben werden 30 mL *n*-Pentan gefüllt (hier kann aufgrund des niedrigen Siedepunktes von *n*-Pentan auf die Zugabe von Siedesteinchen verzichtet werden)
- beide Kolben werden an die SDE gesetzt und mit Schliffklemmen versehen (der 100 mL Rundkolben mit *n*-Pentan wird am höher angesetzten Rücklauf und der gefüllte 1000 mL Rundkolben am niedriger angesetzten Rücklauf befestigt)
- unter die beiden Rundkolben werden je ein Heizpilz und eine Hebebühne platziert
- der obere Teil des mit Kaffee und Wasser gefüllten Rundkolbens und der untere Teil der zugehörigen Kolonne werden zur besseren Wärmeisolierung mit Alufolie umwickelt
- es folgt das Anstellen des Leitungswassers zur Kühlung der Apparatur

- mit einer Pasteurpipette wird im mittleren oberen Auslaufhahn (Rückseite der Apparatur) so viel dest. Wasser eingefüllt, dass der untere Füllbogen bedeckt ist
- anschließend wird *n*-Pentan, ebenfalls mit einer Pasteurpipette, am Auslaufhahn bis kurz vor dem Rücklauf zum Pentankolben auf das Wasser gefüllt
- zum Start der SDE werden beide Heizpilze auf die höchste Stufe eingestellt
- beginnt eine Seite zu Sieden, wird der entsprechende Heizpilz stufenweise heruntergeregelt, sodass ein Siedezustand erhalten bleibt und ein „Trockenlaufen“ des Pentankolbens vermieden wird
- insgesamt wird das System für zwei Stunden am Sieden gehalten

- nach der zweistündigen Siedezeit werden die Heizpilze ausgestellt und durch Korkringe ersetzt
- nach Abkühlung wird der Pentankolben von der Apparatur abgenommen
- es folgt die Trocknung über Natriumsulfat mit anschließender Filtration in ein Schnappdeckelgläschen

- 0,5 µL der Probelösung werden mit der GC-Spritze in den Gaschromatographen injiziert oder das Schnappdeckelgläschen mit Parafilm verschlossen im Kühlschrank bis zu einem späteren Analysenzeitpunkt aufbewahrt

- der 1000 mL Rundkolben wird von der Apparatur abgenommen und die Wasserkühlung der Apparatur abgestellt

Geräteparameter des GC:

- Gerät: SHIMADZU GC-2010 Plus Gas Chromatograph
- Säule: Phenomenex ZB-WAX (Zebron Capillary GC Column)
  30 m Säulenlänge
  0,25 mm Innendurchmesser
  0,25 µm Filmdicke
- Detektion: Flammenionisationsdetektor (FID)

Methode:

SPL (Injektor):

- Temperatur: 250 °C
- Split: 1:5
- Druck: 113 kPa
- Total Flow: 13,4 mL/min
- Column Flow: 1,73 mL/min
- Purge Flow: 3,0 mL/min

Säule:

- Temperaturprogramm:
  - 40 °C; 2 min isotherm
  - 40 – 230 °C (Heizrate: 22 °C/min)
  - 230 °C; 50 min isotherm

Flammenionisationsdetektor (FID):

- Temperatur: 250 °C
- Stop Time: 60 min
- Makeup Gas: Stickstoff (N_2)
- Makeup Flow: 30 mL/min
- H_2 Flow: 40 mL/min
- Air Flow: 400 mL/min

Beobachtung:

Zeitpunkt der Geruchs-wahrnehmung [min]	Beschreibung des wahrgenommenen Geruchs

Entsorgung:

Der Inhalt des 1000 mL Rundkolbens wird im Ausguss entsorgt.

Hilfestellung zur Beschreibung der wahrgenommenen Gerüche

Um die wahrgenommenen Gerüche einfacher beschreiben zu können, kann das nachfolgend dargestellte Aromarad für Getränke und Lebensmittel im Allgemeinen (Abbildung 1) herangezogen werden.

Abbildung 1 Aromarad für Getränke und Lebensmittel der Deutschen-Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) [1]

Wissenswertes:

Die Analyse sensorischer Eigenschaften erlangt immer mehr Aufmerksamkeit, da die Menschen Essen und Trinken nicht einfach mit der Aufnahme von Nährstoffen assoziieren. Es stellt vielmehr Genuss und Lebensfreude dar. Der Mensch isst in der Regel nur das, was ihm vom Aussehen, Geruch und Geschmack zusagt [2, S. 1].

Geruchsempfindungen werden durch flüchtige, chemische Verbindungen hervorgerufen. Dabei werden die riechbaren, gasförmigen Stoffe entweder mit eingeatmeter oder ausgeatmeter Luft an die Rezeptoren herangeführt [3, S. 17].

Geruchsempfindlich ist die fetthaltige Riechschleimhaut (*Regio olfactoris*, Abbildung 2) im Dach der Nasenhöhle des Menschen, die auch als Riechepithel bezeichnet wird. Es setzt sich

aus drei verschiedenen Zelltypen zusammen: den Riechzellen, den Stützzellen und den Basalzellen. Die etwa 30 Millionen Riechzellen besitzen eine durchschnittliche Lebensdauer von nur einem Monat, wobei neue Riechzellen aus den adulten Basalzellen gebildet werden. Die Geruchsreize werden auf einer etwa $2 \cdot 5\ cm^2$ großen Fläche durch Rezeptoren, die auf den Haaren der Riechzellen liegen, empfangen und weitergeleitet (siehe Abbildung 2 links: rosa eingefärbter Bereich) [4, S. 782]. Um die Rezeptoren zu erreichen, müssen die Duftstoffe in der oberflächlichen Schleimschicht der Riechschleimhaut gelöst werden. Bindet sich ein Duftmolekül an einem spezifischen Rezeptor, so wird über ein olfaktorisches G-Protein das Enzym Adenylatzyklase aktiviert. Mithilfe dieses Enzyms wird aus Adenosintriphosphat (ATP) cyclisches Adenosinmonophosphat (cAMP) gebildet. Das cAMP öffnet kationenpermeable Ionenkanäle, sodass Natrium- und Calciumionen in die Zelle einströmen und die Zellen depolarisieren können [4, S. 784]. So werden die chemischen Duftsignale in elektrochemische Signale umgewandelt und ein Geruch wird wahrgenommen [5, S. 16].

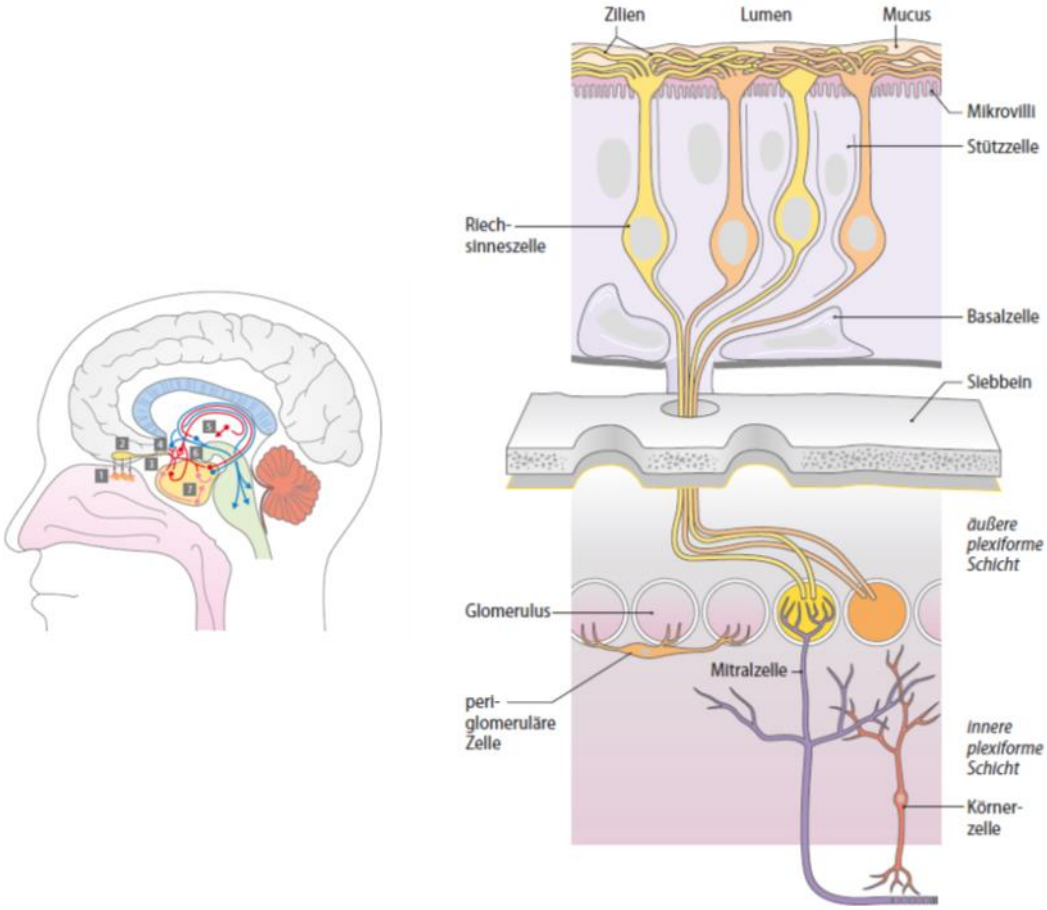


Abbildung 2 Lage und schematischer Aufbau der Riechschleimhaut Regio olfactoris [4, S. 783]

Die Wahrnehmung von Gerüchen (bis zu 10.000 Gerüche) und deren Beurteilung ist dennoch von Person zu Person unterschiedlich. Als wichtige Einflussfaktoren sind hierbei das Rauchen, das Hunger- und Sättigungsgefühl sowie emotionsorientierte Prägungen (Erziehung oder Situationen, in denen die Gerüche kennengelernt werden) zu nennen. Diese können sich auf die Wahrnehmung von Gerüchen und deren Beurteilung auswirken. Mit zunehmendem Alter nimmt die Fähigkeit ab, Gerüche wahrzunehmen und zu erkennen, da sich im Alter die Riechschleimhaut der Nase verändert und langsamer regeneriert [5, S. 17].

Die Geruchsempfindlichkeit wird unterschieden in Wahrnehmungs- und Erkennungsschwellen [6]. An der Wahrnehmungsschwelle kann ein Geruch gerade wahrgenommen, aber nicht identifiziert werden. Um einen Geruch zu identifizieren, muss die Erkennungsschwelle erreicht werden. Ihre Konzentration ist in etwa zehnmal höher als die der Wahrnehmungsschwelle. Es ist zu berücksichtigen, dass die menschliche Nase für bestimmte Gerüche empfindlicher ist als für andere Gerüche. Die Geruchs- und Erkennungsschwelle wird durch die Anzahl der Moleküle pro Liter Luft bedingt, ab der eine Wahrnehmung möglich wird [4, S. 786].

Quellen:

[1] Simat, T., Schneider-Häder, B., Uhl, M., Mleczko, M. (2017): *DLG-Expertenwissen – Geruchs- und Aromaschulung in der Sensorik*. Zugriff am 20.07.2019. Verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/food/Expertenwissen/Lebensmittelsensorik/2017_1_Expertenwissen_Geruchsschulung.pdf

[2] Busch-Stockfisch, M. (2015). *Praxishandbuch Sensorik kompakt in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Behr´s Verlag GmbH

[3] Fliedner, I., Wilhelmi, F. (1989). *Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik*. Behr´s Verlag GmbH

[4] Hatt, H. (2019). Geschmack und Geruch. In Brandes, R., Lang, F., Schmidt, R. (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (32. Auflage). Springer Medizin Verlag.

[5] Derndorfer, E. (2008). *Lebensmittelsensorik* (2. Auflage). Facultas Verlags- und Buchhandels AG

[6] Plattig, K.-H. (1987). Der Geruchssinn des Menschen - chemische, physikalische, physiologische und psychologische Vorgänge beim Riechen. *Physik in unserer Zeit, 18* (5), 146-158

Literaturverzeichnis

Abuirjeie, M. A., Sharaf El-Din, M. & Mahmoud, I. I. (1992). Determination of Theobromine, Theophylline, and Caffeine in Various Food Products Using Derivative UV-Spectrophotometric Techniques and High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 15* (1), 101 – 125.

Achtermann, K., Hildebrandt, K., Rebentisch, D. & Witte-Ebel, M. (2015): Chemie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5 - 10. Naturwissenschaften* (S. 43 – 68).

Achtermann, K., Ellerbrake, T., Gauer, J., Harms, G., Hildebrandt, K., Voss, C. & Witte-Ebel, M. (2017): Chemie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.*), Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe*.

Ahrens, S. (2022a). *Fleischkonsum in Deutschland pro Kopf bis 2021*. Zugriff am 30.04.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36573/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-fleisch-in-deutschland-seit-2000/

Ahrens, S. (2022b). *Pro-Kopf-Konsum von Schokolade in Europa nach Ländern 2020*. Zugriff am 30.04.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/20040/umfrage/jaehrlicher-schokoladenkonsum-pro-kopf-in-ausgewaehlten-laendern/

Ahrens, S. (2022c). *Pro-Kopf-Konsum von Honig in Deutschland bis 2021*. Zugriff am 20.06.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/422472/umfrage/pro-kopf-konsum-von-honig-in-deutschland/

Anton, M. A. (2008). *Kompendium Chemiedidaktik*. Julius Klinkhardt Verlag.

Aprentas (Hrsg.) (2017). *Laborpraxis Band 3: Trennungsmethoden* (6. Auflage). Birkhäuser Basel.

Atteslander, P. (2008). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (12. Auflage). Erich Schmidt Verlag.

Baltes, W. & Matissek, R. (2011). *Lebensmittelchemie* (7. Auflage). Springer-Verlag.

Banspach, L., Gilsbach, W., Hausmann, B., Jezussek, M., Pecoraro, S., Schellenberg, A., Seifert, S. & Wachter, H. (2012). *Untersuchung von Bio-Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft aus dem ökologischen Anbau. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit*. Zugriff am 15.03.2022. Verfügbar unter https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=461148837&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lgl_lms_00004%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)

Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik*: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen (1. Auflage). Springer-Verlag.

Barke, H-D., Harsch, G. & Schmid, S. (2012). *Essentials of Chemical Education*. Springer-Verlag.

Barke, H.-D., Harsch, G., Krüger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Auflage). Springer Verlag.

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL Bayern) (2022). *"Unter Dampf!" – Wie sicher sind elektronische Zigaretten (E-Zigaretten)?*. Zugriff am 15.01.2022. Verfügbar unter https://www.lgl.bayern.de/produkte/tabak/e_zigarette/index.htm

Beckert, R., Fanghänel, E., Habischer, W. D., Knölker, H.-J., Metz, P. & Schwetlick, K. (2009). *Organikum. Organisch-chemisches Grundpraktikum* (23. Auflage). Wiley-VCH.

Beckh, G., Wessel, P. & Lüllmann, C. (2005). Natürliche Bestandteile des Honigs: Hefen und deren Stoffwechselprodukte – Teil 3: Der Ethanol- und Glyceringehalt als Qualitätsparameter mit Bezug zum Hefewachstum. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 101* (1), 1 – 6.

Belitz, H.-D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2008). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie* (6. Auflage). Springer Spektrum.

Biesalski, H. K. & Grimm, P. (2011). *Taschenatlas Ernährung* (5. Auflage). Georg Thieme Verlag.

Binder, S. & Pietzner, V. (2017). *Honig im Chemieunterricht. Theorie, Experimente und Arbeitsblätter Sekundarstufe I und II*. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://uol.de/f/5/inst/chemie/ag/didaktik/Honig_im_Chemieunterricht_V_1.0.pdf

Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A., Leschnik-Bonnet, E., Müller, M. J., Oberritter, H., Schulze, M., Stehle, P. & Watzl, B. (2012). *Stellungnahme. Gemüse und Obst in der Prävention ausgewählter chronischer Krankheiten. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE)*. Zugriff am 10.03.2022. Verfügbar unter https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/ws/stellungnahme/DGE-Stellungnahme-Gemuese-Obst-2012.pdf

Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluationen für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Springer-Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (1984). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 00. 00 9. *Untersuchung von Lebensmitteln. Bestimmung von Konservierungsstoffen in fettarmen Lebensmitteln*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2001). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 00.00 28. *Untersuchung von Lebensmitteln. Bestimmung von Acesulfam-K, Aspartam und Saccharin-Natrium in Lebensmitteln – HPLC-Verfahren*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2003). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 40.00 3. *Untersuchung von Lebensmitteln. Untersuchung von Honig. Bestimmung des Prolingehaltes von Honig.* Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2010). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 00. 00 134. *Untersuchung von Lebensmitteln. Bestimmung von Cumarin in zimthaltigen Lebensmitteln mittels HPLC/DAD bzw. HPLC-MS/MS*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2012). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. T 60. 00 6. *Untersuchung von Tabak. Bestimmung des Nikotingehaltes in Tabak und Tabakerzeugnissen. Gaschromatographisches Verfahren*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2018). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 46. 00 2. *Untersuchung von Lebensmitteln. Untersuchung von Kaffee und Kaffee-Erzeugnissen. Bestimmung des Gehalts an Chlorogensäure. HPLC-Verfahren*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2019). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 40. 00 1. *Untersuchung von Lebensmitteln. Bestimmung der Diastase-Aktivität in Honig*. Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.) (2019). Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, Nr. L 40. 00 10/3. *Untersuchung von Lebensmitteln. Untersuchung von Honig. Bestimmung des Gehaltes an Hydroxymethylfurfural*. Hochleistungsflüssigkeitschromatographisches Verfahren. Beuth Verlag.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hrsg.) (2021a). *Pro-Kopf-Verbrauch von Gemüse nach Arten 2020/2021*. Zugriff am 27.02.2022. Verfügbar unter https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/GBT-0070004-2021.pdf

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hrsg.) (2021b). *Pro-Kopf-Verbrauch von Obst nach Arten*. Zugriff am 27.02.2022. Verfügbar unter https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/GBT-0070002-2021.pdf

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (Hrsg.) (2012). *Fragen und Antworten zu Cumarin in Zimt und anderen Lebensmitteln*. Zugriff am 10.12.2020. Verfügbar unter https://www.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-cumarin-in-zimt-und-anderen-lebensmitteln.pdf

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (Hrsg.) (2020). *Schutz vor Botulismus durch Lebensmittel*. Zugriff am 13.03.2022. Verfügbar unter https://www.bfr.bund.de/cm/350/hinweise_fuer_verbraucher_zum_botulismus_durch_lebensmittel.pdf

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (Hrsg.) (2021). *E-Zigaretten – alles andere als harmlos*. Zugriff am 13.03.2022. Verfügbar unter https://www.bfr.bund.de/de/e_zigaretten___alles_andere_als_harmlos-129574.html

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2020). *Tabakerzeugnisse*. *Tabakerzeugnis-Datenbank*. Zugriff am 20.11.2020. Verfügbar unter https://service.bmel.de/tabakerzeugnisse/index2.php?site_key=153

Busch-Stockfisch, M. (2015). *Praxishandbuch Sensorik kompakt in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Behr´s Verlag.

Bybee, R. & Trowbridge, L. W. (1996). *Teaching secondary school science – Strategies for developing scientific literacy* (6. Auflage). Merrill Verlag.

Cheynier, V., Montserrat, D., Salas, D., Maury, C., Souquet, J., Sarni-Manchado, P. & Fulcrand, H. (2006). Structure and Properties of Wine Pigments and Tannins. *American Journal of Enology and Viticulture, 57* (3), 299 – 303.

Childs, P. E., Hayes, S. & O´Dwyer, A. (2015). Chemistry and Everyday Life: Relating Secondary School Chemistry to the Current and Future Lives of Students. In Eilks, I. & Hofstein, A. (Hrsg.). *Relevant Chemistry Education. From Theory to Practice*. Sense Publishers. Zugriff am 02.07.2022. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/283480218_Chemistry_and_Everyday_Life_Relating_Secondary_School_Chemistry_to_the_Current_and_Future_Lives_of_Students

Chu, Y.-F. (2012). *Coffee. Emerging Health Effects and Disease Prevention*. Wiley Blackwell.

Dainton, N. (2018). *Feedback in der Hochschullehre*. Haupt Verlag.

Delahunty, C. M., Eyres, G. & Dufour, J.-P. (2006). Gas chromatography-olfactometry. *Journal of Separation Science, 29*, 2107 – 2125.

Demuth, R. (1981). Schülerexperimente im Chemieunterricht (I). Zur Frage der Schülermotivation für das Fach Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, 29, 256 – 259.

Derndorfer, E. (2008). *Lebensmittelsensorik* (2.Auflage). Facultas Verlags- und Buchhandels AG.

Deutscher Kaffeeverband (Hrsg.) (2021). *Deutscher Kaffeemarkt 2020: 20 Tassen pro Kopf mehr konsumiert* [*Pressemitteilung.*]. Zugriff am 12.01.2022. Verfügbar unter https://www.kaffeeverband.de/media/presse_pdf/PM_Kaffeemarkt2020.pdf

Dräger, B. (2016). *Coffein*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-02269?searchterm=coffein&context=search

Dresing, T. & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (8. Auflage). Dr. Dresing & Pehl GmbH.

Dunkelberg, H., Gebel, T. & Hartwig, A. (2012). *Vitamine und Spurenelemente. Bedarf, Mangel, Hypervitaminosen und Nahrungsergänzung* (1. Auflage). Wiley-VCH.

Ebermann, R. & Elmadfa, I. (2011). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie und Ernährung* (2. Auflage). Springer Verlag.

Eisenbrand, G. & Schreier, P. (2006). *RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie* (2. Auflage). Georg Thieme Verlag.

Elster, D. (2010). *Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften – Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich*. Shaker Verlag.

Emmler, P., Krömer, M., Lamche, C., Leykum, S., Niepötter, C., Ocklitz, A., Peters, J. & Rieder, K. (2017): Biologie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe*.

Europäische Kommission (Hrsg.) (2014). *Bilderbibliothek für Tabakerzeugnisse (mit kombinierten gesundheitsbezogenen Warnhinweisen). In Delegierte Richtlinie 2014/109/EU der Kommission vom 10. Oktober 2014 zur Änderung von Anhang II der Richtlinie 2014/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zwecks Einrichtung der Bibliothek mit bildlichen Warnhinweisen, die auf Tabakerzeugnissen zu verwenden sind*. Zugriff am 21.11.2020. Verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32014L0109:DE:HTML#d1e41-24-1

Fischer, E. P. (2003). *Die andere Bildung: Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte*. Ullstein Verlag.

Fischler, H., Gebhardt, U. & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Bildung und Scientific Literacy. In Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer-Verlag.

Flemmer, A. (2014). *Bio-Lebensmittel. Warum sie wirklich gesünder sind* (3. Auflage). Humboldt.

Flick, U., von Kardorff, E. & Steinke, I. (2000). Was ist die qualitative Forschung? Eine Einleitung und Überblick. In Flick, U., von Kardorff, E. & Steinke, I. (Hrsg.). *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.

Fliedner, I. & Wilhelmi, F. (1989). *Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik*. Behr´s Verlag.

Frede, W. (2010). *Handbuch für Lebensmittelchemiker. Lebensmittel – Bedarfsgegenstände – Kosmetika – Futtermittel* (3. Auflage). Springer-Verlag.

Fromm, M. (2012). *Einführung in didaktisches Denken*. Waxmann Verlag.

Fulcrand, H., Montserrat, D., Salas, E. & Cheynier, V. (2006). Phenolic Reactions during Winemaking an Aging. *American Journal of Enology and Viticulture, 57* (3), 289 – 297.

Fuller, G. H., Steltenkamp, R. & Tisserand, G. A. (1964). The gas chromatograph with human sensor: perfumer model. *Annals of the New York Academy of Sciences, 116* (2), 711 – 724.

Gesellschaft Deutscher Chemiker e. V. (GDCh) (2017). *Lebensmittelchemiker – Experten für Lebensmittel und Verbraucherschutz*. Zugriff am 23.03.2022. Verfügbar unter https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Service_und_Informationen/Downloads/Schule_Studium/PDF/lmchem_experten_2017.pdf

Gey, M. H. (2021*). Instrumentelle Analytik und Bioanalytik. Biosubstanzen, Trennmethoden, Strukturanalytik, Applikationen* (4. Auflage). Springer Spektrum.

Göllner, T. (2020). *Nitrat-Gehalt in Gemüse*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Zugriff am 06.11.2020. Verfügbar unter https://www.vis.bayern.de/essen_trinken/unerwuenschte_stoffe/nitrat_gemuese.htm

Gräber, W. (1999). Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion. In Döbrich, P. (Hrsg.). *Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung*, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung. Zugriff am 14.10.2021. Verfügbar unter https://www.pedocs.de/volltexte/2010/3101/pdf/MatBild_Bd7_D_A.pdf

Gräber, W. & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T. & Evans, R. (Hrsg.). *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Leske + Budrich.

Grosch, W. (1996). Warum riecht Kaffee so gut?. *Chemie in unserer Zeit, 30* (3), 126 – 133.

Guichard, E., Salles, C., Morzel, M. & Le Bon, A.-M. (2017). *Flavour. From Food to Perception*. Wiley Blackwell.

Haas, U. (2021). *5 am Tag – Die Gesundheitskampagne mit Biss*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://www.vis.bayern.de/essen_trinken/ernaehrungsformen/5amtag.htm#:~:text=Die%20Empfehlung%2C%20t%C3%A4glich%20f%C3%BCnf%20Portionen,Portion%20gekochtes%20Gem%C3%BCse%20(200%20g)

Habermehl, G., Hammann, P. E., Krebs, H. C. & Ternes, W. (2008). *Naturstoffchemie. Eine Einführung* (3. Auflage). Springer-Verlag.

Hanaoka, K., Sieffermann, J.-M. & Giampaoli, P. (2000). Effects of the Sniffing Port Air Makeup in Gas Chromatography – Olfactometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry., 48* (6), 2368 – 2371.

Hanaoka, K., Vallet, N., Giampaoli, P., Heyd, B. & MacLeod, P. (2001). Possible influence of breathing on detection frequency and intensity rating in gas chromatography-olfactometry. *Food Chemistry., 72* (1), 97 – 103.

Harris, D. C., Werner, G. & Werner, T. (2014). *Lehrbuch der quantitativen Analyse* (8. Auflage). Springer-Spektrum.

Hartmann-Schreier, J. (2004). *Lebensmittelfarbstoffe*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-12-00624?searchterm=lebensmittelfarbstoffe&context=search

Hatt, H. (2019). Geschmack und Geruch. In Brandes, R., Lang, F., Schmidt, R. (Hrsg.). *Physiologie des Menschen* (32. Auflage). Springer Medizin Verlag.

Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (4. Auflage). VS Verlag.

Herrington, J. S., Myers, C. & Rigdon, A. (2015). *Analysis of Nicotine and Impurities in Electronic Cigarette Solutions and Vapor*. Zugriff am 02.02.2019. Verfügbar unter https://gcms.labrulez.com/labrulez-bucket-strapi-h3hsga3/paper/FFAN2127-UNV.pdf

Hess, M., Meier, H. & Zeeh, B. (2005). *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie* (7. Auflage). Thieme Verlag.

Higashi, Y. & Fujii, Y. (2005). Simultaneous determination of the binding of amantadine and its analogues to synthetic melanin by liquid chromatography after precolumn derivatization with dansyl chloride. *Journal of Chromatographic Science, 43* (4), 213 – 217.

Hofmann, T. (2019). *Was ist Lebensmittelchemie?*. Zugriff am 30.12.2021. Verfügbar unter: https://tu-dresden.de/mn/chemie/lc/das-fachgebiet/was-ist-lebensmittelchemie

Jaeger, L., Krömer, M., Pflüger, M. & Wieligmann, U. (2015): Biologie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5 - 10. Naturwissenschaften* (S. 69 – 110).

Jeuring, H. J. & Kuppers, F. J. (1980). High performance liquid chromatography of furfural and hydroxymethylfurfural in spirits and honey. *Journal – Association of Official Analytical Chemistry, 63* (6), 1215 – 1218.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – logical or psychological?. *Chemistry Education: Research and practice in Europe, 1* (1), 9 – 15.

Kalalian, C., El Dib, G., Singh, H. J., Rao, P. K., Roth, E. & Chakir, A. (2020). Temperature dependent kinetic study of the gas phase reaction of ozone with 1-Penten-3-ol, Cis-2-penten-1-ol and Trans-3-hexen-1-ol: experimental and theoretical data. *Atmospheric Environment*, 223. Zugriff am 15.03.2022. Verfügbar unter https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117306

Kammerer, D. (2011). *Rucola*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 06.11.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-18-02577?searchterm=rucola&context=search

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3* (3), 3 – 18.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In Krüger, D. & Vogt, H (Hrsg.). *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudierende und Doktoranden*. Springer-Verlag.

Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik* (6. Auflage). Beltz-Verlag.

Knapp, H. (2006*). Taurin*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-20-00298?searchterm=taurin&context=search

Krause, H. (2015). *Nutzung eines GC-O zur Einführung in die Lebensmittelsensorik für den Kontext Schule* (Bachelorarbeit, Chemiedidaktik). Carl von Ossietzky Universität.

Kuckartz, U., Dresing, T., Rädiker, S. & Stefer, C. (2008). *Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis* (2. Auflage). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Lassek, E. (2018). *Alkoholfreie Erfrischungsgetränke*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://www.vis.bayern.de/essen_trinken/getraenke/alkoholfreie_getraenke.htm

Lassek, E., Weidner, C. & Horlemann, G. (2020). *Energy Drinks oder Energy Shots*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://www.vis.bayern.de/essen_trinken/getraenke/energydrinks.htm

Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2002). *Organische Chemie. Chemie – Basiswissen II* (5. Auflage). Springer-Verlag.

Lebensmittelchemische Gesellschaft (LChG) (Hrsg.) (2014). *Positionspapier. Lebensmittelchemie 2014 – Quo vadis?*. Zugriff am 24.03.2022. Verfügbar unter https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Lebensmittelchemiker/Positionspapiere_und_Drucksachen/pos_lm_quo_vadis_2014.pdf

Ledig, M., Wittke, G. (1994). Nitrat in Lebensmitteln. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie, 5* (23), 7 – 12.

Legrum, W. (2015). *Riechstoffe, zwischen Gestank und Duft. Vorkommen, Eigenschaften und Anwendungen von Riechstoffen und deren Gemischen* (2. Auflage). Springer Spektrum.

Leitzmann, C. (2013). Vegetarische Ernährung – ein bewährtes Konzept für Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit. *Journal für Generationengerechtigkeit, 13* (1), 4 – 11.

Löffler, G. (2008). *Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie* (7. Auflage). Springer Medizin Verlag.

Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education, 83* (1), 49 – 55.

Maier, H. G. (1990). *Lebensmittel- und Umweltanalytik. Methoden und Anwendungen*. Steinkopff Verlag.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition, 79* (5), 727 – 747.

Matissek, R. & Steiner, G. (2006). *Lebensmittelanalytik. Grundzüge – Methoden – Anwendungen* (3. Auflage). Springer-Verlag.

Matissek, R., Steiner, G. & Fischer, M. (2014). *Lebensmittelanalytik* (5. Auflage). Springer Spektrum.

Mauckner, A. (2013). Ernährung nach sozialen, ökologischen und gesundheitlichen Kriterien. *umwelt-medizin-gesellschaft, 26* (2), 79 – 84.

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Technikern* (12. Auflage). Beltz Verlag.

Mensink, G. B. M., Kleiser, C. & Richter, A. (2007). Lebensmittelverzehr bei Kindern und Jugendlichen in Deutschlang. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung- Gesundheitsschutz, 50*, 609 – 623.

Mensink, G. B. M., Haftenberger, M., Barbosa, C. L., Brettschneider, A.-K., Lehmann, F., Frank., M., Heide, K., Moosburger, R., Patelakis, E. & Perlitz, H. (2021*). Forschungsbericht EsKiMo II – Die Ernährungsstudie als KiGGS-Modul*. Robert Koch Institut. Zugriff am 05.04.2022. Verfügbar unter https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/6887.2/EsKi-MoII_Projektbericht.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Meyer, A. H. (1998). Leitsätze für Gewürze und andere würzende Zutaten (6690). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2013). Leitsätze für Tee, teeähnliche Erzeugnisse, deren Extrakte und Zubereitungen (6780). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2015a). Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel (LMIV) (205). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2015b). Leitsätze für Erfrischungsgetränke (6620). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2017a). Honigverordnung (HonigV) (5660). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2017b). Verordnung über Kakao- und Schokoladenerzeugnisse (Kakaoverordnung) (5970). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2017c). Bierverordnung (6140). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2020a). Verordnung über Fruchtsaft, Fruchtnektar, koffeinhaltige Erfrischungsgetränke und Kräuter- und Früchtetee für Säuglinge oder Kleinkinder (Fruchtsaft-, Erfrischungsgetränke- und Teeverordnung – FrSaftErfrischGetrTeeV) (6050). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2020b). Gesetz über Tabakerzeugnisse und verwandte Erzeugnisse (Tabakerzeugnisgesetz – TabakerzG) (8040). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band III)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2020c). Verordnung über Tabakerzeugnisse und verwandte Erzeugnisse (Tabakerzeugnisverordnung – TabakerzV) (8060). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band III)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021a). Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe (600). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021b). Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln sowie zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 1601/91 des Rates, der Verordnungen (EG) Nr. 2232/96 und (EG) Nr. 110/2008 und der Richtlinie 2000/13/EG (800). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021c). Durchführungsverordnung über Aromen und Aromen enthaltende Lebensmittel (Aromendurchführungsverordnung – AromenDV) (850). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021d). Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (1205). In Meyer, A. H. (Hrsg.). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021e). Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch – LFGB). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band I)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021f). Durchführungsverordnung (EU) Nr. 543/2011 der Kommission vom 7. Juni 2011 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1234/2007 des Rates für die Sektoren Obst und Gemüse und Verarbeitungserzeugnisse aus Obst und Gemüse (5200). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band II)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021g). Verordnung (EU) 2019/787 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 über die Begriffsbestimmung, Bezeichnung, Aufmachung und Kennzeichnung von Spirituosen, die Verwendung der Bezeichnungen von Spirituosen bei der Aufmachung und Kennzeichnung von anderen Lebensmitteln, den Schutzgeografischer Angaben für Spirituosen und die Verwendung von Ethylalkohol und Destillaten landwirtschaftlichen Ursprungs in alkoholischen Getränken sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 110/2008 (7730). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band III)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, A. H. (2021h). Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel (8100). In Meyer, A. H. (Hrsg.) (2021). *Lebensmittelrecht Textsammlung (Band III)* (155. Auflage). C. H. Beck Verlag.

Meyer, V. R. (2004). *Praxis der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie* (9. Auflage). Viley-VCH Verlag.

Muche, S. & Pietzner, P. (2022). Sensorik: Chemische Basiskonzepte mit Nase und Zunge erfahrbar machen. *CHEMKON, 29* (3), 102 – 109.

Muff, C. & Weyers, S. (2010). Sozialer Status und Ernährungsqualität. Evidenz, Ursachen und Interventionen. *Ernährungs Umschau, 57* (2), 84 – 89.

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) (Hrsg.) (o. J. (a)). *Energydrinks. Voll im Trend oder voll daneben?*. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/lebensmittelgruppen/getranke/energydrinks-120384.html

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES (LAVES) (Hrsg.) (o. J. (b)). *Wissenswertes rund ums Bier*. Zugriff am 30.10.2020. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/lebensmittelgruppen/getranke/wissenswertes-rund-ums-bier-hopfen-und-malz-73554.html#:~:text=In%20den%20Jahren%202020%20und,17%20Proben%20wurden%20Kennzeichnungsm%C3%A4ngel%20festgestellt.

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) (Hrsg.) (o. J. (c)). *Nitrat in Lebensmitteln*. Zugriff am 06.11.2020. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/ruckstande_verunreingungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) (Hrsg.) (o. J. (d)). *Erkältungs- und Schnupfenzeit – Zeit für Vitamin C und Zink?*. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/lebensmittelgruppen/nahrungserganzungsmittel/winterzeit--erkaeltungs--und-schnupfenzeit-73925.html#:~:text=Spezi-ell%20Obst%20und%20Gem%C3%BCse%20sind,in%20manchen%20Apfelsorten%20enthalten%20ist.

Odemer, F. & von der Ohe, W. (2020). *Kleine Honigkunde für Einsteiger – Hinweise über die Honiggewinnung und die Honigverarbeitung*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/154956/Kleine_Honigkunde_fuer_Einsteiger.pdf

Organisation for Economic-Cooperation and Development (OECD) (1999). *Measuring student knowledge and skills. A new framework for assessment*. Zugriff am 11.01.2022. Verfügbar unter http://www.oecd.org/education/school/programmeforinternationalstudentassessment-pisa/33693997.pdf

Orth, B. & Merkel, C. (2020). *Die Drogenaffinität Jugendlicher in der Bundesrepublik Deutschland 2019. Rauchen, Alkoholkonsum und Konsum illegaler Drogen: aktuelle Verbreitung und Trends. BZgA-Forschungsbericht*. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung. Zugriff am 05.04.2022. Verfügbar unter https://www.bzga.de/fileadmin/user_upload/PDF/studien/Drogenaffinitaet_Jugendlicher_2019_Basisbericht.pdf

Osiander-Fuchs, H. (2016). *Inhalts- und Zusatzstoffe (Tabak)*. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 20.11.2020. Verfügbar unter https://www.lgl.bayern.de/produkte/tabak/zusatzstoffe/index.htm

Osiander-Fuchs, H. (2017). *Tabakerzeugnisse*. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 20.11.2020. Verfügbar unter https://www.lgl.bayern.de/produkte/tabak/tabakerzeugnisse/index.htm

Otto, M. (2019). *Analytische Chemie* (5. Auflage). Wiley-VCH.

Plattig, K.-H. (1987). Der Geruchssinn des Menschen – chemische, physikalische, physiologische und psychologische Vorgänge beim Riechen. *Physik in unserer Zeit, 18* (5), 146 – 158.

Pötschke-Langer, M., Mons, U. Schaller, K., Stein, S., Kahnert, S., Schneider, N. K., Nair, U., Schunk, S. & Mersmann, H. (2009). *Tabakatlas Deutschland 2009*. Steinkopff Verlag.

Rabenberg, M. & Mensink, G. B. M. (2013). *Limo, Saft & Co. – Konsum zuckerhaltiger Getränke in Deutschland*. Robert Koch-Institut. Zugriff am 11.04.2022. Verfügbar unter https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/3111/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

R-Biopharm (Enzymatische BioAnalytik/Lebensmittelanalytik) (Hrsg.) (o. J.). *Ethanol. UV-Test zur Bestimmung von Ethanol in Lebensmitteln und anderen Probematerialien*. R-Biopharm AG.

Rimbach, G., Möhring, J. & Erbersdobler, H. F. (2010). *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*. Springer-Verlag.

Roberts, D. A. & Bybee, R. W. (2014). Scientific Literacy, Science Literacy, and Science Education. In Lederman, N. G. & Abell, S. K. (Hrsg.). *Handbook of Research in Science Education, Volume II* (1. Auflage). Routledge-Verlag.

Rubach, M. (2019). *Kaffee Apotheke. Die Bohne für mehr Gesundheit*. Knaur.

Rückemann, H. (1980). Methoden zur Bestimmung von L-Ascorbinsäure mittels Hochleistungs-Flüssigchromatographie (HPLC). Bestimmung von L-Ascorbinsäure in Milchaustauschfuttermitteln. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung,* (171), 446 – 448. Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF01907237.pdf

Samanidou, V. F., Evaggelpoulou, E. N. & Papadoyannis, I. N. (2004). Simple and Rapid HPLC Method for the Determination of Quinine in Soft Drinks Using Fluorescence Detection. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 27* (15), 2397 – 2406.

Šantavý, F. (1967). Alkaloide. In Stahl, E. (Hrsg.). *Dünnschichtchromatographie. Ein Laboratoriumshandbuch* (2. Auflage). Springer-Verlag.

Schaller, K., Kahnert, S. & Mons, U. (2017). *Alkoholatlas Deutschland 2017*. Deutsches Krebsforschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft. Pabst Science Publishers.

Scheiner, D. (1974). A modified version of the sodium salicylate method for analysis of wastewater nitrates. *Water Research, 8* (10), 835 – 840.

Schieberle, P. (2004). *Theobromin*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 16.11.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-20-01170?searchterm=theobromin&context=search

Schienkiewitz, A., Brettschneider, A.-K., Damerow, S. & Rosario, A. S. (2018). Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KIGGS Welle 2 und Trends. *Journal of Health Monitoring, 3* (1), 16 – 23.

Schwedt, G. (2005). *Taschenatlas der Lebensmittelchemie* (2. Auflage). Wiley-VCH.

Seidel, V. & Lindner, W. (1993). Universal Sample enrichment technique for organochlorine pesticides in environmental and biological samples using a redesigned simultaneous steam distillation-solvent extraction apparatus. *Analytical Chemistry, 65* (24), 3677 – 3683.

Seidel, T., Prenzel, M., Wittwer, J. & Schwindt, K. (2007). Unterricht in den Naturwissenschaften. In Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. & Pekrum, R. (Hrsg.). *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Waxmann.

Simat, T., Schneider-Häder, B., Uhl, M. & Mleczko, M. (2017): *DLG-Expertenwissen – Geruchs- und Aromaschulung in der Sensorik*. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. Zugriff am 20.07.2019. Verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmittelsensorik/2017_1_Expertenwissen_Geruchsschulung.pdf

Skoog, D. A. & Leary, J. J. (1996). *Instrumentelle Analytik. Grundlagen – Geräte – Anwendungen*. Springer-Verlag.

Stahl, E. (1967). *Dünnschicht-Chromatographie.* In Stahl, E. (Hrsg.). *Dünnschichtchromatographie. Ein Laboratoriumshandbuch* (2. Auflage). Springer-Verlag.

Statista Research Department (2021). *Täglicher Kaffeekonsum in Deutschland nach Alter bis 2018*. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/201369/umfrage/kaffeekonsum-in-deutschland-nach-alter/

Statista Research Department (2022a). *Bierkonsum in Deutschland pro Kopf bis 2021*. Zugriff am 30.04.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4628/umfrage/entwicklung-des-bierverbrauchs-pro-kopf-in-deutschland-seit-2000/#:~:text=Bier%20z%C3%A4hlt%20zu%20den%20beliebtesten,Pro%2DKopf%2DKonsum%20auf.

Statista Research Department (2022b). *Bierabsatz in Deutschland bis 2021*. Zugriff am 20.02.2022. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3406/umfrage/bierabsatz-in-deutschland-seit-dem-jahr-1999/

Storm, A. & Hanewinkel, R. (2019). *Präventionsradar. Kinder- und Jugendgesundheit in Schulen. Erhebung Schuljahr 17/18*. Zugriff am 05.04.2022. Verfügbar unter https://www.dak.de/dak/download/ergebnisbericht-2090980.pdf

Unger, K. K. (1989). *Handbuch der HPLC. Teil 1: Leitfaden für Anfänger und Praktiker*. GIT Verlag.

van Vorst, H., Fechner, S. & Sumfleth, E. (2018). Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. Untersuchung des Einflusses möglicher Kontextmerkmale auf das situationale Interesse im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 167 – 181.

VERBI GmbH (Hrsg.). (2020). *MAXQDA – Software für die Qualitative Datenanalyse.* Zugriff am 18.06.2021. Verfügbar unter https://www.maxqda.de/

VERBI GmbH (Hrsg.). (2022). *MAXQDA – Software für die Qualitative Datenanalyse.* Zugriff am 17.06.2022. Verfügbar unter https://www.maxqda.de/

von der Ohe, W., Dustmann, J.-H. & von der Ohe, K. (1991). Prolin als Kriterium der Reife des Honigs. *Deutsche Lebensmittel Rundschau, 87* (12), 383 – 385.

von der Ohe, W. (2005). *Die Farbe des Honigs*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 10.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/41103/Die_Farbe_des_Honigs.pdf

von der Ohe, W. (2010). *Reife, Naturbelassenheit und Unverfälschtheit von Honig*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/42477/Reife_Naturbelassenheit_und_Unverfaelschtheit_von_Honig.pdf

von der Ohe, W. et al. (2012). *Jahresbricht 2012*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/78126/Jahresbericht_2012.pdf

von der Ohe, W., von der Ohe, K., Campbell, S., Schönberger, E. & Schütze, K. (2013). *Auswirkung der Lagerung auf die Honigqualität unter besonderer Berücksichtigung des Datums der Mindesthaltbarkeit von Honig*. Sonderbeilage D. I. B. Aktuell 1/2013. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://deutscherimkerbund.de/userfiles/Wissenschaft_Forschung_Zucht/Honiglagerung_DBJ_2012.pdf

von der Ohe, W., Janke, M., Campbell, S. N. & von der Ohe, K. (2016). *Was ist ein Sortenhonig?*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz undLebensmittelsicherheit. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/43094/Sortenhonig.pdf

von der Ohe, W. (2020). *Qualitätskontrolle von Honig*. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://www.laves.niedersachsen.de/download/151486/Qualitaetskontrolle_von_Honig.pdf

Wanjek, J. (2000). *Einflüsse von Alltagsorientierung und Schülerexperimenten auf den Erfolg von Chemieunterricht. Empirische Untersuchungen zur Entwicklung von Interessen und Einstellungen bei Schülern und Schülerinnen mit Vorschlägen für alltagsorientierte Unterrichtseinheiten* (Dissertation, Erziehungswissenschaften). Westfälische Wilhelms-Universität. Zugriff am 29.06.2022. Verfügbar unter https://d-nb.info/966647424/34

Weiß, D. (2014). *Nicotin*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 21.11.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-14-01147?searchterm=nicotin&context=search

Weiß, D. (2016). *Chinin*. In Böckler F., Dill B., Eisenbrand G., Faupel F., Fugmann B., Gamse T., Matissek R., Pohnert G., Rühling A., Schmidt S. & Sprenger G. (Hrsg.). RÖMPP [Online], Georg Thieme Verlag. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-01301?searchterm=chinin&context=search

Weltner, K. & Warnkross, K. (1974). Über den Einfluss von Schülerexperimenten, Demonstrationsunterricht und informierendem Physikunterricht auf Lernerfolg und Einstellungen der Schüler. In Roth, L. (Hrsg.). *Beiträge zur empirischen Unterrichtsforschung*. Schroedel Verlag.

Wottawa, D. (2010). *Einfluss der Kaffeedosis auf den Wasser- und Elektrolythaushalt*. Zugriff am 12.03.2022. Verfügbar unter https://utheses.univie.ac.at/detail/8220

Yoshioka, N. & Ichihashi, K. (2008). Determination of 40 synthetic food colors in drinks and candies by high-performance liquid chromatography using a short column with photodiode array detection. *Talanta, 74* (5), 1408 – 1413.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Stephanie Jasmin Muche, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien guter wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Ich versichere, dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Vermittlungstätigkeiten oder für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorliegenden Dissertation stehen.

Ich versichere, dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und dass die Dissertation weder in ihrer Gesamtheit noch in Teilen einer anderen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsvorhaben vorliegt oder vorgelegen hat.

Ich versichere an Eides statt, dass ich die vorgenannten Angaben nach bestem Wissen und Gewissen gemacht habe und dass die Angaben der Wahrheit entsprechen und ich nichts verschwiegen habe.

Ort, Datum	*Unterschrift*