

# Evaluation von Schülervorstellungen mit- hilfe von Animationen

---

*Der Löseprozess von Zucker und Salz in Wasser*

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

Doctor philosophiae

(Dr. phil.)

angenommene Dissertation  
von Herrn Michael Kilian Peetz  
geboren am 16.06.1990 in Kiel

Gutachterin:

Prof. Dr. Verena Pietzner  
Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Marco Beeken  
Universität Osnabrück

Datum der Disputation

17. Mai 2019

Oldenburg, Juni 2019

MICHAEL KILIAN PEETZ

26129 Oldenburg

michael.peatz@uni-oldenburg.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XI</b>
<b>Veröffentlichungen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1 Medien im Unterricht</b> .....	<b>1</b>
1.1 Computereinsatz im CU .....	1
1.1.1 Ausstattung an den Schulen .....	4
1.1.2 Anwendungsmöglichkeiten im Unterricht .....	5
1.2 Lernen mit Animationen .....	8
<b>2 Lösungen, Löslichkeit und Lösungsprozess</b> .....	<b>16</b>
2.1 Fachlicher Hintergrund zur Löslichkeit .....	17
2.2 Chemische Aspekte der Löslichkeit .....	18
2.2.1 Qualitative Löslichkeit .....	19
2.2.1.1 Zwischenmolekulare Kräfte .....	20
2.2.1.2 Eigenschaften von Lösemitteln .....	23
2.2.1.3 Druck und Temperatur .....	24
2.2.2 Energetische Betrachtung des Löseprozesses .....	25
2.2.3 Quantitative Löslichkeit .....	26
2.3 Der Lösevorgang auf einer Zeitachse .....	28
2.4 Löslichkeit im schulischen Kontext .....	31
2.4.1 Kompetenzen gemäß des Kerncurriculums .....	31
2.4.1.1 Doppeljahrgang 5/6 .....	33

2.4.1.2	Doppeljahrgang 7/8 .....	33
2.4.1.3	Doppeljahrgang 9/10 .....	34
2.4.1.4	Oberstufe (Qualifikationsphase).....	35
2.4.2	Forschungsstand zu Schülervorstellungen .....	37
2.4.2.1	Übersicht der recherchierten Studien .....	39
2.4.3	Ein Kategoriensystem zu Vorstellungen zum Thema Löslichkeit.....	44
2.4.3.1	Bedingungen für den Lösevorgang .....	45
2.4.3.2	Der Löseprozess .....	48
2.4.3.3	Das Wesen von Lösungen .....	53
2.4.3.4	Zusammenfassung .....	55
<b>3</b>	<b>Zwischenfazit und Forschungsfragen .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>Methodik .....</b>	<b>60</b>
4.1	ChemSense Animator .....	62
4.1.1	Das Programm .....	63
4.1.2	Funktionen und Einsatzmöglichkeiten.....	63
4.1.3	CSA in der Forschung.....	67
4.2	Startbildschirm und Erwartungen .....	70
4.2.1	Startbildschirm und Erwartungen Klasse 7.....	70
4.2.2	Startbildschirm und Erwartungen Klasse 10.....	72
4.3	Gütekriterien .....	74
4.4	Pilotierung.....	76
4.4.1	Stichprobe und Durchführung.....	76
4.4.2	Auswertung der Pilotierung und Anpassungen für die Hauptstudie.....	77
4.5	Durchführung.....	78
4.6	Auswertungsverfahren .....	81
4.6.1	Kriterienkatalog Löslichkeit .....	83
4.6.2	Kriterienkatalog ChemSense Animator .....	99

<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>103</b>
5.1	Beschreibung der Stichprobe .....	103
5.2	Überblick über die erstellten Animationen.....	103
5.3	Ergebnisdarstellung .....	105
5.4	Einordnung der gefundenen Konzepte .....	117
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>124</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>135</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>137</b>
	<b>Inhaltsverzeichnis des Anhangs .....</b>	<b>137</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>140</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>152</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Nutzung verschiedener Programme im Fachunterricht durch Schülerinnen und Schüler (Eickelmann et al., 2017, S. 241).....	9
Abbildung 2:	Siedepunkte von einfachen Hydriden und den Edelgasen (Riedel & Janiak, 2015, S. 212) .....	21
Abbildung 3:	Wasserstoffbrücken zwischen Fluorwasserstoff-Molekülen (Riedel & Janiak, 2015, S. 212) .....	21
Abbildung 4:	Temperaturabhängigkeit der Mischbarkeit zweier Flüssigkeiten (Binnewies et al., 2016, S. 201) .....	24
Abbildung 5:	Darstellung des Löseprozesses eines Ionenkristalls (Brown et al., 2011, S. 506); (a) ein Ionen-kristall in Wasser; (b) anteilig wurden aus der äußeren Schicht des Kristalls bereits Ionen herausgelöst; (c) vollständig gelöste Ionen umgeben von Wasser-Molekülen.....	29
Abbildung 6:	Glucose (links) und Fructose (rechts) in der Fischer-Schreibweise, verändert nach (Vollhardt & Schore, 2000, S. 1258).....	30
Abbildung 7:	Paper and Pencil Test von (Blanco & Prieto, 1997).....	57
Abbildung 8:	Oberflächenvergleich zwischen Microsoft Paint (links) und ChemSense Animator (rechts), mit weißer Zeichenfläche und den Funktionen am oberen Rand (Paint) und oberen und linken Rand (ChemSense Animator) .....	63
Abbildung 9:	Das Funktionsmenü von ChemSense Animator mit Standard-Tools (grün), Bindungs-Tools (rot), Ladungs-Tools (blau), cyclischen organischen Verbindungen (hellgrün), Pfeil-Tools (orange) und den Farbmenüs (gelb) ..	64
Abbildung 10:	Element-Tool von ChemSense Animator .....	65
Abbildung 11:	Kalium-Atom und Kalium-Ion, gezeichnet mit ChemSense Animator .....	65
Abbildung 12:	Startbildschirm für die Befragung in Klasse 7, mit eingezeichneten Wasser- (Dreiecke) und Zucker-Molekülen (Sechsecke).....	71
Abbildung 13:	Startbildschirm für die Befragung in Klasse 10 .....	73
Abbildung 14:	Einführungsaufgabe zur Erläuterung der Programmfunktionen .....	79
Abbildung 15:	Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufschema nach (Mayring, 2010, S. 60) .....	82
Abbildung 16:	Darstellung eines Kochsalzkristalls (VP41-Camtasia-Animation: 00:13:47.0) .....	110

Abbildung 17: Wasser-Molekül von VP42, dargestellt aus Ionen mit annähernd gleich langen Bindungen, aber einem sehr spitzen Winkel  $\sim 15^\circ$  ..... 119

Abbildung 18: Angefangene Zeichnung einer Reaktionsgleichung, wie sie VP42 zu Beginn der Animation erstellt hatte (VP42-Camtasia-Animation: 00:03:29.9) ..... 125

Abbildung 19: Darstellung von Kochsalz (VP34-Camtasia-Animation: 00:02:53.2)..... 128

Abbildung 20: Verlauf der Animation von VP06: Startbildschirm (Frame 1) (links), Zwischenstand (4) (mittig) und Endzustand (14) (rechts) ..... 129

Abbildung 21: VP17 bewegt ein Zuckerteilchen gemeinsam mit den es umgebenden Wasserteilchen (VP17-Camtasia-Animation: 00:05:40.9)..... 130

Abbildung 22: Teilweise aus dem Kristall herausgebrochene Zuckerteilchen mit angelagerten Wasserteilchen (VP62-Camtasia-Animation: 00:12:47.2)..... 131

Abbildung 23: Anlagerung von Wasser-Molekülen an einen Salzkristall (VP41, selbsterstelltes Startbild (links) und Frame 3 (rechts))..... 133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über recherchierte Studien zum Thema Löslichkeit.....	39
Tabelle 2:	Erweiterte Kategorie „Bedingungen für den Löseprozess“ nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 96 f.), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit * markiert .....	45
Tabelle 3:	Erweiterte Kategorie „Der Löseprozess“ nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 99 f.), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit * markiert .....	48
Tabelle 4:	Erweiterte Kategorie „Das Wesen von Lösungen“ nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 105), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit * markiert.....	53
Tabelle 5:	Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Beschreibung des Löseprozesses .....	84
Tabelle 6:	Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Darstellung von Stoffen .....	89
Tabelle 7:	Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Fachliche Inhalte.....	92
Tabelle 8:	Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Interaktion von Molekülen.....	96
Tabelle 9:	Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Sonstige Codes.....	98
Tabelle 10:	Kategorien mit einer expliziten Verbindung zu dem Programm ChemSense Animator.....	99
Tabelle 11:	Übersichtstabelle zu Erstellungszeiten und Bilderanzahl der erstellten Animationen .....	104
Tabelle 12:	Übersicht über die Erstellungszeiten und Bilderanzahl der Animationen, die von Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse erstellt wurden .....	104
Tabelle 13:	Übersicht über die Erstellungszeiten und Bilderanzahl der Animationen, die von Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse erstellt wurden.....	105
Tabelle 14:	Anzahl der Funde im Bereich „Beschreibung des Löseprozesses“ .....	106
Tabelle 15:	Anzahl der Funde im Bereich „Darstellung von Stoffen“ .....	108
Tabelle 16:	Anzahl der Funde im Bereich „Fachliche Inhalte“ .....	111
Tabelle 17:	Anzahl der Funde im Bereich „Interaktion von Molekülen“ .....	113
Tabelle 18:	Anzahl der Funde im Bereich „Sonstige Codes“.....	115

Tabelle 19:	Anzahl der Funde im den Kategorien mit expliziter Verbindung zum Programm CSA .....	116
Tabelle 20:	Regeln für die Transkription der Interviews.....	138

## **Abkürzungsverzeichnis**

CSA	ChemSense Animator (Animationssoftware)
KC	Kerncurriculum
KMK	Kultusministerkonferenz
MINT-Fächer	Zusammenfassung der folgenden Schulfächer: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik) und Technik

## Kurzfassung

Die Kerncurricula für das Fach Chemie sind in Niedersachsen in Doppeljahrgängen aufgebaut und viele Inhalte werden spirallcurricular unterrichtet. Das bedeutet, dass bestimmte Themen immer wieder auf unterschiedlichen Niveaus aufgegriffen und um neue Aspekte erweitert werden. Eins dieser Themen, mit dem die Schülerinnen und Schüler von der fünften Klasse an bis zur Sekundarstufe II immer wieder in Kontakt kommen, ist die Löslichkeit. Jedes Mal, wenn dieses Thema unterrichtet wird, muss sich die Lehrkraft nicht nur der fachlichen Inhalte bewusst sein, sondern auch der (Fehl-)Vorstellungen, die mit diesem Thema verbunden sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Schülervorstellungen zu diesem Thema erhoben, wobei, anders als bei anderen Studien zu diesem Themenkomplex, als Erhebungsmethode das Erstellen von Animationen genutzt wurde. Damit folgt diese Arbeit zum einen den Forderungen der Kultusministerkonferenz nach einem wachsenden Computereinsatz in der Schule und passt zum anderen die Erhebungsmethode dem zu betrachtenden Prozess an. Während bei bisherigen Studien häufig nur ein Bild oder eine verbale oder schriftliche Beschreibung vom Endzustand des Lösens eines Stoffes in einem anderen gefordert wurde, sollten die Schülerinnen und Schüler hier den gesamten Prozess eigenständig visualisieren.

Als Erhebungsinstrument wurde die Software *ChemSense Animator* eingesetzt, die insbesondere für diesen Zweck entwickelt wurde. Die Lernenden sollten mithilfe dieser Software in die Lage versetzt werden, sich intensiv mit der Darstellung der submikroskopischen Ebene auseinandersetzen und sich darüber austauschen zu können. Aus diesem Grund und weil die Software plattformunabhängig sowie sehr einfach in der Handhabung gestaltet ist, wurde sie für diese Erhebung gewählt.

Nach einer einführenden Aufgabe, bei der die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 7 und 10 mit der Funktionsweise des Programms vertraut gemacht wurden, haben sie ausgehend von einem Startbildschirm eine Animation vom Löseprozess erstellt. Die Befragten aus der siebten Klasse sollten das Lösen von Zucker in Wasser auf dem Niveau des einfachen Teilchenmodells darstellen, während die Schülerinnen und Schüler des zehnten Jahrgangs das Lösen von Kochsalz in Wasser visualisiert haben. Abschließend wurde mit den Schülerinnen und Schülern ein kurzes Interview zu den Inhalten der Animation geführt, um diese genauer zu beleuchten.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen drei wichtige Punkte. Es ist auch schon Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I trotz kleinerer Schwierigkeiten möglich, eine Animation zu erstellen und sie erkennen ihre Vorstellungen in den erstellten Animationen wieder. Des Weiteren ist es möglich, mithilfe von Animationen Schülervorstellungen zu erheben. Dies umfasst

sowohl eine Vielzahl von bereits aus der Literatur bekannter Vorstellungen, wie aber auch einzelne neue Aspekte, die zuvor noch nicht beobachtet wurden. Einer dieser Punkte ist die Reihenfolge, in der die Schülerinnen und Schüler des Löseprozess ablaufen lassen. Dieser Aspekt konnte in dieser Studie gut beobachtet werden, gerade weil die Teilnehmenden über die Animationen dazu gezwungen waren, nicht nur den Endzustand, sondern auch den Weg dorthin, in ihre Überlegungen und schließlich die Darstellung mit einzubeziehen. Der letzte wichtige Aspekt, der hervorzuheben ist, bezieht sich auf den Fokus, den die Schülerinnen und Schüler in ihren Animationen gewählt haben. Während die Teilnehmenden aus dem siebten Jahrgang den Fokus auf das Vermischen von Zucker- und Wasserteilchen gelegt haben, haben die des zehnten Jahrganges ihren Fokus auf eine chemische Reaktion zwischen Wasser und Kochsalz gelegt. Ersterer Fall entspricht dem Wissensstand, den die Schülerinnen und Schüler gemäß der curricularen Vorgaben haben sollten, wobei einzelne über diesen hinaus fachlich zutreffende Vorstellungen hatten; letzterer Fall zeigte sehr deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler der zehnten Klassen in großer Anzahl Schwierigkeiten mit dem Konzept des Lösens hatten.

Die Einschätzung der Schülerinnen und Schüler zu dem Arbeiten mit Animationen fiel bei denen, die sich dazu geäußert haben sehr positiv aus, sodass diese sich sogar vorstellen konnten die CSA Software im Unterricht zu verschiedenen Zwecken einzusetzen.

## Abstract

The curriculum for the subject chemistry is structured in double grade sets and many contents are taught within a spiral curriculum. This means that they are repeatedly taught at different levels and each time expanded with new aspects. One of these topics is solubility, a topic students have to deal with from grade five to high school level. Every time this topic is taught, teachers have to keep in mind both, the subject matter as well as misconceptions associated with solubility.

As part of this study, students' conceptions of solubility were evaluated. Unlike other studies on this subject, the creation of animations by the students was used as a method to gather information about the students' conceptions. On the one hand, this work follows the demands of the Conference of Ministers of Education for a further use of computers in schools and, on the other hand, adapts the survey method to the process to be considered. While previous studies often required only an image or a verbal or written description of the final state of dissolving one substance in another, the students in this study were asked to visualize the entire process.

The instrument used in this study was the *ChemSense Animator* software, which was developed especially for the purpose of creating animations by students. Learners should be able to use this software to intensively engage and communicate with the representation of the sub-microscopic level. For this reason and because the software is platform-independent and very easy to use, it was chosen for this survey.

After an introductory assignment that familiarizes the participants of grade 7 and 10 with the programs features, the students created an animation of the dissolution process. Seventh-grade students were asked to describe the dissolving of sugar in water at the level of the particle model, while the tenth-year students visualized the dissolution of table salt in water. Finally, a semi-structured interview was conducted dealing with the content of the animation in order to shed more light on the content that was visualised.

This study has shown three important results. It is possible for secondary school students, despite minor difficulties, to create an animation and that the students recognize their ideas in the animations they create. Furthermore, it is possible to use animations to evaluate students' conceptions. This includes both a variety of already known ideas, as well as individual new concepts that have not previously been observed. One of these is the order in which the students run the dissolution process. This aspect could be well observed in this study, especially because the participants were forced to include not only the final state, but also the way to get there into their considerations and finally their representations. The last important aspect is the focus students have chosen in their animations. While the participants of grade seven focused on mixing

sugar and water particles, the students of grade ten focused on a chemical reaction between water and salt. The former case corresponds to the level of knowledge, which the pupils should have in accordance with the secondary school curriculum, whereby some students had technically correct ideas beyond these requirements; the latter case showed very clearly that the students of tenth grade had large numbers of difficulties with the concept of solving.

The students' appreciation for working with animations was very positive for those who commented, so they even envisioned using the CSA software in class for different purposes.

## Veröffentlichungen

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

### Publikationen

Peetz, M. & Pietzner, V. (2017). Evaluation of students' understanding of dissolving sugar using an animation software. In O. Finlaysom, E. McLoughlin, S. Erduran & P. Childs (Hrsg.), *Research, Practice and Collaboration in Science Education Proceedings of the ESERA 2017 Conference* (S. 30-39). Zugriff am 02.02.2019. Verfügbar unter [https://www.dropbox.com/s/2p78u1vn6snpr14/ESERA2017\\_eproceedings\\_ALL.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/2p78u1vn6snpr14/ESERA2017_eproceedings_ALL.pdf?dl=0)

Peetz, M. & Pietzner, V. (2017). Evaluation von Schülervorstellungen zum Lösen von Zucker in Wasser mithilfe einer Animationssoftware. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie - und Physikunterricht normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Regensburg 2017* (Bd. 38, S. 436-439). Zugriff am 02.02.2019. Verfügbar unter [http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP\\_Band38.pdf](http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP_Band38.pdf)

### Poster

Peetz, M. & Pietzner, V. (2016, 15. September). *Evaluation des Verständnisses ausgewählter chemischer Konzepte mit Computeranimationen*. Poster (33. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht), Hannover.

## Einleitung

*„Wenn du eine weise Antwort verlangst, musst du vernünftig fragen.“*

Johan Wolfgang von Goethe (1749-1832)

Was sind die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Lösen von Zucker beziehungsweise Kochsalz in Wasser? Mit dieser Frage haben bereits viele Forscher versucht sich ein Bild von Schülervorstellungen zu machen. Die Frage wurde immer etwas anders formuliert, schriftlich oder mündlich gestellt, die Stoffe ausgetauscht oder durch Zuhilfenahme von Bildern oder Experimenten unterstützt. Im weitesten Sinne blieb der Kern aber immer der gleiche: Wie stellen sich Schülerinnen und Schüler das Lösen von Stoffen in Wasser vor? Das Thema Löslichkeit ist ein sehr zentrales Thema im Chemieunterricht, das immer wieder auf unterschiedlichen Niveaus unterrichtet wird. Mit wachsendem Kenntnisstand verschiedenen Darstellungsebenen müssen die Lernenden in der Schule immer wieder neue Aspekte der Löslichkeit erlernen. Das beginnt auf der Stoffebene mit der Stoffeigenschaft der Löslichkeit. Über das einfache Teilchenmodell gelangen die Schülerinnen und Schüler zu einem ersten Einblick in die submikroskopische Ebene und können die Löslichkeit auf einer neuen Ebene betrachten. Mit differenzierten Atommodellen kommen dann zwischenmolekulare Anziehungskräfte hinzu, die noch weitere Aspekte der Löslichkeit erklären. In der Sekundarstufe II kommen dann noch Aspekte der organischen Chemie hinzu, bei der die Löslichkeit erneut eine Rolle spielt. Von der Frage nach polaren und unpolaren Lösemitteln bis hin zu geeigneten Lösemitteln für bestimmte Reaktionsmechanismen taucht die Löslichkeit von Stoffen immer wieder in unterschiedlichen Kontexten auf.

Da der Löseprozess ein immer wiederkehrender Inhalt des Chemieunterrichts ist und es wichtig nicht nur gründlich über die fachlichen Grundlagen zu dem Thema Bescheid zu wissen, als Lehrkraft muss man sich auch der vorhandenen Schülervorstellungen zu dem Themengebiet bewusst sein. Dass diese Vorstellungen wichtig sind, lässt sich in jedem Fachbuch zur Chemiedidaktik nachlesen (Barke, 2006; Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018; Sommer, Wambach-Laicher & Pfeifer, 2018). Die Forschung an dieser Front wird dem entsprechend nicht aufhören und so reiht sich auch diese Arbeit in die zur Erhebung von Schülervorstellungen zum Löseprozess ein.

Zuvor wurden bereits die Ansätze skizziert, wie bislang Schülervorstellungen erhoben wurden. In diesen Fällen handelte es sich immer um Fragebögen, Interviews oder Zeichnungen, die zum Einsatz kamen. Im Rahmen dieser Arbeit wird nun ein weiterer Aspekt der Löslichkeit

berücksichtigt. Beim Löseprozess handelt es sich um einen dynamischen Prozess, der auf einer Zeitleiste beobachtet und beschrieben werden kann. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Schritte beim Löseprozess ablaufen, ist bekannt, wurde aber bislang nicht berücksichtigt.

Schnotz und Lowe (2008) beschreiben sehr anschaulich, dass es sowohl mit Animationen, wie auch mit einzelnen Bildern möglich ist, Prozesse und dynamische Aspekte darzustellen (Schnotz & Lowe, 2008, S. 309 ff.). Im Bereich der Erhebung von Vorstellungen wurden die Möglichkeiten von Animationen bisher noch nicht ausgenutzt. Dies soll im Rahmen dieser Studie geschehen: Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig eine Animation erstellen und so mithilfe eines zum Prozess passenden Instrumentes ihre Vorstellungen zum Löseprozess visualisieren.

Zu diesem Zweck wurde das Programm ChemSense Animator verwendet. Dabei handelt es sich um eine kostenlose und plattformunabhängige Software. Mit diesem Programm kann einem Daumenkino nicht unähnlich eine Animation erstellt werden, indem ein Bild immer wieder leicht verändert, kopiert und auf einer Zeitachse dem Film hinzugefügt wird. Vom Benutzerinterface ist das Programm sehr einfach gestaltet und bietet dennoch relativ umfangreiche Darstellungsmöglichkeiten für chemische Prozesse.

Mithilfe dieses Programms soll zum einen überprüft werden, ob es Schülerinnen und Schülern (auch in einer unteren Klassenstufe) möglich ist, überhaupt eigene Animationen zu erstellen. Darauf aufbauend soll überprüft werden, ob es den Schülerinnen und Schülern möglich ist, ihre Vorstellung zu visualisieren. Der Löseprozess eignet sich zu diesem Zweck sehr gut, da er in der Schule in nahezu allen Klassenstufen bekannt ist und auch ein Phänomen ist, das die Schülerinnen und Schüler aus ihrem Alltag kennen. Außerdem handelt es sich dabei wie oben beschrieben um einen zeitabhängigen Prozess, der mit dieser Methode in der Theorie sehr gut abgebildet werden kann. Zuletzt soll im Rahmen dieser Studie geprüft werden, ob sich mit dem Einsatz von durch Schülerinnen und Schüler erstellte Animationen bislang unbekannte Vorstellungen zum Löseprozess erfassen lassen.

Die Erhebung wird an zwei strategisch sinnvollen Stellen durchgeführt: Am Ende der siebten und am Ende der zehnten Klasse. In Klasse sieben wurde ein einfaches Teilchenmodell eingeführt, das es Schülerinnen und Schülern erste Betrachtungen der Teilchenebene erlaubt, ohne dabei zwischen Atomen und Molekülen unterscheiden zu können. Sie sind in der Lage, das Lösen von Zucker in Wasser mithilfe dieses Modells zu erklären. Als zweiten Erhebungszeitpunkt wurde das Ende der Klassenstufe 10 gewählt. Zu diesem Zeitpunkt wurde das differenzierte Atommodell eingeführt, das es den Schülerinnen und Schülern erlaubt, weiterfüh-

rende Betrachtungen vorzunehmen. Dies beinhaltet unter anderem Ionen, Dipole oder die Hydrathülle. Mit diesem Wissen sollten die Jugendlichen also den Löseprozess eines Salzes in Wasser detailliert beschreiben können.

In Bezug auf die Vorgaben durch das Kultusministerium, den Computer vermehrt im Unterricht einzusetzen ist dieser Forschungsansatz durchaus sinnvoll. Nicht nur stehen heutzutage in immer mehr Schulen Computer zur Verfügung sondern, sondern die Schülerinnen und Schüler sollen diese auch in immer weiteren Situationen einsetzen (Kultusministerkonferenz [KMK], 1995, 1998, 2012). Zusammenfassend ergibt sich damit aus der fortschreitenden Digitalisierung, dem Bestreben Schülervorstellungen zu erfassen und der Anpassung der Erhebungsmethode an den zu untersuchenden Prozess dieses Forschungsvorhaben, bei dem das Erstellen von Animationen durch die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler eine zentrale Rolle spielt.

# 1 Medien im Unterricht

Medien werden heutzutage immer mehr und immer vielfältiger im Schulalltag eingesetzt; dazu gehören inzwischen nicht mehr nur die Unterrichtsstunden, in denen eine Klasse in einen Computerraum geht: An immer mehr Stellen werden Computer eingesetzt, sowohl zur Vorbereitung als auch zum Unterrichten selbst. Dieses Kapitel soll einen Überblick darüber geben, an welchen Stellen digitale Medien bereits eingesetzt werden. Dazu gehört zu Beginn eine Beschreibung der Zielsetzung durch die Kultusministerkonferenz bezüglich des Einsatzes des Computers in der Schule. Im Anschluss wird die Ausstattung und der Schulen mit digitalen Medien beschrieben und ein Überblick darüber gegeben, was technisch möglich ist, wenn es um den Einsatz digitaler Medien im (Chemie-)Unterricht geht. Außerdem wird noch einmal gesondert betrachtet, wie der Computer seitens der Lehrkräfte und Schüler verwendet wird.

## 1.1 Computereinsatz im CU

Die Einsatzmöglichkeiten eines Computers, oder auch ähnlicher technischer Geräte wie Smartphones oder Tablets sind heutzutage sehr vielfältig. Mit diesen sich immer weiter entwickelnden technischen Geräten lässt sich das Lernen dahingehend verändern, dass Schülerinnen und Schüler nicht mehr nur durch Vorträge und Bilder/Texte an der Tafel oder Arbeitsblättern lernen. „Multimedia“ ist hierbei ein wichtiger Begriff. In verschiedenen Lernumgebungen, sowohl auf einzelnen Computern, wie aber auch im Internet, können ganze Einheiten von Lernenden er- oder bearbeitet werden. Simulationen und Animationen bieten die Möglichkeit verschiedenste Prozesse in anderen Varianten zu veranschaulichen, als es mit analogen Methoden möglich wäre. Animationen können allgemein als schnell ablaufende Folge einzelner Bilder auf einem Computerbildschirm, die dem Beobachter eine Vorstellung von Bewegung vermitteln. Simulationen bieten darüber hinaus die Möglichkeit die dargestellten Prozesse zu manipulieren (Urhahne, Nick & Schanze, 2009). Solche und andere Systeme stellen eine Möglichkeit dar, dass Schülerinnen und Schüler aktiv, je nach Aufbereitung der Lernumgebung, selbstgesteuert und anwendungsbezogen lernen können (Mandl & Reinmann-Rothmeier, 1998, S. 200).

Die Kultusministerkonferenz sieht im Einsatz des Computers im Chemieunterricht beziehungsweise in der Medienbildung allgemein ein Ziel, das zu erfüllen schon im Jahre 1995 beschlossen wurde. Die Medienbildung sollte als Bestandteil der Lehrerbildung etabliert, Unterrichtsmaterialien entwickelt, genutzt und evaluiert und Lehrpläne dahingehend angepasst werden, dass sie einen Einbezug neuer Medien ermöglichen und fördern. Insgesamt sollten die

Schülerinnen und Schüler über alle Fächer hinweg einen sachgerechten und verantwortlichen Umgang mit neuen Medien erlernen (KMK, 1995).

Der nachfolgende Beschluss der Kultusministerkonferenz zu diesem Thema aus dem Jahr 1998 konkretisiert diese Ziele noch etwas mehr. Im Allgemeinen formuliert sie zwei wesentliche Ziele, die mit der Medienbildung in der Schule einhergehen.

1. Die Schule soll die „Schülerinnen und Schüler im umfassenden Sinn medienkompetent [machen] und sie befähigen, sich in den Medien selbstbewusst und verantwortungsvoll zu bewegen [...].“ (KMK, 1998, S. 1)
2. Die Schule „nutzt Multimedia und Telekommunikation verstärkt für das Lernen und Erziehen.“ (KMK, 1998, S. 1)

In dem Beschluss wird hervorgehoben, dass die Medienpädagogik die Aufgabe aller Fächer sei und entsprechende Inhalte ein wesentlicher Bestandteil der Ausbildung für alle Schularten und in allen Fachbereichen sein müsse (KMK, 1998, S. 1). Dementsprechend muss sie auch als Teil der Lehrerbildung verstanden werden. Dazu gehört, dass die Lehrkräfte Medien didaktisch begründet einsetzen können müssen. Sie müssen aber ebenso den Jugendlichen beibringen können, auf welche Art und Weise sie Medien einsetzen und mit ihnen umgehen können.

*„Die praktische und gestalterische Medienarbeit von Schülerinnen und Schülern ist so zu begleiten und zu fördern, dass unterschiedliche Stilmittel, Möglichkeiten der technischen Umsetzung und kreativen Gestaltung sowie Formen medialer Kommunikation erfahrbar werden.“*

(KMK, 1998, S. 4)

Für die Lehrerbildung bedeutet dies insbesondere, dass Lehrkräfte über Kenntnisse im Bereich Mediensozialisation und Medienwelt allgemein verfügen, die Medien aber auch zum Gegenstand von Analysen und kritischen Reflexionen machen. Letzteres sollte dabei auf verschiedenen Ebenen, wie politischer, sozialer, psychologischer aber auch fachdidaktischer geschehen (KMK, 1998, S. 5). Auf der fachdidaktischen Seite der Lehrerbildung gehört damit auch dazu, dass die angehenden Lehrer neue Unterrichts-/Lernformen kennen lernen, sowie verschiedene Medien nutzen um Informations-, Gestaltungs-, und Kommunikationsmittel zu entwickeln (KMK, 1998, S. 6).

Weitere 14 Jahre später hat die Kultusministerkonferenz das Thema Medienbildung in einem Beschluss erneut thematisiert und verfeinert (KMK, 2012). Die Medienbildung ist demnach ein „dauerhafter, pädagogisch strukturierter und begleitender Prozess der konstruktiven und kritischen Auseinandersetzung mit der Medienwelt.“ (KMK, 2012, S. 3) Schülerinnen und

Schüler sollen eine Medienkompetenz erlangen. Dies beinhaltet den Erwerb von Kenntnissen und Fähigkeiten, die es ihnen ermöglichen sich in einer von Medien geprägten Welt zurechtzufinden und verschiedene Medien in angemessener Art und Weise zu nutzen (KMK, 2012, S. 3). Um dies zu erreichen und aufgrund der Möglichkeiten die sich durch den Einsatz von neuen Medien bieten, sollen solche Medien Einzug in den Unterricht erhalten. Auch eine (verstärkte) Einbindung der Medienpädagogik in die einzelnen Curricula ist als eines der Ziele in dem Beschluss festgehalten (KMK, 2012, S. 6 f.).

Ein für diese Arbeit wichtiger Punkt, ist die erste der zum Schluss des Beschlusses genannten Dimension zur Beschreibung des Stellenwertes der Medienbildung:

*„[Die] Förderung der Qualität des Lehrens und Lernens durch Medien.“*

(KMK, 2012, S. 9)

Wie in Kapitel 2 noch näher ausgeführt wird, sind Schülervorstellungen ein relevanter Aspekt bei der Vermittlung neuer Inhalte. Diese Arbeit befasst sich mit der Thematik der Erhebung von Schülervorstellungen mithilfe einer Animationssoftware, was somit genau dieser Dimension der Förderung der Qualität durch neue Medien entspricht.

Obwohl diese Vorgaben zur Nutzung neuer Medien gemäß der KMK-Beschlüsse keine Neuheit ist und diese auch Bezug auf die Lehrerbildung nehmen, also welchen Kompetenzen angehende Lehrkräfte besitzen sollten, sind doch oftmals Lehrkräfte am Ende ihres Studiums in der Nutzung des Computers und den damit einhergehenden Einsatzmöglichkeiten nicht ausreichend geübt oder unterwiesen. Als Ergebnis davon vermeiden es diese Lehrkräfte einfach den Computer oder ähnlich Systeme zu nutzen (Pietzner, 2014, S. 302). Im Jahr 2014 wurden im Rahmen einer Erhebung zur IT-Ausstattung in Deutschland 751 Lehrkräfte an allgemeinbildenden und weiterführenden Schulen in Deutschland befragt. Den Ergebnissen zufolge nutzen nur rund ein Drittel der Lehrkräfte (38 %) digitale Unterrichtsmaterialien. Weitere 52 % nutzen gelegentlich diese Möglichkeiten. 11 % der befragten Lehrkräfte gab an gar kein digitales Unterrichtsmaterial zu verwenden (Forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH [forsa], 2014, S. 10). Als Vorteile der Nutzung digitaler Medien benannten die Lehrkräfte die Akzeptanz durch die Schülerinnen und Schüler, die Vorteile von Visualisierungen, bildlichen Vermittlungen und die hohe Anschaulichkeit. Und obwohl die KMK mit ihrem Beschluss von 2012, aber auch schon in den Jahren weit davor die Nutzung und Integration digitaler Medien in den Unterricht als Ziel formuliert hat, gaben bei der Umfrage nur 17 % der Lehrkräfte an, dass sie es gut fänden, „wenn Schüler den Umgang mit digitalen Medien bzw. Medienkompetenz erlernen.“ (forsa, 2014, S. 14)

### 1.1.1 Ausstattung an den Schulen

Um die von der KMK skizzierten Ziele zu erreichen ist eine zwingende Voraussetzung, dass die Schulen ausreichend gut mit technischen Materialien ausgestattet sind. In der oben erwähnten forsa-Umfrage wurde ebenfalls nach technischer Ausstattung, Zugang zum Internet und der Verfügbarkeit von Online-Plattformen gefragt. Den Ergebnissen zufolge besaßen damals schon 72 % aller Schulen einen Zugang zu schnellem Internet, aber nur 42 % Zugang zu online-Lernplattformen zur Gestaltung von Unterricht, Hausaufgaben oder Kontaktaufnahme mit beispielsweise den Eltern. Immerhin 77 % der Befragten gaben an, einen Computer zur Bearbeitung von Dienstangelegenheiten nutzen zu können. Das bedeutete aber auch, dass jede fünfte Lehrkraft keinen Zugang zu einem PC hatte, um Dienstangelegenheiten bearbeiten zu können. Noch schlechter sahen die Ergebnisse zur Verfügbarkeit für die Schüler aus. Nur 1 % der befragten Lehrkräfte gab an, dass für jede Klasse ein Satz an Endgeräten (Computer oder Tablets) zur Verfügung stehe. Einzelne Klassensätze, waren in 11 % der Fälle vorhanden; demnach verfügen 86 % der Schulen nicht über Klassensätze an Endgeräten (forsa, 2014, S. 8).

Eine deutschlandweite Umfrage mit 1218 Lehrkräften aus allen Bundesländern hat ergeben, dass im Jahr 2017 55,6 % der Schulen aus Sicht der Lehrkräfte ausreichend mit IT-Ausstattung (Hardware und Software) versehen ist (Lorenz & Endberg, 2017, S. 62). Im Vergleich mit den Erhebungen aus den Jahren 2015 (54,2 %) und 2016 (52,9 %) ist dieser Durchschnittswert leicht gestiegen, auch wenn kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Zustimmungsraten über die Erhebungszeiträumen hinweg besteht (Lorenz & Endberg, 2017, S. 61). Der Zugang zu schnellem Internet hat sich jedoch signifikant von 34 % (2016) auf 40,5 % verbessert (Lorenz & Endberg, 2017, S. 63 f.).

Diese Studien zeigen, dass die Ausstattung an Schulen noch nicht dem entspricht was sich vor allem viele Lehrer unter einer angemessenen Ausstattung vorstellen. Es gibt noch immer zu wenig Hard- und Software um alle Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler in ausreichendem Maße zu versorgen. Die Studien zeigen aber auch, dass sich die Ausstattung langsam verbessert. Es sind allerdings auch bereits Trends zu erkennen, welche die Ausstattung selbst betreffen. Einer dieser Trends kann dem Wort „kleiner“ beschrieben werden (Kerres, Heinen & Stratmann, 2012, S. 161 ff.). Das bedeutet, dass weniger Desktop-PCs angeschafft werden, die in einem separaten Raum fest angebracht sind, sondern dass die Tendenz hin zu mobilen Endgeräten, wie Netbooks, Tablet-PCs oder Smartphones geht. Kerres et al. haben auch 2012 schon die Tendenz festgehalten, dass die Netzanbindung weg von stationären LAN-Anschlüssen geht und diese mehr und mehr durch kabellose Zugänge wie beispielsweise über von der Schule

bereitgestelltes WLAN oder individuelle Zugänge über das Funknetz realisiert wird (Kerres et al., 2012, S. 163 f.). Die Ergebnisse der oben erwähnten Studien geben diese Tendenz auch wieder.

Eine weitere von Kerres et al. dargestellte Tendenz zur Entwicklung der Ausstattung, ist die Veränderung der wahrnehmbaren Technik. Wo Computer früher nur als Desktop-PCs in Computerräumen sichtbar waren, sind sie heutzutage an viel mehr Stellen mehr oder weniger unsichtbar verbaut. Ob in interaktiven Whiteboards und Beamern, der Verlagerung von Daten und Software auf externe Serverfarmen oder auch der Einsatz von Chipkarten zum Öffnen von Türen oder Bezahlen des Mittagessens; die „offensichtlichen“ Computer verschwinden mit der Zeit, obwohl viel mehr Prozesse Computergesteuert ablaufen.

Auch die digitalen Möglichkeiten, die sich durch neue Software oder auch das Internet ergeben ändern sich. Das Internet ist nicht mehr nur eine Quelle für verschiedene Informationen sondern entwickelt sich zu einem zentralen Kommunikationszentrum. Ebenso gibt es immer mehr internetbasierte Plattformen, die im Unterricht auf verschiedenste Art und Weise eingebunden werden. Über Lernmanagementsysteme, wie beispielsweise Moodle, lassen sich Lernaktivitäten organisieren, Projekte präsentieren und Informationen austauschen (Kerres et al., 2012, S. 166 ff.).

### **1.1.2 Anwendungsmöglichkeiten im Unterricht**

Die Anwendungsmöglichkeiten von Computern<sup>1</sup> im Unterricht sind wie oben schon angedeutet vielfältig und entwickeln sich ständig weiter. In diesem Abschnitt wird ein Überblick über bekannte Anwendungsmöglichkeiten von Computern im Unterricht gegeben; der Fokus liegt dabei auf den Einsatzmöglichkeiten im Chemieunterricht (Eilks, Flintjer, Krilla, Möllencamp & Wagner, 2004; Steiner & Lutz, 1995).

#### Darstellungssoftware

Während sich der Computer in anderen Fächern hauptsächlich zur Erstellung und Bearbeitung von Texten und Präsentationen eignet, bieten sich gerade im Chemieunterricht eine Vielzahl weiterer Optionen. Ein wichtiger Einsatzbereich ist im Umfeld zum Experimentieren zu finden. Dies bezüglich lässt sich der Computer, wie auch in anderen Fächern, zur Beschreibung und graphischen Darstellung der Durchführung und des Aufbaus nutzen, aber auch das Feld der automatischen Messwerterfassung und Auswertung erschließen. Soll über einen bestimmten

---

<sup>1</sup> In diesem Abschnitt steht „Computer“ repräsentativ für digitale Endgeräte und meint damit auch Laptops, Tablet-PCs, Smartphones usw.

Zeitraum hinweg ein Parameter immer im gleichen Zeitintervall gemessen werden oder gar mehrere Parameter zur gleichen Zeit erfasst werden, eignet sich hierfür ein Computer hervorragend (Eilks, Krilla, Flintjer, Möllencamp & Wagner, 2004). Die Daten, die sich so auch in kurzer Zeit in umfangreichen Mengen erheben lassen (lange Erfassungszeiträume, sehr kurze Messintervalle oder auch durch Erfassung mehrerer Parameter) können mit dem Computer dann auch ausgewertet und präsentiert werden. Durch die hohe Rechenleistung von Computern lassen sich auch sehr große Datenmengen verarbeiten, aufbereiten, bearbeiten und am Ende übersichtlich präsentieren.

Der zweite große Anwendungsbereich ergibt sich aus den Darstellungsmöglichkeiten. Eine Besonderheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die vertiefte Betrachtungsweise von Stoffen. Im Laufe des Chemieunterrichts müssen die Schüler eine Vielzahl verschiedener Modelle zur Darstellung der submikroskopischen Ebene erlernen (Achtermann et al., 2007; Achtermann et al., 2009) und werden daher immer wieder mit neuen Vorstellungsweisen konfrontiert. Diese lassen sich mit etwas Geschick auch an einer Tafel oder einem Whiteboard darstellen. Aber spätestens bei dreidimensionalen Betrachtungen chemischer Prozesse, in denen mehrere Atome/Moleküle/Ionen miteinander interagieren und reagieren, sind die Darstellungsmöglichkeiten mit analogen Medien sehr stark limitiert und der Computereinsatz führt zu erheblichen Vorteilen.

An dieser Stelle lassen sich verschiedene Programme verwenden, die viele Darstellungsmöglichkeiten bieten. Einzelne Moleküle können als dreidimensionale Objekte dargestellt, ergänzt oder manipuliert werden, was vor allem im Bereich der organischen Chemie von enormen Vorteil ist (Chiralität, Molekülstruktur, Elektronendichte innerhalb von Molekülen), oder mehrere Moleküle können sich aufeinander zu oder voneinander weg bewegen und dabei je nach Bedarf auch miteinander reagieren (Eilks, Krilla et al., 2004, S. 10). Dies stellt eine zusätzliche Beschreibungsebene dar, die einen chemischen Prozess noch einmal anders darstellt als eine Reaktionsgleichung oder ein Experiment. Es ermöglicht den Schülerinnen und Schülern eine Art Brille aufzusetzen und so die kleinsten nicht sichtbaren Teilchen darstellen und beschreiben zu können. Diese Art der Betrachtung gepaart mit der dargestellten Art und Weise eines dynamischen Prozesses über eine bestimmte Zeit hinweg kann den Schülerinnen und Schülern helfen, das dargestellte Konzept oder Phänomen besser zu verstehen. Der gedankliche Schritt bei dem aus verschiedenen einzelnen Bildern ein Prozess wird, muss von den Lernenden also nicht mehr selbst vollzogen werden, sondern die Animation beschreibt dies bereits (Urhahne, Prenzel, Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000, S. 165). Wie oben schon angesprochen wurde ist es

auch bei diesen Darstellungen immer zu beachten, dass keine Darstellung ideal oder selbsterklärend ist. Auch zu solchen vermeintlich klaren Darstellungen muss eine Lehrkraft immer noch eine Erklärung oder Arbeitsaufträge reichen, damit sich die Lernenden damit auseinandersetzen (Pietzner & Eilks, 2005).

Der Fokus von im Chemieunterricht verwendeter Software liegt jedoch noch immer auf den bekannten und zuerst genannten Programmen, zur Veranschaulichung von Bild, Text und Tabellen (Pietzner, 2014, S. 302). Auch die Länderindikator-Studie von 2017 kam zu diesem Ergebnis. Demnach gaben 47 % der Lehrkräfte an, Textverarbeitungs- und Präsentationsprogramme im Unterricht einzusetzen, wohingegen nur 10,4 % Simulations- oder Modellierungsprogramme verwendeten (Eickelmann, Lorenz & Endberg, 2017, S. 233 f.).

### Internet als Lernumgebung

Als letztes großes Anwendungsfeld, welches hier nur angerissen werden kann, muss noch das Internet erwähnt werden. Wie aus den Ausführungen von oben zu erkennen ist, verfügen immer mehr Schulen über einen Zugang zum Internet. Damit ergibt sich auch die Möglichkeit der Nutzung des Internets in immer mehr Fächern und das in verschiedenen Art und Weisen. Das Internet enthält eine sehr große Menge an Informationen in Form von Bildern, Texten und Filmen. Diese sind auf Webseiten veröffentlicht, können also von verschiedenen Orten gleichzeitig aufgerufen werden und sind über ein nicht lineares Netz untereinander und miteinander verknüpft. Im Vergleich mit herkömmlichen Nachschlagewerken, wie Lexika oder Schulbüchern ergibt sich damit ein schnellerer Zugriff von einem Thema auf artverwandte Themen, Informationen und Inhalte. Dies beschleunigt auch die Suche nach weiteren Informationen, die passend zu dem gegenwärtigen Gegenstand sind (Straka, 1998, S. 185).

Neben der Funktion als sehr umfangreiches Nachschlagewerk für Daten oder als Kommunikationsmedium bietet das Internet verschiedene unterrichtsbezogene Inhalte. Lerneinheiten, die im Netz zur Verfügung gestellt werden, können von den Schülerinnen und Schülern im Unterricht oder auch zuhause alleine bearbeitet werden. Solche Inhalte müssen allerdings immer von der jeweiligen Lehrkraft begutachtet werden. Oftmals sind die Inhalte für die Lerngruppe nur bedingt geeignet, da eventuell Vorwissen fehlt oder beispielsweise Anschauungsmodelle verwendet werden, die den Schülern fehlen. Solche Lerneinheiten im Internet können auch nicht auf die Schnelle von einer Lehrkraft verändert werden, sodass die Lernenden nur mit der vorhandenen Version arbeiten können.

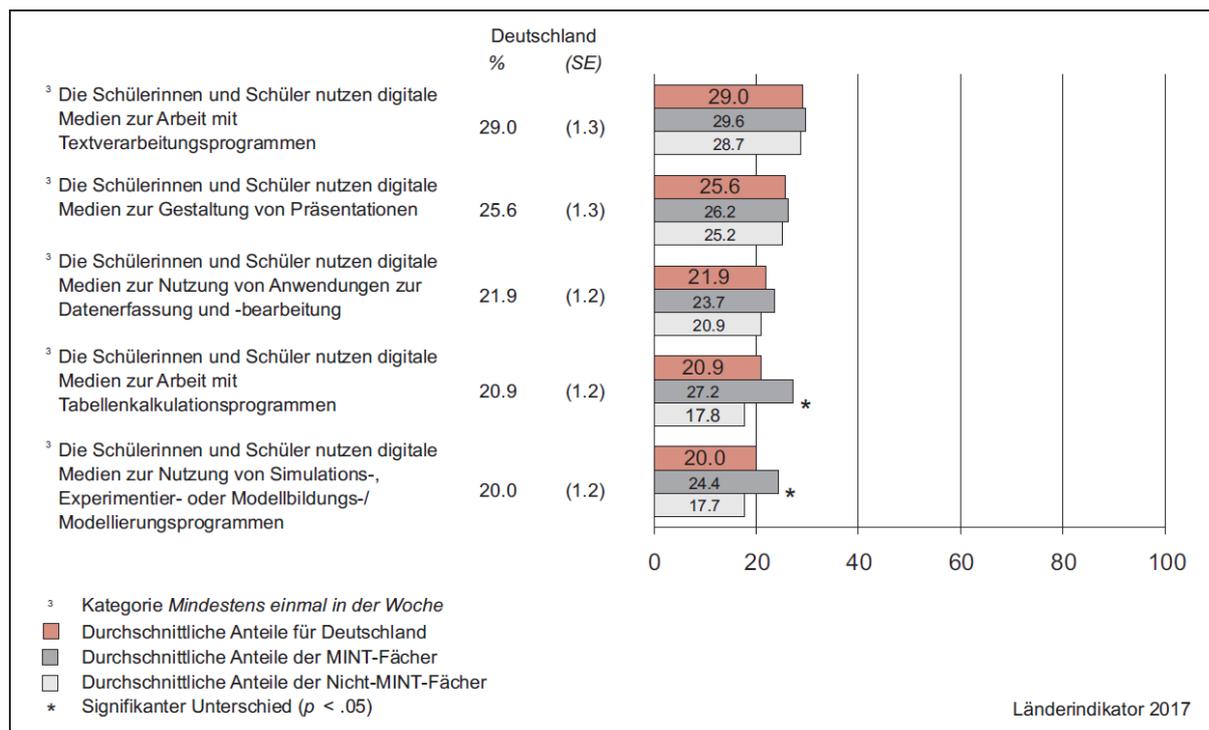
Allgemein betrachtet gilt bei Einsatz verschiedener Medien im Unterricht folgendes: vom Prinzip her, ist erstmal kein Medium besser als ein anderes. In allen Bereichen des Computereinsatzes, also sowohl in der Vorbereitung, wie auch im Unterricht selbst ist zu beachten, dass sich das Medium dem Inhalt anpassen sollte und nicht umgekehrt (Metzger, Sieve & Sommer, 2010, S. 4; Stahl, 2010, S. 4). Zusätzlich müssen bei der Wahl des Mediums die Lernvoraussetzungen der Lerngruppe, die Inhalte des Unterrichts und die aktuellen Lernzielen beachtet werden (Pietzner & Eilks, 2005, S. 5). Die Inhalte müssen dann so aufbereitet werden, dass sie sowohl angemessen präsentiert, als auch nicht überfordernd wirken, sodass Verwirrungen und Fehlvorstellungen vermieden und schon gar nicht gefördert werden (Metzger et al., 2010, S. 4; Urhahne et al., 2009).

## **1.2 Lernen mit Animationen**

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte den Computer im Allgemeinen nutzen. Anschließend daran wird beschrieben, was aus bisheriger Forschung bereits zum Lernen mit Animationen bekannt ist.

Der Jahrgangsstufenvergleich der Länderindikator-Studie zeigt, dass im Doppeljahrgang 5/6 ca. ein Viertel der Lehrkräfte eine mindestens wöchentliche Nutzung der Computer durch die Schüler angaben. Im folgenden Doppeljahrgang steigt dieser Anteil auf ein Drittel der Lehrkräfte an (33,3 %). Mit einem etwas niedrigeren Anteil (28,4 %) wurde die Nutzung der Schülerinnen und Schüler in der neunten und zehnten Klasse angegeben. Der Unterschied zwischen den Jahrgängen 5/6 und 7/8 ist dabei signifikant, der Rückgang von 7/8 auf 9/10 ist es aber nicht (Eickelmann et al., 2017, S. 241).

Neben der Nutzungsrate von Computern im Allgemeinen wurde in der Länderindikator-Studie auch erhoben, wie sich die Nutzung des Computers durch die Schüler im Vergleich von MINT-Fächern zu Nicht-MINT-Fächern verhält. Abbildung 1 zeigt die prozentualen Anteile der Lehrerantworten zur Nutzung der verschiedenen Programme, unter der Bedingung, dass die Lehrkräfte angaben, die Schülerinnen und Schüler würden mindestens einmal in der Woche mit ihnen arbeiten.



**Abbildung 1: Nutzung verschiedener Programme im Fachunterricht durch Schülerinnen und Schüler (Eickelmann et al., 2017, S. 241)**

Es zeigt sich, dass in allen fünf Kategorien weniger als 30 % der Lehrkräfteangaben, dass die Schülerinnen und Schüler mit den entsprechenden Programmen arbeiten. Wie oben schon beschrieben wurde zeigt auch diese Studie, dass die meisten Aktivitäten seitens der Lernenden im Bereich der Textverarbeitung und Präsentation liegen. Der in Kapitel 1.1.2 beschriebene Unterschied zwischen naturwissenschaftlichen und anderen Fächern kann aber auch hier gesehen werden. Signifikant mehr Lehrkräfte gaben an, dass ihre Schülerinnen und Schüler in den MINT-Fächern mit Tabellenkalkulationsprogrammen und Modellierungssoftware arbeiteten (Eickelmann et al., 2017, S. 241). Die Tendenz über alle Fächer zeigt ebenfalls, dass in den MINT-Fächern häufiger mit dem PC im Unterricht gearbeitet wird, auch wenn diese Tendenz in den ersten drei Kategorien nicht signifikant ist (Eickelmann et al., 2017, S. 241).

Während im Durchschnitt deutschlandweit ungefähr ein Fünftel aller Lehrkräfte wöchentlich mit Tabellenkalkulationsprogrammen oder Modellierungssoftware arbeiten, liegen in beiden Fällen die Anteile der Lehrer aus MINT-Fächern signifikant höher. Im Fall der Arbeit mit Tabellenkalkulationsprogrammen konnte im Rahmen der Studie auch erhoben werden, dass signifikant mehr männliche Lehrkräfte ihre Schülerinnen und Schüler mit diesen Programmen arbeiten lassen (24,7 %) als weibliche Lehrkräfte (18,6 %) (Eickelmann et al., 2017, S. 242). Modellierungssoftware wird von 20 % der Lehrkräfte mindestens wöchentlich genutzt. Aufgeschlüsselt nach Ländern zeigt sich, dass in den vier Bundesländern Baden-Württemberg, Berlin, Nordrhein-Westfalen und Thüringen die höchsten Nutzungsanteile mit durchschnittlich 25,9 %

durch die Schülerinnen und Schüler bestehen. Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt liegen im Hinblick auf die Nutzung entsprechender Software nur bei durchschnittlich 14,7 % (Eickelmann et al., 2017, S. 246 f.).

Der Chemieunterricht bietet jedoch eine besondere Chance, neben den bislang genannten Anwendungen mit Lerneinheiten und Animationen zu arbeiten. Eine ideale Lernumgebung könnte dabei auf die Schülerinnen und Schüler genauso adaptiv und interaktiv eingehen, wie es eine Lehrkraft auch könnte (Pietzner & Eilks, 2005, S. 5). Auch wenn sich viele Programme durch ihre Interaktivität auszeichnen und sich durch ihre Gestaltung dem Lernenden anpassen (können), können Lehrerinnen und Lehrer sich nicht ganz aus dem Lehr- und Lernprozess zurückziehen. Ihre Rolle verändert sich von einer unterrichtenden Funktion in beobachtende. Die Lehrkräfte beschränken sich darauf, den Lernenden individuell, bedürfnis- und ressourcenorientiert zu helfen (Eilks, Krilla et al., 2004). In den meisten Fällen handelt es sich bei online-basierten Inhalten nicht um Lernumgebungen, die aus didaktischer und fachlicher Sicht direkt für die Schule erstellt wurden. Es kann daher immer wieder vorkommen, dass sich fehlerhafte oder veraltete Informationen finden lassen und oft mehr Daten angegeben werden als vielleicht nötig gewesen wäre. Unerfahrene Nutzer können in einer solchen Datenflut verloren gehen und der Fokus damit vom eigentlichen Lernziel abgelenkt werden. Es liegt in der Verantwortung der Lehrkraft die Inhalte durch gezielte Aufgabenstellungen und Hilfestellungen so aufzubereiten, dass Schülerinnen und Schüler das angestrebte Lernziel mit den zur Verfügung stehenden Mitteln erreichen können (Eilks, Krilla et al., 2004, S. 12).

Ein wichtiger Punkt, der bei dem Lernen mit digitalen Medien eine Rolle spielt ist die zuvor bereits angesprochene Interaktivität neuer Medien (Barke, Harsch, Marohn & Krees, 2015, S. 43 f.). Im Vergleich kann ein Schulbuch zwar genauso motivierend und lehrreich geschrieben und gestaltet sein wie beispielsweise eine online-basierte Lerneinheit mit ähnlichem Inhalt, es kann aber nicht das gleiche Maß an Interaktivität bieten. Dies liegt an den Medien selbst. In einem Buch sind keine „einfach anklickbaren Querverweise“ möglich und Videos, Animationen oder manipulierbare Objekte sind ebenso nicht realisierbar. Beim Unterrichten mit digitalen Medien als Ergänzung zu analogen Unterrichtsmaterialien wie Büchern oder Tafeln ist zu beachten, dass solche Medien zwar einen motivierenden, aber nicht zwingend lernsteigernden Effekt haben können (Kerres, 2000, S. 29 f.). Auch das spezielle Hervorheben bestimmter Inhalte einer Animation oder eine zusätzliche interaktive Steuerung zur Anpassung der Abspielgeschwindigkeit, können zwar beim Umgang mit den Animationen helfen (Schnotz

& Lowe, 2008, S. 345 f.), bringen aber keinen nachgewiesenen Mehrerfolg für den Lernerfolg (Hegarty & Kriz, 2008, S. 17 f.).

Neben dem Neuheitseffekt digitaler Medien kann durch ihre Nutzung ein positiver Effekt besonders dann entstehen, wenn die Schüler selbst an dem Entstehungsprozess beteiligt sind, die Lernenden als selbst Unterrichtsmaterialien mit entwickeln. Diese Mitarbeit kann von der Erstellung einzelner Animationen bis hin zu Entwicklung ganzer Lerneinheiten reichen (Stahl, 2010). In ihrem Überblicksartikel zur Computernutzung im naturwissenschaftlichen Unterricht fassen Urhahne et al. (2000) die Effektivität des Computereinsatzes in mehreren Punkten zusammen. Die Schülerinnen und Schüler lernen mehr (Kulik, J. A., Kulik & Cohen, 1980; Urhahne et al., 2000) und benötigen weniger Zeit für die Erledigung von Aufgaben, wenn sie mit dem Computer arbeiten oder computergestützt unterrichtet werden. Die Lernenden gefällt ein computergestützter Unterricht besser und sie entwickeln mit der Zeit eine positive Einstellung zur Arbeit mit Computern oder digitalen Medien. Auch wenn sich der Einfluss positiv auf die Einstellung zum Unterricht selbst auswirkt, erstreckt sich dieser Einfluss nicht immer auch auf den Unterrichtsinhalt an sich. In 34 der in die Metaanalyse einbezogenen Studien zeigte sich, dass sich die Einstellung zum unterrichteten Stoff durch den Computereinsatz nicht änderte (Urhahne et al., 2000, S. 161).

Im folgenden Abschnitt soll die Möglichkeiten manipulierbarer Animationen betrachtet werden. Diese können sowohl nur von der Lehrkraft präsentiert, aber auch von den Schülerinnen und Schülern selbst erstellt und zum Lernen genutzt werden. Dem hohen Maß an Vorstellungskraft, das im Chemieunterricht durch immer neue Darstellungen der submikroskopischen Ebene gefordert wird, kann mit Animationen Abhilfe geschafft werden (Becker & Hildebrandt, 1997, S. 34). Während die meisten Darstellung der sich immer weiter entwickelnden Modelle zweidimensional sind (Tafel, Bücher und häufig auch im Internet), eröffnen digitale Darstellungen, wie beispielsweise Animationen Lernenden und Lehrenden die Möglichkeit ebene Moleküle oder Prozesse dreidimensional darzustellen. Auch wenn es solche Studien gibt, die einen positiven Effekt nachweisen (z. B. Ardac und Akaygun (2004), Urhahne et al. (2009)), so sind doch im Allgemeinen bisher keine eindeutigen Vorteile von Animationen gegenüber statischen Abbildungen gefunden worden, was den Wissenszuwachs bei den Lernenden angeht (Bétrancourt & Chassot, 2008, S. 144; Hegarty & Kriz, 2008, S. 15). Solche Darstellungen können jedoch motivierend auf die Schülerinnen und Schüler wirken und sie dabei unterstützen sich eine Vorstellung der submikroskopischen Ebene zu machen (Eilks, Witteck & Pietzner, 2010, S. 31).

Im Vergleich zum Lernen mithilfe statischer Darstellungen konnte allerdings auch gezeigt werden, dass unter bestimmten Bedingungen das Lernen mithilfe von Animationen positiv unterstützt und gefördert werden kann (Hegarty & Kriz, 2008, S. 15; Rieber, 1990; Urhahne et al., 2000). Dies ist stark von verschiedenen individuellen und situationellen Faktoren abhängig, von denen die wichtigsten die Anpassung der Lernaufgabe und der Aktivität selbst auf die Zielgruppe und die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler ist. Hinzu kommt, dass die selektive Wahrnehmung der Lernenden beachtet und bei der Vermittlung der Inhalte berücksichtigt werden muss (Urhahne et al., 2000, S. 165). Auch können die Lernenden einen Prozess besser mithilfe von Animationen oder zumindest Darstellungen über mehrere Bilder verstehen, als mithilfe einer Darstellung aus nur einem einzelnen Bild (Hegarty & Kriz, 2008, S. 15).

Ein Aspekt, der bei all diesen Ergebnissen berücksichtigt werden muss, ist der Transfer von einer Darstellungsebene auf eine andere. Für Chemiker ist es einfach ist zwischen verschiedenen Darstellungen hin und her zu wechseln. Sie können zwischen Formeln, Videos, Graphiken oder Animationen von einer Darstellungsform in eine andere überwechseln und denselben Inhalt in neuer Form wiedergeben, ohne große Schwierigkeiten zu haben oder wichtige Punkte zu verlieren. Unabhängig von dem gegebenen Input war es ihnen möglich den Inhalt in Form eines chemisch korrekten Konzepts auch verbal wiederzugeben und zu beschreiben. Die von Kozma und Russell (1997) im Rahmen ihrer Studie befragten Anfänger (Studentinnen und Studenten im ersten Semester) hatten deutlich mehr Schwierigkeiten und konnten chemische Konzepte nur schlecht in andere Darstellungsformen überführen. Als besonders schwierig gestaltete sich diese Übersetzung bei der Überführung von Animationen und Videos in eine entsprechende verbale oder symbolische Form (Kozma & Russell, 1997). Übertragen auf noch jüngere Schülerinnen und Schüler muss besteht auch bei ihnen eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass ein solcher Wechsel der Darstellungsformen mit Schwierigkeiten verbunden ist.

In früheren Studien wurden Schülerinnen und Schülern oder Studentinnen und Studenten Animationen vorgespielt. Je nach Aufbau der Animation wurde den Lernenden zusätzlich zu dem visuellen Material mündliche Informationen gegeben (z. B. Sanger und Greenbowe (2000)) oder die Animationen beinhalteten bereits alle wesentlichen Informationen. Teilweise wurden animierte Videos präsentiert (z. B. Kelly und Jones (2008); Tasker und Dalton (2006)) oder ganze Lerneinheiten konstruiert, die durch einen digitalen Assistenten unterstützt wurden (wie beispielsweise in Kelly (2015)). Bei diesen Einsätzen beschränkt sich der Computereinsatz allerdings auf das Vermitteln bestimmter Inhalte und darauf aufbauend wurden mithilfe von schriftlichen oder mündlichen Fragestellungen Wissensstände, Vorstellungen oder Meinungen

erhoben. Bei diesen Studien geht es also zumeist darum ob sich Computer im Allgemeinen oder Animationen im Speziellen dazu eignen, Wissen zu vermitteln oder zu prüfen welchen Einfluss diese Systeme auf die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler haben.

Kelly (2015) geht einen Schritt weiter und hat in ihrer digitalen Lerneinheit unter anderem die Möglichkeit einprogrammiert, mithilfe vorgefertigter Teilchen eine visuelle Darstellung von Kochsalz in Wasser durch die Lernenden (in diesem Fall Studenten) erstellen zu lassen. Dabei konnten die Teilchen (Wasser-Moleküle, Natrium- und Chlorid-Ionen) via Drag & Drop auf eine digitale Leinwand geschoben werden. Dies entspricht einer Art digitalem Malen mit vorbereiteten und für die Situation angepassten Werkzeugen (Kelly, 2015). Dies ist eine Möglichkeit neben schriftlichen und mündlichen Befragungen oder Zeichnungen mit Stift und Papier die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler zu einem bestimmten Prozess haben zu erheben.

Tasker und Dalton (2006) haben die folgenden möglichen Vorteile der Verwendung einer dreidimensionalen Visualisierungssoftware wie folgt zusammengefasst: Visualisierung (also die Verbildlichung der Teilchenebene), Bewegung und Interaktionen (im Sinne der Teilchenaktivität, dargestellt auf atomarer Ebene) und Verständnis. Letzteres nannten die Befragten im Hinblick auf ihr persönliches Verständnis chemischer Konzepte (Tasker & Dalton, 2006, S. 146). Neben weiteren Vorteilen, die immer wieder auf die Darstellung der Teilchenebene abzielten, wurde allerdings auch Kritik an den Animationen geübt. Ein Student merkte an, dass die Animationen zu sehr fokussiert auf den dargestellten Prozess war und dabei das gesamte chemische System zu stark reduziert hätte (Tasker & Dalton, 2006, S. 146 f.). Demnach sind Studenten nicht nur in der Lage von Animationen zu lernen, sondern auch ihre Schwächen zu erkennen. Dies kann als erwünschtes Resultat angesehen werden, im Sinne der Fähigkeit der Lernenden auch Grenzen von Modellen erkennen und aufzeigen zu können, zeigt aber auch, dass eine Animation nicht gleichermaßen für alle Schülerinnen und Schüler gleich gut geeignet ist.

In diesem letzten Abschnitt soll noch einmal spezifisch auf das Erstellen von Animationen durch die Lernenden eingegangen werden. Zuvor wurde bereits beschrieben, dass Schülerinnen und Schüler davon profitieren, wenn sie aktiv am Entstehungsprozess von digitalen Medien beteiligt sind. Aus zeitlichen Gründen ist es aber nicht möglich alle digitalen Medien, die im Unterricht verwendet werden sollen unter Mithilfe der Lernenden zu erstellen. Einen Teil wird also die Lehrkraft erstellen oder auf Angebote von außerhalb zurückgreifen müssen. Animationen wurden bereits wie zuvor beschrieben zur Lehre oder zur Überprüfung von fachlichen

Inhalten eingesetzt (z. B. Sanger und Greenbowe (2000), Kelly und Jones (2007), Kelly und Jones (2008)). Beim Erstellen solcher Animationen empfehlen Burke, Greenbowe und Windschitl (1998) mit einem Team von verschiedenen Personen zu arbeiten. Dabei sollte die Lehrkraft zusammen mit einem Fachchemiker und Computerprogrammierern, -animateuren und Designern arbeiten. Das Erstellen einer Animation ist dann ein mehrstufiger Prozess, bei dem einige allgemeine Regeln beachtet werden sollten, damit der Inhalt angemessen und korrekt vermittelt werden kann. Zunächst wird ein bildliches Drehbuch (engl. storyboard) gezeichnet. Dies beinhaltet alle chemisch relevanten Aspekte des darzustellenden Prozesses. Darauf aufbauend werden Entscheidungen zu Gestaltung von Teilchen (Farbe, Form, Größe) und den Teilchenverbänden (Oberfläche, Struktur, Anordnung) getroffen (Burke et al., 1998, S. 1658). Als Empfehlung für eine effektive Animationssequenz nennen die Autoren hier eine Dauer von 20-60 Sekunden. Sofern sie nicht schon vorhanden ist, sollte die Animation noch mit einer gängigen Steuerung versehen werden (Pause, Abspielen, Vorspulen, usw.). Ebenso ist es erforderlich, dass beim Erstellen der Animation bekannte (Fehl-)Vorstellungen bezüglich des dargestellten Prozesses beachtet werden und überprüft wird, ob solche durch die Animation eventuell gefördert werden. Dieser Erstellungsprozess zieht sich dann durch eine Feedbackschleife, wobei die Animation verschiedenen geeigneten Personengruppen (Hochschul-Mitarbeiter, Lehrer, Schüler, ganze Schulklassen) präsentiert wird und sie anschließend gegebenenfalls nochmal angepasst werden kann. Es ist außerdem möglich die Animation dahingehend zu verbessern, dass sie über mehrere Systeme hinweg nutzbar gemacht wird, was aber schon über den Nutzungsrahmen normalen Unterrichts hinausgeht. Die Autoren weisen auch darauf hin, dass die Planung und Erstellung einer geeigneten Animation Zeit und viel Überlegung kostet, nicht zuletzt in dem Hinblick darauf was bei der Animation letztendlich dargestellt oder halt nicht dargestellt wird (Burke et al., 1998).

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass in den vergangenen Jahrzehnten die Ausstattung mit technischen Mitteln an den Schulen verbessert wurde und die Schülerinnen und Schüler immer mehr mit digitalen Medien in Kontakt kommen. Dabei nehmen auch die Lernenden einen aktiven Part ein und werden nicht nur mithilfe der neuen Medien unterrichtet, sondern sie werden an diesen Medien geschult und gestalten Inhalte des Unterrichts unter Zuhilfenahme ebenjener Medien mit. Dies entspricht den oben beschriebenen Zielen der KMK-Beschlüsse, kann aber, wie an den beschriebenen Erhebungen gesehen werden kann noch ausgebaut werden. Die Effektivität digitaler Medien, beziehungsweise die Vorteile gegenüber statischer Medien, konnte bisher nicht bedingungslos nachgewiesen werden. Damit das Lernen mit digitalen

Medien im Allgemeinen und mit Animationen im Speziellen gelingt, müssen immer situationelle und individuelle Faktoren seitens der Lernenden berücksichtigt werden. Für eine geeignete Animation müssen viele Aspekte berücksichtigt werden, beginnend bei der fachlichen Grundlage des dargestellten Inhalts, bis hin zur Berücksichtigung bekannter (Fehl-)Vorstellung der Lernenden. Außerdem ist das Erstellen von digitalen Inhalten zwar auf der einen Seite mit einem positiven Lerneffekt verbunden, wenn die Schülerinnen und Schüler an der Erstellung beteiligt sind, auf der anderen Seite ist es aber auch immer mit viel Zeit und Überlegungsarbeit verbunden, was beim Unterrichten mit Animationen mit berücksichtigt werden muss.

## 2 Lösungen, Löslichkeit und Lösungsprozess

Der Themenkomplex Lösungen und Löslichkeit umfasst diverse Aspekte, die bekannt sein müssen, wenn dieser Themenkomplex erfolgreich unterrichtet werden soll. Auf chemischer Seite müssen die fachlichen Grundlagen berücksichtigt werden, wie zum Beispiel eine energetische Betrachtung des Löseprozesses, die Löslichkeit von Stoffen in anderen Stoffen mit den zugrunde liegenden Mechanismen und Regeln sowie die Betrachtung des Ablaufes eines Löseprozesses. Um vieles davon verstehen zu können müssen auch weitere Themenfelder betrachtet werden; so handelt es sich beispielsweise nicht bei jeder „Lösung“ automatisch um Wasser, in das beispielsweise Salz oder Zucker gegeben wurde. Dies mögen anschauliche und bekannte Beispiele sein, sind aber nur ein kleiner Teil der möglichen Lösungen, die eine Lehrkraft für das erfolgreiche Unterrichten des Themas kennen sollte. Zwischenmolekulare Kräfte sowie der Aufbau und die Eigenschaften von Lösemitteln (engl. solvent) und dem zu lösenden Stoff beziehungsweise gelösten Stoff (engl. solute) spielen beim Lösen von Stoff A in Stoff B genauso eine Rolle wie Temperatur, Aggregatzustand oder eventuell ablaufende Reaktionen zwischen dem Lösemittel und dem zu lösenden Stoff.

Neben all diesen fachlichen Faktoren müssen im Rahmen dieser Arbeit auch die fachdidaktischen Aspekte betrachtet werden. Angepasst an die Voraussetzungen, die Schülerinnen und Schüler in unterschiedlichen Klassenstufen mitbringen, muss das Thema immer wieder mit neuen beziehungsweise erweiterten Aspekten im Sinne eines Spiralcurriculums unterrichtet werden. Bei jeder weiteren Verständnisebene müssen auch wieder neue Voraussetzungen beachtet werden. Neben den sich fachlich ändernden Konzepten, welche die Lernenden aus dem vorherigen Unterricht mitbringen, müssen auch verschiedene Vorstellungen, die sie aus dem Alltag mitbringen, oder sich im bisherigen Unterricht angeeignet haben, Beachtung finden. Auch zu dem Themenfeld der Löslichkeit gibt es zahlreiche Vorstellungen die nicht alle auf fachlich belastbaren Konzepten beruhen. Viele dieser Vorstellungen wurden bereits erforscht und in diversen Publikationen (siehe Kapitel 2.4) beschrieben.

In diesem Kapitel sollen zum einen die fachlichen Grundlagen zu Lösungen und der Löslichkeit dargestellt werden. Dazu gehören eine Definition von Lösungen und Löslichkeit sowie eine detaillierte Beschreibung des Löseprozesses. Zum anderen soll ein Blick auf die Vorstellungen geworfen werden, welche Schülerinnen und Schüler, Studierende und auch Lehrkräfte haben können, wenn es um den Themenbereich der Löslichkeit geht. Das Kapitel 2.4.3 widmet sich den unterschiedlichen Beschreibungen und Vorstellungen, die aus der Literatur bereits bekannt sind und damit auch als theoretischer Unterbau für diese Arbeit dienen.

## 2.1 Fachlicher Hintergrund zur Löslichkeit

Um sich dem Thema Löslichkeit zu nähern muss im Vorfeld zunächst definiert werden was eine Lösung ist. Viele Fachbücher geben hier leicht voneinander abweichende Beschreibungen. In dem bekannten *Lehrbuch der Anorganischen Chemie* wird eine Lösung als homogenes Gemisch reiner Stoffe beschrieben (Holleman, Wiberg & Wiberg, 2007, S. 8). In *Fundamentals of General, Organic and Biological Chemistry* werden Lösungen als Teil der Gruppe homogener Mischungen (homogeneous mixtures) angesehen und aufgrund der Partikelgröße des gelösten Stoffes von Kolloiden getrennt. Während in Lösungen demnach die gelösten Teilchen (Ionen, Atome, Moleküle) eine Partikelgröße von  $< 2$  nm und weniger besitzen, haben die Teilchen bei Kolloiden eine Größe von 2-500 nm. Darüber hinaus werden hier die Mischungen als heterogene Gemische bezeichnet (McMurry, Castellion, Ballantine, Hoeger & Peterson, 2009, S. 255 f.). Als homogene Mischung, deren Zusammensetzung unabhängig von der Probengröße überall gleich ist, wird eine Lösung in *Chemie – einfach alles* bezeichnet. Hier wird zusätzlich erwähnt, dass im Regelfall der Stoff mit größerem Anteil an der Lösung als Lösemittel bezeichnet wird, in dem die gelösten Stoffe enthalten sind (Atkins & Jones, 2006, G49). Eine dahingehend gute Zusammenfassung wird in von Binnewies et al. (2016) beschrieben. Neben der Beschreibung gleicher Verteilung der Bestandteile wird hier auch erwähnt, dass sich Stoffe in variablem Verhältnis zueinander lösen können:

*„Im weitesten Sinne können wir eine Lösung als eine homogene Mischung verschiedener Stoffe mit variabler Zusammensetzung und statistischer Verteilung aller Komponenten definieren, bei der an jedem Ausschnitt aus der Mischung die gleiche Zusammensetzung angetroffen wird.“*

(Binnewies et al., 2016, S. 200)

Aus all diesen leicht unterschiedlichen Definitionen beziehungsweise Beschreibungen, kann als Gemeinsamkeit herausgestellt werden, dass es sich bei Lösungen um homogene Gemische handelt. Sie bestehen aus mindestens 2 Komponenten; einem Lösemittel und dem darin gelösten Stoff. Die Teilchen des gelösten Stoffes, seien es Moleküle, Atome oder Ionen, sind dabei gleichmäßig im Lösungsmittel verteilt und jede beliebig große Portion einer Lösung besteht aus dem gleichen Verhältnis von Lösungsmittel und gelöstem Stoff.

Die Definition einer Lösung von Lösungsmittel und zu lösendem Stoff als homogenes Gemisch ist recht weit gefasst. In der Regel wird hier am ehesten an Lösungen gedacht, die aus einem

flüssigen Lösungsmittel und einem festen oder flüssigen zu lösenden Stoff bestehen. Die bekanntesten Beispiel dafür wären wahrscheinlich Zucker in Wasser (wie es beim Teetrinken vorkommt) oder Salzwasser (Natriumchlorid gelöst in Wasser). In Wasser gelöstes Ethanol kann ein gutes Beispiel für eine flüssige Lösung mit flüssigem zu lösenden Stoff angeführt werden (Spirituosen). Allerdings erfüllen auch andere Kombinationen diese erste Beschreibung. Luft zum Beispiel kann als Lösung von Sauerstoff und anderen Gasen in Stickstoff aufgefasst werden. Ein Beispiel für das andere Extrem, also einem Feststoff gelöst in einem Feststoff, kann mit einer Legierung angeführt werden (Latscha, Klein & Mutz, 2011, S. 175 f.). Mit Lösungen wie Wasserstoff in Metallen oder Sauerstoff beziehungsweise Kohlenstoffdioxid<sup>2</sup> in Wasser sind auch noch weitere Kombinationen von Lösungsmittel und zu lösendem Stoff möglich (Kurzweil & Scheipers, 2012, S. 7).

Liegt der gelöste Stoff nur noch in einzelnen Teilchen (Atomen, Ionen, Molekülen) vor und sind diese in einem Flüssigen Lösungsmittel gleichmäßig verteilt, so wird dieses System auch als *echte Lösung* bezeichnet. Die Größenordnung der Teilchen liegt hierbei zwischen 0,1 und 3 nm (Latscha et al., 2011, S. 176). Eine ähnliche Einteilung wurde bereits weiter oben in einer anderen Quelle beschrieben (McMurry et al., 2009, S. 255 f.). Bei noch größeren Teilchen kann immer noch von einer Lösung gesprochen werden, sie wird dann aber als *kolloide Lösung* bezeichnet (Latscha et al., 2011, S. 176). Auch bei Kurzweil und Scheipers (2012) wird eine ähnliche Einteilung beschrieben. Echte Lösungen beinhalten hier Teilchen mit einer Größe von unter 1 nm. Mit einer Größe von 1-500 nm handelt es sich um kolloidale Lösungen und bei noch größeren Teilchen wird hier von einer *Suspension* gesprochen. Die Typen unterscheiden sich auch. So lässt sich bei echten Lösungen kein Tyndall-Effekt beobachten, bei den anderen hingegen schon (Kurzweil & Scheipers, 2012, S. 172).

## 2.2 Chemische Aspekte der Löslichkeit

Bisher wurden die Lösungen nur in ihrem Zustand an sich beschrieben. Betrachtet man nun genauer wie viel sich von Stoff A in Stoff B lösen lässt, so kann man dies sowohl qualitativ als auch quantitativ betrachten.

---

<sup>2</sup> In diesem Fall muss beachtet werden, dass sich Kohlenstoffdioxid nicht nur in Wasser löst, sondern auch eine Reaktion mit dem Lösungsmittel eingeht. Hierbei werden als Übergangsstoff Kohlensäure gebildet, die dann aber mit Wasser-Molekülen in einer Gleichgewichtsreaktion zu Hydrogencarbonat-Ionen ( $\text{HCO}_3^-$ ) reagieren. Letztere können wiederum mit Wasser-Molekülen in einer Gleichgewichtsreaktion zu und Carbonat-Ionen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) weiterreagieren.

### 2.2.1 Qualitative Löslichkeit

Beschäftigt man sich mit der Frage wie gut oder auch schlecht ein Stoff in einem gegebenen Lösungsmittel lösbar ist, ist eine sehr wichtige Größe die Stoffmengenkonzentration  $n$ . Diese gibt an wie viel eines Stoffes in einem bestimmten Volumen eines Lösungsmittels gelöst ist. Der Zusammenhang ist über Formel (1) gegeben.

$$c = \frac{n}{V} \quad (1)$$

$c$ : Stoffmengenkonzentration in  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 $n$ : Stoffmenge in mol  
 $V$ : Volumen in L

Wird nun ein Stoff in einem Lösungsmittel bis zu Sättigung gelöst, so kann nicht mehr von dem Stoff in diesem System gelöst werden; die weitere Zugabe des Stoffes würde zur Bildung eines Bodensatzes führen. Diese Grenze der Löslichkeit kann über Angaben der Stoffmengenkonzentration tabelliert werden. Oftmals findet man auch Angaben zur Löslichkeit in der Einheit  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Diese lässt sich aber mithilfe der Molaren Masse über Formel (2) einfach wieder in die Stoffmengen Konzentration umrechnen.

$$n = M \cdot m \quad (2)$$

$M$ : Molare Masse in  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 $m$ : Masse in g

In der Literatur wird auch häufig der  $K_L$ -Wert tabelliert. Dieser gibt das Löslichkeitsprodukt an und ist eine stoffspezifische Konstante. Die Löslichkeit, und damit auch das Löslichkeitsprodukt, ist temperaturabhängig und muss daher immer mit einer Temperaturangabe versehen sein; dies wird in Kapitel 2.2.1.3 noch genauer betrachtet. Allgemein kann mit den bisherigen Größen eine Einteilung von Stoffen vorgenommen werden, um deren Löslichkeit zu klassifizieren. Die Angaben beziehen sich dabei immer auf die Stoffmengenkonzentration einer gesättigten Lösung (Strähle & Schweda, 2006, S. 44):

- $c < 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  schwer lösliche Stoffe
- $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \leq c \leq 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  mäßig lösliche Stoffe
- $c > 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  gut lösliche Stoffe

Wie gut oder weniger gut ein Stoff nun in einem Lösemittel löslich ist, kann anhand der Faktoren Temperatur und Polarität von Lösemittel und dem zu lösenden Stoff betrachtet werden. Diese Aspekte werden in den folgenden Abschnitten betrachtet.

### 2.2.1.1 Zwischenmolekulare Kräfte

Zwischenmolekulare Anziehungskräfte beruhen darauf, dass sich innerhalb eines Moleküls die Ladungen asymmetrisch verteilen und sich ein elektrischer Dipol ausbildet. Diese Dipole führen zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (auch intermolekulare Wechselwirkungen genannt) und wirken in Flüssigkeiten und Feststoffen. Aus ihnen resultieren Siede- und Schmelzpunkte, die im Vergleich zu Gasen (in denen nahezu keine intermolekularen Wechselwirkungen herrschen), deutlich höher sind (Latscha et al., 2011, S. 114). Ausgehend von zwischenmolekularen Anziehungskräften lassen sich zwei wichtige Bindungstypen benennen, die in diesem Zusammenhang näher erläutert werden müssen: Zum einen die Wasserstoffbrückenbindungen, die zwischen Molekülen auftreten, welche ein sehr ausgeprägtes Dipolmoment aufweisen (z. B. Wasser), zum anderen die Van-der-Waals-Kräfte, die vergleichsweise schwache intermolekulare Wechselwirkungen sind, welche auf spontanen Dipolen beruhen.

#### Wasserstoffbrücken

Das Konzept der Wasserstoffbrücken geht auf Latimer und Rodebush zurück, die damit die hohe Dielektrizitätskonstante von Wasser gedeutet haben (Latimer & Rodebush, 1920). Wasserstoffbrücken bilden sich zwischen zwei funktionellen Gruppen aus. Eine davon enthält eine stark polare kovalente Bindung eines Wasserstoff-Atoms, während die zweite Gruppe ein freies Elektronenpaar besitzt. Die stark polare Atombindung bildet sich im Regelfall zwischen einem Wasserstoff-Atom und einem Atom der Elemente Fluor, Sauerstoff oder Stickstoff aus. Diese haben einen sehr hohen Elektronegativitätswert auf der Pauling-Skala und sind entsprechend in der Lage, eine Atombindung zu einem Wasserstoff-Atom stark zu polarisieren. Zwischen dem Wasserstoff-Atom dieser polarisierten Atombindung und einem freien Elektronenpaar eines anderen Atoms, welches durchaus auch zu demselben Molekül gehören kann (intramolekulare Wasserstoffbrückenbindungen), kommt es zu einer elektrostatischen Anziehung (Latscha et al., 2011, S. 115). Es bilden sich Wasserstoffbrücken aus. Sie sorgen für einen vergleichsweise starken Zusammenhalt was, verglichen mit der Molekülgröße, zum Beispiel bei Wasser zu einem sehr hohen Siedepunkt führt (Abbildung 2). Diese vergleichsweise hohen Siedepunkte von Wasser, Fluorwasserstoff und Ammoniak lassen sich damit erklären, dass die zusätzlichen Bindungskräfte durch Wasserstoffbrücken überwunden werden müssen.

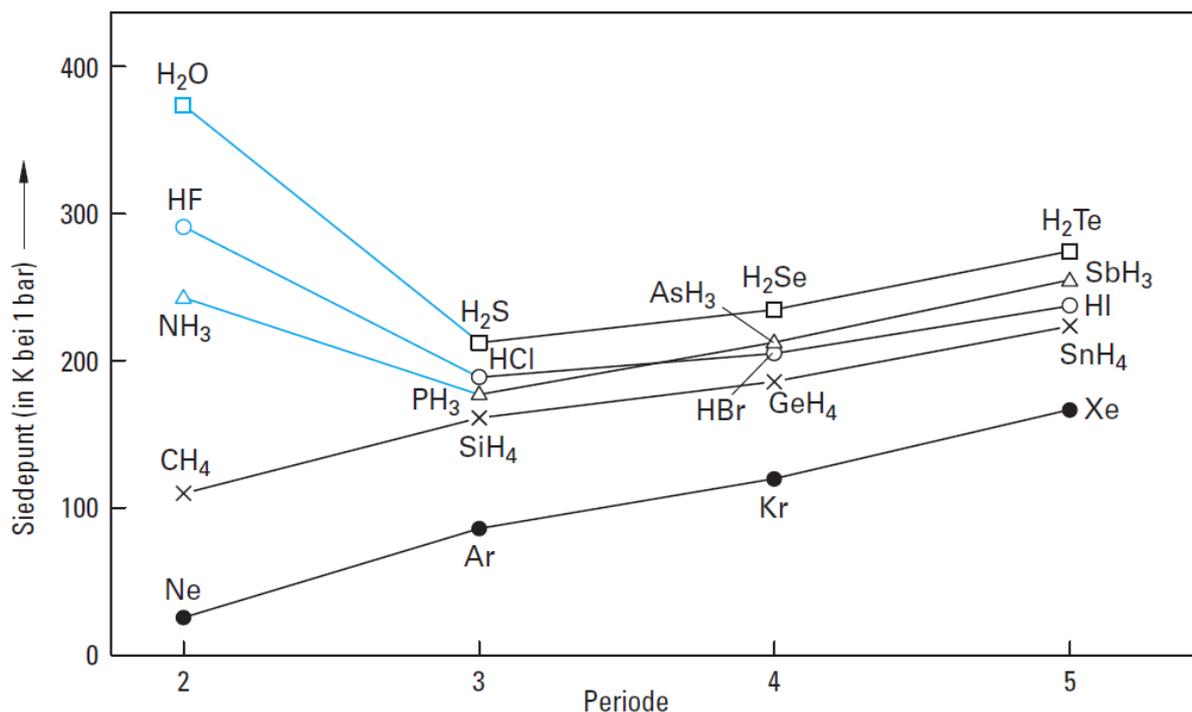


Abbildung 2: Siedepunkte von einfachen Hydriden und den Edelgasen (Riedel & Janiak, 2015, S. 212)

Wasserstoffbrückenbindungen werden häufig durch gepunktete Linien zwischen dem Wasserstoff-Atom der einen Gruppe und dem freien Elektronenpaar des Atoms der anderen Gruppe angedeutet. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 3 zu sehen. Hier sind die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Fluorwasserstoff-Molekülen dargestellt (im kristallinen Zustand). Zudem wird der Winkel zwischen der Wasserstoff-Fluor-Bindung und der Fluor-Wasserstoff-Wasserstoffbrücken angegeben (Riedel & Janiak, 2015, S. 212). Im Allgemeinen liegt der Winkel zwischen der kovalenten Bindung und der Wasserstoffbrücken zum nächsten Molekül zwischen  $110^\circ$  und  $140^\circ$  (Riedel & Janiak, 2015, S. 211). Ein Wasser-Molekül kann an bis zu vier Wasserstoffbrücken beteiligt sein. Im Fall von flüssigem Wasser sind es ein bis drei Wasserstoffbrücken pro Molekül, im Fall von Eis sind es vier (Latscha et al., 2011, S. 115). Die Wasserstoffbrücken sind linear angeordnet, sodass die Anziehungskraft von Wasserstoff zum Atom mit freiem Elektronenpaar am größten, gleichzeitig aber die Abstoßungskräfte von diesem Atom und dem stark elektronegativen Atom, an welches das Wasserstoff-Atom kovalent gebunden ist, am geringsten ist (Riedel & Janiak, 2015, S. 211). Allgemein ist die Wasserstoffbrücken umso stärker, je elektronegativer und kleiner das Atom, an welchem das Wasserstoffatom gebunden ist. Daraus ergibt sich, dass für die Ausbildung von Wasserstoffbrücken

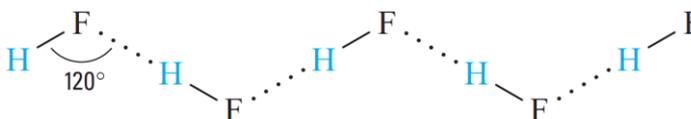


Abbildung 3: Wasserstoffbrücken zwischen Fluorwasserstoff-Molekülen (Riedel & Janiak, 2015, S. 212)

Atome der Elemente Fluor, Sauerstoff und Stickstoff erforderlich sind. Allerdings sind auch Chlor-, Schwefel-, Phosphor- und Kohlenstoffatome, gebunden an Wasserstoff, zu schwachen Wasserstoffbrücken fähig (Riedel & Janiak, 2015, S. 211).

### Van-der-Waals-Kräfte

Während die Wasserstoffbrücken dann zustande kommen, wenn permanente Dipole vorliegen, ist es bei den Van-der-Waals-Kräften anders. Benannt wurde diese zwischenmolekularen Kräfte nach dem niederländischen Physiker Johannes Diderik van der Waals, der sie im Jahre 1869 entdeckte (Latscha et al., 2011, S. 116). Sie basieren auf spontanen Dipolen, die sich durch ein Ungleichgewicht der Elektronenverteilung in einem Molekül ergeben. Sie basieren also ebenfalls auf elektrostatischen Anziehungskräften. In diesem Fall ist die Reichweite dieser Anziehungskräfte allerdings sehr gering und wirkt quasi nur auf den nächsten Nachbarn. Der Grund dafür ist, dass die Anziehungskraft  $F$  umgekehrt proportional zur sechsten Potenz des Abstandes  $r$  der Moleküle ist ( $F \sim r^{-6}$ ) abnimmt (Riedel & Janiak, 2015, S. 167; Wollrab, 2014, S. 59). Die Van-der-Waals-Kräfte lassen sich in drei Komponenten unterteilen (Riedel & Janiak, 2015, S. 168):

- *Richteffekt*: Wechselwirkung zwischen permanentem Dipol und permanentem Dipol  
Über die permanenten Dipole zwischen den Molekülen werden diese ausgerichtet und dadurch ein energieärmerer Zustand erreicht. Dieser Effekt ist temperaturabhängig, da die Wärmebewegung der Teilchen der Ausrichtung der Moleküle entgegenwirkt.
- *Induktionseffekt*: Wechselwirkung zwischen permanentem Dipol und induziertem Dipol  
Ein Molekül mit permanentem Dipol induziert in einem benachbarten Molekül ein Ladungsungleichgewicht. Über das so entstehende Dipolmoment kommt es zu einer Anziehung. Auch dieser Effekt ist temperaturabhängig.
- *Dispersionseffekt*: Wechselwirkung zwischen fluktuierendem Dipol und induziertem Dipol  
Durch Schwankungen können in Molekülen Ladungsungleichgewichte in der Elektronenhülle entstehen. Ein so entstandener spontaner Dipol wirkt sich wiederum auf benachbarte Moleküle aus, in denen so wiederum ein Dipol induziert wird. Auch auf diesem Weg entstehen Anziehungskräfte. Mit steigender Molekülgröße lassen sich Elektronen leichter innerhalb der Elektronenwolke verschieben, wodurch die Van-der-Waals-Kräfte zunehmen.

Vor allem letzterer Effekt, der auch als London-Kraft bezeichnet wird (Wollrab, 2014, S. 59), kommt bei unpolaren Lösungsmitteln wie beispielsweise Alkanen zum Tragen. Die Kohlenstoff-Kohlenstoff- sowie die Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen sind kaum polarisiert und die Elektronenwolke wird mit steigender Kettenlänge der Alkane immer größer. Daraus resultiert auch, dass Alkane mit steigender Kohlenstoff-Atom-Anzahl bei gleicher Temperatur unterschiedliche Aggregatzustände annehmen. Bei Raumtemperatur sind die Alkane Methan ( $\text{CH}_4$ ) bis *n*-Butan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) gasförmig, *n*-Pentan ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) bis *n*-Hexadecan ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) flüssig und noch längerkettige Alkane fest (Wollrab, 2014, S. 59).

### 2.2.1.2 Eigenschaften von Lösemitteln

Bei der Frage, ob ein Stoff in einem Lösungsmittel löslich ist, wird als Antwort häufig der schon in der Alchemie bekannte Lehrsatz „Similia similibus solvuntur“ (lat. für: Ähnliches löst sich in Ähnlichem) genannt (Latscha et al., 2011, S. 178). Ähneln sich also Lösemittel und der zu lösende Stoff in ihrer Polarität, zeigt sich eine vergleichsweise gute Löslichkeit.

Wasser ist eins der bekanntesten Lösungsmittel und aufgrund des Dipolmoments in den Wasser-Molekülen ein Vertreter der polaren Lösungsmittel. Polare Stoffe wie Salze, die aufgrund ihres ionischen Aufbaus polar sind, lassen sich in polaren Lösungsmitteln lösen. Auch Stoffe, die nicht ionisch vorliegen aber dennoch polare Eigenschaften haben oder Gruppen besitzen, die (stark) polare Atombindungen besitzen sind tendenziell in Wasser löslich. Dies beruht häufig auf der Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Molekülen des zu lösenden Stoffes und den Wasser-Molekülen. Ein gutes Beispiel für diesen Fall ist Glucose oder Zucker im Allgemeinen. Saccharide verfügen über Hydroxidgruppen und damit über die Fähigkeit, Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden. Dies führt dazu, dass sich in 1 L Wasser ungefähr 2 kg Saccharose (bei 20 °C) lösen lassen (Schwedt, 2015, S. 108). Solche polare zu lösende Stoffe werden als hydrophil (von altgriech. ὕδωρ *hýdor* „Wasser“ sowie φίλος *philos* „liebend“) bezeichnet. Sie lösen sich gut in Wasser und wenig bis gar nicht gut in unpolaren Lösungsmitteln.

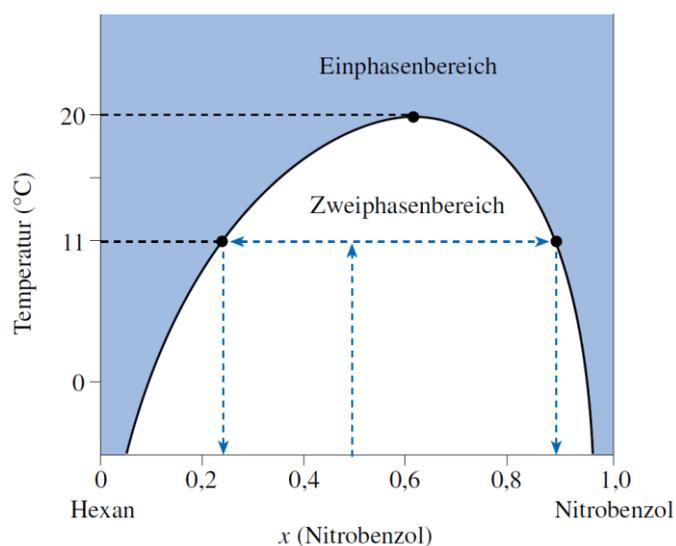
In unpolaren Lösungsmitteln wie Alkanen, lassen sich Salze nicht lösen, da der Zusammenhalt innerhalb des jeweiligen Kristallgitters viel stärker ist, als die zwischenmolekularen Kräfte zwischen Alkanen und den Ionen (Wollrab, 2014, S. 62). Im Gegensatz dazu lassen sich lipophile Stoffe (von altgriech. „Fett liebend“, aus λίπος *lípos* „Fett“ und φίλος *philos* „liebend“) eher in unpolaren Lösungsmitteln lösen. Zur Gruppe der lipophilen Stoffe gehören beispielsweise Kohlenwasserstoffverbindungen, langkettige Alkohole und langkettige Carbonsäuren.

Stoffe, die sowohl lipophile als auch hydrophile Gruppen besitzen, lassen sich prinzipiell in polaren und unpolaren Lösungsmitteln lösen, der gesamte Molekülaufbau und der Anteil der hydrophilen/lipophilen Gruppen spielen jedoch eine große Rolle. Alkohole haben mit der Hydroxidgruppen einen hydrophilen Anteil im Molekül. Der Alkanrest hingegen besitzt einen lipophilen Charakter. Mit zunehmender Größe des hydrophoben Alkanrests nimmt die Löslichkeit in einem polaren Lösungsmittel wie Wasser ab (Wollrab, 2014, S. 376).

### 2.2.1.3 Druck und Temperatur

Im Fall von Flüssigkeiten und Feststoffen, die in einem flüssigen Lösungsmittel gelöst werden, hat die Temperatur einen Einfluss auf die Löslichkeit. Allgemein kann dies damit begründet werden, dass mit steigender Temperatur die zwischenmolekularen Kräfte abnehmen, da sich mit steigender Molekülbewegung die gerichtete Orientierung der Moleküle untereinander verringert (Latscha et al., 2011, S. 114).

Die Löslichkeit hängt stark mit den intermolekularen Anziehungskräften zusammen. Ist der Zusammenhalt des Lösungsmittels oder des zu lösenden Stoffes zu groß, tritt keine Lösung der Stoffe ineinander auf. Dies kann am Beispiel der Lösung der zwei Flüssigkeiten *n*-Hexan (unpolar) und Nitrobenzol (polar) verdeutlicht werden. Oberhalb von 20 °C sind die Anziehungskräfte so weit abgeschwächt, dass beide Stoffe unbegrenzt ineinander löslich sind. Unter diesem Punkt (Entmischungstemperatur) liegt kein einphasiges Gemisch mehr vor (Abbildung 4). Betrachtet man das Beispiel gleicher Stoffmengenanteile von *n*-Hexan und Nitrobenzol bei einer Temperatur von 11 °C, kann folgendes aus der Abbildung entnommen werden: Es bilden sich zwei nicht miteinander mischbare Phasen aus. In der Phase mit höherer Dichte ist Nitrobenzol das Lösungsmittel und *n*-Hexan der gelöste Stoff ( $x(\text{Hexan}) \approx 0,1$ ;  $x(\text{Nitrobenzol}) \approx 0,9$ ) und in der anderen Phase ist es umgekehrt. Hier ist mit einem Anteil von  $x(\text{Nitrobenzol}) = 0,22$  und  $x(\text{Hexan}) = 0,78$  das *n*-Hexan das Lösungsmittel in dem das Nitrobenzol gelöst ist (Binnewies et al., 2016, S. 201).



**Abbildung 4: Temperaturabhängigkeit der Mischbarkeit zweier Flüssigkeiten (Binnewies et al., 2016, S. 201)**

Qualitativ lässt sich der Einfluss der Temperatur auf die Löslichkeit über das Prinzip des kleinsten Zwanges (Prinzip von Le Chatelier) erklären. Ist der Lösevorgang eines Stoffes ein endothermer Vorgang und die Temperatur der Lösung niedriger als vor der Zugabe des zu lösenden Stoffes, steigt die Löslichkeit mit steigender Temperatur. Entsprechend sinkt die Löslichkeit bei niedrigeren Temperaturen (Mortimer & Müller, 2014, S. 216). Eine genauere Betrachtung der energetischen Situation während des Löseprozesses wird in Abschnitt 2.2.2 durchgeführt. Analog verläuft der Fall, dass beim Lösen eines Stoffes Wärme abgegeben wird. Dann ist die Löslichkeit bei höheren Temperaturen geringer und steigt bei tieferen Temperaturen. Für die meisten Feststoffe gilt, dass sich die Löslichkeit bei steigender Temperatur erhöht (Mortimer & Müller, 2014, S. 216). Beim Lösen von Gasen handelt es sich in der Regel um exotherme Prozesse, sodass deren Löslichkeit mit steigender Temperatur abnimmt (Kurzweil, 2015, S. 8; Mortimer & Müller, 2014, S. 216).

Da Flüssigkeiten und Feststoffe in der Regel nicht komprimierbar sind, spielt der Druck bei der Löslichkeit keine Rolle. Bei Gasen ist dies anders. Allgemein gilt, dass die Löslichkeit von Gasen bei zunehmendem Druck steigt (Kurzweil, 2015, S. 8).

### 2.2.2 Energetische Betrachtung des Löseprozesses

Im Wesentlichen lässt sich der Löseprozess aus energetischer Sicht in zwei relevante Schritte unterteilen. Zum einen muss die Energie aufgebracht werden, welche die Teilchen in ihrem Kristall zusammen hält (Gitterenthalpie), um das Kristallgitter aufzubrechen; zum anderen wird bei der Solvation der Teilchen ein gewisser Energiebetrag (Solvationsenergie) frei. Die Differenz dieser Energien wird als Lösungsenthalpie bezeichnet. Es gilt also (Kurzweil, 2015, S. 75):

$$\text{Lösungsenthalpie} = \text{Solvationsenthalpie} - \text{Gitterenthalpie} \quad (3)$$

In dem Fall, dass die Solvationsenthalpie größer ist, als die Gitterenthalpie, ist der Lösevorgang exotherm. Die Solvation (im Fall Wasser wird dies auch Hydratation und die Solvationsenthalpie auch als Hydratationsenthalpie bezeichnet (Kurzweil, 2015, S. 75)) der frei werdenden Ionen setzt also mehr Energie frei als für das Aufbrechen des Gitters erforderlich ist. Im Gegenteiligen Fall ist die Solvationsenthalpie kleiner als die aufzubringende Gitterenthalpie und der Prozess ist endotherm (Latscha & Klein, 2007, S. 173). Die Lösungsenthalpie besitzt dann einen positiven Zahlenwert. Wie im vorherigen Abschnitt bereits beschrieben wurde, handelt es sich bei den Löseprozessen der meisten Stoffe um endotherme Prozesse. Das heißt,

sie lösen sich und die entstehende Lösung hat sich im Vergleich zum reinen Lösungsmittel abgekühlt. Endotherme Prozesse laufen in der Regel nicht freiwillig ab, daher muss hierbei auch die Entropie eine Rolle spielen. Die freie Reaktionsenthalpie setzt sich über die Gibbs-Helmholtz-Gleichung aus einem Enthalpie- und einem Entropie-Term zusammen.

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (4)$$

- $\Delta G$ : Freie Reaktionsenthalpie in kJ
- $\Delta H$ : Enthalpie (hier Lösungsenthalpie) in kJ
- T: Freie Reaktionsenthalpie in K
- $\Delta S$ : Freie Reaktionsenthalpie in  $\text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}$

Ein ausreichend großer Entropieterm kann also dafür sorgen, dass selbst eine endotherme Reaktion (wenn also gilt  $\Delta H > 0$  kJ), dennoch freiwillig abläuft. Der Löseprozess ist dann zwar endotherm, aber dennoch exergonisch ( $\Delta G < 0$  kJ).

Im Allgemeinen nimmt beim Lösevorgang die Entropie des Systems zu, da der vergleichsweise stark geordnete Kristall sich während des Prozesses zu einem System mit weit verteilten Ionen verändert. Es kann allerdings auch zu einer Entropieabnahme kommen, da durch das Anlagern der Wasser-Moleküle um die Teilchen des zu lösenden Stoffes ein insgesamt höherer Ordnungszustand erreicht werden kann (Latscha et al., 2011, S. 179).

### 2.2.3 Quantitative Löslichkeit

Bisher wurde beschrieben, ob sich Stoffe in anderen lösen und welche Faktoren die Löslichkeit beeinflussen. In diesem Abschnitt soll es nun darum gehen, wie viel einer Stoffportion sich in einem gegebenen Lösungsmittel lösen lässt. Eine grobe Einteilung wurde bereits in Kapitel 2.2.1 gegeben. Die dort angesprochenen Werte bezogen sich immer auf eine gesättigte Lösung. Eine gesättigte Lösung ist dabei eine Lösung, die keinen weiteren Stoff der bereits gelösten Substanz mehr aufnehmen kann beziehungsweise bei dessen Zugabe sich ein Bodensatz bildet, der nicht in Lösung geht. Es gibt zwar auch Kombinationen von Stoffen die sich in beliebigem Mischungsverhältnis ineinander lösen lassen, aber hier soll es nun um die Löslichkeit von Stoffen gehen, die begrenzt ist.

In der Literatur lassen sich tabellierte Werte finden, wie viel eines Stoffes sich in dem angegebenen Lösungsmittel lösen lässt. Die Löslichkeit ist dabei oft in Größen wie  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (molare Löslichkeit), g/100 g Lösungsmittel oder mol/kg Lösung (Massenkonzentration), wobei die Stoffmenge/Masse des zu lösenden Stoffes und das Volumen beziehungsweise die Masse des Lösungsmittels angegeben wird (Kurzweil, 2015, S. 171). So kann beispielsweise

die Löslichkeit von Silbernitrat bei 20 °C mit 4,02 mol/kg Lösung oder auch 215,3 g/100 g Wasser angegeben werden (Latscha et al., 2011, S. 180).

Im Fall von Salzlösungen wird die Löslichkeit häufig in Form des Löslichkeitsprodukts des gelösten Salzes angegeben. Dabei wird berücksichtigt, dass auch bei sehr schlecht löslichen Salzen ein sehr kleiner Anteil des zu lösenden Stoffes in Lösung geht. Im Falle eines allgemeinen Salzes  $A_aB_b$  soll dies kurz beschrieben werden. Bei einer gesättigten Lösung steht der Bodensatz des Salzes im Gleichgewicht mit den gelösten Ionen in der Lösung.



Aus dem Massenwirkungsgesetz ergibt sich dabei die Gleichung (6).

$$K = \frac{c(A^{b\oplus})^a \cdot c(B^{a\ominus})^b}{c(A_aB_b)} \quad (6)$$

K: Gleichgewichtskonstante

In realen Lösungen muss dabei mit der Aktivität  $a$  anstelle der Konzentration  $c$  gerechnet werden, da vor allem bei Konzentrationen über einem Wert von  $c = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  die Ionen in Wechselwirkungen zueinander treten. Die effektive Konzentration (also die Aktivität) liegt daher unter der tatsächlichen Konzentration (Kurzweil, 2015, S. 173). Der Einfachheit halber werden hier ideale Lösungen betrachtet, sodass die Rechnungen über die Konzentrationen  $c$  geführt und für den Aktivitätskoeffizient  $\gamma$  der Wert 1 angenommen werden kann.

$$a = c \cdot \gamma \quad (7)$$

$a$ : Aktivität in  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\gamma$ : Aktivitätskoeffizient mit  $\gamma \in [0; 1]$

Unter Berücksichtigung der Konzentration von  $c(A_aB_b)=1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  für feste Reinstoffe ergibt sich daraus das Löslichkeitsprodukt  $K_L$  für das Salz  $A_aB_b$  (Kurzweil, 2015, S. 172).

$$K_L = c(A^{b\oplus})^a \cdot c(B^{a\ominus})^b \quad (8)$$

$K_L$ : Löslichkeitsprodukt in  $\text{mol}^n \cdot \text{L}^{-n}$ , mit  $n = a+b$

Als letzte nennenswerte Alternative zur Angabe der Löslichkeit soll noch kurz auf den  $pK_L$ -Wert eingegangen werden. Analog zum pH- und  $pK_S$ -Wert handelt es sich hierbei um den negativen dekadischen Logarithmus des Betrages des Löslichkeitsprodukts (Kurzweil, 2015, S. 172).

$$pK_L = -\log_{10} \left( \frac{K_L}{1 \cdot \text{mol}^n \cdot \text{L}^{-n}} \right) \quad (9)$$

$pK_L$  Löslichkeitsprodukt

Gemessen am Löslichkeitsprodukt kann bestimmt werden, ob eine Lösung bereits gesättigt ist oder nicht (Kurzweil, 2015, S. 173; Mortimer & Müller, 2014, S. 320):

- Falls gilt:  $c(A^{b\oplus})^a \cdot c(B^{a\ominus})^b < K_L$ , handelt es sich um eine ungesättigte Lösung. Es ist möglich weiteren zu lösenden Stoff im Lösungsmittel zu lösen.
- Falls gilt:  $c(A^{b\oplus})^a \cdot c(B^{a\ominus})^b = K_L$ , handelt es sich um eine gesättigte Lösung. An diesem Punkt kann kein weiterer Stoff des zu lösenden Salzes mehr gelöst werden.
- Falls gilt:  $c(A^{b\oplus})^a \cdot c(B^{a\ominus})^b > K_L$ , beginnt ein Niederschlag auszufallen. Die Lösung wird auch übersättigt genannt. Es herrscht kein Gleichgewicht mehr und es kommt zu Ausfällen von  $A_aB_b$  bis der  $K_L$ -Wert wieder erreicht ist.

### 2.3 Der Lösevorgang auf einer Zeitachse

Der Lösevorgang ist an sich unabhängig von den Aggregatzuständen des Lösemittels und des zu lösenden Stoffes und verläuft daher immer ähnlich. Für diese Arbeit wird der Fokus allerdings auf flüssige Lösungen gelegt. Dies liegt darin begründet, dass im Schulalltag hauptsächlich mit flüssigen Lösungen gearbeitet und gerechnet wird und Lösungen mit anderen Aggregatzuständen nur am Rande thematisiert werden.<sup>3</sup> Da sich die Vorstellungen, die im Rahmen dieser Arbeit erhoben werden sollen, mit flüssigen Lösungen, in denen ein fester Stoff gelöst wird, beschäftigen, wird der Löseprozess hier auch anhand dieser Gruppe von Lösungen dargestellt.

Allgemein sind für den Löseprozess zwei Faktoren relevant (Christen, 1980, S. 300):  
Zum einen treten Wechselwirkungen zwischen den zu lösenden Teilchen (Atome, Moleküle,

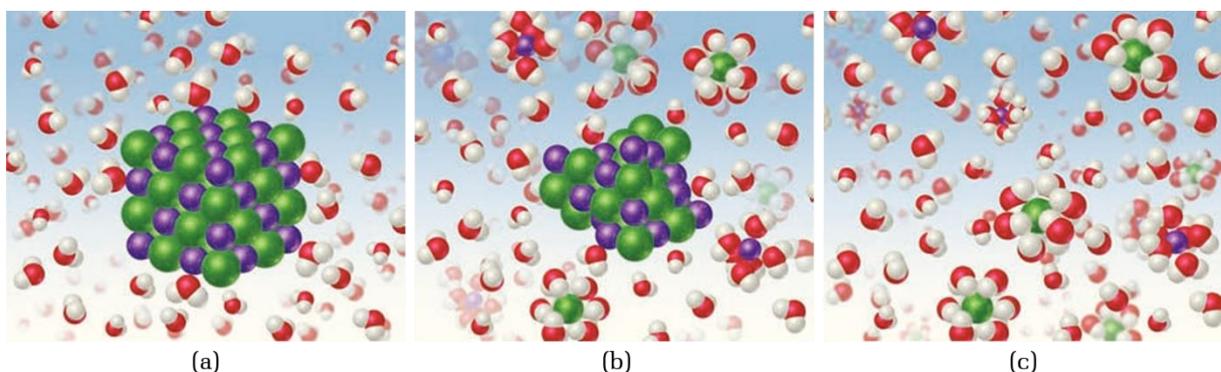
---

<sup>3</sup> Laut den curricularen Vorgaben für das Fach Chemie im Land Niedersachsen müssen Schüler die Zusammensetzung der Luft kennen lernen, wobei sie da Luft als Gasgemisch und nicht als Lösung von Sauerstoff und anderen Gasen in Stickstoff betrachten (Achtermann, Hildebrandt, Rebentisch & Witte-Ebel, 2015, S. 52 f., 109). Als feste Lösung könnten Legierungen thematisiert werden, wenn die Stoffeigenschaften von Metallen behandelt werden (Achtermann, Hildebrandt, Rebentisch & Witte-Ebel, 2015, S. 53).

Ionen) und den Lösungsmittel-Molekülen auf (Solvatation). Zum anderen ist die aufgrund thermischer Bewegung auftretende Verteilung der Teilchen im Lösungsmittel wichtig (Dispersion).

Mit dem Wissen um die Grenzen der Löslichkeit und den Faktoren, die die Löslichkeit beeinflussen bleibt nun noch der Vorgang an sich. Wann passiert in der Lösung was? In welcher Reihenfolge geschehen diese Prozesse? Anhand des Lösens von Natriumchlorid in Wasser soll nun der Löseprozess dargestellt werden (Brown, LeMay & Bursten, 2011, S. 506 f.; Latscha & Klein, 2007, S. 172; McMurry & Fay, 2014, S. 401 ff.).

Natriumchlorid ist als Ionengitter aufgebaut, indem jedes Chlorid-Ion oktaedrisch von sechs Natrium-Ionen und jedes Natrium-Ion ebenfalls oktaedrisch von sechs Chlorid-Ionen umgeben ist (Abbildung 5 (a)). Im Inneren des Kristalls werden die Ionen demnach gleichmäßig aus allen Richtungen angezogen. Am Rand des Kristallgitters ist diese Anziehungskraft unausgeglichen (Mortimer & Müller, 2014, S. 214), da die Ionen am Rand des Kristalls mit den Wasser-Molekülen interagieren. Hier wirken Ionen-Dipol-Kräfte und die Wasser-Moleküle richten sich an den Ionen aus. Der partiell positive Teil der Wasser-Moleküle lagert sich dabei an die negativ geladenen Chlorid-Ionen an, während sich das partiell negativ geladene Sauerstoff-Ende des Wasser-Moleküls an die positiv geladenen Natrium-Ionen anlagert. Wäre Glucose der zu lösende Stoff, geschähe die Anlagerung über die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Hydroxid-Gruppen der Glucose-Moleküle und den Wasser-Molekülen. Die Ionen-Dipol-Wechselwirkungen zwischen Wasser-Molekülen und den Ionen des Natriumchlorid-Kristalls wirken den Coulomb-Kräften im inneren des Kristalls entgegen und ziehen so nach und nach die Ionen aus dem Kristallgitter heraus (Kurzweil, 2015, S. 171). Der Löseprozess findet demnach auch immer von außen nach innen statt. Rühren beschleunigt den Prozess, da schneller Wasser-Moleküle an den Kristall heran und solvatisierte Ionen wieder davon weggespült werden (Atkins & Jones, 2006, S. 343).



**Abbildung 5: Darstellung des Löseprozesses eines Ionenkristalls (Brown et al., 2011, S. 506); (a) ein Ionenkristall in Wasser; (b) teilweise wurden aus der äußeren Schicht des Kristalls bereits Ionen herausgelöst; (c) vollständig gelöste Ionen umgeben von Wasser-Molekülen**

Sobald die Ionen aus dem Kristall herausgelöst wurden, werden sie vollständig von Wassermolekülen umschlossen und es bildet sich eine sogenannte Hydrathülle (dargestellt in Abbildung 5 (b,c)). Dieses Umschließen des zu lösenden Stoffes mit Lösungsmittel-Molekülen wird auch Solvatation genannt. Im Fall von Wasser als Lösungsmittel wird dieser Prozess Hydratation genannt (Brown et al., 2011, S. 506; Kurzweil, 2015, S. 171). In Reaktionsgleichungen bekommen hydratisierte Teilchen im Index den Zusatz „(aq)“ für „aquotisiert“, also von einer Wasserhülle umgeben (Kurzweil, 2015, S. 75). Die so hydratisierten Natrium- und Chlorid-Ionen driften dann vom Kristall weg und verteilen sich gleichmäßig (Abbildung 5(c)). Über Wasserstoffbrückenbindungen werden an die Wasser-Moleküle, die die Hydrathülle ausgebildet haben weitere Wasser-Moleküle gebunden. Letztere sind aber nicht mehr so fest an das gelöste Ion gebunden wie die ersten Wasser-Moleküle. Die Anziehungskräfte zwischen den Ionen und den Wasser-Molekülen sind umso stärker, je höher die Ladungsdichte des Ions ist (Mortimer & Müller, 2014, S. 214).

Zucker (auch als Saccharide bekannt) sind einfache Vertreter der Kohlenhydrate. Sie haben die allgemeine Summenformel  $C_n(H_2O)_n$ . Zucker werden entsprechend der Anzahl ihrer Monosaccharid-Einheiten eingeteilt. Besteht ein Zucker nur aus einer Monomereinheit, so wird er Monosaccharid genannt. Bei dem wahrscheinlich bekannteste Vertreter der Stoffklasse der Zucker, der auch im alltäglichen Sprachgebrauch als „Zucker“ bekannt ist, handelt es sich um Saccharose, einem Disaccharid (bestehend aus zwei Monomereinheiten). Zucker aus noch mehr Monomereinheiten werden Trisaccharide (drei Monomereinheiten), Oligosaccharide (bis zu 8 Monomereinheiten) oder Polysaccharide genannt

(Mortimer & Müller, 2014, S. 560; Vollhardt & Schore, 2000, S. 1257 f.). Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, enthalten Zucker-Moleküle, hier am Beispiel von Glucose und Fructose dargestellt, viele Hydroxidgruppen (Alkoholgruppen) und damit auch viele Möglichkeiten Wasserstoffbrücken auszubilden (siehe Kapitel 2.2.1.1).

Der Löseprozess von Zucker verläuft analog zum Löseprozess des Kochsalzes. Während sich

beim Lösen des Kochsalzes die Wasser-Moleküle durch Ionen-Dipol-Wechselwirkungen an die Ionen anlagern, Lagern sich die Wasser-Moleküle hier über Wasserstoffbrücken an die Hydroxidgruppen (und die Aldehyd- beziehungsweise Ketogruppen) der Zuckermoleküle an (Latscha, Kazmaier & Klein, 2013, S. 398; Wollrab, 2014, S. 376, 483). Die Glucose-Moleküle

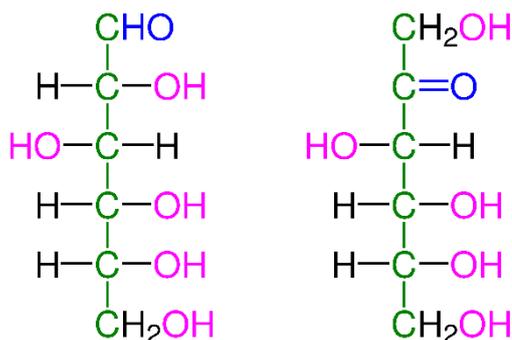


Abbildung 6: Glucose (links) und Fructose (rechts) in der Fischer-Schreibweise, verändert nach (Vollhardt & Schore, 2000, S. 1258)

werden so aus dem Kristallverband herausgezogen und anschließend, analog zu den Ionen aus dem Kochsalzkristall, hydratisiert und diffundieren dann in die Lösung (Atkins & Jones, 2006, S. 343). Während sich im Fall von Natrium- (5-6 Wasser-Moleküle) und Chlorid-Ionen (6-8) in der Literatur eine recht präzise Anzahl an Wasser-Molekülen in der Hydrathülle finden lassen (Huheey, Keiter & Keiter, 2014, S. 326), konnte für ein Glucose-Molekül keine derartige Angabe gefunden werden. Dennoch wird auch bei Zuckern wie Glucose oder auch Haushaltszucker in der Literatur beschrieben, dass diese eine Hydrathülle ausbildet und die einzelnen Moleküle hydratisiert in der Lösung verteilen (Atkins & Jones, 2006, S. 343).

## **2.4 Löslichkeit im schulischen Kontext**

Es gibt bereits viele Studien über Schülervorstellungen zur Löslichkeit, die unterschiedliche Aspekte betrachten. So werden verschiedene Unterrichtsmethoden oder aber Problematisierungen betrachtet, oft wird aber auch einfach nach den Vorstellungen von Lernenden zu einem bestimmten Phänomen gefragt, welche die Schülerinnen und Schüler dann auf unterschiedliche Art und Weise angeben, schildern oder beschreiben sollen. Um eine die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Schülervorstellungen einordnen zu können, wird hier zunächst der Stand in der Forschung dargelegt. Die bereits bekannten Schülervorstellungen sind dabei häufig über mehrere Klassenstufen hinweg erhoben worden. In einigen Studien, die hier herangezogen werden, wurden nicht nur Schülerinnen und Schüler, sondern auch Studierende oder gar Lehrkräfte und Universitäts- beziehungsweise Fachhochschullehrende befragt. Die Vorstellungen der jüngsten Teilnehmenden die hier mit einbezogen werden sollen, waren zum Zeitpunkt der Erhebung 3 Jahre alt.

Neben der Darstellung des Forschungsstandes soll in diesem Kapitel ein Überblick darüber gegeben werden, welche Konzepte die Schülerinnen und Schüler im Laufe der Sekundarstufen I und II laut niedersächsischem Kerncurriculum erlernt haben sollen. Aufgrund des Erhebungszeitraums werden nicht die zurzeit aktuellen Kerncurricula für die Sekundarstufe I und II verwendet, sondern die für die befragten Klassen zum Erhebungspunkt gültigen Fassungen von 2007 (Sekundarstufe I) und 2009 (Sekundarstufe II).

### **2.4.1 Kompetenzen gemäß des Kerncurriculums**

Zu Beginn des Kerncurriculums für die Naturwissenschaften wird der Bildungsbeitrag der Naturwissenschaften beschrieben. Demnach „ermöglicht [eine] [n]aturwissenschaftliche Grundbildung [...] dem Individuum eine aktive Teilhabe an Meinungsbildung und gesellschaftlicher Kommunikation über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung und ist

deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung.“ (Niedersächsisches Kultusministerium, 2007, S. 7)

Zusammengefasst muss der Unterricht in den Naturwissenschaften und damit auch im Fach Chemie alle Fähigkeiten vermitteln, die als Scientific Literacy beschrieben werden (Organisation for Economic-Cooperation and Development [OECD], 1999, S. 60).

*„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.“*

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2007, S. 7)

Dies beinhaltet gemäß des Kerncurriculums für das Land Niedersachsen, dass die Jugendlichen im Rahmen des Unterrichts dazu befähigt werden, Phänomene erfahren und verstehen zu können, sich in Sprache und Geschichte der jeweiligen Naturwissenschaft auszukennen und ebenso über Ergebnisse auszutauschen. Sie sollen analytisch arbeiten, Modelle kennen, nutzen und hinterfragen und sich mit den Methoden der Erkenntnisgewinnung auseinandersetzen können. All dies soll die Schülerinnen und Schüler dazu befähigen, die Welt rational und analytisch betrachten zu können.

All dies mag auf den ersten Blick sehr allgemein wirken und vielleicht nicht direkt auf ein vermeintlich kleines Thema wie das der Löslichkeit anwendbar sein, doch auch in diesem Themenfeld finden sich nahezu alle oben geforderten Aspekte wieder. Das Phänomen der Löslichkeit kennen alle Schülerinnen und Schüler aus ihrem Alltag. Das Lösen von Zucker in Tee oder Kaffee oder das Hinzugeben von Salz in das Wasser beim Kochen von Nudeln sind fast allen Schülerinnen und Schülern geläufige Beispiele eines Löseprozesses. Im Unterricht werden diese Prozesse thematisiert, analysiert und dann auf fachlicher Ebene gedeutet. Dies reicht je nach Klassenstufe von einer Erklärung des Phänomens auf Stoffebene bis hin zu einer Beschreibung von zwischenmolekularen Wechselwirkungen unter Einbeziehung differenzierter Atommodelle. Der Themenbereich kann auch noch um das Trennen von Stoffgemischen und das Feld der Anwendungsbereiche Natur und Technik erweitert werden. Das Thema der Löslichkeit ist ein sehr grundlegendes spiralcurricular behandeltes Thema, was den Schülerinnen und Schülern am Gymnasium von der Klasse 5 an bis hin zur Oberstufe immer wieder auf neuen oder vertieften Niveaus begegnet.

In diesem Abschnitt werden die Kompetenzen aufgeführt, welche die Schülerinnen und Schüler im Laufe der Sekundarstufe I und II erwerben sollen, wenn es um das Thema Löslichkeit geht. Aufgrund der im Rahmen dieser Arbeit befragten Schülerinnen und Schüler wird als Basis dabei das Kerncurriculum (KC) für das Land Niedersachsen für die Naturwissenschaften aus dem Jahr 2007 gewählt. Dies ist zum Erhebungszeitpunkt das für die befragten Klassenstufen gültige Kerncurriculum. Da das KC die geforderten Kompetenzen in Doppeljahrgängen formuliert, werden diese auch hier in diesen Klassenstufen vorgestellt. Für die Oberstufe wird das Kerncurriculum aus dem Jahr 2009 zugrunde gelegt, welches aufbauend auf die Kompetenzen der Sekundarstufe I, die Kompetenzen formuliert, die für das Abitur relevant sind. Für beide Sekundarstufen sind in den letzten Jahren neuere Auflagen erschienen (Achtermann, Hildebrandt, Rebentisch und Witte-Ebel (2015) für die Sekundarstufe I und Achtermann et al. (2017) für die Sekundarstufe II), die teilweise andere Kompetenzen für den Lehrplan vorsehen, diese sind für die befragten Schülerinnen und Schüler zum Erhebungszeitpunkt aber nicht die gültige Lehrplangrundlage.

#### 2.4.1.1 Doppeljahrgang 5/6

In diesem Doppeljahrgang liegt der Fokus aller Kompetenzen noch auf der Erklärung von Phänomenen. Die Schülerinnen und Schüler argumentieren auf der Stoffebene und lernen hier Stoffe und ihre Eigenschaften kennen; dazu gehört auch schon die Löslichkeit. Da bis zu diesem Zeitpunkt noch kein Teilchenmodell eingeführt wurde, bleibt es allerdings in diesem Doppeljahrgang bei einer phänomenologischen Erklärung. Im Bereich der Löslichkeit spielt in diesem Doppeljahrgang auch die Stofftrennung eine Rolle, die ebenfalls über die Eigenschaften der Stoffe und nicht über das Vorhandensein submikroskopischer Teilchen betrachtet wird (Achtermann et al., 2007, S. 51).

Die Basiskonzepte *Struktur-Eigenschaft* und *Chemische Reaktion* werden in diesem Doppeljahrgang noch gar nicht behandelt und bezüglich des Basiskonzepts *Energie* wird nur der Zusammenhang zwischen Temperatur und Aggregatzuständen hergestellt (Achtermann et al., 2007, S. 62).

#### 2.4.1.2 Doppeljahrgang 7/8

Das sehr stark einschränkende Problem der fehlenden submikroskopischen Modelle in den Jahrgängen 5/6 wird in diesem Doppeljahrgang behoben. Im Laufe der zwei Jahre sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst den submikroskopischen Aufbau von Stoffen beschreiben und zudem die Funktion von Nachweisreaktionen auf das Vorhandensein bestimmter Stoffe

zurückführen können (Achtermann et al., 2007, S. 52 f.). Dies setzt mindestens ein einfaches Teilchenmodell voraus. Später wird außerdem gefordert, dass die Schülerinnen und Schüler ein einfaches Atommodell verstehen und anwenden können. Sie unterscheiden zwischen Elementen und Verbindungen und beschreiben den Aufbau von Stoffen auf atomarer Ebene, was auch eine Unterscheidung von Reinstoffen und Stoffgemischen ermöglicht (Achtermann et al., 2007, S. 53). Der Aspekt der Löslichkeit wird hier also erneut aufgegriffen. Zusätzlich sollen Prozesse mithilfe der bekannten Modelle erklärt und auch Experimente auf einem entsprechenden Niveau ausgewertet werden (Achtermann et al., 2007, S. 52 f.).

Wie auch schon im Basiskonzept *Stoff-Teilchen*, wird im Basiskonzept *Struktur-Eigenschaft* von den Schülerinnen und Schülern verlangt, dass sie zwischen Stoff- und Teilchenebene unterscheiden und nun zum Beispiel die Aggregatzustandsänderung auf Teilchenebene erklären können (Achtermann et al., 2007, S. 57).

Mit dem einfachen Teilchenmodell und spätestens mit dem einfachen Atommodell nach Dalton ist es den Schülerinnen und Schülern möglich, chemische Reaktionen zu verstehen. Eine solche Reaktion geht dabei immer mit der Bildung neuer Teilchenverbände einher (Achtermann et al., 2007, S. 59). Dies mag Lösungen nur am Rand tangieren, da in der Schule aber häufig in wässrigen Lösungen gearbeitet wird, ist das Thema nicht unwichtig und zudem sollten die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass das Lösen eines Stoffes in einem anderen Stoff keine chemische Reaktion als solche ist, da keine Teilchenverbände aufgebrochen und neu zusammengesetzt werden.

Im Basiskonzept *Energie* lernen sie den Zusammenhang zwischen Temperatur und der Teilchenbewegung kennen; auch endotherme und exotherme Reaktionen werden behandelt (Achtermann et al., 2007, S. 62).

Die Forderung nach fachsprachlich korrekter Argumentation unter Verwendung der im jeweiligen Basiskonzept besonders relevanten Begriffe und Modelle wird in allen Basiskonzepten als Kompetenz gefordert.

#### 2.4.1.3 Doppeljahrgang 9/10

Am Ende der Klassenstufe 10 müssen die Schülerinnen und Schüler bei der Betrachtung der submikroskopischen Ebene über differenzierte Fähigkeiten verfügen. Mit einem differenzierten Atommodell (beispielsweise dem Bohrschen Atommodell) kennen die Schülerinnen und Schüler jetzt auch Elektronen, Protonen und Neutronen. Sie haben eine Vorstellung von der Elektronenhülle und sind damit auch in der Lage, Atome und Ionen voneinander zu unterscheiden.

Damit können sie die Stoffklasse der Salze erklären und zwischen Ionengitter und Atombindung beziehungsweise der Elektronenpaarbindung zu unterscheiden. Unter Verwendung des EPA-Modells soll auch die Struktur erster organischer Verbindungen erklärt werden können (Achtermann et al., 2007, S. 54 f.). Die Lernenden sollen sowohl mit Stoffmengen umgehen und rechnen können, wie auch Lewis-Formeln zeichnen können. Explizit werden auch Kenntnisse zu Halogenid-, Hydroxid- und Oxonium-Ionen gefordert. All diese Ionen liegen im Regelfall in wässrigen Lösungen vor. Die Berechnung von Stoffmengenkonzentration setzt ebenfalls ein Verständnis der Löslichkeit voraus (Achtermann et al., 2007, S. 55)

Auch im Basiskonzept *Struktur-Eigenschaft* wird noch einmal explizit die Erklärung von Eigenschaften unterschiedlicher Bindungstypen gefordert. Zudem sollen die Schülerinnen und Schüler die „Eigenschaften von anorganischen und organischen Stoffen anhand zwischenmolekularer Wechselwirkungen [erklären]“ (Achtermann et al., 2007, S. 58). Es werden ausdrücklich Kenntnisse zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (Dipol-Dipol-, Van-der-Waals-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen) als Kompetenz des Bereichs Fachwissen erwähnt (Achtermann et al., 2007, S. 58).

Im Basiskonzept *Energie* wird von den Schülerinnen und Schülern gefordert anhand von Ionisierungsenergien den Aufbau der Atomhülle beschreiben zu können (Achtermann et al., 2007, S. 63).

In diesem Doppeljahrgang wird das Thema der Löslichkeit also erneut, aber auf einem vertieften Niveau betrachte. Die beteiligten Stoffe können nun in allen Einzelheiten beschrieben werden und auch zwischenmolekulare Anziehungskräfte kennen die Schülerinnen und Schüler inzwischen. Auf diesem Niveau müssten die Lernenden die Löslichkeit annähernd so beschreiben können, wie sie in Kapitel 0 dargestellt wurde. Einzig die thermodynamische Sichtweise und die rechnerische Betrachtung über das Massenwirkungsgesetz sind zum Ende der zehnten Klasse noch nicht möglich. Dafür fehlen noch Kenntnisse zum chemischen Gleichgewicht und einige Aspekte der Energetik.

#### 2.4.1.4 Oberstufe (Qualifikationsphase)

Das übergeordnete Ziel der Oberstufe ist, wie auch schon in der Mittelstufe die Vermittlung von Kompetenzen, wie sie in der Definition der Scientific Literacy gefordert werden; so sollen im „Sekundarbereich II die im Sekundarbereich I erworbenen Kompetenzen ausgeschärft und vertieft [werden].“ (Achtermann et al., 2009, S. 7)

Unter anderem werden in der Oberstufe die zuvor erwähnten Aspekte, die ein noch umfangreicheres Verständnis für das Thema Löslichkeit ermöglichen, vermittelt. Nach Basiskonzepten aufgeteilt lassen sich folgende für die Löslichkeit relevante Kompetenzen benennen.

Im Basiskonzept *Stoff-Teilchen* wird wiederholt gefordert, dass die Schülerinnen und Schüler zwischen organischen und anorganischen Stoffen unterscheiden können sollen. Im Bereich der anorganischen Substanzen wird explizit der Unterschied zwischen Metallen, Nichtmetallen, ionischen Substanzen und Molekülsubstanzen hervorgehoben (Achtermann et al., 2009, S. 18). Verbindungen sollen hier den richtigen Stoffklassen zugeordnet und in geeigneter Schreibweise angegeben werden können. Später werden auch Kenntnisse über die Stoffklassen der Kohlenhydrate gefordert (Achtermann et al., 2009, S. 18). Letzteres ermöglicht es den Lernenden nun auch die Löslichkeit von Zucker in Wasser in allen Einzelheiten beschreiben zu können. Da diese Stoffklasse zuvor noch unbekannt war, ist dies erst ab diesem Zeitpunkt möglich.

Das Basiskonzept *Struktur-Eigenschaft* nennt in der Oberstufe erneut explizit die Löslichkeit. Über zwischenmolekulare Wechselwirkungen sollen Stoffeigenschaften erklärt werden und die Schülerinnen und Schüler sollen „ihre Kenntnisse zur Erklärung von [...] Löslichkeiten [nutzen]“ (Achtermann et al., 2009, S. 20). Im Bereich der organischen Chemie sollen die Jugendlichen die Reaktionsmöglichkeiten anhand funktioneller Gruppen begründen (Achtermann et al., 2009, S. 20). Dies ist zwar etwas weit gefasst, aber auch hier müssen die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass Verbindungen, die beispielsweise Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden können, tendenziell besser in Wasser lösbar sind als Stoffe, die dies nicht können.

Das Basiskonzept *Donator-Akzeptor* beschäftigt sich mit Reaktionen, bei denen Elektronen (Redox-Reaktionen) oder Protonen (Säure-Base-Reaktionen) übertragen werden. Im Falle von Redoxreaktionen ist das Verständnis über gelöste Ionen besonders bei galvanischen Elementen sehr relevant (Achtermann et al., 2009, S. 23). Die Ausbildung einer elektrochemischen Doppelschicht setzt dieses Wissen zwingend voraus. Letzteres wird im Basiskonzept des chemischen Gleichgewichts erneut ausdrücklich erwähnt (Achtermann et al., 2009, S. 26). Auch im Bereich der Säure-Base-Reaktionen verläuft annähernd alles über wässrige Lösungen, in denen Ionen oder andere Teilchen miteinander reagieren (Achtermann et al., 2009, S. 22). Der Fokus dieser Unterrichtsthemen mag nicht auf dem Themenbereich der Löslichkeit liegen, aber sie ist für das Verständnis dieser unerlässlich.

Ein weiterer Aspekt der Löslichkeit, der auch in den anderen Basiskonzepten eine wichtige Rolle spielt, ist der des chemischen Gleichgewichts. In dem Basiskonzept *Kinetik und chemisches Gleichgewicht* wird dieser Aspekt umfangreich behandelt. Die Schülerinnen und Schüler lernen hier den Gleichgewichtsbegriff und was ein äußerer Zwang für das Gleichgewicht bedeutet (Prinzip von Le Chatelier) kennen und formulieren schließlich das Massenwirkungsgesetz (Achtermann et al., 2009, S. 24). Damit einhergeht auch das Löslichkeitsprodukt, welches aus dem Massenwirkungsgesetz abgeleitet werden kann. Darauf aufbauend können dann auch der pH-Wert und  $pK_S$ -Wert mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet werden (Achtermann et al., 2009, S. 25). Auf erhöhtem Anforderungsniveau wird von den Lernenden auch verlangt, dass sie die Gleichgewichtskonstante berechnen sowie über das Massenwirkungsgesetz Beeinflussungen der Gleichgewichtslage beschreiben können (Achtermann et al., 2009, S. 24).

Zu guter Letzt werden im Basiskonzept *Energie* auch noch die energetischen Abläufe des Löseprozesses in Form von Kompetenzen behandelt. Die Größe der Enthalpie wird mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet und über die Reaktionsenthalpie werden auch noch einmal die Begriffe endotherme und exotherme Reaktionen erklärt. Auf erhöhtem Anforderungsniveau müssen die Lernenden auch das „Wechselspiel zwischen Enthalpie und Entropie als Kriterium für den freiwilligen Ablauf chemischer Prozesse“ (Achtermann et al., 2009, S. 28) erläutern können.

Alles in allem wird also das Wissen der Schülerinnen und Schüler im Themenbereich der Löslichkeit aufbauend auf ihrem Wissen aus der Mittelstufe verfeinert und an vielen Stellen vertieft. Hinzu kommen in allen Basiskonzepten Themen, in denen die Schülerinnen und Schüler das Konzept der Löslichkeit verstanden haben müssen um die jeweiligen Themen vernünftig verstehen zu können. Damit hat die Löslichkeit eine zentrale Bedeutung im gesamten schulischen Curriculum. Es stellt sich damit die Frage, wie gut die Schülerinnen und Schüler dieses Konzept verstehen.

#### **2.4.2 Forschungsstand zu Schülervorstellungen**

Nach dieser Darstellung dessen, was als „Soll“ bezeichnet werden kann, soll im folgenden Abschnitt auf das „Ist“ eingegangen werden. Die ersten Konzepte zu verschiedensten Themen des Chemieunterrichts entwickeln die Schülerinnen und Schüler noch vor dem Unterricht, in dem diese behandelt werden. Dabei wird kein spezifisches Vorwissen verwendet, sondern die Kon-

zepte werden aufgrund von Beobachtungen im Alltag und den daraus resultierenden Schlussfolgerungen erstellt. Solche Konzepte werden auch als *alternativ* beziehungsweise *ursprünglich* oder auch als *Präkonzepte* bezeichnet. Diese Konzepte sind hauptsächlich im Anfangsunterricht anzutreffen (Barke, 2006, S. 21). Diese Präkonzepte lassen sich auch nicht zwingend durch einfachen Fachunterricht überwinden. Neue Inhalte, die unterrichtet, dabei aber nicht mit bestehenden (und anteilig fachlich nicht tragfähigen) Präkonzepten verbunden werden, führen dazu, dass beide Vorstellungen und damit auch die Präkonzepte erhalten bleiben (Barke, 2006, S. 24).

Aufbauend auf weiteren erlernten Inhalten im Rahmen des Unterrichts kann es auch hier zur Bildung von Fehlvorstellungen kommen. Diese nennt Barke „hausgemachte Fehlvorstellungen“ (Barke, 2006, S. 25). Sie basieren auf dem Unterricht an sich und der Tatsache, dass sich manche Themen aufgrund ihrer Komplexität nicht allgemein verständlich vermitteln lassen. Das Resultat sind dann diffuse Vorstellungen, die nicht dem entsprechen, was als wissenschaftlich gültig angesehen werden kann und sollte (Barke, 2006, S. 25).

Zusammenfassend dürfen Schülerinnen und Schüler also nicht als „unbeschriebene Blätter“ betrachtet werden, welche die Lehrkraft mit Wissen füllt (Barke et al., 2015, S. 21). Es ist eine Aufgabe der Lehrkraft, die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu einem Thema zu ermitteln, Widersprüche aufzuzeigen und über geeignetes Adressieren hin zu fachlich tragfähigen Konzepten zu führen (Conceptual Change). Über diese Widersprüche wird den Schülerinnen und Schülern klar gemacht, dass sie mit ihren bisherigen Erklärungsansätzen nicht weiterkommen und ihre Denkmuster daher anpassen müssen (Barke et al., 2015, S. 21).

Auch schon vor 50 Jahren hat Ausubel dies erkannt und in seinem Werk *Educational psychology – A cognitive view* eine entsprechend prägnante Zusammenfassung niedergeschrieben:

*If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.*

(Ausubel, 1968, S. vi)

(Vor-)Kenntnisse sind demnach ein wichtiger Faktor, den es bei der Unterrichtsplanung zu beachten gilt. Aufgrund der hohen Relevanz des Themas Löslichkeit wurden daher schon diverse Studien zu Schülervorstellungen durchgeführt. Diese untersuchten nicht nur spezifisch den Löseprozess, sondern es wurde unter anderem Studien zu Vorstellungen in Abhängigkeit des Alters und in Abhängigkeit eines bestimmten Inputs durchgeführt. Im Folgenden wird eine

Auswahl an Studien und deren Ergebnisse vorgestellt, auf Grundlage derer dann eine Zusammenstellung bekannter Schülervorstellungen erstellt wird. Anhand dieser Zusammenstellung werden die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Erkenntnisse eingeordnet.

#### 2.4.2.1 Übersicht der recherchierten Studien

Für diese Arbeit wurden unterschiedliche Studien als Grundlage der Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern herangezogen. Die Schwerpunkte und Forschungsansätze und -methoden sowie die Zielgruppe waren dabei nicht einheitlich. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Studien, deren spezifische Themengebiet und deren jeweils genutzte Forschungsmethode.

**Tabelle 1: Übersicht über recherchierte Studien zum Thema Löslichkeit**

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
Abraham, Grzybowski, Renner und Marek (1992)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	14	247	Offene Fragen (schriftlich)	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen
Abraham, Williamson und Westbrook (1994)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	15 17-18 19	100 100 100	Offene Fragen (schriftlich), Zeichnungen	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen
Au, Sidle und Rollins (1993)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	3 4 5 6 7	14 47 25 25 12	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Auszählung korrekter Antworten
Blanco und Prieto (1997)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	12-13 14-15 16-17 17-18	112 127 105 114	Geschlossene Fragen (schriftlich, mit Begründung)	Kategorisierung von Vorstellungen
Butts und Smith (1987)	Lösevorgang, Aufbau der Materie, Leitfähigkeit	Beschreibung von Konzepten	~17	26	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten), Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen
Çalik und Ayas (2005a)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	14 20-22	50 50	Offene Fragen (schriftlich), Zeichnungen,	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
					Gruppendiskussion	
Çalik und Ayas (2005b)	Eigenschaften von Lösungen	Vergleichsstudie	13 14 15 16	105 102 103 131	Offene Fragen (schriftlich)	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen
Çalik (2005)	Eigenschaften von Lösungen	Vergleichsstudie	13 14 15 16	105 102 103 131	Offene Fragen (schriftlich)	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen
Çalik, Ayas und Coll (2007)	Lösevorgang	Evaluation einer Lerneinheit	20-22	21	Geschlossene Fragen (schriftlich)	Auszählung korrekter Antworten
Çalik, Ayas und Ebenezer (2005)	Übersichtsartikel					
Ebenezer und Erickson (1996)	Lösevorgang	Beschreibung von Konzepten	17	13	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten), Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen
Ebenezer und Fraser (2001)	Lösevorgang	Evaluation einer Lerneinheit	17	17	Offene Fragen Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen
Fensham, N. und Fensham (1987)	Lösevorgang, Einflussfaktoren zur Löslichkeit	Vergleichsstudie	15-18	30	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
Grüß-Niehaus und Schanze (2011)	Übersichtsartikel					
Johnson (1998)	Lösevorgang, Aufbau von Materie, Eigenschaften von Lösungen	Vergleichsstudie (longitudinal)	11-14	33	Offene Fragen (Interview) Zeichnungen	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen
Kelly und Jones (2007)	Lösevorgang	Evaluation einer Lerneinheit	18-34 Ø 20,7	21	Offene Fragen (schriftlich), Zeichnungen,	Vergleich von Darstellungen vor und nach einer molekularen

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
					Offene Fragen (Interview)	Visualisierung, Kategorisierung von Vorstellungen
Kelly, Barrera und Mohamed (2010)	Lösevorgang, Fällungsreaktion	Beschreibung von Konzepten	18-44	21	Zeichnungen, Offene Fragen (Interview, anhand von erstellten Zeichnungen)	Kategorisierung von Vorstellungen
Kelly (2014)	Lösevorgang, Leitfähigkeit	Evaluation einer Lerneinheit	u <sup>4</sup>	21	Click and drop Zeichnungen, Offene Fragen (Interview), Verbesserungszeichnungen nach präsentierter Visualisierung	Vergleich von Darstellungen vor und nach einer molekularen Visualisierung
Kelly (2015)	Lösevorgang, Fällungsreaktion	Evaluation einer Lerneinheit	u	379	Zeichnungen (vor und nach der Lerneinheit), Offene Fragen zur eigenen Reflexion	Kategorisierung von Vorstellungen
Kind (2004)	Übersichtspublikation					
Liu und Ebenezer (2002)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	13 18	24 16	Freitext zum Thema Löslichkeit	Kategorisierung von Vorstellungen
Longden, Black, Solomon und STIR Group (1991)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	11-12 13-14	246 196	Offene Fragen (schriftlich)	Mehrstufige Kategorisierung von Vorstellungen

<sup>4</sup> Undergraduate students

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
Marohn (2008)	Lösevorgang, Aggregatzustandsänderungen, Energieumsatz, zwischenmolekulare Kräfte	Beschreibung von Konzepten	17-19	2283	Offene Fragen (schriftlich)	Kategorisierung von Vorstellungen
Naah und Sanger (2012)	Lösevorgang, Gleichgewichtsreaktionen	Beschreibung von Konzepten	u	107 davon 37	Offene Fragen (schriftlich) Offene Fragen (Interview, anhand der erstellten Gleichungen)	Auszählung korrekter Antworten/Fehler
Nakhleh (1992)	Übersichtsartikel					
Nakhleh, Samara-pungavan und Saglam (2005)	Lösevorgang, Aggregatzustand		7-10	15	Offene Fragen (Interview, teilweise anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
Pfundt (1981)	Lösevorgang, Aggregatzustand	Beschreibung von Konzepten	13 14 15	22 17 10	Offene und geschlossene Fragen (schriftlich), Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
Piaget und Inhelder (1974)	Lösevorgang, Massenerhalt	Beschreibung von Konzepten	4-12	>100	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
Pinarbasi und Canpolat (2003)	Löslichkeit, Eigenschaften von Lösungen	Vergleichsstudie	u	107	Geschlossene Fragen (schriftlich), anschließendes Interview	
Prieto, Blanco und Rodriguez (1989)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	11-14	319	Offene Fragen (schriftlich), Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
Rosen und Rozin (1993)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	3	18	Offene und geschlossene Fragen (schriftlich), Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Auszählung korrekter Antworten
			4	13		
			5	13		
Selley (2000)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	12-14	217	Offene Fragen (schriftlich) Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen
She (2004)	Löslichkeit, Diffusion	Evaluation einer Lerneinheit	14-15	22	Offene Fragen (Interview), Zeichnungen	Kategorisierung von Vorstellungen
Slone und Bokhurst (1992)	Lösevorgang	Vergleichsstudie	4-5	60	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
			6-7	63		
			8-9	60		
			10-11	56		
			12-13	31		
Smith, K. Jo und Metz (1996)	u. a. Löslichkeit, Aggregatzustand	Vergleichsstudie	u	73	Geschlossene Fragen (schriftlich, mit Anregung zum lauten Denken),	Auszählung beachteter Kriterien
			g <sup>5</sup>	22		
			f <sup>6</sup>	11		
Stavy (1990a)	Aggregatzustand	Vergleichsstudie	9-10	20	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
			10-11	20		
			11-12	20		
			12-13	20		
			13-14	20		
			14-15	20		
Stavy (1990b)	Aggregatzustand, Lösevorgang	Vergleichsstudie	6-7	Je	Offene Fragen (Interview, anhand von Experimenten)	Kategorisierung von Vorstellungen
			7-8	20-		
			8-9	25		
			9-10			
			10-11			
			11-12			
			12-13			
			13-14			
14-15						
Steffensky, Parchmann und Schmidt (2005)	Übersichtsartikel					

<sup>5</sup> Graduate students

<sup>6</sup> Faculty member

Quelle	Themenfeld	Ausrichtung und Zielsetzung	Alter	N	Forschungsmethode	
					Instrumente	Auswertung
Tien, Teichert und Rickey (2007)	Lösevorgang	Evaluation einer Lerneinheit	18	84	Offene Fragen (schriftlich)	Auszählung korrekter Antworten Kategorisierung von Vorstellungen
Uzuntiryaki und Geban (2005)	Lösevorgang	Evaluation einer Lerneinheit	14	64	Geschlossene Fragen (schriftlich)	Auszählung korrekter Antworten

Diese Auswahl an Studien rund um das Thema Löslichkeit zeigt auf der einen Seite, dass sich das Thema der Löslichkeit nicht ganz losgelöst von anderen Themen untersuchen lässt. Immer wieder werden angrenzende Themen wie Aggregatzustände (z. B. Stavy (1990a), Pfundt (1981)), der Aufbau der Materie (Butts und Smith (1987) oder Themen die auf dem Verständnis der Löslichkeit beruhen, wie Leitfähigkeit (Kelly (2014) oder Fällungsreaktionen (Kelly et al. (2010), Kelly (2015))) untersucht. Auch die Eigenschaften von Lösungen sind immer wieder ein Untersuchungsgegenstand gewesen (Johnson (1998), Pinarbasi und Canpolat (2003)). Auf der anderen Seite zeigt diese Vielzahl an Studien aber auch, dass die möglichen Vorstellungen zu Löseprozessen, die Schülerinnen und Schüler haben können, umfangreich erforscht sind. Die Reichweite der Vorstellungen in Bezug auf das Alter der Befragten reicht dabei von ca. drei Jahren (Au et al. (1993), Rosen und Rozin (1993)) bis hin zu angehenden Lehrkräften (z. B. Smith, K. Jo und Metz (1996), Kelly et al. (2010), Çalik et al. (2007)). Erwartungsgemäß verbessert sich das Verständnis hin zu einem tragfähigen Konzept mit fortschreitendem Alter (Abraham et al. (1994)); die meisten Studien beschäftigen sich aber mit Lernenden, die sich in der Schule befinden.

### 2.4.3 Ein Kategoriensystem zu Vorstellungen zum Thema Löslichkeit

Um Schülervorstellungen erforschen und Funde bezüglich zugrundeliegender Literatordaten einordnen zu können, ist es notwendig ein Kategoriensystem zu erstellen, das einen Überblick über bestehende Vorstellungen bietet. Die Voraussetzungen zur Erstellung eines Kategoriensystems bezüglich der Schülervorstellungen zur Löslichkeit sind weder einheitlich noch in einer einzelnen Publikation zwingend vollständig, da sich die Voraussetzungen immer wieder mit der jeweiligen Stichprobe und Durchführung ändern. Mit der Kategorisierung von Çalik et al. (2005) werden bereits viele Konzepte der Schülerinnen und Schüler zusammengefasst. Grüß-

Niehaus (2010) hat in Anlehnung an diese Kategorisierung ein Schema entworfen, das im Gegensatz zu Çalik et al. die Annahme eines Verständnisses um den diskontinuierlichen Aufbau von Stoffen nicht voraussetzt. Dieses Schema sortiert Schülervorstellungen in drei Kategorien ein, die jeweils verschiedene Unterkategorien beinhalten. Bei den drei Oberkategorien handelt es sich um die Kategorien „Bedingungen für den Lösevorgang“, „Der Löseprozess“ und „Das Wesen von Lösungen“ (Grüb-Niehaus, 2010, S. 93 ff.). Im Folgenden soll ebenjenes Kategorienschema vorgestellt, anteilig um neue Aspekte ergänzt und jeweils eine kurze Erläuterung zu jeder Kategorie gegeben werden. Auf dieser Basis werden die genutzten Publikationen kategorisiert und das Kategoriensystem ergänzt, um ein möglichst vollständigen Überblick über bestehende Vorstellungen zu erhalten.

#### 2.4.3.1 Bedingungen für den Lösevorgang

Die erste Kategorie „Bedingungen für den Lösevorgang“ ist in Anlehnung an die Zusammenfassung von Çalik et al. (2005) verfasst worden. In Tabelle 2 werden die Vorstellungen beschrieben, die als Bedingungen für einen erfolgreichen Löseprozess benötigt werden (Grüb-Niehaus, 2010, S. 96 ff.):

**Tabelle 2: Erweiterte Kategorie „Bedingungen für den Löseprozess“ nach (Grüb-Niehaus, 2010, S. 96 f.), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit \* markiert**

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Dichte	Wenn sich Stoffe nicht ineinander lösen, liegt das an den unterschiedlichen Dichten von Lösemittel und zu lösendem Stoff	Abraham et al. (1992) Ebenezer und Gaskell (1995) Ebenezer und Erickson (1996) Prieto et al. (1989)
Stoffeigenschaft*	Der zu lösende Stoff muss eine bestimmte Stoffeigenschaft besitzen, um im Lösemittel gelöst werden zu können.	Ebenezer und Erickson (1996)
Rühren	Ein Stoff kann sich nur dann in einem Lösemittel lösen, wenn eine mechanische Einwirkung in Form von Rühren stattfindet. Das Rühren sorgt dafür, dass der zu lösenden Stoff zerteilt und dann im Lösemittel verteilt wird.	Ebenezer und Fraser (2001) Prieto et al. (1989) Blanco und Prieto (1997) Uzuntiryaki und Geban (2005)

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Wärme	Ein Stoff kann sich nur dann lösen, wenn eine Einwirkung von außen in Form von Erhitzen stattfindet. Wärme ist eine wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Lösevorgang.	Prieto et al. (1989) Blanco und Prieto (1997) Brook, Briggs und Driver (1984)
Stehen lassen	Die Zeit stellt einen wichtigen Faktor für einen Löseprozess dar. Lässt man eine fertige Lösung länger stehen, dann sammelt sich der zu lösenden Stoff nach einiger Zeit wieder am Boden.	Blanco und Prieto (1997)
Platz im Lösemittel	Der räumliche Aufbau eines Lösemittels stellt einen Faktor für den Löseprozess dar. Wenn ein Stoff nicht gelöst werden kann, ist im Lösemittel zu wenig Platz zwischen den Teilchen.  Andersherum muss die Teilchengröße der Teilchen des zu lösenden Stoffes gering genug sein, damit es in dem jeweiligen Lösemittel gelöst werden kann.*	Ebenezer und Gaskell (1995) Ebenezer und Erickson (1996) Ebenezer und Fraser (2001)
Oberfläche des zu lösenden Stoffes	Über die Oberfläche des zu lösenden Stoffes lässt sich dessen Löslichkeitsrate beeinflussen. Je größer die Oberfläche eines Stoffes ist, desto höher ist die Löslichkeit. Deshalb löst sich ein Stoff umso mehr, je feiner er gemahlen ist.	Çalik et al. (2007) Uzuntiryaki und Geban (2005)
Menge des Lösemittels	Über die Menge des Lösemittels lässt sich die Löslichkeitsrate beeinflussen. Je mehr Lösemittel verwendet wird, desto höher ist auch die Löslichkeitsrate.	Uzuntiryaki und Geban (2005)

### Dichte

Abraham et al. (1992) stellte fest, dass Schülerinnen und Schüler die Löslichkeit verschiedener Stoffe mit deren Dichte begründeten. Sand ließe sich schlechter lösen als Salz, da es dichter („denser“), dicker („thicker“), härter („harder“) oder rauer/gröber („rougher“) (Abraham et al., 1992, S. 115) wäre.

### Stoffeigenschaft\*

Eine etwas vage Begründung für einen erfolgreichen Lösevorgang haben Ebenezer und Erickson (1996) beschrieben. Die Schülerinnen und Schüler begründeten den Löseprozess damit, dass der zu lösende Stoff bestimmte Stoffeigenschaften haben müsse, um sich im Lösemittel zu lösen.

### Rühren

Diesem Konzept folgend bedarf ein erfolgreicher Lösevorgang einer Form mechanischer Einwirkung. Das Rühren des Systems aus Lösemittel und dem zu lösenden Stoff haben Blanco und Prieto (1997) und Prieto et al. (1989) als eine solche Einwirkung identifiziert.

### Wärme

Wie auch das Rühren ist die Zufuhr von Wärme/Hitze eine Schülervorstellung, die eine Bedingung für das Lösen von Stoffen in einem Lösemittel darstellt. Selley (2000) hat die Vorstellung gefunden, dass die Schülerinnen und Schüler im Fall warmer Lösungen, dem Lösemittel zusätzliche Teilchen („heat particles“ (Selley, 2000, S. 394)) zuschreiben, die den Löseprozess beschleunigen. Auch die Teilchenbewegung innerhalb des zu lösenden Stoffes vergrößert sich bei steigender Temperatur. Brook et al. (1984) haben im Zusammenhang mit steigender Temperatur auch Schülervorstellungen beobachten können, die besagen, dass sich die Teilchengröße mit steigender Temperatur verändert.

### Stehen lassen

Blanco und Prieto (1997) haben auch den Faktor Zeit in Bezug zum Löseprozess als bestehendes Konzept gefunden. Demnach führt Rühren zu einer besseren Löslichkeit, wie zuvor beschrieben, das Warten beziehungsweise das Stehenlassen aber dazu, dass sich ein Stoff wieder als Feststoff am Boden des Gefäßes absetzt.

Platz im Lösemittel

Die in Tabelle 2 in dieser Kategorie angegebenen Autoren haben alle in ihren Veröffentlichungen die Schülervorstellungen beschrieben, dass es für einen erfolgreichen Löseprozess wichtig ist, dass zwischen den Teilchen des Lösemittels ausreichend Platz sein muss, damit sich der zu lösende Stoff dort einsortieren kann. Ist dieser Platz vollständig belegt, kann sich kein weiterer Stoff lösen.

Oberfläche des zu lösenden Stoffes

Auch die Oberfläche des zu lösenden Stoffes stellt einem Konzept nach einen Einflussfaktor für die Löslichkeit dar (Çalik et al., 2007; Uzuntiryaki & Geban, 2005). Je größer die Oberfläche des zu lösenden Stoffes, desto höher ist die Löslichkeitsgeschwindigkeit.

Menge des Lösemittels

Uzuntiryaki und Geban (2005) haben die Vorstellung gefunden, dass sich je nach Menge an Lösemittel die Löslichkeitsgeschwindigkeit verändert.

2.4.3.2 Der Löseprozess

Ebenso wie die erste Kategorie beruht auch diese Kategorie „Der Löseprozess“ ursprünglich auf dem System nach Çalik et al. (2005). In dieser Kategorie geht es um die Vorstellungen, die sich direkt mit dem Löseprozess beschäftigen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Unterkategorien und im Anschluss findet sich eine kurze Beschreibung zu den jeweiligen Unterpunkten (erweitertes Kategoriesystem nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 99 ff.).

**Tabelle 3: Erweiterte Kategorie „Der Löseprozess“ nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 99 f.), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit \* markiert**

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Teilchen- bindung, physikali- sche Inter- aktion*	Beim Lösevorgang bilden sich Bindungen zwischen den Teilchen des zu lösenden Stoffes und denen des Lösemittels aus.	Fensham, N. und Fensham (1987)
	Die Teilchen reagieren beim Lösen nicht miteinander sondern aufeinander und vermischen oder verbinden sich ohne aber eine chemische Bindung einzugehen/auszubilden*	Longden et al. (1991)
		Tien et al. (2007)
		Prieto et al. (1989)
		Nakhleh et al. (2005)
		Liu und Ebenezer (2002)

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Reaktion	Beim Lösevorgang reagieren das Lösemittel und der zu lösende Stoff miteinander. Dabei kann sich die Reaktion sowohl auf Stoff- wie auch auf Teilchenebene beziehen. Es werden neue Verbindungen gebildet.	Abraham et al. (1992) Abraham et al. (1994) Butts und Smith (1987) Çalik et al. (2005) Ebenezer und Erickson (1996) Ebenezer und Fraser (2001) Kelly und Jones (2007) Prieto et al. (1989) Tien et al. (2007) Toplis (2008) Selley (2000) Naah und Sanger (2012)
Schmelzen	Gelangt der zu lösende Stoff in das Lösemittel, so schmilzt er. Dabei kann sich das Schmelzen auf Stoff und auf die Teilchenebene beziehen.	Abraham et al. (1992) Abraham et al. (1994) Çalik und Ayas (2005a) Çalik (2005) Driver (1985) Ebenezer und Erickson (1996) Ebenezer und Fraser (2001) Prieto et al. (1989) Selley (2000)
Verdampfen/Verschwinden des zu lösenden Stoffes*	Gelangt der zu lösende Stoff in das Lösemittel, so verdampft er und das Lösemittel bleibt zurück oder es kann auch die gesamte Lösung verdampfen. Der zu lösende Stoff verschwindet, zersetzt sich oder zerfällt beim Löseprozess (sowohl auf Stoff- wie auch auf Teilchenebene)	Abraham et al. (1992) Abraham et al. (1994) Blanco und Prieto (1997) Driver (1985) Prieto et al. (1989) Größ-Niehaus und Schanze (2011) Liu und Ebenezer (2002) Piaget und Inhelder (1974)

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Transfer	Beim Lösen werden Eigenschaften des gelösten Stoffs auf das Lösemittel übertragen.	Çalik et al. (2005) Pfundt (1981) Prieto et al. (1989)
Absorption	Das Lösemittel saugt den zu lösenden Stoff auf.	Abraham et al. (1994) Selley (2000)
Teilchenerzeugung	Die kleinsten Teilchen des zu lösenden Stoffes entstehen in willkürlicher Weise während des Lösevorgangs.	Pfundt (1981) Selley (2000)
Ionen*	Salze zerfallen beim Lösen in neutrale Atome oder Moleküle statt Ionen. Gelöste Ionen haben die gleichen Eigenschaften wie ihre neutralen Elemente. Einatomige Nichtmetall-Ionen werden miteinander verbunden, weil ihre neutralen Elemente als zweiatomige Moleküle existieren. Mehratomige Ionen zerfallen weiter in noch kleinere Komponenten, wenn sie in Wasser gelöst werden.	Butts und Smith (1987) Naah und Sanger (2012)
Raumnutzung	Während des Lösevorgangs besetzt der zu lösende Stoff die Freiräume im Lösemittel.	Ebenezer und Erickson (1996) Ebenezer und Fraser (2001)

#### Teilchenbindung

Dieser Vorstellung folgend bilden sich beim Lösen zwischen den Teilchen des zu lösenden Stoffes und den Lösemittelteilchen Bindungen aus (Longden et al., 1991; Tien et al., 2007). Auch Vorstellungen die auf den Begriffen „vermischen“ oder „verbinden“ im Sinne einer physikalischen Interaktion und nicht einer chemischen Reaktion, fallen in diese Unterkategorie.

#### Reaktion

Wie an der vergleichsweise langen Publikationsliste dieser Zeile zu erkennen ist, wurde diese Vorstellung schon sehr häufig bei Lernenden gefunden. Sowohl auf der Stoffebene wie auch auf Teilchenebene bilden sich aus dem Lösemittel und dem sich lösenden Stoff neue Verbindungen im Sinne einer chemischen Reaktion.

### Schmelzen

Wie auch die Vorstellung einer chemischen Reaktion wird in vielen Publikationen beschrieben, dass die befragten Personen den Löseprozess, also im häufigsten Fall das Lösen eines festen Stoffes in einem flüssigen Lösungsmittel, als schmelzen beschreiben (z. B. Prieto et al. (1989)).

### Verdampfen/Verschwinden des zu lösenden Stoffes

Hierbei wird das Lösen eines Stoffes in einer Flüssigkeit als Verdampfen des Feststoffes verstanden. Abraham et al. (1992) und Blanco und Prieto (1997) haben in ihren jeweiligen Publikationen die Vorstellung beschrieben, dass das Salz beim Lösen verdunstet und das Wasser zurückbleibt. Auch Vorstellungen, die auf Begriffen wie „verschwinden“ und „zerfallen“ verwenden (Grüb-Niehaus & Schanze, 2011; Prieto et al., 1989), wenn sie den zu lösenden Stoff während des Löseprozesses beschreiben, können hier eingeordnet werden.

### Transfer

In diese Unterkategorie werden Vorstellungen einsortiert, die davon ausgehen, dass beim Lösen eines Stoffes Eigenschaften des gelösten Stoffes auf das Lösemittel übergehen. Dabei kann es sich beispielsweise um Farbe (Pfundt, 1981) oder Geschmack (Schmidt, S., Rebentisch & Parchmann, 2003) handeln.

### Absorption

Diese Vorstellung beinhaltet eine Art schwammartiges Aufnehmen des sich lösenden Stoffes durch das Lösemittel (Abraham et al., 1994).

### Teilchenerzeugung

Grüb-Niehaus (2010) beschreibt in dieser Kategorie basierend auf den Ergebnissen von Pfundt (1981) und Selley (2000), dass ein zu lösender Stoff, vor dem Löseprozess als kontinuierlich angesehen wird, aber während des Prozesses kleinste Teilchen gebildet werden. Diese Teilchenerzeugung verläuft „nicht unbedingt geordnet und strukturiert [...]. Das hat zur Folge, dass jene Bildung der Teilchen willkürlich verlaufen muss und [sich] die Teilchen [...] nicht in ihrer Struktur gleichen müssen“ (Grüb-Niehaus & Schanze, 2011, S. 24).

*„Many responses which mention salt particles were non-canonical in that they gave the impression that these particles were formed in the course of, or as the result of, the dissolution.“*

(Selley, 2000, S. 398)

Nach Grüß-Niehaus und Schanze (2011) ist diese Kategorie damit eng verbunden mit der Kategorie Transfer, da die Entstehung der Teilchen mit der Übertragung der Stoffeigenschaften auf die Vertreter der Stoffes (die neu entstandenen Teilchen) einhergeht. Johnson (1998) beschreibt dies als eine häufig auftretende Vorstellung seitens der Lernenden:

*„Particles are the substance, but with macroscopic character. [...] [The] individual particles are seen as being of the same quality as the macroscopic sample – literally small bits of it.“*

(Johnson, 1998, S. 399)

### Ionen

Naah und Sanger (2012) haben mehrere Vorstellungen gefunden, die speziell im Bereich von ionischen Verbindungen auftreten. So zerfallen ionische Verbindungen beispielsweise nicht in die entsprechenden Ionen, sondern in neutrale Atome. Eine Erweiterung davon ist die Vorstellung, dass auch mehratomige Ionen in weitere Komponenten zerfallen. Nichtmetall-Ionen verhalten sich wie ihre neutralen atomaren Gegenstücke und reagieren beispielsweise zu den zweiatomigen Molekülen, in denen sie elementar vorliegen.

Mit Wasser als Lösungsmittel reagieren ionische Verbindungen beim Lösen zu einem Metalloxid oder -hydroxid und einer Säure (Naah & Sanger, 2012, S. 190). Alternativ kommt es zu einer Umstellungsreaktion (engl. „double displacement reaction“) bei der die Atome von Salz und Wasser neu angeordnet werden:

*In double displacement reactions of the ionic salt and water, the hydrogen atoms from water combines with the cation of the salt and the oxygen atoms from water combines with the anion of the salt.*

(Naah & Sanger, 2012, S. 190)

Raumnutzung

Diese Kategorie ähnelt der aus dem Bereich der Kategorie „Platz im Lösemittel“ (siehe Kapitel 2.4.3.1), beschäftigt sich hier aber mit dem prozessualen Charakter des Lösevorgangs. Bei Ebenezer (2001) finden sich aber auch Äußerungen, bei denen die Befragten beide Kategorien gemeinsam zur Erklärung verwenden:

*„The salt molecules move into the spaces between the water molecules. If there are no more spaces left the salt would fall to the bottom of the container [...].”*

(Ebenezer, 2001, S. 85)

2.4.3.3 Das Wesen von Lösungen

Grüß-Niehaus sortiert in diese Kategorie Vorstellungen, die Lernende zu Eigenschaften von Lösemittel und zu lösendem Stoff nach dem Lösevorgang haben. In Tabelle 4 steht zunächst wieder eine Übersicht, im Anschluss werden die Kategorien kurz erläutert.

**Tabelle 4: Erweiterte Kategorie „Das Wesen von Lösungen“ nach (Grüß-Niehaus, 2010, S. 105), erweiterte und eingefügte Kategorien und Ergänzungen wurden mit \* markiert**

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Massenverringern	Die Masse einer Lösung ist kleiner als die Summe der Massen von zu lösendem Stoff und dem Lösungsmittel vor dem Lösen.	Driver (1985) Piaget und Inhelder (1974) Prieto et al. (1989) Stavy (1990b) Uzuntiryaki und Geban (2005)
Massenvergrößerung	Die Masse einer Lösung ist größer als die Summe der Massen von zu lösendem Stoff und dem Lösungsmittel vor dem Lösen.	Stavy (1990b) Uzuntiryaki und Geban (2005)
Massenne-gation	Ein gelöster Stoff hat keine Masse.	Stavy (1990b)
Verteilung des zu lösenden Stoffes*	Die Zuckerteilchen verteilen sich nicht gleichmäßig, sondern schwimmen an der Oberfläche oder sammeln sich am Boden. Die Zuckerteilchen verteilen sich gleichmäßig und es entsteht ein homogenes System.	Abraham et al. (1994) Piaget und Inhelder (1974) Prieto et al. (1989) Butts und Smith (1987)

Kategorie	Beschreibung der Schülervorstellung	Quelle
Volumeninvarianz	Das Volumen einer Lösung ist gleich der Summe der Volumina von Lösungsmittel und dem zu lösenden Stoff vor dem Lösen.	Piaget und Inhelder (1974) Pinarbasi und Canpolat (2003) Uzuntiryaki und Geban (2005)
Volumentenvergrößerung	Das Volumen einer Lösung ist größer als die Summe der Volumina von zu lösendem Stoff und Lösemittel vor dem Lösen.	Uzuntiryaki und Geban (2005)
Volumennegation	Ein gelöster Stoff hat kein Volumen.	Uzuntiryaki und Geban (2005)

Massenverringerng, Massenvergrößerung, Massennegation

All diese Vorstellungen basieren auf der Vorstellung, dass die Gesamtmasse von zu lösendem Stoff und dem Lösemittel nicht der Summe der Massen der einzelnen Stoffe entsprechen kann. Grüß-Niehaus (2010) fasst diese Vorstellungen dabei recht treffend zusammen. So ist „der Ursprung der Vorstellung von der Vergrößerung der Masse schwer zu eroieren [...], die Vorstellung der Verringerung der Masse [kann jedoch] auf den makroskopisch wahrgenommenen Prozess des Verschwindens zurückgeführt werden.“ (Grüß-Niehaus, 2010, S. 105)

Über die unterschiedlichen Altersstufen der Befragten hinweg beschreibt Stavy (1990b), dass Schülerinnen und Schüler in niedrigeren Klassenstufen eher zu einer Massenvergrößerung und ältere Schülerinnen und Schüler zu einer Verringerung der Masse tendieren.

*„The younger pupils who did not respond correctly to the sugar/water task, believed that the sugar/water solution is heavier than the sum of the weights of sugar and water because 'sugar is heavy and it makes the water heavier'. The older ones tended to believe that the sugar/water solution is lighter than the sum of the weights of sugar and water because 'the sugar becomes smaller and smaller until it disappears'.“*

(Stavy, 1990b, S. 503)

Verteilung des zu lösenden Stoffes

In diese Kategorie fallen Vorstellungen die von der (ungleichmäßigen) Verteilung von dem zu lösenden Stoff beispielsweise an der Oberfläche oder dem Boden (Abraham et al., 1994), bis

hin zur gleichmäßigen Verteilung im Sinne eines homogenen Gemisches reichen (Prieto et al., 1989). Diese Vorstellungen können auf Stoff-, wie auch auf Teilchenebene auftreten.

#### Volumeninvarianz, Volumenvergrößerung, Volumennegation

Diese Kategorie beinhaltet analoge Vorstellungen zur Einschätzung zur Masse, nur für das Volumen. In den Studien von Pinarbasi und Canpolat (2003) und Uzuntiryaki und Geban (2005) werden diese Vorstellungen zwar gefunden, aber aufgrund des dortigen Forschungsdesigns nicht näher betrachtet. Grüß-Niehaus (2010) führt hierbei an, dass die Begründung einer Volumennegation analog zur Begründung der Massennegation verlaufen könne (Grüß-Niehaus, 2010, S. 107).

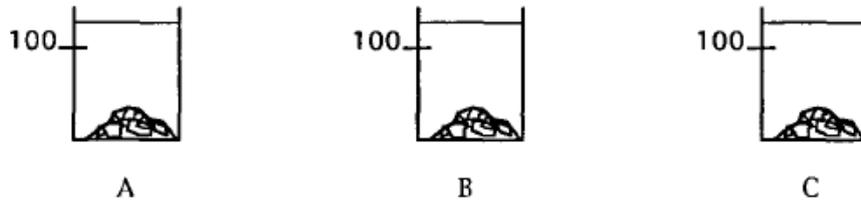
#### 2.4.3.4 Zusammenfassung

Der vorherige Abschnitt zeigt deutlich, dass bereits viele Studien über Schülervorstellungen zur Löslichkeit von Stoffen durchgeführt worden sind. Das hier vorgestellte und erweiterte Schema von Grüß-Niehaus basiert größtenteils auf einem Schema von Çalik et al. aus dem Jahr 2005. Es wurde jedoch abgewandelt, um den Fokus auf den prozessualen Charakter des Lösevorgangs zu legen und zudem die Annahme eines vorhandenen Teilchenmodells zu umgehen. In dieses Schema können daher Vorstellungen eingeordnet werden, die auf einem kontinuierlichen und auf einem diskontinuierlichen Verständnis der Materie beruhen.

### 3 Zwischenfazit und Forschungsfragen

In den vorherigen Kapiteln wurden bisher drei wichtige Punkte dargestellt. Zum einen, dass die Nutzung von Computern und allgemein digitalen Medien im Bereich der Schule immer weiter zunimmt. Dies basiert auf dem Voranschreiten der technischen Entwicklung und den damit verbundenen Möglichkeiten, die sich auch im Bereich des Unterrichtens ergeben. Darauf aufbauend erscheint es sinnvoll zu sein, dass der Computer auch zu immer neuen Ansätzen im Unterricht eingesetzt wird. Im Rahmen dieser Studie soll der Computer und dabei speziell der Bereich der Animationen zur Diagnose eingesetzt werden. Des Weiteren wurde die chemisch-fachliche Seite der Löslichkeit beleuchtet. Dieses Thema ist ein wichtiger Grundbaustein im Bereich der Chemie. Viele Themen basieren auf dem Verständnis von Lösungen und dem Verhalten von Stoffen innerhalb von Lösungen und dem Verhalten gegenüber verschiedenen Lösungsmitteln. Auch der durch die Curricula beschriebene Lehrplan im Fach Chemie weist spiralcurricular immer wieder neue Aspekte dieser Thematik auf. So wird die Löslichkeit und damit zusammenhängende Themen wiederholt unterrichtet und neue Inhalte oder, basierend auf neu zur Verfügung stehenden Modellen, in erweiterter oder vertiefter Form vermittelt (vgl. Kapitel 2.4.1). Der dritte vorgestellte Punkt ist der der Konzepte von Lernenden bezüglich Lösungen und Löseprozessen. Wie am Anfang des Kapitels 2.4.2 beschrieben wurde sind die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler mit in den Unterricht bringen sehr wichtig für den Erfolg des Lernens. Damit hat die Löslichkeit eine zentrale Bedeutung im gesamten schulischen Curriculum.

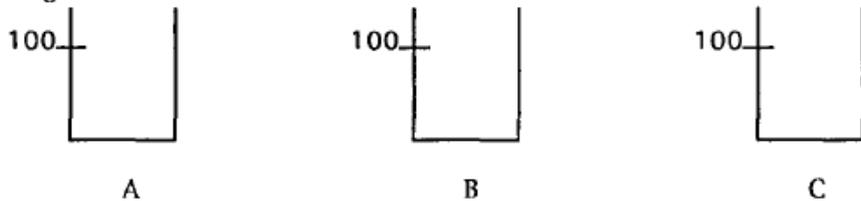
Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben wurde handelt es sich bei Löseprozessen um einen Prozess, der sich auf einer Zeitachse beschreiben lässt. Die zuvor beschriebenen erhobenen Vorstellungen basieren auf verschiedenen Erhebungen, die aber meist auf Interviews oder einfachen Zeichnungen basieren. Ein Beispiel für eine solche Erhebung ist in Abbildung 7 dargestellt. Dabei wird den Schülerinnen und Schülern die Zeichnung einer Startsituation gegeben und sie sollen daraufhin die Endzustände nach einer vorgegebenen Aktion und darauf aufbauen, den Zustand nach einer gewissen Wartezeit, mithilfe von Zeichnungen und beschreiben und erklären.



- \* Beaker A: we just leave it to stand
- \* Beaker B: we stir it vigorously
- \* Beaker C: the water was hot when we dropped the salt in it.

PART 1. After having completed these operations, how will the contents behave in each beaker?. Describe by means of drawings and explanations:

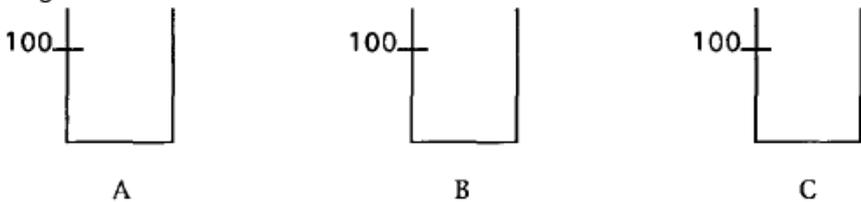
Drawings:



Explanations:  
 Beaker A  
 Beaker B  
 Beaker C

PART 2. If we leave the beakers to stand covering them (to avoid evaporation) and we return the following day to check, what will the content of each one be like?

Drawings:



Explanations:  
 Beaker A  
 Beaker B  
 Beaker C

Abbildung 7: Paper and Pencil Test von (Blanco & Prieto, 1997)

Schnotz und Lowe (2008) beschreiben an sehr anschaulichen Bildern, dass es sehr gut möglich ist mithilfe statischer Bilder statische Sachlagen zu verdeutlichen und zu beschreiben. Ebenso gut ist es möglich mithilfe von statischen Bildern zeit- und raumabhängige Prozesse zu beschreiben und den Eindruck von Bewegung/Veränderung zu schaffen. Auch Animationen sind dazu in der Lage Informationen oder interne Zusammenhänge über statische Inhalte wiederzugeben. Sie können allerdings auch dazu verwendet werden zeitabhängige Prozesse darzustellen (Schnotz & Lowe, 2008, S. 309 ff.). Gerade letzterer Gedanke wurde aber bisher bei der Erhebung von Schülervorstellungen zum Löseprozess noch nicht berücksichtigt. Daher wird im Rahmen dieser Studie dem Umstand Rechnung getragen, dass ein solcher dynamischer Prozess nur bedingt den Abbildungsmöglichkeiten gerecht wird, die ein statisches Erhebungsinstrument

wie Zeichnungen mit Stift bereitstellt. Als Forschungsinstrument sollen hier also von Schülern kreierte Animationen genutzt werden, mit dem Ziel das Erhebungsinstrument und den zu betrachtenden Prozess aufeinander abzustimmen. Zusammenfassend lassen sich aus alldem Forschungsfragen ableiten, die nach den Schülervorstellungen fragen, aber gleichzeitig auch die Möglichkeiten des technischen Fortschritts berücksichtigen.

Forschungsfrage 1:

*Können Schülerinnen und Schüler mithilfe einer Computersoftware eine Animation erstellen?*

Dies ist eine einleitende Forschungsfrage, die vor allem anderen beantwortet werden muss, um entscheiden zu können ob sich die folgenden Forschungsfragen überhaupt beantworten lassen. Aufbauend auf der Annahme, dass es den Schülerinnen und Schülern möglich ist Animationen zu erstellen, wobei es hierbei primär um die bloße Fähigkeit der Teilnehmenden geht mit der Software umzugehen und eine Animation zu erstellen, folgt darauf der wichtige Aspekt dieser Arbeit. Dabei geht es um den Aspekt der Erhebungsmethode sowie um die Konzepte selbst, die die Schülerinnen und Schüler in Bezug auf Löseprozesse besitzen.

Forschungsfrage 2a:

*Können Schülerinnen und Schüler Animationen dazu verwenden ihre Konzepte chemischen Inhalten, hier am Beispiel der Löseprozesse, zu visualisieren?*

Forschungsfrage 2b:

*Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Löseprozesse?*

Für den Fall, dass es möglich ist auf diesem Wege die Vorstellungen zu erheben, schließen sich daran zwei vertiefende Fragen an, die auf den Ergebnissen der vorangegangenen Frage basieren.

Forschungsfrage 3a:

*Ermöglichen Animationen einen detaillierteren Blick auf die Schülervorstellungen oder können gar ganz andere Vorstellungen erhoben werden?*

Forschungsfrage 3b:

*Auf welchen Aspekten liegt der Fokus der von den Schülerinnen und Schülern erstellten Animationen?*

Mithilfe dieser Fragen soll die fachliche Qualität der Animationen erfasst werden. Die technischen Möglichkeiten werden hierbei so eingesetzt, dass die Erhebungsmethode zu einem aus chemischer Sicht dynamischen Prozess, wie dem Löseprozess, passt und die technischen Entwicklungen angemessen genutzt werden.

## 4 Methodik

Die Forderungen der KMK und die curricularen Vorgaben sorgen immer mehr dafür, dass die Schülerinnen und Schüler Kontakt zu neuen Medien erhalten. Sie sollen mit ihnen lernen und an ihnen geschult werden. Dass die Computernutzung im Unterricht weiter ausgebaut wird, wurde bereits in Kapitel 1 dargelegt. Außerdem wurde zuvor bereits das Thema der Löslichkeit ausführlich beschrieben. Nicht nur die fachlichen Inhalte wurden einmal dargelegt, sondern auch bestehende Vorstellungen beschrieben, die Schülerinnen und Schüler besitzen und die eine Lehrkraft beachten muss. Gerade der zuletzt genannte Gedanke in Verbindung mit dem technischen Fortschritt hat zu den in Kapitel 3 aufgeführten Forschungsfragen geführt. Im Rahmen dieser Studie sollen demnach Schülervorstellungen zum Thema Löslichkeit erhoben werden, wobei die Erhebungsmethode aber dem Prozess angepasst wurde. Die Schlüsseleigenschaft einer Animation ist die Fähigkeit, voneinander abhängige Beziehungen und dynamische Prozesse über Zeit und Raum explizit zu steuern (Rogers, 2008, S. 288). Daher soll mithilfe einer Animationssoftware nun auch die Zeitabhängigkeit des Löseprozesses bei der Erhebung der Schülervorstellungen berücksichtigt und gegebenenfalls erfasst werden. Mithilfe der von Schülerinnen und Schülern erstellten Animationen, den dabei aufgenommenen Erstellungsvideos und einem abschließenden Interview soll in dieser Studie via Triangulation ein umfassendes Bild über die Schülervorstellungen erhalten werden.

Im nun folgenden Kapitel wird das geplante Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen beschrieben. Dabei wird zunächst die verwendete Software *ChemSense Animator* beschrieben, mit der die Schülerinnen und Schüler Animationen zu Löseprozessen erstellen werden. Mit einem Rückbezug auf die im Vorfeld beschriebenen Inhalte der Schülerinnen und Schüler zum Thema Löslichkeit in den verschiedenen Klassenstufen erlernt haben sollen wird dann beschrieben, wie der Startbildschirm für die Befragung aufgebaut sein soll.

In den dann folgenden Abschnitten werden sowohl die Pilotierung als auch die Durchführung der eigentlichen Erhebung beschrieben. Schlussendlich wird die Auswertung über eine qualitative Inhaltsanalyse erläutert und unter anderem ein Kriterienkatalog für die Codierung der Animationen beschrieben.

Wie sich aus den Forschungsfragen 2a und 2b bereits ergibt, beschäftigt sich die Erhebung im Rahmen dieser Arbeit mit Schülervorstellungen zum Löseprozess, die mithilfe einer Animationssoftware erhoben werden. Die verwendete Animationssoftware ist in der Lage, die Teilchenebene abzubilden und aus mehreren hintereinander abgespielten einzelnen Bildern einen

kurzen Film – eine Animation – zu erstellen. Dies umfasst vor allem chemische Inhalte die vor der siebten Klasse unterrichtet werden, da das einfache Teilchenmodell zu diesem Zeitpunkt nicht behandelt worden ist. Mit den Grenzen des Programms war auch klar, dass am anderen Ende der darstellerischen Grenzen das Orbitalmodell nicht mehr dargestellt werden kann. Das heißt, dass mit der Darstellung von Zwei- und Dreifachbindungen, zwar organische Moleküle in Form von Skelettstrukturformeln angegeben werden können, diese Bindungen und die damit einhergehenden Vorstellungen zur Verteilung der Elektronen nicht mehr erfasst werden können. Für Inhalte aus dem Schulstoff wie es in den curricularen Vorgaben beschrieben wurde kann dieses Programm also erstmal genutzt werden.

Ein weiterer Faktor sollte allerdings sein, dass das Programm nicht nur als Zeichenprogramm verwendet werden sollte. Das Ziel der Themenwahl war es mithilfe des Programms auch eine Thematik zu überprüfen, die es erlaubt die dynamischen Möglichkeiten die das Programm liefert auszunutzen. Mit dem Thema Löseprozess bietet sich an dieser Stelle ein geeigneter Themenkomplex. Über verschiedene Jahrgangsstufen hinweg wird das Thema immer wieder in der Schule auf unterschiedlichen Niveaus gelehrt. Dabei werden immer weitere Teilchen- und Atommodelle verwendet und das Konzept der Löslichkeit stetig erweitert. So ist es möglich, die gleiche Thematik mit einem Forschungsinstrument an unterschiedlichen Punkten zu überprüfen und die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu erheben. Mit dieser gegebenen Möglichkeit ist sollten im Rahmen dieser Arbeit an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die Schülervorstellungen erhoben werden. Um einen Überblick über die Schülervorstellungen der Sekundarstufe I zu erhalten wurden dafür zwei Erhebungspunkte gewählt. Die eine Erhebung sollte am Ende der Klassenstufe 7 und die andere am Ende der zehnten Klasse durchgeführt werden. Wie in Kapitel 2.4.1 beschrieben wurde entwickelt sich das Verständnis der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Thema Löslichkeit immer weiter. Dies hängt stark mit dem verwendeten Teilchen- beziehungsweise Atommodell zusammen. Die Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse kennen nur ein einfaches Teilchenmodell, während die Zehntklässler schon Ionen kennen und über das Bohrsche Atommodell erklären können. Aus diesem Grund erscheinen diese beiden Erhebungspunkte, die von den Fähigkeiten her an den beiden Darstellungsgrenzen des Programms arbeiten, als durchaus sinnvoll gewählt. Die Schülerinnen und Schüler könnten damit basierend auf zwei unterschiedlichen Wissensständen Animationen erstellen und damit bietet sich auch die Möglichkeit auf zwei unterschiedlichen Grundlagen Vorstellungen zu einem Themenkomplex zu erheben.

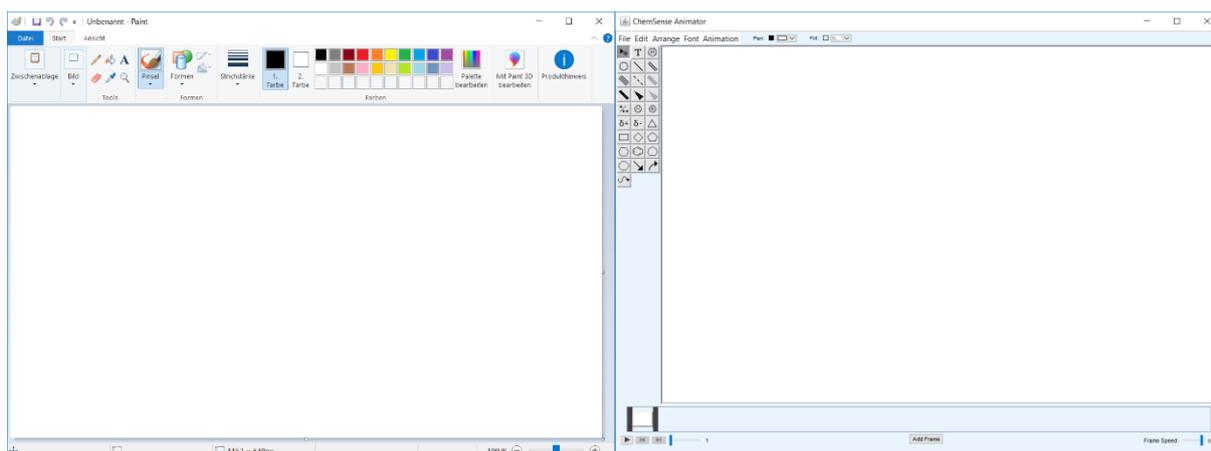
Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die Wahl des Themas rechtfertigt, ist die Tatsache, dass es bereits sehr gut recherchierte und dokumentierte Vorstellungen zu dem Thema gibt.

Neu gefundene Konzepte, sowie bereits bekannte Konzepte können so leicht mit bisherigen Funden abgeglichen werden (siehe Kapitel 2.4).

#### **4.1 ChemSense Animator**

Für das Erstellen von Animationen wird eine geeignete Software benötigt. Für diese Erhebung wird die ChemSense Animator Software verwendet. Es wurde von einem Team um Patricia Schank entwickelt (Michalchik, Rosenquist, Kozma, Kreikemeier & Schank, 2008; National Science Foundation [NSF], 2002) und bis zum Jahre 2004 auch noch regelmäßig aktualisiert (SRI International, 2004a). Ziel der Entwicklung von ChemSense war es, die Lücke zwischen submikroskopischer und makroskopischer Ebene (SRI International, 2004b). Der Wechsel von einer Darstellungsebene zur nächsten, also von der makroskopischen Ebene zur submikroskopischen oder der repräsentativen Ebene führen bekanntermaßen immer wieder zu Schwierigkeiten (Barke et al., 2018, S. 253 ff.; Johnstone, 2000). An dieser Stelle soll das ChemSense Projekt ansetzen und eine Möglichkeit darstellen Prozesse oder Situationen auf der Teilchenebene darzustellen (SRI International, 2004b). Die Lernenden sollten eine Möglichkeit erhalten, ihre Vorstellungen zu visualisieren und sich anschließend darüber auszutauschen. Außerdem sollte es ihnen zum einen ermöglicht werden über ihre Visualisierungen ein tieferes Verständnis für die zugrundeliegenden chemischen Konzepte zu entwickeln. Zum anderen soll bei den Lernenden die Fähigkeit der Repräsentationskompetenz („representational competence“) entwickelt und gefördert werden (Michalchik et al., 2008, S. 240 ff.).

Der Grund für die Wahl dieses Programms war auf der einen Seite, dass es kostenlos zur Verfügung steht und auf Java basiert, was das Programm plattformunabhängig macht (Schank & Kozma, 2002). Ein weiterer und entscheidender Vorteil dieser Software ist die sehr einfache Handhabung bei gleichzeitig relativ umfangreichen Funktionsmöglichkeiten (Michalchik et al., 2008, S. 237; Schank & Kozma, 2002). Das Benutzerinterface ähnelt bekannten Programmen, die auch Schülerinnen und Schüler schon von ihrer PC-Erfahrung her kennen. In Abbildung 8 sind die Benutzeroberflächen zu sehen. Es gibt deutliche Parallelen zwischen CSA und Zeichenprogrammen wie Microsoft Paint. So besitzen beide Programme eine Zeichenfläche und an deren Rand (links beziehungsweise oben) befinden sich die zur Verfügung stehenden Tools. Übergeordnete Funktionen, wie Speichern, Öffnen oder Sortieren lassen sich über das Menüband ansteuern.



**Abbildung 8: Oberflächenvergleich zwischen Microsoft Paint (links) und ChemSense Animator (rechts), mit weißer Zeichenfläche und den Funktionen am oberen Rand (Paint) und oberen und linken Rand (ChemSense Animator)**

Im Folgenden werden verschiedene Funktionen des Programms ChemSense Animator mit ihren Nutzungsmöglichkeiten vorgestellt.

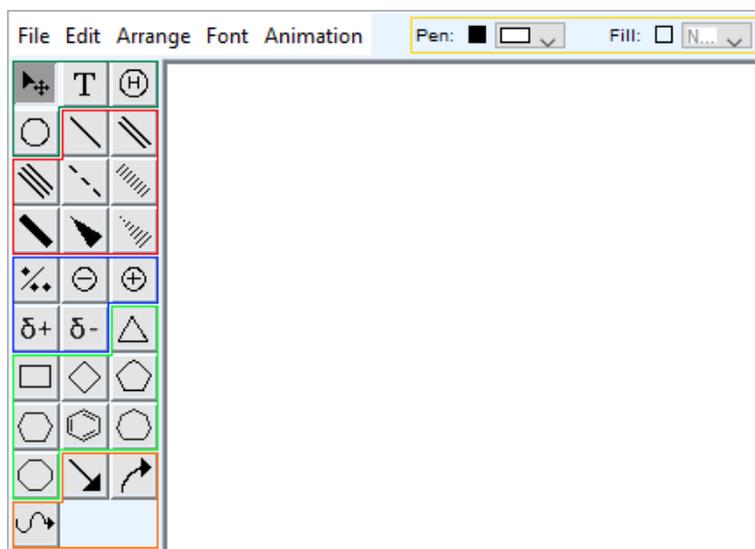
#### 4.1.1 Das Programm

Das Programm ChemSense Animator lässt sich sehr treffend als digitaler Zeichentrickfilm beschreiben. Ausgehend von einem zunächst leeren Zeichenbereich erstellt der Nutzer ein erstes Bild (auch Frame genannt). Durch einen Klick auf die Schaltfläche ‚Add frame‘ am unteren Rand unter der Zeitleiste (siehe Abbildung 8, rechts) wird das gegenwärtige Bild gespeichert, kopiert und diese Kopie als zweites Bild in der Zeitachse hinter das erste gehängt. Das Bild kann nun inkrementell verändert werden. Durch stetiges Wiederholen dieses Arbeitsschrittes werden immer mehr Bilder in der Zeitleiste erstellt und so eine Animation erzeugt. Die fertige Animation lässt sich dann wie ein Film abspielen und betrachten.

#### 4.1.2 Funktionen und Einsatzmöglichkeiten

In diesem Abschnitt sollen einmal die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die das Programm bietet. Dabei geht es sowohl um die Funktionen, wie auch um die Einsatzmöglichkeiten. Es wurde schon beschrieben, dass das Programm genutzt werden kann um Animationen zu erstellen. Auch das Verfahren dafür wurde schon erklärt. Daraus ergibt sich aber auch eine andere Funktionsweise, wie sich das Programm nutzen lässt. Die Erstellung von einzelnen Bildern. Der Nutzer kann einfach nur einen Frame erstellen, auf dem eine Situation oder auch ein Prozess dargestellt ist. Die Darstellungsmöglichkeiten sind hierbei vergleichsweise simpel und kaum vergleichbar mit extra dafür programmierten Programmen, aber immerhin besteht diese Möglichkeit. Alle Darstellungen sind in einer Zeichenebene dargestellt. Auch wenn Teilchen

über- und untereinander gezeichnet werden können, stellt das Programm alle Objekte nur zwei-dimensional dar und nicht als dreidimensionale (manipulierbare) Objekte, wie dies mit anderen Programmen möglich ist.



**Abbildung 9: Das Funktionsmenü von ChemSense Animator mit Standard-Tools (grün), Bindungs-Tools (rot), Ladungs-Tools (blau), cyclischen organischen Verbindungen (hellgrün), Pfeil-Tools (orange) und den Farbmenüs (gelb)**

In Abbildung 9 ist das Funktionsmenü des Animators dargestellt. Neben dem bekannten Menüband, über das sich die Datei speichern lässt oder die Animation, Teile der Animation oder nur einzelne Elemente bearbeiten lassen, sind dort noch die Farbmenüs angebracht. Über diese lassen sich die Füllung und die Ränder von Objekten farblich manipulieren. Die Standard-Tools, wie sie in Abbildung 9 bezeichnet werden, sind die wahrscheinlich am häufigsten verwendeten Tools.

Das in der Abbildung 9 markierte Verschiebungs-Tool entspricht nahezu der normalen Computermaus. Objekte können ausgewählt (durch Anklicken oder einrahmen), verschoben, gedreht oder vergrößert werden. Das mit „T“ bezeichnete Text-Tool ermöglicht es dem gezeichneten einen Text hinzuzufügen. Dieser kann zur Beschreibung von Prozessen eingebildet werden, indem er auf den entsprechenden Bildern eingefügt wird, oder einzelne Wörter oder Buchstaben zu anderen Zwecken verwendet werden. Über das Elemente-Tool (eingekreistes H) kann ein Periodensystem (Abbildung 10) aufgerufen werden. Hier kann der Nutzer ein Element auswählen, welches er dann durch Klicken in die Zeichenfläche an der dortigen Stelle positioniert. Zusätzlich kann der Nutzer die Ionen-Funktion ein- und ausschalten.

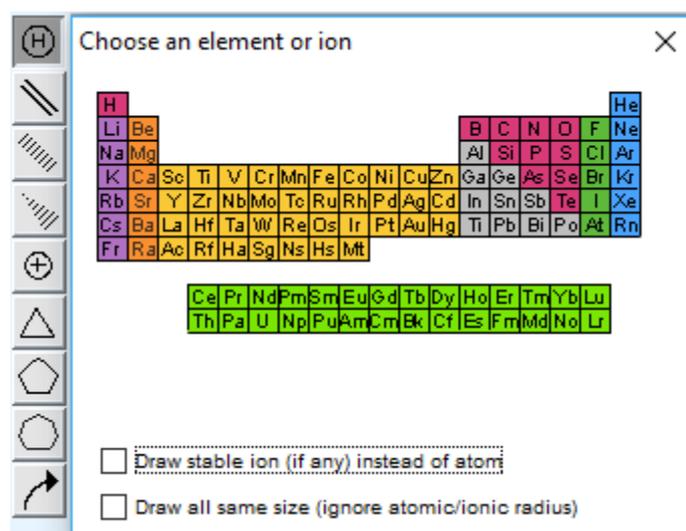


Abbildung 10: Element-Tool von ChemSense Animator

Im eingeschalteten Zustand werden dann keine Atome, sondern die zugehörigen Ionen gezeichnet. Diese stimmen mit den Atomen farblich überein, enthalten aber die Ladung im Namen und weichen von der Größe her, basierend auf dem abweichenden Ionenradius, vom entsprechenden Atom ab (Abbildung 11).

Als letztes Standard-Tool ist ein leerer Kreis angegeben. Diese kann als Blanko-Element fungieren, das man nach Bedarf farblich gestalten und beschriften kann. Ebenso kann es als einfacher Kreis im Sinne einer geometrischen Figur dienen oder einen cyclischen Kohlenwasserstoff mit beliebig vielen Kohlenstoff-Atomen darstellen.

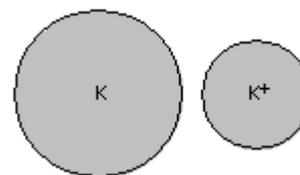


Abbildung 11: Kalium-Atom und Kalium-Ion, gezeichnet mit ChemSense Animator

Die auf diese Weise erstellten Atome oder Ionen können dann mit Bindungen und weiteren Atomen/Ionen zu Molekülen ergänzt werden. Das Programm bietet eine Vielzahl von Bindungstypen. Dabei handelt es sich um die gebräuchlichen Bindungen, die in der Darstellung chemischer Formeln und Prozesse benötigt werden. Unter anderem gibt es auch die Möglichkeit Bindungen zu zeichnen, die eine dreidimensionale Struktur andeuten und damit auch die Stereochemie beachtet. Bindungen können an bis zu zwei Objekten verankert werden und bewegen sich dann mit den Atomen. Eine nicht verankerte Bindung bleibt einfach an der Stelle, an der sie gezeichnet wurde. Auch sie lässt sich verschieben und verändern wie andere Objekte auch. Das Programm erkennt Atome und Ionen als Objekte an, an die sich eine Bindung verankern lässt. Das Ende der Bindung wird dann grün markiert (falls die Bindung gerade ausgewählt ist). Andernfalls ist das Ende rot markiert. Beim Zeichnen von Bindungen springt das Ende einer Bindung zu einem geeigneten Punkt, falls sich ein solcher in der Nähe befindet. Dies erleichtert es dem Nutzer eine Bindung an einem Atom oder Ion zu verankern.

Die in Abbildung 9 hellgrün markierten cyclischen Kohlenwasserstoffe lassen sich auf zwei Weisen nutzen. Zum einen wäre da die Funktion als cyclische Kohlenwasserstoffe, die in der Skeletstruktur eingezeichnet werden. Wie auch bei Atomen und Ionen erkennt das Programm die Ecken des Vielecks als mögliche Verknüpfungsstelle. Bindungen, die zwischen Objekten eingezeichnet werden, können an diesen Stellen verankert werden und springen in deren Nähe auch zu ihnen. Die zweite Möglichkeit ist der geometrischen Figur. Jedes Cyclobutan ist auch ein Rechteck oder Quadrat. Cyclopropan kann ebenso ein Dreieck darstellen, wie auch die cyclische Verbindung in der Skelettstruktur. Daraus ergibt sich die Option, dass sich das Programm auch im Sinne des einfachen Teilchenmodells nutzen lässt. Jede Verbindung bekommt eine geometrische Figur zugewiesen, die sie repräsentiert. Alternativ kann auch immer die gleiche Figur benutzt werden, die nur andersfarbig gefüllt ist oder einen andersfarbigen Rand hat.

Die in blauer Farbe eingekreisten Funktionen beschäftigen sich mit Ladungen. Einzelne Ladungen lassen sich so an Atome zeichnen. Dies ist eine alternative Darstellung von Ionen, die das Programm bietet. Die unterschiedlich großen Radien von Atomen und den zu ihnen gehörenden Ionen werden hierbei nicht beachtet, da das Teilchen an sich in dem Fall immer noch ein Atom ist und ihm nur nachträglich noch eine kleine positive oder negative Ladung beigelegt wird. Analoges gilt für das Einzeichnen von Partialladungen oder einzelnen Elektronen zur Darstellung von Radikalen.

Der Letzte Block beschäftigt sich mit Pfeilen. Es lassen sich normale Pfeile (Reaktionspfeile), geschwungene Pfeile und halbrunde Pfeile, wie sie in Reaktionsmechanismen häufig verwendet werden, einzeichnen.

Über das Menüband lassen sich Objekte in einem übergeordneten Sinne beeinflussen. Sie können hier über oder unter andere Objekte gelegt werden, sie können ein Stück in jede Richtung bewegt werden (was auch über die Pfeiltasten oder mit der Maus möglich ist) und mehrere Objekte können gruppiert werden. Letzteres ist besonders hilfreich, wenn es um die Darstellung von Molekülen geht. Dann kann mit einem Klick ein ganzes Molekül ausgewählt und verschoben werden, während sonst alle Einzelteile einzeln markiert werden müssten oder ein Rahmen um das gesamte Teilchen gezogen werden muss. Zu guter Letzt lassen sich über das Animation-Menü einzelne Frames erstellen oder löschen und die Animation abspielen. Das Erstellen und Löschen einzelner Frames betrifft dabei immer nur den aktuell ausgewählten Frame und lässt andere Bilder unberührt. Das hat zur Folge, dass nachträgliche Änderungen gegebenenfalls bei mehreren Bildern eingefügt werden müssen, sorgt aber auch dafür, dass Zeichnungen sich nicht automatisch durch den Rest einer Animation ziehen. Es ist hier auch möglich die Animation

immer wieder von vorne abspielen zu lassen ohne erneut auf Play klicken zu müssen (Loop Animation).

Eine letzte Funktion lässt sich in Abbildung 8 sehen. In dem ChemSense Animator Fenster ist unten rechts ein Geschwindigkeitsregler zu sehen. Mit ihm kann die Abspielgeschwindigkeit verändert werden, sodass die Animationen mit weniger Bildern pro Minute abgespielt werden. Dies ermöglicht es beispielsweise Animationen, die aus nur wenigen Bildern bestehen, langsamer abspielen zu lassen, um die dargestellten Handlungen besser nachvollziehbar betrachten zu können.

Insgesamt ist das Programm ChemSense Animator eine Software mit der sich chemische Prozesse oder Situationen auf einem zweidimensionalen Schirm sowohl in einzelnen Bildern wie auch in bewegten Bildern, also Animationen, darstellen lassen. Das Programm beruht dabei auf einem bilderbasierten Funktionsmenü und operiert auf im Zeichenbereich mit einer einfachen Drag-and-Drop-Technik. Die aus dem Funktionsmenü ausgewählten Atome, Ionen, Verbindungen oder Zeichen werden durch einfaches Klicken in den Zeichenbereich erzeugt. Auf diesem Wege können auch gleiche Objekte mehrfach erstellt werden, indem sie mehrfach platziert werden. Mithilfe des Verschiebungs-Tools lassen sich dann die Objekte ansteuern und bearbeiten. Das wiederholte Verschieben der Teilchen bei zwischenzeitlichem Klicken auf die ‚Add-Frame‘-Schaltfläche erzeugt schlussendlich eine Animation. Über die Funktionen des Programms lassen sich am einen Ende des Spektrums Prozesse oder Situationen darstellen, die auf dem einfachen Teilchenmodell beruhen.

Das andere Ende des Spektrums, die Möglichkeiten des Programms betreffend, liegt in der Darstellung der Teilchenebene mithilfe von Atomen und Ionen. Animationen, die auf diesem Niveau argumentieren beziehungsweise Prozesse darstellen, basieren auf dem Verständnis des Bohrschen Atommodells. Auf einem ähnlichen Argumentationsniveau liegen Darstellungen, die sich auf die Skelettstruktur von organischen Molekülen beziehen. Auch hier muss das Konzept von Einfachbindungen verstanden worden sein, um der Animation folgen zu können. Mit diesen Möglichkeiten lassen sich damit prinzipiell alle Inhalte darstellen, die im Rahmen des curricularen Lehrplans der Sekundarstufe I und II eines niedersächsischen Gymnasiums (Achtermann et al., 2007; Achtermann et al., 2009) gelehrt werden sollen.

### **4.1.3 CSA in der Forschung**

Im ersten Kapitel dieser Arbeit wurde bereits erläutert, dass sowohl Lehrkräfte also auch Schülerinnen und Schüler in der Schule aktiv mit dem Computer arbeiten. Auch in der Forschung

werden immer mehr Arbeiten unter Zuhilfenahme von Computern bearbeitet. In diesem Abschnitt soll nun speziell betrachtet werden, wie die Software ChemSense Animator bereits eingesetzt wurde. Wie im Abschnitt 1.2 bereits beschrieben wurde, können Schülerinnen und Schüler nicht nur durch das Betrachten von Animationen bestimmte Lernziele erreichen. Für das Lernen ist es zudem zuträglich, wenn die Schülerinnen und Schüler beim Erstellen von digitalen Lernmitteln mit eingebunden werden. Speziell das Erstellen und Bearbeiten von Animationen wurde auch schon im Unterricht eingesetzt. Die hier in der Arbeit verwendete Software ChemSense Animator<sup>7</sup> wurde bereits im Rahmen einer Unterrichtseinheit verwendet. Dabei zeigte sich, dass durch das Erstellen von Animationen und die Diskussion unter den Lernenden über die Darstellungsweisen das Lernen eines Fachinhalts gefördert werden konnte (Schank & Kozma, 2002). Bei der hierbei verwendeten ChemSense Software wurden neben dem Animator auch weitere Module der ChemSense Lernumgebung verwendet. Dazu gehört neben dem ChemSense Animator auch noch ein Kommunikationssystem, sowie Tools zur Erstellung und Bearbeitung von Text, Bild, Graphen und Zeichnungen. Über ein Zusatzmodul konnte auch eine Software zur Datenerhebung eingebunden werden. Im Rahmen der durchgeführten Einheit „Types of Solutions“ sollten die Teilnehmenden dabei unterschiedliche wässrige Lösungen darstellen: Elektrolyt-Lösungen und Nichtelektrolyt-Lösungen. Die Einheit in Verbindung mit den Möglichkeiten der Lernumgebung führte zu einem Austausch den Teilnehmenden untereinander, bei dem sich die Schülerinnen und Schüler untereinander auf bestimmte (fehlerhafte) Aspekte ihrer jeweiligen Darstellungen aufmerksam machten und diese Darstellungen korrigiert werden konnten. Auch die Lehrkraft konnte den Lernenden beim Erstellen der Animationen zuschauen und Anmerkungen bezüglich der sichtbaren Fehlvorstellungen machen, sodass Darstellungen angepasst werden konnten.

Eine ähnlich intensive Diskussion konnte auch zwischen Studentinnen und Studenten beobachtet werden. Die Teilnehmenden haben sich in der Studie mehr und tiefergehend mit der Beschreibung organischer Reaktionen beschäftigt, als sie es normalerweise getan hätten. Die Autoren begründen dies damit, dass die Studentinnen und Studenten bei der Drehbucherstellung sehr viel mehr Details berücksichtigen mussten. Dies führte zu einer positiven Korrelation zwischen der Nutzung der ChemSense Lernumgebung und dem Verständnis der zugrundeliegenden Chemie (Schank & Kozma, 2002).

Das Ergebnis dieser Einheit war, dass die Lernenden, die mehr Zeichnungen in ihren Animationen verwendet haben, ein größeres Konzeptverständnis bezüglich der Darstellung der

---

<sup>7</sup> SRI International (Hrsg.). (2004). *ChemSense. visualizing chemistry*. Zugriff am 11.01.2017. Verfügbar unter [www.chemsense.sri.com/index.html](http://www.chemsense.sri.com/index.html)

Teilchenebene zeigten. Die Studie ergab außerdem nach einem dreiwöchigen Bearbeitungszeitraum einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen der Länge der Animationen, also der Anzahl der erstellten Bilder und der Qualität der Animationen. Auch im Bereich des Konzeptverständnisses für chemische Prozesse und die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler diese auf Teilchenebene darstellen zu können, zeigten sich im Vergleich von Pre- und Posttest signifikante Verbesserungen. Diese Ergebnisse legen nahe, dass das Erstellen animierter Videos mithilfe der ChemSense Lernumgebung für Schülerinnen und Schüler hilfreich ist, wenn es um das Verständnis von chemischen Inhalten geht (Schank & Kozma, 2002).

Auch Michalchik et al. (2008) haben in ihrer Studie die Effektivität der ChemSense Lernumgebung untersucht. Zwei elfte Klassen haben über zwei Wochen hinweg täglich mit der ChemSense Lernumgebung hinweg gearbeitet und eine Einheit zur Löslichkeit bearbeitet. Dabei kamen auch experimentelle Daten zum Einsatz, die über separate Sensoren erhoben wurden und in die digitale Lernumgebung mit eingegliedert wurden. Das Ergebnis dieser Studie war, dass sich durch die Verwendung der Lernumgebung das Verständnis der Löslichkeit erheblich verbessert hatte und die Schülerinnen und Schüler nach der Lerneinheit sehr viel eher in der Lage waren beispielsweise Wasser als Verbund von Molekülen darzustellen. Zu Beginn der Einheit hatten viele Schülerinnen und Schüler diesbezüglich noch Schwierigkeiten. Die Darstellungsebene hat sich von einer beschreibenden phänomenologischen Ebene dahingehend entwickelt, dass nach der Einheit mit der ChemSense Lernumgebung mehr Schüler eine Darstellung wählten, die sich auf Teilchenebene befand und damit auch den Ablauf des Löseprozesses mit einbezog (Michalchik et al., 2008, S. 248 ff.).

Toplis (2008) hat mithilfe der ChemSense Software bereits im Jahr 2008 eine Studie durchgeführt, bei der über verschiedenen Reaktionstypen hinweg Zusammenhänge zwischen den dargestellten Inhalten und den verbal beschriebenen Vorstellungen gefunden werden konnten. Außerdem war ein Ergebnis der Studie, dass auch wenn die ChemSense Software ein großes Repertoire an möglichen Funktionen bietet, diese doch nicht alle genutzt werden. Nichtsdestotrotz beschreibt Toplis die ChemSense Software als neue Möglichkeit Vorstellungen zu erheben und stellt dabei fest, dass sich damit auch Konzepte finden lassen. So wurde beispielsweise zuvor noch nicht festgestellt, dass Bindungswinkeln immer wieder fehlerhaft dargestellt werden und im Fall von chemischen Reaktionen auch die Vorstellung, dass sie in bestimmten Abschnitten ablaufen (Reaktant, Zwischenprodukt, Produkt). Letztere Vorstellung kann nach Toplis dabei entstehen, wenn die befragten Lehrkräfte den Reaktionsverlauf wie eine Reaktionsgleichung betrachten und diese auf eine Zeitachse übertragen. Alternativ kann dieser Ansatz aus Lehrbüchern stammen, in denen chemische Reaktionen in solchen Episoden erklärt werden.

Zuletzt merkt Toplis an, dass in den meisten Fällen die Darstellungen der verschiedenen Prozesse nicht nur eine chemische Reaktion im Allgemeinen darstellen, sondern ihnen auch eine ausgeglichene Reaktionsgleichung zugrunde liegt (Toplis, 2008).

## 4.2 Startbildschirm und Erwartungen

Eine wichtige Entscheidung, die nach der Wahl des Themas Löslichkeit, für die Wahl dieser Befragungen getroffen werden musste, war die der Startsituation. Die Schülerinnen und Schüler sollten den Löseprozess darstellen, indem sie ausgehend von einem Startbildschirm eine Animation erstellen. Dieser Startbildschirm, also der erste Frame, musste verschiedene Faktoren berücksichtigen. Zum einen musste er der Bedingung genügen, dass die Teilnehmenden auch ohne ein gesetztes Zeitlimit in einer angemessenen Zeit eine Animation aufbauend auf dem Startbildschirm erstellen konnten. Außerdem mussten die unterschiedlichen fachlichen Grundlagen berücksichtigt werden, die den zu erstellenden Animationen zugrunde liegen. Wie in Kapitel 4.1 beschrieben wurde kann das Thema Löslichkeit auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden. Im Folgenden wird die Ausgangssituation für die Befragung in der 7. Klasse und in der 10. Klasse dargelegt. Dazu gehören eine Beschreibung der curricularen Vorgaben und eine darauf aufbauende begründete Darstellung des gegebenen Startbildschirms, der für die jeweilige Klassenstufe erstellt wurde. Außerdem sollen einmal die erwarteten Animationen skizziert werden, die auf der Basis der vorgestellten Startbildschirme erstellt werden könnten.

### 4.2.1 Startbildschirm und Erwartungen Klasse 7

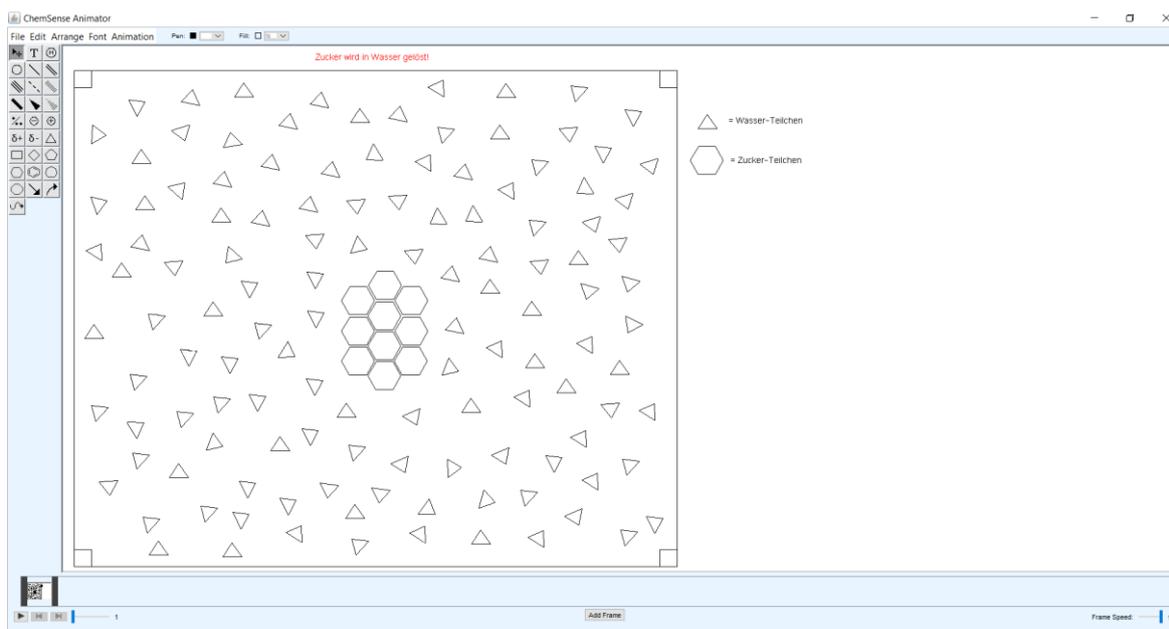
Die zu erwartenden Fachkenntnisse wurden in Kapitel 2.4.1 erläutert. Da es sich um eine siebte Klasse handelt, wurden die Erwartungen in Absprache mit der Lehrerin gemäß des Kenntnisstandes der Klasse verändert.

So wurde im Unterricht das Dalton'sche Atommodell noch nicht eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler hatten bis zum Zeitpunkt der Befragung bereits das einfache Teilchenmodell behandelt. Ebenso haben die Schülerinnen und Schüler die Stoffeigenschaften Löslichkeit, Siedepunkte und Schmelzpunkte behandelt. Auch Aggregatzustände wurden bereits im Unterricht thematisiert.

Dem Startbildschirm sollte das Wissen zugrunde liegen, dass aus dem bisherigen Unterricht bekannt war. Um den Löseprozess darstellen zu können brauchte es in diesem Fall einen zu lösenden Stoff und ein Lösemittel. Um die Schülerinnen und Schüler nicht nur mit einer neuen Darstellungsmethode und zusätzlich noch unbekanntem Stoffen zu verwirren wurde auf eine bekannte Situation zurückgegriffen. In der zu erstellenden Animation sollte das Lösen von

Zucker in Wasser dargestellt werden. Sowohl Wasser, wie auch Zucker waren als Stoffe aus dem Unterricht und auch aus dem Alltag bereits bekannt. Das Lösen von Zucker in Wasser wurde auch als Experiment im Unterricht schon einmal durchgeführt. Dort wurde es als Teil der Einheit zu Reinstoffen und Stoffgemischen durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler sollten dort erkennen, dass sich Stoffgemische auch wieder trennen lassen. Die bisherige Darstellung von Stoffen auf der Teilchenebene geschah über unterschiedlich farbige Kreise.

Aus diesen Voraussetzungen wurde dann ein Startbildschirm kreiert. Dieser ist in Abbildung 12 zu sehen. Ein Zuckerkristall wurde als zu lösender Stoff vorgegeben und dieser von Wasser-Molekülen umgeben. Die Zuckerkristalle wurden dabei von Sechsecken symbolisiert. Auch wenn Zucker im chemischen Sinne Saccharose ist und damit nur bedingt einem Sechseck entspricht (Saccharose besteht aus einer Einheit  $\alpha$ -D-Glucose (Sechsring) und einer Einheit  $\beta$ -D-Fructose (Fünfring), die über eine  $\alpha,\beta$ -1,2-glycosidische Bindung verbunden sind), ist ein Sechseck eine angemessene Darstellung für die Zucker-Moleküle. Die Wasser-Moleküle wurden durch kleine Dreiecke visualisiert. Diese Form ähnelt dem Aufbau eines Wasser-Moleküls, wie man es aus der Lewis-Formel kennt. Die Schülerinnen und Schüler kennen weder von Zucker noch von Wasser die Lewis-Schreibweise, weshalb für sie die Darstellungen über Sechsecke und Dreiecke keinerlei Vorteile oder Nachteile mit sich bringen. Für den weiteren Unterrichtsverlauf der Schülerinnen und Schüler schienen diese Formen allerdings geeigneter als andere geometrische Figuren, die mit dem Programm auf einfachem Wege erstellt werden konnten (vgl. Kapitel 4.2).



**Abbildung 12: Startbildschirm für die Befragung in Klasse 7, mit eingezeichneten Wasser- (Dreiecke) und Zucker-Molekülen (Sechsecke)**

Auch farbige Kreise hätten in Anbetracht der bisherigen Erfahrungen aus dem Chemieunterricht durchaus verwendet werden können. Allerdings sind die Linienstärken in den ChemSense Animator Zeichnungen nicht sehr dick und auf einem beleuchteten Display könnte dies zu Schwierigkeiten führen. Auch möglichen Schwierigkeiten mit Farben wie Rot-Grün-Sehschwächen können mit schwarz-weißen Zeichnungen vorgebeugt werden.

Ausgehend von diesem Startbildschirm lässt sich von Seiten der Schüler aus erwarten, dass sie im Laufe der Animation die Zucker-Teilchen im gegebenen Raum verteilen. Wie in Kapitel 2 beschrieben steht, lagern sich die Wasser-Moleküle an die Zucker-Moleküle an und lösen sie nach und nach von außen nach innen aus dem Kristallgitter heraus. Da die Schülerinnen und Schüler zum Zeitpunkt der Befragung nur über das einfache Teilchenmodell verfügen haben sie noch keine Kenntnisse über intermolekulare Wechselwirkungen. Ein Anlagern von Wasser-Molekülen oder gar die Ausbildung von Wasserstoffbrücken oder einer Hydrathülle ist in dieser Klassenstufe also nicht zu erwarten. Es kann durchaus dazu kommen, dass die in Kapitel 2.5 vorgestellten Fehlvorstellungen sich auch in dieser Klassenstufe bereits finden lassen. In Bezug auf den Aspekt Energiegehalt könnte es dazu kommen, dass die Schülerinnen und Schüler Teilchen mal schneller und mal langsamer bewegen. Dies könnte den Teilnehmenden von der Durchführung dieses Prozesses her bekannt vorkommen und hier adaptiert werden.

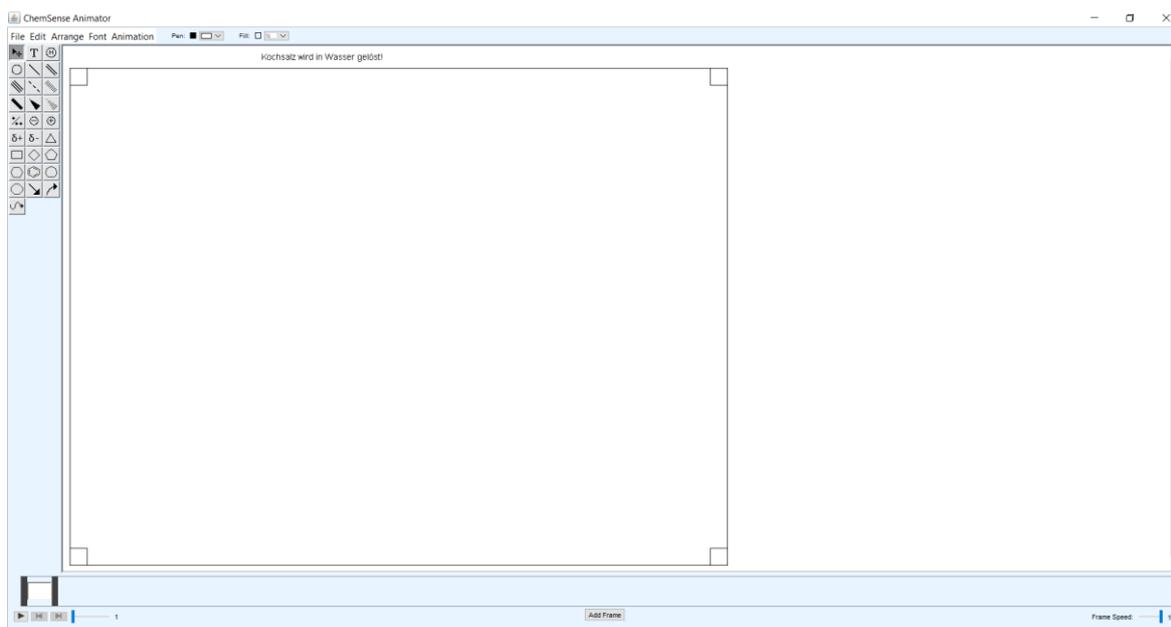
#### **4.2.2 Startbildschirm und Erwartungen Klasse 10**

Die Schülerinnen und Schüler der zehnten Klasse wurden ebenfalls am Ende des Schuljahres befragt. Bei ihnen können im Vergleich zu den Siebtklässlern weitere Kompetenzen vorausgesetzt werden, die bei der Erstellung des Startbildschirms eine Rolle spielen. Aufbauend auf den Kompetenzen, die schon zum Ende der Klasse 8 vom Kerncurriculum gefordert werden, müssen die Schülerinnen und Schüler den Aufbau der Materie deutlich genauer beschreiben können (siehe Kapitel 2.4.1).

Aufbauend auf diesen Möglichkeiten sollte bei den Schülerinnen und Schülern ein vertieftes Verständnis des Löseprozesses sichtbar werden. Zum Beispiel erlauben es die Funktionen der ChemSense Animator Software, einzelne Atome und Ionen darzustellen und darauf aufbauend auch auf zwischenmolekulare Kräfte einzugehen. Aus diesem Grund wurde das Setup dieser Erhebung inhaltlich angepasst. Die Schülerinnen und Schüler sollten nun nicht mehr Zucker, sondern Kochsalz in Wasser lösen. Dieser Prozess beschäftigt sich, wie auch der des Lösens von Zucker in Wasser, mit der Thematik des Löseprozesses. Die Situation ist aber

an die Möglichkeiten der Schülerinnen und Schüler angepasst und kann das Potential der ChemSense Animator Software deutlich besser ausschöpfen. Zusätzlich kann hierbei untersucht werden, inwiefern das Konzept der Ionen verstanden wurde.

Die zuvor beschriebenen Vorstellungen aus der Literatur basierten auf einem vorgegebenen Startbild, oder einer beschriebenen Situation, also gegebenen fachlichen Vorgaben. Im Falle eines Experiments wurde auch dieses manchmal vorgeführt. Anders als in den vorherigen Studien soll in dieser Erhebung auf Vorgaben verzichtet werden. Damit werden die Schülerinnen und Schüler nicht schon durch die Vorgaben in eine bestimmte Richtung manövriert, sondern es können zusätzlich zum Löseprozess an sich die Vorstellungen zum Aufbau von Wasser und Kochsalz erhoben werden. Dies ist bei einer Vorgabe der Startsituation nicht möglich. Es ist wichtig auch über diese Aspekte Informationen zu haben, da ein angemessenes Verständnis essentiell für ein fachlich belastbares Konzeptverständnis des Löseprozesses ist. Aus diesem Grund wurde für die Erhebung in Klasse 10 nur ein weißer Bildschirm mit dem Arbeitsauftrag als Startbildschirm vorgegeben (Abbildung 13).



**Abbildung 13: Startbildschirm für die Befragung in Klasse 10**

Da die Schülerinnen und Schüler am Ende der zehnten Klasse waren, sollten sie gemäß des Kerncurriculums über die in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Kompetenzen verfügen. Auf dieser Grundlage sollten die Schülerinnen und Schüler zunächst einen Kochsalzkristall, bestehend aus Natrium- und Chlorid-Ionen zeichnen und diesen mit Wasser-Molekülen umgeben. Daran sollte sich über die Anordnung von Wasser-Molekülen um die Ionen des Natriumchlorid-Kristalls eine Darstellung zwischenmolekularer Kräfte anschließen. Eventuell können hier sogar über

die Teilchengeschwindigkeit energetische Aspekte des Löseprozesses dargestellt werden. Beim Lösen von Kochsalz in Wasser ist damit aber nur bedingt zu rechnen, da hierbei mit bloßem Auge und nur den Händen als Temperaturmesser kaum eine Veränderung der Temperatur wahrzunehmen ist. Nach dem Herauslösen einiger Ionen vom äußeren Rand des Kristalls sollte sich eine Hydrathülle vollständig ausbilden und sich die so solvatisierten Ionen in dem Zeichenbereich verteilen, also in der Lösung wegdiffundieren.

Da keine Vorgaben über die Darstellungsmethode gemacht werden (siehe 4.5) könnte es auch dazu kommen, dass sich auch hier die Schülerinnen und Schüler einer anderen Darstellungsebene zuwenden. Wie auch die Siebtklässler könnten hier die Lernenden sich auf eine Darstellung über ein einfaches Teilchenmodell zurückziehen. Theoretisch ist auch eine Darstellung auf Stoffebene, wie sie auch in verschiedenen bekannten Vorstellungen (Kapitel 2.5) erwähnt wird möglich. Bei den Möglichkeiten, die den Schülerinnen und Schülern über die Software zur Verfügung stehen, bietet sich allerdings eine Darstellung auf Teilchenebene an.

### 4.3 Gütekriterien

Im Vergleich zu rein quantitativer Forschung können die bekannten Gütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität nicht einfach übernommen werden. Sie sind auch in dem Sinne nicht angemessen für diese Untersuchung, da mit dem Forschungsinstrument die persönlichen Vorstellungen eines jeden einzelnen Befragten erhoben werden soll. Die erstellten Animationen geben nur eine momentane Auffassung des Verständnisses und der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler wieder. Eine Wiederholung der Studie mit exakt gleichen Ergebnissen ist daher nicht möglich. Mayring (2014) nennt spezifische Qualitätsmerkmale qualitativer Forschung. Diese sollen auch auf diese Arbeit angewandt werden: Verfahrensdokumentation, argumentative Interpretationsabsicherung, Nähe zum Gegenstand, Regelgeleitetheit, kommunikative Validierung und Triangulation (Mayring, 2002, S. 144 ff., 2014, S. 109).

Im Gegensatz zu quantitativer Forschung ist das Vorgehen bei qualitativer Forschung spezifisch auf den Forschungsgegenstand ausgerichtet. Im hier vorliegenden Fall werden mithilfe von Animationen Schülervorstellungen erhoben. Das Vorgehen zur Erhebung der Vorstellungen wird im Rahmen dieser Arbeit auf der Grundlage bisheriger Erkenntnisse beschrieben. Damit die ablaufenden Entscheidungsprozesse auch für andere nachvollziehbar sind, werden diese Prozesse, die bisherigen Erkenntnisse aus der Forschung und Pilotierung berücksichtigen, sowie der inhaltliche Themenkomplex möglichst genau beschrieben. Dazu gehört auch, dass Verfahrensänderungen, die sich beispielsweise aus einer Pilotierung ergeben, beschrieben und diskutiert werden. Ein zentraler Punkt dabei ist die Auswertung der von den Schülerinnen und

Schülern erstellten Animationen. Hierbei spielt die argumentative Interpretationsabsicherung eine wichtige Rolle und werden möglichst nachvollziehbar und gegebenenfalls mithilfe von Fallbeispielen beschrieben und begründet. Mit dem Einbezug theoretischer Grundlagen und dem Vergleich mit Fachliteratur werden die Ergebnisse weiterhin in einen Kontext mit bestehenden Erkenntnissen gesetzt und damit ebenfalls validiert.

Bei der Untersuchung wird besonderer Wert auf die Regelgeleitetheit gelegt. Dabei soll das Vorgehen transparent und nachvollziehbar beschrieben und durchgeführt werden. In einem nach Mayring (2010) aufgebauten Verfahren werden dabei zur Analyse der Daten Kategorien entwickelt. Diese werden immer wieder modifiziert und ergänzt bis ein vollständiges System entstanden ist. Diese Kategorien werden mit Literaturdaten verglichen und in Absprache mit einer Expertengruppe diskutiert.

Mit der Methode der Erstellung von Animationen ist auch die Nähe zum Gegenstand gegeben. Das Erstellen von Animationen aufbauend auf einem gegebenen Startbildschirm ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern nach eigenem Ermessen ihre Gedanken und Vorstellungen zu visualisieren.

Das Gütekriterium der kommunikativen Validierung meint, dass die Ergebnisse der Erhebung den Teilnehmenden noch einmal präsentiert werden, damit diese bestätigen können, dass sie ihre Gedanken und Vorstellungen wiedergeben. Dies bietet eine zusätzliche Absicherung, kann im Rahmen dieser Untersuchung allerdings nur direkt während der Untersuchung selbst geschehen, da die Daten anonym erhoben werden und eine Rückführung zu den Befragten im Nachhinein nicht mehr möglich ist. Das Gütekriterium wird dadurch erfüllt, dass die Teilnehmer sich zum Schluss ihres Erstellungsprozesses die Animation noch einmal anschauen und diese gegebenenfalls noch einmal bearbeiten, falls ihre Vorstellungen doch nicht richtig wiedergegeben werden. Die Schülerinnen und Schüler hatten zudem die Möglichkeit über das aufgenommene Gespräch Anmerkungen zu Programm, Durchführung oder ihren Animationen zu geben.

Auch das Kriterium der Triangulation wird durch die Methode erfüllt. Mit der Bearbeitung einer Einführungsaufgabe, der eigentlichen Erstellung und dem darauf folgenden Gespräch zwischen Forscher und Teilnehmendem werden zwar inhaltlich ähnliche, aber dennoch nicht deckungsgleiche Sichtweisen auf die Fragestellungen genommen. Die unterschiedlichen Aspekte der Erhebung ergänzen sich so und erlauben einen detaillierten Einblick in die Fähigkeiten und Vorstellungen der Befragten. Außerdem werden im Rahmen der Analyse qualitative und quantitative Verfahren angewandt, was einen unterschiedlichen Zugriff auf die Ergebnisse

ermöglicht. Auch so lassen sich ergänzende Sichtweisen im Rahmen dieser Erhebung berücksichtigen.

Damit das Forschungsinstrument auch dem Gütekriterium der Reliabilität genügt, fand eine Gruppendiskussion mit Doktoranden und Dozenten der Chemiedidaktik über die Methoden, die erhobenen Daten und deren Auswertung statt. Dabei wurden ebenso die Kategorien, die zur Auswertung verwendet wurden, besprochen, diskutiert und gegebenenfalls weiterentwickelt. Gemäß Steinke (2004) stellt dies einen diskursiven Weg dar, Inter-Subjektivität und Verständlichkeit herzustellen (Steinke, 2004, S. 187).

#### **4.4 Pilotierung**

Die Pilotierung wurde an einem niedersächsischen Gymnasium durchgeführt. Dabei handelte es sich um das gleiche Gymnasium, an dem auch später die eigentliche Erhebung durchgeführt werden sollte. Ein damit verbundener Vorteil war, dass sich nur die befragten Schülergruppen ändern würden, nicht aber schulinterne Curricula. Die Erhebung fand am Ende des Schuljahres kurz vor den Sommerferien statt. Zur Erläuterung des Programms wurde eine Einführungsaufgabe präsentiert. Bei der eigentlichen Erhebung wurde der unter Abschnitt 4.2.1 beschriebene Startbildschirm verwendet. Für die Bearbeitung wurden keine Vorgaben gemacht, was den zeitlichen Umfang oder die Mindestanzahl an Frames anging. Auch wenn die Schülerinnen und Schüler schon während der Erstellung die Gelegenheit hatten ihr Handeln zu beschreiben und dazu auch ermuntert wurden, wurde im Anschluss ein kurzes Interview anhand der präsentierten Inhalte geführt, um noch entstehende Unklarheiten zu beseitigen.

##### **4.4.1 Stichprobe und Durchführung**

Im Rahmen der Pilotierung wurden insgesamt 18 Schülerinnen und Schülern befragt. Dabei handelte es sich um eine zufällige Auswahl aus einer 7. Klasse, die durch die betreuende Lehrkraft vorgenommen wurde. Es handelte sich dabei um 13 Schüler und 5 Schülerinnen. Die Erhebung wurde kurz vor den Sommerferien nach den Zeugniskonferenzen durchgeführt, sodass die Befragten keinerlei Notendruck ausgesetzt waren. Ihnen wurde versichert, dass die Befragung freiwillig und anonym war, sodass sie sich ganz auf die Aufgaben konzentrieren konnten, ohne irgendwelche Folgen befürchten zu müssen.

Die Schülerinnen und Schüler wurden einzeln in einem separaten Raum befragt. Nach einer kurzen Begrüßung wurde ihnen zunächst das Programm erläutert. Dafür sollten die Schülerinnen und Schüler eine Einführungsaufgabe bearbeiten, die ihnen die Grundfunktionen des

Programms erläutern sollte. Zusätzlich wurden dabei einige weitere Funktionen des Programms erklärt und gezeigt. Daran anschließend wurde ihnen die eigentliche Aufgabe präsentiert. Für jede Schülerin und jeden Schüler wurde dann eine eigene Datei aufgerufen, die den in Abschnitt 4.2 beschriebenen Startbildschirm beinhaltet und von dem aus die Teilnehmenden ihre Animation erstellen sollten. Die Bild- und Tonaufnahme wurde zu diesem Zeitpunkt gestartet. Letzteres wurde mit der Software Camtasia Studio 8 realisiert (TechSmith, 2017). Diese ermöglichte es das Gespräch zwischen den Teilnehmenden und dem Forscher aufzunehmen und gleichzeitig den Bildschirmausschnitt als Videodatei zu sichern. Vor dem eigentlichen Erstellen der Animation wurde den Schülern angeboten den beschriebenen Startbildschirm mithilfe des Autors zu verändern, damit auch die Startsituation den Schülervorstellungen entsprach.

Das an die Erstellung anschließende Interview wurde ausgerichtet an den erstellten Animationen. Da die Reichweite der möglichen Darstellungen sehr groß war, wurden im Vorfeld keine Fragen festgelegt, die einem jeden Befragten gestellt wurde. Als Hinweis dienten dem Forscher einige Stichpunkte die möglicherweise zu beobachten sein könnten. Dazu gehörten Fragen nach der Bedeutung von Teilchendrehung oder -vergrößerung, der Reihenfolge in der die Teilnehmer etwas darstellen oder was mit der Kollision gemeint ist. Abschließend wurden die Schülerinnen und Schüler auch noch zu ihrer Einstellung gegenüber einem solchen Programm gefragt.

#### **4.4.2 Auswertung der Pilotierung und Anpassungen für die Hauptstudie**

Nach der Erhebung der Daten wurde in einer Gruppe aus Doktorandinnen und Doktoranden, sowie Dozenten aus der Chemiedidaktik über das Verfahren, die Ergebnisse und die Auswertung diskutiert. Als wichtiges Ergebnis der Daten konnte festgehalten werden, dass die bisherige Durchführung zielführend war. Über die Einführungsaufgabe konnten die relevanten Funktionen demonstriert werden und die Schülerinnen und Schüler konnten darauf aufbauend die Aufgabe bewältigen. Der vorgegebene Startbildschirm war verständlich aufgebaut und keiner der Befragten hatte Änderungswünsche. Mit dem gegebenen Startbildschirm konnten die Schülerinnen und Schüler in einer angemessenen Zeit eine Animation erstellen. Die Pilotierung hat außerdem ergeben, dass die Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse so gut und flüssig mit dem Programm arbeiten konnten, dass auch der Ansatz des leeren Startbildschirms im Fall der Erhebung in Klasse 10 als angemessen angesehen werden konnte.

Bis zu dieser Stelle wurden keine Probleme bei dem Vorgehen festgestellt. Im Fall vom Interview hingegen wurde mit den Promovierenden und den Dozenten aus der Chemiedidaktik ein etwas strukturierter Ansatz vorgeschlagen und ausgearbeitet. Auch wenn sich die Fragen

nach wie vor an den präsentierten Inhalten orientieren sollte und damit ein einheitliches Fragensortiment ungeeignet war, sollten einige wichtige Fragen doch unbedingt gestellt werden. Dazu gehörte unter anderem die Aufforderung den Löseprozess als Ganzes noch einmal in Worten zu beschreiben, sofern der Befragte das nicht, von sich aus schon getan hatte. Für den Fall der Zehntklässler wurden aufbauend auf den in der Diskussionsrunde vorgestellten und diskutierten Erkenntnissen aus bisherigen Studien noch wahrscheinliche Konzepte antizipiert und daraus konkrete Interviewfragen formuliert, um einige Vorstellungen auch im Zweifelsfall nachträglich erfassen zu können. So sollten die Schülerinnen und Schüler im Rahmen der zweiten Erhebung die folgenden Fragen beantworten:

Für den Fall, dass sich die Animation nur auf einzelne „Salz-Moleküle“ (zweiatomige Verbindungen) beziehen und diese nicht schon ein Salzkristall oder auf Stoffebene beschreiben wurden:

- Wie sieht der Rest eines Salzkristalls oder allgemein der Kristall auf Teilchenebene aus?
- Was hält in dem Fall die einzelnen „Moleküle“ zusammen?
- Was passiert mit diesen Anziehungskräften während des Löseprozesses?
- Wie sieht die Bindungssituation zwischen den Atomen des Wassermoleküls aus und welche Rolle spielt der Dipolcharakter des Wassermoleküls beim Löseprozess?

Mit diesen Fragen soll für den Fall, dass die Schülerinnen und Schüler nur auf einzelne Aspekte des Löseprozesses eingehen, gesorgt werden, dass ein etwas erweiterter Rahmen betrachtet wird.

## 4.5 Durchführung

Die Erhebung kurz vor den Sommerferien in den Jahren 2016 und 2017 jeweils nach den Notenkonferenzen durchgeführt. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden zu Beginn der Erhebung darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig und anonym ist und es im Rahmen der Erhebung keine falschen Antworten gäbe, sondern alleine um die Darstellung ihrer Vorstellungen gehe. Die Aufgaben wurden von den Schülerinnen und Schülern unter Anweisung und Aufsicht des Autors in einem separaten Raum bearbeitet. Der Erstellungsprozess und das anschließende Interview wird mithilfe der Camtasia-Software, der Firma TechSmith (TechSmith, 2017) aufgezeichnet.

Es wurde immer zunächst die Einführungsaufgabe gestellt und bearbeitet. Dafür bekamen die Teilnehmer einen Bildschirm vorgegeben wie er in Abbildung 14 zu sehen ist. Der rote Kreis sollte in kleinen Schritten einmal im Kreis von der 1 über 2, 3 bis hin zur 4 bewegt werden. Die Intention dabei war, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl die grundlegenden Funktionen des Programms, wie auch die Erstellung einer Animation verstehen sollten.

Dies kann mit dieser Aufgabe erreicht werden, da die Befragten gleich an diesem Beispiel sehen konnten welche Auswirkungen große oder kleine Verschiebungen des Kreises auf die fertige Animation hatten. Darüber hinaus wurden den Teilnehmenden die folgenden Befehle und Funktionen im Rahmen der Programmeinweisung erklärt:

- Klasse 7: Hier wurden nur grundlegende Funktionen wie Verschieben, Vergrößern, Verkleinern, Verfärben, Gruppieren von mehreren Teilchen und Auflösung der Gruppe, Markieren und Verschieben mehrerer Teilchen erläutert.
- Klasse 10: Zusätzlich zu den oben genannten Befehlen wurden alle anderen Funktionen des Programms erklärt, wie sie in den Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 beschrieben wurden. Dies reichte also vom Einzeichnen einfacher Atome und Ionen und Texte bis hin zur Funktion der organischen cyclischen Verbindungen. Bei letzteren wurde zudem der Hinweis gegeben, dass diese auch als geometrische Figuren genutzt werden können, um eine Darstellung auf Teilchenebene nicht von vornherein auszuschließen.

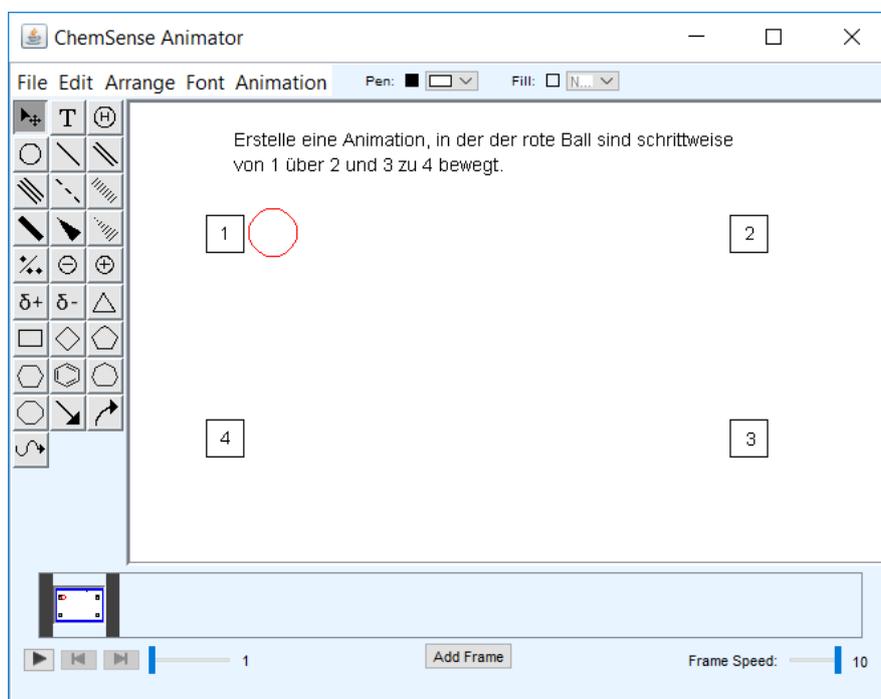


Abbildung 14: Einführungsaufgabe zur Erläuterung der Programmfunktionen

Diese zu Beginn genannten Befehle wurden nach Abstimmung mit Doktoranden und Dozenten aus der Chemiedidaktik ausgewählt, da sie aller Wahrscheinlichkeit nach am ehesten genutzt werden würde. Für Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe, mit einem vorgegebenen Startbildschirm, der bereits Wasser- und Zuckerteilchen beinhaltete, wurde es als eher unwahrscheinlich angesehen, dass die Befragten weitere Teilchen, oder gar Atome einzeichnen würden. Letzte waren nach Absprache mit der Lehrkraft auch noch nicht im Unterricht behandelt worden, was diese Wahrscheinlichkeit noch weiter herabsetzte. Allen Teilnehmenden wurde dabei dennoch gesagt, dass sie gerne nach Hilfe bei der Benutzung des Programms fragen dürften, falls ihnen Funktionen oder Darstellungsmöglichkeiten fehlten.

Der Ansatz bei den Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse war ein ähnlicher. Nach Rücksprache mit den Lehrern sollten die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein das volle Spektrum der Funktionen des Programms nutzen zu können, mit der Ausnahme der cyclischen organischen Verbindungen. Nun diese aber von vornherein auszulassen und nicht mit zu beschreiben, vor allem mit dem Blick auf eine mögliche Darstellung über ein einfaches Teilchenmodell, erschien hierbei nicht sinnvoll. Daher wurden vorsorglich alle Funktionen erklärt, wobei auch hier der Hinweis gegeben wurde, dass im Falle von Problemen oder Darstellungsschwierigkeiten der Forscher helfen und beraten würde.

Nachdem diese vorbereitenden Schritte abgeschlossen wurden, wurde die eigentliche Aufgabe präsentiert. Dabei wurde zunächst jedem und jeder Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben den Startbildschirm nach eigenen Wünschen und Bedürfnissen anzupassen, wobei hier der Forscher seine Unterstützung angeboten hat. Mit dem Angebot Fragen zur Durchführung der Erhebung und zur Auswertung zu beantworten und dem Hinweis über die Gründe für die Erhebung sollte auch für die Teilnehmenden eine Interessenannäherung und größtmögliche Offenheit und geschaffen werden. Die Schülerinnen und Schüler sollten das Lösen von Zucker (Klasse 7) oder Kochsalz (Klasse 10) mithilfe der Animation darstellen. Den Teilnehmenden wurde die Aufgabe erklärt und sie wurden nochmal darauf hingewiesen, dass sie zum einen gerne auch schon während der Erstellung ihre Gedanken äußern können und zum anderen, dass ihnen im Fall technischer Probleme oder Schwierigkeiten bei der Bedienung des Programms der Forscher helfen würde. Außerdem wurde ihnen gesagt, dass dieser Teil aufgenommen werde, aber wiederholt betont, dass die Erhebung anonym ist und nicht zu ihnen zurück verfolgbar sei. Während der Bearbeitung hatte sich der Forscher bei gegebenenfalls mehrdeutigen Stellen Fragen notiert, auf die im Interview noch einmal eingegangen werden sollte.

Nachdem die Teilnehmenden ihre Animation fertiggestellt hatten und dies bestätigt hatten, wurde ein kurzes Interview geführt, um mehrdeutige Darstellungen besprechen zu können.

Wie aus dem Theorieteil dieser Arbeit zu entnehmen ist, sind die möglichen Konzepte, die bei den Schülerinnen und Schülern vorhanden sind, sehr vielfältig und ein einheitlicher Fragebogen konnte daher nicht im Vorfeld erstellt werden. Das Interview sollte sich daher auf die erstellten Animationen beziehen, um unklare oder unvollständige Schritte zu besprechen. Abschließend wurden die Schülerinnen und Schüler noch zu ihrer Einstellung zu dem Programm gefragt, um auch eine verbale Einschätzung darüber treffen zu können, ob sie mit dem Programm umgehen können.

#### **4.6 Auswertungsverfahren**

Die Auswertung der im Rahmen dieser Untersuchung erhobenen Daten erfolgt sowohl qualitativ wie auch quantitativ.

Die Interviews, die mit den Schülerinnen und Schülern geführt wurden, wurden im Anschluss an die Erhebung transkribiert. Dabei wurde sinngemäß transkribiert, sodass beispielsweise inhaltslose Füllwörter und nicht sinnerweiternde Wortdopplungen ausgelassen wurden. Eine vollständige Angabe der verwendeten Transkriptionsregeln ist im Anhang A zu finden.

Im Zentrum der Auswertung stehen die qualitative, inhaltliche Auswertung der Interviews und Animationen sowie deren Erstellungsvideos. Im Fall der Animationen gibt es bisher noch kein vorgegebenes Auswertungsschema, weshalb hier ein eigenes Schema aufgestellt wurde. Dies stellt im Sinne der qualitativen Forschung ein systematisches und regelgeleitetes Vorgehen dar, das sich an einem inhaltsorientierten Ablaufmodell (Mayring, 2010) orientiert.

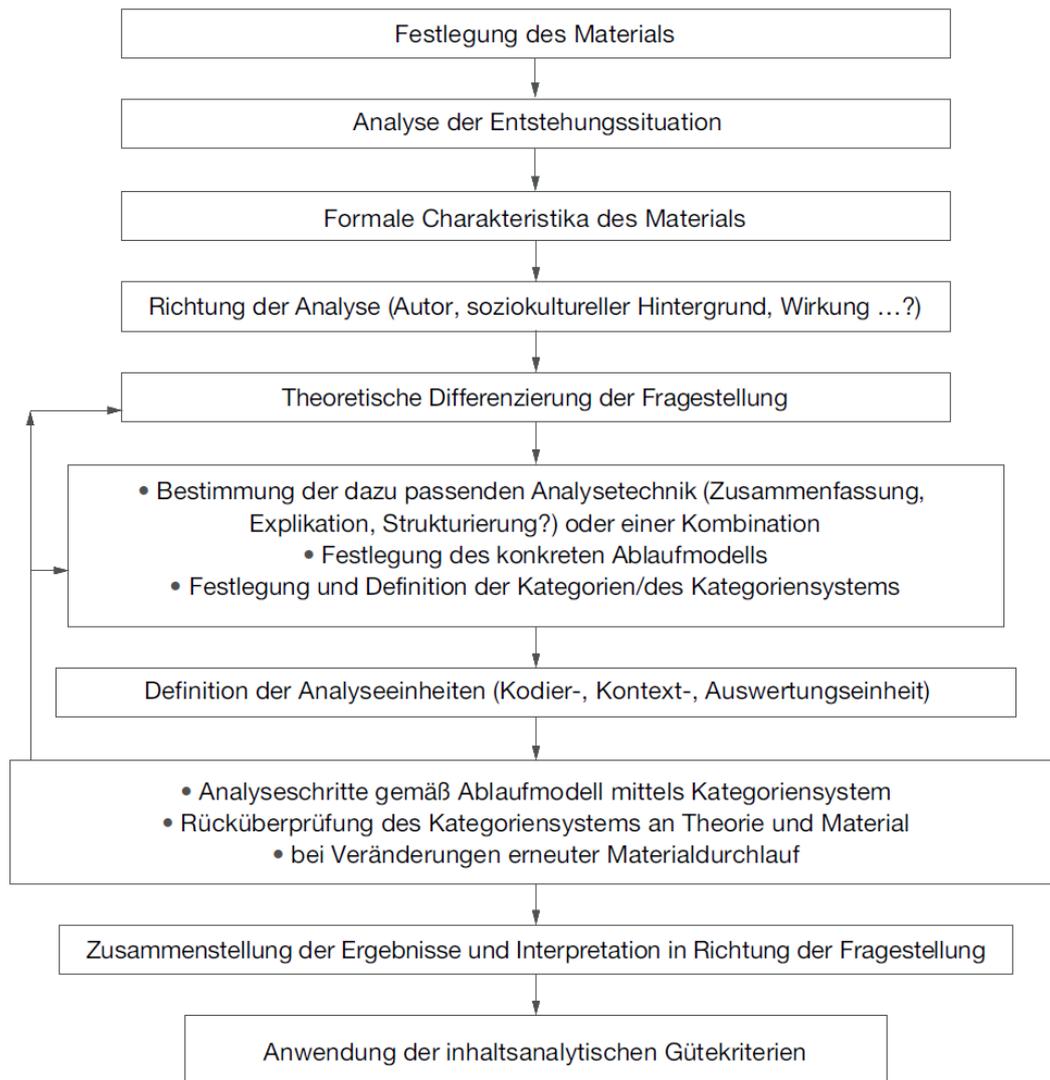


Abbildung 15: Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufschema nach (Mayring, 2010, S. 60)

Das zu analysierende Material besteht aus den von den Schülerinnen und Schülern erstellten Animationen zum Löseprozess und den geführten Interviews. Bei der Betrachtung der Animationen werden zusätzlich die Erstellungsvideos betrachtet, um auch einen Einblick in die Nutzung des Programms ChemSense Animator zu gelangen. Das Ziel der Auswertung ist es, einen möglichst umfassenden Einblick in die konzeptionellen Gedanken der Teilnehmenden zu erhalten. Für die Auswertung werden zum einen die verschriftlichten Propositionen herangezogen, die nach Kategorien sortiert und zusammengefasst werden. Dafür werden die Propositionen nach verwendeten Begriffen geordnet. Dies wird für alle Interviews gemacht und die Ergebnisse dann geordnet zusammengeführt. Dies führt zu einer ersten Zusammenfassung, die auf inhaltlicher Ebene ähnliche Propositionen zusammenfasst. Gleiche und ähnliche Propositionen werden dann in einem so erstellten Kategoriensystem eingeordnet. Für die Animationen werden analog ähnliche und gleiche Aktionen zusammengefasst und so induktiv an den Daten

ein Kategoriensystem erstellt. Der Begriff *Aktionen* meint dabei Handlungen die an den Darstellern (also gezeichneten Objekten) vorgenommen werden oder das Hinzufügen und Löschen von dargestellten Objekten. Anschließend werden alle Daten nach dem sich so entwickelnden System analysiert, bis alle Propositionen und Aktionen im Rahmen der Animationen in das Kategoriensystem eingeordnet werden. Das so erstellte Kategoriensystem wird mit Experten (hier Dozenten aus der Chemiedidaktik und Doktoranden) evaluiert. Anhand des fertigen Kategoriensystems werden dann alle Animationen und Interviews analysiert und deren Inhalte kodiert. Letzteres wird mit der Software MAXQDA (VERBI GmbH, 2018) realisiert. Auf der Grundlage dieser Analyse findet im Anschluss ein Vergleich mit theoretischen Grundlagen und bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur statt.

Gemäß des Schemas von Mayring ist es neben der Definition des Materials wichtig zu beschreiben, wie die Analyseeinheiten, also die minimalen und maximalen Einheiten die codiert werden dürfen, definiert sind. Im Fall der Interviews ist die minimale Einheit, die kodiert werden darf (die Kodiereinheit) eine Proposition, während die maximale zu kodierende Einheit (Kontexteinheit) aus dem ganzen Material bestehen darf.

Im Fall der Animationen wird zwischen zwei Materialteilen unterschieden. Auf der einen Seite steht das aufgenommene Erstellungsvideo. Hier können alle Arbeitsschritte und Handlungen beobachtet werden, die der Teilnehmende getätigt hat. Dies beinhaltet auch Aspekte, die in der finalen Animation nicht zu sehen sind. In diesen Filmen besteht die Kodiereinheit aus Abschnitten, die mindestens 1 Sekunde dauern. Als Kontexteinheit kann auch hier das gesamte Video codiert werden. Betrachtet man die erstellten Animationen, ist der Rahmen Zeiteinheit von einer Sekunde viel zu lang. Innerhalb dieser Sekunde werden mehrere Frames wiedergegeben, was vor allem bei Animationen mit wenigen Frames ein sinnvolles Kodieren unmöglich macht. Daher wird in diesem Fall eine Kodiereinheit als das Abspielen eines einzelnen Frames angesehen. Dies ermöglicht es alle Animationen gleichermaßen zu kodieren, auch wenn die Schülerinnen oder Schüler die Abspielgeschwindigkeit verändern sollten. Als Kontexteinheit wird aber auch hier die gesamte Animation angesehen.

#### **4.6.1 Kriterienkatalog Löslichkeit**

Die in der folgenden Tabelle vorgestellten Kategorien wurden bei der Analyse aller Interviews und Animationen verwendet. Um Inhalte aus Animationen und Interviews besser voneinander trennen zu können, wurden Kategorien, die sich auf die Interviews beziehen mit „(I)“ gekennzeichnet, während die analogen Kategorien bezüglich der Animationen mit „(A)“ gekennzeichnet wurden.

Die letzte Spalte enthält Ankerbeispiele, an denen sich die Kodierung ausrichtet. Im Fall der mit „A“ gekennzeichneten Kategorien wird ein Dateiname und ein Zeitintervall angegeben, in dem eine beispielhafte Kodierung zu sehen ist. Dabei bezieht sich die Bezeichnung „VP03“ auf das Transkript von Teilnehmer 03, „VP15A“ auf die fertige Animation von Teilnehmer 15 und „VP16-Camtasia-Animation“ auf das Erstellungsvideo von Teilnehmer 16. Im ersten Fall wird demnach eine Textstelle angegeben (mit den Zeilennummern aus dem jeweiligen MAXQDA-Projekt, siehe CD im Anhang) und in den anderen beiden Fällen eine Zeitintervall mit einer kurzen schriftlichen Beschreibung. Die in diesem Abschnitt enthaltene Tabelle 5 führt Kategorien auf, die sich mit den fachlichen Inhalten und den Beschreibungen des Löseprozesses beschäftigen, wie sie die Schülerinnen und Schüler dargestellt haben.

Für eine bessere Übersicht bei der Codierung wurden die Codes in verschiedene Code-Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe „Beschreibung des Löseprozesses“ enthält Codes, die sich explizit mit dem Löseprozess beschäftigen. Dies sind sowohl Codes wie beispielsweise die Anlagerung von Wasser an den zu lösenden Stoff oder das Aufbrechen der Gitterstruktur, also Codes, die auf ein fachlich korrektes Verständnis des Löseprozesses (siehe Kapitel 2.3) hindeuten, wie auch Codes denen eine fachlich fehlerhafte Vorstellung zugrunde liegt. Ein Beispiel dafür wäre die Vorstellung einer chemischen Reaktion zwischen dem zu lösenden Stoff und dem Lösemittel Wasser.

**Tabelle 5: Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Beschreibung des Löseprozesses**

Liste der Codes	Beispiele
Beschreibung des Löseprozesses	
Anlagern von Wasser-Molekülen an Zucker/Kochsalz	
Anlagerung von Wasser (A)	VP41-Camtasia-Animation: 00:13:58.6-00:15:52.2
Anlagerung von Wasser (I)	VP62 (Z6): B: Ja, damit das so da rein geht [B verschiebt mehrere Wasserteilchen an ein Zuckerteilchen].
Aufbrechen des Gitters	
Gitter aufbrechen (A)	VP62-Camtasia-Animation: 00:02:45.9-00:02:58.5
Gitter aufbrechen (I)	VP62 (Z66): B: Ja so, dass die Wasserteilchen das so umschließen und dann rausnehmen, also vom Rest teilen.
Ausbilden einer Hydrathülle	
Hydrathülle (A)	VP62-Camtasia-Animation: 00:26:39.9-00:27:03.7

Liste der Codes	Beispiele
Hydrathülle (I)	VP62 (Z66): B: Ja so, dass die Wasserteilchen das so umschließen
Chemische Reaktion	
Austauschreaktion	
Austauschreaktion (A)	VP34-Camtasia-Animation: 00:12:03.3-00:13:48-.
Austauschreaktion (I)	VP34 (Z45-46): B: Also die [Das Natrium-Chlor-Molekül] trennen sich nun auch einmal. [B hebt bisher aber nur die Gruppierung auf.] (-) Das Chlor nach hier. [Das Chlor-Atom wird verschoben, das Natrium-Atom mit der restlichen Bindung bleibt zurück.] (10s) So sind die jetzt wieder gekoppelt, oder noch nicht. [Natrium- und Wasserstoff-Atom werden durch eine Bindung verbunden und die Sauerstoff-Wasserstoff-Gruppe wird mit dem Chlor-Atom verbunden.]
Bindungssituation	
Molekülaufbau (I)	VP41 (Z302): B: Das ist irgendwie /. [B verschiebt im Natrium-Sauerstoff-Wasserstoff-Molekül das Sauerstoff-Atom so, dass ein lineares Molekül entsteht.] Gerade müsste das sein.
Ionenbindung (I)	VP41 (Z167): B: Dass ich Sauerstoff mit Natrium verbindet. Dann entstehen da ja Ionenbindungen, oder nicht?
Elektronenbindung (I)	VP31 (Z97-106): [...] I: Also hast du da eine Vorstellung, woraus die Bindung /. B: Elektronenbildung.
Chemische Reaktion (A)	VP40-Camtasia-Animation: 00:07:56.5-00:08:49.4
Chemische Reaktion (I)	VP42 (26-28): [...] B: So. [B hat nun auch die Einfachbindungen zwischen den Wasserstoff- und dem Sauerstoff-Ion im Wassermolekül gelöscht.] I: Was ist jetzt mit den ganzen Bindungen passiert? B: Ja, genau. Die wurden aufgelöst. Weil wir ja neue - ich nenne es mal - neue Stoffe entstehen. [...]
Chemische Reaktionen laufen in Schritten ab	

Liste der Codes	Beispiele
Ablauf in Schritten (A)	VP31-Camtasia-Animation: 00:14:41.4-00:15:30.6
Ablauf in Schritten (I)	VP39 (Z101): [...] Und dann haben wir da dieses einzelne Na mit dem einen Elektron. (-) Vielleicht sollte ich nochmal /. Ach egal. Ich erzähle ja die ganze Zeit. Also das [Natrium-Atom mit dargestelltem freien Elektron in Zeile 2] und das [Natrium-Atom mit dargestelltem freien Elektron in Zeile 3] ist dasselbe. Und das würde sich, meiner Hypothese nach (-) wieder das Wasserstoff-Atom klauen.
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein	
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein (A)	VP37-Camtasia-Animation: 00:09:08.0-00:11:26.1
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein (I)	VP37 (Z44-45): I: Was machst du jetzt noch nachträglich? [B ist nochmal zu Frame 1 gegangen und hat ein weiteres Chlor-Atom eingezeichnet und ist gerade dabei ein Natrium-Atom einzuzeichnen.] B: Nachzählen ob ich überhaupt genügend hatte, und davon hatte ich 5 [Natrium-Chlor-Moleküle] und von dem anderen 6 [Wasser-Moleküle].
Es bilden sich Ionen	
Es bilden sich Ionen (A)	VP31-Camtasia-Animation: 00:11:31.2-00:11:39.4
Es bilden sich Ionen (I)	VP31 (Z31-34): I: Was hast du da jetzt gezeichnet? B: Cl-Minus. [B hat ein Chlor-Atom gelöscht und es durch ein Chlorid-Ion ersetzt.] I: Ok. Und wo kommt das jetzt auf einmal her? B: Das kommt, weil die sich wahrscheinlich miteinander verbinden. Das H mit dem Cl.
Keine Reaktion zwischen Zucker/Kochsalz und Wasser (I)	VP09 (Z43): B: Bei Wasser und Zucker löst sich der Zucker nur auf aber die Teilchen verschmelzen jetzt nicht direkt.
Ziel: Edelgaskonfiguration (I)	VP34 (Z102): B: Also die Bindungen werden halt aufgehoben, weil Chlor eine größere Elektronegativität hat und dann (-) es ist ja immer so, die wollen sich ja jeweils ergänzen, dass sie zum Edelgas werden.

Liste der Codes	Beispiele
Der zu lösende Stoff verschwindet (I)	VP60 (Z40): B: Dann wird das halt immer/ Dass sich das immer weiter zusammen wird, dass das dann eine Masse ist. Dass der Zucker sich dann aufgelöst hat, dass das dann nur noch Wasser ist.
Rückstand	
Rückstand: undefinierbarer Haufen (A)	VP60-Camtasia-Aniomation: 00:08:34.0-00:12:06.0
Rückstand: Wasserteilchen (I)	VP13 (Z32): B: Zunächst hat der Zucker sich halt aufgelöst und dann wurde das Wasser sozusagen hart und eine feste, weiße Substanz. [...]
Rückstand: Zuckerteilchen (A)	VP06-Camtasia-Animation: 00:03:42.2-00:10:32.2
Rückstand: Zucker-/Salzkristalle (I)	VP06 (Z110): B: Also, wenn die so geordnet sind und sich so berühren ist das sozusagen ein Festzustand. Und da das Wasser ja verdunstet und (..) dann wird der Zucker halt zu einem Kristall so richtig fest.
Teilchen bilden sich aus dem Stoff beim Lösen (I)	VP54 (Z23): B: Ja, halt reiner Zucker. (11s) Wenn das dann so ganz ganz kleine Zuckerkörnchen oder halt Partikel sind, die dann zusammen zu einem Zuckerkorn, was man dann auch kaufen kann so, bilden. Dann würde ich sagen, dass wenn ein so ein Zuckerkorn ins Wasser fällt, dass die sich dann aufteilen. Und diese Partikel sind dann so klein, dass man die nicht mehr sieht. [...]
Vermischen heißt Lösen	
Vermischen heißt Lösen (I)	VP02 (Z9): B: Also, ich glaube, dass diese Was/ diese Zuckerteilchen sich mit den Wasserteilchen vermischen.
Vermischen ist die Kombination von Zucker- und Wassermolekülen	VP07 (Z35-36): I: Also sind die in diesem Zustand [Wasser- und Zuckerteilchen liegen noch nebeneinander.] jetzt gerade schon vermischt, oder ist vermischt so, wenn das so übereinander ist? B: Wenn die übereinander sind.

Liste der Codes	Beispiele
Dargestellt durch überlagerte Teilchen (I)	VP51 (Z29-32): I: [...] Da hast du Zucker- und Wasserteilchen übereinander gelegt. B: Mhm (bejahend) I: Hat das eine Bedeutung? B: Also vielleicht so ein bisschen, dass das sich halt so vermischt. Dass es nicht/ Halt Zucker so einzeln bleibt, sondern halt so ineinander vermischt.
Wegdiffundieren der Solute-Teilchen	
Wegdiffundieren (A)	
Teilchen diffundieren nach und nach weg	VP07-Camtasia-Animation: 00:00:10.8-00:01:37.9
Teilchen diffundieren gleichzeitig weg	VP06-Camtasia-Animation: 00:00:46.0-00:02:00.2
Wegdiffundieren (I)	
Teilchen diffundieren gleichzeitig weg	VP51 (Z21-23): B: Das die [Zuckerteilchen] so ein bisschen auseinander gehen. (-) [B zieht alle Zuckerteilchen ein kleines Stück aus dem Kristall heraus und beginnt sie zu verteilen.] I: Ja. (17s) B: So. Und dann geht das immer mehr auseinander.
Teilchen diffundieren nach und nach weg	VP62 (Z93-94): I: Ok. (-) Du hast jetzt das dargestellt, dass sich die/ Das sieht man auch in der Animation sehr schön. Dass die Zuckerteilchen alle nach und nach rausgenommen werden. Passt das auch nach und nach oder passiert das alles irgendwie gleichzeitig? B: Ich würde sagen die inneren können ja nicht von dem Wasser irgendwie umschlossen werden, weil das muss ja irgendwie nach und nach passieren.
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome	
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome (A)	VP42-Camtasia-Animation: 00:04:30.3-00:05:09.7
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome (I)	VP40 (Z16): B: Ja genau, also ich habe das jetzt /. So wenn das dann in Wasser kommt, erstmal dass die Bindungen getrennt werden.
Zersetzen des Zuckers/Salzes in kleinere Teile	
Zerfall in kleinere Teile (A)	VP54-Camtasia-Animation: 00:08:42.5-00:12:31.1

Liste der Codes	Beispiele
Zerfall in kleinere Teile (I)	VP58 (Z89-90): I: Was passiert jetzt mit den Zuckerteilchen? B: Ach so, die verteilen sich und dann werden die nochmal zerteilt. Oder zersetzt, wie auch immer man das nennt.

Die zweite Code-Gruppe ist vor allem für die Befragung der Schülerinnen und Schüler aus der zehnten Klasse relevant. Während bei der Befragung des siebten Jahrgangs ein Startbildschirm vorgegeben war, wurde der Startbildschirm bei den Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse leer gelassen. Die Befragten müssen also zunächst einmal selbst eine Darstellung für die betreffenden Stoffe Wasser und Kochsalz erstellen. Auch diese Darstellungen wurden betrachtet und gemäß der zugrundeliegenden Konzepte codiert. Diese Kategorien finden sich in der folgenden Tabelle in der Codegruppe „Darstellung von Stoffen“.

**Tabelle 6: Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Darstellung von Stoffen**

Liste der Codes	Beispiele
Darstellung von Stoffen	
Darstellung von Kochsalz	
Andere Darstellungen <sup>8</sup>	
Andere Darstellung (A)	VP33-Camtasia-Animation: 00:03:09.0-00:03:20.1
Andere Darstellung (I)	VP33 (Z29): B: Ja, jetzt muss ich nur noch irgendwie Salz. (-) Keine Ahnung wie. (10s) Was ist wenn ich da einfach "Salz" hinschreibe? [in Form eines Textfeldes]
Bindungssituation im Kochsalz (I)	
Metallbindung	VP34 (137): B: Jetzt ist ja eigentlich, wie (5s) wie auch bei Metallen. Das sind ja ganze Strukturketten. [...]
Kristallgitter/Ionenbindung	VP31 (Z111-114) B: Nein, die kommen alle miteinander verbunden heraus. I: Wie stellst/ Wodurch sind die verbunden? B: Die bilden ein Kristallgitter.

<sup>8</sup> Andere Darstellungen des Kochsalzes, die sich nicht mit den Kategorien „Darstellung als Kristall“ oder „Darstellung als zweiatomiges Molekül“ beschreiben lassen.

Liste der Codes	Beispiele
Einfachbindung	VP42 (Z4): B: Ok, dann brauche ich ja erstmal Kochsalz. Das ist ja NaCl. [B zeichnet ein Natrium- und ein Chlorid-Ion.] Und das ist dann verbunden. [B verbindet das Natrium- und das Chlorid-Ion mit einer Einfachbindung.]
Darstellung als Kristall	
Darstellung als Kristall (A)	VP41-Camtasia-Animation: 00:02:15.3-00:13:42.0
Darstellung als Kristall (I)	VP41 (Z102): B: [...] Moment, ich mache hier noch einen hin. [B möchte den Kristall nun zu einem 4x4-Gitter aus sich abwechselnden Natrium- und Chlor-Atomen ergänzen.] Geht das schon? [B verschiebt eine 2x2-Einheit.] OK. So. [B hat die 2x2-Einheit nun kopiert und eingefügt und fügt sie nun mit Einfachbindungen in den Kristall ein.] (Oh, jetzt komm. ?)(gemurmelt) [B versucht die Atome regelmäßig anzuordnen und die Bindungen jeweils mittig zu platzieren.] Ich müsste eigentlich so eine Art Rechteck ergeben. Aber das könnte man jetzt noch ganz oft ergänzen.
Darstellung als zweiatomige Moleküle	
Darstellung als zweiatomiges Molekül (A)	VP42-Camtasia-Animation: 00:00:22.6-00:00:42.2
Darstellung als zweiatomiges Molekül (I)	VP42 (Z4): B: Ok, dann brauche ich ja erstmal Kochsalz. Das ist ja NaCl. [B zeichnet ein Natrium- und ein Chlorid-Ion.] Und das ist dann verbunden. [B verbindet das Natrium- und das Chlorid-Ion mit einer Einfachbindung.]
Kochsalz besteht aus Atomen	
Kochsalz besteht aus Atomen (A)	VP41-Camtasia-Animation: 00:02:15.3-00:13:42.0
Kochsalz besteht aus Atomen (I)	VP41 (Z20-24): B: Natrium. Da. [B zeichnet ein Natrium-Atom.] I: Und jetzt? B: Chlor. [B zeichnet ein Chlor-Atom.] I: Ich frage einfach jetzt mal. Du hast vorhin bei der Einführung gesagt, dass du Chlorid-Ionen brauchst, gleich. Jetzt hast du keine gezeichnet. B: Ach so, ja. [B bleibt bei Atomen.]

Liste der Codes	Beispiele
Kochsalz besteht aus Ionen	VP42 (Z4): B: Ok, dann brauche ich ja erstmal Kochsalz. Das ist ja NaCl. [B zeichnet ein Natrium- und ein Chlorid-Ion.] Und das ist dann verbunden. [B verbindet das Natrium- und das Chlorid-Ion mit einer Einfachbindung.]
Kochsalz besteht aus Ionen (A)	VP42-Camtasia-Animation: 00:00:22.6-00:00:42.2
Kochsalz besteht aus Ionen (I)	VP42 (Z4): B: Ok, dann brauche ich ja erstmal Kochsalz. Das ist ja NaCl. [B zeichnet ein Natrium- und ein Chlorid-Ion.] [...]
Darstellung von Wasser	
Bindungssituation im Wasser-Molekül	
Bindungswinkel und -länge (A)	VP30-Camtasia-Animation: 00:02:44.6-00:05:06.1
Bindungswinkel und -länge (I)	VP32 (Z60-62): B: Da noch eins hin. [B zeichnet zurzeit Wasser- und Sauerstoff-Atome.] [...] [B verbindet inzwischen je zwei Wasserstoff-Atome über Einfachbindungen mit einem Sauerstoffatom, wobei Bindungslänge und Bindungswinkel variieren.]
Ionenbindung (I)	VP40 (Z77-78): I: Die Striche tatsächlich. Also hier zwischen Chlorid- und Natrium-Ionen hast du ja einen Einfachen Strich. Und bei Wasser ist das auch so. Sind das gleiche Bindungsarten? B: Sind ja Ionenbindungen jeweils.
Wasserstoffbrückenbindungen (I)	VP41 (Z347): B: Das sind Wasserstoffbrückenbindungen [im Wasser-Molekül]
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül	
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül (A)	VP30-Camtasia-Animation: 00:02:44.6-00:05:06.1
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül (I)	VP39 (Z6): B: H. [B zeichnet Wasserstoff-Atome.] Ok, ich mach das mal hier in die Mitte. [B zeichnet das Sauerstoff-Atom zwischen die Wasserstoff-Atome.] (Nicht ganz in der Mitte aber ist ja auch gut. ?)(unv., da sehr schnell und dabei zu leise gesprochen)
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül <sup>9</sup>	

<sup>9</sup> Umfasst alle Beschreibungen des Wasser-Moleküls, die nicht explizit aus zwei mit Einfachbindungen an ein Sauerstoff-Atom gebundenen Wasserstoff-Atomen bestehen.

Liste der Codes	Beispiele
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül (A)	VP40A: 00:00:01.4-00:00:01.7
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül (I)	VP36 (Z52-54): B: So. [B hat nun eine Bindung zwischen den beiden Wasserstoff-Atomen und zusätzlich je eine Bindung zwischen einem Wasserstoff- und dem Sauerstoff-Atom eingezeichnet.] I: Das ist jetzt was? B: Das ist Wasser.

Die nun folgende Tabelle enthält Codes unter der Oberkategorie „Fachliche Inhalte“. Darunter fallen verschiedene Codes, die sich rund um das Thema Löslichkeit drehen, oder gar noch darüber hinaus dargestellt werden, aber nicht speziell mit dem Löseprozess zu tun haben. Das sind beispielsweise Vorstellungen, die sich mit der Eigenbewegung des Wassers beschäftigen, oder mit der Größenänderung von Teilchen beschäftigen.

**Tabelle 7: Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Fachliche Inhalte**

Liste der Codes	Beispiele
Fachliche Inhalte	
Bedingungen für Löslichkeit (I)	
Erhitzen	VP36 (Z87): B: Ja man gibt ja Salz in Wasser dazu. Dann erhitzt man das. Und dann, ich sage mal, sprudelt das im Prinzip so ein bisschen auf. [...]
Rühren	VP34 (Z32): B: Eigentlich brauchen die ja keine zusätzliche Energie. Das löst sich ja einfach nur so, wenn man so rührt.
Begrenzte Löslichkeit (I)	VP43 (30): B: [...] Salz löst sich ja nur in bestimmten Maßen auf. Also wenn ich da zu viel reintue dann löst sich das ja nicht mehr.
Der zu lösende Stoff nimmt das Lösungsmittel auf (I)	VP30 (82-83): I: Was würde vorher mit dem Wasser passieren? B: Von dem Salz aufgenommen werden.
Dichte des zu lösenden Stoffes	
Dichte des zu lösenden Stoffes (A)	VP34-Camtasia-Animation: 00:17:16.1-00:17:51.5

Liste der Codes	Beispiele
Dichte des zu lösenden Stoffes (I)	<p>VP34 (121):</p> <p>B: Eigentlich sollen die halt so mitten drin sein. Ich könnte hier jetzt noch was weiß ich wie viele Wasser-Moleküle noch drum herum machen, also sozusagen normalerweise wie schwer die sind. Also Wasserstoff, müssen wir mal gucken. Natrium ist ja /. Natrium-Wasserstoff ist ja eigentlich wesentlich leichter als Sauerstoff-Chlor und /. Ja theoretisch müsste ja eigentlich das [die hypochlorige Säure] hier drunter [unter der angedeuteten Wasserschicht] sein, weil die [Wasser-Moleküle] ja leichter sind.</p>
Dichte Teilchenpackung (I)	<p>VP53 (Z26-30):</p> <p>B: Dann noch nicht, weil da noch kein Platz ist. Weil die ja noch aneinander sind, die Zuckerteilchen.</p> <p>[...]</p> <p>I: Wie stellst du dir vor, dass die zusammen sind? Hast du da eine Vorstellung schon zu?</p> <p>B: Also nicht ganz zusammen. Aber da ist nicht so viel Platz, dass das Wasser da durch kommt.</p>
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz	
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz (A)	<p>VP03-Camtasia-Animation: 00:18:18.8-00:28:58.6</p>
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz (I)	<p>VP03 (Z12-14):</p> <p>B: Rein theoretisch müsste ich die ganzen tausend Wasserteilchen auch bewegen.</p> <p>I: Ok. Wohin möchtest du die bewegen?</p> <p>B: Ja, die sind ja nicht stumm also die sind ja nicht still, die bewegen sich ja eigentlich immer.</p>
Lösemittel wiegt den zu lösenden Stoff beim Lösen auf (I)	<p>VP62 (69-70):</p> <p>I: Ok. Ist das wichtig, dass das immer genau drei Wasserteilchen [gemeint sind die immer drei Wasserteilchen, die ein Zuckerteilchen aus der Hülle herauslösen.] sind? (-)</p> <p>B: Das ist ja immer die gleiche Menge, die/. Also, das gleiche Gewicht nimmt dann das gleiche Gewicht wieder raus.</p>
Luft zwischen Zucker-/Kochsalz-Kristallen (I)	<p>VP55 (Z88):</p> <p>B: Weil da ja keine Wasserteilchen sind und die müssen da ja hin gehen, sonst wäre da ja nichts außer Luft.</p>

Liste der Codes	Beispiele
Massenverlust (I)	VP 56 (Z52): B: [...] Und hier beginnt das auch schon kleiner zu werden, dass wenn das Wasser die Teile [die Zuckerteilchen] so schrumpfen/Nein, oder die Masse wegnimmt.
Molekülgröße	
Größenänderung der Moleküle bei Aggregatzustandsänderung (I)	
Zucker/Kochsalz	VP09 (Z19-22): I: Und, dass du die [Zuckerteilchen] jetzt größer gezogen hast, heißt dann, dass sie flüssig werden, oder was möchtest du damit sagen? B: Ja, dass sie / weil feste Stoffe brauchen ja nicht so viel Platz. I: Ja. B: Wenn die dann flüssig sind, die brauchen dann ja ein bisschen mehr Platz.
Größenänderung der Moleküle beim Löseprozess (A)	
Zucker/Kochsalz	VP56-Camtasia-Animation: 00:03:57.5-00:08:03.5
Wasser	VP15-Camtasia-Animation: 00:01:16.6-00:11:04.2
Größenänderung der Moleküle beim Löseprozess (I)	
Zucker/Kochsalz	VP56 (Z44): B: [...] Dass es sich so dann auflöst, wenn die immer weiter auseinander gehen. Und dass die Mengen von Wasser die auch immer kleiner werden lassen. Und selbst die Teile hier [die Zuckerteilchen] kleiner werden.
Wasser	VP15 (Z10-14): B: Die Wasserteilchen und die Zuckerteilchen mischen sich so. I: Ach deswegen machst du die Wasserteilchen dann auch ein bisschen größer. B: Ja. I: Also kleiner werdende Zuckerteilchen und größer werdende Wasserteilchen heißt vermischen. B: Ja.
Schmelzen; Zucker/Kochsalz ändert Aggregatzustand zu flüssig (I)	VP09 (Z17): B: Und der Zucker verflüssigt sich ja.
Teilchenbewegung	
Wassermoleküle bewegen sich nicht	
Wasser-Moleküle bewegen sich nicht (A)	VP06-Camtasia-Animation: 00:00:45.7-00:10:49.7

Liste der Codes	Beispiele
Wasser-Moleküle bewegen sich nicht (I)	<p>VP08 (Z19-22)</p> <p>I: Ja ok. Du hast die Wasserteilchen, ich glaube mal abgesehen von einem Moment, wo du (-) ich glaube hier hast du irgendwo mal ein Wasserteilchen hast du mal [...] bewegt und hast dann auch gleich versucht das irgendwie wieder zurückzuschieben. Das hat aber nicht so gut funktioniert, deswegen hast du es dann da gelassen, wo du es hingeschoben hast. [...] Hat das einen Grund wieso du die nicht bewegt hast?</p> <p>B: Ne. Irgendwie hab ich es mir halt so vorgestellt, dass die sich irgendwie nicht bewegen, sondern nur das / nur die Zuckerteilchen.</p>
Ungleichmäßige Teilchenbewegung (I)	<p>VP60 (Z59-69):</p> <p>I: Und um Ende hin/ (-) lass mich nochmal kurz gucken, werden die Bewegungen, die die Teilchen teilweise machen, die werden immer größer.</p> <p>B: Ja.</p> <p>[...]</p> <p>I: Warum ist das so?</p> <p>B: Vielleicht, dass das dann mehr angezogen wird. Und dass sich der Zucker dann schon so ein bisschen auflöst aber das Wasser wird dann immer noch angezogen vom Zucker.</p> <p>I: Und wieso werden dann die Schritte größer?</p> <p>B: Vielleicht, weil das schneller angezogen wird vielleicht.</p>
Gleichmäßige Teilchenbewegung (I)	<p>VP53 (Z7-12):</p> <p>I: [...] Und wieso sind die Sprünge unterschiedlich groß?</p> <p>B: Das hab ich nicht absichtlich gemacht. Ich glaub das ist gleich. Also, das verteilt sich gleichmäßig.</p> <p>I: Auch die ganze Zeit über? (-)</p> <p>[...]</p> <p>B: Also. (-) Ich glaube schon. (-)</p>
Teilchenbewegung ist temperaturabhängig (I)	<p>VP02 (Z68):</p> <p>B: Ja. (4) Weil, wenn man das Wasser ja erhitzt würde sich die ja viel schneller bewegen.</p>
Teilchenbewegung durch Rühren/Schütteln/... (I)	
Verdunsten gehört zum Lösen dazu	
Verdunsten gehört zum Lösen (A)	<p>VP06-Camtasia-Animation: 00:02:54.7-00:10:50.2</p>

Liste der Codes	Beispiele
Verdunsten gehört zum Lösen (I)	VP06 (Z38-40): B: Das Wasser verdunstet, aber / I: Das gehört also immer mit dazu, zum Lösen von Zucker in Wasser? B: Ja.
Wenn man die Lösung erhitzt	VP02 (Z37-38) I: Gehört das immer mit zum Lösen von Zucker in Wasser dazu, dass die Teilchen verdampfen? B: Also das ist nur so wenn man das erhitzt. Also wenn man das zum Beispiel auf eine Heizung stellt, oder so.
Verteilung von Teilchen	
(Gleichmäßige) Verteilung von Atomen/Molekülen/Ionen (A)	VP-Camtasia-Animation: 00:29:19.8-00:29:37.7
(Gleichmäßige) Verteilung von Atomen/Molekülen/Ionen (I)	VP61 (Z36): B: Und da hat sich das [die Zuckerteilchen] verteilt, sodass da überall gleichmäßig das nachher ist.

Die vorletzte Tabelle in diesem Abschnitt beinhaltet Codes, die sich explizit mit der Interaktion von Teilchen beschäftigen. Dies bezieht sich zum einen auf die Interaktion von Teilchen im Sinne eines einfachen Teilchenmodells, wie es in der Befragung der Klasse 7 verwendet wurde. Zum anderen auf die Interaktion von Teilchen im Sinne von Atomen, Ionen oder Molekülen bei der Befragung der Schülerinnen und Schüler aus Klasse 10. Beispielhaft sind hier Vorstellungen zu nennen, die das Überlagern von Teilchen beschreiben, oder Codes zur Zwischenmolekularen Anziehung.

**Tabelle 8: Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Interaktion von Molekülen**

Liste der Codes	Beispiele
Interaktion von Molekülen	
Teilchen berühren sich	
Teilchen berühren sich (A)	VP11-Camtasia-Animation: 00:12:07.0-00:12:08.3
Teilchen berühren sich (I)	VP09 (Z35): B: Verbinden wäre es wenn sie sich antippen, also berühren.
Überlagerung von Teilchen	
Lösemittel und zu lösender Stoff überlagern sich (A)	VP07-Camtasia-Animation: 00:04:29.5-00:04:34.7

Lösemittel und zu lösender Stoff überlagern sich (I)	VP18 (Z47): B: Wenn sie sich überlappen vermischen die sich ja.
Verbinden von Molekülen	
Verbinden von Molekülen (A)	VP54A: 00:00:01.5-00:00:01.7
Verbinden von Molekülen (I)	VP09 (Z33-35): B: Höchstens verbinden die sich. [...] B: Verbinden wäre es wenn sie sich antippen, also berühren.
Verschiedene Teilchen können sich nicht vermischen (I)	VP18 (Z47): B: [...] Aber die können sich ja eigentlich nicht vermischen, weil das ja zwei verschiedene Stoffe sind.
Verschmelzen von Molekülen (I)	VP09 (Z36-37): I: Ah, ok. Also antippen heißt verbinden und wenn die übereinander sind, was heißt das dann? B: Dann würde sie ineinander verschmelzen
Zwischenmolekulare Anziehungskräfte	
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz	
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz (A)	VP01 (Z27): B: Ich schätze durch das Wasser wird, werden die Teilchen so irgendwie zusammen in verschiedene Richtungen verteilt.
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz (I)	VP60 (Z100): B: [...] Also, ich hab mir das so gedacht, dass erst das Wasser den Zucker anzieht.
Zucker/Kochsalz verdrängt Wasser (I)	VP02 (Z42): B: [...] Und die Wasserteilchen die bleiben dann am Rand so (-) und das Wasser /. (-) Dieses Zucker, dieses feste Zucker drängt das Wasser dann zur Seite.
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an	
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an (A)	VP60-Camtasia-Animation: 00:01:55.2-00:02:48.2
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an (I)	VP60 (Z54-56): B: Vielleicht, dass sich der Zucker mit dem Wasser vollsaugt. Und, dass sich das dann auflöst. I: (-) Zucker saugt sich voll hast du gesagt. B: Ja, mit Wasser und dass der Zucker das Wasser so anzieht. [...]

Tabelle 9 enthält Codes, die oftmals die Stoffebene mit einbezieht. Beschreibungen und Vorstellung, die neben der Teilchenebene auch die Stoffebene mit einschließt oder sich hauptsächlich auf dieser bewegen, wurden mit den hier aufgeführten Codes kodiert. Auch andere Codes, die sich zuvor nicht einordnen ließen wurden hier mit unter der Oberkategorie „Sonstige Codes“ zusammengefasst.

**Tabelle 9: Kategorien zu fachlichen Inhalten des Löseprozesses – Sonstige Codes**

Liste der Codes	Beispiele
Sonstige Codes	
Beschreibung auf Stoffebene (I)	VP38 (Z50): B: Ich meine nämlich, dass sich das Wasser dabei leicht trübt zuerst. [Text bis hierhin im ‚Texttool‘: „Lösung des Kochsalz in Wasser (Trübung des Wasser)“]
Eigenschaftsübertragung (I)	VP58 (Z176): B: Also ich würde mal sagen wenn Zucker/ Also wenn Wasser in Zucker lösen soll, dann ist das begrenzt, weil irgendwann ist der Zucker ja auch soweit zerteilt, dass man den nur noch schmeckt. Also, dass der eigentlich nicht mehr/ Also, wie soll man das sagen, materiell vorhanden ist, sondern halt nur der Geschmack vom Zucker. [...]
Materialien auf Stoffebene	
Materialien auf Stoffebene (A)	VP30-Camtasia-Animation: 00:00:27.4-00:01:34.5
Materialien auf Stoffebene (I)	VP30 (Z3-8): B: Damit [S wählt die Einfachbindungsfunktion an] kann man auch einfach Striche zeichnen, ne? [...] I: Was zeichnest du da jetzt? B: Also das Salz, was da rein gekippt wird. [B zeichnet einen Becher und ein Mischgefäß.]
Schwierigkeiten bei fachsprachlicher Erklärung (I)	VP62 (Z78) B: Die Wasserteilchen müssen halt/ Ich weiß nicht wie ich das erklären soll. (-) Also, ich habe mir da irgendwas bei gedacht, weil ich weiß jetzt nicht wie ich das erklären kann. [[I: Ok.]]
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene	
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene (A)	VP30-Camtasia-Animation: 00:08:27.9-00:11:20.0

Liste der Codes	Beispiele
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene (I)	VP38 (Z22-23): I: Was möchtest du mit den Pfeilen darstellen? B: So, dass man das Natriumchlorid auf das H <sub>2</sub> / auf das Wasser gibt.

#### 4.6.2 Kriterienkatalog ChemSense Animator

Die folgende Tabelle enthält ebenfalls Codes, die bei der Kodierung angewandt wurden. Auch hier werden in der rechten Spalte Ankerbeispiele nach dem oben beschriebenen Schema angegeben. Bei den Codes hier in Tabelle 10 handelt es sich Kategorien, die sich explizit mit dem Programm ChemSense Animator beschäftigen, beziehungsweise mit Darstellungen oder Äußerungen, die auf eine bestimmte Nutzung des Programms zurückzuführen sind. Dazu gehören Einschätzungen zum Programm an sich, wie auch Vergleiche des Programms, oder dem Arbeiten mit ChemSense Animator mit dem Arbeiten mit Stift und Papier.

**Tabelle 10: Kategorien mit einer expliziten Verbindung zu dem Programm ChemSense Animator**

Liste der Codes	Beispiele
CSA gefällt mir (I)	VP04 (Z84-85): I: [...] Jetzt hätte ich noch eine Frage zu dem Programm an sich und zwar habt ihr das ja bis jetzt immer mit Stift und Papier gezeichnet. Wie gefällt dir denn das Programm an sich? So im Vergleich? B: Gut.
CSA gefällt mir nicht (I)	VP62 (Z112): B: Also, auf Dauer könnte es etwas/ (-) Wenn man halt immer so die kleinen Schritte macht, könnte auf Dauer ein bisschen nervig werden. [...]
Nutzung von CSA	
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm	
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm (A)	VP38-Camtasia-Animation: 00:05:59.0-00:07:05.7
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm (I)	VP38 (Z36): B: So mache ich jetzt einfach ein Plus [B zeichnet ein Plus aus sich überkreuzenden Einfachbindungen und erstellt damit sowas wie eine Reaktionsgleichung (H-O-H + Na-Cl).]

Liste der Codes	Beispiele
Erinnerung neuen Frame hinzuzufügen (I)	VP06 (Z53-56): I: Denk auch hin und wieder daran noch ein neues Bild dran zu machen. Weil sonst hast du einmal ganz viele Wasserteilchen und im nächsten Bild, ist das komplette Wasser ... B: Hmm. I: ... auf mysteriöse Art und Weise ... Beide: ... verschwunden.
Schwierigkeiten bei der Nutzung von CSA (I)	VP32 (Z115): B: Also ich fand es jetzt ein bisschen umständlich und schwer zu machen, also das [[I: Ok.]] ist schwer zu hantieren
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung	
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung (I)	VP41 (Z200): B: Mann. [B braucht vier Anläufe um das eine Natriumhydroxid-Molekül vollständig zu erfassen.] So.
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung (A)	VP62-Camtasia-Animation: 00:04:31.2-00:05:17.4
Unbeabsichtigte Darstellung	
Unabsichtliche Darstellung (A)	VP35-Camtasia-Animation: 00:00:58.2-00:01:46.6
Unabsichtliche Darstellung (I)	VP37 (Z52-54): B: Ah. [B ist ein falsch eingezeichnetes Atom aufgefallen.] I: Ich sage einfach mal: Das ist kein Natrium geworden. [B hat anstelle des Natrium-Atoms ein Lithium-Atom gezeichnet.] B: Ja, ich /. [B hat die Atome gerade ausgetauscht.]
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands	
Verwendung unterschiedlicher Zeitachsen (I)	B: Ja, ich meine /. Ich habe /. Was rede ich hier eigentlich? Ich mach das alles weg und kopiere das einfach. Dann spare ich mir die ganze Arbeit. [...]                     I: Das heißt das, was jetzt mit den Natrium-Atomen, die vorher in dem Gitter drin waren [also die zuvor im Detail beschriebene Reaktion], passiert jetzt auch mit allen anderen. B: Genau.
Verwendung unterschiedlicher Zeitachsen (A)	VP41-Camtasia-Animation: 00:29:15.1-00:32:18.4
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands (A)	VP37-Camtasia-Animation: 00:17:225-00:17:25.8

Liste der Codes	Beispiele
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands (I)	<p>B: Zwar sehr grob, aber /. Ich habe jetzt nicht die einzelnen Schritte gemacht. Fällt mir jetzt gerade auf. Sodass sich das zuerst trennt und so. [...]</p> <p>B: Also hier habe ich ja schon den ganzen Schritt gemacht, dass ich das hier schon verbindet. Normalerweise müsste ich erst diesen Vorschrift gemacht haben, dass zuerst das Natriumchlorid auseinander genommen wird, beziehungsweise sich trennt.</p>
Vergleich mit Pen & Paper (I)	
CSA bietet mehr/andere Möglichkeiten der Darstellung	<p>VP07 (Z64):</p> <p>B: Also hier könnte man die einzelnen Schritte, wie es sich so langsam auflöst besser beschreiben, als wenn man das mit der Hand macht.</p>
CSA langsamer	<p>VP13 (Z48-49):</p> <p>I: Wie schätzt du das von der Zeit her ein, das Programm? Braucht man damit länger oder geht das mit Stift und Papier schneller?</p> <p>B: Mit Stift und Papier eindeutig schneller.</p>
Da mit CSA mehr Bilder gezeichnet wurden	<p>I: Ok. Als/ Also vielleicht kannst du dich da noch dran erinnern, wie ist das mit de/ wie ist das von der Zeit her? Hast du ...</p> <p>B: Ich hab nur zwei Bilder gemalt. Und deswegen ich hab hier ein bisschen mehr.</p> <p>I: Das heißt das Zeichnen mit dem Papier war bei dir / ging schneller.</p> <p>B: Weils zwei waren. War es glaube ich so /</p>
CSA schneller	<p>VP51 (Z56-58):</p> <p>B: Ich finde das nützlicher als wenn man das alles in einzelnen Schritten aufmalen müsste. Weil das dauert halt viel länger. Wenn ich jetzt/ Hätte ich jetzt nur das aufmalen müssen, dann hätte ich ja erst nochmal die Wasserteilchen aufmalen müssen. Und jetzt waren die da halt schon.</p> <p>I: Das heißt du denkst mit dem Programm geht das schneller.</p> <p>B: Ja.</p>
CSA übersichtlicher/anschaulicher/eichter/verständlicher	<p>VP53 (Z52):</p> <p>B: Also das ist gut, weil man/ das kann man dann ja so auch besser verstehen. Wenn man das jetzt zum Beispiel falsch hat, kann der Lehrer dann noch sagen/ Also kann der das am Computer noch zeigen wie das muss.</p>

Liste der Codes	Beispiele
Nicht/schlecht mit Mappe kombinierbar	VP35 (Z133): B: [...] Der Nachteil ist, würde ich sagen, wenn man /. Also man hat das Programm wenn man am Lernen ist mit der Mappe, nicht zuhause. Wenn man das auf dem Arbeitsplan mit dem Flussdiagramm hat, dann kann man das halt überall hin, sage ich mal, mitnehmen.

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse der Studie vorgestellt. Dies erfolgt qualitativ und quantitativ, indem die verschiedenen Konzepte beschrieben und anschließend ausgezählt wird, bei wie vielen Teilnehmenden dieses Konzept beobachtet werden konnte. Zusätzlich erfolgt ein Abgleich mit den im Theorieteil beschriebenen Konzepten, die schon zuvor in der Literatur beschrieben wurden. Abschließend werden die Konzepte herausgestellt, die als neue Konzepte gefunden wurde. Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse wird dann im folgenden Kapitel vorgenommen, wobei auch auf die Unterschiede zwischen erhobenen Konzepten via Interview und via Animation eingegangen wird.

### 5.1 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt haben an dieser Studie 44 Schülerinnen und Schüler teilgenommen. Dabei kamen zu den 18 Lernenden aus der Pilotierung noch 13 Schülerinnen und Schüler aus anderen siebten Klassen und weitere 13 Schülerinnen und Schüler der zehnten Jahrgangsstufe desselben Gymnasiums. In den beiden zuletzt genannten Erhebungen wurde die Auswahl der Schülerinnen und Schüler nicht durch die jeweiligen Lehrkräfte vorgenommen. Hier haben sich die Schüler nach einer kurzen Vorstellung des Forschungsvorhabens durch den Autor freiwillig gemeldet, um an der Erhebung teilzunehmen. Insgesamt haben an den Befragungen 30 Schüler und 14 Schülerinnen teilgenommen.

### 5.2 Überblick über die erstellten Animationen

Zunächst einmal kann gesagt werden, dass alle Schülerinnen und Schüler nach der Bearbeitung der Einführungsaufgabe in der Lage waren, mit dem Programm zu arbeiten und selbstständig eine Animation zu erstellen. Nur insgesamt 5 Teilnehmende haben mit dem Programm eher eine Zeichnung oder ein Schema erstellt, als tatsächlich eine Art Film zu produzieren. Die Bearbeitungszeiten waren dabei stark unterschiedlich und auch die Anzahl der erstellten Bilder und damit die Länge der erstellten Animation variierte von Schüler zu Schüler. In Tabelle 11 ist eine Übersicht zu sehen, die die Bearbeitungszeit und die Bilderanzahl beschreibt. Der Endzustand bei den Siebtklässlern zeigte dabei häufig ein ähnliches Bild: Die Zuckerteilchen waren über den Zeichenbereich hinweg verteilt. Bei den Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse kann der Endzustand keineswegs so einheitlich beschrieben werden. Eine nähere Beschreibung hierzu erfolgt später in diesem Kapitel.

Für die Beschreibung der Bilderanzahl in den folgenden Tabellen, wird die Gesamtzahl der Frames verwendet, die in den fertiggestellten Animationen enthalten sind. Dies beinhaltet

auch den in der siebten Klasse vorgegebenen (und gegebenenfalls veränderten) Startbildschirm, an dem aber in den meisten Fällen nichts geändert wurde. Zwischendurch erstellte, dann aber wieder gelöschte Frames werden nicht mitgezählt. Zur besseren Übersicht wurde an dieser Stelle der Median der Bilderanzahl angegeben, da einzelne Ausreißer einen nicht repräsentativen Durchschnittswert produzieren würden.

**Tabelle 11: Übersichtstabelle zu Erstellungszeiten und Bilderanzahl der erstellten Animationen**

Erstellungszeit / min	Anzahl der Schülerinnen und Schüler	Median der Bilderanzahl
0-5	13	9
5-10	11	12
10-15	10	8
15-20	5	11
>20	5	17
Gesamt	44	9,5

Für eine Einordnung der Erstellungszeit wird die Zeit bestimmt, die zwischen der ersten Handlung mit dem Programm und der letzten Veränderung an der erstellten Animation vergangen ist. Damit sind auch Änderungen und Darstellungen berücksichtigt, die nachträglich gemacht wurden. Auch der Fall, dass der oder die Befragte mit dem ersten Versuch nicht zufrieden war und statt Korrekturen zu machen lieber komplett neu angefangen hat, ist auf diesem Wege berücksichtigt. Darstellungen, die nachträglich zu einzelnen Aspekten der Animation erstellt wurden, werden hierbei nicht berücksichtigt, da sie nicht Teil der eigentlichen Animation sind. Ein Beispiel hierfür könnte eine nachträgliche Richtigstellung des Aufbaus eines Wasser-Moleküls sein, das zur Verdeutlichung, wie dies aufgebaut ist, diese Änderung aber nicht für die im Rahmen der Animation erstellten Wasser-Moleküle übernommen wird. Für eine bessere Übersicht wurden die Erstellungszeiten in Blöcke von 5 Minuten eingeteilt. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse für die siebte Klasse, Tabelle 13 die für die zehnte Klasse.

**Tabelle 12: Übersicht über die Erstellungszeiten und Bilderanzahl der Animationen, die von Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse erstellt wurden**

Erstellungszeit / min	Anzahl der Schülerinnen und Schüler	Median der Bilderanzahl
0-5	13	9
5-10	9	13
10-15	5	15
15-20	1	28
>20	3	100
Gesamt	31	13

**Tabelle 13: Übersicht über die Erstellungszeiten und Bilderanzahl der Animationen, die von Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse erstellt wurden**

Erstellungszeit / min	Anzahl der Schülerinnen und Schüler	Median der Bilderanzahl
0-5	0	/
5-10	2	5
10-15	5	5
15-20	4	10
>20	2	10,5
Gesamt	13	6

Zusätzlich muss bei der zehnten Klasse die Zeit für die Erstellung des Startbildschirms berücksichtigt werden. Als Startpunkt wurde dabei das Einfügen des ersten Objektes auf die Zeichenfläche gewählt, während der Endpunkt dieser Messung mit dem Moment bestimmt wurde, in dem die Schülerinnen oder Schüler das erste Mal auf ‚Add Frame‘ drücken und damit die Erstellung des Startbildschirm abschließen. Mit diesem Schritt beginnt dann auch die Erstellung der eigentlichen Animation. Im Durchschnitt benötigten die Schülerinnen und Schüler für die Erstellung des Startbildschirms 03:54,7 min, also rund vier Minuten. Die Abweichungen hierbei waren verhältnismäßig klein, wenn von einem Fall mit 13:34,3 Minuten Erstellungszeit abgesehen wird. Aufbauend auf der doch relativ ähnlichen Zeit, die für das erste Bild benötigt wurde, variierten auch bei der Befragung der Zehntklässlerinnen und Zehntklässler die Erstellungszeiten deutlich.

Ein Vergleich mit den Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse ergibt hier jedoch, dass die Zehntklässler mit einem Median von 6 weniger Bilder in ihren Animationen genutzt haben als die Siebtklässler mit 13 Bildern. So extreme Einzelfälle wie in den Befragungen der siebten Klassen mit 100 oder 127 Bildern für eine Animation kamen in der zehnten Klassenstufe gar nicht vor.

### 5.3 Ergebnisdarstellung

In den folgenden Tabellen werden die Anzahlen der Schülerinnen und Schüler aufgeführt, bei denen die Konzepte aus Kapitel 4.6 gefunden wurden. Für eine übersichtliche Darstellung wurden die Tabellen an die obigen Tabellen 5-10 angepasst. In der rechten Spalte der Tabellen wird die Gesamtanzahl der Teilnehmenden aufgeführt, bei denen die Konzepte gefunden wurden. Für eine genauere Angabe wird zusätzlich die Erhebungsgruppe angegeben wobei „7P“ die Pilotierungsgruppe, „7“ die Erhebung in Klasse 7 und „10“ die Erhebung in der zehnten Klassenstufe meint.

**Tabelle 14: Anzahl der Funde im Bereich „Beschreibung des Löseprozesses“**

<b>Liste der Codes</b>	<b>Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)</b>
Beschreibung des Löseprozesses	
Anlagern von Wasser-Molekülen an Zucker/Kochsalz	
Anlagerung von Wasser (A)	5 (1/2/1)
Anlagerung von Wasser (I)	6 (1/3/2)
Aufbrechen des Gitters	
Gitter aufbrechen (A)	7 (3/3/1)
Gitter aufbrechen (I)	19 (4/8/7)
Ausbilden einer Hydrathülle	
Hydrathülle (A)	2 (1/1/0)
Hydrathülle (I)	3 (1/2/0)
Chemische Reaktion	
Austauschreaktion	
Austauschreaktion (A)	3 (0/0/3)
Austauschreaktion (I)	4 (0/0/4)
Bindungssituation	
Molekülaufbau (I)	1 (0/0/1)
Ionenbindung (I)	1 (0/0/1)
Elektronenbindung (I)	1 (0/0/1)
Chemische Reaktion (A)	11 (0/0/11)
Chemische Reaktion (I)	13 (0/0/13)
Chemische Reaktionen laufen in Schritten ab	
Ablauf in Schritten (A)	3 (0/0/3)
Ablauf in Schritten (I)	3 (0/0/3)
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein	
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein (A)	4 (0/0/4)
Chemische Reaktionen müssen (vollständig) ausgeglichen sein (I)	4 (0/0/4)
Es bilden sich Ionen	
Es bilden sich Ionen (A)	1 (0/0/1)
Es bilden sich Ionen (I)	1 (0/0/1)
Keine Reaktion zwischen Zucker/Kochsalz und Wasser (I)	3 (1/0/2)
Ziel: Edelgaskonfiguration (I)	3 (0/0/3)

Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Der zu lösende Stoff verschwindet (I)	3 (0/1/2)
Rückstand	
Rückstand: undefinierbarer Haufen (A)	1 (0/1/0)
Rückstand: Wasserteilchen (I)	1 (1/0/0)
Rückstand: Zuckerteilchen (A)	3 (3/0/0)
Rückstand: Zucker-/Salzkristalle (I)	6 (4/1/1)
Teilchen bilden sich aus dem Stoff beim Lösen (I)	1 (0/1/0)
Vermischen heißt Lösen	
Vermischen heißt Lösen (I)	19 (12/4/3)
Vermischen ist die Kombination von Zucker- und Wassermolekülen	6 (6/0/0)
Dargestellt durch überlagerte Teilchen (I)	3 (0/3/0)
Wegdiffundieren der Solute-Teilchen	
Wegdiffundieren (A)	
Teilchen diffundieren nach und nach weg	8 (2/6/0)
Teilchen diffundieren gleichzeitig weg	27 (17/10/0)
Wegdiffundieren (I)	
Teilchen diffundieren gleichzeitig weg	21 (12/8/1)
Teilchen diffundieren nach und nach weg	3 (2/1/0)
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome	
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome (A)	6 (0/0/6)
Zerfall in Moleküle/Ionen/Atome (I)	8 (0/0/8)
Zersetzen des Zuckers/Salzes in kleinere Teile	
Zerfall in kleinere Teile (A)	2 (0/2/0)
Zerfall in kleinere Teile (I)	5 (0/5/0)

Was bei diesen Ergebnissen gut zu sehen ist, ist die unterschiedliche Verteilung in den Jahrgängen. Konzepte, die sich auf Teilchenebene bewegen, also eher in der siebten Klasse gefunden werden sollten, können auch eher dort gefunden werden. So fallen Beschreibungen des Löseprozesses, die auf eine Vermischung/Diffusion der Zucker- und Wasserteilchen abzielen in die Animationen, die von Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse angefertigt wurden. Wie in Kapitel 4.2 dargestellt wurde entspricht das auch den Erwartungen, die dem Wissensstand der Teilnehmenden entspricht. Einige Konzepte, die sich ausschließlich in der Erhebung der zehnten Klasse finden lassen, drehen sich rund um das Thema Chemische Reaktion. Sowohl

in den Interviews wie auch in den Animationen konnten hier Konzepte gefunden werden, bei denen die Schülerinnen und Schüler von einer chemischen Reaktion zwischen Wasser und Kochsalz ausgehen. Nur in einem Fall hat auch ein Teilnehmer aus der siebten Jahrgangsstufe eine Vorstellung zum Thema chemische Reaktion zwischen zu lösendem Stoff und Lösemittel gehabt, nämlich dass eben keine chemische Reaktion beim Löseprozess abläuft. Wie in Tabelle 14 zu sehen ist, konnte bei 11 von 13 Teilnehmenden in den Animationen eine Vorstellung zu einer ablaufenden chemischen Reaktion gefunden werden. Auch im Interview wurde entsprechend häufig (in allen Fällen im zehnten Jahrgang) dieses Konzept gefunden.

Vorstellungen, die sich explizit auf Atome, Moleküle und Ionen beziehen, kamen ausschließlich in den Animation und Gesprächen mit Zehntklässlern und Zehntklässlerinnen vor, was aber in Anbetracht des Wissensstandes nicht verwunderlich ist, da die Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse das Dalton'sche Atommodell noch nicht behandelt hatten.

Werden die vier Konzepte betrachtet, die zu einer korrekten Darstellung des Löseprozesses benötigt werden, zeigen sich stark unterschiedliche Befunde. Die Erwartungen, wie sie in Kapitel 4.2 dargelegt wurden, besagen, dass in Klasse 10 alle Konzepte bekannt sein müssten und in Klasse 7 der Fokus auf dem gleichmäßigen Verteilen der Wasser- und Zuckerteilchen liegen müsste. Letzteres entspricht dabei noch am ehesten dem Wegdiffundieren von Teilchen. Die Erhebungen zeigen hier, dass viele Schülerinnen und Schüler der siebten Klassen eine Vorstellung vom Wegdiffundieren haben, die Teilnehmenden aus der zehnten Klasse aber gar nicht. Auch im Fall der Ausbildung einer Hydrathülle konnten diese Vorstellung nur im Fall von Siebtklässlern gemacht werden. Das Anlagern von Wasser und das Aufbrechen des Kristallgitters konnte in beiden Klassenstufen gefunden werden, wobei das in der siebten Klasse häufiger vorkam als in der zehnten Klasse.

**Tabelle 15: Anzahl der Funde im Bereich „Darstellung von Stoffen“**

Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Darstellung von Stoffen	
Darstellung von Kochsalz	
Andere Darstellungen	
Andere Darstellung (A)	1 (0/0/1)
Andere Darstellung (I)	1 (0/0/1)
Bindungssituation im Kochsalz (I)	
Metallbindung	1 (0/0/1)
Kristallgitter/Ionenbindung	8 (0/0/8)

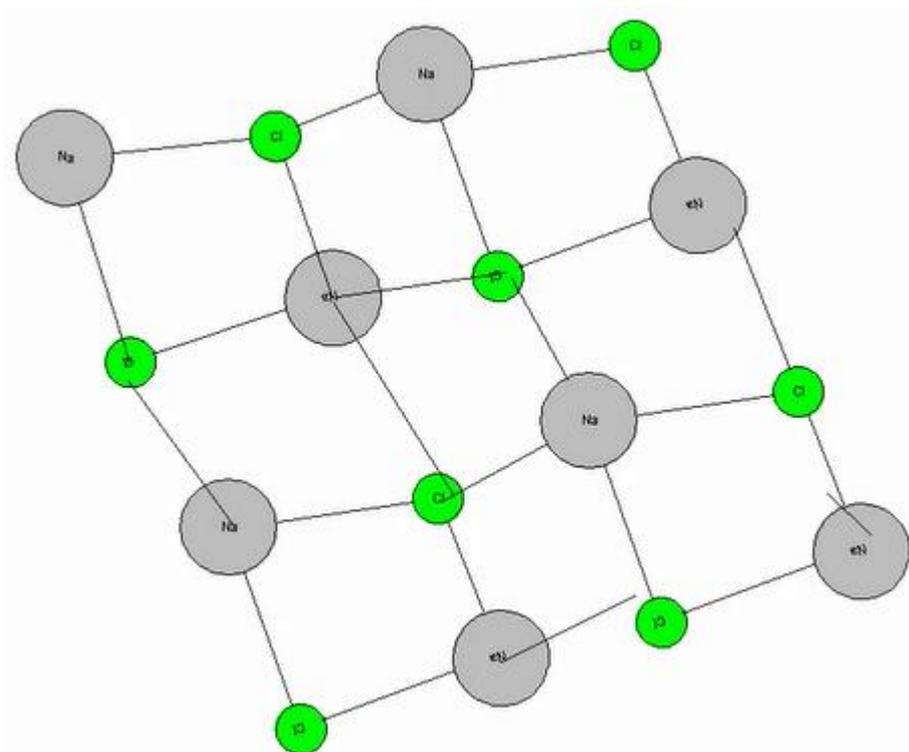
Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Einfachbindung	8 (0/0/8)
Darstellung als Kristall	
Darstellung als Kristall (A)	5 (0/0/5)
Darstellung als Kristall (I)	4 (0/0/4)
Darstellung als zweiatomige Moleküle	
Darstellung als zweiatomiges Molekül (A)	9 (0/0/9)
Darstellung als zweiatomiges Molekül (I)	8 (0/0/8)
Kochsalz besteht aus Atomen	
Kochsalz besteht aus Atomen (A)	9 (0/0/9)
Kochsalz besteht aus Atomen (I)	10 (0/0/10)
Kochsalz besteht aus Ionen	
Kochsalz besteht aus Ionen (A)	3 (0/0/3)
Kochsalz besteht aus Ionen (I)	5 (0/0/5)
Darstellung von Wasser	
Bindungssituation im Wasser-Molekül	
Bindungswinkel und -länge (A)	11 (0/0/11)
Bindungswinkel und -länge (I)	10 (0/0/10)
Ionenbindung (I)	1 (0/0/1)
Wasserstoffbrückenbindungen (I)	2 (0/0/2)
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül	
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül (A)	9 (0/0/9)
Darstellung als H <sub>2</sub> O-Molekül (I)	9 (0/0/9)
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül	
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül (A)	5 (0/0/5)
Darstellung als Nicht-H <sub>2</sub> O-Molekül (I)	6 (0/0/6)

Da die Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse einen Startbildschirm vorgegeben bekommen haben ist es nicht verwunderlich, dass bei ihnen keine Vorstellungen in der Oberkategorie „Darstellung von Stoffen“ beobachtet wurden.

Bei diesen Kategorien wurde erhoben, inwiefern die Schülerinnen und Schüler eine Vorstellung von dem Aufbau der Stoffe haben. Im Gegensatz zu den Siebtklässlern mussten die Teilnehmenden der zehnten Klasse die Stoffe zunächst ohne weitere Vorgaben zeichnen, was

einen Einblick in ihre Vorstellungen zum Aufbau von Wasser und eines Salzkristalls ermöglichte. Theoretisch, beginnend mit einer Darstellung auf Stoffebene, bis hin zu einer Darstellung über Ionen und Atome im Sinne des Bohrschen Atommodells, wären demnach alle Darstellungen möglich gewesen wären.

Die Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler hat Kochsalz aus Atomen aufgebaut, genauer gesagt ist Kochsalz in der Vorstellung vieler Jugendlicher eine zweiatomige Verbindung. Eine andere Vorstellung, die teilweise nur auf Nachfrage genauer betrachtet wurde oder später ergänzt wurde, war die Darstellung eines Kochsalzkristalls. Hierzu konnte bei 5 von den 13 befragten Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse eine Vorstellung in den Animationen beobachtet. Eine Darstellung eines Kochsalzkristalls ist in Abbildung 16 zu sehen. VP41 hat Kochsalz hier als Kristall, bestehend aus Natrium- und Chlor-Atomen aufgezeichnet. Die Atome wurden jeweils durch Einfachbindungen miteinander verbunden. So ist ein zweidimensionales Abbild des bekannten Kugel-Stab-Modells, wie es aus vielen Klassenräumen vorhanden ist, entstanden.



**Abbildung 16: Darstellung eines Kochsalzkristalls (VP41-Camtasia-Animation: 00:13:47.0)**

Darüber hinaus haben die Befragten im Interview die Bindungssituation im Kochsalz auf verschiedene Arten beschrieben. Sowohl das fachlich tragfähige Konzept der Ionenbindung wurde

hierbei genannt, aber häufig (in 8 von 13 Fällen) auch das fehlerhafte Konzept von Einfachbindungen zwischen den Atomen/Ionen, aus denen Kochsalz aufgebaut wurde. In einem Fall wurde die Bindungssituation mit einer metallischen Bindung verglichen.

Im Fall von Wasser gab es ebenfalls verschiedene Darstellungen. Der Einfachheit halber wurde hier zwischen Darstellungen im Sinne eines H<sub>2</sub>O-Moleküls und allen anderen Darstellungen unterschieden. Letztere reichten von einem einfachen Wasserstoff-Atom (VP33-Camtasia-Animation: 00:00:53.5-00:01:13.2) bis hin zur Darstellung des Wasser-Moleküls als zwei Wasserstoff-Ionen, die jeweils mit einer Einfachbindung an ein zweifach negativ geladenes Sauerstoff-Ion gebunden waren (VP42-Camtasia-Animation: 00:01:49.8-00:03:13.0). Die Bindungssituationen im Wassermolekül wurden überwiegend mithilfe von Einfachbindungen dargestellt, wobei hier die Darstellung in Bindungswinkel und Länge teilweise sehr unterschiedlich waren. Auch wenn die gezeichneten Wasser-Moleküle aus Atomen bestanden, die mit Einfachbindungen verbunden wurden, wurden doch diese Einfachbindungen in Einzelfällen auch als Wasserstoffbrücken oder Ionenbindungen benannt.

Die nachfolgende Tabelle 16 gibt die Anzahl der Funde aus dem Bereich „Fachliche Inhalte“ an und beschreibt damit neben den Funden aus dem Bereich Löslichkeit, den zweiten großen Block an Vorstellungen zu fachlichen Inhalten, die sich rund um das Thema Löslichkeit drehen.

**Tabelle 16: Anzahl der Funde im Bereich „Fachliche Inhalte“**

<b>Liste der Codes</b>	<b>Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)</b>
Fachliche Inhalte	
Bedingungen für Löslichkeit (I)	
Erhitzen	1 (0/0/1)
Rühren	2 (0/0/2)
Begrenzte Löslichkeit (I)	6 (1/3/2)
Der zu lösende Stoff nimmt das Lösungsmittel auf (I)	1 (0/0/1)
Dichte des zu lösenden Stoffes	
Dichte des zu lösenden Stoffes (A)	1 (0/0/1)
Dichte des zu lösenden Stoffes (I)	3 (0/1/2)
Dichte Teilchenpackung (I)	2 (0/2/0)
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz	
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz (A)	3 (2/1/0)
Eigenbewegung des Wassers/Zuckers/Kochsalz (I)	10 (6/4/0)

ERGEBNISSE

Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Lösemittel wiegt den zu lösenden Stoff beim Lösen auf (I)	1 (0/1/0)
Luft zwischen Zucker-/Kochsalz-Kristallen (I)	3 (1/2/0)
Massenverlust (I)	1 (0/1/0)
Molekülgröße	
Größenänderung der Moleküle bei Aggregatzustandsänderung (I)	
Zucker/Kochsalz	1 (1/0/0)
Größenänderung der Moleküle beim Löseprozess (A)	
Zucker/Kochsalz	4 (3/1/0)
Wasser	2 (2/0/0)
Größenänderung der Moleküle beim Löseprozess (I)	
Zucker/Kochsalz	4 (2/2/0)
Wasser	1 (1/0/0)
Schmelzen; Zucker/Kochsalz ändert Aggregatzustand zu flüssig (I)	3 (1/2/0)
Teilchenbewegung	
Wassermoleküle bewegen sich nicht	
Wasser-Moleküle bewegen sich nicht (A)	7 (3/4/0)
Wasser-Moleküle bewegen sich nicht (I)	2 (1/1/0)
Ungleichmäßige Teilchenbewegung (I)	6 (2/4/0)
Gleichmäßige Teilchenbewegung (I)	3 (1/2/0)
Teilchenbewegung ist temperaturabhängig (I)	4 (3/1/0)
Teilchenbewegung durch Rühren/Schütteln/... (I)	1 (0/1/0)
Verdunsten gehört zum Lösen dazu	
Verdunsten gehört zum Lösen (A)	5 (4/0/1)
Verdunsten gehört zum Lösen (I)	5 (5/0/0)
Wenn man die Lösung erhitzt	1 (1/0/0)
Verteilung von Teilchen	
(Gleichmäßige) Verteilung von Atomen/Molekülen/Ionen (A)	35 (18/12/5)
(Gleichmäßige) Verteilung von Atomen/Molekülen/Ionen (I)	22 (10/11/1)

Die hier aufgeführten Konzepte kamen in den meisten Fällen eher selten vor. Eine Ausnahme dazu stellt die Vorstellung dar, dass sich die Teilchen während des Lösens über die ganze Zeichenfläche verteilen. In den meisten Fällen war diese Verteilung gleichmäßig. Diese Vorstellung konnte deutlich häufiger in den Animationen und Interviews mit Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse beobachtet werden als in der zehnten Klasse. Auf der anderen Seite dieses Spektrums konnte ebenfalls beobachtet werden, dass sich in insgesamt 7 Fällen die Wasser-Teilchen gar nicht bewegt haben. In der zehnten Klasse konnte auch hin und wieder die Verteilung der Stoffe über die Zeichenfläche hinweg beobachtet werden. Da die Schülerinnen und Schüler sich hier aber häufig nur sehr wenige Moleküle gezeichnet haben, war eine deutliche Tendenz hin zur Darstellung eines homogenen Gemisches nur sehr schwer zu erkennen.

Neben fachlich korrekten Konzepten, wie der Eigenbewegung der Teilchen oder der Vorstellung, dass die Löslichkeit eines Stoffes begrenzt sein kann, wurden hier auch einige Darstellungen und Beschreibungen gefunden, die fehlerbehaftet sind. Zu diesen Konzepten gehören als häufigste Beispiele das Verdunsten von Stoffen während des Löseprozesses (5 Fälle) und die Veränderung der Teilchengröße (4 Fälle).

Die anderen Konzepte konnten eher im Interview gefunden werden und die meisten von ihnen bei Teilnehmenden der siebten Jahrgangsstufe.

Tabelle 17 gibt die Anzahl der Funde für den Bereich „Interaktion von Molekülen“ wieder.

**Tabelle 17: Anzahl der Funde im Bereich „Interaktion von Molekülen“**

Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Interaktion von Molekülen	
Teilchen berühren sich	
Teilchen berühren sich (A)	19 (12/7/0)
Teilchen berühren sich (I)	9 (4/5/0)
Überlagerung von Teilchen	
Lösemittel und zu lösender Stoff überlagern sich (A)	20 (10/8/2)
Lösemittel und zu lösender Stoff überlagern sich (I)	17 (10/6/1)
Verbinden von Molekülen	
Verbinden von Molekülen (A)	2 (1/1/0)
Verbinden von Molekülen (I)	5 (2/3/0)
Verschiedene Teilchen können sich nicht vermischen (I)	1 (1/0/0)
Verschmelzen von Molekülen (I)	1 (1/0/0)

Liste der Codes	Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)
Zwischenmolekulare Anziehungskräfte	
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz	
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz (A)	3 (1/0/2)
Wasser bewegt Zucker/Kochsalz (I)	3 (1/2/0)
Zucker/Kochsalz verdrängt Wasser (I)	2 (1/1/0)
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an	
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an (A)	5 (2/2/1)
Zucker/Kochsalz zieht Wasser an (I)	4 (2/2/0)

Die hier zusammengefassten Konzepte wurden größtenteils bei Schülerinnen und Schülern der Siebten Jahrgangsstufe gefunden und können grob in zwei Unterkategorien unterteilt werden: Die Anziehung von Teilchen untereinander und die Kombination von Teilchen. Sehr häufig haben Schülerinnen und Schüler während des Löseprozesses Teilchen dargestellt, die sich berühren oder gar überschneiden, um gelöste Teilchen zu symbolisieren oder Kombinationen von Teilchen darzustellen. Von insgesamt 31 Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse haben gut zwei Drittel sich überlagernde Teilchen dargestellt und ebenfalls knapp zwei Drittel haben Teilchen sich berühren lassen. Dabei ist anzumerken, dass diese Berührungen und Überschneidungen nicht immer von Dauer waren und in vielen Fällen die Teilchen wieder voneinander getrennt wurden oder im Interview diese Darstellungen als unabsichtliche Darstellung beschrieben wurden.

In dem anderen Satz an Vorstellungen, die in dieser Oberkategorie erfasst wurden beschäftigen sich mit den intermolekularen Anziehungskräften zwischen den dargestellten Teilchen. Die meisten Vorstellungen dazu konnten in der Erhebung in der siebten Klasse beobachtet werden. Diese Beobachtung könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Schülerinnen und Schüler in der zehnten Klasse selten viele Moleküle gezeichnet haben und eine klare Teilchenbewegung oder eine Anziehung der Atome, Ionen oder Moleküle auf andere Teilchen nur schwerlich beobachtet werden konnte.

Die Anzahl der Funde aus dem letzten Bereich, der sich nicht schon explizit auf die Arbeit mit ChemSense Animator bezieht, werden in Tabelle 18 wiedergeben.

**Tabelle 18: Anzahl der Funde im Bereich „Sonstige Codes“**

<b>Liste der Codes</b>	<b>Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)</b>
Sonstige Codes	
Beschreibung auf Stoffebene (I)	3 (0/0/3)
Eigenschaftsübertragung (I)	3 (1/1/1)
Materialien auf Stoffebene	
Materialien auf Stoffebene (A)	3 (0/0/3)
Materialien auf Stoffebene (I)	2 (0/0/2)
Schwierigkeiten bei fachsprachlicher Erklärung (I)	5 (0/2/3)
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene	
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene (A)	4 (0/0/4)
Vermischung von Stoff- und Teilchenebene (I)	25 (9/8/8)

Im Fall der Kategorie „Material auf Stoffebene“ findet sich ein gegenteiliges Bild zur vorherigen Oberkategorie „Interaktion der Moleküle“. Durch den vorgegebenen Startbildschirm kamen die Siebtklässler gar nicht in die Situation den darzustellenden Fall des Lösens eines Feststoffes in Wasser auch auf der Stoffebene darzustellen, da der Startbildschirm schon die Teilchenebene umfasste. Daher wurden Vorstellungen aus diese Kategorie im Wesentlichen in Klasse 10 gefunden. Oft war dies mit der Vermischung der Stoff- und Teilchenebene verknüpft. Der Vergleich zwischen Animation und Interview zeigte hier, dass die befragten Schülerinnen und Schüler deutlich häufiger im Gespräch die Stoff- und Teilchenebene vermischen, als sie es in den erstellten Animationen tun.

Als letztes werden in diesem Abschnitt noch die Rückmeldungen in Bezug auf die ChemSense Software beschrieben. Überwiegend waren die Teilnehmenden der Meinung, dass ihnen das Programm gefiel und dass es gegenüber Zeichnungen mit Stift und Papier Vorteile mit sich bringt. Die Beschreibungen hier waren sehr unterschiedlich und reichten über Adjektive wie „übersichtlich“ und „verständlich“ bis hin zu Beschreibungen die die unterschiedlichen Möglichkeiten der Darstellung hervorhoben. Wie der Tabelle 19 aber auch entnommen werden kann gab es auch einige Schülerinnen und Schüler die der Meinung waren, dass das Arbeiten mit einer solchen Animationssoftware länger dauert als das ihnen bekannte Zeichnen auf einem Blatt Papier.

**Tabelle 19: Anzahl der Funde im den Kategorien mit expliziter Verbindung zum Programm CSA**

<b>Liste der Codes</b>	<b>Anzahl der Funde gesamt (Funde in 7P / 7 / 10)</b>
CSA gefällt mir (I)	24 (16/5/3)
CSA gefällt mir nicht (I)	1 (0/1/0)
Nutzung von CSA	
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm	
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm (A)	7 (0/0/7)
CSA als Zeichen-/Schreibprogramm (I)	2 (0/0/2)
Erinnerung neuen Frame hinzuzufügen (I)	20 (9/5/6)
Schwierigkeiten bei der Nutzung von CSA (I)	4 (0/0/4)
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung	
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung (I)	26 (13/7/6)
Schwierigkeiten bei der Teilchenerfassung (A)	18 (12/5/1)
Unbeabsichtigte Darstellung	
Unabsichtliche Darstellung (A)	15 (1/2/12)
Unabsichtliche Darstellung (I)	26 (6/10/10)
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands	
Verwendung unterschiedlicher Zeitachsen (I)	5 (2/2/1)
Verwendung unterschiedlicher Zeitachsen (A)	12 (4/7/1)
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands (A)	7 (1/3/3)
Wenige Frames / Darstellung des Endzustands (I)	4 (1/2/1)
Vergleich mit Pen & Paper (I)	
CSA bietet mehr/andere Möglichkeiten der Darstellung	29 (6/11/12)
CSA langsamer	5 (5/0/0)
Da mit CSA mehr Bilder gezeichnet wurden	5 (4/0/1)
CSA schneller	22 (14/7/1)
CSA übersichtlicher/anschaulicher/leichter/verständlicher	32 (11/12/9)
Nicht/schlecht mit Mappe kombinierbar	1 (0/0/1)

Beim Arbeiten mit der Animationssoftware mussten die Schülerinnen und Schüler häufiger daran erinnert werden, einen neuen Frame hinzuzufügen. Auch wenn sie im Rahmen der Einführungsaufgabe teilweise beobachten konnten wie sich zu große Schritte in der erstellten Animation äußerten, waren häufiger Erinnerungen nötig weitere Frames hinzuzufügen. Dennoch gab es immer wieder Fälle in denen Animationen mit nur sehr wenigen Frames erstellt wurden. Diese entsprachen im Regelfall neben dem Startbildschirm noch wenigen Frames, die dann sehr

schnell zum Endbildschirm sprangen. Dies ging mit großen Teilchensprüngen und damit schlecht animierten Teilchenbewegungen einher.

Eine weitere wichtige Beobachtung war der Umgang mit den Teilchen. Immer wieder hatten Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten mit der Erfassung von Teilchen oder mussten im Nachhinein Fehler feststellen und diese fehlerhafte oder unbeabsichtigte Darstellungen korrigieren. Genauso schienen die Befragten anteilig die Motivation zu verlieren. Dies äußerte sich dann darin, dass sie zu Beginn kleine Teilchenbewegungen dargestellt haben und nach kurzer Zeit diese immer mehr vergrößerten, um schneller zum Endzustand zu gelangen. Die noch von der Kategorie der wenigen Frames abgegrenzte Darstellung eines Zeitraffers (Verwendung unterschiedlicher Zeitachsen) kam sowohl in der siebten wie auch in der zehnten Jahrgangsstufe vor.

Als letzte hier zu nennende Kategorie soll noch eine alternative Nutzung von ChemSense Animator erwähnt werden. Auch wenn sich das Programm durchaus dazu eignet, analog zu herkömmlichen Zeichenprogrammen auch einzelne Bilder zu zeichnen, war dies im Rahmen der Erhebung nicht die intendierte Variante. Es wurde den Schülerinnen und Schülern allerdings offen gelassen, wie sie ihre Animationen gestalten, sodass auch dies eine Lösung der Aufgabenstellung darstellte. Bei insgesamt 7 Befragten konnten Aspekte oder ganze Animationen beobachtet werden, die das Programm eher wie ein Zeichenprogramm oder ein Präsentationsprogramm genutzt haben, als eine Animation im eigentlichen Sinne zu erstellen.

## **5.4 Einordnung der gefundenen Konzepte**

In diesem Abschnitt werden gefundenen Konzepte dahingehend eingeordnet, dass geprüft wird, ob sie zuvor schon in der Literatur beschrieben wurden, oder ob an dieser Stelle neue Konzepte gefunden wurden. Diese Einteilung geschieht dabei anhand des in Kapitel 2.4.3 vorgestellten, theoriebasierten Kategoriensystems zum Thema Löseprozesse (Tabelle 2 - Tabelle 4).

Im Bereich der Gruppe „Beschreibung des Löseprozesses“ finden sich die Vorstellungen, die auf eine fachlich korrekte Vorstellung zum Löseprozess zurückzuführen sind. Dazu gehören Vorstellungen zum Anlagern von Wasser an den Kristall des zu lösenden Stoffes, das anschließende Aufbrechen der Gitterstrukturen, sowie das Ausbilden einer Hydrathülle und das Wegdiffundieren der Teilchen. Die Vorstellung, dass der Löseprozess dem Vermischen von Teilchen entspricht, kann passend in das Kategoriensystem der physikalischen Interaktion (siehe Tabelle 3) eingeordnet werden.

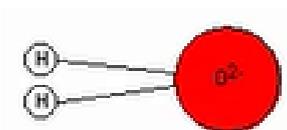
Der gesamte Abschnitt zum Thema chemische Reaktion, der im Rahmen dieser Studie erhoben wurde, lässt sich im weitesten Sinne in die in Kategorie „Reaktion“, wie sie in Tabelle 3 beschrieben wurde, einordnen. Auch Probleme und Fehlvorstellungen, wie die der Beschreibung von Bindungssituationen zwischen Atomen oder dem Bestreben chemische Reaktionen in bestimmten Schritten ablaufend darzustellen, sind hier enthalten. Wie die beiden zuletzt genannten Konzepte hat Toplis (2008) auch das Konzept, dass chemische Reaktionen immer ausgeglichen dargestellt werden, bereits dargestellt.

Die Vorstellung von sich bildenden Ionen oder in kleinere Bausteine zerfallende Moleküle/Teilchen wurde im Codesystem dem übergeordneten Code der chemischen Reaktion zugeordnet, kann aber in Bezug auf die zugrundeliegende Literatur auch durch die Kategorien Ionen, Teilchenerzeugung oder Verdampfen/Verschwinden des zu lösenden Stoffes als bekannt eingeordnet werden.

Die Vorstellungen zu verschiedenen Rückständen lassen sich je nach Ursache in verschiedenen Kategorien einordnen. So ist aus der Literatur bereits die Vorstellung bekannt, dass sich nach einer gewissen Zeit der zu lösende Stoff wieder am Boden sammelt, was dann zu einem Rückstand an Zucker- oder Kochsalzkristallen führt. Im Fall des Rückstandes an Wasserteilchen lässt sich dies auf eine Eigenschaftsübertragung zurückführen, da sich „[...] der Zucker [...] aufgelöst [hat] und dann [...] das Wasser sozusagen hart und eine feste weiße Substanz [wurde].“ (VP13 Z32)

Die Kategorien zur Darstellung von Stoffen (siehe Tabelle 6 und für die Anzahl der Funde Tabelle 15) lässt sich nur schwerlich in das im Theorieteil erstellte Kategoriensystem einordnen. Dies liegt hauptsächlich daran, dass im Zuge dieser Studie nicht eine so weitreichende Variation der Darstellung von Stoffen antizipiert wurde. Als neue Konzepte können aber auch hier die Vorstellungen nicht eingeordnet werden. Butts und Smith haben in ihrer Publikation von 1987 bereits viele dieser Vorstellungen beschreiben. Sowohl korrekte wie auch inkorrekte Darstellungen von Wasser, wie beispielsweise der Aufbau aus Ionen, oder Kochsalz (Aufbau als NaCl-Molekül, bestehend aus einem Natrium- und einem Chlor-Atom, verbunden durch eine Einfachbindung) wurden dort bereits beschrieben (Barke et al., 2018, S. 245; Butts & Smith, 1987). Auch Toplis (2008) hat in dieser Richtung bereits fehlerhafte Darstellungen beschrieben: Unsicherheiten bei den Bindungssituationen im Sinne der Art der Bindung oder den verhältnismäßig einfachen Bindungswinkeln im Wasser-Molekül. Die von Pereira und Pestana (1991) beschriebenen Winkel im Wasser-Molekül von 30-180 ° konnten auch in dieser Studie

gefunden werden, wobei die Winkel in einzelnen Fällen noch kleiner waren, wie in Abbildung 17 zu sehen ist.



**Abbildung 17: Wasser-Molekül von VP42, dargestellt aus Ionen mit annähernd gleich langen Bindungen, aber einem sehr spitzen Winkel  $\sim 15^\circ$**

Die Funde zu den weiteren fachlichen Inhalten können an verschiedenen Stellen in das im Theorie teil erarbeitete Kategoriensystem eingeordnet werden. Vorstellungen zur Löslichkeitsvoraussetzung wie Wärme oder Rühren tauchen explizit im Kategoriensystem in Tabelle 2 auf. Auch die Vorstellung, dass das Lösemittel den zu lösenden Stoff aufnimmt, gleicht dem Konzept der Absorption und lässt sich leicht in die bisherigen Erkenntnisse aus der Literatur einordnen. Genauso finden sich Argumentationen über die Dichte bereits in Tabelle 2. Einige Funde beschäftigen sich mit dem Aufbau der Stoffe, allerdings auf Teilchenebene. Die Codes Dichte Teilchenpackung zur Erklärung, wieso ein Stoff gelöst oder nicht gelöst werden kann, genauso wie die Vorstellung von Luft zwischen den Teilchen des Zuckerkrystals lassen sich in die Kategorie Platz im Lösemittel (Tabelle 2) einordnen. Die Funde zum Massenverlust im Zuge des Lösens (siehe Tabelle 4) oder die Beschreibung des Prozesses als „schmelzen“ (Tabelle 3) sind so bereits in der Literatur beschrieben worden. Das Ändern der Molekülgröße beim Lösen kann in die Kategorie „Verdampfen/Verschwinden des zu lösenden Stoffes“ und die Kategorie „Transfer“ eingeordnet werden. Die Vorstellung der Größenänderung beruht dabei auf dem Übertragen von Eigenschaften der Stoffportion auf die Teilchenebene. Schülerinnen und Schüler wissen zwar um den diskontinuierlichen Aufbau von Stoffen, übertragen aber dennoch Eigenschaften einer Stoffportion auf die einzelnen Teilchen (Brook et al., 1984; Driver, 1985, S. 167; Happs, 1980, zitiert nach Kind, 2004). Die Partikel auf Stoffebene werden kleiner während sie sich auflösen, also gilt auch für die einzelnen Moleküle/Teilchen auf der submikroskopischen Ebene, dass sie kleiner werden. Auch der Gedanken sich verändernder Teilchengröße bei Temperaturveränderung wurde in der Literatur bereits beschrieben. So wurde bereits berichtet, dass die submikroskopischen Teilchen bei einer Temperaturerhöhung größer werden (Brook et al., 1984; Driver, 1985, S. 147 f.; Novick & Nussbaum, 1981). Alternativ kann hinter der sich verringernden Teilchengröße seitens der Schülerinnen und Schüler das Bestreben stehen, die Teilchen so klein zu machen, dass sie zwischen den Wasserteilchen Platz haben und sich dann lösen können. Dies würde genau der Kategorie „Platz im Lösemittel“ entsprechen, wie sie in Tabelle 2 aufgeführt ist.

In die vorhin erwähnte Kategorie „Schmelzen“ fallen natürlich auch Kodierungen, die sich direkt auf das Schmelzen des zu lösenden Stoffes beziehen. Ebenso eindeutig lassen sich Kodierungen zur Verteilung von Teilchen in die entsprechende Kategorie aus Tabelle 4 einordnen. Die begrenzte Löslichkeit kann auf das Vorhandensein oder eben Nichtvorhandensein einer bestimmten Stoffeigenschaft zurückgeführt werden, wie sie in Tabelle 2 aufgeführt wurde. Damit bleiben aus diesem Block der Kodierungen noch die Vorstellungen zur Teilchenbewegung, die Eigenbewegung von Teilchen/Molekülen, Atomen und Ionen und das Verdunsten des Lösungsmittels. Die Eigenbewegung der Teilchen ist als fachlich korrektes Konzept gehört thematisch zum Verständnis des einfachen Teilchenmodells, weshalb Vorstellungen dazu in den Befragungen beider Jahrgangsstufen möglich und zu erwarten waren. Kodierungen zum Thema Teilchenbewegungen darüber hinaus lassen sich in die Kategorie der „physikalischen Interaktion“ (siehe Tabelle 3) zurückführen. Im Fall das, gar keine Teilchenbewegung der Wasserteilchen bzw. -moleküle beobachtet wurde, kann diese Beobachtung sowohl auf ein mangelndes Verständnis der Eigenbewegung von Teilchen zurückgeführt werden. In dem Fall, dass externe Faktoren wie Hitze oder Rühren mit in die Beschreibung der Teilchenbewegung einbezogen werden, können solche Kodierungen auch über die Kategorien „Rühren“ und „Wärme“ in die aus der Literatur bekannten Konzepte integriert werden.

Als vorletztes wird nun noch die Vorstellung betrachtet, dass das Lösemittel den zu lösenden Stoff beim Lösen aufwiegt. Diese Kodierung klingt im ersten Moment wie eine Umschreibung der Kategorie Absorption (Tabelle 3). Da in dem Fall die Solute-Teilchen aber nicht verschwinden, sondern erhalten bleiben und seiner Aussage nach eine bestimmte Anzahl an Wasser-Teilchen vonnöten ist um ein Zuckerteilchen in Lösung zu bringen ist diese Einordnung nicht sinnvoll. „Das ist ja immer die gleiche Menge [...]. Also, das gleiche Gewicht [an Wasser] nimmt dann das gleiche Gewicht [an Zucker] wieder [aus dem Kristall] raus.“ (VP62 (Z70)). Mit dieser Beschreibung kommt er zum einen dem Gedanken eine Hydrathülle nahe, die an sich aber nichts mit Massenverhältnissen zu tun hat, zum anderen könnte hier wiederum die physikalische Interaktion zwischen Teilchen als literarische Grundlage angeführt werden, da eine bestimmte Anzahl an Wasser-Teilchen mit einem Zucker-Teilchen interagieren, um den Löseprozess zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang ist allerdings der Aspekt der Massenverhältnisse doch abweichend von der Idee hinter der Kategorie.

Zuletzt kann in der siebten Klasse ein neues Konzept beobachtet werden: Das Verdunsten des Lösungsmittels im Zusammenhang mit dem Löseprozess. Damit ist nicht gemeint, dass das Lösungsmittel spontan verdampft. Meist wurden hierbei nach der Animation einer homogenen

Lösung die Wasserteilchen herausgenommen und dies als Verdampfen des Wassers beschrieben. Auf Nachfrage haben die Schülerinnen und Schüler dabei beschrieben, dass der Prozess des Verdampfens des Lösungsmittels fest mit dem Löseprozess verknüpft ist.

Der gesamte Block „Interaktion von Molekülen“ kann ohne weiteres in die Kategorie der Teilchenbindung und physikalischen Interaktion eingeordnet werden. Die Beobachtungen hier beschäftigen sich alle mit der Interaktion von zwei oder noch mehr Molekülen und wurden hauptsächlich in der Klassenstufe 7 gemacht. Auch verschiedene Darstellungsformen, wie sich überlagernde Teilchen oder zusammenhängende Teilchen konnten in der Literatur bereits gefunden werden (Longden et al., 1991). Mit dem Verschmelzen von Molekülen und dem Verbinden von Molekülen bewegen sich die Vorstellungen an einer Grenze zwischen Teilcheninteraktion und chemischer Reaktion. Aber selbst Vorstellungen im Sinne einer chemischen Reaktion sind aus der Literatur bereits bekannt (siehe Tabelle 3)

Bei den Kodierungen aus dem Bereich der sonstigen Codes kann die Vorstellung der Eigenschaftsübertragung in die Kategorie Transfer eingeordnet werden. Diese beschreibt genau die Übertragung von makroskopischen Eigenschaften auf die submikroskopische Ebene. Sowohl bei der Beschreibung von Beobachtungen auf Stoffebene wie auch der allgemeinen Vermischung von Stoff- und Teilchenebene bei der Beschreibung chemischer Prozesse können immer wieder Schwierigkeiten beobachtet werden, die durch sprachlich unvollständige Trennung der Ebenen entsteht (Barke & Harsch, 2011, S. 164 ff.). Das Einzeichnen von Materialien (zum Beispiel Gefäße) bezieht sich nicht auf Vorstellungen zum Thema Löslichkeit. Dabei handelt es sich eher um eine Darstellungsentscheidung. Die Schülerinnen und Schüler könnten damit versucht haben die Aufgabenstellung auf ein ihnen bekanntes Szenario (Experiment aus dem Chemieunterricht) zurückzuführen. Im Zusammenhang mit den anschließend dargestellten submikroskopischen Teilchen zeigt sich aber auch hier eine Vermischung von Stoff- und Teilchenebene.

Die meisten der im vorherigen Abschnitt gefundenen Konzepte lassen sich in dem zuvor erstellten Kategoriensystem wiederfinden oder gar auf einen Aspekt der fachlich korrekten Vorstellung zur Löslichkeit zurückführen. Es stellte sich interessanterweise heraus, dass es Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse waren, die bereits Vorstellungen zur Hydrathülle und den anderen fachlich korrekten Aspekten des Löseprozesses hatten. Dieses hätte im Jahrgang 10 erwartet werden können, konnte jedoch leider nicht beobachtet werden.

Während die Schülerinnen und Schüler der zehnten Klasse gemäß der curricularen Vorgaben den Löseprozess in Gänze hätten erklären können sollen, konnte von den Befragten kein Teilnehmender den Löseprozess korrekt darstellen. Auf der anderen Seite hatten bereits einige Schülerinnen und Schüler aus der siebten Jahrgangsstufe Vorstellungen zum ablaufenden Prozess, der über ihren laut Curriculum bestehenden Wissensschatz hinausgeht. Die Schülerinnen und Schüler sollten bis zum Erhebungszeitpunkt zwar die Löslichkeit als Stoffeigenschaft kennen gelernt haben und mit dem einfachen Teilchenmodell chemische Prozesse soweit es denn möglich ist erklären können. Der Aufbau von Stoffen aus Atomen oder der Aufbau von Atomen aus Protonen, Elektronen und Neutronen wird im Unterricht erst später behandelt. Entsprechend sind auch Ladungen, zwischenmolekulare Anziehungskräfte, Elektronegativitäten und Dipole noch nicht behandelt worden. All dies wäre allerdings notwendig, um die Anlagerung von Wasser an den zu lösenden Stoff erklären zu können. Analoges gilt für die Ausbildung einer Hydrathülle. Dennoch konnte in einzelnen Fällen diese beiden Konzepte bei Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse beobachtet werden.

Durch die Studie konnten des Weiteren Erkenntnisse darüber erlangt werden, in welcher Reihenfolge der Löseprozess in den Augen der Schülerinnen und Schüler abläuft. Gemäß der Animationen kommt es zwar vor, dass die Schülerinnen und Schüler das Kristallgitter mit Unterstützung der Wasserteilchen aufspalten. Sehr häufig konnte aber auch beobachtet werden, dass der Zuckerkristall von sich aus in einzelne Teilchen zerfällt. Im Vergleich zu der fachlich korrekten Darstellung liegt der Fokus der Schüleranimationen hierbei auf dem Verteilen der Solute-Teilchen. Die Wasserteilchen agieren hierbei demnach nicht als Stoff, der einen anderen Stoff löst, sondern eher als reagierende Darsteller, die von den Schülerinnen und Schülern später in die Mitte der Zeichenfläche verschoben haben, um auch bei den Wasser-Teilchen eine gleichmäßige Verteilung herzustellen. Dieses Bestreben der gleichmäßigen Verteilung von Teilchen ist aus der Literatur bereits bekanntes Konzept (siehe Tabelle 4) und konnte auch in dieser Studie beobachtet werden. Auf die Reihenfolge in der dieser Endzustand erreicht wird, wurde in den Artikeln, die dieses Konzept erwähnt haben, nicht eingegangen und daher kann dies in diesem Zusammenhang als neue Erkenntnis eingestuft werden. Ein weiterer Aspekt dieser Erkenntnis, der ebenfalls nicht in der Literatur berücksichtigt wurde, ist die Art und Weise des Kristallzerfalls. Der überwiegende Teil der Befragten stellten eine spontane Aufteilung der Zuckerteilchen dar, die sich alle gleichzeitig in alle Richtungen verteilten. Vergleichsweise wenig Schülerinnen und Schüler haben eine Auflösung des Kristalls in einzelnen Schritten dargestellt, bei der nach und nach einzelne Zucker-Teilchen aus dem Kristall gelöst wurden und in der Lösung wegdiffundieren. Auch hierbei gilt, dass die Schülerinnen und Schüler der siebten

Klasse in Anbetracht ihres Kenntnisstandes nicht zwingend zu letzter Reihenfolge kommen sollten, wenn sie als Endergebnis ein homogenes Gemisch anpeilen. Mit einem umfassenden Verständnis des einfachen Teilchenmodells hätte allerdings auch den Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse schon auffallen können, dass eine Verteilung der Zuckerteilchen von der äußeren Schicht hin zur Kristallmitte sinnvoll ist.

Im Hinblick auf die Nutzung von ChemSense Animator haben die Schülerinnen und Schüler nach der Einführungsaufgabe nur sehr grundlegende Funktionen erklärt bekommen. Sie konnten Teilchen verschieben und die Teilchen zudem in Form, Farbe und Größe verändern. Die Schülerinnen und Schüler in ihrer Gesamtheit haben auch fast all diese Funktionen genutzt, nur das Verfärben wurde nicht in Anspruch genommen. Die unterschiedliche Form der Teilchen (Klasse 7) beziehungsweise der Atome und Ionen (Klasse 10) hat hier für eine Unterscheidung demnach ausgereicht.

Den Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe wurden alle Funktionen, die das Programm zu bieten hat gezeigt. Ohne einen vorgegebenen Startbildschirm sollten ihnen alle Funktionen zur Verfügung stehen. Zwar wurden in einzelnen Fällen Materialien und Stoffe auch auf Stoffebene dargestellt, eine Darstellung im Sinne des einfachen Teilchenmodells kam aber gar nicht vor. Die cyclischen Kohlenwasserstoffe wurden demnach auch nicht als geometrische Figuren und schon gar nicht als cyclische Kohlenwasserstoffe genutzt, was in Anbetracht der Aufgabenstellung aber nicht verwunderlich ist. Die vorgestellten Funktionen zum Einzeichnen von Bindungen, Atomen und Ionen wurden am häufigsten verwendet. Dies entspricht im Prinzip auch dem Nutzungsniveau, das ausgehend von den curricularen Vorgaben erwartet werden konnte. In seltenen Fällen wurden Pfeile benutzt um eine Art Reaktionsgleichung zu erstellen (siehe Kodierung CSA als Zeichen-/Schreibprogramm) oder über das Text-Tool Beschriftungen eingefügt.

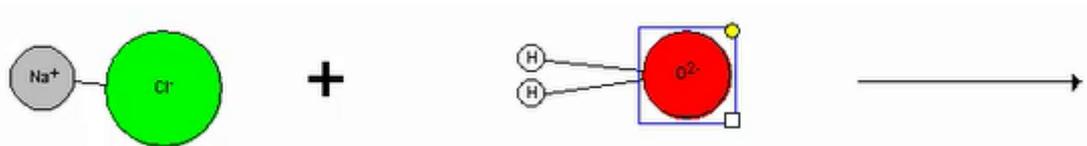
## 6 Diskussion

Im Gegensatz zu anderen Studien, die sich bislang mit der Erhebung von Schülervorstellungen beschäftigt haben, wurde im Rahmen dieser Studie eine Animationssoftware eingesetzt. Im vorherigen Kapitel wurde beschrieben, inwiefern die gefundenen Konzepte und Darstellungen jenen gleichen, die in der Literatur zu finden sind. Auch mithilfe einer Animationssoftware (und dem anschließenden Interview) konnten viele der bestehenden Erkenntnisse reproduziert werden konnten, was dafür spricht, dass sich die neue Methode dazu eignet, Schülervorstellungen zu erheben. Es konnten jedoch auch neue, bislang unbekannte Schülervorstellungen identifiziert werden.

Die erste Forschungsfrage zielte auf die reine Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler ab mithilfe eines Computerprogramms eine Animation zu erstellen. Wie in Kapitel 1 beschrieben wurde, ist es in der heutigen Zeit immer weiter verbreitet, dass der Computer im Unterricht und damit auch im Chemieunterricht eingesetzt wird. Dies ist im Zeitalter des digitalen Fortschritts nicht verwunderlich, da immer mehr Prozesse oder Funktionen mithilfe eines Computers oder anderer Medien möglich werden. Was früher standardmäßig mit Kugel-Stab-Modellen und Molekülbaukästen präsentiert wurde, kann heute auch mithilfe dreidimensionaler und manipulierbarer Animationen oder Simulationen erfolgen. Im Falle einfacher Verbindungen ist hier kaum ein Unterschied zu sehen, aber sobald die Moleküle größer und unübersichtlicher werden, ist eine Animation anschaulicher. Wie Michalchik et al. (2008) beschrieben haben, war es ihre Intension bei der Entwicklung der ChemSense Software, dass die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit bekommen ihre repräsentative Kompetenzen zu entwickeln. Damit meinten die Autoren, dass Entwickeln von Fähigkeiten, die es ermöglichen verschiedene Arten der Darstellung reflektiert zu nutzen, darüber nachzudenken und sich darüber auszutauschen. In diesem Sinne ist es als durchaus sinnvoll anzusehen, dass auch mit einer solchen Software Schülervorstellungen erhoben werden.

Im Rahmen der Erhebung haben alle Schülerinnen und Schüler vor der eigentlichen Aufgabe zum Löseprozess bereits eine kurze Animation erstellt. Dabei handelte es sich um die Bearbeitung der Einführungsaufgabe unter Anleitung des Interviewers. Die Aufgabe war mit dem Verschieben eines Kreises in einem Viereck (siehe Kapitel 4.5) relativ einfach, sollte aber auch nur die Funktionsweise des Programms verdeutlichen. Die Tatsache, dass diese Aufgabe von allen Schülerinnen und Schülern erfolgreich absolviert wurde, sowie, dass alle Teilnehmenden mit dem Programm am Ende ein Ergebnis produziert haben, dass sie als Darstellung ihrer Vorstellung angesehen haben, lässt den Schluss zu, dass es Schülerinnen und Schülern der

Sekundarstufe I im Allgemeinen möglich ist eine Animation zu erstellen. Eine kleine Eingrenzung diese Aussage lässt sich dahingehend machen, dass es bei vielen Schülerinnen und Schülern auch kleinere Schwierigkeiten beobachtet werden konnten. Dabei handelte es sich aber fast immer um Schwierigkeiten bei der Erfassung der Teilchen. Diese Schwierigkeit ließe sich eventuell mit mehr Übungszeit bei der Arbeit mit dem Programm verringern. Außerdem hat sich trotz der absolvierten Einführungsaufgabe gezeigt, dass in 7 Fällen Aspekte in der erstellten Animation gefunden wurden, die nicht einer Animation im Sinne einer Abfolge sich leicht verändernder Bilder entsprechen. In diesen Fällen wurde das Programm als Zeichenprogramm verwendet, um beispielsweise eine Reaktionsgleichung zu zeichnen (zum Beispiel Abbildung 18) oder eine Art Präsentationssoftware, bei der nacheinander schrittweise neue Teile zusätzlich eingeblendet wurden.



**Abbildung 18: Anfängene Zeichnung einer Reaktionsgleichung, wie sie VP42 zu Beginn der Animation erstellt hatte (VP42-Camtasia-Animation: 00:03:29.9)**

All diese Darstellungen wurden von Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe erstellt. In Verbindung mit der Tatsache, dass solche Darstellungen von den Teilnehmenden der siebten Jahrgangsstufe nicht angefertigt wurden, könnte ein Indiz dafür sein, dass die Schülerinnen und Schüler entweder mehr Übung im Umgang der Animationssoftware gebraucht hätten, oder die Hürde des nicht vorgegebenen Startbildschirms für manche doch zu hoch war. Wird noch der direkte Umgang mit der ChemSense Animator Software betrachtet, so zeigt sich, dass zwar alle nach der Einführungsaufgabe in der Lage waren eine Animation zu erstellen, aber auch immer wieder Schwierigkeiten auftauchten. Gerade beim gezielten Anwählen von Teilchen (besonders bei gruppierten Teilchen), dem regelmäßigen Hinzufügen eines neuen Frames oder dem Allgemeinen gestalten einer Animation, zeigten sich die Schülerinnen und Schüler noch ungeübt. Dies resultierte in einigen Fällen in Ergebnissen, die eher einer Zeichnung oder einer Präsentation ähnelten als einer Animation.

Da aber auch diese Schülerinnen und Schüler, wenn auch im weiteren Sinne und mit Berücksichtigung der Einführungsaufgabe, in der Lage waren mit dem Programm zu arbeiten, kann die erste Forschungsfrage durchaus bejaht werden. Gemäß der Programmierung der ChemSense Animator Software, ist ja auch eine Darstellung von einzelnen Bildern und Situationen durchaus möglich und gewollt. Auch wenn damit nicht das ganze Potential der Software

ausgeschöpft wird, entsprechen doch auch Lösungen, die solche zeichnerischen Aspekte enthalten, der geplanten Nutzung des Programms.

Darauf aufbauend beschäftigen sich die Forschungsfragen 2a und 2b mit dem Inhalt der erstellten Animationen. Zunächst wird dabei die Frage beantwortet, ob die Schüler mithilfe von Animationen chemische Inhalte, im Rahmen dieser Studie am Beispiel des Löseprozesses, darstellen können.

Die Antwort darauf fällt zweigeteilt aus. Zum einen haben alle Schülerinnen und Schüler, auch wenn sie während des Erstellens oder auch im Interview danach Unsicherheiten bezüglich ihres Fachwissens oder ihrer Darstellung geäußert haben, doch am Ende immer bestätigt, dass die erstellte Sequenz ihren Vorstellungen entsprach. Mit „Sequenz“ sind hier bei sowohl Animationen im Sinne sich verändernder Bilder, aber auch die Ansätze, die eher in Richtung Präsentation gehen, gemeint. Damit kann diese Frage von Schülerseite aus bejaht werden.

Von außen betrachtet kann die Frage nicht ganz so einfach mit einem „Ja“ beantwortet werden. Häufig finden sich Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler zum Thema Löslichkeit besitzen, in ihren Animationen wieder. Das ist daran zu erkennen, dass bei der Kodierung der Animationen bzw. Erstellungsvideos und Interviews die Kodierungen häufig paarweise auftreten. Mit einer Kodierung in einer Animation geht meist auch eine analoge Kodierung im Interview einher und umgekehrt (siehe Kapitel 5.3). So findet sich beispielsweise bei vier Schülerinnen und Schülern der zehnten Klasse Kodierungen zu dem Aspekt der chemische Reaktionen, wonach diese (vollständig) ausgeglichen sein müssen. Dieselben vier Teilnehmenden haben sich auch im Interview diesbezüglich geäußert. Es gibt jedoch auch Aspekte zum Thema Löslichkeit, die nur im Interview genannt wurde. Kategorien wie der Effekt des Rührens, die Beschreibung was eine gezeichnete Einfachbindung bedeuten sollen oder dass die Löslichkeit eines Stoffes begrenzt ist, wurden im Rahmen dieser Studie nur im Gespräch mit den Schülerinnen und Schülern gefunden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es Schülerinnen und Schülern möglich ist, ihre Vorstellungen mithilfe von Animationen zu visualisieren. Diese Bejahung der Forschungsfrage beruht auf der Einschätzung der Schüler, indem sie bestätigt haben, dass die Animation ihren Vorstellungen entspricht und dem Umstand, dass sie viele der gefundenen Konzepte sowohl in ihren Darstellungen wie auch in ihren verbalen Äußerungen zu finden waren. Dennoch müssen hierbei kleine Einschränkungen gemacht werden. Die Schülerinnen und Schüler können mit dem Programm umgehen und sie erkennen ihre Vorstellungen in ihren Darstellungen wieder, aber zeigte sich, dass Animationen nicht zwingend alle Vorstellungen erfassen, die die

Schülerinnen und Schüler zu dem Thema haben. Auch mit anderen Erhebungsinstrumenten ist es nicht möglich garantiert alle Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu erfassen. Da es im Rahmen dieser Studie jedoch gelungen ist, trotz bestehender sehr breiter Literaturgrundlage neue Aspekte zu finden spricht dies dafür, dass sich die Methode der von Schülerhand erstellten Animationen zu dem Zweck der Evaluation von Schülervorstellungen eignet.

Da sich diese Arbeit mit der Erhebung von Schülervorstellungen mithilfe von Animationen beschäftigt sind die Forschungsfragen 2b und 3a am Relevantesten. *Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Löseprozesse? Und: Ermöglichen Animationen einen detaillierteren Blick auf die Schülervorstellungen oder können gar ganz andere Vorstellungen erhoben werden?*

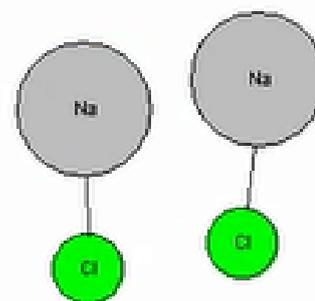
Im Kapitel 5.4 wurden die hier gefundenen Vorstellungen bereits in das Kategoriensystem eingeordnet, das sich aus Literaturdaten ergeben hat; die meisten Konzepte konnten in das literaturbasierte System eingeordnet werden. Im Vergleich fällt auf, dass viele Kategorien aus Tabelle 4, die sich mit dem Wesen von Lösungen beschäftigen, hier nicht beobachtet wurden. Dies liegt daran, dass sich die meisten dieser Kategorien auf Vorstellungen beziehen, die sich aus dem Zusammenspiel von Lösemittel und Solute ergeben. In den zugrundeliegenden Studien lag der Fokus mehr auf dem Aspekt der Massen- oder Volumenerhaltung beim Löseprozess. Da der Fokus hier in dieser Studie auf der Darstellung des Löseprozesses auf submikroskopischer Ebene lag, ist es nicht verwunderlich, dass diese Vorstellungen nicht genannt wurden.

Aus Tabelle 2 (Kategorien zu Bedingungen zum Löseprozess) wurden die meisten Kategorien auch im Rahmen dieser Untersuchung Animationen genannt. Während externe Faktoren wie Bewegung (rühren), Wärme oder das Stehen lassen auch in dieser Studie genannt wurden, wurde der Effekt der Oberfläche oder der Menge des Lösungsmittels auf die Löslichkeit in dieser Studie nicht genannt. Diese Kategorien beziehen sich allerdings eher auf Beobachtungen und Beschreibungen der Stoffebene, weshalb die Nennung im Rahmen dieser Studie nicht sehr wahrscheinlich war.

Von den Kategorien direkt zum Löseprozess wurden fast alle Kategorien, die aus der Literatur bereits bekannt sind, auch im Rahmen dieser Studie gefunden. Nur die Raumnutzung, also das Besetzen freier Räume im Lösungsmittel wurde nicht explizit genannt. Beim Betrachten der Animationen könnte zwar argumentiert werden, dass sich gerade in den Animationen der siebten Jahrgangsstufe immer wieder die Zuckerteilchen zwischen den Wasserteilchen bewegen. Hier einen deutlichen Unterschied zwischen dem Besetzen freier Zwischenräume und dem Erstellen einer homogenen Lösung aus gleichverteilten Wasser- und Zuckerteilchen zu

erkennen war jedoch nicht eindeutig möglich. Auffallend war, vor allem im Vergleich zur Literatur, dass die Schülerinnen und Schüler sehr selten die Idee und nur in einem Fall das Wort „schmelzen“ verwendet haben, um den Löseprozess zu beschreiben. Da dieses Phänomen in der Literatur häufiger berichtet wurde (z. B. (Çalik & Ayas, 2005a; Ebenezer & Erickson, 1996; Piaget & Inhelder, 1974, S. 72 ff.)), hätte hier eine höhere Anzahl an Funden vermutet werden können. Eine mögliche Erklärung für das sehr geringe Auftreten dieser sprachlichen Beschreibung ist die Argumentation auf submikroskopischer Ebene. Die Animationen und damit auch die Beschreibungen des Prozesses werden durch die Aufgabenstellung gar nicht erst auf die Stoffebene geführt, weshalb auch keine Beschreibungen des Prozesses auf dieser Ebene vorgenommen werden. Das Erheben von Schülervorstellungen mithilfe von Animationen vor allem in Kombination mit einem anschließenden Interview führt also zu sehr ähnlichen Ergebnissen wie bisherige Erhebungsinstrumente auch. Dies kann als post-hoc Validierung angesehen werden.

Als zusätzliche Erkenntnis aus dieser Studie ist zu betrachten, dass die Schülerinnen und Schüler der zehnten Klasse bei einem leeren Startbildschirm dazu tendieren, Kochsalz als zweiatomige Verbindung aus Natrium und Chlor darzustellen. Eine typische Darstellung dazu ist in Abbildung 19 zu sehen, wobei häufig auch nur ein einzelnes „NaCl-Molekül“ gezeichnet wurde. Diese Vorstellung von Kochsalz-Molekülen hat nur indirekt mit dem Löseprozess von Kochsalz in Wasser zu tun und ist wie im vorherigen Kapitel bereits beschrieben aus der Literatur bereits bekannt. Sie zeigt zudem, dass die Schülerinnen und Schüler hier von einem fachlich nicht tragfähigen Konzept ausgehen und darauf aufbauend auch der Löseprozess nicht korrekt verstanden

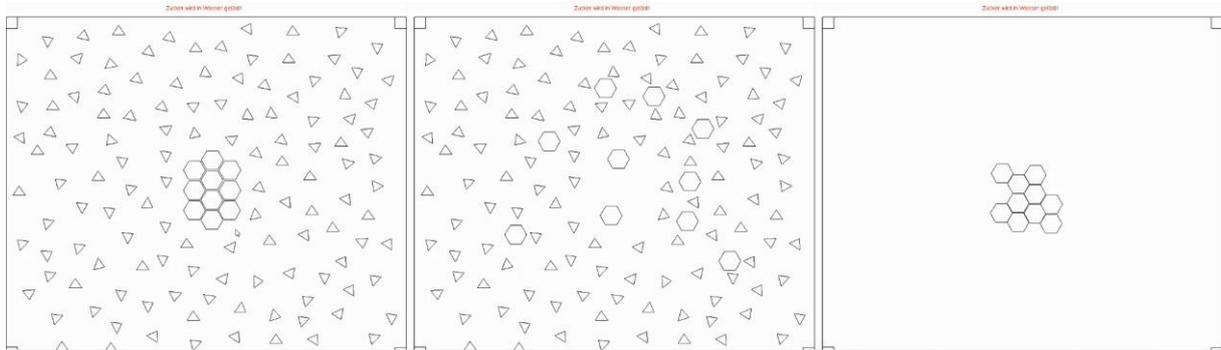


**Abbildung 19: Darstellung von Kochsalz (VP34-Camtasia-Animation: 00:02:53.2)**

worden ist. Dennoch kann mit der Beobachtung dieser Vorstellung gezeigt werden, dass sich auch solche zunächst einmal statischen Sachverhalte mithilfe von ChemSense Animator erfassen lassen und dass die Entscheidung, keinen Startbildschirm vorzugeben, sinnvoll war. Andernfalls wären viele Schülerinnen und Schüler von einer zwar fachlich korrekten, aber nicht ihrer Vorstellung entsprechenden Startsituation ausgegangen.

Eine weitere gefundene Vorstellung ist die gedankliche Verknüpfung des Löseprozesses mit dem Verdampfen des Lösemittels. Vorstellungen zum Verdampfen lassen sich zwar bereits finden (siehe Kapitel 2.4.3), diese beziehen sich jedoch auf das Verdampfen des Soluts beim Löseprozess oder aber das eine oder beide Komponenten verdampfen (Blanco und Prieto (1997) Eine genauere Betrachtung dieser Vorstellung soll hier am Beispiel von VP06 vorgenommen

werden. Zunächst wurde im Rahmen der Animation eine nahezu gleichmäßige Verteilung der Zuckerteilchen dargestellt (Abbildung 20, Mitte) und anschließend die Wasserteilchen herausgelöscht (Abbildung 20, rechts).



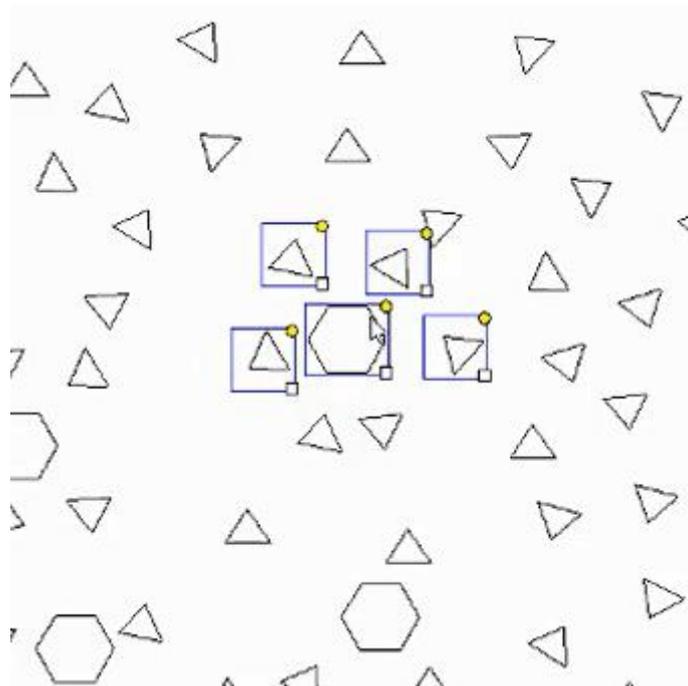
**Abbildung 20: Verlauf der Animation von VP06: Startbildschirm (Frame 1) (links), Zwischenstand (4) (mittig) und Endzustand (14) (rechts)**

Dabei ist zu sehen, dass VP06 die Zuckerteilchen nach dem Löschen der Wasserteilchen auch wieder zu einem Kristall zusammengeschoben hat, sodass diese Darstellung eine verhältnismäßig gute Darstellung dessen ist, was passiert, wenn etwas Zucker in Wasser gegeben wird und anschließend das Wasser wieder verdampft. Auf Nachfrage bestätigte VP06 jedoch, dass auch derjenige Teil der Animation, der das Verdampfen des Wassers beschreibt Teil des Löseprozesses sei (VP06 Z130-134). Der Gedanke, dass diese beiden Prozesse nicht voneinander trennbar sind und dass das Verdampfen des Lösungsmittels Teil des Löseprozesses sei, ist demnach ein Konzept, das zuvor noch nicht beobachtet wurde.

Eine mögliche Ursache für diese Vorstellung ist ein Experiment, das die Schülerinnen und Schüler im Unterricht durchgeführt haben. Dabei wurde Zucker in Wasser gelöst und anschließend wiedergewonnen, indem das Wasser verdampft wurde. Das Ziel dieses Versuches war dabei höchstwahrscheinlich die Erkenntnis, dass sich Stoffe lösen lassen, sie dabei aber nicht verschwinden, sondern nach wie vor vorhanden sind und sich auch wieder zurückgewinnen lassen. In dieser Studie zeigte sich, dass es passieren kann, dass Schülerinnen und Schüler diese zwei Prozesse als einen Prozess verstehen.

Eine zweite neue Erkenntnis aus dieser Studie sind die Vorstellungen zur Hydrathülle, die sich bereits bei zwei Schülerinnen und Schülern aus der siebten Jahrgangsstufe in Ansätzen finden ließen. Gemäß den curricularen Vorgaben und den Angaben der Klassenlehrerin verfügten die Schülerinnen und Schüler zum Zeitpunkt der Erhebung nur über das einfache Teilchenmodell. Das bedeutet allerdings auch, dass die Schülerinnen und Schüler im Unterricht noch nichts über zwischenmolekulare Anziehungskräfte gelernt haben; dafür fehlen ihnen zu diesem Zeitpunkt

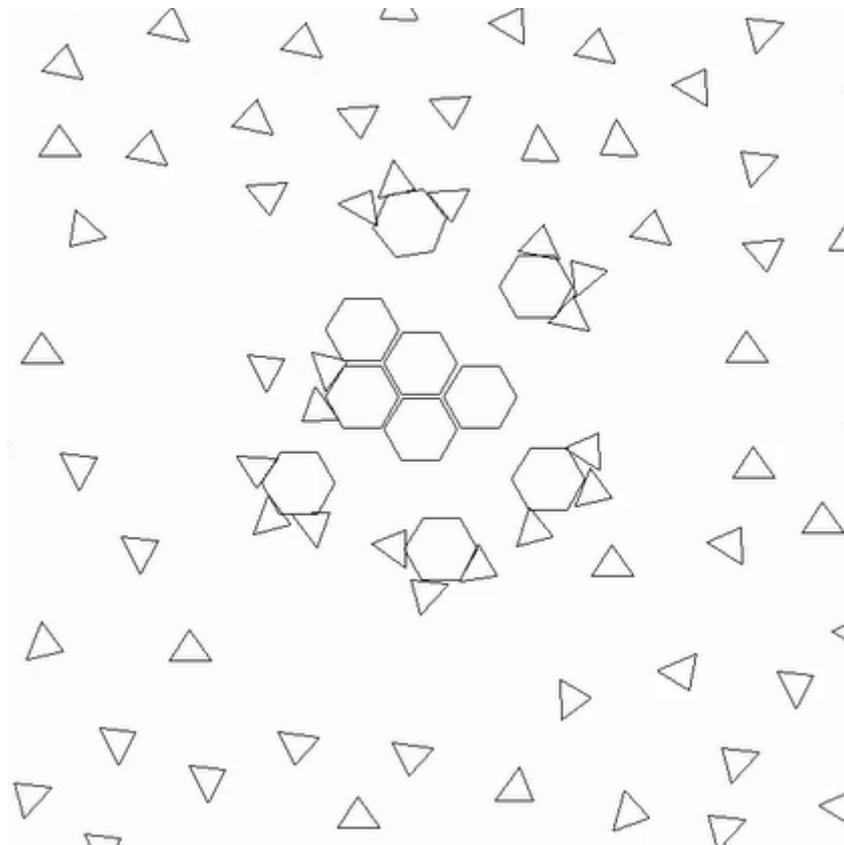
die Grundlagen. Dennoch hatten einzelne Schülerinnen und Schüler eine ganz klare Idee zu einer solchen Hülle. VP17 beschreibt das Verhalten von Wasser und Zuckerteilchen beim Lösen so, dass das Wasser den Zucker umhüllt, sich dadurch eine Schicht ausbildet und diese das Zuckerteilchen denn bewegt „So wie ein Mensch in einem Auto.“ (VP17 Z46) Der Mensch repräsentiert dabei das Zuckerteilchen, während das Auto die Wasserteilchen darstellen, die den Menschen umhüllen und ihn fortbewegen. Zeichnerisch hat VP17 dies so dargestellt, dass ein Zuckerteilchen von mehreren Wasserteilchen umgeben wurde und diese gemeinsam über die Zeichenfläche verschoben wurden (Abbildung 21).



**Abbildung 21: VP17 bewegt ein Zuckerteilchen gemeinsam mit den es umgebenden Wasserteilchen (VP17-Camtasia-Animation: 00:05:40.9)**

Eine ähnliche, aber dennoch leicht unterschiedliche Vorstellung des Löseprozesses hat ebenfalls mit einer Hydrathülle zu tun. VP62 hat während des Löseprozesses zielgerichtet drei Wasserteilchen an je ein Zuckerteilchen angelagert. Abbildung 22 zeigt Frame 66 der Animation von VP62. Von der Abbildung her ist deutlich zu erkennen, dass gezielt erst Wasserteilchen an den Kristall angelagert werden, was hier auf der linken Seite des verbleibenden Kristalls zu sehen ist. Nach dem Anlagern von drei Wasserteilchen werden die Zuckerteilchen aus dem Kristallgitter herausgelöst und diffundieren vom verbleibenden Zuckerkristall weg. Aus der Literatur ist bisher nicht bekannt wie viele Wasser-Moleküle benötigt werden, um ein Glucose-, oder im Fall von Haushaltszucker, ein Saccharose-Molekül zu hydratisieren. Aber das sich eine Hydrathülle ausbildet ist bekannt und wird hier von VP62 auch gezielt dargestellt. Insofern ist dies eine Vorstellung die fachlich korrekt ist, aber über den eigentlichen Wissensstand hinaus-

geht. Auf die Frage hin, ob denn immer drei Wasserteilchen vonnöten seien, um ein Zuckerteilchen aus dem Kristall herauszulösen, erklärte VP62 das dies mit den Massen zu tun hätte. Es würde immer die gleiche Masse an Wasser benötigt werden um ein Zuckerteilchen aus dem Kristall herauszulösen (VP62 (Z69-76)). Demnach würden der dieser Vorstellung/Darstellung entsprechend drei Wasserteilchen genauso viel wiegen wie ein Zuckerteilchen. Diesem Konzept treu bleibend erklärte VP62 auch, dass eine geringere Masse an Wasser nicht ausreichen würde, um weitere Zuckerteilchen aus dem Kristall herauszuberechnen (VP62 (Z74 ff.)). Das Konzept, dass VP62 vom Löseprozess hat, ist damit insofern bekannt, als dass die Darstellung, der einer Hydrathülle nahe kommt. Auf der anderen Seite handelt es sich um ein neues Konzept, da die zugrundeliegende Idee der identischen Massen nicht auf einem tragfähigen Konzept steht und in der Literatur so noch nicht beobachtet wurde. Da auch VP62 zum Erhebungszeitpunkt in die siebte Klasse ging, geht allein die Vorstellung über eine Hülle oder ein Zusammenwirken der Teilchen über den Wissensstand hinaus, das Problem der unbekanntenen zwischenmolekulare Anziehungskräfte hat VP62 im Rahmen der Erklärung allerdings durch bekannte Aspekte (Massen) versucht auszugleichen.

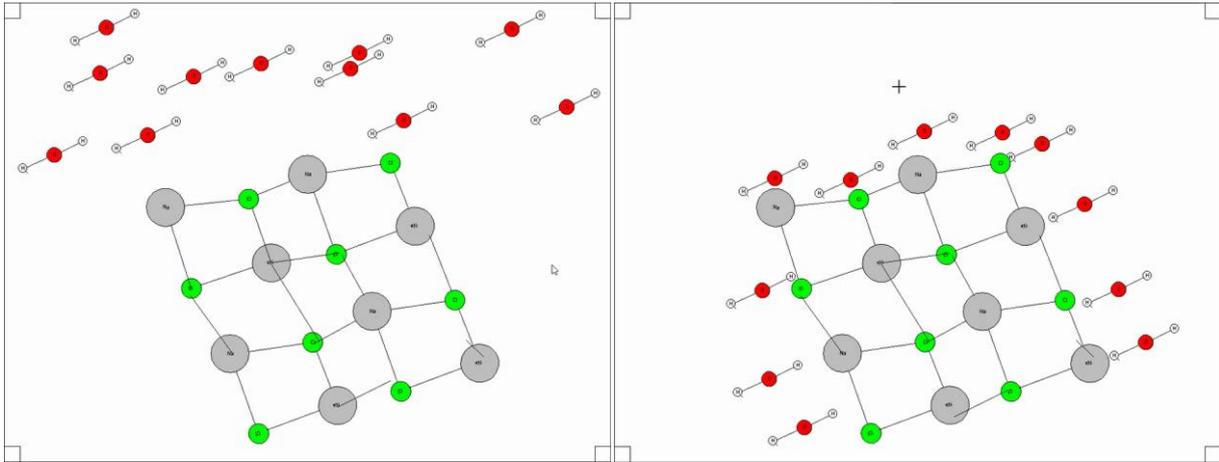


**Abbildung 22: Teilweise aus dem Kristall herausgebrochene Zuckerteilchen mit angelagerten Wasserteilchen (VP62-Camtasia-Animation: 00:12:47.2)**

Forschungsfrage 3a hat danach gefragt, ob mithilfe von Animationen ein detaillierterer Blick auf die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler geworfen werden kann. Im Zusammenspiel mit dem Interview ist dies auf jeden Fall möglich. Eine letzte Beobachtung, die den Aspekt der detailgetreuen Abbildung anspricht, soll hier als letztes thematisiert werden: die Reihenfolge. Während in früheren Studien nur nach einer Beschreibung des Endzustandes gefragt wurde (unabhängig ob durch eine Beschreibung oder eine Zeichnung), waren die Schülerinnen und Schüler im Rahmen dieser Studie dazu gezwungen, sich auch mit dem Weg von der Startsituation bis hin zum Endzustand auseinander zu setzen. Dabei konnte vor allem in der Erhebung im siebten Jahrgang festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler häufig von einer falschen Reihenfolge ausgehen. Während sich korrekterweise zunächst die Moleküle des Lösungsmittels aufgrund zwischenmolekularer Anziehungskräfte an den zu lösenden Stoff anlagern, dabei die Gitterstrukturen aufgebrochen werden und nach einer Solvataion die gelösten Teilchen in das Lösungsmittel diffundieren, wurde hier eine andere Reihenfolge beobachtet. Bei der Befragung der Schülerinnen und Schülern der siebten Klasse agierten meist die Zuckerteilchen als Akteure. Sie verließen ohne äußere Einwirkung den Kristall. In den meisten Fällen diffundierten sie alle gleichzeitig aus dem Kristallgitter heraus und verteilten sich über die Zeichenfläche. Die Wasserteilchen traten erst im Anschluss daran in Aktion und füllten die entstehende zeichnerische Lücke, die sich durch das Wegdiffundieren der Zuckerteilchen ergab.

In dem Sinne, dass die Schülerinnen und Schüler mit dem einfachen Teilchenmodell keine Kenntnis von zwischenmolekularen Anziehungskräften haben, ist es nicht verwunderlich, dass sie diese nicht berücksichtigen. Wird jedoch das Ziel betrachtet, im Verlauf der Sekundarstufe I ein fachlich korrektes Konzept zu entwickeln, muss im Unterricht herausgearbeitet werden, dass das Lösungsmittel den Löseprozess vorantreibt und nicht allein vom zu lösenden Stoff abhängt.

In dieser Studie konnte ein analoges Phänomen in der Klassenstufe 10 nicht beobachtet werden. Der Aspekt der Reihenfolge, in dem der Löseprozess abläuft, konnte dahingehend nicht beobachtet werden, als dass die Schülerinnen und Schüler hier fast alle von chemischen Reaktionen zwischen Lösemittel und zu lösendem Stoff ausgingen (vgl. Tabelle 14). Am Ehesten konnte die theoretische Reihenfolge noch bei VP41 beobachtet werden (Abbildung 23).



**Abbildung 23: Anlagerung von Wasser-Molekülen an einen Salzkristall (VP41, selbsterstelltes Startbild (links) und Frame 3 (rechts))**

Nach dieser Anlagerung hat allerdings auch VP41 Kochsalz und Wasser miteinander reagieren lassen, womit eine Beurteilung der Reihenfolge bezüglich des Löseprozesses nicht mehr möglich war.

Abschließend wird noch diskutiert, auf welchen Aspekten die Schülerinnen und Schüler in der siebten und in der zehnten Klasse den Fokus ihrer Animation gelegt haben. Mit der Beantwortung der Frage nach dem Fokus wird die fachliche Qualität der Animation dahingehend untersucht, ob es überhaupt ein erkennbares Ziel, bei der Erstellung der Animationen gibt und ob dieses zur Aufgabenstellung passt.

Der Fokus der Animationen der Siebtklässler passte zu den Erwartungen, wie sie in Abschnitt 4.2 formuliert wurden. Sie sind in den meisten Fällen darauf bedacht, die Zuckerteilchen über die Zeichenfläche hinweg zu verteilen, um so eine gleichmäßige Vermischung der Teilchen herzustellen. Auf zwischenmolekulare Anziehungskräfte wird so gut wie nicht eingegangen und das Konzept der Löslichkeit beschränkt sich auf das des Vermischens. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass die Schülerinnen und Schüler im Regelfall Zucker als agierenden Stoff darstellen, der von sich aus der Akteur des Löseprozesses ist. Die Wasserteilchen passen sich der Bewegung der Zuckerteilchen an und füllen so beispielsweise die Lücke aus, die beim Verteilen der Zuckerteilchen über die Zeichenfläche hinweg entstanden ist. Eine gezielte Anlagerung von Wasser, das Aufbrechen der Kristallgitter und die anschließende Hydratation der einzelnen Zuckerteilchen konnte nur in Ausnahmefällen beobachtet werden. Die zuletzt genannte und fachlich korrekte Vorstellung des Lösevorgangs geht dabei über den laut Lehrplan und Kerncurriculum angedachten Kenntnisstand hinaus. Das Ziel der Schülerinnen und Schüler, eine zu ihrem Wissensstand passende Darstellung des Löseprozesses zu erstellen, konnte

also erreicht und zusätzlich dazu Informationen darüber gewonnen werden, wie in den Augen der Schülerinnen und Schüler der Löseprozess abläuft.

Der Fokus der Animationen der Klasse zehn lag auf der chemischen Reaktion zwischen Wasser und Kochsalz. Allerdings wurde von den meisten Schülerinnen und Schülern kein Löseprozess, sondern eine chemische Reaktion zwischen Lösemittel und Solute dargestellt. Dieses Ergebnis entsprach im Gegensatz zu dem der Teilnehmenden der siebten Klassenstufe nicht den Erwartungen. Obwohl die Schülerinnen und Schüler gemäß der curricularen Vorgaben den Aufbau von Kochsalz und Wasser sowie den Löseprozess korrekt hätten darstellen können sollen, konnten hier von keinem der Teilnehmenden eine solche Animation erstellt werden. Neben den Schwierigkeiten mit dem eigentlichen Prozess zeigten sich hier unter anderem Vorstellungen, die schon vor dem eigentlichen Löseprozess fehlerhaft waren. So wurde häufig Wasser und noch häufiger Kochsalz fehlerhaft dargestellt, was schon eine fehlerhafte Basis für die zu lösende Aufgabe schaffte. Darauf aufbauend erscheint es wenig verwunderlich, dass die Schülerinnen und Schüler nicht in der Lage waren, den Löseprozess darzustellen. Insofern eignet sich die Methode der Animationen auch hier, um die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu erfassen und es wird klar, dass zurückgeworfen auf ihre eigenen Vorstellungen, selbst eine verhältnismäßig einfache Aufgabenstellung weitreichendes fehlerhaftes Wissen offenbaren kann. Ob die Vorgabe eines fachlich korrekten Startbildschirms, zu anderen Erkenntnissen geführt hätte, muss an dieser Stelle unbeantwortet bleiben.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Aufbauend auf der fortschreitenden Digitalisierung des Unterrichts im Allgemeinen und des Chemieunterrichts im Speziellen war das Ziel dieser Arbeit die Erhebung von Schülervorstellungen zum Löseprozess. Der Computer findet immer mehr Anwendungen im Unterricht, von Bild- und Textverarbeitung über Messwerterfassung bis hin zur Animation und Simulation von (chemischen) Prozessen. Warum sollte dann nicht auch der Computer und speziell das Erstellen von Animationen nicht auch dafür eingesetzt werden, Schülervorstellungen zu erheben? Mit dem Programm ChemSense Animator ist eine technisch einfache und eine in der Handhabung einfache Software vorhanden, die es Schülerinnen und Schülern ermöglicht selbst Animationen zu erstellen. Mit dieser Software bietet sich die Möglichkeit einen dynamischen Prozess mit einer dynamischen Methode abzubilden. Gerade dieser letzte Aspekt hat dazu geführt in dieser Studie zu Schülervorstellungen zu einem dynamischen Prozess dieses Erhebungsinstrument zu wählen. Die Studie konnte belegen, dass der Einsatz von Animationen als Diagnoseinstrument vielschichtige Einblicke in die Vorstellungswelt von Schülerinnen und Schülern erlaubt, die neue, äußerst relevante Aspekte zu Tage fördern.

Ein in dieser Hinsicht wesentlicher Aspekt ist der des vorhin angesprochenen dynamischen Ablaufs. Über die Animationen konnte hier festgestellt werden, dass zumindest die Schülerinnen und Schüler der siebten Klassenstufe (auch wenn sie dies noch nicht wissen müssen) dem Lösungsmittel nur eine passive Rolle im Prozess zuordnen: Der Zuckerkristall zerfällt von alleine in einzelne Zuckerteilchen (die sich in manchen Darstellungen noch weiter verändern) und die Wasserteilchen reagieren auf die entstehende Lücke im Zeichenbereich.

Diese Abweichung vom eigentlich ablaufenden Prozess muss Lehrkräften bewusst sein, wenn sie das erste Mal das Thema einführen sowie in späteren Jahren Löslichkeit mithilfe eines differenzierten Atommodells erneut betrachten und dabei zwischenmolekulare Anziehungskräfte mit einbeziehen. Sie sollten die Vorstellung des passiven Lösungsmittels bewusst adressieren und deutlich machen, dass es das Lösungsmittel ist, dass den Prozess vorantreibt. Auch zu diesem Zweck lassen sich Animationen einsetzen (Kelly, 2015; Schank & Kozma, 2002).

Neben vielen inhaltlichen Aspekten bezüglich der Löslichkeit zeigt sich jedoch auch, dass viele Schülerinnen und Schüler immer wieder Schwierigkeiten mit dem Umgang der Software hatten. Es wäre für eine weitere Erhebung sinnvoll den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern mehr Vorbereitungszeit zu gewähren, um solche Schwierigkeiten zu vermindern. Das könnte im Rahmen einer Unterrichtseinheit geschehen, die beinhaltet, dass die Lernenden mit einer Animationssoftware arbeiten. Die Hürde, einen chemischen Sachverhalt darzustellen (auch

wenn diese inhaltlich eigentlich bekannt sein sollte), könnte durch vorherige Übung etwas verringert werden. Alternativ kann im Vorfeld vielleicht eine zusätzliche Übungseinheit zur verwendeten Software durchgeführt werden, die nicht nur die normalen Funktionen des Programmes enthält, sondern den Lernenden die Möglichkeit gibt, sich intensiv und ohne eine Art Prüfungssituation mit dem Programm auseinander zu setzen. Dazu gehören das Planen eines Drehbuchs für die Animation und die Überlegungen zu den verschiedenen Darstellungsentscheidungen. Gegebenenfalls wäre hier eine Art Seminarfachumgebung ein geeigneter Rahmen. Da sich auch zuvor noch nicht beobachtete Schülervorstellungen mit Animationen finden lassen, wäre es durchaus interessant, Schülervorstellungen weiterer Themen mittels Erstellung von Animationen zu untersuchen.

Ein Ebenso interessanter Aspekt könnte sein mithilfe einer Animationssoftware zu überprüfen, wie die Vorstellungen von (Lehramts-)Studierenden oder Lehrkräften aussehen. Zwar stößt das Programm ChemSense Animator mit der Darstellung von Atomen und Ionen beziehungsweise der Darstellung von Skelettstrukturformeln an seine Grenzen, und auch exakte Molekülgeometrie oder Elektronenverteilungen können nicht dargestellt werden. Dennoch bleiben genug Themen des Chemieunterrichts, zu denen entsprechenden Vorstellungen bei den genannten Gruppen erhoben werden könnten.

Sowohl bei der weiteren Befragung von Schülerinnen und Schülern zu weiteren Themen, wie auch bei der Erhebung von Studierenden- oder Lehrervorstellungen bietet es sich an darüber nachzudenken, ob ein Startbildschirm mit fachlich korrekter Situation vorgegeben wird oder nicht. Wie im Rahmen dieser Studie festgestellt werden konnte ist es bereits Schülerinnen und Schülern in der zehnten Klasse möglich, innerhalb einer angemessenen Zeitspanne einen für sie zufriedenstellenden Startbildschirm zu erstellen. Dies sollte dann auch für ältere Personen möglich sein. Mit diesem Schritt sind die befragten Personen darauf angewiesen neben dem eigentlichen darzustellenden Prozess auch eine dafür geeignete Startsituation zu erzeugen und damit ein noch umfassenderes Bild ihrer Vorstellung zu erzeugen. An dieser Stelle könnte auch eine Vergleichsstudie durchgeführt werden, bei der eine Lerngruppe mit annähernd gleichen Voraussetzungen aufgeteilt wird und eine Hälfte einem fachlich korrekten Startbildschirm erhalten, während die andere Gruppe die Animation ausgehend von einem leeren Startbildschirm erstellt. So wäre es möglich, den Einfluss eines vorgegebenen Startbildschirms zu erheben.

## **Anhang**

### **Inhaltsverzeichnis des Anhangs**

<b>A</b>	<b>Transkriptionsregeln .....</b>	<b>138</b>
----------	-----------------------------------	------------

## A Transkriptionsregeln

Die folgenden Transkriptionsregeln wurden angewandt um die Interviews mit den Schülerinnen und Schülern zu verschriftlichen. Die Regeln bilden eine Zusammenstellung von Transkriptionsregeln aus mehreren Werken zur qualitativen Forschung und Interviewführung (Bortz & Döring, 2006, S. 313; Dresing & Pehl, 2015, S. 20 ff.; Mayring, 2010, S. 55). In der linken Spalte finden sich die Vorgaben und in der rechten Spalte die jeweiligen Erklärungen. Auch anderweitige Regeln finden sich in der rechten Spalte.

**Tabelle 20: Regeln für die Transkription der Interviews**

Zeichen	Bedeutung
I:	Interviewer spricht.
B:	Schülerin, Schüler, Studentin oder Student spricht.
L: / S:	Lehrkraft oder ein anderer Schüler der hereinkommt spricht.
(-)	Kurze Pause (bis ca. 3 Sekunden)
(10s)	Lange Pause (ab ca. 3 Sekunden) mit Angabe der ungefähren Dauer der Pause in Sekunden.
/	Abbruch eines Wortes oder Satzes.
(LACHEN)	In runden Klammern wird nonverbales Verhalten (z. B. Lachen, Räuspern, Husten) in Großbuchstaben dokumentiert.
[ ]	In eckigen Klammern werden Verweise auf Handlungen, Gegenstände oder Teile von Zeichnungen aufgeführt, worauf sich der Interviewer oder der/die Befragte zurzeit bezieht.
I: Text [[S: Text]] Text. bzw. B: Text [[I: Text]] Text.	Gleichzeitiges Sprechen von Interviewer und Befragtem bzw. Befragtem und Interviewer.
	Dialektfärbungen werden eingedeutscht (zerscht = zuerst; miaßn = müssen). Echte Dialektausdrücke jedoch bleiben und werden nach Gehör geschrieben.
	Verständnissignale des gerade nicht Sprechenden wie „mhm, aha, ja, ok, genau, ähm“ etc. werden nicht transkribiert. AUSNAHME: Eine Antwort besteht NUR aus „mhm“ ohne jegliche weitere Ausführung. Dies wird als „mhm (bejahend)“, oder „mhm (verneinend)“ erfasst, je nach Interpretation.
	Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden möglichst wortgenau ins Hochdeutsche übersetzt. Wenn keine eindeutige Übersetzung möglich ist, wird der Dialekt beibehalten, zum Beispiel: Ich gehe heuer auf das Oktoberfest.

Zeichen	Bedeutung
	Wortverschleifungen werden nicht transkribiert, sondern an das Schriftdeutsch angenähert. Beispielsweise „Er hatte noch so‘n Buch genannt“ wird zu „Er hatte noch so ein Buch genannt“ und „hamma“ wird zu „haben wir“. Die Satzform wird beibehalten, auch wenn sie syntaktische Fehler beinhaltet, beispielsweise: „bin ich nach Kaufhaus gegangen“.
	Wort- und Satzabbrüche sowie Stottern werden geglättet bzw. ausgelassen, Wortdoppelungen nur erfasst, wenn sie als Stilmittel zur Betonung genutzt werden: „Das ist mir sehr, sehr wichtig.“. „Ganze“ Halbsätze, denen nur die Vollendung fehlt, werden jedoch erfasst und mit dem Abbruchzeichen / gekennzeichnet.
	Interpunktion wird zu Gunsten der Lesbarkeit geglättet, das heißt bei kurzem Senken der Stimme oder uneindeutiger Betonung wird eher ein Punkt als ein Komma gesetzt. Dabei sollen Sinneinheiten beibehalten werden.
(Text. ?) (unv., Ursache)	Vermutet man einen Wortlaut, ist sich aber nicht sicher, wird das Wort bzw. der Satzteil mit einem Fragezeichen in Klammern gesetzt. Längere unverständliche Passagen sollen möglichst mit der Ursache versehen werden (unv., Handystörgeräusch) oder (unv., Mikrofon rauscht).
‘Taste‘ ‘Funktion‘	Tasten und Funktionen werden mit einfachen Anführungszeichen markiert.

## Literaturverzeichnis

- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W. & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (2), 105-120.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M. & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 147-165.
- Achtermann, K., Brüinig, T., Gosemann, U., Hildebrandt, K., Porth, H.-R., Vöpel, K.-H. et al. (2009). Chemie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe*. Hannover.
- Achtermann, K., Ellerbrake, T., Gauer, J., Harms, G., Hildebrandt, K., Voss, C. et al. (2017). Chemie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe*. Hannover.
- Achtermann, K., Goldenstein, N., Gosemann, U., Hildebrandt, K., Rebentisch, D. & Witte-Ebel, M. (2007). Chemie. In Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5-10. Naturwissenschaften* (S. 47-68). Hannover.
- 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). Hannover.
- Ardac, D. & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (4), 317-337.
- Atkins, P. W. & Jones, L. L. (2006). *Chemie - einfach alles* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Weinheim: Wiley-VCH.
- Au, T. K., Sidle, A. L. & Rollins, K. B. (1993). Developing an intuitive understanding of conservation and contamination: Invisible particles as a plausible mechanism. *Developmental Psychology*, 29 (2), 286-299.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology. A cognitive view*. New York: Holt Rinehart and Winston.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen* (Springer-Lehrbuch). Berlin: Springer.

- Barke, H.-D. & Harsch, G. (2011). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis* (Lehrbuch, 3. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A. & Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis* (2. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.
- Becker, H.-J. & Hildebrandt, H. (1997). Medien im Chemieunterricht in Artikeln chemiedidaktischer Zeitschriften (seit 1945). *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 8 (38), 41-43.
- Bétrancourt, M. & Chassot, A. (2008). Making Sense of Animation: How Do Children Explore Multimedia Instruction? In R. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation. Research implications for design* (S. 141-164). Cambridge: Cambridge University Press.
- Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: Springer Spektrum.
- Blanco, A. & Prieto, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid. A cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19 (3), 303-315.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (4., überarbeitete Auflage). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Brook, A., Briggs, H. & Driver, R. (1984). Aspects of Secondary Students' understanding of the particulate nature of matter Children's Learning. *Science Project Leeds, University of Leeds*.
- Brown, T. L., LeMay, H. E. & Bursten, B. E. (2011). *Chemie. Studieren kompakt* (10., aktualisierte Auflage). Hallbergmoos: Pearson.
- Burke, K. A., Greenbowe, T. J. & Windschitl, M. A. (1998). Developing and Using Conceptual Computer Animations for Chemistry Instruction. *Journal of Chemical Education*, 75 (12), 1658-1661.
- Butts, B. & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, 17 (1), 192-201.

- Çalik, M. (2005). A Cross-Age Study of Different Perspectives in Solution Chemistry from Junior to Senior High School. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3 (4), 671-696.
- Çalik, M. & Ayas, A. (2005a). A comparison of level of understanding of eighth-grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (6), 638-667.
- Çalik, M. & Ayas, A. (2005b). A cross-age study on the understanding of chemical solutions and their components. *International Education Journal*, 6 (1), 30-41. Zugriff am 22.07.2018. Verfügbar unter <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ854953.pdf>
- Çalik, M., Ayas, A. & Coll, R. K. (2007). Enhancing Pre-service Elementary Teachers' Conceptual Understanding of Solution Chemistry with Conceptual Change Text. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5 (1), 1-28.
- Çalik, M., Ayas, A. & Ebenezer, J. V. (2005). A Review of Solution Chemistry Studies. Insights into Students' Conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14 (1), 29-50.
- Christen, H. R. (1980). *Struktur und Energie. Eine Einführung in die allgemeine Chemie*. Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Dresing, T. & Pehl, T. (2015). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (6. Auflage). Marburg: Dr. Dresing und Pehl GmbH. Zugriff am 19.11.2015. Verfügbar unter [www.audiotranskription.de/praxisbuch](http://www.audiotranskription.de/praxisbuch)
- Driver, R. (1985). Beyond Appearances: The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Hrsg.), *Children's ideas in science* (S. 145-169). Milton Keynes: Open University Press.
- Ebenezer, J. V. (2001). A Hypermedia Environment to Explore and Negotiate Students' Conceptions: Animation of the Solution Process of Table Salt. *Journal of Science Education and Technology*, 10 (1), 73-92.
- Ebenezer, J. V. & Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility. A phenomenography. *Science Education*, 80 (2), 181-201.
- Ebenezer, J. V. & Fraser, D. M. (2001). First year chemical engineering students' conceptions of energy in solution processes. Phenomenographic categories for common knowledge construction. *Science Education*, 85 (5), 509-535.

- Ebenezer, J. V. & Gaskell, P. J. (1995). Relational conceptual change in solution chemistry. *Science Education*, 79 (1), 1-17.
- Eickelmann, B., Lorenz, R. & Endberg, M. (2017). Lernaktivitäten mit digitalen Medien im Fachunterricht der Sekundarstufe I im Bundesländervergleich mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer. In R. Lorenz, W. Bos, M. Endberg, B. Eickelmann, S. Grafe & J. Vahrenhold (Hrsg.), *Schule digital - der Länderindikator 2017. Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017* (1. Auflage, S. 231-260). Münster: Waxmann.
- Eilks, I., Flintjer, B., Krilla, B., Möllencamp, H. & Wagner, W. (2004). Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute. Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht. *CHEMKON*, 11 (3), 121-126.
- Eilks, I., Krilla, B., Flintjer, B., Möllencamp, H. & Wagner, W. (2004). *Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute - Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht* (Gesellschaft deutscher Chemiker (GDCh), Hrsg.). : Fachgruppe Chemie; Arbeitsgruppe Computer im Chemieunterricht. Zugriff am 17.07.2018. Verfügbar unter [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/didaktik\\_der\\_chemie/computerkurs/fachgruppe\\_chemieunterricht\\_\\_\\_stellungnahme.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/didaktik_der_chemie/computerkurs/fachgruppe_chemieunterricht___stellungnahme.pdf)
- Eilks, I., Witteck, T. & Pietzner, V. (2010). Multimedia aus dem Internet. Motivierend, aber immer auch lernförderlich? *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 59 (4), 31-33.
- Fensham, N. & Fensham, P. (1987). Descriptions and frameworks of solutions and reactions in solutions. *Research in Science Education*, 17 (1), 139-148.
- Forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH. (2014). *IT an Schulen. Ergebnisse einer Repräsentativbefragung von Lehrern in Deutschland*. Zugriff am 02.08.2018. Verfügbar unter [https://www.vbe.de/fileadmin/user\\_upload/VBE/Service/Meinungsumfragen/2014\\_11\\_06\\_IT\\_an\\_Schulen\\_Auswertung.pdf](https://www.vbe.de/fileadmin/user_upload/VBE/Service/Meinungsumfragen/2014_11_06_IT_an_Schulen_Auswertung.pdf)
- Größ-Niehaus, T. (2010). Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht – der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion. (Dissertation). In H. Niedderer, H. Fischer & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Band 102). Berlin: Logos.
- Größ-Niehaus, T. & Schanze, S. (2011). Eine kategoriegestützte Übersicht von Lernervorstellungen zum Löslichkeitsbegriff. *CHEMKON*, 18 (1), 19-26.

- Happs, J. (1980). *Particles. Learning in Science Project. Working Paper No. 18.*, University of Waikato. Hamilton, New Zealand.
- Hegarty, M. & Kriz, S. (2008). Effects of Knowledge and Spatial Ability on Learning from Animation. In R. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation. Research implications for design* (S. 3-29). Cambridge: Cambridge University Press.
- Holleman, A. F., Wiberg, E. & Wiberg, N. (2007). *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (102., stark umgearbeitete und verbesserte Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Huheey, J. E., Keiter, E. A. & Keiter, R. L. (2014). *Anorganische Chemie. Prinzipien von Struktur und Reaktivität* (De Gruyter Studium, 5., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory. A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 393-412.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (1), 9-15.
- Kelly, R. M. (2014). Using Variation Theory with Metacognitive Monitoring To Develop Insights into How Students Learn from Molecular Visualizations. *Journal of Chemical Education*, 91 (8), 1152-1161.
- Kelly, R. M. (2015 Spring ConfChem: Interactive Visualizations for Chemistry Teaching and Learning, Hrsg.). (2015). *Insights into Molecular Visualization Design*. Zugriff am 18.07.2018. Verfügbar unter [https://confchem.ccce.divched.org/sites/confchem.ccce.divched.org/files/2015SpringConfChemP1\\_2%20%281%29.pdf](https://confchem.ccce.divched.org/sites/confchem.ccce.divched.org/files/2015SpringConfChemP1_2%20%281%29.pdf)
- Kelly, R. M., Barrera, J. H. & Mohamed, S. C. (2010). An Analysis of Undergraduate General Chemistry Students' Misconceptions of the Submicroscopic Level of Precipitation Reactions. *Journal of Chemical Education*, 87 (1), 113-118.
- Kelly, R. M. & Jones, L. L. (2007). Exploring How Different Features of Animations of Sodium Chloride Dissolution Affect Students' Explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (5), 413-429.
- Kelly, R. M. & Jones, L. L. (2008). Investigating Students' Ability To Transfer Ideas Learned from Molecular Animations of the Dissolution Process. *Journal of Chemical Education*, 85 (2), 303.

- Kerres, M. (2000). Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. *Bildung und Erziehung*, 53 (1).
- Kerres, M., Heinen, R. & Stratmann, J. (2012). Schulische IT-Infrastrukturen: Aktuelle Trends und ihre Implikationen für Schulentwicklung. In R. Schulz-Zander, B. Eickelmann, H. Moser, H. Niesyto & P. Grell (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 9* (Jahrbuch Medienpädagogik, Bd. 9, S. 161-174). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kind, V. (2004). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (2nd Edition). Durham. Verfügbar unter <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resource/download/res00002202/cmp00007478/pdf>
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (9), 949-968.
- Kulik, J. A., Kulik, C.-L. C. & Cohen, P. A. (1980). Effectiveness of Computer-based College Teaching: A Meta-analysis of Findings. *Review of Educational Research*, 50 (4), 525-544.
- Kultusministerkonferenz. (1995). *Medienpädagogik in der Schule - Erklärung der Kultusministerkonferenz vom 12.05.1995*. Zugriff am 21.08.2015. Verfügbar unter [http://www.nibis.de/nli1/chaplin/portal%20neu/portal\\_start/start\\_grundsaeetze/materialien\\_grundsaeetze/3kmk95.pdf](http://www.nibis.de/nli1/chaplin/portal%20neu/portal_start/start_grundsaeetze/materialien_grundsaeetze/3kmk95.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (1998). *Zur Rolle der Medienpädagogik, insbesondere der neuen Medien und der Telekommunikation in der Lehrerbildung. Bericht des Schulausschusses vom 11.12.1998*. Zugriff am 01.08.2018. Verfügbar unter [http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/Beschluesse\\_Veroeffentlichungen/neuemed.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/Beschluesse_Veroeffentlichungen/neuemed.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2012). *Medienbildung in der Schule. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012*. Zugriff am 22.07.2018. Verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2012/2012\\_03\\_08\\_Medienbildung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_03_08_Medienbildung.pdf)
- Kurzweil, P. (2015). *Chemie. Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente* (10., überarbeitete Auflage). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kurzweil, P. & Scheipers, P. (2012). *Chemie. Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente* (Naturwissenschaftliche Grundlagen, 9., erweiterte Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

- Latimer, W. M. & Rodebush, W. H. (1920). Polarity and ionization from the standpoint of the Lewis theory of valence. *Journal of the American Chemical Society*, 42 (7), 1419-1433.
- Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2013). *Organische Chemie. Chemie-Basiswissen II* (Springer-Lehrbuch, 6. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.
- Latscha, H. P. & Klein, H. A. (2007). *Anorganische Chemie. Chemie-Basiswissen I* (Springer-Lehrbuch, 9., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.
- Latscha, H. P., Klein, H. A. & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie. Chemie-Basiswissen I* (10., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.
- Liu, X. & Ebenezer, J. V. (2002). Descriptive Categories and Structural Characteristics of Students' Conceptions. An exploration of the relationship. *Research in Science & Technological Education*, 20 (1), 111-132.
- Longden, K., Black, P., Solomon, J. & STIR Group. (1991). Children's interpretation of dissolving. *International Journal of Science Education*, 13 (1), 59-68.
- Lorenz, R. & Endberg, M. (2017). IT-Ausstattung der Schulen der Sekundarstufe I im Bundesländervergleich und im Trend von 2015 bis 2017. In R. Lorenz, W. Bos, M. Endberg, B. Eickelmann, S. Grafe & J. Vahrenhold (Hrsg.), *Schule digital - der Länderindikator 2017. Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017* (1. Auflage, S. 49-83). Münster: Waxmann.
- Marohn, A. (2008). Schülervorstellungen zum Sieden und Lösen. auf der Suche nach »elementaren« Vorstellungen. *Mathematische Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 61 (8), 451-457.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative Content Analysis. Theoretical Foundation, Basic Procedures and Software Solution*. Klagenfurt: Beltz. Zugriff am 14.11.2018. Verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- McMurry, J. E., Castellion, M. E., Ballantine, D. S., Hoeger, C. A. & Peterson, V. E. (2009). *Fundamentals of general, organic, and biological chemistry* (International edition of 6th revised edition). Upper Saddle River, NJ: Pearson.

- McMurry, J. E. & Fay, R. C. (2014). *General chemistry. Atoms first* (Always Learning, second edition). Boston, Mass.: Pearson.
- Metzger, S., Sieve, B. & Sommer, K. (2010). Chemische Inhalte präsentieren. Ein Beitrag zum Kompetenzbereich Kommunikation. *Unterricht Chemie*, 21 (117), 2-7.
- Michalchik, V., Rosenquist, A., Kozma, R. B., Kreikemeier, P. & Schank, P. (2008). Representational Resources for Constructing Shared Understandings in the High School Chemistry Classroom. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Hrsg.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (Models and Modeling in Science Education, S. 233-282). Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V.
- Mortimer, C. E. & Müller, U. (2014). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie* (11., vollständig überarbeitete Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Naah, B. M. & Sanger, M. J. (2012). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice*, 13 (3), 186-194.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191.
- Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A. & Saglam, Y. (2005). Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (5), 581-612.
- National Science Foundation (Hrsg.). (2002). *ChemSense: Investigating Learning and the Impact of Sustained Integration of Representational Tools and Chemical Investigations in the Classroom*. Award Abstract #0125726. Zugriff am 14.02.2019. Verfügbar unter [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=0125726&HistoricalAwards=false](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=0125726&HistoricalAwards=false)
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2007). *Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5-10. Naturwissenschaften*. Hannover.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1981). Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65 (2), 187-196.
- Organisation for Economic-Cooperation and Development. (1999). *Measuring student knowledge and skills. A new framework for assessment*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Zugriff am 11.07.2018. Verfügbar unter

<http://www.oecd.org/education/school/programmeforinternationalstudentassessment-pisa/33693997.pdf>

- Peetz, M. & Pietzner, V. (2016, 15. September). *Evaluation des Verständnisses ausgewählter chemischer Konzepte mit Computeranimationen*. Poster (33. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht), Hannover.
- Peetz, M. & Pietzner, V. (2017). Evaluation of students' understanding of dissolving sugar using an animation software. In O. Finlaysom, E. McLoughlin, S. Erduran & P. Childs (Hrsg.), *Research, Practice and Collaboration in Science Education Proceedings of the ESERA 2017 Conference* (S. 30-39). Zugriff am 02.02.2019. Verfügbar unter [https://www.dropbox.com/s/2p78u1vn6snpr14/ESERA2017\\_e proceedings\\_ALL.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/2p78u1vn6snpr14/ESERA2017_e proceedings_ALL.pdf?dl=0)
- Peetz, M. & Pietzner, V. (2017). Evaluation von Schülervorstellungen zum Lösen von Zucker in Wasser mithilfe einer Animationssoftware. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie - und Physikunterricht normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Regensburg 2017* (Bd. 38, S. 436-439). Zugriff am 02.02.2019. Verfügbar unter [http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP\\_Band38.pdf](http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP_Band38.pdf)
- Pereira, M. P. & Pestana, M. E. M. (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 313-319.
- Pfundt, H. (1981). Das Atom - Letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein? Zu den Vorstellungen, die sich Schüler vom Aufbau der Stoffe machen. *chimica didactica*, 7, 75-94.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities. Conservation and atomism*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Pietzner, V. (2014). Computer-Based Learning in Chemistry Classes. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10 (4), 297-311.
- Pietzner, V. & Eilks, I. (2005). Chemie lernen mit dem Computer. *Unterricht Chemie*, 16 (90), 4-8.
- Pinarbasi, T. & Canpolat, N. (2003). Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts. *Journal of Chemical Education*, 80 (11), 1328.
- Prieto, T., Blanco, A. & Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11 to 14-year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, 11 (4), 451-463.

- Rieber, L. P. (1990). Using computer animated graphics with science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82 (1), 135-140.
- Riedel, E. & Janiak, C. (2015). *Anorganische Chemie* (9. Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Rogers, Y. (2008). A Comparison of How Animation Has Been Used to Support Formal, Informal, and Playful Learning. In R. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation. Research implications for design* (S. 286-303). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosen, A. B. & Rozin, P. (1993). Now you see it, now you don't: The preschool child's conception of invisible particles in the context of dissolving. *Developmental Psychology*, 29 (2), 300-311.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, 22 (5), 521-537.
- Schank, P. & Kozma, R. B. (2002). Learning Chemistry Through the Use of a Representation-Based Knowledge Building Environment. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21 (3), 253-279.
- Schmidt, S., Rebentisch, D. & Parchmann, I. (2003). Chemie im Kontext auch für die Sekundarstufe I: Cola und Ketchup im Anfangsunterricht. *CHEMKON*, 10 (1), 6-16.
- Schnotz, W. & Lowe, R. (2008). A Unified View of Learning from Animated and Static Graphics. In R. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation. Research implications for design* (S. 304-356). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schwedt, G. (2015). *Zuckersüße Chemie. Kohlenhydrate & Co* (2. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH.
- Selley, N. J. (2000). Students' Spontaneous Use of a Particulate Model for Dissolution. *Research in Science Education*, 30 (4), 389-402.
- She, H.-C. (2004). Facilitating Changes in Ninth Grade Students' Understanding of Dissolution and Diffusion through DSLM Instruction. *Research in Science Education*, 34 (4), 503-525.
- Slone, M. & Bokhurst, F. D. (1992). Children's understanding of sugar water solutions. *International Journal of Science Education*, 14 (2), 221-235.
- Smith, K. J. & Metz, P. A. (1996). Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representations. *Journal of Chemical Education*, 73 (3), 233.

- Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (Hrsg.). (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (vollständige Neubearbeitung, 1. Auflage). Seelze: Aulis.
- SRI International (Hrsg.). (2004a). *ChemSense. Contact Us*. Zugriff am 27.02.2019. Verfügbar unter <https://chemsense.sri.com/contact.html>
- SRI International (Hrsg.). (2004). *ChemSense. visualizing chemistry*. Zugriff am 11.01.2017. Verfügbar unter [www.chemsense.sri.com/index.html](http://www.chemsense.sri.com/index.html)
- SRI International (Hrsg.). (2004b). *ChemSense About. Overview of the ChemSense Project*. Zugriff am 27.02.2019. Verfügbar unter <https://chemsense.sri.com/about/index.html>
- Stahl, E. (2010). Die Rolle der motivierenden Medien im naturwissenschaftlichen Lernprozess am Beispiel der Medienproduktion. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 59 (4), 19-22.
- Stavy, R. (1990a). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (3), 247-266.
- Stavy, R. (1990b). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 501-512.
- Steffensky, M., Parchmann, I. & Schmidt, S. (2005). Alltagsvorstellungen und chemische Erklärungskonzepte. "Die Teilchen saugen das Aroma aus dem Tee". *Chemie in unserer Zeit*, 39 (4), 274-278.
- Steiner, D. & Lutz, B. (1995). Computereinsatz im Chemieunterricht. *Unterricht Chemie*, 6 (28), 4-9.
- Steinke, I. (2004). Quality Criteria in Qualitative Research. In U. Flick, E. von Kardorff & I. Steinke (Eds.), *A companion to qualitative research* (pp. 184-190). London: SAGE.
- Strähle, J. & Schweda, E. (2006). *Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie* (16., überarbeitete Auflage). Stuttgart: S. Hirzel.
- Straka, G. (1998). Informationen im Netz und selbstgesteuertes Lernen. In G. Dörr & K. L. Jüngst (Hrsg.), *Lernen mit Medien. Ergebnisse und Perspektiven zu medial vermittelten Lehr- und Lernprozessen* (S. 179-191). Weinheim: Juventa-Verlag.
- Tasker, R. & Dalton, R. (2006). Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (2), 141-159.

- TechSmith (Hrsg.). (2017). *Camtasia*. Zugriff am 24.11.2017. Verfügbar unter <https://www.techsmith.com/video-editor.html>
- Tien, L. T., Teichert, M. A. & Rickey, D. (2007). Effectiveness of a MORE Laboratory Module in Prompting Students To Revise Their Molecular-Level Ideas about Solutions. *Journal of Chemical Education*, 84 (1), 175.
- Toplis, R. (2008). Probing student teachers' subject content knowledge in chemistry: case studies using dynamic computer models. *Chemistry Education Research and Practice*, 9 (1), 11-17.
- Urhahne, D., Nick, S. & Schanze, S. (2009). The Effect of Three-Dimensional Simulations on the Understanding of Chemical Structures and Their Properties. *Research in Science Education*, 39 (4), 495-513.
- Urhahne, D., Prenzel, M., Davier, M. von, Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186. Zugriff am 20.02.2019. Verfügbar unter [ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2000/S.157-186\\_Urhahne\\_Prenzel\\_etal\\_2000.pdf](ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2000/S.157-186_Urhahne_Prenzel_etal_2000.pdf)
- Uzuntiryaki, E. & Geban, Ö. (2005). Effect of conceptual change approach accompanied with concept mapping on understanding of solution concepts. *Instructional Science*, 33 (4), 311-339.
- VERBI GmbH (Hrsg.). (2018). *MAXQDA – Software für die Qualitative Datenanalyse*. Zugriff am 23.11.2018. Verfügbar unter <https://www.maxqda.de/>
- Vollhardt, K. P. C. & Schore, N. E. (2000). *Organische Chemie* (3. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH.
- Wollrab, A. (2014). *Organische Chemie. Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten* (Springer-Lehrbuch, 4. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, Michael Kilian Peetz, 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*