CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG
FAKULTÄT V
MATHEMATIK- UND NATURWISSENSCHAFTEN

Aminosäure-D/L-Verhältnisse in biogenen Carbonaten als Schlüssel zur Datierung holozäner Sedimentationsvorgänge im norddeutschen Küstenraum

Von der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
zur Erlangung des Grades und Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)
angenommene Dissertation

von

Dipl.-Chem. Daniel Ziehe

geboren am 11. September 1978 in Kassel

Wilhelmshaven, 17.04.2009

TERRA MARE Forschungszentrum

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Januar 2005 bis Februar 2008 am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) - Terramare Wilhelmshaven unter Anleitung von Prof. Dr. Gerd Liebezeit angefertigt.

Erstgutachter: Prof. Dr. Gerd Liebezeit
Zweitgutachter: PD Dr. Holger Freund

Tag der Disputation: 29.06.2009

„*Was wir wissen*,
ist ein Tropfen,
was wir nicht wissen,
ein Ozean.“

Isaac Newton
(1643 - 1727)

Für Oma Ruth

Inhaltsverzeichnis

Danksagung ..... **VI**

Kurzfassung ..... **VII**

Abstract … ..... **IX**

Glossar ..... **XI**

Abbildungsverzeichnis ..... **XIV**

Tabellenverzeichnis ..... **XVII**

Verzeichnis der verwendeten Gleichungen ..... **XIX**

Abkürzungsverzeichnis ..... **XX**

1. Einleitung **1**

1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik 1
1.2. Problemstellung und Ziel der Arbeit 1
1.3. Grundlagen der Aminosäure-Racemisierungs-Methode 3
1.3.1. Methodische Grundlagen 3
1.3.2. Anwendungsbereich 7
1.4. Frühere Arbeiten zum postglazialen Meeresspiegelanstieg und zur Datierung holozäner Sedimente in der südlichen Nordsee 9

2. Die Untersuchungsgebiete **15**

2.1. Die Entwicklung des norddeutschen Küstenraums 15
2.2. Die Entstehung des Wattenmeers 15
2.2.1. Entstehung und Entwicklung der Ostfriesischen Barriere-Inseln im Verlauf der holozänen Transgression 17
2.2.2. Hypothesen zur Entstehung von Barriere-Inseln 18
2.3. Das Niedersächsische Wattenmeer 18
2.3.1. Borkum 19
2.3.2. Die Kachelotplate 19
2.3.2.1. Kachelotplate - Die Entwicklung einer neuen Insel? 20
2.3.3. Langeoog 21
2.3.4. Das Rückseitenwatt von Spiekeroog 22
2.3.5. Mellum 23
2.4. Das Schleswig-Holsteinische Wattenmeer 25
2.4.1. Hallig Hooge 25
2.4.1.1. Entstehung der Hallig Hooge 25

3. Material und Methoden **27**

3.1. Die zu datierenden Spezies 27
3.1.1. Die Herzmuschel (*Cerastoderma edule* L.) 27
3.1.2. Die Sandklaffmuschel *(Mya arenaria* L.) 27
3.1.3. Die Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.) 28
3.1.4. Die Pfeffermuschel (*Scrobicularia plana* L.) 29
3.2. Aufbau von Muschelschalen 29
3.3. Probenahme der jungen Muscheln, Sedimentkerne, Aufschlüsse etc. und Standorte der Proben 30
3.4. Bezeichnung der Proben 38
3.5. Allgemeine Vorgehensweise 40
3.5.1. Segmentieren der Kerne 41
3.5.2. Lagerung des Probenmaterials 41
3.6. Allgemeine Probenvorbereitung 41

3.6.1. Vorbehandlung der Gefäße ... 41
3.7. Probenaufarbeitung ... 41
3.7.1. Vorbereitung der jungen Muschelschalen für die Heizexperimente ... 41
3.7.2. Durchführung der Heizexperimente ... 41
3.7.3. Vorbehandlung des Schalenmaterials für die Altersbestimmung ... 42
3.7.4. Vorbereitung des Probenmaterials für die flüssigchromatographische Analyse von D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure ... 42
3.7.5. Reinigung des Schalenmaterials ... 43
3.7.6. Hydrolyse des Carbonats ... 43
3.7.7. Gefriertrocknung des Hydrolysates ... 43
3.7.8. Reagentien für die Probenaufarbeitung ... 44
3.8. Analytik ... 44
3.8.1. Geräte und Analysenbedingungen ... 44
3.8.2. Vollautomatische Vorsäulenderivatisierung der Asparagin- und Glutaminsäure ... 45
3.8.3. Verhältnisbestimmung von D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure ... 46
3.9. Herstellung von Lösungen und Reagentien ... 46
3.9.1. Asparagin- und Glutaminsäurestammlösung und Standardgemische ... 46
3.9.2. Reagentien für OPA/IBLC-Derivate ... 46
3.9.3. Eluenten ... 47
3.10. Rasterelektronenmikroskopie ... 47
3.10.1. Prinzip der Rasterelektronenmikroskopie ... 47
3.10.2. Vorbehandlung des Probenmaterials zur Herstellung elektronenmikroskopischer Präparate ... 48
3.10.3. Reagentien für die Rasterelektronenmikroskopie ... 48
3.11. Versuch zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L. ... 49
3.12. Mathematische Grundlagen der Auswertung ... 50
3.12.1. Statistische Berechnungen ... 50

4. Ergebnisse und Diskussion ... 51

4.1. Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop ... 51
4.1.1. REM-Aufnahmen von *Cerastoderma edule* L. ... 51
4.1.2. REM-Aufnahmen von *Mya arenaria* L. ... 52
4.1.3. REM-Aufnahmen von *Mytilus edulis* L. ... 53
4.1.4. REM-Aufnahmen von *Scrobicularia plana* L. ... 56
4.1.5. Auswertung der REM-Aufnahmen zu 57
4.1.5.1. ... *Cerastoderma edule* L., *Mya arenaria* L. und *Scrobicularia plana* L. ... 57
4.1.5.2. … *Mytilus edulis* L. ... 58
4.2. Sequentielle Analyse einer *Mya arenaria* L.-Schale ... 59
4.2.1. Bewertung der sequentiellen Analyse einer *Mya arenaria* L.-Schale ... 60
4.3. Ergebnisse des Versuchs zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L. ... 61
4.3.1. Bewertung des Versuchs zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L. ... 62
4.4. Heizexperimente mit *Cerastoderma edule* L. ... 62
4.4.1. Asparaginsäure ... 63
4.4.1.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 63
4.4.1.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 63
4.4.1.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 64
4.4.2. Glutaminsäure ... 65
4.4.2.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 65
4.4.2.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 65
4.4.2.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 66
4.4.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *C. edule* L. ... 67
4.4.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A* ... 67
4.4.4.1. Berechnung von E_a und *A* für *C. edule* L. (Asparaginsäure) ... 67
4.4.4.2. Berechnung von E_a und *A* für *C. edule* L. (Glutaminsäure) ... 69
4.5. Heizexperimente mit *Mya arenaria* L. ... 70
4.5.1. Asparaginsäure ... 70
4.5.1.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 70
4.5.1.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 71
4.5.1.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 71
4.5.2. Glutaminsäure ... 72
4.5.2.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 72

4.5.2.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 73
4.5.2.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 73
4.5.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L. ... 74
4.5.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A* ... 75
4.5.4.1. Berechnung von E_a und *A* für *M. arenaria* L. (Asparaginsäure) ... 75
4.5.4.2. Berechnung von E_a und *A* für *M. arenaria* L. (Glutaminsäure) ... 76
4.6. Heizexperimente mit *Mytilus edulis* L. ... 77
4.6.1. Glutaminsäure ... 77
4.6.1.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 77
4.6.1.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 78
4.6.1.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 78
4.6.2. Berechnung der Racemisierungsrate/a für *M. edulis* L. ... 79
4.6.3. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A* ... 80
4.6.3.1. Berechnung von E_a und *A* für *M. edulis* L. (Glutaminsäure) ... 80
4.7. Heizexperimente mit *Scrobicularia plana* L. ... 81
4.7.1. Asparaginsäure ... 81
4.7.1.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 81
4.7.1.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 82
4.7.1.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 83
4.7.2. Glutaminsäure ... 83
4.7.2.1. Heizexperimente bei 60 °C ... 83
4.7.2.2. Heizexperimente bei 80 °C ... 84
4.7.2.3. Heizexperimente bei 100 °C ... 85
4.7.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *S. plana* L. ... 86
4.7.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A* ... 86
4.7.4.1. Berechnung von E_a und *A* für *S. plana* L. (Asparaginsäure) ... 86
4.7.4.2. Berechnung von E_a und *A* für *S. plana* L. (Glutaminsäure) ... 87
4.8. Heizexperimente mit *Cerastoderma edule* L., *Mya arenaria* L., *Mytilus edulis* L. und *Scrobicularia plana* L. ... 88
4.8.1. Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C ... 88
4.9. Übersicht aller Aktivierungsenergien und Racemisierungsraten ... 89
4.10. Arrhenius-Kinetik ... 89
4.10.1. Folge einer abweichenden Umgebungstemperatur ... 89
4.10.2. Durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur ... 90
4.10.3. Bedeutung der Umgebungstemperatur ... 92
4.10.4. Faktoren, welche die Racemisierungsrate beeinflussen ... 92
4.10.5. Vergleich mit in der Literatur aufgeführten Aktivierungsenergien ... 93
4.10.6. Vergleich mit in der Literatur aufgeführten Racemisierungsraten ... 93
4.11. Berechnung des Alters ... 93
4.12. D/L-Asp/Glu-Plot aller 267 datierten Proben ... 94
4.13. Anwendung der Aminosäure-Racemisierungs-Methode ... 95
4.14. Auswertung der Ergebnisse - Statistische Berechnungen ... 95
4.15. Datierung der Muschelschalen aus den Sedimentkernen, Aufschlüssen etc. ... 96
4.15.1. Einordnung des Probenmaterials ... 96
4.16. Ergebnisse der Untersuchungen auf der Kachelotplate ... 96
4.16.1. Untersuchung der Bänke - Bankbeschreibungen ... 96
4.16.2. Untersuchung der Sedimentkerne - Kernbeschreibungen ... 96
4.16.3. Datierung der Muschelschalen ... 97
4.16.3.1. Probe 0687 ... 97
4.16.3.2. Probe 0692 ... 97
4.16.3.3. Probe 0858 ... 97
4.16.3.4. Probe 0859 ... 97
4.16.3.5. Kern 1 (KP) ... 97
4.16.3.6. Kern 2 (KP) ... 98
4.16.3.7. Probe 001-011 ... 99
4.16.3.8. Probe 023-029 ... 99
4.16.3.9. Probe 030-044 ... 100
4.16.4. Interpretation der Datierungen auf der Kachelotplate ... 100
4.17. Ergebnisse der Untersuchungen im Spiekerooger Rückseitenwatt ... 101
4.17.1. Untersuchung der Sedimentkerne - Kernbeschreibungen ... 101
4.17.2. Datierungen der Muschelschalen ... 104
4.17.2.1. Kern 1 ... 104

4.17.2.2. Kern 2 ... 105
4.17.2.3. Kern 6 ... 106
4.17.2.4. Kern 7 ... 107
4.17.2.5. Kern 8 ... 108
4.17.2.6. Kern 9 ... 109
4.17.2.7. Kern 10 ... 110
4.17.2.8. Kern 11 ... 111
4.17.2.9. Kern B1 ... 112
4.17.2.10. Kern B2 ... 112
4.17.2.11. Kern B3 ... 113
4.17.2.12. Kern B4 ... 114
4.17.2.13. Kern B5 ... 115
4.17.2.14. Kern C1 ... 116
4.17.2.15. Kern C2 ... 117
4.17.2.16. Kern D1 ... 118
4.17.2.17. Kern D2 ... 119
4.17.3. Interpretation der Datierungen im Spiekerooger Rückseitenwatt ... 120
4.17.4. Ermittelte Sedimentationsraten - Ein Vergleich mit der Literatur ... 125
4.18. Ergebnisse der Untersuchungen auf Hallig Hooge ... 130
4.18.1. Datierung der Muschelschalen ... 130
4.18.1.1. Bohrung Hoo-06-01 und Hoo-06-02 ... 130
4.18.1.2. Aufschluss H06/DR01 ... 131
4.18.1.3. Aufschluss H06/KW03 ... 131
4.18.2. Interpretation der Datierungen auf Hallig Hooge ... 132
4.19. Ergebnisse der Untersuchungen auf Borkum ... 134
4.19.1. Datierung der Muschelschalen ... 134
4.20. Ergebnisse der Untersuchungen auf Langeoog ... 134
4.20.1. Datierung der Muschelschalen ... 134
4.21. Ergebnisse der Untersuchungen auf Mellum ... 135
4.21.1. Datierung der Muschelschalen ... 135
4.22. Interpretation der Datierungen auf Borkum, Langeoog und Mellum ... 135
4.22.1. Mariner Reservoireffekt/Hartwassereffekt ... 135

5. Schlussbetrachtung ... 137

6. Literaturverzeichnis ... 138

7. Bild- und Abbildungsnachweis ... 157

8. Anhang ... 159

8.1. Vereinfachte lithologische Aufnahme der Profile ... 159
8.1.1. Kern 1 (KP) - Kachelotplate vom 16.07.2007 ... 159
8.1.2. Kern 2 (KP) - Kachelotplate vom 16.07.2007 ... 159
8.1.3. Kern 1 - Swinnplate vom 12.05.2004 ... 160
8.1.4. Kern 2 - Swinnplate vom 12.05.2004 ... 161
8.1.5. Kern 6 - Gröninger Plate vom 25.02.2004 ... 162
8.1.6. Kern 7 - Neuharlingersieler Nacken vom 25.02.2004 ... 163
8.1.7. Kern 8 - Neuharlingersieler Nacken vom 09.06.2004 ... 164
8.1.8. Kern 9 - Neuharlingersieler Nacken vom 04.11.2004 ... 165
8.1.9. Kern 10 - Neuharlingersieler Nacken vom 05.04.2005 ... 166
8.1.10. Kern 11 - Janssand vom 06.04.2005 ... 167
8.1.11. Kern B1 - Janssand vom 04.07.2006 ... 168
8.1.12. Kern B2 - Janssand vom 04.07.2006 ... 169
8.1.13. Kern B3 - Janssand vom 04.07.2006 ... 170
8.1.14. Kern B4 - Janssand vom 04.07.2006 ... 171
8.1.15. Kern B5 - Janssand vom 04.07.2006 ... 172
8.1.16. Kern C1 - Janssand vom 24.04.2007 ... 173
8.1.17. Kern C2 - Janssand vom 24.04.2007 ... 174
8.1.18. Kern D1 - Janssand vom 24.04.2007 ... 175
8.1.19. Kern D2 - Janssand vom 24.04.2007 ... 176
8.2. D/L-Verhältnisse der Kalibrierungen ... 177

8.2.1. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *C*. *edule* L. 177
8.2.2. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *C*. *edule* L. 179
8.2.3. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M*. *arenaria* L. 181
8.2.4. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M*. *arenaria* L. 183
8.2.5. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M*. *edulis* L. 185
8.2.6. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *S*. *plana* L. 187
8.2.7. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *S*. *plana* L. 189
8.3. Racemisierungsraten/a der Kalibrierungen 191
8.3.1. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *C*. *edule* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure) 191
8.3.2. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *M*. *arenaria* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure) 192
8.3.3. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *M*. *edulis* L. (für Glutaminsäure) 192
8.3.4. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *S*. *plana* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure) 192
8.4. Alter des Schalenmaterials 193
8.4.1. Kachelotplate 193
8.4.1.1. Probe 0687 193
8.4.1.2. Probe 0692 193
8.4.1.3. Probe 0858 194
8.4.1.4. Probe 0859 195
8.4.1.5. Kern 1 (KP) 195
8.4.1.6. Kern 2 (KP) 196
8.4.1.7. Probe 001-011 196
8.4.1.8. Probe 023-029 197
8.4.1.9. Probe 030-044 197
8.4.2. Rückseitenwatt Spiekeroog 198
8.4.2.1. Kern 1 198
8.4.2.2. Kern 2 198
8.4.2.3. Kern 6 199
8.4.2.4. Kern 7 200
8.4.2.5. Kern 8 201
8.4.2.6. Kern 9 203
8.4.2.7. Kern 10 205
8.4.2.8. Kern 11 206
8.4.2.9. Kern B1 206
8.4.2.10. Kern B2 206
8.4.2.11. Kern B3 207
8.4.2.12. Kern B4 207
8.4.2.13. Kern B5 208
8.4.2.14. Kern C1 209
8.4.2.15. Kern C2 209
8.4.2.16. Kern D1 210
8.4.2.17. Kern D2 210
8.4.3. Hallig Hooge 211
8.4.3.1. Bohrung Hoo-06-01 211
8.4.3.2. Bohrung Hoo-06-02 212
8.4.3.3. Aufschluss H06/DR01 212
8.4.3.4. Aufschluss H06/KW03 213
8.4.4. Borkum 214
8.4.5. Langeoog 214
8.4.6. Mellum 214
8.5. Alter der *M*. *arenaria* L.-Schale 215
8.6. Wärmeabsorptionsversuch von *M*. *edulis* L. 216

Tagungsbeiträge 217

Lebenslauf 218

Erklärung 219

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gerd Liebezeit, Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) - Terramare Wilhelmshaven, Leiter der AG Meereschemie, für die überaus interessante und abwechslungsreiche Themenstellung, das mir entgegengebrachte Vertrauen und seine Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit. Seine wertvollen Anregungen im richtigen Moment, stetes Interesse am Fortgang meiner Arbeit und seine Diskussionsbereitschaft waren mir immer eine große Hilfe.

Herrn PD Dr. Holger Freund, ICBM - Terramare Wilhelmshaven, Leiter der AG Geoökologie, danke ich für die freundliche Übernahme des Zweitgutachtens.

Herrn Dr. Jürgen Köster, ICBM - Terramare Oldenburg, AG Organische Geochemie, sowie Herrn Dr. Achim Wehrmann, Forschungsinstitut Senckenberg Wilhelmshaven, Leiter der AG Aktuopaläontologie, Herrn Dr. Matthias Deicke, Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Abteilung Sedimentologie/Umweltgeologie, und Herrn PD Dr. Holger Freund danke ich für die Überlassung von Probenmaterial.

Frau Renate Kort und Frau Sophie Martyna, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften (IBU) Oldenburg, Betriebseinheit Elektronenmikroskopie, danke ich für die Betreuung bei der Anfertigung der REM-Aufnahmen.

Herrn Prof. Dr. Klaus Bandel (im Ruhestand), Geologisch-Paläontologisches Institut (GPI) der Universität Hamburg, danke ich für die Hilfe bei der Interpretation der REM-Aufnahmen.

Herrn Dr. Gerald Millat, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer Wilhelmshaven, danke ich für die zur Verfügung gestellten Seekarten und Luftaufnahmen.

Schließlich gilt mein Dank allen MitarbeiterInnen und Angestellten des ICBM - Terramare für ihre Hilfsbereitschaft.

Abschließend möchte ich noch allen danken, die ich bisher nicht namentlich erwähnt habe und die auf die eine oder andere Weise zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben.

Meiner Freundin Lisa Schlegelmilch gilt mein besonderer Dank für ihre Geduld (mit mir) während der Anfertigung dieser Arbeit, für ihre Hilfen während des Korrekturlesens und das nicht ermüdende Bestreben, mich von Zeit zu Zeit aus den Tiefen dieser Arbeit heraufzuziehen.

Mein größter Dank gilt jedoch meinen Eltern und auch meinen Großeltern, ohne deren fortwährende Unterstützung mein Studium und diese Arbeit nicht möglich gewesen wären.

Kurzfassung

Die Datierung holozäner Sedimente in Flachwassergebieten des norddeutschen Küstenraums mit Hilfe herkömmlicher Verfahren erweist sich als schwierig, da die oberen Sedimentschichten ständig erodiert und umgelagert werden, was auf Bioturbation, Wellenschlag und gezeitenabhängige Meeresströmungen zurückzuführen ist. Unter extremen Bedingungen, z.B. beeinflusst durch Stürme oder Eisgang, können Schichten bis zu einer Mächtigkeit von mehreren Dezimetern betroffen sein. Diese Abfolge von Erosion und Akkumulation vermischt das ursprüngliche Signal, z.B. von ^{210}Pb, und führt so zu scheinbar homogenen Sedimentaltern. Auf der anderen Seite bietet sich eine Datierung mit Hilfe der ^{14}C-Methode aufgrund des Reservoireffekts von Sedimenten, die jünger als 400 Jahre sind, ebenfalls nicht an.

Eine mögliche Alternative zur Datierung junger Sedimente stellt die Aminosäure-Racemisierungs-Methode (AAR) dar, die nicht mit diesen Nachteilen behaftet ist. Sie beruht auf der Bestimmung von Aminosäure-D/L-Verhältnissen in den organischen Matrices biogener Carbonate. Je nach verwendeter Aminosäure können Zeiträume von rezent bis mehreren Millionen Jahren erfasst werden. Durch die gleichzeitige Analyse von mehr als nur einer Aminosäure stehen zudem im doppelten Maße Informationen zur Altersbestimmung zur Verfügung. Zusätzlich steht aufgrund der unterschiedlichen Racemisierungsraten einzelner Aminosäuren eine höhere Auflösung in verschiedenen Zeitbereichen zur Verfügung. Asparaginsäure (Asp) gehört zu den am schnellsten racemisierenden Aminosäuren und ermöglicht eine Datierung geologisch sehr junger Zeiträume, Glutaminsäure (Glu) hingegen eignet sich eher für weiter zurückliegende Abschnitte.

Der Umlagerungsprozess von der biogenen L- in die geogene D-Form, Racemisierung genannt, ist ausschließlich zeit- und temperaturabhängig. Für das Wattenmeer kann angenommen werden, dass sich die Jahresdurchschnittstemperatur während der letzten Jahrhunderte nicht bedeutsam verändert hat. Daher kann die Arrhenius-Gleichung, die als Variablen nur Zeit und Temperatur enthält, genutzt werden, um die Aktivierungsenergie dieser Reaktion zu bestimmen. Heizexperimente wurden mit der Herzmuschel *Cerastoderma edule* L., der Sandklaffmuschel *Mya arenaria* L., der Miesmuschel *Mytilus edulis* L. und der Pfeffermuschel *Scrobicularia plana* L. bei 60, 80 und 100 °C durchgeführt. Basierend auf den experimentell bestimmten Racemisierungsraten wurden Aktivierungsenergien für *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. für Asparaginsäure von 30,6, 31,34, 33,09 und 31,03 kcal·mol^{-1} bzw. 28, 28,72, 30,51 und 28,37 kcal·mol^{-1} für Glutaminsäure bestimmt. Die experimentell bestimmte Kinetik ließ sich auf das Probenmaterial aus Sedimentkernen, Aufschlüssen etc. übertragen.

Die Trennung der beiden Enantiomerenpaare von D/L-Asp bzw. D/L-Glu erfolgte mittels Reversed-Phase-HPLC (RP-HPLC) nach Vorsäulenderivatisierung mit *o*-Phthaldialdehyd/*N*-Isobutyryl-L-cystein.

Mit Hilfe der AAR-Methode wurde Schalenmaterial von insgesamt 267 Muschelproben an sechs verschiedenen Standorten aus dem Niedersächsischen und Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer datiert. Idealerweise sollte nur artikuliertes Schalenmaterial analysiert worden sein, da dieses nach dem Absterben des Organismus nicht mehr umgelagert wird.

Das Alter von *C*. *edule* L.-, *M*. *arenaria* L.- und *M*. *edulis* L.-Schalen auf Borkum, Langeoog und Mellum wurde schließlich mit der AAR-Methode bestimmt. Hierfür standen außerdem Ergebnisse einer dazugehörigen ^{14}C-Datierung zur Verfügung, die an Schalenmaterial in unmittelbarer Umgebung durchgeführt wurden. In allen Fällen waren die D/L-Asp- und D/L-Glu-Alter deutlich jünger (Reservoireffekt).

Mit der AAR-Methode wurde ebenfalls das Alter von *C*. *edule* L.- und *M*. *arenaria* L.-Schalen von der Kachelotplate datiert. Konsistente D/L-Asp- und D/L-Glu-Alter zwischen 389 ± 14 und 660 ± 23 J. v.h. ergaben sich für Schalen, die in Lebendstellung vorgefunden wurden. D/L-Asp- und D/L-Glu-Alter von *C*. *edule* L.-, *M*. *arenaria* L.- und *M*. *edulis* L.-Schalen wurden ebenfalls anhand von zwei Sedimentkernen mit bis zu einem 1 m Länge bestimmt. Es ergab sich eine Sedimentakkumulationsrate von 31 $\pm$ 2 cm/Jahrhundert.

Des Weiteren wurden 17 Kerne mit bis zu 5 m Länge aus dem Spiekerooger Rückseitenseitenwatt untersucht. D/L-Asp- und D/L-Glu-Alter von *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L., *M*. *edulis* L. und *S*. *plana* L. wurden mit der AAR-Methode bestimmt. Basierend auf den ermittelten Altern ergab sich für das Untersuchungsgebiet eine Sedimentakkumulationsrate von 34 $\pm$ 2 cm/Jahrhundert. Dieser Wert entspricht der allgemein angenommen Sedimentationsrate, die aus dem Anstieg des Meeresspiegels berechnet wurde.

Ferner wurden zwei Sedimentkerne mit bis zu 5 m Länge und zwei Aufschlüsse von Hallig Hooge aus dem Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer mit der AAR-Methode datiert, die Schalenmaterial von *C*. *edule* L., *M*. *edulis* L. und *S*. *plana* L. enthielten.

Die grundsätzliche Anwendbarkeit der AAR-Methode für geologisch sehr junge Ablagerungsräume wie das Wattenmeer wurde somit nachgewiesen. Wenn dabei längere Zeiträume (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) betrachtet werden, liefert die angewandte Methode sinnvolle Resultate, da sich kurzfristige Ereignisse, wie z.B. Stürme oder Bioturbation über den betrachteten Zeitraum herausmitteln.

Abstract

Dating of Holocene sediments in shallow coastal areas of the German North Sea by conventional techniques turns out to be difficult as the upper sediment layers are being constantly eroded and redeposited, this being the result of bioturbation, wave action and tidal currents. Under extreme conditions, e.g. by storms or ice rafting, the layer affected may reach several decimetres thickness. This sequence of erosion and accumulation mixes the original signal, e.g. from ^{210}Pb, and thus leads to apparently homogeneous sediment ages. ^{14}C dating, on the other hand, cannot be applied to sediments younger than about 400 years due to the marine reservoir effect.

Amino acid racemization dating (AAR) is a viable alternative for dating young sediments and does not suffer from these drawbacks. The method is based on the determination of ratios of D and L amino acid enantiomers in organic matrices of biogenic carbonates. According to the used amino acid periods form recent to several million years can be covered. Thus, the concurrent analysis of more than one amino acid provides largely redundant information on sample age. In addition, a higher temporal resolution is possible. Because of differences in racemization rates, some amino acids provide better time resolution in different time ranges. Aspartic acid (Asp) is one of the fastest reacting amino acids making it particularly suitable for the analysis of recent material while glutamic acid (Glu) is useful for older samples.

The transformation of the biogenic L form to the geogenic D form, i.e. racemization, is solely dependent on time and temperature. It can be assumed that over the last several hundred years mean temperatures in the Wadden Sea did not change significantly. Hence, the Arrhenius equation, having as variables time and temperature, can be used to determine the activation energy of this reaction. This was done by laboratory heating experiments on the cockle *Cerastoderma edule* L., the soft clam *Mya arenaria* L., the blue mussel *Mytilus edulis* L. and the peppery furrow clam *Scrobicularia plana* L. at 60, 80 and 100 °C. Based on the experimental racemization rates, activation energies for *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. and *S. plana* L. are estimated to be 30,6, 31,34, 33,09 and 31,03 kcal·mol^{-1}, respectively, for Asp racemization, and 28, 28,72, 30,51 and 28,37 kcal·mol^{-1} for Glu. The experimentally certain kinetics can be transferred to the samples from the sediment cores, outcrops etc.

Amino acid D and L isomers of aspartic and glutamic acids were separated using high-performance liquid chromatography and pre-column derivatisation with *o*-phthaldialdehyde/*N*-isobutyryl-L-cysteine.

Amino acid racemization analysis has been used for dating of 267 individual shells from six locations in the Lower Saxony and Schleswig-Holstein Wadden Sea area. Ideally,

only articulated shells should be analysed as these have not undergone *post mortem* transport.

Shells of *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L. and *M*. *edulis* L. from Borkum, Langeoog and Mellum Island were dated using AAR. Ages of ^{14}C-dated shells from the immediate neighborhood were also available. In all cases, the D/L Asp and D/L Glu ages are younger (reservoir effect).

From the Kachelotplate several shells of *C*. *edule* L. and *M*. *arenaria* L. were also dated using AAR. Consistent D/L Asp and D/L Glu ages between 389 ± 14 and 660 ± 23 years before 2007 were obtained for empty shells still in living position (death assemblages). D/L Asp and D/L Glu ages of *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L. and *M*. *edulis* L. in two sediment cores of up to 1 m length have also been investigated. A sediment accumulation rate of 31 $\pm$ 2 cm per century is obtained.

Furthermore 17 cores of up to 5 m length from the backbarrier area of Spiekeroog Island have been investigated. D/L Asp and D/L Glu ages of *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L., *M*. *edulis* L. and *S*. *plana* L. shells were determinated by amino acid chronology. Based on the determined ages, a sediment accumulation rate of 34 $\pm$ 2 cm per century for the intertidal area investigated is obtained. This is in good agreement with sea level rise data derived from tidal gauge measurements.

Moreover, two sediment cores up to 5 m length and two outcrops from Hallig Hooge, including *C*. *edule* L., *M*. *edulis* L. and *S*. *plana* L. shells, have been analysed for the extent of racemization of their fossilized amino acids.

AAR has been applied to date recently deposited marine mollusc shells in the German Wadden Sea. The findings indicate that AAR provides useful results as long as extended time periods, i.e. >decades, are considered. For these time scales short-term events like storms or bioturbation can be neglected.

Glossar

Alter [J. v.h.]	Alter [Jahre vor heute]
anthropogen	durch den Menschen geschaffen, verursacht
aquatisch	dem Wasser angehörend, im Wasser lebend
Balaniden	Seepocken, siedeln auf Hartsubstraten im Wasser
biogen	von Organismen produziertes oder durch Organismen beeinflusstes Material
Bioturbation	Umlagerung von Sedimenten durch die Grabtätigkeit von Organismen
Bivalvia	zweigeteilte Kalkschale, die ihren Organismus schützend umhüllt
Bryozoen	Moostierchen, koloniebildende Invertebraten überziehen im Wasser moosartig Hartsubstrate
Cerastoderma edule L.	Herzmuschel (LINNAEUS, 1758)
Doggerbank	ausgedehnte untermeerische Erhebung in der südwestlichen Nordsee, die minimale Wassertiefen von ca. 20 m aufweist
Elymus farctus Viv.	Strandquecke (VIVIANI, 1824)
endobenthonisch	im Boden lebend
epibenthonisch	auf dem Meeresboden lebend
Erosion	Abtrag und Verlagerung von Bodenmaterial durch Wasser und Wind
Eulitoral	der küstennahe, im Bereich der Gezeiten liegende Teil des Meeresbodens; Lebensraum zwischen Hoch- (MThw) und Niedrigwasserlinie (MTnw)
Fluktuation	Schwankung, oft durch Veränderung

Geest	höher gelegene, minder fruchtbare, meist sandige Landflächen eiszeitlicher Entstehung
Gezeiten	periodische Wasserbewegungen im Meer, an der Küste und in Flussmündungen, die durch die Anziehungskräfte von Mond und Sonne ausgelöst werden
Holozän	jüngste geologische Epoche der Erdgeschichte, begann vor etwa 11.500 Jahren mit der Erwärmung des Klimas am Ende des → Pleistozäns
Hydrobia ulvae L.	Wattschnecke (LINNAEUS, 1758)
Kollektor	Seilbüschel, Konstruktion zum passiven Fangen der kompetenten (ansiedlungsbereiten) Larven von aquatischen Organismen, die als Adulte auf Hartsubstraten leben
Langleine	Langleine, an der Kollektoren als Siedlungsraum für Muschellarven angebracht sind
„Land unter“	bezeichnet die Überflutung einer Hallig bei hochauflaufenden Spring- und Sturmfluten
Leymus arenarius L.	Strandroggen (LINNAEUS, 1758)
Mäander	in sehr flachem Gebiet in weitgezogenen Schleifen fließender Priel oder Fluss
Marsch	unter Tideeinfluss entstandene Sedimentböden, die durch Eindeichung und Entwässerung landwirtschaftlich genutzt werden können
Mya arenaria L.	Sandklaffmuschel (LINNAEUS, 1758)
Mytilus edulis L.	Miesmuschel (LINNAEUS, 1758)
Pleistozän	bezeichnet die erdgeschichtliche Epoche von vor etwa 2,5 Millionen Jahren bis zum Beginn des → Holozän
Quartär	ca. 2,5 Millionen Jahre umfassender jüngster Abschnitt der Erdgeschichte, der sich in → Pleistozän und → Holozän gliedert

Regression	anwachsende Eismassen führten in den Kaltzeiten zum Absinken des Meeresspiegels und einer seewärts gerichteten Verschiebung der Küstenlinie (Ggs.: → Transgression)
Sediment	„Bodensatz“, Ablagerung am Gewässerboden (Sand, Schlick, Organismenreste und Beimengungen)
Schelf	Übergangsbereich zwischen Kontinent und Ozean von der Küste bis zu einer Wassertiefe von 200 m
Tertiär	bezeichnet die erdgeschichtliche Epoche von vor etwa 65 Millionen Jahren bis zum Beginn des → Quartär
Transgression	schmelzendes Inlandeis führte in den Warmzeiten zum Ansteigen des Meeresspiegels und landwärts gerichteten Verschiebungen der Küstenlinie (Ggs.: → Regression)
Scrobicularia plana L.	Pfeffermuschel (LINNAEUS, 1758)
Watt	Eulitoral an der südlichen Nordsee, der im Gezeitenrhythmus trockenfallende Teil des Wattenmeers

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Fischer-Projektion der allgemeinen Konfiguration von L- und D-Aminosäuren 4
Abb. 1.2: Mechanismus der Racemisierungsreaktion von freien Aminosäuren mit der Inversion des Carbanions als Zwischenstufe, ausgehend von einer L-Aminosäure 4
Abb. 1.3: Bildung eines intermediären Succinimids bei der Umlagerung von L- zu D-Asparaginsäure 6
Abb. 1.4: Zeit-/Tiefendiagramm des in drei Phasen abgelaufenen Meeresspiegelanstiegs vom Höhepunkt der Weichsel-Kaltzeit bis heute mit Hinweisen auf Abschnitte transgressiver bzw. regressiver Entwicklung sowie auf besondere Ereignisse der Landschaftsgeschichte (aus STREIF, 2003) 9
Abb. 1.5: Einfache Form der Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee. Zeitangaben in kalibrierten Kalenderjahren. Das Subatlantikum wird, durch die Teilstriche angedeutet, in Frühes und Spätes Subatlantikum unterteilt (aus BEHRE, 2007) 10
Abb. 1.6: Fehlerbanden des abgeschätzten Meeresspiegelanstiegs aus Belgien, den Niederlanden, Deutschland und der südlichen Nordsee im Vergleich mit den eustatischen Meeresspiegelkurven von FLEMING et al. (1998), PELTIER (2002) und MILNE et al. (2005) (aus VINK et al., 2007) 11
Abb. 2.1: Schematischer geologischer Schnitt von der Nordsee durch die Barriere-Inseln, Watten und Marschen bis zum Rand der Geest. Der interne Aufbau des holozänen Sedimentkörpers zeigt, dass dieser in mehreren transgressiven bzw. regressiven Phasen aufgebaut worden ist (aus STREIF, 1998) 16
Abb. 2.2: Lage Borkums im Niedersächsischen Wattenmeer 19
Abb. 2.3: Lage der Kachelotplate im Niedersächsischen Wattenmeer 20
Abb. 2.4: Lage Langeoogs im Niedersächsischen Wattenmeer 21
Abb. 2.5: Lage des Spiekerooger Rückseitenwatts im Niedersächsischen Wattenmeer 22
Abb. 2.6: Lage von Mellum im Niedersächsischen Wattenmeer 24
Abb. 2.7: Lage Hallig Hooges im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer 25
Abb. 3.1: *C. edule* L. 27
Abb. 3.2: *M. arenaria* L. 27
Abb. 3.3: *M. edulis* L. 28
Abb. 3.4: *S. plana* L. 29
Abb. 3.5: Idealisierter Querschnitt durch eine Muschelschale (aus LOWENSTAM & WEINER, 1989) . 30
Abb. 3.6 und Abb. 3.7: Herzmuscheln (links) und Sandklaffmuscheln (rechts) 30
Abb. 3.8: Übersichtskarte von Borkum mit markiertem Standort der Probe 31
Abb. 3.9 und Abb. 3.10: Schlickbänke der Probe 0687 mit doppelklappigen Schalen von *M. arenaria* L. (links) und 0692 mit doppelklappigen Schalen von *C. edule* L. und *M. edulis* L. (rechts) 31
Abb. 3.11 und Abb. 3.12: Schlickbänke der Probe 0858 (links) und 0859 (rechts) mit jeweils Schalen von *M. arenaria* L. in Lebendstellung 32
Abb. 3.13 und Abb. 3.14: Übersichtskarte der Kachelotplate mit markierten Standorten der Proben bzw. Sedimentproben (links) und Luftaufnahme der Kachelotplate (rechts) 32
Abb. 3.15: Übersichtskarte von Langeoog mit markiertem Standort der Probe 33
Abb. 3.16 und Abb. 3.17: Einholen eines Sedimentkernes auf der Swinnplate (links) und aufgeschnittener Kern 1 (rechts) 33
Abb. 3.18: Übersichtskarte des Spiekerooger Rückseitenwatts mit markierten Standorten der Sedimentproben 34
Abb. 3.19 und Abb. 3.20: Luftaufnahmen des Janssands (links) und der Swinnplate (rechts) 35
Abb. 3.21 und Abb. 3.22: Luftaufnahmen des Neuharlingersieler Nackens (links) und der Gröninger Plate (rechts) 35
Abb. 3.23: Subfossile Wattschichten am Ostende der Insel Mellum mit Schalen von *M. arenaria* L. in Lebendstellung 36
Abb. 3.24: Übersichtskarte von Mellum mit markiertem Standort der Probe 36
Abb. 3.25 und Abb. 3.26: Aufschlüsse H06/DR01 (links) und H06/KW03 (rechts) 37
Abb. 3.27: Aufschluss H06/KW03 mit deutlich erkennbarer Sturmflutschichtung 37
Abb. 3.28: Übersichtskarte von Hallig Hooge mit markierten Standorten der Aufschlüsse und Sedimentkernen 38
Abb. 3.29: Vereinfachtes Schema der Aufarbeitung 40
Abb. 3.30: Chromatogramm der D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäuren-Standards (0,2 mmol/l) 46
Abb. 3.31 und Abb. 3.32: Halogenstrahler in 150 cm Höhe (links) und in 50 cm Höhe (rechts) 49
Abb. 3.33: Mit wassergesättigtem Seesand befülltes Aquarium 49

Abb. 4.1: REM-Aufnahme des *C. edule* L.-Querschnitts (150x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur 51
Abb. 4.2: REM-Aufnahme des *C. edule* L.-Querschnitts (1200x); zwei Schichten Kreuzlamellen-Struktur, die im Winkel von 90° zueinander stehen 51
Abb. 4.3: REM-Aufnahme des *C. edule* L.-Querschnitts (25x); Radiärrippen (oben) 52
Abb. 4.4: REM-Aufnahme des *M. arenaria* L-Querschnitts (70x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur 52
Abb. 4.5: REM-Aufnahme des *M. arenaria* L.-Querschnitts (2000x); Kreuzlamellen-Struktur 53
Abb. 4.6: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (100x); Periostracum (links), Calcit (Mitte), Aragonit (rechts) 53
Abb. 4.7: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (1000x); Übergang von Calcit (links) zu Aragonit (rechts) 54
Abb. 4.8: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (5000x); Übergang von Calcit (links) zu Aragonit (rechts) 54
Abb. 4.9: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (1500x); Periostracum (links), Calcit (rechts) 55
Abb. 4.10: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (2500x); Periostracum 55
Abb. 4.11: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (90x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur 56
Abb. 4.12: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (300x); Kreuzlamellen-Struktur 56
Abb. 4.13: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (800x); Kreuzlamellen-Struktur 57
Abb. 4.14: Schnitt durch Schale und Mantel von *M. edulis* L. mit *Ep* äußeres und *Ep*' inneres Mantelepithel, *B* Bindegewebe des Mantels, *Pe* Periostracum, *S* Ostracum und *P* Hypostracum (aus CLAUSEN et al., 1971) 58
Abb. 4.15: *M. arenaria* L.-Schale 59
Abb. 4.16 und Abb. 4.17: Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 150 cm (links) und Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 100 cm (rechts) 61
Abb. 4.18: Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 50 cm 62
Abb. 4.19: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 63
Abb. 4.20: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 64
Abb. 4.21: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 64
Abb. 4.22: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 65
Abb. 4.23: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 66
Abb. 4.24: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 66
Abb. 4.25: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) 68
Abb. 4.26: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) 69
Abb. 4.27: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 70
Abb. 4.28: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 71
Abb. 4.29: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 72
Abb. 4.30: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 72
Abb. 4.31: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 73
Abb. 4.32: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 74
Abb. 4.33: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) 75
Abb. 4.34: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) 76
Abb. 4.35: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 77
Abb. 4.36: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 78
Abb. 4.37: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 79
Abb. 4.38: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. edulis* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) 80
Abb. 4.39: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 82
Abb. 4.40: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 82
Abb. 4.41: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 83
Abb. 4.42: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang) 84
Abb. 4.43: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang) 84
Abb. 4.44: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang) 85
Abb. 4.45: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *S. plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) 86

Abb. 4.46: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *S. plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) ... 87
Abb. 4.47: Temperatur-Daten vom Janssand ... 91
Abb. 4.48: D/L-Asp/Glu-Plot aller Proben ... 94
Abb. 4.49: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 1 (KP) ... 98
Abb. 4.50: Alter von *C. edule* L. und *M. arenaria* L. in Kern 2 (KP) ... 99
Abb. 4.51: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 1 ... 104
Abb. 4.52: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 2 ... 105
Abb. 4.53: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 6 ... 106
Abb. 4.54: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 7 ... 107
Abb. 4.55: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 8 ... 109
Abb. 4.56: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 9 ... 110
Abb. 4.57: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 10 ... 111
Abb. 4.58: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 11 ... 112
Abb. 4.59: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern B2 ... 113
Abb. 4.60: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern B3 ... 114
Abb. 4.61: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern B4 ... 115
Abb. 4.62: Alter von *C. edule* L. in Kern B5 ... 116
Abb. 4.63: Alter von *C. edule* L. in Kern C1 ... 117
Abb. 4.64: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern C2 ... 118
Abb. 4.65: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern D1 ... 119
Abb. 4.66: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern D2 ... 120
Abb. 4.67: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2 ... 122
Abb. 4.68: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 11 und B1 - B5 ... 124
Abb. 4.69: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 1, 2, 6 - 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2 ... 126
Abb. 4.70: Zeit-/Tiefendiagramm des in drei Phasen abgelaufenen Meeresspiegelanstiegs vom Höhepunkt der Weichsel-Kaltzeit bis heute mit Hinweisen auf Abschnitte transgressiver bzw. regressiver Entwicklung sowie auf besondere Ereignisse der Landschaftsgeschichte (aus STREIF, 2003) ... 127
Abb. 4.71: Einfache Form der Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee. Zeitangaben in kalibrierten Kalenderjahren. Das Subatlantikum wird, durch die Teilstriche angedeutet, in Frühes und Spätes Subatlantikum unterteilt (aus BEHRE, 2007) ... 128
Abb. 4.72: Im Verhältnis 4:1 überhöhter Abschnitt des jüngsten Teils der Meeresspiegelkurve (aus BEHRE, 2003) ... 129
Abb. 4.73: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Bohrungen Hoo-06-01 und Hoo-06-02 ... 130
Abb. 4.74: Alter von *C. edule* L. im Aufschluss H06/DR01 ... 131
Abb. 4.75: Alter von *C. edule* L. im Aufschluss H06/KW03 ... 132
Abb. 4.76: AAR- und ^{14}C-Alter der Proben von Borkum, Langeoog und Mellum ... 136
Abb. 8.1: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 1 (KP) ... 159
Abb. 8.2: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 2 (KP) ... 159
Abb. 8.3: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 1 ... 160
Abb. 8.4: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 2 ... 161
Abb. 8.5: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 6 ... 162
Abb. 8.6: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 7 ... 163
Abb. 8.7: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 8 ... 164
Abb. 8.8: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 9 ... 165
Abb. 8.9: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 10 ... 166
Abb. 8.10: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 11 ... 167
Abb. 8.11: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B1 (ENGELEN, 2006) ... 168
Abb. 8.12: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B2 (ENGELEN, 2006) ... 169
Abb. 8.13: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B3 (ENGELEN, 2006) ... 170
Abb. 8.14: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B4 (ENGELEN, 2006) ... 171
Abb. 8.15: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B5 (ENGELEN, 2006) ... 172
Abb. 8.16: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern C1 (FREUND & KÖSTER, 2007) ... 173
Abb. 8.17: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern C2 (FREUND & KÖSTER, 2007) ... 174
Abb. 8.18: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern D1 (FREUND & KÖSTER, 2007) ... 175
Abb. 8.19: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern D2 (FREUND & KÖSTER, 2007) ... 176

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1: Übersicht der Publikationen auf dem Gebiet der Aminosäuredatierung biogener Materiale 7
Tab. 3.1: Ausführliche und verkürzte Probenbezeichnungen 39
Tab. 3.2: Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C mit entsprechenden Zeitintervallen 42
Tab. 3.3: Analysenbedingungen für die Asparagin- und Glutaminsäurebestimmung 45
Tab. 3.4: HPLC-Gradientenprogramm 45
Tab. 4.1: Alter der *M. arenaria* L.-Schale 60
Tab. 4.2: Racemisierungsraten/a für *C. edule* L. 67
Tab. 4.3: Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L. 74
Tab. 4.4: Racemisierungsrate/a für *M. edulis* L. 79
Tab. 4.5: Racemisierungsraten/a für *S. plana* L. 86
Tab. 4.6: Übersicht aller Aktivierungsenergien und Racemisierungsraten 89
Tab. 4.7: Übersicht der wichtigsten Sturmflutkatastrophen der Vergangenheit 123
Tab. 8.1: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 177
Tab. 8.2: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 178
Tab. 8.3: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 179
Tab. 8.4: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 179
Tab. 8.5: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 180
Tab. 8.6: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang) 181
Tab. 8.7: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 181
Tab. 8.8: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 182
Tab. 8.9: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 183
Tab. 8.10: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 183
Tab. 8.11: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 184
Tab. 8.12: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang) 185
Tab. 8.13: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M. edulis* L. (1. - 3. Durchgang) 185
Tab. 8.14: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. edulis* L. (1. - 3. Durchgang) 186
Tab. 8.15: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M. edulis* L. (1. - 3. Durchgang) 187
Tab. 8.16: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 188
Tab. 8.17: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 188
Tab. 8.18: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 189
Tab. 8.19: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 190
Tab. 8.20: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 190
Tab. 8.21: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang) 191
Tab. 8.22: Racemisierungsraten/a für *C. edule* L. 191
Tab. 8.23: Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L. 192
Tab. 8.24: Racemisierungsraten/a für *M. edulis* L. 192
Tab. 8.25: Racemisierungsraten/a für *S. plana* L. 192
Tab. 8.26: Alter des Schalenmaterials von Probe 0687 193
Tab. 8.27: Alter des Schalenmaterials von Probe 0692 194
Tab. 8.28: Alter des Schalenmaterials von Probe 0858 195
Tab. 8.29: Alter des Schalenmaterials von Probe 0859 195
Tab. 8.30: Alter des Schalenmaterials von Kern 1 (KP) 196
Tab. 8.31: Alter des Schalenmaterials von Kern 2 (KP) 196
Tab. 8.32: Alter des Schalenmaterials von Probe 001-011 197
Tab. 8.33: Alter des Schalenmaterials von Probe 023-029 197
Tab. 8.34: Alter des Schalenmaterials von Probe 030-044 198
Tab. 8.35: Alter des Schalenmaterials von Kern 1 198
Tab. 8.36: Alter des Schalenmaterials von Kern 2 198
Tab. 8.37: Alter des Schalenmaterials von Kern 6 200
Tab. 8.38: Alter des Schalenmaterials von Kern 7 201
Tab. 8.39: Alter des Schalenmaterials von Kern 8 203
Tab. 8.40: Alter des Schalenmaterials von Kern 9 204
Tab. 8.41: Alter des Schalenmaterials von Kern 10 205
Tab. 8.42: Alter des Schalenmaterials von Kern 11 206
Tab. 8.43: Alter des Schalenmaterials von Kern B1 206
Tab. 8.44: Alter des Schalenmaterials von Kern B2 207
Tab. 8.45: Alter des Schalenmaterials von Kern B3 207

Tab. 8.46: Alter des Schalenmaterials von Kern B4 208
Tab. 8.47: Alter des Schalenmaterials von Kern B5 209
Tab. 8.48: Alter des Schalenmaterials von Kern C1 209
Tab. 8.49: Alter des Schalenmaterials von Kern C2 210
Tab. 8.50: Alter des Schalenmaterials von Kern D1 210
Tab. 8.51: Alter des Schalenmaterials von Kern D2 211
Tab. 8.52: Alter des Schalenmaterials von Bohrung Hoo-06-01 212
Tab. 8.53: Alter des Schalenmaterials von Bohrung Hoo-06-02 212
Tab. 8.54: Alter des Schalenmaterials von Aufschluss H06/DR01 213
Tab. 8.55: Alter des Schalenmaterials von Aufschluss H06/KW03 214
Tab. 8.56: Alter des Schalenmaterials von Borkum 214
Tab. 8.57: Alter des Schalenmaterials von Langeoog 214
Tab. 8.58: Alter des Schalenmaterials von Mellum 215
Tab. 8.59: Alter der *M. arenaria* L.-Schale 215
Tab. 8.60: Wärmeabsorptionsversuch von *M. edulis* L. 216

Verzeichnis der verwendeten Gleichungen

Gl. 1.1: Racemisierungsreaktion 4
Gl. 1.2: Differentielle Form des Zeitgesetzes 5
Gl. 1.3: Konzentration zum Zeitpunkt $[L]_0$ 5
Gl. 1.4: Differentielle Form des Zeitgesetzes nach Einsetzten von $[D] = [L]_0 - [L]$ 5
Gl. 1.5: Integrierte Form des Zeitgesetzes mit $K' = k_D/k_L$ und Integrationskonstante C 5
Gl. 1.6: Integrierte Funktion des Zeitgesetzes für $K' = 1$ für Asparagin- bzw. Glutaminsäure 5
Gl. 1.7: Arrhenius-Gleichung 7
Gl. 3.1: Arithmetischer Mittelwert 50
Gl. 3.2: Standardabweichung 50
Gl. 3.3: Variationskoeffizient 50
Gl. 4.1: Integrierte Funktion des Zeitgesetzes für $K' = 1$ für Asparagin- bzw. Glutaminsäure zur Berechnung des Alters 94

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
A	präexponentieller Faktor
AAR	Aminosäure-Racemisierungs-Methode
Abb.	Abbildung
Asp	Asparaginsäure
C	Integrationskonstante
d	Differential
D	rechts [*lat*. dexter]
DK	Doppelklappe
e	Exponentialfunktion
E	Ost
E_a	Aktivierungsenergie
EK	Einzelklappe
ENE	Ostnordost
GC	Gaschromatographie
Gl.	Gleichung
Glu	Glutaminsäure
h	Stunde
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IBLC	*N*-Isobutyryl-L-cystein
k	Geschwindigkeitskonstante (hier der Racemisierungsrate)
K'	Chiralitätszentrum
kcal	Kilokalorie
L	links [*lat*. laevus]
ln	natürlicher Logarithmus
m	Steigung
MeOH	Methanol
mol	Stoffmenge

MSpTnw	Mittelspringtidenniedrigwasser
MThw	mittleres Tidehochwaser
MTnw	mittleres Tideniedrigwasser
MW	arithmetischer Mittelwert
N	Nord
NN	Normal Null
NWO	Nord-West Oelleitung GmbH
OPA	*o*-Phthaldialdehyd
OSL	Optisch-Stimulierte Lumineszenz-Methode
R	ideale Gaskonstante, R = 1,987 kcal·mol^{-1}·K^{-1}
(*R*)	rechts [*lat*. rectus]
R^2	Bestimmtheitsmaß
rel. STABW [%]	Variationskoeffizient
REM	Rasterelektronenmikroskopie
RP	Reversed Phase
(*S*)	links [*lat*. sinister]
STABW	Standardabweichung
t	Zeitpunkt
T	absolute Temperatur in Kelvin
Tab.	Tabelle
WSW	Westsüdwest

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik

Der norddeutsche Küstenraum mit seinen Fluss- und Seemarschen, Watten und Barriereinseln besteht aus geologisch sehr jungen Landschaftselementen, die sich erst in den letzten Jahrhunderten zu ihrer jetzigen Form entwickelt haben. Nacheiszeitliche Fluktuationen des Meeresspiegels mit Trans- und Regressionsphasen, Gezeitenfluss und Sedimenttransport, aber auch anthropogene Einflüsse haben im Verlauf der letzten Jahrhunderte das Ökosystem Wattenmeer in der südlichen Nordsee entstehen lassen. Noch heute ist diese Küste kein statisches Gebilde, sondern stetigen Veränderungen unterworfen. Um die bis heute andauernde Sedimentationsdynamik quantitativ erfassen und rekonstruieren zu können, ist es unerlässlich, belastbare Sedimentalter zu bestimmen, um daraus Akkumulationsraten zu berechnen. Zur zeitlichen Auflösung der Sedimentationsprozesse wurden bisher fast ausschließlich Torfe verwendet, die in holozänen Küstenablagerungen auftreten und regressive Phasen der Küstenentwicklung dokumentieren (FREUND & STREIF, 1999; BEHRE, 2003, 2004, 2005, 2007; BUNGENSTOCK et al., 2004; CHANG et al., 2006). Damit sind zwar Zeitmarken vorhanden, zwischen diesen muss aber linear interpoliert werden, da im Küstenbereich während transgressiver Phasen hauptsächlich klastische Sedimente transportiert und abgelagert werden.

1.2. Problemstellung und Ziel der Arbeit

In den holozänen Ablagerungen des norddeutschen Küstenraums wurden bisher aus methodischen Gründen hauptsächlich Torfe ^{14}C-datiert, da hier andere geophysikalische Methoden der Altersbestimmung entweder aufgrund ihrer isotopischen Eigenschaften nicht angewendet werden können oder keine geeigneten Ablagerungen, wie z.B. organogene Bildungen, vorliegen. Damit ist zwar ein Gerüst gegeben, in das darüber- und darunterliegende Sedimente eingehängt werden können, jedoch erlauben diese Eckdaten nur Berechnungen unter der Annahme interpolierter linearer Sedimentationsraten.

Prinzipiell können zur Datierung rezenter und holozäner Sedimente drei Verfahren herangezogen werden.

Die ^{210}Pb-Methode ist geeignet, Sedimente mit einem Alter von bis zu 150 Jahren zu datieren. Um mit dieser Methode sinnvolle Sedimentalter und Sedimentationsraten bestimmen zu können, wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, dass das atmosphärisch gebildete ^{210}Pb-Isotop als Überschuss-Aktivität in die Sedimente eingetragen wird und mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren zerfällt. Mit der Annahme eines konstanten ^{210}Pb-Flusses und einer konstanten Sedimentationsrate lässt sich das Alter der Sedimente aus der Abnahme des ^{210}Pb-Überschusses mit der Tiefe problemlos bestimmen. Mit der

Hilfe von mathematischen Modellen ist es möglich, auch in komplizierten Fällen (schwankende Sedimentationsrate, vertikale Mischung) die Sedimentationsrate abzuschätzen (APPLEBY et al., 1979). Dementsprechend ist die Methode nur begrenzt geeignet, Ablagerungsräume mit hoher räumlicher und zeitlicher Dynamik zu betrachten.

Die Optisch-Stimulierte Lumineszenz-Methode (OSL) ermöglicht eine Altersbestimmung von klastischen Sedimenten. Der Datierungsbereich reicht von wenigen Jahren bis zu etwa 150.000 Jahren. Die Proben müssen jedoch wegen der extremen Lichtempfindlichkeit rigoros vor jeglicher Belichtung geschützt werden. Somit ist die OSL-Methode in Ablagerungsräumen mit hoher räumlicher und zeitlicher Dynamik ebenfalls nur eingeschränkt anwendbar. Die Datierungspräzision wird mit minimal ± 5 % angegeben und liegt häufig bei ± 10 % für Alter <100.000 Jahre (GEYH, 2005).

Die ^{14}C-Methode ist aufgrund ihrer Präzision generell der OSL-Methode vorzuziehen. Sie deckt den Altersbereich von 1.000 - 40.000 Jahren ab, da das ^{14}C-Isotop eine Halbwertszeit von 5.730 Jahren besitzt. Voraussetzung für eine ^{14}C-Datierung ist allerdings die Verfügbarkeit organischen Materials, im Wattenmeer sind dies Torfe. Aber nicht jede Verlangsamung, Stagnation oder Absenkung des Meeresspiegels geht mit der Bildung von Torfen einher. So kann im vertikalen Profil klastischer Sedimente beispielshalber auch der fazielle Wechsel von marinen zu brackischen Ablagerungen oder der Übergang von typischen Sandwatt- zu Schlickwattablagerungen auf eine Regression hindeuten. Die Datierungsgenauigkeit hängt von der Probengröße, dem Alter und der Messzeit ab. Sie beträgt bei holozänen Proben im besten Fall ± 15 Jahre, normalerweise ± 40 - 50 Jahre und steigt bis zum Maximalalter auf einheitlich ± 4.000 Jahre an (GEYH, 2005). Probleme bereitet im marinen Ablagerungsraum aber der sogenannte marine Reservoireffekt, der die Verlässlichkeit dieser ^{14}C-Daten deutlich mindert (LEE, 1981).

Ausgehend von der Arbeit von ZIEHE (2005), in der die grundsätzliche Anwendbarkeit der Aminosäure-Racemisierungs-Methode am Beispiel von *M. edulis* L. auch auf dynamische Ablagerungsräume wie das Wattenmeer nachgewiesen wurde, wird im Rahmen dieser Arbeit ein verlässlicher chronologischer Rahmen angestrebt, mit dem die bislang nicht datierbaren Sedimente zwischen den organogenen Ablagerungen und schwimmenden Torfen (zwischen brackisch-marinen Sedimente eingeschaltete Torfe) zeitlich exakter eingeordnet werden können.

Die AAR-Methode dient der absoluten Altersbestimmung und nutzt dabei die optische Aktivität von Aminosäuren aus. Im Verlauf der Diagenese von Proteinen findet eine Umlagerung der L- zu D-Aminosäuren statt, bis sich ein Gleichgewicht oder ein D/L-Verhältnis von ~1 eingestellt hat (KAUFMAN & MILLER, 1992). Die Umlagerung setzt ein, sobald die Proteine nicht mehr aktiv an der Gesamtheit der stofflichen Umsetzungen, d.h.

dem Metabolismus des Organismus, beteiligt sind (HARE et al., 1997). Dies gilt auch für in biogene Carbonate eingelagerte Matrixpolymere.

Die Trennung der beiden Enantiomerenpaare erfolgt mittels Reversed-Phase-HPLC. Der Schwerpunkt liegt hierbei bei der Auswertung der D/L-Verhältnisse von Asparagin- bzw. Glutaminsäure.

Zur chiralen Aminosäure-Analyse wird eine HPLC-Methode nach Vorsäulenderivatisierung mit *o*-Phthaldialdehyd/*N*-Isobutyryl-L-cystein (OPA/IBLC) zur quantitativen Bestimmung der D/L-Asparagin- bzw. Glutaminsäuren verwendet.

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit ist die Bestimmung der Kinetik für die Umlagerungsreaktion im Labor mit Heizexperimenten. Dazu werden Muschelschalen bekannten Alters von *C*. *edule* L., *M*. *edulis* L., *M*. *arenaria* L. und *S*. *plana* L. erhöhten Temperaturen ausgesetzt, womit die Umlagerung beschleunigt wird. In definierten Zeitabständen wird so die Racemisierungsrate bestimmt. Diese Heizexperimente werden zur Erstellung der Kalibriergeraden genutzt. Die experimentell bestimmte Kinetik lässt sich auf fossile Proben übertragen.

Mit der AAR-Methode sollen Altersbestimmungen an biogenen Carbonaten aus Sedimentkernen, Aufschlüssen etc. im norddeutschen Küstenholozän durchgeführt werden. Die Ergebnisse der AAR-Datierung schließen die Lücke, die die bisher angewandte Methode der ^{14}C-Datierung an Torfen lässt. Damit werden Verlässlichkeit und Genauigkeit des zeitlichen Rahmens holozäner Sedimentationsvorgänge im Niedersächsischen und Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer wesentlich verbessert.

1.3. Grundlagen der Aminosäure-Racemisierungs-Methode

Die Aminosäure-Racemisierungs-Methode beruht darauf, dass die im lebenden Gewebe vorhandenen L-Aminosäuren nach dem Absterben des Organismus bzw. nach dem Einbau in biogene Minerale durch Umlagerung allmählich in die D-Form übergehen (GOODFRIEND, 1987a; MEYER, 1991; MURRAY-WALLACE & BELPERIO, 1994). Dieser Prozess ist ausschließlich zeit- und temperaturabhängig und verläuft bis zur Einstellung eines Gleichgewichts, bei dem etwa gleiche Mengen L- und D-Form vorliegen.

1.3.1. Methodische Grundlagen

Da im Verlauf der Fossilisierung einige Aminosäuren sehr schnell abgebaut werden, sind in Fossilien nur noch etwa 10 der ursprünglich rund 20 proteinogenen Aminosäuren enthalten (GEYH, 2005). In biogenen Mineralen ist das Erhaltungspotential von Aminosäuren besonders hoch (VAN DUIN & COLLINS, 1998).

Aminosäuren existieren als zwei spiegelbildlich aufgebaute Moleküle (Abb. 1.1).

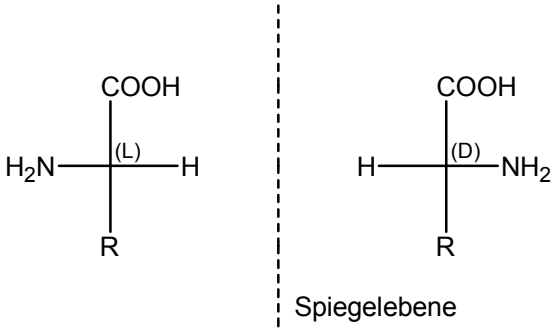


Abb. 1.1: Fischer-Projektion der allgemeinen Konfiguration von L- und D-Aminosäuren

Bis auf wenige Ausnahmen setzen sich die Proteine in lebenden Organismen ausschließlich aus L-Aminosäuren zusammen (POLLOCK & KVENVOLDEN, 1978; BADA, 1982). Daher werden die D-Aminosäuren auch zu den nicht-proteinogenen Aminosäuren gerechnet. D-Aminosäuren nehmen aber trotzdem einige wichtige Aufgaben in biologischen Systemen wahr. Bakterielle Zellwände beispielsweise enthalten neben L- auch D-Aminosäuren. Diese Aminosäuren schützen das Bakterium vor dem Angriff durch Peptidasen, die von vielen anderen Organismen zur Verdauung bakterieller Zellwände produziert werden. Des Weiteren sind viele D-Aminosäuren Bestandteile wichtiger biologischer Substanzen wie Antibiotika, Toxine und anderer Naturstoffe.

Die Diagenese von Proteinen beginnt nach dem Tod des Organismus und hat eine kinetisch kontrollierte Umlagerung der L- zur D-Aminosäuren zur Folge, bis sich ein Gleichgewicht bei einem D/L-Verhältnis von ~1 einstellt (KAUFMAN & MILLER, 1992). Die Umlagerung setzt ein, sobald die Proteine nicht mehr aktiv am Metabolismus des Organismus beteiligt sind (HARE et al., 1997).

Der Mechanismus der Racemisierungsreaktion von freien Aminosäuren mit der Inversion des Carbanions als Zwischenstufe, ausgehend von einer L-Aminosäure, wird von VOLLHARDT & SCHORE (2000) beschrieben (Abb. 1.2).

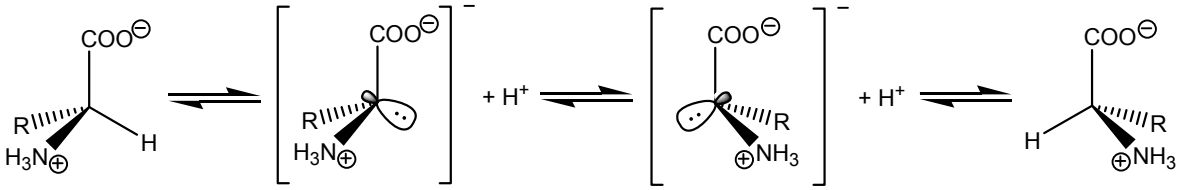


Abb. 1.2: Mechanismus der Racemisierungsreaktion von freien Aminosäuren mit der Inversion des Carbanions als Zwischenstufe, ausgehend von einer L-Aminosäure

Bei der Racemisierungsreaktion handelt es sich um eine Reaktion 1. Ordnung (Gl. 1.1):

$$\text{L-Aminosäure} \underset{k_D}{\overset{k_L}{\rightleftharpoons}} \text{D-Aminosäure}$$

Gl. 1.1: Racemisierungsreaktion

Zur Änderung der Konzentration der L-Aminosäure [L] tragen zwei Effekte bei, die Hinreaktion erniedrigt die Konzentration in der Zeiteinheit um k_L [L], die Rückreaktion erhöht sie um k_D [D]. Die Konzentration von [L] ändert sich infolgedessen mit der Geschwindigkeit und kann somit wie folgt beschrieben werden (Gl. 1.2):

$$-\frac{d[\mathrm{L}]}{dt} = k_L[\mathrm{L}] - k_D[\mathrm{D}]$$

Gl. 1.2: Differentielle Form des Zeitgesetzes

Ist zu Reaktionsbeginn die L-Aminosäure in der Konzentration [L] = $[L]_0$ vorhanden, gilt Gleichung 1.3:

$$[L]_0 = [L] + [D] \text{ bzw. } [D] = [L]_0 - [L]$$

Gl. 1.3: Konzentration zum Zeitpunkt $[L]_0$

Gleichung 1.2 kann nun in folgender Form geschrieben werden (Gl. 1.4):

$$-\frac{d[\mathrm{L}]}{dt} = (k_L - k_D)[\mathrm{L}] - k_D[\mathrm{L}]_0$$

Gl. 1.4: Differentielle Form des Zeitgesetzes nach Einsetzten von $[D] = [L]_0 - [L]$

Durch Integration von Gleichung 1.4 wird das Zeitgesetz in integrierter Form (Gl. 1.5) erhalten (BADA, 1982):

$$\ln\left[\frac{1+\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}{1-K'\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}\right] = (1+K')k_L t + C$$

Gl. 1.5: Integrierte Form des Zeitgesetzes mit $K' = k_D/k_L$ und Integrationskonstante C

Für Aminosäuren mit nur einem Chiralitätszentrum ist $K' = 1$. Gleichung 1.5 stellt eine Beziehung zwischen den Geschwindigkeitskonstanten für die Hinreaktion k_L und für die Rückreaktion k_D her. Die Integrationskonstante C wird durch Einsetzen des D/L-Verhältnisses zum Zeitpunkt $t = 0$ ermittelt.

Somit ergibt sich unter Annahme von $K' = 1$ für Asparagin- bzw. Glutaminsäure folgende Gleichung 1.6:

$$\ln\left[\frac{1+\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}{1-\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}\right] - \ln\left[\frac{1+\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}{1-\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}}}\right]_{t=0} = 2k_{\text{Asp bzw. Glu}}t$$

Gl. 1.6: Integrierte Funktion des Zeitgesetzes für $K' = 1$ für Asparagin- bzw. Glutaminsäure

Die Struktur der jeweiligen Aminosäure hat insofern einen Einfluss auf die Umlagerung, als zusätzliche funktionelle Gruppen die Bildung des Carbanions sterisch beeinflussen können.

Infolgedessen besitzt jede Aminosäure eine andere Umlagerungsgeschwindigkeit. Asparaginsäure ist die dabei am schnellsten racemisierende Aminosäure (POWELL et al., 1989; GOODFRIEND, 1991). In der Abspaltung von Wasser (Abb. 1.3) einer über Peptidbindungen verknüpften L-Asparaginsäure (1) und der daraus resultierenden intermediären Bildung eines cyclischen Succinimids (2) ist die Ursache für die schnelle Umlagerung von Asparaginsäure begründet (GEIGER & CLARK, 1987). Demzufolge wird die Bildung des Carbanions am Chiralitätszentrum und die verbundene Umlagerung von H^+ (3) begünstigt. Schließlich führt die Aufnahme von Wasser zur umgelagerten D-Asparaginsäure (4).

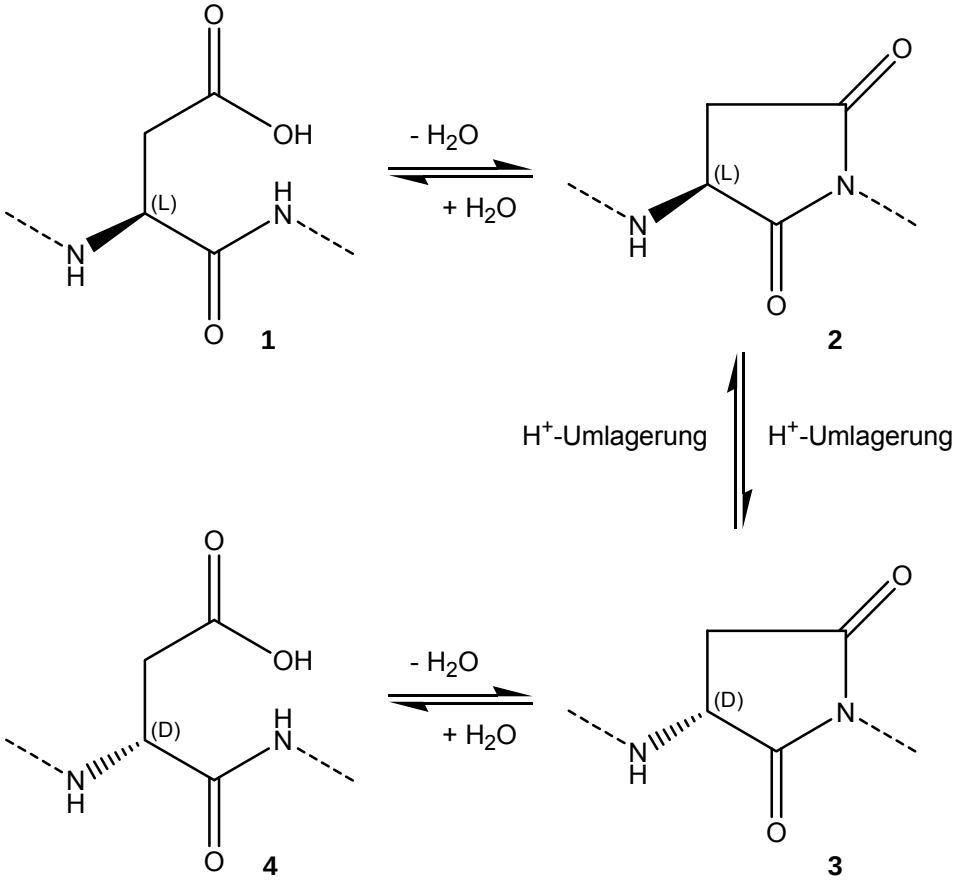


Abb. 1.3: Bildung eines intermediären Succinimids bei der Umlagerung von L- zu D-Asparaginsäure

Die Racemisierung von Glutaminsäure dagegen verläuft mit am langsamsten (POWELL et al., 1989; GOODFRIEND, 1991).

Da es sich bei der Temperatur um eine wesentliche Komponente bei der Racemisierung handelt, wird die quantitative Beziehung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit (hier Racemisierungsrate) und Temperatur durch die Arrhenius-Gleichung (Gl. 1.7) beschrieben (GOODFRIEND, 1997):

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \; oder \; \ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Gl. 1.7: Arrhenius-Gleichung

A = präexponentieller Faktor (Konstante) R = ideale Gaskonstante ($1{,}987 \cdot 10^{-3}$ kcal·mol^{-1}·K^{-1})
E_a = Aktivierungsenergie [kcal·mol^{-1}] T = absolute Temperatur in Kelvin

Der natürliche Logarithmus der Racemisierungsrate k verhält sich umgekehrt proportional zur Temperatur mit einem präexponentiellen Faktor A, der abhängig von der Aktivierungsenergie E_a ist. Beim Auftragen von ln k gegen $1/T$ im sogenannten Arrhenius-Diagramm wird eine Gerade erhalten, aus deren Steigung sich E_a ermitteln lässt (GOODFRIEND, 1997).

1.3.2. Anwendungsbereich

Ein großer Vorteil der Aminosäure-Racemisierungs-Methode im Vergleich zur ^{14}C-Datierung ist der analytisch erfassbare Zeitraum (GOODFRIEND, 1987b). Der Altersbereich dieser Methode erstreckt sich von wenigen Jahrzehnten für D/L-Asparaginsäure bis zu mehreren Jahrmillionen für D-allo/L-Isoleucin (BROWN, 1985), die datierbare Zeitspanne ist somit abhängig von der untersuchten Aminosäure. Die AAR-Methode ermöglicht die Datierung von Proben, die sich dem Zeitraum der ^{14}C-Datierung entziehen (1.000 - 40.000 J. v.h.). Die Methode ist besonders geeignet, um in geologischer Zeitskala sehr junge und dynamische Ablagerungsräume zu erfassen (GOODFRIEND & ROLLINS, 1998).

Die AAR-Methode eignet sich zum absoluten Datieren von organischem Material, in denen Proteine konserviert sind. Der weitaus überwiegende Teil der Publikationen auf dem Gebiet der Aminosäuredatierung befasst sich daher mit biogenen Materialen (Tab. 1.1). Der überwiegende Teil der Literatur befasst sich hierbei mit dem Einsatz des D-allo/L-Isoleucin-Verhältnisses (JOHNSON & MILLER, 1997).

Biogene Materiale	Autoren
Marine und limnische Muschelschalen	HARE & ABELSON, 1968; WEHMILLER, 1986; GOODFRIEND, 1987a, b; MURRAY-Wallace & KIMBER, 1987; KAUFMAN et al., 1992; Murray-WALLACE et al., 1993; MURRAY-WALLACE, 1995; ELLIS et al., 1996; KAUFMAN, 2003; SLOSS et al., 2004; TORRES et al., 2005; WOOD et al., 2006; KOSNIK et al., 2008; KOSNIK & KAUFMAN, 2008
Eierschalen	BROOKS et al., 1990; MILLER et al., 1992; KAUFMAN & MILLER, 1995; MILLER et al., 1997; MAGEE et al., 2009
Foraminiferen	MÜLLER, 1984; HALD et al., 1990; HARADA et al., 1996, 1997; HEARTY et al., 2004; KAUFMAN, 2006
Knochen	BADA & PROTSCH, 1973; KIMBER & HARE, 1992; BADA, 1985
Zähne	FU et al., 1995; WAITE et al., 1999; OHTANI et al., 2003; ARANY et al., 2004; YEKKALA et al., 2006, 2007
Gehäuse von Landschnecken	GOODFRIEND et al., 1996; HEARTY & KAUFMAN, 2009

Tab. 1.1: Übersicht der Publikationen auf dem Gebiet der Aminosäuredatierung biogener Materiale

Biogen ausgeschiedene Carbonate enthalten einen mehr oder weniger hohen Anteil an Proteinen, da diese am Calcificierungsprozess beteiligt sind (WILBUR & SALEUDDIN, 1983). In der Carbonatmatrix bleiben die Proteine relativ lange erhalten. Allerdings können Hydrolyseprozesse zur Bildung von freien Aminosäuren führen, die durch Auswaschung aus der Carbonatmatrix herausgelöst werden und somit zur Abnahme des Proteingehalts mit zunehmendem Alter führen (HARE, 1969; KUDO et al., 2006).

GOODFRIEND (1992) konnte die Eignung der Datierung mit D/L-Asparaginsäure am Beispiel von jungen Schneckenschalen (<350 J. v.h.) zeigen. Dieser Altersbereich kann von der ^{14}C-Datierung wegen des Reservoireffektes der Ozeane (ca. 400 Jahre) nicht mehr erfasst werden (LEE, 1981; KEIR, 1984; WEIDMAN, 1995). GOODFRIEND et al. (1992) untersuchten die Racemisierungsrate von Asparaginsäure in den Jahresringen einer Koralle mit einem Alter von weniger als 350 Jahren. SHERWOOD et al. (2006) datierten Tiefsee-Korallen aufgrund der Problematik des Reservoireffektes mit der AAR-Methode.

Nach GEYH (2005) wird die AAR-Methode weltweit für regionale chronostratigraphische Studien in der Paläoklimatologie, Glaziologie, Seespiegelgeschichte und Tektonik eingesetzt (WEHMILLER, 1986; RUTTER & BLACKWELL, 1995).

Bei der Beurteilung der Verlässlichkeit von Datierungen basierend auf der AAR-Methode sind Änderungen der Umgebungstemperatur (SILFER et al., 1990) und die Möglichkeit von Umlagerungen allerdings als kritische Faktoren zu betrachten (GOODFRIEND & STANLEY, 1996). Diese Aspekte werden zusammenfassend von MCCOY (1987) und HARE et al. (1997) behandelt.

Zusammengefasst ist die Genauigkeit der AAR-Methode von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen dürfen nur Proben gleicher Organismen miteinander verglichen werden, da die Proteine, auf denen das Schalencarbonat abgelagert wird, von Art zu Art unterschiedlich sind. Des Weiteren sollte nur eine für den Zeitraum passende Aminosäure für die Bestimmung des D/L-Verhältnisses herangezogen werden. Zum anderen muss die Durchschnittstemperatur des zu bestimmenden Zeitraums bekannt sein, da die Umwandlung in Racemate stark von Umweltfaktoren, wie z.B. Temperaturwechseln, abhängt. Eine bedeutende Klimaänderung in der Zeitspanne, in der das zu datierende Objekt im Boden lag, kann daher zu erheblichen Fehlern führen.

Eine Tatsache, von der im vorliegenden Fall nicht die Rede sein kann. Da die zu datierenden Wattsedimente des Holozän Umgebungstemperaturen ohne große Schwankungen ausgesetzt waren, lässt sich aus den an biogenen Carbonaten gemessenen Aminosäuren-D/L-Verhältnissen direkt das Alter ermitteln.

1.4. Frühere Arbeiten zum postglazialen Meeresspiegelanstieg und zur Datierung holozäner Sedimente in der südlichen Nordsee

Angaben zum postglazialen Meeresspiegelanstieg in der südlichen Nordsee und dem Gebiet der Ostfriesischen Inseln basieren fast ausschließlich auf der ^{14}C-Datierung von Basaltorfen und schwimmenden Torfen. Zusätzlich werden auch pollenanalytische Befunde herangezogen und in einem Zeit-/Tiefendiagramm zum holozänen Meeresspiegelanstieg wiedergegeben (STREIF, 1990, 2004; BEHRE, 2003, 2004, 2005; HOSELMANN & STREIF, 2004). Basaltorfe und schwimmende Torfe liefern im nordwestdeutschen Küstengebiet für den Zeitabschnitt ab ca. 8.600 J. v.h. sehr gute Zeitmarken zur Datierung regressiver und transgressiver Phasen im Küstenholozän. Die organischen Ablagerungen bilden sozusagen den zeitlichen Rahmen für die von ihnen eingeschlossenen unterschiedlichen klastischen Sedimentfolgen. Für die Zeit nach 200 n. Chr. existieren allerdings im Bereich der Watten und Marschen keine flächendeckenden Vermoorungen mehr, so dass für diesen Zeitabschnitt keine markanten Leithorizonte zur Datierung von Sedimentationsfolgen herangezogen werden können. Auf den Ostfriesischen Inseln können hierfür fossile Salzwiesen- und Wattablagerungen genutzt werden. Als für die ^{14}C-Methode geeignetes datierbares Material finden hier vor allem Reste von Salzwiesenvegetation, aber auch Mollusken, Schnecken und eingeschlossene Funde von Knochenmaterial Verwendung (FREUND & STREIF, 1999; FREUND, 2003; FREUND et al., 2003, 2004; WATERMANN et al., 2004).

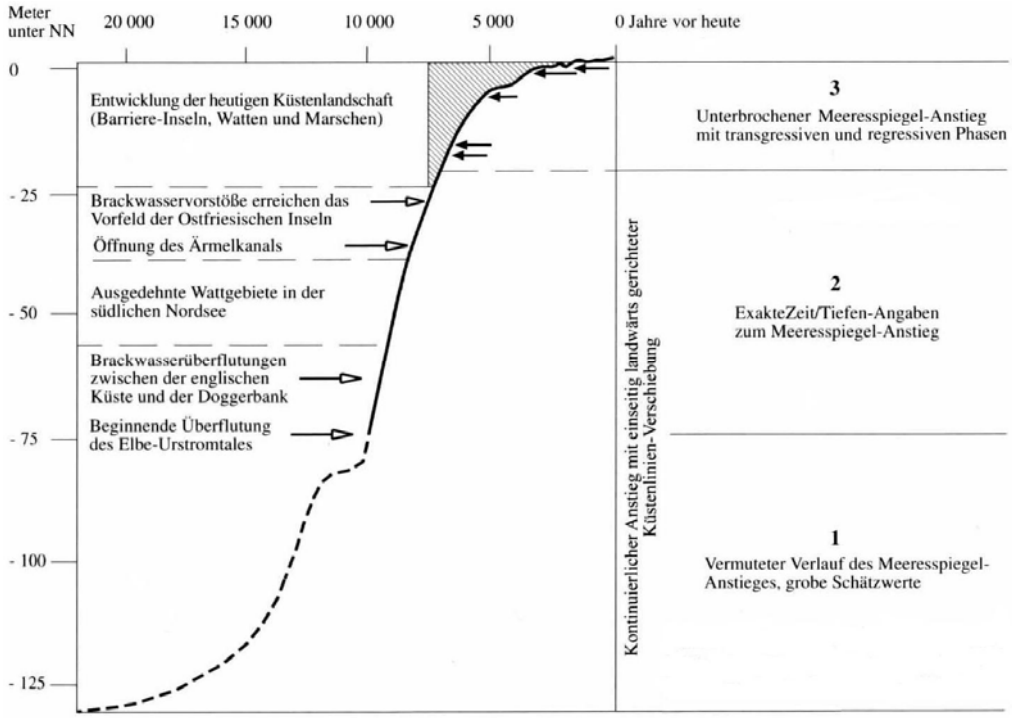


Abb. 1.4: Zeit-/Tiefendiagramm des in drei Phasen abgelaufenen Meeresspiegelanstiegs vom Höhepunkt der Weichsel-Kaltzeit bis heute mit Hinweisen auf Abschnitte transgressiver bzw. regressiver Entwicklung sowie auf besondere Ereignisse der Landschaftsgeschichte (aus STREIF, 2003)

Abbildung 1.4 zeigt u.a. den jüngsten Abschnitt der Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs, der durch einen Wechsel von land- und seewärtigen Küstenlinienverschiebungen geprägt ist. STREIF (2002) gibt als Ursache dieser wechselvollen Entwicklung den deutlich verlangsamten und z.T. durch Stillstands- sowie kurze Regressionsphasen unterbrochenen Meeresspiegelanstieg während der letzten 7.500 Jahre an. Die über die gesamte Zeitspanne gemittelte Rate des Meeresspiegelanstiegs beträgt 33 cm/Jahrhundert (SCHWARZ, 1996). Für das Wattenmeer der Nordseeküste haben OOST & DE BOER (1994) eine mittlere Sedimentakkumulationsrate von 1 - 2 mm/Jahr angegeben.

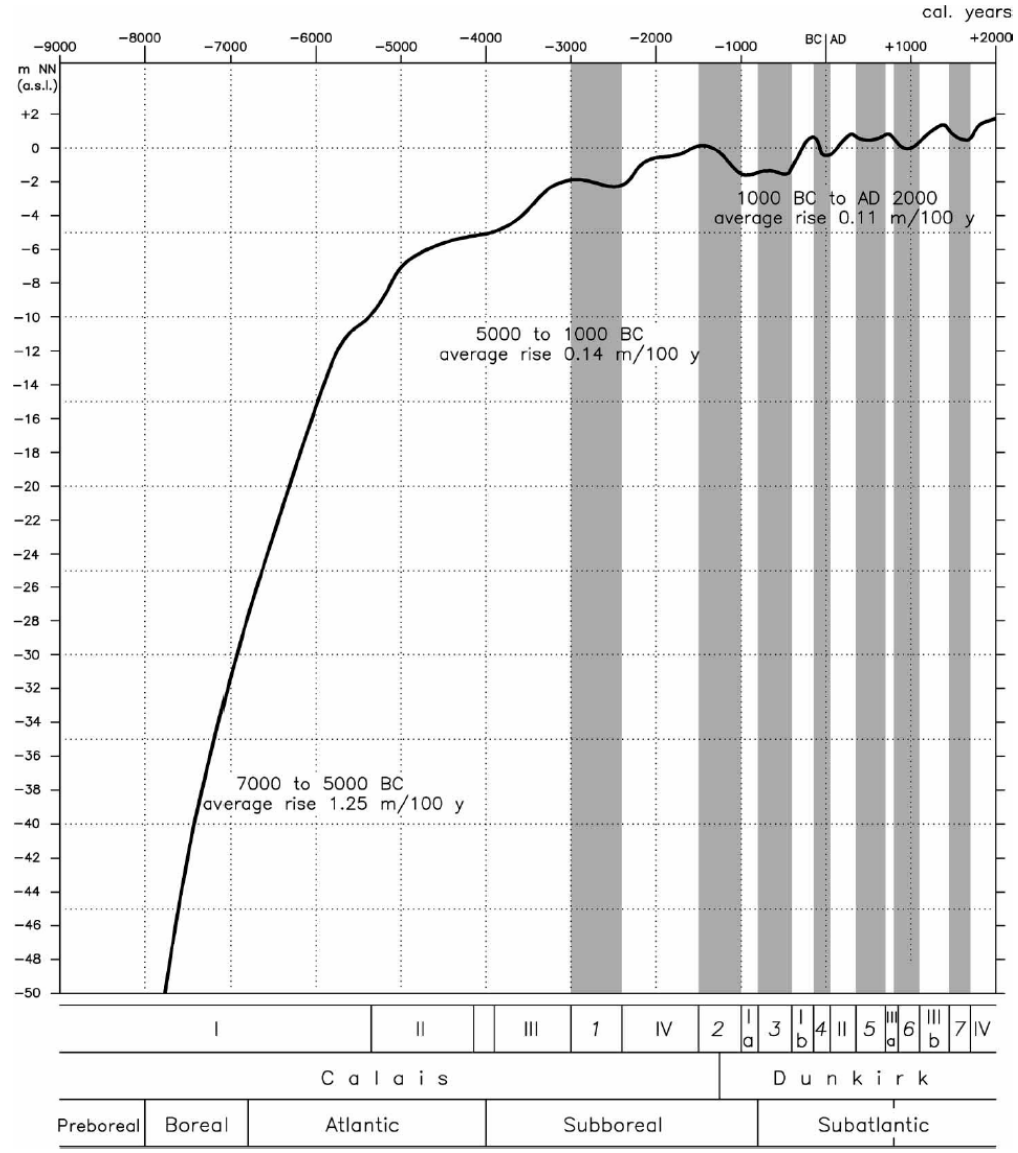


Abb. 1.5: Einfache Form der Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee. Zeitangaben in kalibrierten Kalenderjahren. Das Subatlantikum wird, durch die Teilstriche angedeutet, in Frühes und Spätes Subatlantikum unterteilt (aus BEHRE, 2007)

In Abbildung 1.5 ist der Verlauf der Meeresspiegelkurve von BEHRE (2007) aufgeführt. Im Gegensatz zu vielen älteren Kurven dieser Art wurden hier ausschließlich kalibrierte ^{14}C-Jahre vor und nach Christi Geburt verwendet, da nur so eine unverzerrte Darstellung der Kurve möglich ist. Viele dieser Interpretationen beruhen auf archäologischen Daten.

Die Meeresspiegelkurve zeigt einen sehr steilen Anstieg bis um 5.000 v.Chr., nach einem kleinen Knick folgt ein erheblich flacherer Anstieg. Ein erster Hochstand des Meeresspiegels wurde am Ende der Calais III-Transgression mit einem MThw von etwa -2 m NN erreicht, darauf folgt um 3.000 v.Chr. die erste Regression. Gegen Ende von Calais IV kam die Nordsee erstmals auf eine Höhe von ± 0 m NN. Danach setzte um 1.500 v.Chr. die zweite Regression ein, das MThw sank auf etwa -1,60 m NN ab. Daraufhin folgte die Dünkirchen-Serie. Zwischen 1.000 - 500 v.Chr. lief die Dünkirchen I-Transgression ab, zunächst langsam und mit einigen Unterbrechungen, in denen die ersten Siedlungen in der deutschen Marsch nachgewiesen wurden. Die größte dieser Unterbrechungen führte schließlich zur dritten Regression. Danach folgte ein sehr starker Anstieg des Meeresspiegels bis zu einem Stand von +0,6 m NN. In der Zeit um Christi Geburt sank das MThw bis auf etwa -0,65 m NN (Regression 4), gefolgt von der Dünkirchen II-Transgression. Danach folgte die fünfte Regression, unmittelbar gefolgt von einer weiteren Transgression. Das Siedlungsverhalten zeigt anschließend ein Absinken des Meeresspiegels um 850 n.Chr. (Regression 6), bevor im Mittelalter während Dünkirchen IIIb wiederum ein Maximum erreicht wurde. Nach einem Minimum im 17. Jahrhundert (Regression 7) folgt dann der noch bis heute anhaltende Anstieg (BEHRE, 2007).

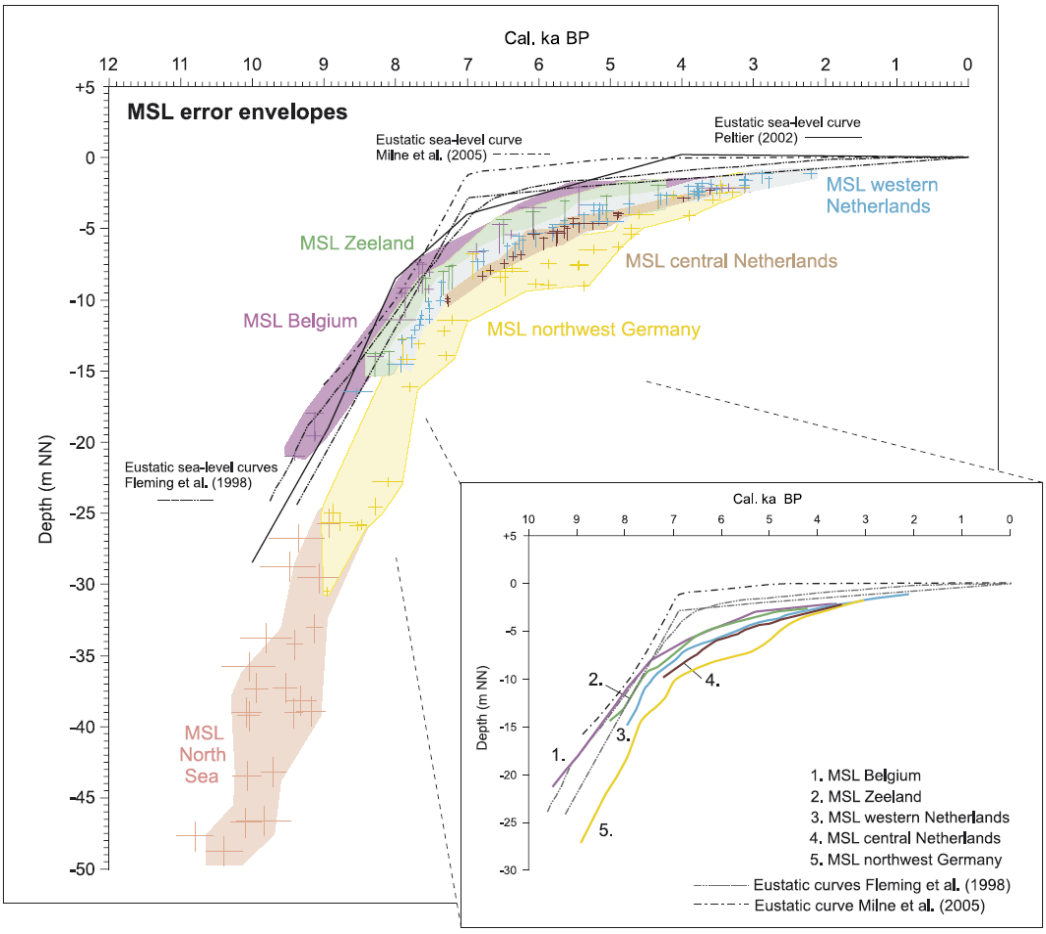


Abb. 1.6: Fehlerbanden des abgeschätzten Meeresspiegelanstiegs aus Belgien, den Niederlanden, Deutschland und der südlichen Nordsee im Vergleich mit den eustatischen Meeresspiegelkurven von FLEMING et al. (1998), PELTIER (2002) und MILNE et al. (2005) (aus VINK et al., 2007)

Die in Abbildung 1.6 aufgeführten Kurven zeigen im Vergleich zueinander nach Korrektur für die durch die Autoren unterschiedlich gehandhabte Form der Alterskalibrierung bzw. verschiedene Bezugsniveaus des Meeresspiegels deutliche Diskrepanzen auf, die hauptsächlich auf variierende Effekte von tektonischer Subsidenz und Isostasie im norddeutschen Raum zurückzuführen sind. Die Meeresspiegelanstiegskurve von Belgien passt am besten zu den eustatischen Meeresspiegelkurven von FLEMING et al. (1998), PELTIER (2002) und MILNE et al. (2005) und deutet auf eine eher geringfügige Subsidenz der Region hin. Die Kurven aus den Niederlanden und dem Nordwesten Deutschlands liegen jedoch im Bereich zwischen 9.000 - 4.000 J. v.h. deutlich niedriger und weichen zurückgehend in der Zeit immer weiter voneinander ab (VINK et al., 2007).

Bodenlebende marine Organismen hinterlassen in den klastischen holozänen Küstensedimenten biogene Carbonate in Form von Schalen, die ebenfalls zur Datierung durch die ^{14}C-Methode genutzt werden können. Probleme bereitet im marinen Ablagerungsraum aber der sogenannte marine Reservoireffekt, der die Verlässlichkeit dieser ^{14}C-Daten deutlich mindert (LEE, 1981). Viele datierbare Proben stammen aus Reservoiren, deren ^{14}C-Anfangswerte von dem des atmosphärischen Kohlenstoffs abweichen (OLSSON, 1979).

Der im Wasser der südlichen Nordsee gelöste Kohlenstoff hat Aufenthaltszeiten von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Eine Verunreinigung der zu datierenden Probe kann durch ^{14}C-armen "alten" oder auch durch ^{14}C-reichen "modernen" Kohlenstoff geschehen. Beispielsweise kann das Calciumcarbonat des Kalksteins im Grundwasser in Lösung gehen und so von Organismen aufgenommen werden. Kalkstein ist anorganischen Ursprungs, enthält also von Hause aus kein ^{14}C. Die Folge sind stark verfälschte Altersmessungen von Organismen, die in diesem Gebiet leben (LEE, 1981). Die aus diesem Kohlenstoff gebildeten Sedimente bzw. biogenen Carbonate liefern entsprechend überhöhte scheinbare ^{14}C-Alter. Der Reservoireffekt ist insbesondere aus Küstengewässern bekannt, vergleichbare Effekte werden aber auch für die Tiefsee berichtet (KEIR, 1984). Bei mäßig tiefen Schelfbereichen wie der südlichen Nordsee wird eine Reservoirkorrektur von etwa 400 Jahren notwendig (GEYH, 2005).

Eine genaue Bestimmung dieser Reservoirkorrektur für biogene Carbonate erfolgte jedoch bisher für die südliche Nordsee bzw. das Wattenmeer nicht. Lediglich HEIER-NIELSEN et al. (1995) geben eine Reservoirkorrektur von 377 $\pm$ 16 Jahren für Dänemark an. BONDEVIK et al. (1999) beziffern die Reservoirkorrektur auf 380 $\pm$ 32 Jahre für Norwegen. Untersuchungen von MANGERUD et al. (2006) gehen von einer Reservoirkorrektur von 380 $\pm$ 30 bzw. 360 $\pm$ 30 Jahren für den Nordatlantik aus.

Die meisten der an marinen Sedimenten durchgeführten Datierungen befassen sich mit Ablagerungsräumen, in denen über relativ lange Zeiten gleichförmige Bedingungen

herrschten. Systematische Untersuchungen in Ablagerungsgebieten mit hoher räumlicher und zeitlicher Dynamik, wie der deutschen Nordseeküste, wurden bisher kaum durchgeführt. Lediglich BERGER et al. (1987) untersuchten die Verfüllung einer ehemaligen Wattrinne in den Niederlanden und BERGER & CALINE (1991) datierten die Wattsedimente der Bay de Mont St. Michel, Frankreich mit Hilfe von ^{210}Pb-Daten. ANDERSEN et al. (2000) bedienten sich ^{210}Pb- und ^{137}Cs-Daten bei der Ermittlung von Akkumulationsraten zur Datierung intertidaler Wattsedimente in Dänemark und den Niederlanden. Flachmarine Sedimente untersuchten PORAT et al. (2002) mit Hilfe von OSL-Datierungen im südöstlichen Mittelmeer, Israel. MADSEN et al. (2005) nutzten eine Kombination von ^{210}Pb, ^{137}Cs und OSL-Datierungen zur Datierung junger (<350 J. v.h.) ästuariner Sedimente im Bereich der dänischen Nordseeküste. Wiederum MADSEN et al. (2007a, b, c) zeigten die Datierung junger (<1.000 J. v.h.) ästuariner Sedimente im dänischen Wattenmeer diesmal ausschließlich basierend auf OSL-Datierungen. MAUZ & BUNGENSTOCK (2007) untersuchten marine Sedimente im Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog ebenfalls über OSL-Datierungen.

Im norddeutschen Küstenraum wurde mit der Aminosäure-Racemisierungs-Methode erstmals Schalenmaterial von *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L. und *M*. *edulis* L. aus 1 m langen Kernen der Swinnplate, Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog, über D/L-Verhältnisse von Asparaginsäure datiert (BEHRENDS, 1997; BEHRENDS et al., 2003). Nach Eichung gegen ^{14}C-datierte Schalen von *C*. *edule* L. konnte eine mittlere Sedimentaufwuchsrate von 35 cm/Jahrhundert erhalten werden, zieht man nur die jüngsten Schalen heran (GOODFRIEND & STANLEY, 1996). Dieser Wert, berücksichtigt man die geringe Anzahl an Proben, entspricht der in der Literatur allgemein angenommenen Sedimentationsrate von 25 - 30 cm/Jahrhundert, die aus dem Anstieg des Meeresspiegels in jüngster Zeit berechnet wurde (KUNZ, 1993). Als problematisch stellte sich dabei die Anwesenheit älteren Materials heraus, wie es in Schilllagen vorkommt, die aber wegen der Kürze der untersuchten Kerne mit herangezogen werden mussten. Aus Untersuchungen von FLESSA (1998) ist zudem bekannt, dass alte, intakte Schalen von *C*. *edule* L. auch aus der Nordsee in das Wattenmeer eingetragen werden können. Für Proben von *M*. *arenaria* L. aus dem Greifswalder Bodden konnte gezeigt werden, dass diese Art hier nur unwesentlich später als in Nordjütland erstmals auftrat, eine weitere Bestätigung der Hypothese des Transfers von Nordamerika nach Europa durch die Wikinger (PETERSEN et al., 1992; BEHRENDS et al., 2005).

Ähnliche Ergebnisse erzielte ZIEHE (2005), der für *M*. *edulis* L. anhand von Heizexperimenten die Racemisierungsrate für Asparaginsäure ermittelte. Hier treten, anders als bei den Schalen von *C*. *edule* L., keine extremen Abweichungen im errechneten Alter auf. Die Variationen ergeben sich im Wesentlichen aus der Tatsache, dass auch hier Schillmateri-

al zur Datierung herangezogen wurde. Die für die fünf Sedimentkerne ermittelten Sedimentaufwuchsraten ergeben eine durchschnittliche Sedimentakkumulationsrate von 36 ± 10 cm/Jahrhundert und damit eine gute Übereinstimmung mit den Daten von BEHRENDS et al. (2003).

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Verfahren der AAR-Methode auch auf dynamische Wattsedimente anwendbar ist. Idealerweise sollten die Ergebnisse aber über mehrere Dekaden gemittelt werden, um ereigniskontrollierte Sedimentumlagerungen wie durch Sturmfluten oder Eisdrift auszuschließen.

2. Die Untersuchungsgebiete

2.1. Die Entwicklung des norddeutschen Küstenraums

Um großräumige Sedimentations- und Erosionsprozesse im norddeutschen Küstenraum richtig einordnen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis der Küstenentwicklung im Verlauf des postglazialen Meeresspiegelanstiegs unabdingbar (FLEMMING & BARTHOLOMÄ, 2003). Zum Höhepunkt der letzten Eiszeit vor etwa 18.000 Jahren lag die Küstenlinie weit im Norden bei einer heutigen Wassertiefe von ca. 120 m. Die eigentliche Entwicklung der südöstlichen Nordseeküste begann somit erst, nachdem die Doggerbank überwunden worden war und der Wasserspiegel im südlichen Nordseebecken an die randlichen Ausläufer der Geest heranreichte. Diese Situation trat frühestens vor ca. 8.000 Jahren ein, als der Meeresspiegel bei etwa -20 m angekommen war und das Meer in die Unterläufe der größeren Flüsse und Bäche eindringen konnte (STREIF, 1990).

2.2. Die Entstehung des Wattenmeers

Der südliche Nordseeraum hat im Quartär (2,5 Millionen Jahre bis heute) eine wechselvolle Entwicklung durchlaufen. Diese Entwicklung ist vor allem durch den zyklisch wiederkehrenden Klimawechsel mit ausgeprägten Kaltzeiten (Glaziale) und Warmzeiten (Interglaziale) geprägt. In den Kaltzeiten, die in der Regel fünf bis zehnmal länger andauerten als die Warmzeiten, wurden die über Land niedergehenden Niederschläge im Gletschereis gebunden und so vorübergehend dem Wasserkreislauf entzogen. Demzufolge wuchsen die Eismassen der Antarktis und Grönlands an. Außerdem entstanden weitere bis 3.000 m mächtige Inland-Eisschilde, die zeitweilig große Teile Nordamerikas sowie Nord- und Mitteleuropas bedeckten. Die Folgen waren ein globales Absinken des Meeresspiegels und eine seewärts gerichtete Verschiebung der Küstenlinie (Regression). Umgekehrt führte schmelzendes Inlandeis in den Warmzeiten zum Ansteigen des Meeresspiegels und landwärts gerichteten Verschiebungen der Küstenlinie (Transgression). Ein kompletter Klimazyklus, der eine Kaltzeit mit Meeresspiegel-Tiefstand und eine Warmzeit mit Meeresspiegel-Hochstand umfasst, führte dabei zu Meeresspiegel-Schwankungen mit einer vertikalen Amplitude von ca. 100 m (STREIF, 2003, 2004).

Bezogen auf die Nordsee bedeutet dies, dass in über 100 m tiefen, nördlichen Teilen des Beckens durchgehend marine Ablagerungsverhältnisse existierten. Im Gegensatz dazu wurden flachere Teile der mittleren und südlichen Nordsee durch klimatisch gesteuerte Prozesse - Eisvorstöße und Meeresüberflutungen - in einem Maße umgestaltet, das alle gleichzeitig ablaufenden geologischen Prozesse, wie z.B. tektonische Absenkung oder isostatische Bewegungen, weit übertraf (STREIF, 2003, 2004).

Nordwestdeutschland wurde durch drei große Vereisungen geformt, die Elster-Kaltzeit (350.000 - 245.000 J. v.h.), die Saale-Kaltzeit (230.000 - 128.000 J. v.h.) und die Weichsel-Kaltzeit (117.000 - 11.500 J. v.h.). Im Verlauf der ersten beiden Kaltzeiten gelangten Gletscher bis in das heutige Küstengebiet und hinterließen dort charakteristische Ablagerungen. Während der Weichselkaltzeit erreichten die Eismassen das Untersuchungsgebiet nicht mehr, sondern machten nördlich der Elbe halt (POTT, 1999). Der Nordseespiegel lag zum Höhepunkt der letzten Kaltzeit (22.000 - 18.000 J. v.h.) ca. 110 - 130 m tiefer als heute, die Küstenlinie hatte sich weit nach Norden zurückgezogen. Das heutige südliche Nordseebecken war also landfest und lag im periglazialen Vereisungsgebiet (STREIF, 2003, 2004).

Nachdem die Weichsel-Kaltzeit vor ca. 18.000 Jahren ihren Höhepunkt überschritten hatte, stieg der Meeresspiegel in einer ersten Phase der Transgression, vor allem aber mit Beginn des Holozän (Nacheiszeit, 11.500 J. v.h. bis heute) zunächst kontinuierlich an und die Küstenlinie schob sich über die ehemalige Pleistozänlandschaft hinweg nach Süden (Abb. 1.4).

Die zweite Phase der Transgression umfasst die Zeitspanne zwischen 9.850 - 7.100 J. v.h. und den Anstieg von 72 - 25 m unter dem heutigen Meeresspiegel. Erste Brackwasservorstöße erreichten das Vorfeld der heutigen Ostfriesischen Inseln (HANISCH, 1980; STREIF, 1990). Die über den gesamten Abschnitt gemittelte Rate des Meeresspiegel-Anstiegs beträgt 1,5 m/Jahrhundert, zwischen 8.600 - 7.100 J. v.h. erreichte sie sogar 2,1 m/Jahrhundert (STREIF, 2003, 2004).

In der dritten und jüngsten Entwicklungsphase stieg der Nordseespiegel innerhalb von 8.500 Jahren mit einer mittleren Anstiegsrate von 30 - 35 cm/Jahrhundert um 25 m auf das heutige Niveau. Es entwickelte sich die heutige Küstenlandschaft mit Barriere-Inseln, Watten und Marschen (Abb. 2.1).

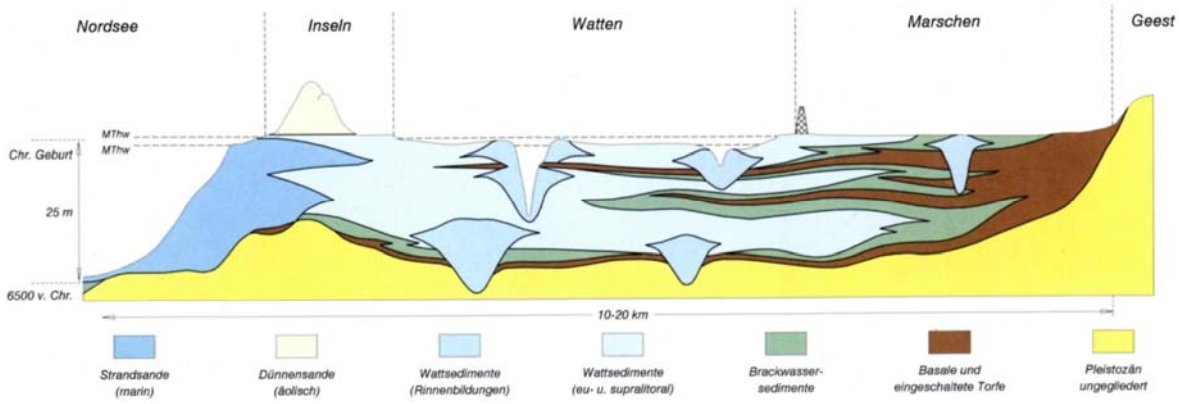


Abb. 2.1: Schematischer geologischer Schnitt von der Nordsee durch die Barriere-Inseln, Watten und Marschen bis zum Rand der Geest. Der interne Aufbau des holozänen Sedimentkörpers zeigt, dass dieser in mehreren transgressiven bzw. regressiven Phasen aufgebaut worden ist (aus STREIF, 1998)

Die hierbei aufgeschütteten Ablagerungen haben einen keilförmigen Querschnitt, wobei die Mächtigkeiten an der Außenseite ca. 35 m betragen und landseitig gegen die Geest auskeilen. Im Bereich der Inseln lagern auf diesem marinen Sockel stellenweise vom Wind aufgewehte Dünen, die 25 m Höhe erreichen. Im Bereich des Wattenmeers und der Marschen sind die holozänen Küstenablagerungen durchschnittlich 10 - 12 m mächtig (STREIF, 2003, 2004).

Die Wechsellagerung von marinen, brackischen und terrestrischen Bildungen (Torfe) ist auf den Wechsel transgressiver und regressiver Phasen des Meeresspiegels bzw. Phasen transgressiver und regressiver Küstenentwicklung zurückzuführen, die kennzeichnend für die letzten 6.500 Jahre des Küstenholozän sind. Seit dieser Zeit verlangsamt sich der holozäne Meeresspiegelanstieg und die oben beschriebenen zyklischen Wechsel von Phasen mit beschleunigtem und verlangsamtem Anstieg bestimmen das Sedimentationsgeschehen (STREIF, 2003, 2004).

2.2.1. Entstehung und Entwicklung der Ostfriesischen Barriere-Inseln im Verlauf der holozänen Transgression

Die holozäne Transgression erreichte zwischen 8.000 - 7.500 J. v.h. das Gebiet, in dem sich die Ostfriesischen Inseln bildeten. Dies wird belegt durch ^{14}C-Datierungen von Schilfmaterial (in Brackwassersedimenten aus -24 m NN) im Inselvorfeld von Wangerooge (HANISCH, 1980). Demnach stellen die Inseln sehr junge geologische Gebilde dar, die sich erst in der Folgezeit bei weiter ansteigendem Meeresspiegel entwickeln konnten. Im rückseitigen Schutz der Inseln befindliche Watten wurden im Rhythmus der Gezeiten durch die schmalen Seegaten be- und entwässert. Durch den Rückfluss bei Ebbe bildeten sich vor den Inseln bogenförmige Ebbdeltas.

Laut STREIF (1990) zeigt sich, dass die Ostfriesischen Inseln einst Geestkerninseln waren und sich erst mit fortschreitendem Anstieg des Meeresspiegels im Verlauf der holozänen Transgression zu Barriere-Inseln entwickelt haben und heute meist keine Geestkerne mehr aufweisen. Zahlreiche Befunde weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass sich die Inseln in ihrer perlschnurartigen Anordnung deutlich in südliche Richtung verlagert haben. Vielfach treten fossile Wattsedimente, Kleibänke, Inselgroden und Salzwiesenhorizonte, allesamt Elemente der Rückseitenwatten, im seewärtigen Strandbereich der Inseln zu Tage und dokumentieren somit ein „Überwandern“ der Inseln über ihre eigenen Wattsedimente hinweg. Für die letzten 2.000 Jahre lassen sich südwärtige Verlagerungsbeträge von mehr als 100 m/Jahrhundert feststellen (BARCKHAUSEN, 1969; STREIF, 1990; FREUND & STREIF, 1999).

Weit weniger deutlich sind die Verlagerungen der Inseln in Ost-West-Richtung. Seismische Untersuchungen und Bohrdaten zeigen im Untergrund ein lebhaftes Relief der alten

Pleistozänoberfläche, das sich nur erhalten konnte, wenn eine stärkere Verlagerung der tiefgehend (NN -12 bis NN -35 m) abradierenden Seegaten in Ostwest-Richtung auszuschließen ist (STREIF, 1990).

2.2.2. Hypothesen zur Entstehung von Barriere-Inseln

Für die Entstehung des Barriereinsel-Systems der Ostfriesischen Inseln, die nicht wie die Westfriesischen Inseln einen Geestkern besitzen, wurden in der Vergangenheit verschiedene Hypothesen aufgestellt. Mit der Strandwall-Hypothese vertrat LÜDERS (1953) die Vorstellung, dass sich die Inseln aus einem früher vorhandenen, langgestreckten und nur durch einzelne Baljen unterbrochenen Strandwall entwickelt haben. Nach der von BARCKHAUSEN (1969) aufgestellten, heute allgemein anerkannten Platen-Hypothese gehen alle Inseln auf die Entwicklung von Platen zurück, die sich aus den Wechselwirkungen von Hydrodynamik und Wind bildeten und zunächst an alten, tieferliegenden Geestkernen aufgeworfen wurden (STREIF, 1990). Diese Platen wurden im Bereich der Brandungszone infolge stetiger Aufhöhung durch komplizierte Transport- und Ablagerungsformen des Küstensandes, bewirkt durch Tidenströme und Seegang, nur noch episodisch überflutet. Durch Auflandung weitgehend hochwasserfrei geworden, entwickelten sich im Schutz der Platen unter ruhigeren Bedingungen kleine Wattflächen. Aus trockenen Strandbereichen der seewärtigen Platenseiten konnte Sediment durch Wind mobilisiert und zu Embryonaldünen zusammengeweht werden. Pflanzliche Pionierbesiedler wie Strandhafer und Strandroggen banden den abgetrockneten und vom Wind verdrifteten Sand und führten nachfolgend zur Stabilisierung der Dünen. Im weiteren Verlauf der Transgression verlagerten sich die Düneninseln in südöstliche Richtung und überwanderten die in ihrem Schutz liegenden Rückseitenwatten. Die Befestigung der Westseiten der Inseln durch anthropogene Eingriffe wie z.B. Deichbau oder Begradigung der Küstenlinie bedingt ihre heutige langgestreckte Form.

2.3. Das Niedersächsische Wattenmeer

Das Niedersächsische Wattenmeer umfasst Watt- und Wasserflächen, Salzwiesen, Strände und Dünen vor den Deichen der niedersächsischen Nordseeküste bis zu einer Linie seeseits der Ostfriesischen Inseln bzw. der Platen und Sandbänke an der Wesermündung. Westlichster Punkt an der Küste ist die südliche Dollartspitze (Grenze zu den Niederlanden), östlichster die Kugelbake an der Wesermündung bei Cuxhaven. Die Gesamtfläche beträgt ca. 2.800 km^2 (KREMER et al., 2005).

2.3.1. Borkum

Mit einer Fläche von 32 km^2 ist Borkum (Abb. 2.2) die größte der Ostfriesischen Inseln vor der niedersächsischen Nordseeküste. Borkum besitzt mit seinem West- und Ostland zwei Inselkerne und wird aufgrund dieser morphologischen Gliederung auch als Doppelinsel bezeichnet (STREIF, 1990).

Urkunden erwähnen Borkum erstmalig um 1379. Die heutigen Siedlungskerne der Insel liegen im Schutze hufeisenförmiger, nach Südosten offener Dünengebiete (STREIF, 1990).

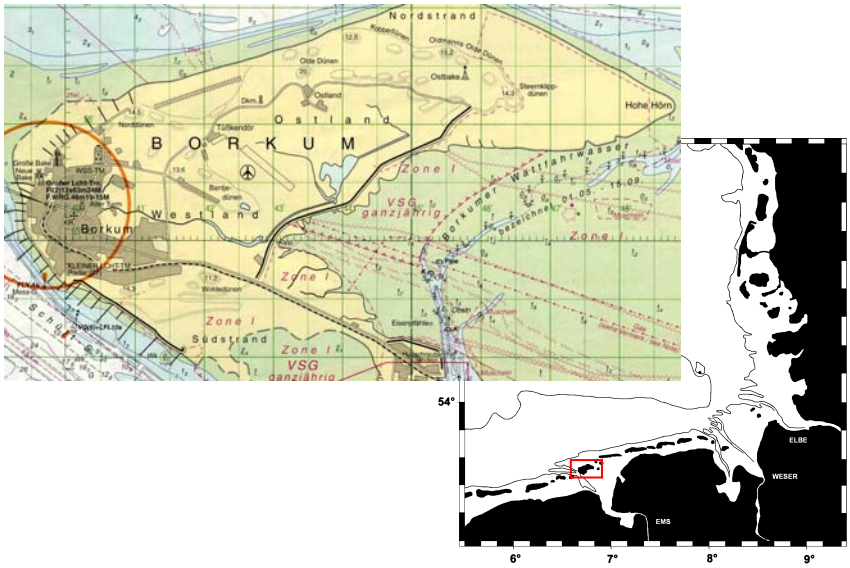


Abb. 2.2: Lage Borkums im Niedersächsischen Wattenmeer

Die holozäne Sedimentabfolge der Insel beginnt mit humosen Sanden und Basaltorfen, die vor allem unter dem Süd-Teil des Westlandes und unter dem Hafengebiet in Tiefen um NN -10 m verbreitet sind. Die darüber liegende Abfolge feinklastischer Holozänsedimente setzt mit einer dünnen Schicht brackischer Ablagerungen ein und geht nach oben rasch in mächtige Wattsedimente über (STREIF, 1990).

2.3.2. Die Kachelotplate

Die Kachelotplate (Abb. 2.3), westlich der Insel Juist gelegen, ist seit dem 17. Jahrhundert bekannt. In den letzten Jahrzehnten war ein deutliches Wachstum und eine Verlagerung in Richtung Memmert zu beobachten. In den vergangen fünf Jahren dehnte sich die Fläche von 164 auf 230 Hektar aus (WEHRMANN & TILCH, 2008). Grund für diese Entwicklung waren u.a. auch die vergleichsweise wenigen Sturmfluten der letzten Jahre, die eine Zunahme an Sediment begünstigten. In den höher gelegenen Bereichen siedelten sich erste Pionierpflanzen wie die Strandquecke *Elymus farctus* Viv. und der Strandroggen *Leymus arenarius* L. an. Zwischen 2000 und 2005 veränderte sich auch die Lage der Kachelotplate deutlich. Die einst steile Nordwestseite der Plate verlagerte sich

um ca. 200 - 250 m nach Südosten in Richtung Memmert. Daraufhin entwickelten sich neue Platenbereiche im Süden und Südosten. Heute ist die Kachelotplate Liegeplatz der größten Kegelrobbenkolonie im Niedersächsischen Wattenmeer.

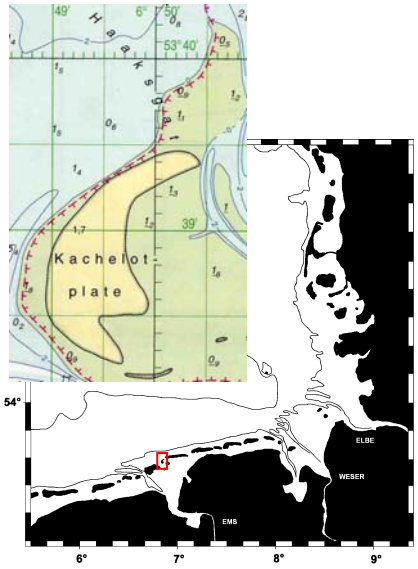


Abb. 2.3: Lage der Kachelotplate im Niedersächsischen Wattenmeer

2.3.2.1. Kachelotplate - Die Entwicklung einer neuen Insel?

Die Entwicklungsgeschichte älterer Düneninseln lässt sich nur über die Auswertung historischen Kartenmaterials, wenn vorhanden, und über eine Analyse sedimentärer Ablagerungen ansatzweise rekonstruieren. Damit fehlen in der Regel aufgrund des extrem geringen Erhaltungspotentials wesentliche Informationen zu den Vorgängen bei der Erstbesiedlung durch Flora und Fauna während des Embryonalstadiums dieses Inseltyps. Gerade Pionierpflanzen sind aber für die Stabilisierung der primär durch physikalische Vorgänge gebildeten ersten Dünen und die Weiterentwicklung zu einer Insel maßgeblich verantwortlich. Strandquecke bzw. -roggen (Kapitel 2.3.2.) zeichnen sich durch kriechende, weitläufige Wurzelausläufer aus und sind gut an hohen Sandtransport, Austrocknung und Salzwassergischt angepasst (POTT, 1999).

Während die phänotypische Entwicklung der Kachelotplate anhand von Luftbildern der letzten Jahre relativ gut nachvollziehbar ist, gibt es zur Besiedlung durch Flora und Fauna bislang nahezu keine Informationen. Ebenso fehlen Daten zu den Sedimentquellen, zu den Verfestigungsmechanismen der Dünensande, der Bildung einer Süßwasserlinse sowie zu den Quellen und Einträgen der für eine pflanzliche Besiedlung notwendigen Nährsalze.

Somit bietet die Kachelotplate die einmalige Gelegenheit, Vorgänge bei der Bildung von Barriereinseln exemplarisch und dokumentarisch zu untersuchen (WEHRMANN & TILCH, 2008). Vor dem Hintergrund eines langfristig ansteigenden Meeresspiegels und zunehmender Sturmfluthäufigkeiten gewinnen Prognosen zur zukünftigen Entwicklung

des Wattenmeeres als natürlicher Schutz der Küste an Bedeutung. Die Beobachtung der weiteren Entwicklung der Kachelotplate kann wesentlich zum Verständnis der geomorphologischen Vorgänge im Wattenmeer beitragen. Sie hat zudem neben der ökologischen Bedeutung im Rahmen des Nationalparks Wattenmeer auch unmittelbare Auswirkungen auf die Entwicklung der benachbarten Nordseeinseln Juist, Memmert und Borkum. Die Einbeziehung der Küste vorgelagerter Inseln, des Wattenmeerbereiches zwischen den Inseln und des Küstenstreifens in die Untersuchungen kann zu Erkenntnissen führen, die in direkter Folge auch dem Küstenschutz dienen.

2.3.3. Langeoog

Langeoog (Abb. 2.4) ist mit einer Fläche von 20,4 km^2 die drittgrößte der Ostfriesischen Inseln. Nachbarinseln sind Spiekeroog im Osten und Baltrum im Westen. Morphologisch betrachtet lassen sich fünf Inselabschnitte unterscheiden (STREIF, 1990).

Um 1398 wird Langeoog erstmalig urkundlich erwähnt. Die heutige Ortschaft liegt im Schutz von Dünen im Westteil der Insel (STREIF, 1990).

Über dem bewegten Basisrelief in NN -10 m ruhen unterschiedliche Holozänablagerungen. Das Holozän beginnt mit einem 0,4 m dicken holzführenden Basaltorf, geht in eine ca. 4,5 m mächtige durchwachsene Tonbank und eine 0,5 m dicke Lage humoser Brackwassersedimente über. Nach oben folgen kalkhaltiger Ton sowie mächtige, kalkhaltige und molluskenführende Sande (STREIF, 1990).

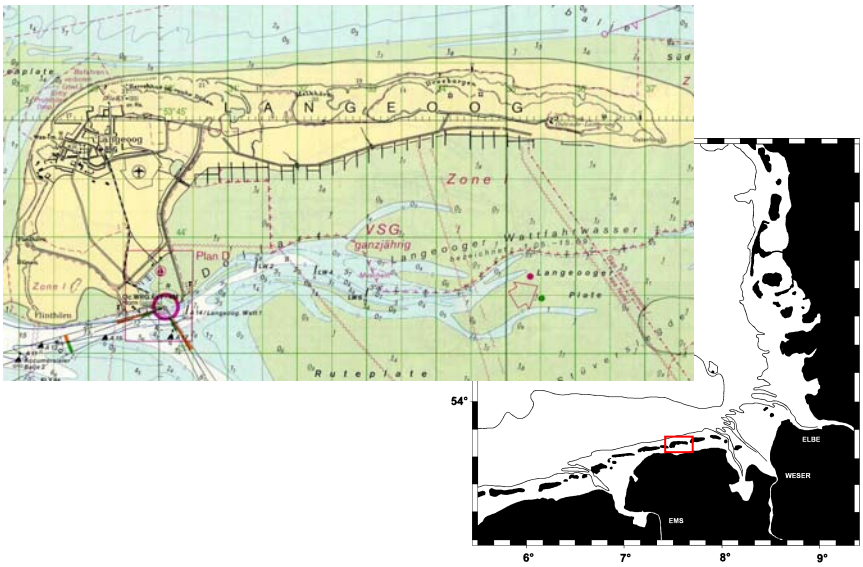


Abb. 2.4: Lage Langeoogs im Niedersächsischen Wattenmeer

2.3.4. Das Rückseitenwatt von Spiekeroog

Das Rückseitenwatt hinter der Ostfriesischen Insel Spiekeroog (Abb. 2.5) umfasst, gemessen am mittleren Tidehochwasser (MThw), eine Fläche von 73,5 km^2. Eine Reihe größerer Priele mit Ost-West-Ausrichtung, im Wesentlichen die Alte Harle und das Harlesieler Wattfahrwasser, unterteilen den im Durchschnitt 6,5 km breiten Wattenbereich ausgehend von der Otzumer Balje, dem zentralen Einstromkanal des Tidenwassers, in ein System eulitoraler Platten, u.a. die Swinnplate, die Gröninger Plate, der Neuharlingersieler Nacken und der Janssand (FLEMMING & DAVIS JR., 1994).

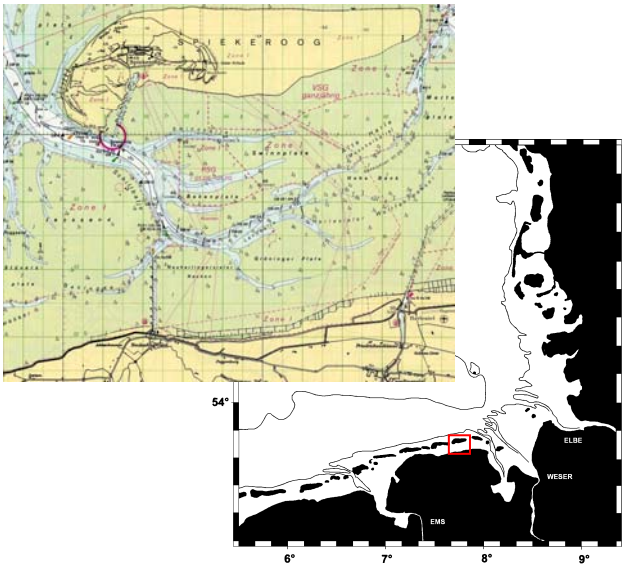


Abb. 2.5: Lage des Spiekerooger Rückseitenwatts im Niedersächsischen Wattenmeer

Die Swinnplate geht aus dem nördlichen Teilbereich des Wattwasserscheidenrückens hervor und erstreckt sich nach Westen bis nahe an die Spiekerooger Hafenfahrrinne. Einige exponierte Wattkanten und die Westspitze der Swinnplate sind stark umlagernde Sandkörper. Im Westen spaltet sich die Swinnplate in zwei Teilplaten, getrennt durch einen Priel mit weit ausschwingenden Mäandern. Die Gleithänge dieser Mäander sind stark umlagernde Sandkörper (HERTWECK, 1995).

Die Lage zweier stark umlagernder Sandkörper im äußersten Randbereich der Gröninger Plate, verglichen mit anderen Platen des Spiekerooger Rückseitenwatts, zeigt einen asymmetrischen Aufbau der Plate, der mit den Strömungs- und Erosionsverhältnissen in diesem Bereich zusammenhängt. Auf der Südseite liegt der eine dieser Sandkörper unmittelbar südlich des Westendes der Plate, auf der Nordseite ragt der andere Sandkörper als 400 m langer Sporn in die Landbalje hinein (HERTWECK, 1995).

Der Neuharlingersieler Nacken ragt als exponierte Fortsetzung des festlandnahen Südwattes in das Rinnensystem der Otzumer Balje hinein. Die Nordost-Ecke der Plate ist als Sandkörper mit starker Umlagerung ausgebildet. Durch einen tiefen, nach Nordwesten

entwässernden Priel ist der Neuharlingersieler Nacken in zwei Teilbereiche gegliedert (HERTWECK, 1995).

Als breiter Wattrücken liegt der Janssand zwischen den eigentlichen Rückseitenwatten von Langeoog und Spiekeroog und reicht von der Bakledge im Süden bis an den Ausgang der Otzumer Balje im Norden. Am Westrand der Plate bilden lokale Priele mehrere kleine Ebbstromdeltas und andere selbständige Sandkörper mit starker Umlagerung. In der Bakledge im Süden treten anstehender Torf und Klei zutage. Das zeigt, dass der Janssand im Kern von einem alten, beständigen Geestrücken gebildet wird (HERTWECK, 1995).

2.3.5. Mellum

Mellum (Abb. 2.6) ist eine unbewohnte Ostfriesische Insel, die südöstlich von Wangerooge im Mündungsgebiet der Flüsse Jade und Weser liegt. Erst Ende des letzten Jahrhunderts entstanden, beträgt die heutige Fläche der sichelförmigen Sandplate ca. 4,5 km^2 (STREIF, 1990).

Die Insel Mellum stellt in gewisser Hinsicht einen Sonderfall innerhalb der Inseln vor der deutschen Küste dar. So sind die meisten Nordfriesischen Inseln Überreste durch Sturmfluten zerstörten Festlandes, während die Ostfriesischen Inseln vorwiegend durch Hydrodynamik und Wind aufgebaut wurden. Mellum dagegen ist vom Zusammenspiel der Kräfte im Mündungsgebiet von Jade und Weser beeinflusst, ein Knotenpunkt im Kräftefeld von Bucht und Ästuar (WUNDERLICH, 1979).

Die Entdeckung der Insel im Jahr 1903 durch W. O. Focke, H. Schütte und K. Sartorius ist zugleich die Geburtsstunde des Naturschutzes auf Mellum (FOCKE et al., 1906). Seit 1925 betreut der Mellumrat e.V. die Insel und sorgt für eine kontinuierliche Naturschutzarbeit.

Während des 2. Weltkrieges erfolgte der einzige anthropogene Eingriff in die natürliche Entwicklung der Insel, auf der Südhälfte wurde durch Sandaufspülung ein Ringdeich errichtet. Noch heute zeugen Bunkerruinen und zahlreiche Betonfundamente davon, dass sich hier einst eine Flakbatterie befand.

Heute steht die gesamte Insel und die sie umgebenden Platen und Wattflächen als Ruhezone des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer unter besonders strengem Schutz. Mellum dient im Sommer als Brutgebiet für viele Vogelarten. Zu Zeiten des Vogelzugs nutzten viele Wattvögel die Insel zur Nahrungssuche (BLASZYK, 1987).

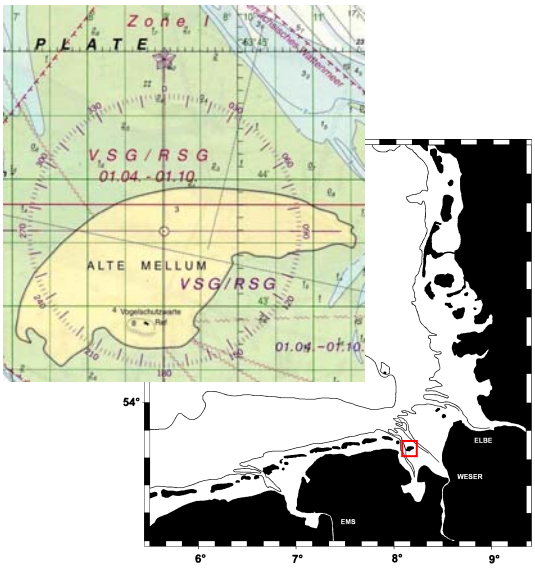


Abb. 2.6: Lage von Mellum im Niedersächsischen Wattenmeer

Über dem Pleistozän setzt die marin-litorale Sedimentabfolge des Holozän zunächst mit relativ groben Sanden ein, in die Steine, Muschelschill, Holz- und Torfgerölle eingelagert sind. Die Oberfläche dieser Schichten schwankt zwischen 8 und 13 m unter NN (STREIF, 1987).

2.4. Das Schleswig-Holsteinische Wattenmeer

Das Schleswig-Holsteinische Wattenmeer umfasst Watt- und Wasserflächen, Salzwiesen, Strände und Dünen vor der den Deichen der Küste Schleswig-Holsteins bis zu einer Linie seeseits der Westfriesischen Inseln. Südlichster Punkt ist die Elbmündung, nördlichster die dänische Grenze. Die Gesamtfläche beträgt ca. 4.410 km^2 (KREMER et al., 2005).

2.4.1. Hallig Hooge

Hallig Hooge (Abb. 2.7) ist mit einer Fläche von 5,78 km^2 die zweitgrößte Hallig im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. Nachbarinseln sind Langeneß im Norden und Pellworm im Südosten (MÜLLER, 1917).

Abb. 2.7: Lage Hallig Hooges im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer

2.4.1.1. Entstehung der Hallig Hooge

Hallig Hooge entstand vermutlich nach 1.300 n.Chr. durch eine Verlandung von Wattflächen auf untergegangenem Marschland. Es handelt sich um eine Geestkerninsel, bei der sich um einen morphologisch über die Wattoberfläche aufragenden Kern aus Pleistozän- oder Tertiärmaterial herum holozäne Küstensedimente anlagerten (MÜLLER, 1917; STREIF, 1990).

Mit dem Anstieg des Meeresspiegels am Ende der Eiszeit wurde das Gebiet des heutigen Nordfrieslands bis zur Geestlinie zwischen Leck, Niebüll, Bredstedt und Husum überflutet. Sedimentablagerungen im Küstenbereich gingen mit dem Ansteigen des Meeresspiegels einher. Um ca. 2.000 v.Chr. stagnierte der Anstieg. Es entstand eine Küstenlinie von Sylt über Amrum nach St. Peter-Ording. Die Marschbildung setzte ein. Durch den Einfluss von Schmelzwasser, das aus dem Binnenland kam und sich in den Senken

sammelte, entstanden Moorlandschaften und Bruchwälder. Von der Geest aus besiedelten die Friesen um 1.000 n.Chr. diese Gebiete. Ihre Eindeichungen und Trockenlegungen und vor allem ihr intensiver Torfabbau zur Salzgewinnung führte zum Absinken der Gebiete mit der Folge, dass die Nordsee erneut in das verflachte Land eindringen konnte. Auf zurück gebliebenen Torfschichten konnte sich Schlick ablagern und es bildete sich die heutige Gestalt der Inseln und Halligen, ein im Watt liegender Erosionsrest ehemaliger Marschen, von Prielen durchzogen und mit Salzwiesen bedeckt (MÜLLER, 1917).

Zwei große Sturmfluten veränderten das Erscheinungsbild der südlichen Nordsee, insbesondere Hallig Hooges. Die zweite Marcellusflut vom 16. Januar 1362 soll nach zeitgenössischen Angaben 100.000 Menschenleben gefordert haben. Bei der zweiten Manndränke vom 11. Oktober 1634 sollen über 13.000 Menschen umgekommen sein. Neben diesen beiden Sturmfluten gab es unzählige weitere. Um sich damals gegen die Sturmfluten zu wehren, begannen die Bewohner für ihre Häuser Erdhügel aufzuwerfen, sogenannte Warften. Bis heute werden die Warften - den Gegebenheiten der Natur folgend - laufend erhöht. Ein die Hallig umgebender 1914 errichteter Überflutungsdeich schützt vor häufigen Überflutungen. Nach wie vor wird das Land jenseits der Warften dessen ungeachtet mehrmals im Jahr vom Meer überflutet. Es kommt zur Sedimentation von mitgeführtem Material, so dass die Hallig ständig wächst. Durch Abtragung an der Westseite und Auflandung an der Ostseite wandert die Hallig immer weiter nach Osten (MÜLLER, 1917).

3. Material und Methoden

3.1. Die zu datierenden Spezies

3.1.1. Die Herzmuschel (*Cerastoderma edule* L.)

Die runde kräftige Schale der Herzmuschel (Abb. 3.1) geht von weiß bis schmutziggelb an der Spitze bis zu verschiedenen Brauntönen an der hinteren Hälfte über und ist mit etwa 25 teilweise beschuppten Radiärrippen gemustert. Sie besitzt ein kräftiges Schloss. An der Außenseite findet sich ein gezähnter Rand. Die Innenseite ist glatt, die Radiärstruktur befindet sich nur am Schalenrand.

Abb. 3.1: *C. edule* L.

Herzmuscheln leben endobenthonisch nicht tiefer als 1 - 2 cm tief in Sand- und Grobsandböden im Gezeitenbereich (GOSLING, 2003).

Die Herzmuschel kann bis zu 5 cm lang werden und ein Alter von bis zu 10 Jahren erreichen (ORTEN, 1926), im Watt erreicht sie ein Alter von 3 - 4 Jahren (SEED & BROWN, 1978).

3.1.2. Die Sandklaffmuschel *(Mya arenaria* L.)

Die normalerweise weiße Sandklaffmuschel (Abb. 3.2) ist häufig durch die umgebenden Sedimente verfärbt. Die große ovale Schale ist kräftig, am Hinterende spitz zulaufend und weit klaffend, wobei die linke Klappe ein wenig kleiner als die rechte ist. Unterhalb des Wirbels ist ein großer löffelartiger Fortsatz. In der Innenseite der Schale befindet sich eine tiefe Mantelbucht. An der Außenseite lassen sich deutliche konzentrische Ringe erkennen.

Abb. 3.2: *M. arenaria* L.

Bei Muscheln, welche ihre Schale durch randliche Anlagerung neuer Substanz vergrößern, bleiben Variationen in der Wachstumsrate erhalten und resultieren in der Bildung von Anwachslinien. Ausgeprägte, periodische Wachstumsringe sind offensichtlich an ein deutlich saisonales Klima gebunden. Feinere Anwachslinien hingegen stammen von einem verlangsamten Wachstum oder einem Wachstumsstopp während der kalten Wintermonate. Die wichtigste Anwendung von Anwachslinien und Wachstumsringen ist die Bestimmung des Alters (KENNEDY et al., 1969; GOSLING, 2003).

Nach BROUSSEAU (1978) können Sandklaffmuscheln im ersten Jahr bis zu einer Größe von 30 - 35 mm heranwachsen, nach 7 Jahren können sie eine Länge von bis zu 80 - 85 mm erreichen.

Mit Hilfe der „von Bertalanffy"-Gleichung, die eine Beziehung zwischen Alter und Schalenlänge darstellt (VON BERTALANFFY, 1934), schätze BROUSSEAU (1979) das Größenwachstum von Sandklaffmuscheln ab. Ein Jahr alte Schalen wiesen hierbei bis zu 35 Wachstumsringe auf, 13 Jahre alte Schalen bis zu 80 Ringe.

Sandklaffmuscheln leben endobenthonisch bis über 20 - 25 cm tief eingegraben in Sand- und Schlickböden der Gezeitenzone. Einmal hochkant im Sediment eingegraben, verändert die Sandklaffmuschel nie mehr ihren Standort (KÜHL, 1951; GOSLING, 2003).

Die Sandklaffmuschel kann bis zu 15 cm lang werden und ein Alter von bis zu 28 Jahren erreichen (KENNEDY et al., 1969; MACDONALD & THOMAS, 1980; STRASSER et al., 1999).

3.1.3. Die Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.)

Die Miesmuschel (Abb. 3.3) kann durch ihre charakteristische dunkelbraune bis blaugraue Färbung der kräftigen Schalenklappen mit zugespitzter Vorder- und verbreiteter, abgerundeter Hinterseite leicht von anderen Muscheln unterschieden werden. Die Innenseite der Schale ist weiß mit bläulich dunklem Rand, die konzentrisch skulpturierte Außenseite ist bis auf ganz feine Wachstumsringe vorwiegend glatt.

Abb. 3.3: *M. edulis* L.

Miesmuscheln leben hauptsächlich auf Sand- und Hartböden im küstennahen, dem im Gezeitenrhythmus trockenfallenden Teil des Wattenmeers. Im Gegensatz zu vielen ande-

ren Muscheln lebt die Miesmuschel epibenthonisch und gräbt sich nicht ein. Bisweilen verankern sich unzählige Miesmuscheln miteinander zu so genannten Miesmuschelbänken, um sich vor Verdriftung durch die Strömung und dem Einsinken zu schützen. Zusätzlich besiedeln sie, mit Byssusfäden festgehaftet, oft in sehr großen Massen Hartsubstrate wie Steine, Felsen und Pfähle an Hafenanlagen (RENNER, 1984).

Die Miesmuschel kann bis zu 10 cm lang werden und ein Alter von bis zu 12 Jahren erreichen (KAUTSKY, 1982), im Watt erreicht sie ein Alter von ~7 Jahren (BUSCHBAUM & SAIER, 2001; MUNCH-PETERSEN & KRISTENSEN, 2001).

3.1.4. Die Pfeffermuschel (*Scrobicularia plana* L.)

Die weiß bis dunkelgraue Schale der Pfeffermuschel (Abb. 3.4) ist zerbrechlich, oval und flach. Der Wirbel befindet sich etwa in der Mitte. Die Außenseite der Schale ist konzentrisch gestreift.

Abb. 3.4: *S. plana* L.

Pfeffermuscheln leben endobenthonisch in Schlick- und Sandböden der Gezeitenzone. In etwa 15 cm Tiefe sitzt die Pfeffermuschel senkrecht im Boden (GOSLING, 2003).

Die Pfeffermuschel kann bis zu 6 cm lang werden und ein Alter von 6 Jahren erreichen (SOLA, 1997).

3.2. Aufbau von Muschelschalen

Innerhalb der Klasse der Bivalvia gehören *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. zum Stamm der Mollusken (CZIHAK et al., 1990).

Die Molluskenschale ist in Schichten aufgebaut (Abb. 3.5). Unter dem Periostracum liegen Schichten aus $CaCO_3$ und organischer Substanz. Das Periostracum wird von einer Drüsenzone des Mantelrands ausgeschieden, die mineralische Substanz vom gesamten Mantel. Innerhalb der Schale können verschiedene Schichten unterschiedlicher Substanz auftreten, die häufiger aus Aragonit als aus Calcit bestehen. Aragonit bildet verschiedene Strukturen, z.B. die sogenannte Kreuzlamelle oder Perlmutt, aus (CLARK II, 1999).

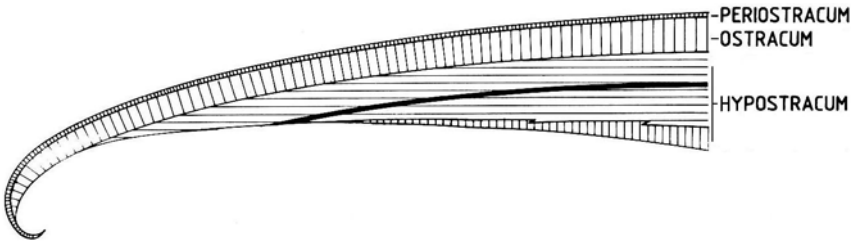


Abb. 3.5: Idealisierter Querschnitt durch eine Muschelschale (aus LOWENSTAM & WEINER, 1989)

Der Aufbau der Schalen von *C. edule* L., *M. arenaria* L. und *S. plana* L. kann durch seine Kreuzlamellen-Struktur leicht vom Aufbau der Schale von *M. edulis* L. unterschieden werden, die nach der Perlmutt-Struktur aufgebaut ist. Die Kreuzlamellen-Struktur besteht aus miteinander verkeilten Kristallen. Die Perlmutt-Struktur hingegen bildet sich aus plättchenförmigen Kristallen, zwischen denen die organische Matrix eingelagert ist (CLARK II, 1999).

3.3. Probenahme der jungen Muscheln, Sedimentkerne, Aufschlüsse etc. und Standorte der Proben

Die Probenahme der jungen Miesmuscheln (alle aus dem Jahr 2004) für die Heizexperimente an der „NWO-Brücke“ erfolgte im Rahmen des Vorhabens „Nachhaltige Miesmuschelzucht im Niedersächsischen Wattenmeer durch die Besiedlung natürlicher und künstlicher Substrate“ (WALTER & LIEBEZEIT, 2001) am 07. Juni 2004. Der Standort „NWO-Brücke“ ist subaquatisch und die Muschelpopulationen, die sich an künstlich ausgebrachten Substraten, den Langleinen, ansiedeln, sind damit dauerhaft wasserbedeckt.

Am 17. Januar 2005 erfolgte im Watt vor Crildumersiel die Probenahme der Herzmuscheln (Abb. 3.6) für die Heizexperimente. Am selben Standort wurden am 20. Juli 2005 Sandklaff- und Pfeffermuscheln (Abb. 3.7) für die Heizexperimente entnommen.

Abb. 3.6 und Abb. 3.7: Herzmuscheln (links) und Sandklaffmuscheln (rechts)

Das Schalenmaterial älterer Muscheln für die Altersbestimmung, das in dieser Arbeit untersucht wurde, entstammt sechs verschiedenen Standorten. Davon befinden sich fünf im Niedersächsischen und einer im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer.

Am 01. April 1998 fand eine Beprobung auf Borkum (Abb. 3.8) statt. Von PD Dr. H. Freund, ICBM - Terramare Wilhelmshaven, Leiter der AG Geoökologie, wurden einige darin enthaltene Muschelproben sowie die Ergebnisse einer dazugehörigen ^{14}C-Datierung zur Verfügung gestellt.

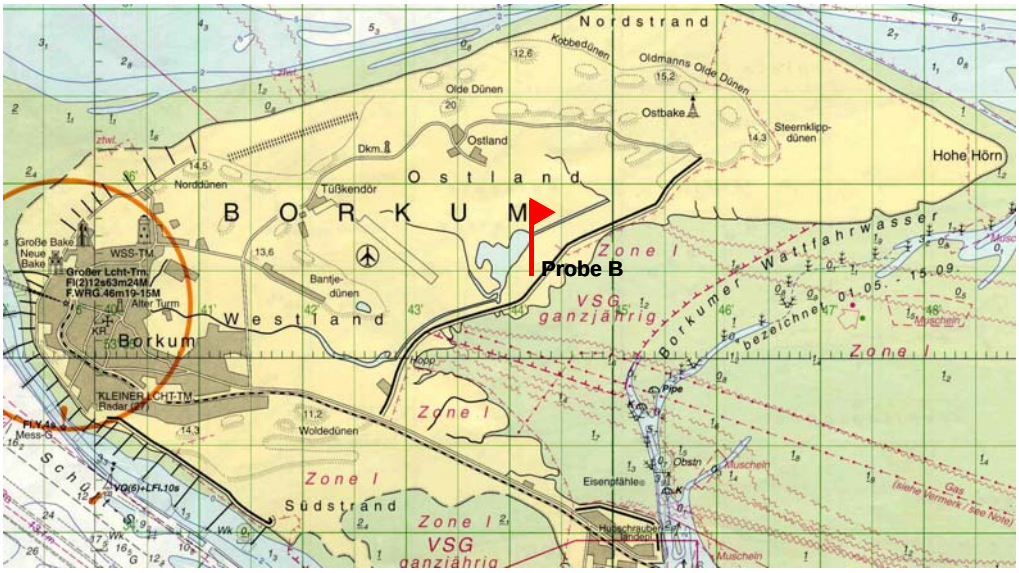


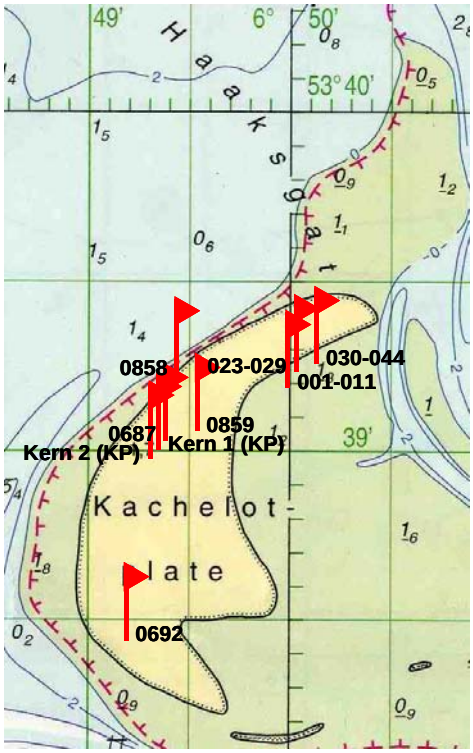
Abb. 3.8: Übersichtskarte von Borkum mit markiertem Standort der Probe

Im Zeitraum Mai bis November 2007 wurde die Beprobung der Kachelotplate (Abb. 3.13 - 3.14) durchgeführt. Die Proben 0687 (Abb. 3.9) und 0692 (Abb. 3.10) wurden am 23. Mai 2007 am Westrand der Plate zu Tage tretenden Schlickbänken entnommen.

Abb. 3.9 und Abb. 3.10: Schlickbänke der Probe 0687 mit doppelklappigen Schalen von *M. arenaria* L. (links) und 0692 mit doppelklappigen Schalen von *C. edule* L. und *M. edulis* L. (rechts)

Am 11. Juni 2007 wurden erneut Schlickbänke beprobt und die Proben 0858 (Abb. 3.11) und 0859 (Abb. 3.12) genommen. Die Kerne 1 (KP) und 2 (KP) wurden am 16. Juli 2007 erbohrt. Die Proben 001-011, 023-029 und 030-044 wurden am 05. November 2007 entnommen. Dr. Achim Wehrmann, Forschungsinstitut Senckenberg Wilhelmshaven, Leiter der AG Aktuopaläontologie, stellte alle darin enthaltenen Muschelproben zur Verfügung.

Abb. 3.11 und Abb. 3.12: Schlickbänke der Probe 0858 (links) und 0859 (rechts) mit jeweils Schalen von *M. arenaria* L. in Lebendstellung



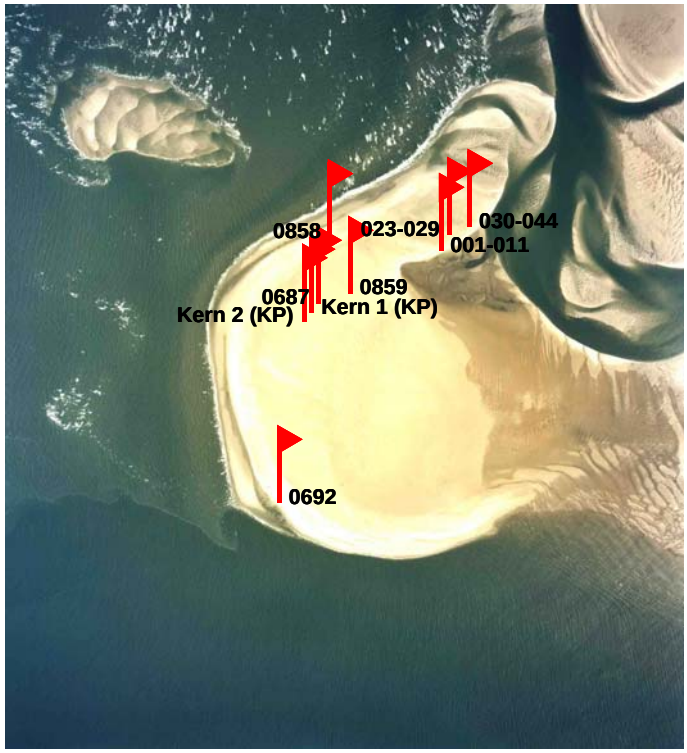


Abb. 3.13 und Abb. 3.14: Übersichtskarte der Kachelotplate mit markierten Standorten der Proben bzw. Sedimentproben (links) und Luftaufnahme der Kachelotplate (rechts)

Die Muschelproben der Stichwand von Langeoog (Abb. 3.15) wurden am 29. Juni 1972 von Dr. J. Barckhausen, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover, entnommen. Wiederum PD Dr. H. Freund stellte mehrere darin enthaltene Muschelproben sowie die Ergebnisse einer dazugehörigen ^{14}C-Datierung zur Verfügung.

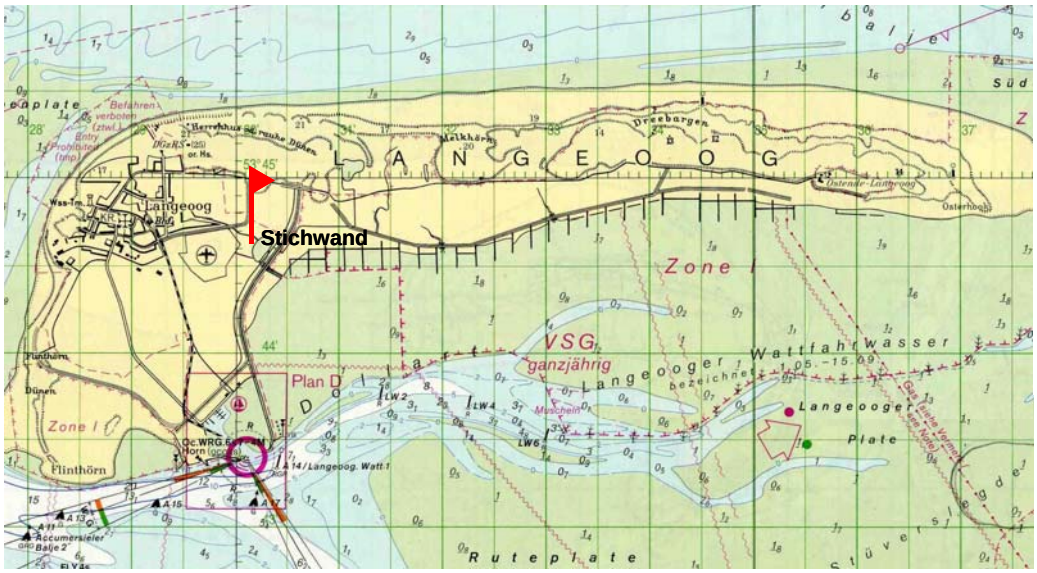


Abb. 3.15: Übersichtskarte von Langeoog mit markiertem Standort der Probe

Die Sedimentkerne aus dem Spiekerooger Rückseitenwatt (Abb. 3.18) wurden im Zeitraum Februar 2004 bis April 2007 entnommen.

Am Standort Gröninger Plate wurde am 25. Februar 2004 Kern 6 entnommen. Am selben Tag wurde am Standort Neuharlingersieler Nacken Kern 7 abgeteuft.

Abb. 3.16 und Abb. 3.17: Einholen eines Sedimentkernes auf der Swinnplate (links) und aufgeschnittener Kern 1 (rechts)

Am 12. Mai 2004 wurden am Standort Swinnplate die Kerne 1 und 2 erbohrt. Die Swinnplate wurde dazu bei ablaufendem Wasser mit dem Boot angefahren. Bei Niedrigwasser wurden mit Hilfe von Aluminiumrohren die Sedimentkerne in einem Abstand von etwa 150 m Entfernung gezogen (Abb. 3.16). Die Länge der Kerne war abhängig von der Festigkeit des Sediments. Durch zu großen Widerstand des Sediments in diesem Bereich konnten die Rohre nur wenige Meter ins Sediment gedrückt werden. Die zwei Kerne hatten Längen von etwa 2 m. Die Aluminiumrohre wurden anschließend der Länge nach aufgeschnitten und die Schichtung des Sediments photographisch dokumentiert (Abb. 3.17).

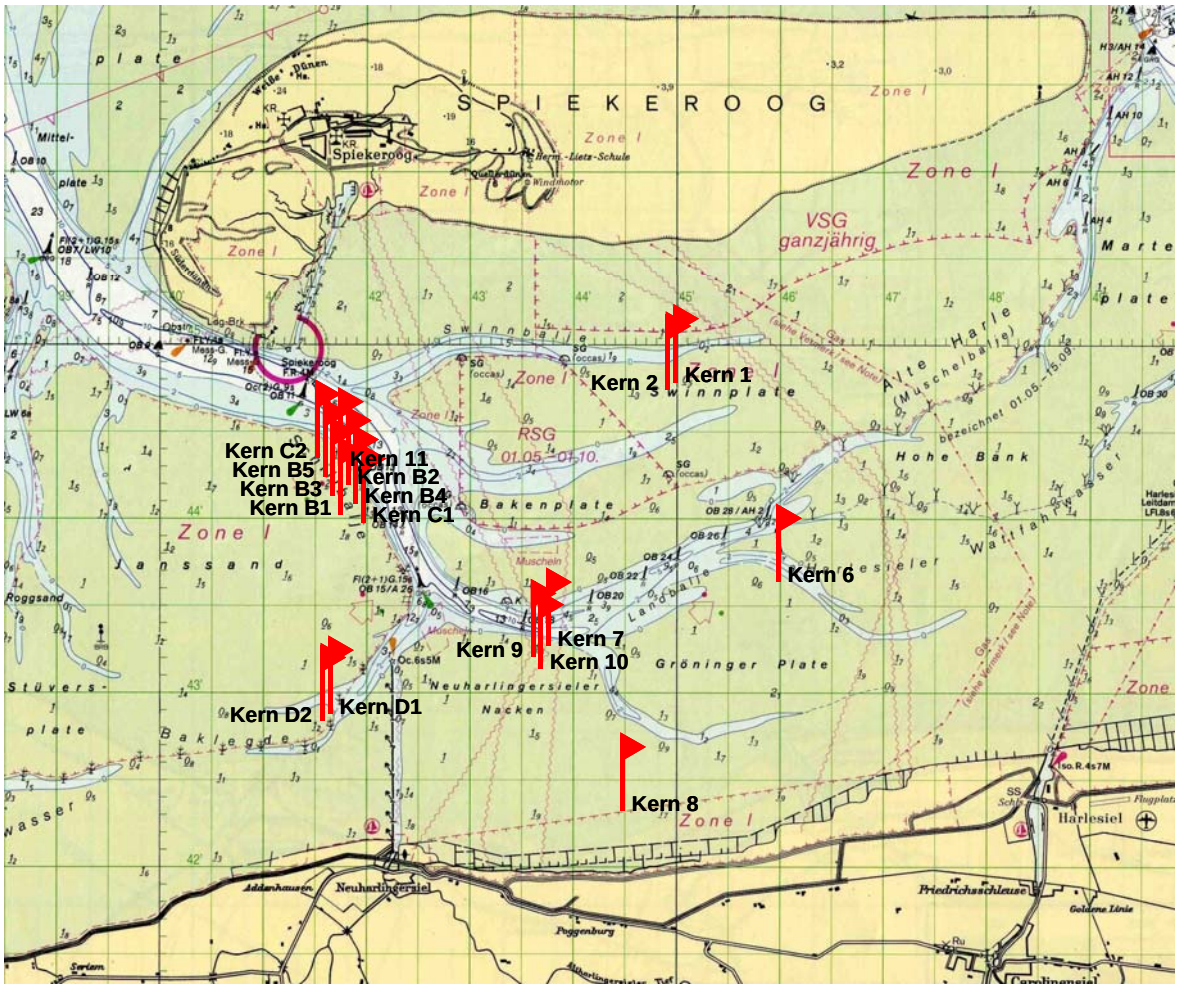


Abb. 3.18: Übersichtskarte des Spiekerooger Rückseitenwatts mit markierten Standorten der Sedimentproben

Der Standort Neuharlingersieler Nacken wurde noch drei weitere Male beprobt. Am 09. Juni 2004 wurde Kern 8, am 04. November 2004 Kern 9 und schließlich am 05. April 2005 Kern 10 entnommen.

Gleich zehnmal wurde eine Beprobung am Standort Janssand durchgeführt. Kern 11 wurde am 06. April 2005 abgeteuft. Die Kerne B1, B2, B3, B4 und B5 wurden am 04. Juli 2006 und die Kerne C1, C2, D1 und D2 am 24. April 2007 erbohrt.

Alle enthaltenen Muschelproben der Kerne 6 - 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2 wurden von Dr. J. Köster, ICBM - Terramare Oldenburg, AG Organische Geochemie, zur Verfügung gestellt.

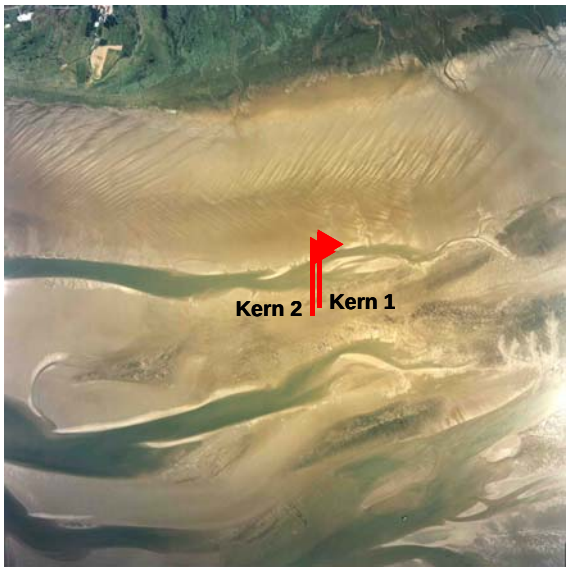


Abb. 3.19 und Abb. 3.20: Luftaufnahmen des Janssands (links) und der Swinnplate (rechts)

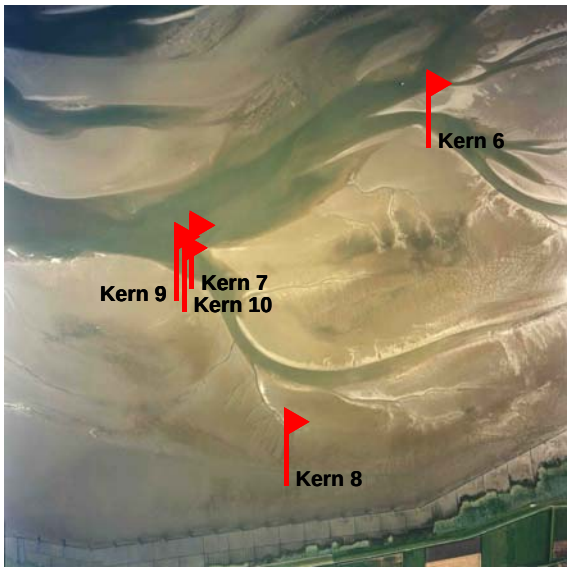


Abb. 3.21 und Abb. 3.22: Luftaufnahmen des Neuharlingersieler Nackens (links) und der Gröninger Plate (rechts)

Am 04. November 1997 wurden die Profile A u. B (Abb. 3.23) auf Mellum (Abb. 3.24) genommen. Auch hier stellte PD Dr. H. Freund diverse darin enthaltene Muschelproben sowie die Ergebnisse einer dazugehörigen ^{14}C-Datierung zur Verfügung.

Abb. 3.23: Subfossile Wattschichten am Ostende der Insel Mellum mit Schalen von *M. arenaria* L. in Lebendstellung

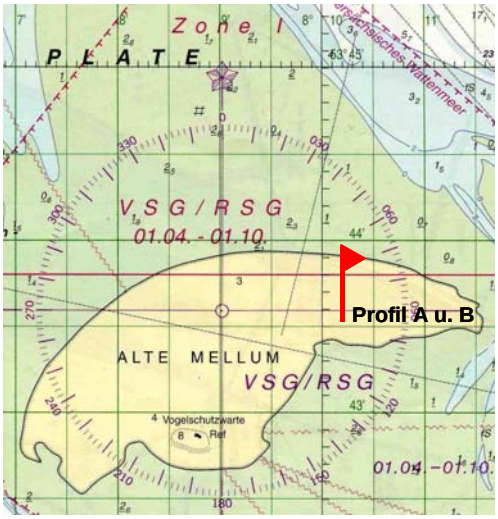


Abb. 3.24: Übersichtskarte von Mellum mit markiertem Standort der Probe

Die Beprobung von Hallig Hooge (Abb. 3.28) fand im Zeitraum Februar bis November 2006 statt. Am 23. Februar 2006 wurden die Aufschlüsse H06/DR01 (Abb. 3.25) und H06/KW03 (Abb. 3.26 - 3.27) beprobt.

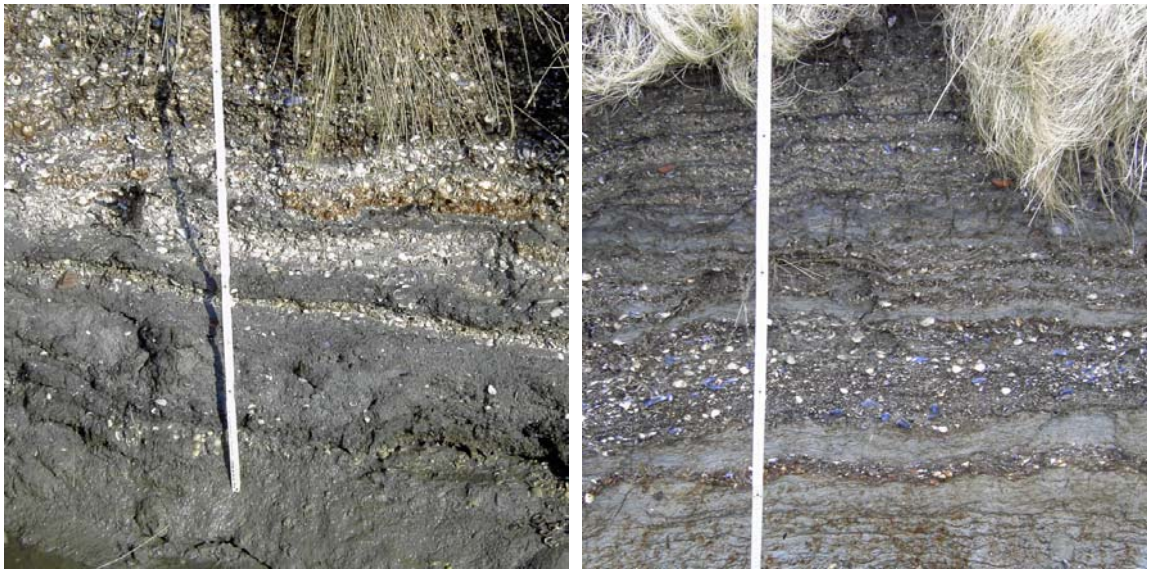


Abb. 3.25 und Abb. 3.26: Aufschlüsse H06/DR01 (links) und H06/KW03 (rechts)

Die Bohrungen Hoo-06-01 und Hoo-06-02 wurden am 21. November 2006 niedergebracht. Von Dr. Matthias Deicke, Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Abteilung Sedimentologie/Umweltgeologie, wurden alle darin enthaltenen Muschelproben zur Verfügung gestellt.

Abb. 3.27: Aufschluss H06/KW03 mit deutlich erkennbarer Sturmflutschichtung

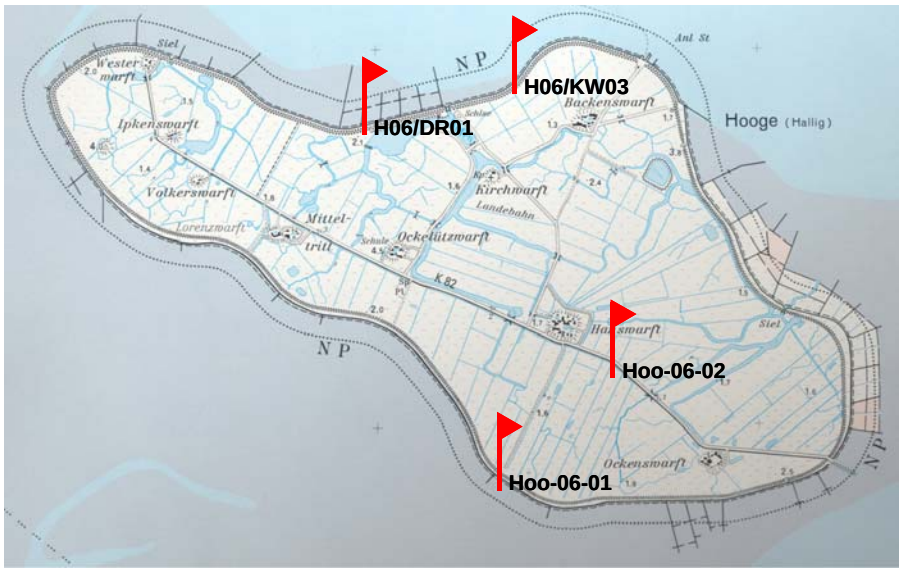


Abb. 3.28: Übersichtskarte von Hallig Hooge mit markierten Standorten der Aufschlüsse und Sedimentkernen

3.4. Bezeichnung der Proben

Die Bezeichnungen für die Proben enthalten Aussagen über die Art der Probe (z.B. Kern 1), den Standort (z.B. Swinnplate), das Datum der Probenahme (z.B. 12.05.2004) und das Tiefenintervall (z.B. 0-219 cm) bzw. die genaue Position des Standortes (z.B. 53°44´787 N und 07°44´965 E). Die Tiefenangaben beziehen sich auf die Geländeoberfläche (cm unter Gelände), da die Höhe der Oberfläche nicht eingemessen wurde. Zur Vereinfachung wurden den Proben in dieser Arbeit Kurzbezeichnungen zugewiesen, die im weiteren Verlauf verwendet werden. Die folgende Tabelle 3.1 enthält die ausführlichen Probenbezeichnungen und die verwendeten Abkürzungen.

Ausführliche Bezeichnung der Probe	Position		Kurz-bezeichnung
	Länge	Breite	
Probe B - Borkum, 01.04.1998, ~NN -50 - 30 cm	53°35´451 N	06°44´236 E	Probe B
Probe 0687 - Kachelotplate, 23.05.2007, Schlickbank	53°39´024 N	06°49´377 E	Probe 0687
Probe 0692 - Kachelotplate, 23.05.2007, Schlickbank	53°38´429 N	06°49´175 E	Probe 0692
Probe 0858 - Kachelotplate, 11.06.2007, Schlickbank	53°39´207 N	06°49´419 E	Probe 0858
Probe 0859 - Kachelotplate, 11.06.2007, Schlickbank	53°39´058 N	06°49´531 E	Probe 0859
Kern 1 (KP) - Kachelotplate, 16.07.2007, 0-103 cm	53°39´024 N	06°49´377 E	Kern 1 (KP)
Kern 2 (KP) - Kachelotplate, 16.07.2007, 0-107 cm	53°39´024 N	06°49´377 E	Kern 2 (KP)

Probe 001-011 - Kachelotplate, 05.11.2007, Kleibank	53°39´194 N	06°49´985 E	Probe 001-011
Probe 023-029 - Kachelotplate, 05.11.2007, Kleibank	53°39´213 N	06°50´066 E	Probe 023-029
Probe 030-044 - Kachelotplate, 05.11.2007, Kleibank	53°39´233 N	06°50´132 E	Probe 030-044
Stichwand - Langeoog, 29.06.1972, 0-370 cm	53°44´597 N	07°28´585 E	Stichwand
Kern 6 - Gröninger Plate, 25.02.2004, 0-546 cm	53°43´638 N	07°45´960 E	Kern 6
Kern 7 - Neuharlingersieler Nacken, 25.02.2004, 0-380 cm	53°43´270 N	07°43´718 E	Kern 7
Kern 1 - Swinnplate, 12.05.2004, 0-219 cm	53°44´787 N	07°44´965 E	Kern 1
Kern 2 - Swinnplate, 12.05.2004, 0-210 cm	53°44´787 N	07°44´965 E	Kern 2
Kern 8 - Neuharlingersieler Nacken, 09.06.2004, 0-520 cm	53°42´310 N	07°44´472 E	Kern 8
Kern 9 - Neuharlingersieler Nacken, 04.11.2004, 0-553 cm	53°43´205 N	07°43´691 E	Kern 9
Kern 10 - Neuharlingersieler Nacken, 05.04.2005, 0-376 cm	53°43´249 N	07°43´713 E	Kern 10
Kern 11 - Janssand, 06.04.2005, 0-349 cm	53°44´178 N	07°41´974 E	Kern 11
Kern B1 - Janssand, 04.07.2006, 0-400 cm	53°44´163 N	07°41´981 E	Kern B1
Kern B2 - Janssand, 04.07.2006, 0-474 cm	53°44´156 N	07°41´962 E	Kern B2
Kern B3 - Janssand, 04.07.2006, 0-437 cm	53°44´153 N	07°41´945 E	Kern B3
Kern B4 - Janssand, 04.07.2006, 0-400 cm	53°44´147 N	07°41´928 E	Kern B4
Kern B5 - Janssand, 04.07.2006, 0-367 cm	53°44´147 N	07°41´928 E	Kern B5
Kern C1 - Janssand, 24.04.2007, 0-553 cm	53°44´158 N	07°41´969 E	Kern C1
Kern C2 - Janssand, 24.04.2007, 0-594 cm	53°44´161 N	07°41´969 E	Kern C2
Kern D1 - Janssand, 24.04.2007, 0-297 cm	53°42´868 N	07°41´643 E	Kern D1
Kern D2 - Janssand, 24.04.2007, 0-414 cm	53°42´868 N	07°41´616 E	Kern D2
Profil A u. B - Mellum, 04.11.1997, 0-50 cm	53°43´535 N	08°10´208 E	Profil A u. B
Aufschluss H06/DR01 - Hallig Hooge, 23.02.2006, 0-87 cm	54°34´293 N	08°32´300 E	H06/DR01
Aufschluss H06/KW03 - Hallig Hooge, 23.02.2006, 0-101,5 cm	54°34´364 N	08°32´469 E	H06/KW03
Bohrung Hoo-06-01 - Hallig Hooge, 22.11.2006, 0-509 cm	54°34´366 N	08°32´487 E	Hoo-06-01
Bohrung Hoo-06-02 - Hallig Hooge, 22.11.2006, 0-450 cm	54°33´495 N	08°33´154 E	Hoo-06-02

Tab. 3.1: Ausführliche und verkürzte Probenbezeichnungen

3.5. Allgemeine Vorgehensweise

In Abbildung 3.29 sind die wesentlichen Arbeitsschritte in einem Fließschema dargestellt.

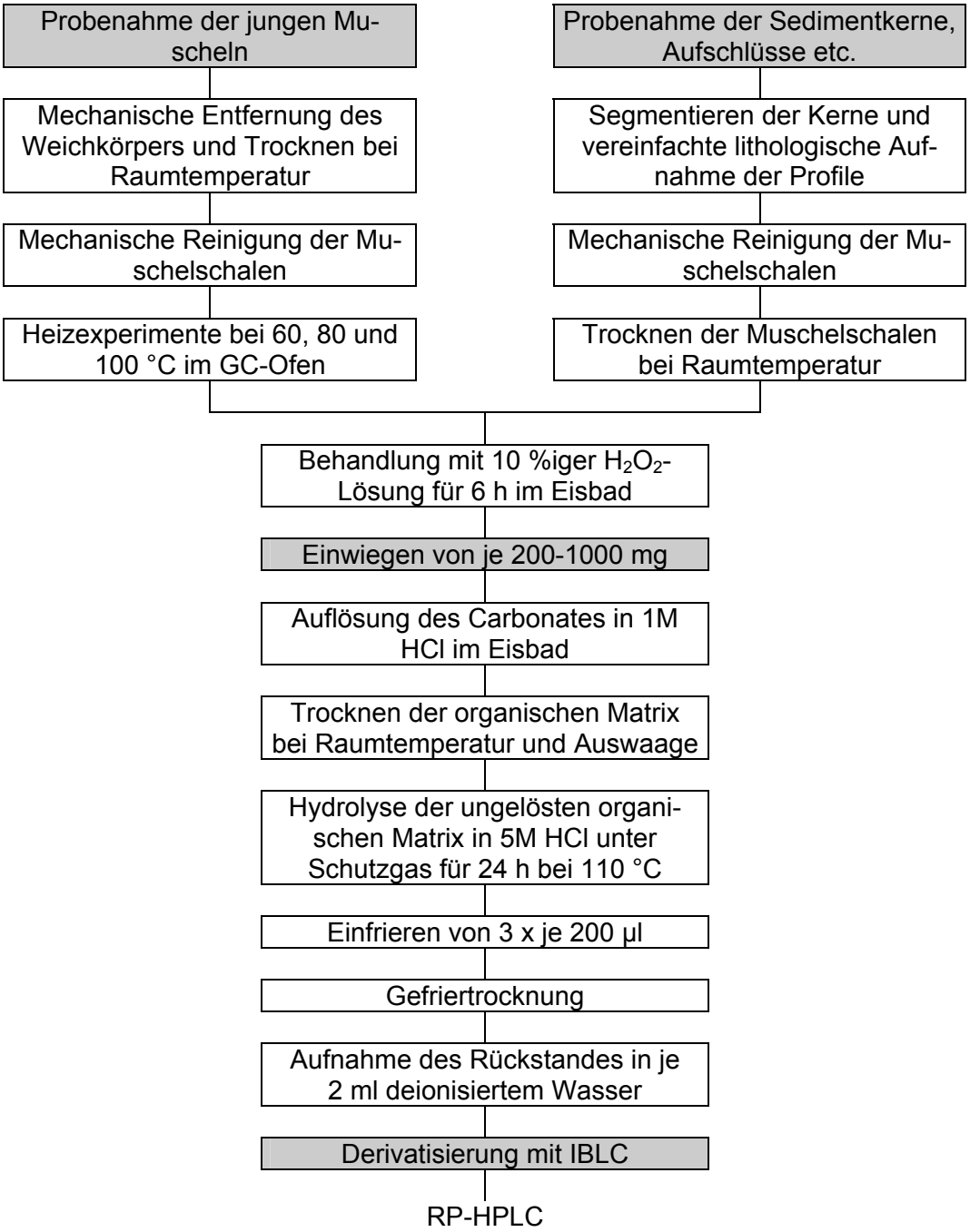


Abb. 3.29: Vereinfachtes Schema der Aufarbeitung

In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Arbeitsschritte genauer beschrieben.

3.5.1. Segmentieren der Kerne

Nach dem Segmentieren der Kerne erfolgte eine vereinfachte lithologische Aufnahme der Profile (Anhang 8.1.). Aus den Sedimentproben wurden die Schalen von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M edulis* L. und *S. plana* L. aussortiert.

3.5.2. Lagerung des Probenmaterials

Nach den Probenahmen wurden die jungen Muscheln für die Heizexperimente und das Schalenmaterial für die Altersbestimmung bis zum Beginn der Aufarbeitung bei -18 °C aufbewahrt.

3.6. Allgemeine Probenvorbereitung

3.6.1. Vorbehandlung der Gefäße

In der Aminosäurenanalytik stellt die Vermeidung von Kontamination eines der größten Probleme dar. Bei sehr empfindlichen Analysenmethoden ist der Mensch selbst meistens der Hauptverursacher, daher müssen während der Analytik stets Handschuhe getragen werden. Für die Aufbewahrung und Bearbeitung der Proben, Hydrolysate und Standards werden ausschließlich Glasgefäße benutzt, die zuvor bei 450 °C ausgeglüht wurden. Ansonsten werden alle verwendeten Gefäße mit verdünnter Salzsäure gespült. Um einen zusätzlichen unerwünschten Eintrag aus der Luft zu vermeiden, werden die Gefäße bis zu ihrer Verwendung mit Aluminiumfolie abgedeckt (HEARTY et al., 1992; NYBERG et al., 2001).

3.7. Probenaufarbeitung

3.7.1. Vorbereitung der jungen Muschelschalen für die Heizexperimente

Nach mechanischer Entfernung des Weichkörpers mit einem Skalpell werden die Muschelschalen bei Raumtemperatur getrocknet. Die Klappen werden gründlich mechanisch mit einer Messingdrahtbürste gereinigt.

3.7.2. Durchführung der Heizexperimente

Die Racemisierung der L-Aminosäuren in die D-Form kann im Laborexperiment durch Temperaturerhöhung beschleunigt werden. Die Heizexperimente dienen der Aufklärung der Kinetik, vor allem aber der Bestimmung der Aktivierungsenergie der Racemisierungsreaktion.

Dazu wurden die jungen *C*. *edule* L.-, *M*. *arenaria* L.-, *M*. *edulis* L.- und *S*. *plana* L.-Klappen, wie unter Kapitel 3.7.1. beschrieben, gereinigt. Anschließend werden einzelne Klappen in jeweils ein 25 ml Becherglas gegeben.

Für die Heizexperimente ist absolute Temperaturkonstanz erforderlich. Sie werden in einem ausgedienten GC-Ofen (5890 Series II Gas Chromatograph, HEWLETT PACKARD) durchgeführt. Ein kalibrierter Temperaturfühler dient der externen Temperaturkontrolle.

Im jeweiligen Becherglas werden die einzelnen Klappen gleichzeitig in den vorgeheizten Ofenraum gestellt und in regelmäßigen Abständen bei 60 °C (12 bis 768 h), bei 80 °C (8 bis 192 h) und bei 100 °C (2 bis 96 h) entnommen (Tab. 3.2). Für jede angegebene Temperatur (60, 80 und 100 °C) wird das Heizexperiment jeweils drei Mal durchgeführt.

T [°C]	Zeit [h]												
	2	4	8	12	16	24	32	40	48	96	192	384	768
60				x		x			x	x	x	x	x
80			x		x	x	x	x	x	x	x		
100	x	x	x		x	x	x	x	x	x			

Tab. 3.2: Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C mit entsprechenden Zeitintervallen

Neben den temperaturbehandelten Klappen wird als Blindprobe jeweils eine unbehandelte Schale analysiert, um die chemisch induzierte Racemisierungsrate (z.B. bei der Hydrolyse) zu bestimmen. Diese Racemisierungsrate muss als Blindwert von allen Raten abgezogen werden, um die Netto-Racemisierungsrate zu erhalten.

3.7.3. Vorbehandlung des Schalenmaterials für die Altersbestimmung

Das aus den Sedimentkernen, Aufschlüssen etc. gewonnene Schalenmaterial wird vorsichtig mechanisch mit einer Messingdrahtbürste gereinigt und bei Raumtemperatur getrocknet.

3.7.4. Vorbereitung des Probenmaterials für die flüssigchromatographische Analyse von D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure

Vor der flüssigchromatographischen Analyse muss das Probenmaterial, sowohl die geheizten jungen Muscheln als auch das Schalenmaterial für die Altersbestimmung, umfangreichen Reinigungsschritten unterzogen werden, da die Kontaminationsgefahr sehr groß ist. Besonders Bryozoen und Balaniden inkl. Bodenplatte werden gründlich entfernt, da diese zu einer Beeinflussung der Ergebnisse bei der Bestimmung der Aminosäurenverhältnisse führen könnten.

3.7.5. Reinigung des Schalenmaterials

Nach durchgeführtem Heizexperiment werden die jungen Muschelklappen mit eiskaltem Lösungsmittel im Eisbad sechs Stunden mit 10 %iger Wasserstoffperoxid-Lösung behandelt. Ebenso wird mit dem Schalenmaterial für die Altersbestimmung verfahren. Danach werden die Muschelklappen bzw. das Schalenmaterial mit deionisiertem Wasser gespült und bei Raumtemperatur getrocknet. Eventuell noch verbliebene organische Reste werden mit der Messingdrahtbürste entfernt. Anschließend werden die Klappen zerbrochen und 200 mg (für *M. edulis* L.) und 1000 mg (für *C. edule* L., *M. arenaria* L. und *S. plana* L.) eingewogen. Es wird nach Möglichkeit jeweils der äußere Rand (Ventralrand) der Schale, soweit beim Schalenmaterial für die Altersbestimmung überhaupt noch vorhanden, genutzt. Nach dem Zerkleinern wird das gereinigte abgewogene Material jeweils in ein 10 ml-Becherglas überführt.

3.7.6. Hydrolyse des Carbonats

Im ersten Schritt wird das Schalenmaterial im 10 ml-Becherglas durch Zugabe von 2 ml 1M HCl entcarbonisiert. Blasenbildung ist zu beobachten, Kohlenstoffdioxid (CO_2) entweicht. Dieser Schritt nimmt etwas Zeit in Anspruch und ist abgeschlossen, wenn bei weiterer Säurezugabe keine Blasenbildung mehr entsteht. All dies geschieht im Eisbad, um eine reaktionsbedingte Racemisierung zu vermeiden.

Im zweiten Schritt wird die ungelöste organische Matrix in eine 10 ml-Spießampulle überführt. Es wird 1 ml 5M HCl hinzugegeben. Nach Austausch des Gasvolumens mit Stickstoff wird die Ampulle abgeschmolzen. Der Austausch des Gasvolumens über der Probe soll die Maillard-Reaktion vermeiden, bei der es zu unerwünschter Oxidation durch Reaktion von freien Aminosäuren mit reduzierenden Zuckern und anderen Carbonylverbindungen kommen kann. Anschließend wird 24 Stunden bei 110 °C im Trockenschrank hydrolysiert.

3.7.7. Gefriertrocknung des Hydrolysates

Die zugeschmolzene Ampulle wird mit einem Glasschneider geöffnet und es werden drei Mal 200 µl entnommen. Das Hydrolysat wird in ausgeglühte verschraubbare 5 ml-Fläschchen überführt und bei -18 °C tiefgefroren. Anschließend wird das gefrorene Hydrolysat in der Gefriertrocknung (Alpha 1-4 LSC Gefriertrocknungsanlage, CHRIST) zur Trockene eingeengt.

Nach der Gefriertrocknung wird der Rückstand in 2 ml deionisiertem Wasser aufgenommen, verschlossen und bis zur Bestimmung der D/L-Asparagin- bzw. D/L-Glutaminsäureverhältnisse mittels RP-HPLC bei -18 °C gelagert.

3.7.8. Reagentien für die Probenaufarbeitung

Wasserstoffperoxid (H_2O_2 10 %)

Zur Herstellung einer 10 %igen H_2O_2-Lösung wurden 100 ml Wasserstoffperoxid (30 %; MERCK) in 200 ml deionisiertes Wasser gegeben.

Salzsäure (1M)

25 ml konzentrierte Salzsäure (37 %; MERCK) wurden in 225 ml deionisiertes Wasser gegeben.

Salzsäure (5M)

500 ml konzentrierte Salzsäure (37 %) wurden in 500 ml deionisiertes Wasser gegeben.

3.8. Analytik

3.8.1. Geräte und Analysenbedingungen

Die Proben wurden mit einer HPLC-Anlage analysiert, welche mit vollautomatischem Autosampler, Niederdruckgradientensystem und Vorsäulenderivatisierung ausgestattet war. Die Vorteile des automatisierten Systems bestehen vor allem in der Möglichkeit eines höheren Probendurchsatzes und der besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, besonders im Hinblick auf die Dosierung der Reagentien und die Einhaltung der Reaktionszeit innerhalb der Derivatisierungsreaktion.

Gelöste Gase in den Eluenten wurden mit einem Membrandegasser entfernt, nachdem zuvor schon in einem Ultraschallbad (Bandelin Sonorex Super RX 106, JÜRGENS) entgast wurde. Die Derivatisierung erfolgte vollautomatisch im Autosampler, welcher die Reagentien dosierte und durch Ansaugen und Ausstoßen der Reaktionslösung vermischte. Die Nadel und die Leitungen des Autosamplers wurden zwischen den einzelnen Schritten und nach der Injektion mit einem Gemisch von Wasser/Methanol im Verhältnis 90:10 gespült, welches zuvor im Ultraschallbad entgast wurde.

Die HPLC-Anlage setzte sich aus folgenden Einzelgeräten zusammen:

- L-7614 Vakuum Membran Degasser (VWR)
- SN4000 Controller (THERMO SEPARATION PRODUCTS)
- L7100 Quaternäre Gradienten Pumpe (HITACHI)
- AS3000 Autosampler mit Probenvorbereitung (THERMO SEPARATION PRODUCTS)
- Trennsäule Spheribond® ODS2, 5 µm, 250 x 4,6 mm (BISCHOFF CHROMATOGRAPHY)
- Fluoreszenzdetektor (LDC ANALYTICAL)

Die Bestimmung der Aminosäuren nach der OPA/IBLC-Methode erfolgte unter den in Tabelle 3.3 angegebenen Analysenbedingungen (BRÜCKNER et al., 1991; BRÜCKNER et al., 1994; FITZNER et al., 1999). In Tabelle 3.4 ist das optimierte Verfahren für Asparagin- und Glutaminsäure aufgeführt.

Konzentrationsbereich:	30-100 µmol/l
Derivatisierungsreagenz:	480 mg *N*-Isobutyryl-L-cystein (IBLC) in 100 ml MeOH
	200 mg *o*-Phthaldialdehyd (OPA) in 100 ml MeOH
Injektionsvolumen:	25 µl
Säule:	Spheribond® ODS2, 5 µm, 250 x 4,6 mm
Säulentemperatur:	20 °C Raumtemperatur
Detektion:	Fluoreszenz (λ_{ex} 330 nm, λ_{em} 455 nm)
Eluenten:	A: Natriumacetat (NaOAc) pH 6,5
	B: Methanol (MeOH)

Tab. 3.3: Analysenbedingungen für die Asparagin- und Glutaminsäurebestimmung

Zeit [min]	A [%] NaOAc	B [%] MeOH	Fluss [ml/min]
0	96	4	2,5
4,9	96	4	2,5
5	92	8	2,5
13	92	8	2,5
15	0	100	2,5
17	96	4	2,5
20	96	4	2,5

Tab. 3.4: HPLC-Gradientenprogramm

Die Aufnahme und Integration der Chromatogramme erfolgten mit der Software von ChromQuest™, Version 2.51 (THERMOQUEST CORPORATION).

3.8.2. Vollautomatische Vorsäulenderivatisierung der Asparagin- und Glutaminsäure

Die Derivatisierung der Asparagin- und Glutaminsäure erfolgte unter Verwendung eines programmierten Autosamplers. Im ersten Schritt der Derivatisierung wurden zuerst 300 µl Natriumboratpuffer, dann 100 µl IBLC und 100 µl OPA hintereinander aufgezogen und anschließend wurden 300 µl in das Autosamplerfläschchen mit der zu analysierenden Probe bzw. des Standards überführt. Nach dem zweiminütigen Mischen und einer Reaktionszeit von 60 Sekunden wurde ein Aliquot von 25 µl in die HPLC-Anlage injiziert.

3.8.3. Verhältnisbestimmung von D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure

Die Verhältnisbestimmung von D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure benötigt keine Quantifizierung. Da die Derivate der D-und L-Asparaginsäure bzw. D- und L-Glutaminsäure die gleiche Fluoreszenzintensität besitzen (Abb. 3.30), können sie direkt zueinander in Relation gesetzt werden.

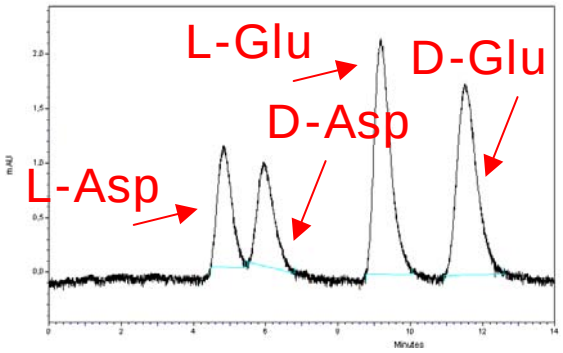


Abb. 3.30: Chromatogramm der D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäuren-Standards (0,2 mmol/l)

3.9. Herstellung von Lösungen und Reagentien

3.9.1. Asparagin- und Glutaminsäurestammlösung und Standardgemische

Zur Herstellung der Stammlösungen von Asparagin- und Glutaminsäure wurden D/L-Asparagin- und D/L-Glutaminsäure (SIGMA) verwendet. Für Asparaginsäure wurden 13,31 mg und für Glutaminsäure 14,71 mg abgewogen. Es wurde jeweils in 100 ml deionisiertem Wasser gelöst, so dass eine Stammlösung mit der Endkonzentration von 1 mmol/l erreicht wurde. Die Standardgemische wurden durch Verdünnung der Stammlösungen in den Konzentrationen 0,5, 0,2, 0,1 und 0,01 mmol/l hergestellt. Die Stammlösungen und die Standardgemische wurden bei +4 °C aufbewahrt.

3.9.2. Reagentien für OPA/IBLC-Derivate

Natriumboratpuffer (0,4M, pH 9,5)

Zur Herstellung eines 0,4M Natriumboratpuffers wurden 25 g Borsäure (RIEDEL-DE HAËN) in 900 ml deionisiertem Wasser gelöst. Der Ansatz wurde mit 8N NaOH (SCHARLAU) auf pH 9,5 eingestellt und anschließend mit deionisiertem Wasser auf 1000 ml aufgefüllt.

***o-Phthaldialdehyd* (*IBLC*)**

20 mg OPA (FLUKA) wurden in 10 ml MeOH (APPLICHEM) gelöst.

***N-Isobutyryl-L-cystein* (*OPA*)**

48 mg IBLC (FLUKA) wurden in 10 ml MeOH gelöst.

3.9.3. Eluenten

Eluent A (0,05M Natriumacetatpuffer, pH 6,5)

4,1 g Natriumacetat (MERCK) wurden zur Herstellung von 1 l Eluent A abgewogen und in 900 ml deionisiertem Wasser gelöst. Der Ansatz wurde mit 25 %iger HCl auf pH 6,5 eingestellt und anschließend mit deionisiertem Wasser auf 1000 ml aufgefüllt.

Eluent B (MeOH 100 %)

3.10. Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie ist ein vielseitig anzuwendendes Verfahren für morphologische und analytische Untersuchungen von Oberflächen. Sie erlaubt aufgrund der großen Schärfentiefe sowohl die Abbildung von glatten als auch von sehr rauen Oberflächen. Die entstandenen morphologischen Bilder sind infolge des dreidimensionalen Eindrucks leicht interpretierbar. Durch das hohe Auflösungsvermögen sind Vergrößerungen bis zu 100.000-fach möglich. Ein besonderer Vorteil der Rasterelektronenmikroskopie liegt in der einfach durchzuführenden Signalbeeinflussung und dem relativ geringen Präparationsaufwand. Die Vielseitigkeit der Methode beruht unter anderem auch auf der Möglichkeit, gleichzeitig sehr unterschiedliche Kontraste darstellen zu können. In Kombination mit Analysegeräten kann die Rasterelektronenmikroskopie eine Vielzahl analytischer Informationen liefern (REIMER & PFEFFERKORN, 1977).

3.10.1. Prinzip der Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie arbeitet nach dem Prinzip, dass die Oberfläche des zu untersuchenden Objekts zunächst mit einem Metall bedampft wird. Aus der dünnen Metallschicht werden bei der Bestrahlung Sekundärelektronen herausgeschlagen. Wird der Sekundärelektronenstrom an jeder Stelle des Objekts gemessen, so erhält man durch geeignete Auswerteverfahren ein Bild großer Tiefenschärfe und kann daher die Strukturen dreidimensional erkennen. Ähnlich wie bei einer Fernsehröhre wandert der Elektronenstrahl in Zeilen über das Objekt hinweg und setzt die aus den Sekundärelektronenströmen gewonnenen Einzelbilder in Form eines Rasters zum Gesamtbild zusammen. Daher der Begriff Rasterelektronenmikroskopie. Das Rasterelektronenmikroskop erlaubt nur die Darstellung von Objektoberflächen, liefert aber davon ein sehr plastisches Bild (OHNSORGE & HOLM, 1978).

3.10.2. Vorbehandlung des Probenmaterials zur Herstellung elektronenmikroskopischer Präparate

Um brauchbare rasterelektronenmikroskopische Bilder der Schalen von *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L, *M*. *edulis* L. und *S*. *plana* L. zu erhalten müssen die Proben vorbehandelt werden. Für die Präparation werden junge Schalen der vier unterschiedlichen Spezies vorsichtig in 5 - 10 mm große Fragmente zerkleinert und in 4 %igem Glutardialdehyd in 0,1M Natrium-Kalium-Phosphatpuffer (pH 7) zunächst für zwei Stunden vorfixiert. Dabei werden die Proteine der Probe denaturiert und vernetzt und so die Strukturen stabilisiert. Danach erfolgen vier unmittelbar aufeinander folgende Waschungen in 0,1M Natrium-Kalium-Phosphatpuffer (pH 7) für jeweils 15 Minuten. Im Anschluss folgt die Entwässerung der Proben durch Einlegen in 30, 50, 70, 80 und 90 %igem Ethanol für jeweils 10 Minuten. Im letzten Schritt der Entwässerung werden die Proben für 15 Minuten in absolutes Ethanol verbracht. Bis zur Kritisch-Punkt-Trocknung werden die Proben in absolutem Ethanol aufbewahrt. Die Kritisch-Punkt-Trocknung erfolgt mit CO_2. Die getrockneten Präparate verbleiben danach bis zum Aufkleben auf Präparatehalter im Exsikkator. Mit einem graphithaltigen Klebstoff werden die Präparate aufgeklebt. Die aufgeklebten Proben bleiben bis zur Aushärtung des Klebstoffs über Nacht im Exsikkator, damit das Lösungsmittel abdampfen kann. Abschließend werden die Proben durch Besputterung mit Gold im Vakuum fein bedampft und somit leitfähig gemacht.

3.10.3. Reagentien für die Rasterelektronenmikroskopie

Natrium-Kalium-Phosphatpuffer (0,1M, pH 7)

Zur Herstellung eines 0,1M Natrium-Kalium-Phosphatpuffers wurden 1,78 g Dinatriumhydrogenphosphat x 2 H_2O (RIEDEL-DE HAËN) und 1,36 g Kaliumdihydrogenphosphat (MERCK) in jeweils 100 ml deionisiertem Wasser gelöst. Die Ansätze wurden unmittelbar vor Gebrauch zusammengefügt.

Glutardialdehyd ($C_5H_8O_2$ 4 %) in ***Natrium-Kalium-Phosphatpuffer*** (0,1M, pH 7)

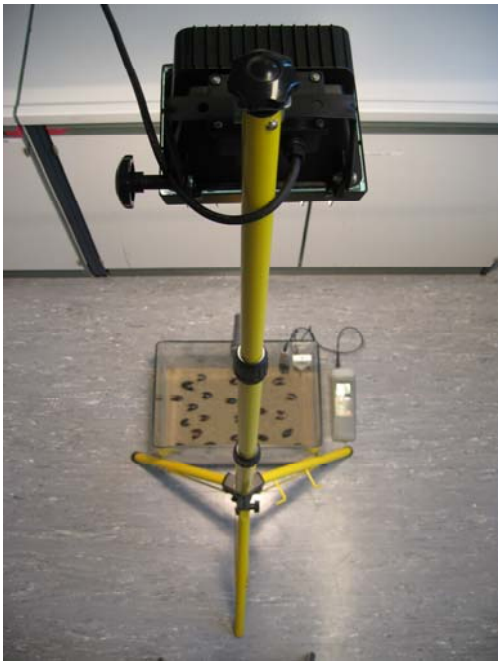
Zur Herstellung von 4 %igem Glutardialdehyd in 0,1M Natrium-Kalium-Phosphatpuffer (pH 7) wurden 8 ml Glutardialdehyd (25 %; FLUKA) in 42 ml deionisiertem Wasser gelöst. Dem Ansatz wurden 50 ml 0,1M Natrium-Kalium-Phosphatpuffer (pH 7) hinzugefügt.

Ethanol (30, 50, 70, 80 und 90 %)

100 ml EtOH (MERCK) wurden entsprechend verdünnt.

3.11. Versuch zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L.

Um die in ZIEHE (2005) für *M. edulis* L. um 2 °C höher angenommene durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur als in der Literatur mit 10,5 °C für das Wattenmeer angegeben, zu rechtfertigen, wurde ein Experiment zur Messung von *in situ*-Temperaturen auf der Muschelschale bzw. im Sediment durchgeführt.



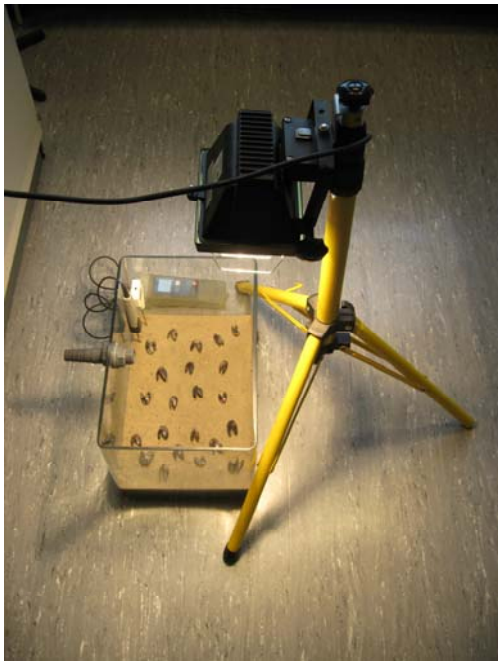


Abb. 3.31 und Abb. 3.32: Halogenstrahler in 150 cm Höhe (links) und in 50 cm Höhe (rechts)

Ein Halogenstrahler, zunächst in einer Höhe von 150 cm (Abb. 3.31) über einem mit wassergesättigten Seesand befüllten Aquarium aufgebaut (Abb. 3.33), stellt die Energiequelle Licht dar. Schalen von *M. edulis* L. werden auf der Sandoberfläche großflächig verteilt, um die Situation bei trockengefallenem Watt nachzuempfinden.

Abb. 3.33: Mit wassergesättigtem Seesand befülltes Aquarium

Über eine Zeitspanne von zwei Stunden wurden mit einem Infrarot-Thermometer in bestimmten Abständen und mit zwei weiteren im Seesand direkt platzierten externen Thermometern die *in situ*-Temperaturen notiert. Eines der beiden Thermometer befand sich unmittelbar 1 cm unter der Sandoberfläche, das andere in 5 cm Tiefe. Nach einer Abkühlungsphase auf Raumtemperatur wurde das Experiment für Entfernungen Sedimentoberfläche-Halogenstrahler von 100 und 50 cm (Abb. 3.32) wiederholt.

3.12. Mathematische Grundlagen der Auswertung

3.12.1. Statistische Berechnungen

Arithmetischer Mittelwert (MW):

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Gl. 3.1: Arithmetischer Mittelwert

Standardabweichung (STABW):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}$$

Gl. 3.2: Standardabweichung

Variationskoeffizient (rel. STABW [%]):

$$VK = \frac{s}{\overline{x}} \times 100$$

Gl. 3.3: Variationskoeffizient

jeweils mit n = Anzahl der Messungen und x_i = einzelne Messwerte.

Die linearen Regressionsanalysen wurden mit Hilfe von Microsoft® Excel durchgeführt.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop

4.1.1. REM-Aufnahmen von *Cerastoderma edule* L.

Die REM-Aufnahmen von *C. edule* L. (Abb. 4.1 - 4.3) zeigen, dass die Schale aus zwei Schichten aufgebaut ist: außen eine schmale Schicht des Periostracums und innen eine sogenannte Kreuzlamellen-Struktur.

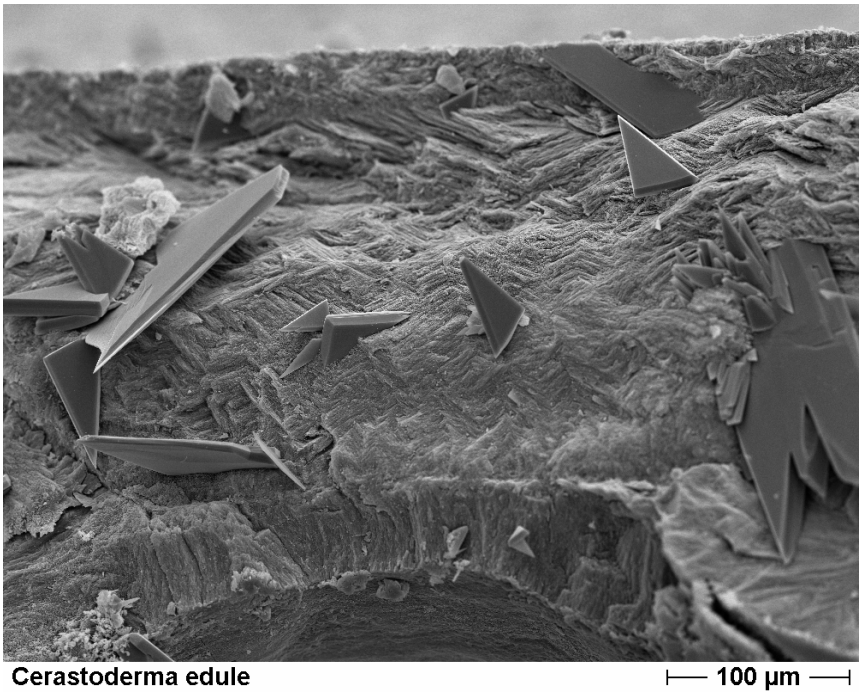


Abb. 4.1: REM-Aufnahme des *C. edule* L.-Querschnitts (150x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur

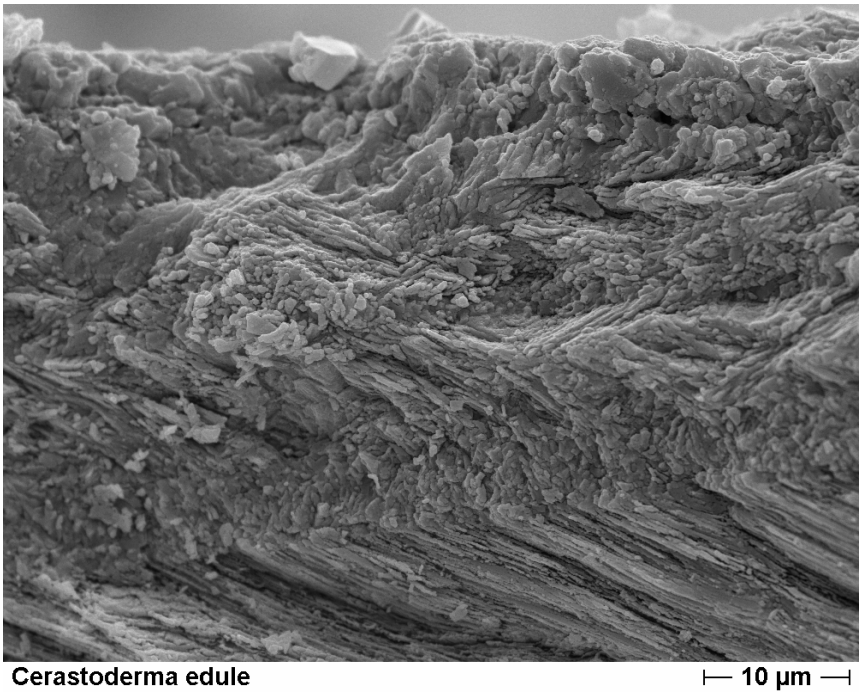


Abb. 4.2: REM-Aufnahme des *C. edule* L.-Querschnitts (1200x); zwei Schichten Kreuzlamellen-Struktur, die im Winkel von 90° zueinander stehen

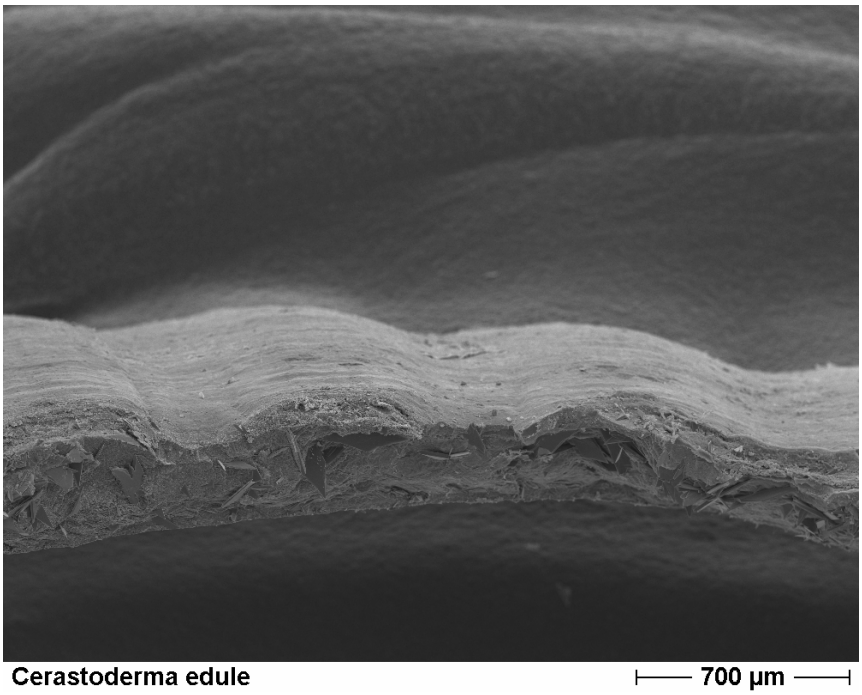


Abb. 4.3: REM-Aufnahme des *C*. *edule* L.-Querschnitts (25x); Radiärrippen (oben)

4.1.2. REM-Aufnahmen von *Mya arenaria* L.

Die REM-Aufnahmen (Abb. 4.4 - 4.5) zeigen den Querschnitt einer *M*. *arenaria* L.-Schale. Die Schale besteht aus zwei Schichten: außen eine schmale Schicht des Periostracums und innen eine Kreuzlamellen-Struktur.

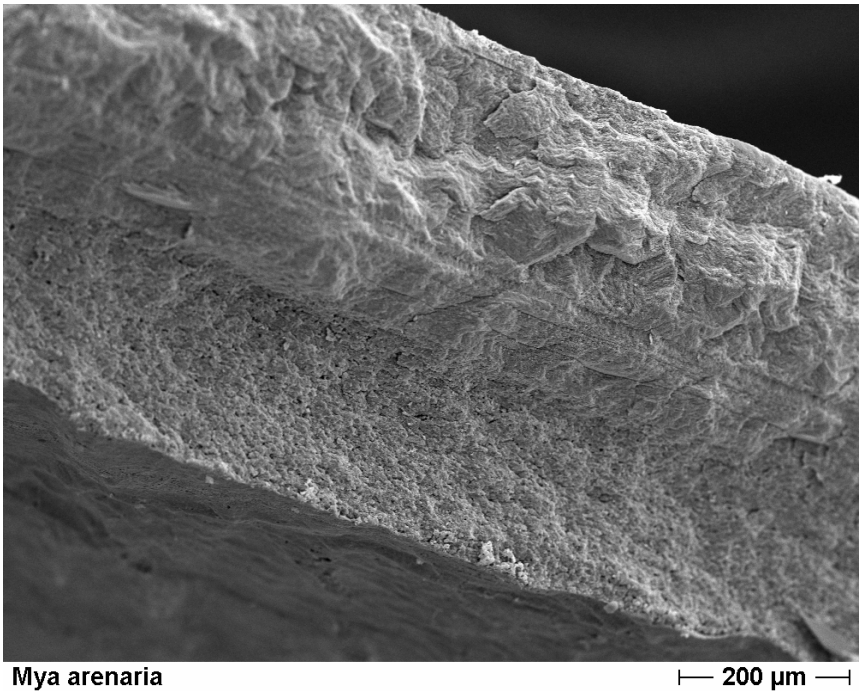


Abb. 4.4: REM-Aufnahme des *M*. *arenaria* L-Querschnitts (70x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur

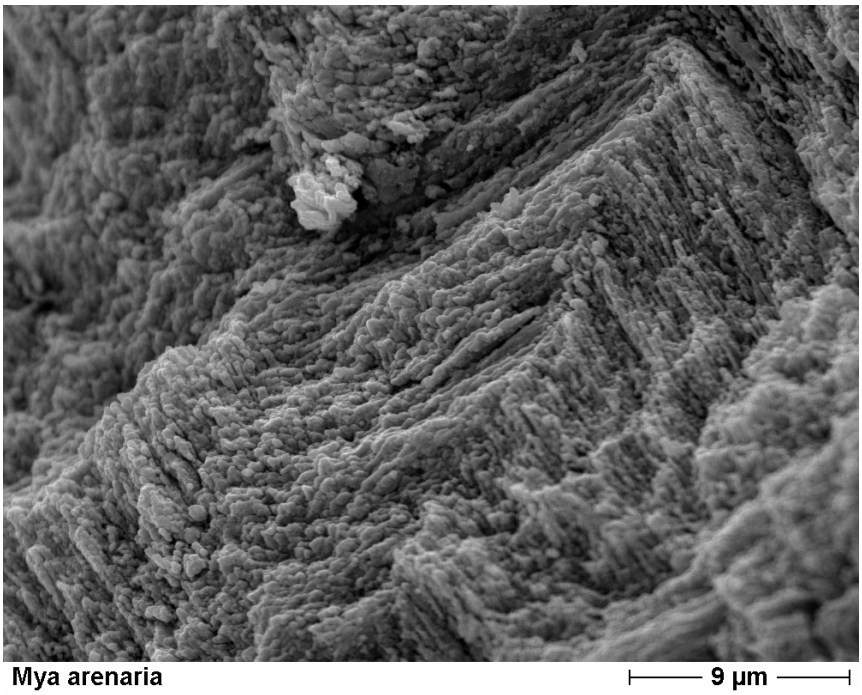


Abb. 4.5: REM-Aufnahme des *M. arenaria* L.-Querschnitts (2000x); Kreuzlamellen-Struktur

4.1.3. REM-Aufnahmen von *Mytilus edulis* L.

Die REM-Aufnahmen von *M. edulis* L. (Abb. 4.6 - 4.10) zeigen, dass die Schale aus drei Schichten aufgebaut ist: außen das Periostracum, in der Mitte eine Prismenschicht aus Calcit und innen eine sogenannte Perlmutt-Struktur aus Aragonit.

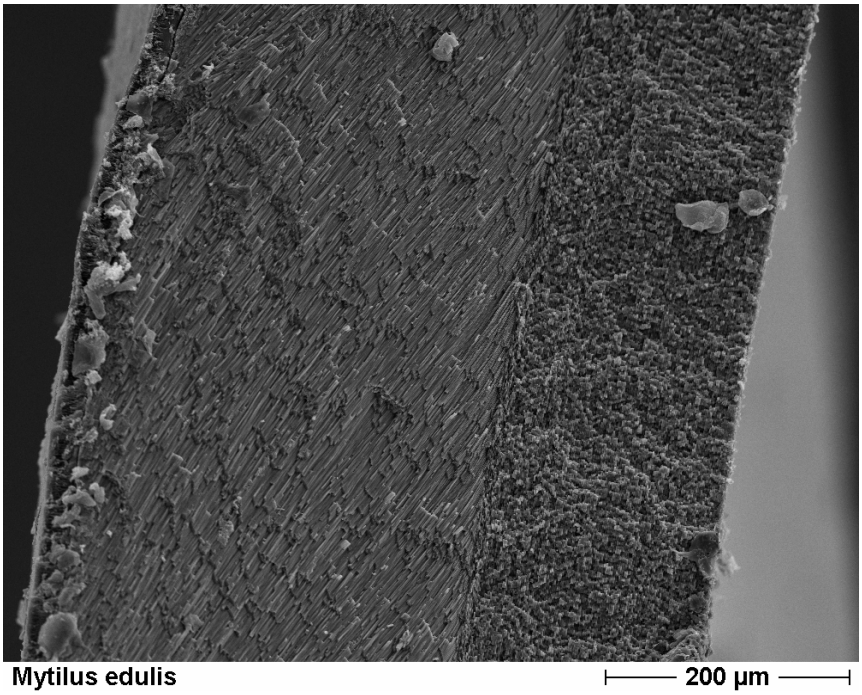


Abb. 4.6: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (100x); Periostracum (links), Calcit (Mitte), Aragonit (rechts)

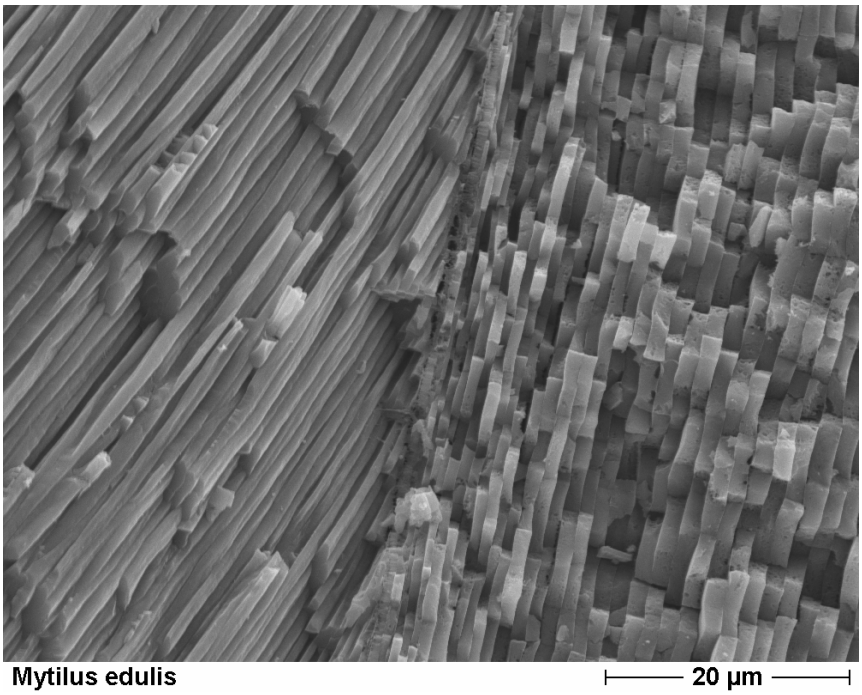


Abb. 4.7: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (1000x); Übergang von Calcit (links) zu Aragonit (rechts)

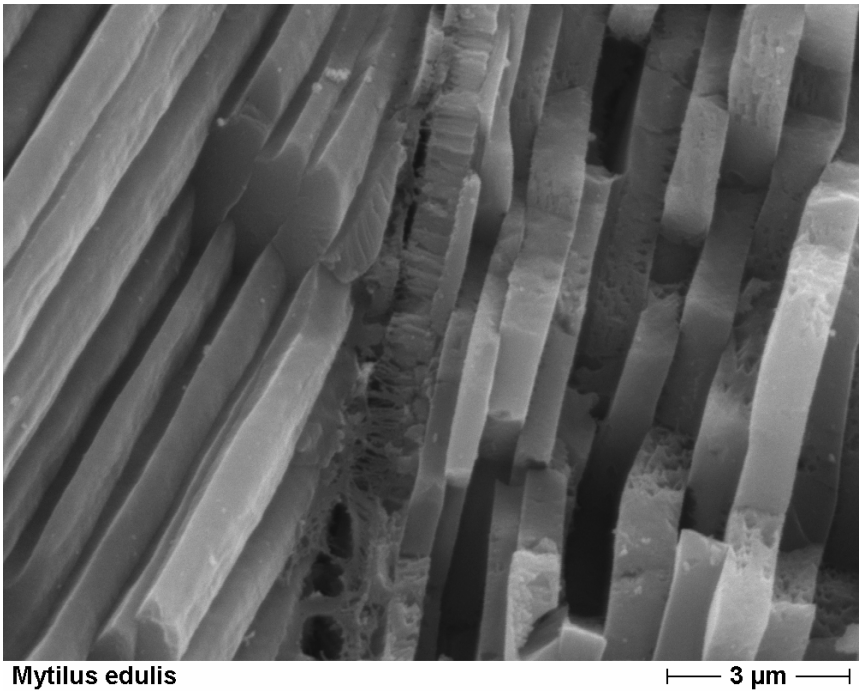


Abb. 4.8: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (5000x); Übergang von Calcit (links) zu Aragonit (rechts)

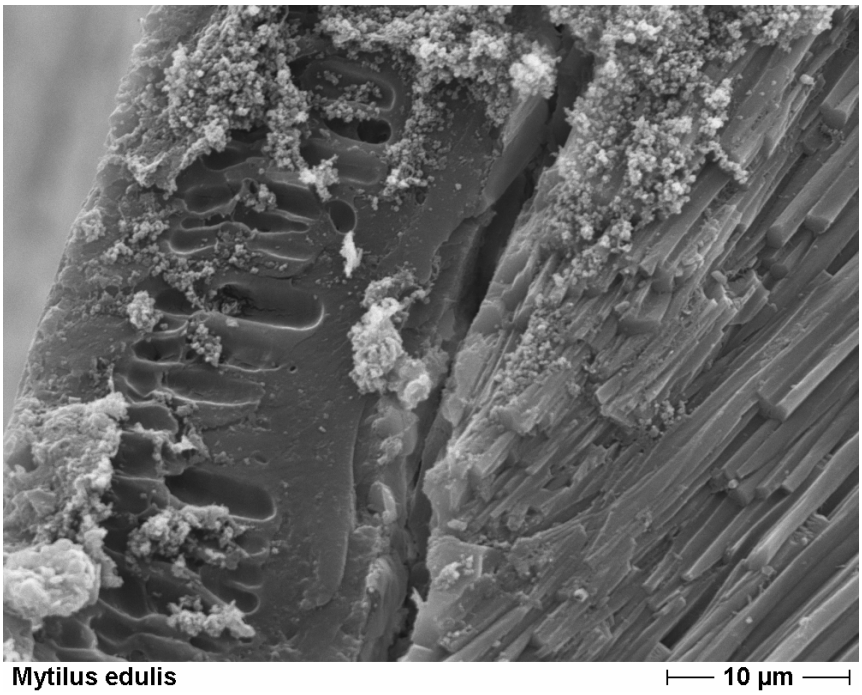


Abb. 4.9: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (1500x); Periostracum (links), Calcit (rechts)

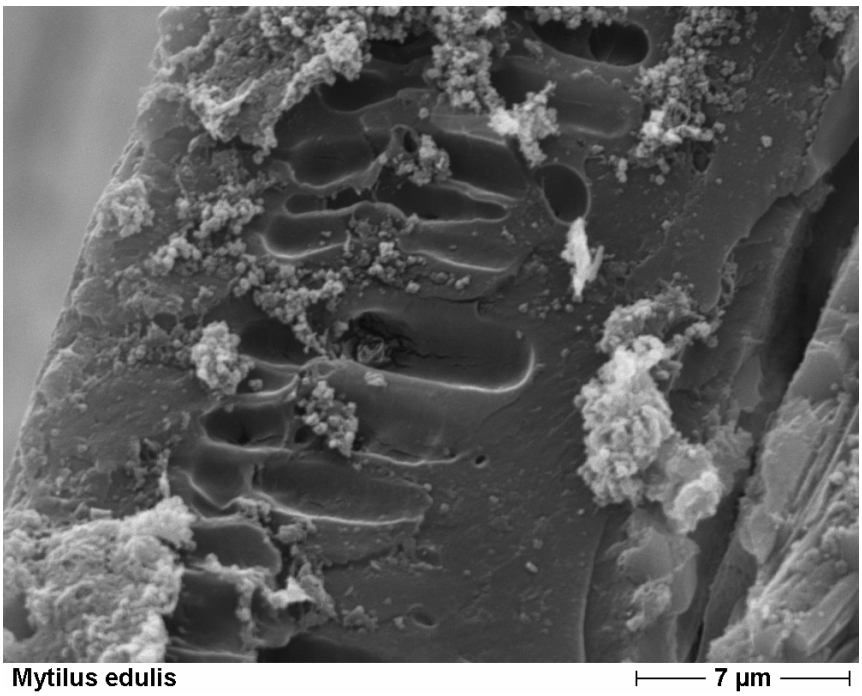


Abb. 4.10: REM-Aufnahme des *M. edulis* L.-Querschnitts (2500x); Periostracum

4.1.4. REM-Aufnahmen von *Scrobicularia plana* L.

Die REM-Aufnahmen (Abb. 4.11 - 4.13) zeigen den Querschnitt einer *S. plana* L.-Schale. Die Schale besteht aus zwei Schichten: außen eine schmale Schicht des Periostracums und innen eine Kreuzlamellen-Struktur.

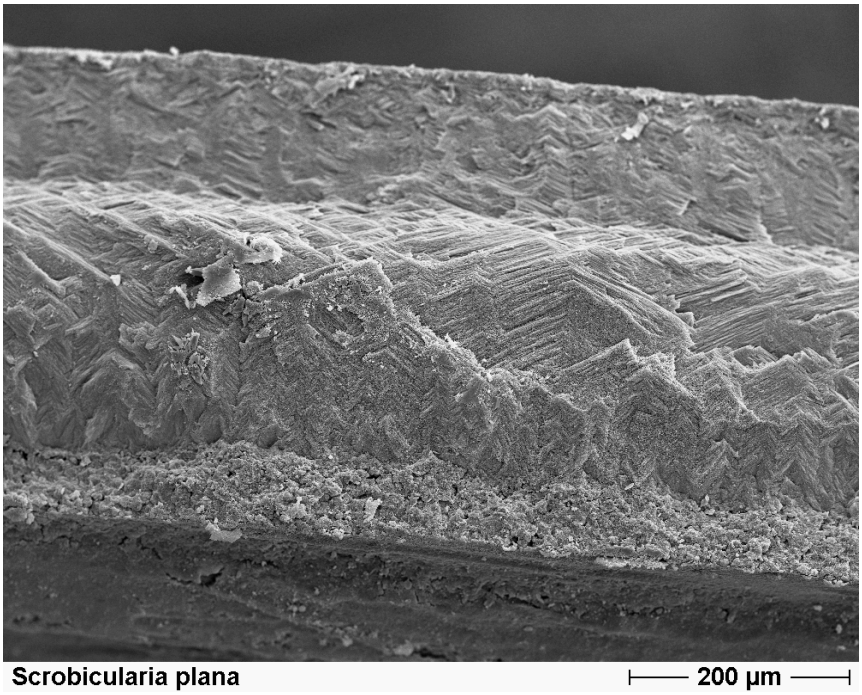


Abb. 4.11: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (90x); Periostracum (unten), darüber Kreuzlamellen-Struktur

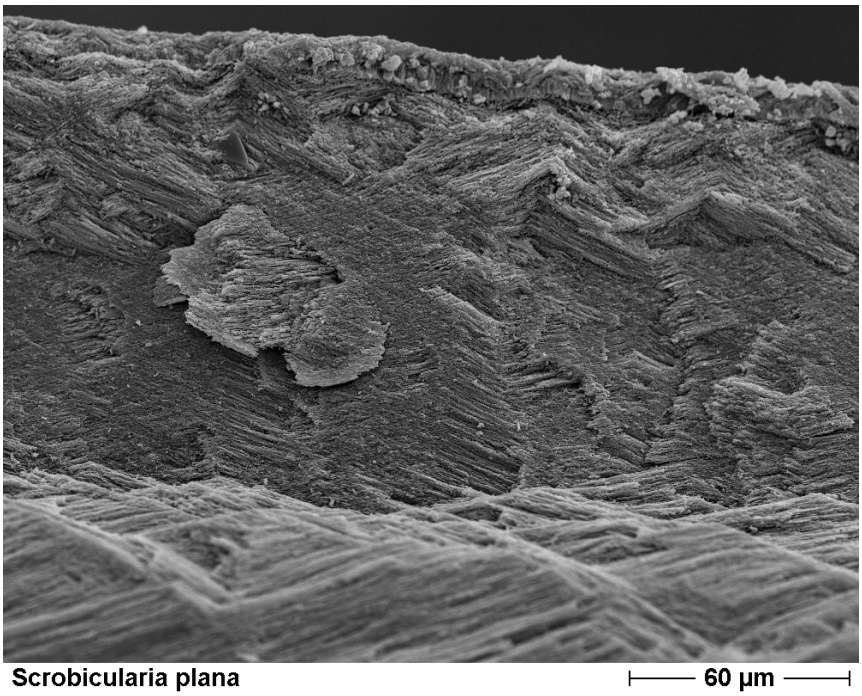


Abb. 4.12: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (300x); Kreuzlamellen-Struktur

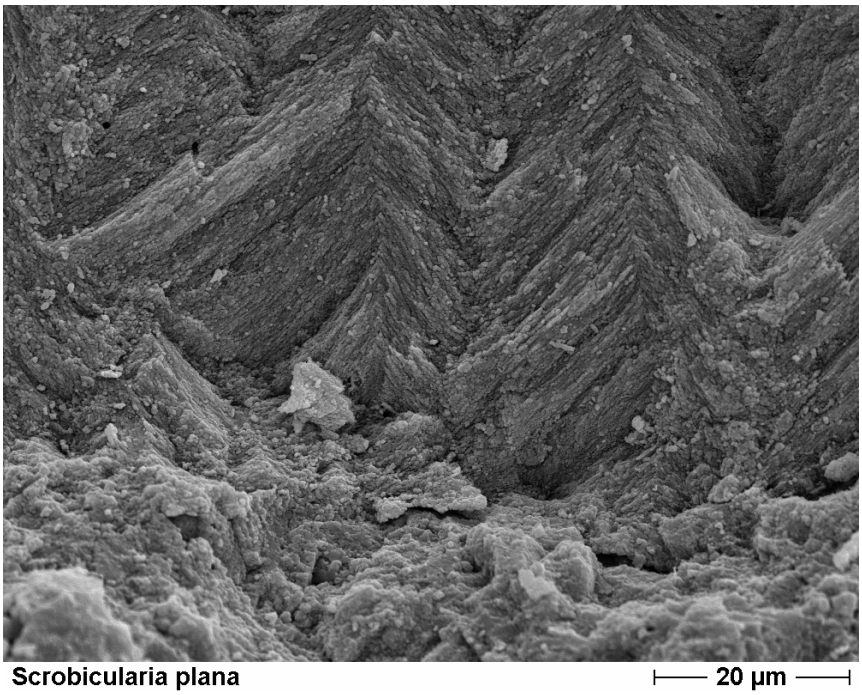


Abb. 4.13: REM-Aufnahme des *S. plana* L.-Querschnitts (800x); Kreuzlamellen-Struktur

4.1.5. Auswertung der REM-Aufnahmen zu ...

Die Tatsache, sich mit dem detaillierten Aufbau der verwendeten Schalen als Nebenaspekt dieser Arbeit einmal näher zu befassen, hatte ihren Ursprung im Anteil an organischem Material in der Schale. Mit 0,01 bis 5 % wird der Anteil an organischem Material in Molluskenschalen von HARE & ABELSON (1965) angegeben.

Bei *M. edulis* L., wo sich eine Prismen- und eine Perlmuttschicht unter einer dicken Schicht von organischem Periostracum befinden, ist der Anteil an organischer Matrix höher als bei *C. edule* L., *M. arenaria* L. und *S. plana* L. Diese Tatsache wurde insbesondere durch eigene Beobachtungen belegt. Zur Altersbestimmung waren für die hauptsächlich auf dem Meeresboden lebende *M. edulis* L. lediglich 200 mg an Schalenmaterial erforderlich. Für die im Boden lebenden Spezies *C. edule* L., *M. arenaria* L. und *S. plana* L. wurden hingegen 1000 mg benötigt. Nach BARNES (1987) ist der Anteil an organischem Material in epibenthonisch lebenden Mollusken höher als in Spezies die eine endobenthonische Lebensweise bevorzugen, was sich u.a. mit der Mächtigkeit des Periostracums erklären lässt.

4.1.5.1. ... *Cerastoderma edule* L., *Mya arenaria* L. und *Scrobicularia plana* L.

Die REM-Aufnahmen von *C. edule* L. (Kapitel 4.1.1.), *M. arenaria* L. (Kapitel 4.1.2.) und *S. plana* L. (Kapitel 4.1.4.) zeigen, dass die Schalen aus zwei Schichten aufgebaut sind: außen eine wesentlich schmalere Schicht des Periostracums als bei *M. edulis* L. und innen eine sogenannte Kreuzlamellen-Struktur. Der Anteil des Calciumcarbonats in Scha-

len von *M*. *arenaria* L. beispielsweise besteht laut KENNEDY et al. (1969) ausschließlich aus Aragonit. Die Kreuzlamelle wächst fächig in nadeligen Baueinheiten. Im Gegensatz zur Prismenschicht bei *M*. *edulis* L. ist sie nicht feinst von Conchiolin umhüllt, sondern ihre Plättchen sind lediglich durch feine Lamellen aus Conchiolin verkittet (CLARK II, 1999).

4.1.5.2. … *Mytilus edulis* L.

Die REM-Aufnahmen von *M*. *edulis* L. (Kapitel 4.1.3.) belegen, dass die Schale aus drei Schichten zusammengesetzt ist (Abb. 4.14). Außen liegt das rein organische Periostracum. Es besteht aus Conchiolin, einem durch Chinone gegerbten und sklerotisierten bzw. stark vernetzten basischen Proteingeflecht (RENNER, 1984). Das Periostracum schützt die beiden anschließenden kalkhaltigen Schichten, nach ihrer Struktur Prismen- und Perlmuttschicht genannt, gegen Umwelteinflüsse von außen, beispielsweise mechanische oder durch Säure bedingte (SALEUDDIN & PETIT, 1983).

Bei der Prismen- und Perlmuttschicht handelt es sich im Wesentlichen um Calcit und Aragonit, kristalline Modifikationen des Calciumcarbonats ($CaCO_3$), die sich in der Kristallstruktur und der Dichte unterscheiden (WEINER, 1979). Diese Minerale sind dabei nach einem bestimmten Muster in eine Matrix aus Proteinen und Kollagenfasern eingebettet (KLOCKMANN, 1979).

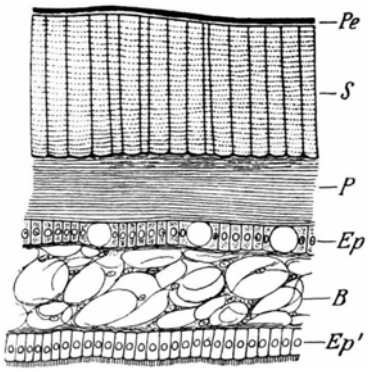


Abb. 4.14: Schnitt durch Schale und Mantel von *M*. *edulis* L. mit *Ep* äußeres und *Ep*' inneres Mantelepithel, *B* Bindegewebe des Mantels, *Pe* Periostracum, *S* Ostracum und *P* Hypostracum (aus CLAUSEN et al., 1971)

Die Prismenschicht, auch Ostracum genannt, setzt sich aus winzigen prismatischen Kristallen zusammen, die aus trigonalem Calcit bestehen und vertikal zu Oberfläche stehen. Das Ostracum stellt den Hauptanteil der Schale dar und verleiht ihr Stabilität und Widerstandskraft. Auch am Aufbau dieser Schicht ist Conchiolin beteiligt. Es bildet feinste Umhüllungen für die Kalkprismen in denen sich das Wachstum der Kristalle vollzieht (BATHURST, 1975; LOWENSTAM & WEINER, 1989). Die Matrix bleibt auch beim Auflösen des Kalks noch erhalten (RENNER, 1984).

Die Innenseite ist mit dem so genannten Hypostracum, der Perlmuttschicht, ausgekleidet. Perlmutt ist aus rhombischen Aragonitkristallen aufgebaut, die waagerecht zur Ober-

fläche angeordnet sind und deren Plättchen durch feine Lamellen aus Conchiolin verkittet sind.

Die beiden kalkhaltigen Schichten enthalten somit eine organische Matrix aus Proteinen, in die Ca^{2+}-Salze kristallin eingelagert sind.

Das Periostracum entsteht in einer drüsenreichen Rinne des Mantelrandes, der in die Peripherie organische Substanz ausscheidet, die als Substrat zur Anlagerung des Calciumcarbonats dient, und schlägt sich dann auf die Manteloberfläche bzw. Schalenoberfläche um (DEGENS & SCHMIDT, 1966). Für die Bildung der Prismenschicht ist der unmittelbar benachbarte Epidermisstreifen des Mantelepithels verantwortlich, während die Perlmuttschicht auf dem innen anschließenden Mantelepithel abgeschieden wird. Die Perlmutter entsteht plättchenförmig in Gelen der extrapallialen Flüssigkeit auf der Schaleninnenseite. Das Flächenwachstum der Schale erfolgt also nur am Rande, während eine Verdickung der Schale auf der gesamten Manteloberfläche stattfindet (DEGENS & SCHMIDT, 1966; CZIHAK et al., 1990).

4.2. Sequentielle Analyse einer *Mya arenaria* L.-Schale

Da *M. arenaria* L., wie in Kapitel 3.1.2. erwähnt, bis zu 28 Jahre alt werden kann, ist es von Interesse zu wissen, wie groß der Fehler bei der Altersbestimmung werden kann, wenn lediglich Schalenbruchstücke für die Analyse vorliegen (GOODFRIEND & WEIDMAN, 2001).

Dazu wurde eine 11,5 · 7 cm große Schale von *M. arenaria* L. (gefunden am 16. Juli 2007 auf der Kachelotplate) sequentiell mit der AAR-Methode datiert (Abb. 4.15).

Abb. 4.15: *M. arenaria* L.-Schale

Es ergaben sich die in Tabelle 4.1 aufgeführten Alter (Anhang 8.5.).

	Alter [J. v.h.]	
	Asp	Glu
gesamt	43 ± 8	44 ± 5
1 (innen)	46 ± 2	41 ± 7
2	35 ± 4	33 ± 3
3	31 ± 9	29 ± 4
4	26 ± 9	22 ± 2
5	20 ± 4	18 ± 1
6	14 ± 5	13 ± 2
7 (außen)	11 ± 4	8 ± 1

Tab. 4.1: Alter der *M. arenaria* L.-Schale

4.2.1. Bewertung der sequentiellen Analyse einer *Mya arenaria* L.-Schale

Die in Kapitel 4.2. durchgeführte sequentielle Analyse einer *M. arenaria* L.-Schale kommt zu dem Ergebnis, dass, wenn z.B. nur einzelne Bruchstücke zur Datierung herangezogen werden können und nicht die komplette Schale erhalten ist, ein Fehler von bis zu 76 % vorliegen kann. Dies wäre der Fall, wenn nur ein Bruchstück der äußersten Zone 7 analysiert werden könnte.

Die Ursache für diesen überaus großen Fehler liegt hauptsächlich an der mit bis zu 28 Jahren verhältnismäßig hohen Lebenserwartung der Sandklaffmuschel (KENNEDY et al., 1969; MACDONALD & THOMAS, 1980; STRASSER et al., 1999).

Bei der Miesmuschel hingegen, die lediglich ein Alter von bis zu 12 Jahren erreichen kann (KAUTSKY, 1982), fällt der zu erwartende Fehler bei der Analyse eines Randstücks bedeutend geringer aus. Entsprechendes gilt für die Herzmuschel, die ein Alter von bis zu 10 Jahren (ORTEN, 1926) bzw. für die Pfeffermuschel, die ein Alter von 6 Jahren erreichen kann (SOLA, 1997).

Die Tatsache, dass die innere Zone 1 der *M. arenaria* L.-Schale mit 46 ± 2 Jahren nahezu das gleiche Alter wie die gesamte Schale (43 ± 8 Jahre) aufweist, lässt sich mit dem Aufbau der Schale erklären (Kapitel 3.2.).

Bis zum Absterben des Organismus ist die innere Zone 1 der *M. arenaria* L.-Schale (Abb. 4.15) ein Bereich, in dem kontinuierlich von einer Drüsenzone des Mantelrands ausgeschiedenes Periostracum bzw. vom gesamten Mantel ausgeschiedene mineralische Substanz abgelagert wird (CLARK II, 1999). Dies ist auch dadurch belegt, dass die ursprünglich dünne Schale der inneren Zone 1 im ausgewachsenen Stadium die größte Schalendicke aufweist. Die sich nach außen hin anschließenden Zonen enthalten dagegen kein Schalenmaterial der ersten Lebensphase. Fortlaufend bis zu äußersten Zone werden von immer kürzerer Dauer Schalenschichten ausgebildet. Dabei verschiebt sich der Mantelrand immer weiter nach außen und lagert das vom Mantelrand ausgeschiedene

neu gebildete Schalenmaterial am bereits vorhandenen Schalenrand ab. Die äußere Zone 7 entsteht während der letzten Lebensphase des Organismus. Letzteres trifft besonders dann zu, wenn sich die äußere Zone 7 bereits vor der innen gelegenen Palliallinie, dort wo die Schale mit dem Weichkörper verbunden ist, befindet (BANDEL, 2009).

Dies führt zu dem Schluss, dass ausschließlich intakte Schalen (bei der Aufarbeitung ergibt sich ein homogenisiertes Gemisch an Matrixproteinen) zur Altersbestimmung herangezogen werden sollten.

4.3. Ergebnisse des Versuchs zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L.

Die Abbildungen 4.16 - 4.18 zeigen die Ergebnisse des Versuchs zur Wärmeabsorption von *M. edulis* L., der in Kapitel 3.11. zur Messung von *in situ*-Temperaturen auf der Muschelschale bzw. im Sediment durchgeführt wurde (Anhang 8.6.). Ein Halogenstrahler, zunächst in einer Höhe von 150 cm, später, nach einer jeweiligen Abkühlungsphase auf Raumtemperatur auch in 100 und 50 cm Höhe über einem mit wassergesättigten Seesand befüllten Aquarium aufgebaut, stellte die Energiequelle Licht dar. Schalen von *M. edulis* L. wurden auf der Sandoberfläche großflächig verteilt, um die Situation bei trockengefallenem Watt nachzuempfinden.

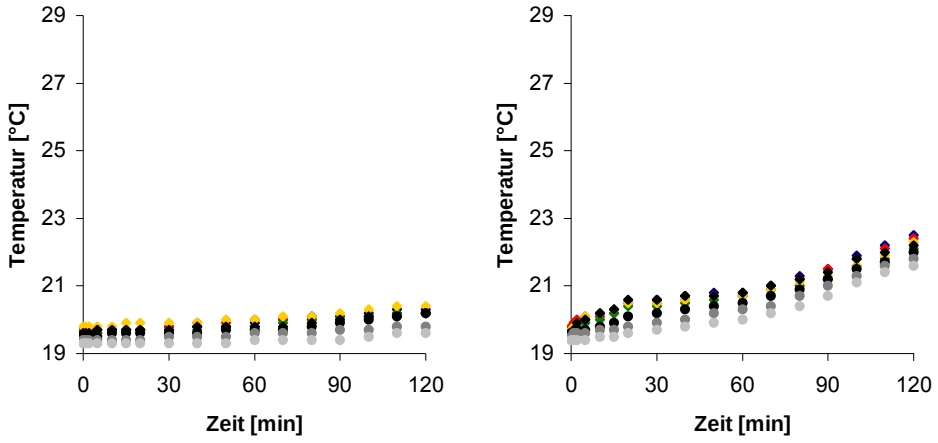


Abb. 4.16 und Abb. 4.17: Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 150 cm (links) und Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 100 cm (rechts)

Über eine Zeitspanne von zwei Stunden wurden mit einem Infrarot-Thermometer in bestimmten Abständen und mit zwei weiteren im Seesand direkt platzierten externen Thermometern die *in situ*-Temperaturen protokolliert. Eines der beiden Thermometer befand sich unmittelbar 1 cm unter der Sandoberfläche, das andere in 5 cm Tiefe.

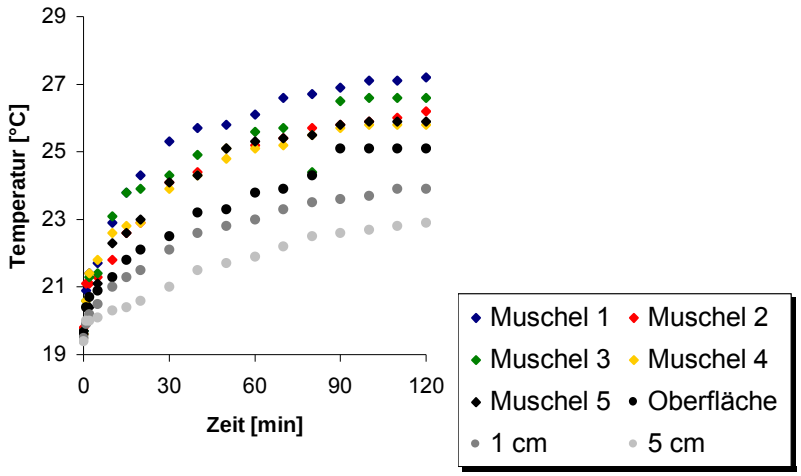


Abb. 4.18: Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche 50 cm

4.3.1. Bewertung des Versuchs zur Wärmeabsorption von *Mytilus edulis* L.

Der in Kapitel 3.11. durchgeführte Versuch zur Wärmeabsorption von *M. edulis* L. zeigt besonders bei einem Abstand Halogenstrahler - Sedimentoberfläche von nur 50 cm einen beträchtlichen Eintrag von Wärmeenergie (Abb. 4.18): Diese Tatsache spiegelt sich auch in einem parabolischen Anstieg der Temperaturkurve wieder, wobei sich nach ca. 120 Minuten eine Sättigung im durchgeführten Experiment einstellt.

Wird nun der experimentell ermittelte Befund auf die Situation in der Natur übertragen, mittelt sich die Erhitzung in den Sommermonaten durch die niedrigen (Luft-)Temperaturen beim Trockenfallen des Watts heraus. Insbesondere HOBBENSIEFKEN (1997), die direkt nach dem Trockenfallen des Watts die noch von der Temperatur des Flutwassers beeinflusste Temperatur des Kolkwassers untersuchte, stellte keine signifikanten Unterschiede in bezug auf Temperaturmessungen in 7 cm Tiefe fest. Trockengefallene Tafeln und wassergefüllte Kolke zeigen demnach keine Auswirkung der Sonnenstrahlung auf die Bodentemperatur in dieser Tiefe. Zu erklären ist dies u.a. mit dem hohen Temperaturgefälle in Schlickböden, bedingt durch den geringen Porenraum und den hohen Wassergehalt (LINKE, 1939).

4.4. Heizexperimente mit *Cerastoderma edule* L.

Die Racemisierung von L- zu D-Asparaginsäure und L- zu D-Glutaminsäure in jungen Schalen von *C. edule* L. wurde während jeweils dreifach durchgeführter Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C bestimmt. Die Racemisierungsrate nimmt mit zunehmender Annäherung an die Gleichgewichtskonzentration ab, d.h., das D/L-Verhältnis nähert sich asymptotisch an die Gleichgewichtskonzentration (D/L-Asp bzw. D/L-Glu = 1) an.

In den nachfolgenden Abbildungen der einzelnen Heizexperimente wird jeweils ln ((1 + (D/L)) / (1 - (D/L))) gegen die Zeit aufgetragen. Bei allen folgenden Ergebnissen

wurde die chemisch induzierte Racemisierungsrate 0,0013 abgezogen, es handelt sich also um Netto-D/L-Asp- bzw. Netto-D/L-Glu-Verhältnisse. Die linearen Regressionsanalysen wurden mit Hilfe von Microsoft® Excel durchgeführt.

4.4.1. Asparaginsäure

4.4.1.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 60 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.1.) wurden Exponenten ermittelt (CLARKE & MURRAY-WALLACE, 2006). Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.19):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,8} = 0{,}00009x + 0{,}0025$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9845$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,9} = 0{,}00007x + 0{,}002$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9583$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0{,}00008x + 0{,}0014$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9734$

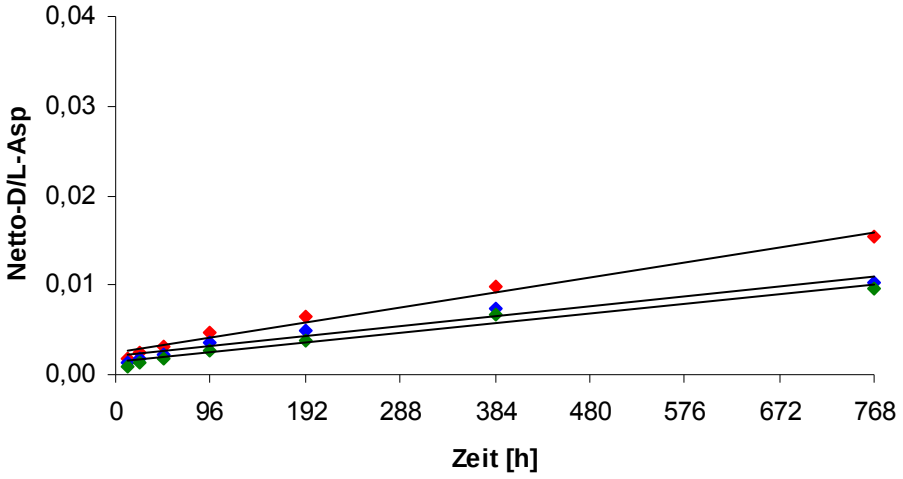


Abb. 4.19: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.1.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 80 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.1.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.20):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0{,}0027x - 0{,}0002$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9949$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,8} = 0{,}0032x + 0{,}0233$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9928$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,1} = 0{,}0024x + 0{,}0091$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9978$

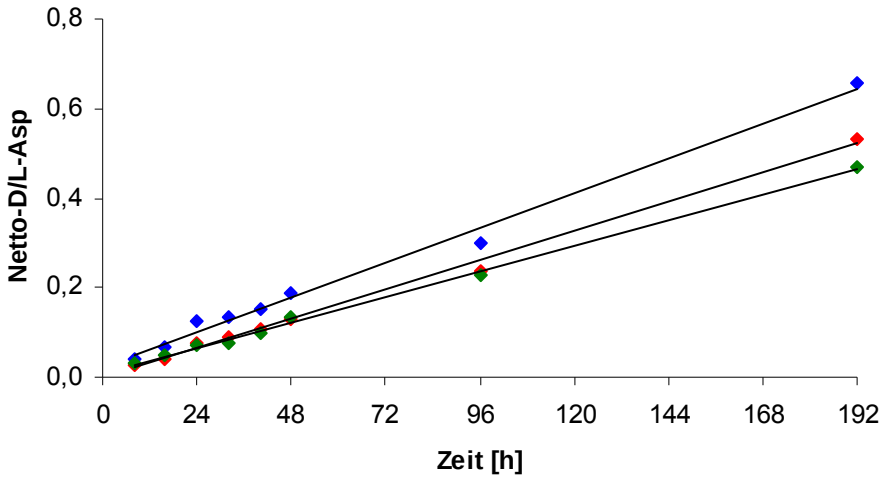


Abb. 4.20: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.1.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 100 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.1.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.21):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0{,}0074x + 0{,}0119$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9939$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,1} = 0{,}0069x + 0{,}0004$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9981$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,2} = 0{,}0073x - 0{,}0148$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9958$

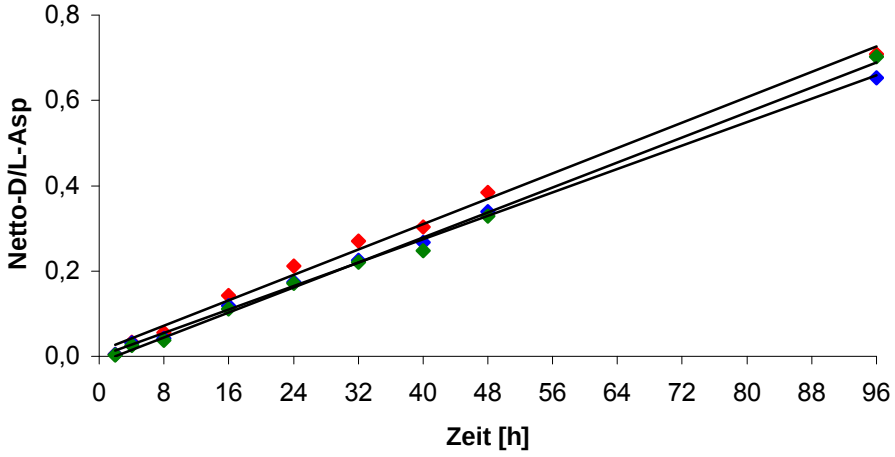


Abb. 4.21: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.2. Glutaminsäure

4.4.2.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 60 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.2.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.22):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0{,}0001x + 0{,}0012$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9944$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0{,}0001x + 0{,}0023$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9892$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0{,}0001x + 0{,}0012$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9889$

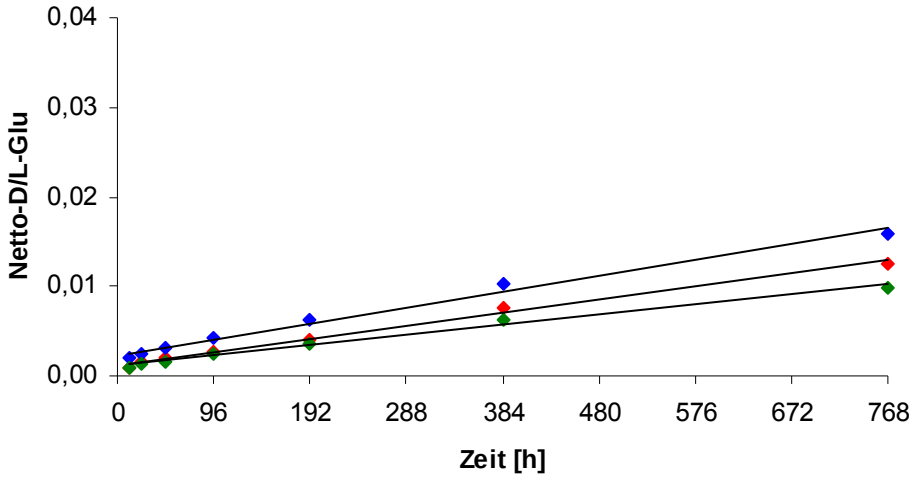


Abb. 4.22: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.2.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 80 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.2.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.23):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,6} = 0{,}0029x + 0{,}0363$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9974$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0{,}0034x - 0{,}0023$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9973$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,7} = 0{,}0027x + 0{,}0354$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9918$

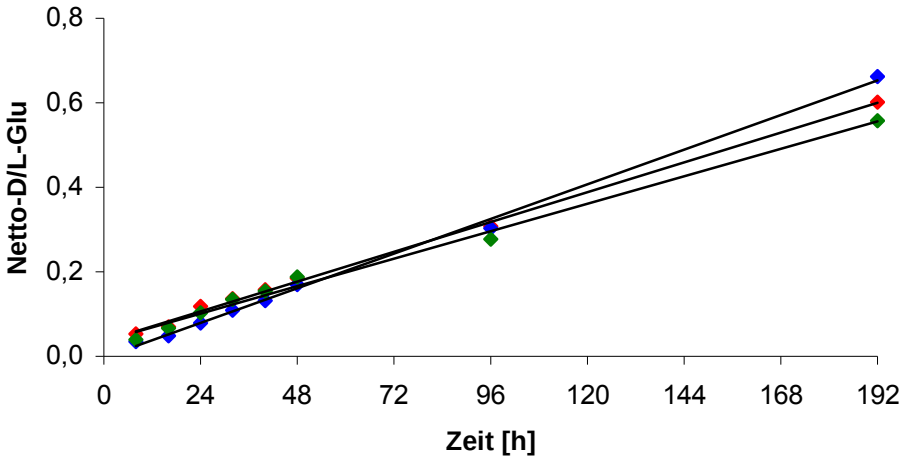


Abb. 4.23: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.2.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 100 °C von *C. edule* L. (Anhang 8.2.2.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.24):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,8} = 0,0062x - 0,0091$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9972$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,6} = 0,0057x + 0,0169$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9859$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,9} = 0,0059x - 0,0064$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9936$

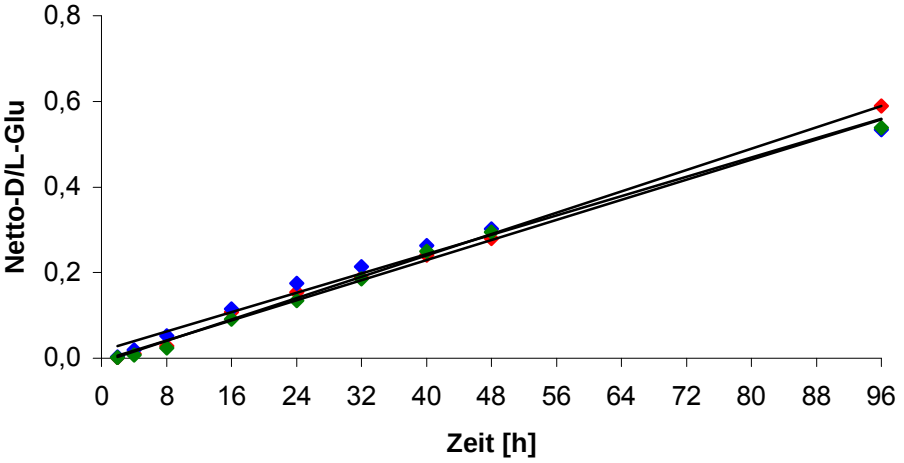


Abb. 4.24: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *C. edule* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.4.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *C. edule* L.

Die Umrechnung (Tab. 4.2) der Racemisierungsrate/h erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 8760 (1 a = 8760 h) zur Racemisierungsrate/a (Anhang 8.3.1.).

Temperatur [°C]	Asparaginsäure		Glutaminsäure	
	Racemisierungsrate/			
	h	a	h	a
60	0,00009	0,7884	0,0001	0,876
	0,00007	0,6132	0,0001	0,876
	0,00008	0,7008	0,0001	0,876
MW		0,70 ± 12,5 %		0,88 ± 0 %
80	0,0027	23,652	0,0029	25,404
	0,0032	28,032	0,0034	29,784
	0,0024	21,024	0,0027	23,652
MW		24,24 ± 14,6 %		26,28 ± 12 %
100	0,0074	64,824	0,0062	54,312
	0,0069	60,444	0,0057	49,932
	0,0073	63,948	0,0059	51,684
MW		63,07 ± 3,7 %		51,98 ± 4,2 %

Tab. 4.2: Racemisierungsraten/a für *C. edule* L.

4.4.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A*

Da es sich bei der Temperatur um den kontrollierenden Faktor bei der Racemisierung handelt, wird die Abhängigkeit der Racemisierungsrate von der Temperatur durch die Arrhenius-Gleichung (Gl. 1.7) beschrieben (Kapitel 1.3.1.).

Der natürliche Logarithmus der Racemisierungsrate verhält sich dabei umgekehrt proportional zur Temperatur mit einem präexponentiellen Faktor *A*, der abhängig von der Aktivierungsenergie E_a ist.

4.4.4.1. Berechnung von E_a und *A* für *C. edule* L. (Asparaginsäure)

Beim Auftragen von ln *k* (Anhang 8.3.1.) gegen 1/*T* im Arrhenius-Diagramm wird eine Gerade erhalten, aus deren Steigung m = $-E_a/R$ sich die Aktivierungsenergie E_a bestimmen lässt. Der Ordinatenabschnitt gibt den Wert für ln *A* an.

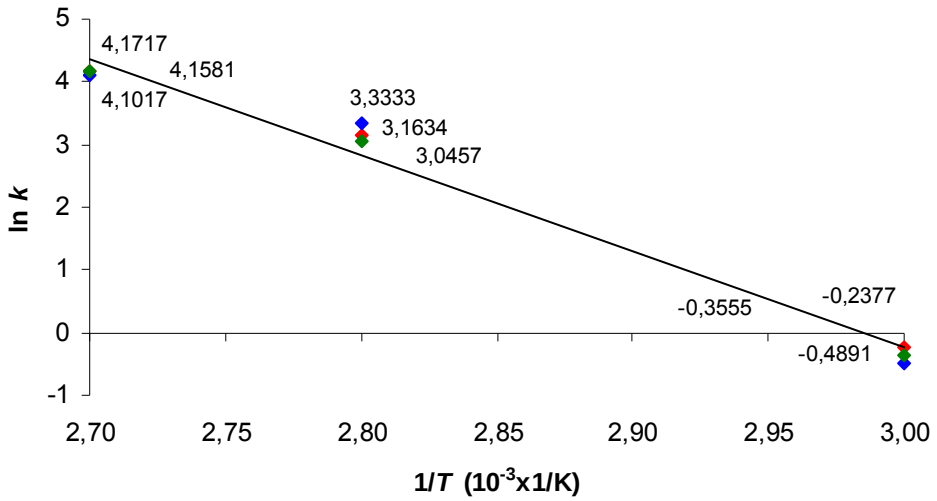


Abb. 4.25: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.25) der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = - 15{,}4x + 49{,}955,\ R^2 = 0{,}9812$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -15,4, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 49,955.

$$- E_a/R = -15{,}4$$

$$E_a = 30{,}6\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm\ 5{,}1\ \%]$$

$$\ln A = 49{,}955$$

$$A = 9{,}0783 \cdot 10^{19}\ [\pm\ 4{,}8\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (LINKE, 1939; EISMA, 1983; REINECK, 1987; LIEBEZEIT, 2004; NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE - FORSCHUNGS-STELLE KÜSTE, 2004; NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE BRAKE - OLDENBURG, 2006; BADEWIEN, 2008), die Racemisierungsrate k_{Asp}/a:

$$k_{Asp} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 9{,}0783 \cdot 10^{19} \cdot e^{-\frac{30{,}6\frac{\text{kcal}}{\text{mol}}}{1{,}987 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kcal}}{\text{mol}\cdot K} \cdot 283{,}65 K}} = 2{,}3943 \cdot 10^{-4}\ /\ \text{a}$$

4.4.4.2. Berechnung von E_a und A für *C. edule* L. (Glutaminsäure)

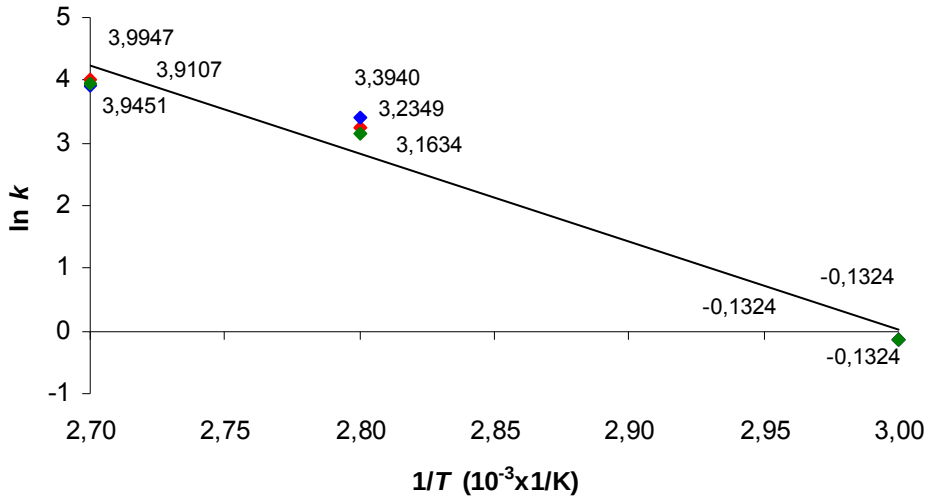


Abb. 4.26: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.26) der Heizexperimente mit *C. edule* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = -14{,}091x + 42{,}284,\ R^2 = 0{,}9683$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -14,091, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 42,284.

$$-E_a/R = -14{,}091$$

$$E_a = 28\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 4{,}8\ \%]$$

$$\ln A = 42{,}284$$

$$A = 2{,}3105 \cdot 10^{18}\ [\pm 4{,}6\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Glu}/a:

$$k_{Glu} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 2{,}3105 \cdot 10^{18} \cdot e^{-\frac{28\frac{\text{kcal}}{\text{mol}}}{1{,}987 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kcal}}{\text{mol}\cdot K} \cdot 283{,}65K}} = 6{,}1529 \cdot 10^{-4}\ /\,\text{a}$$

4.5. Heizexperimente mit *Mya arenaria* L.

Die Racemisierung von L- zu D-Asparaginsäure und L- zu D-Glutaminsäure in jungen Schalen von *M. arenaria* L. wurde während jeweils dreifach durchgeführter Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C bestimmt.

In den nachfolgenden Abbildungen der einzelnen Heizexperimente wird jeweils ln ((1 + (D/L)) / (1 - (D/L))) gegen die Zeit aufgetragen. Bei allen folgenden Ergebnissen wurde die chemisch induzierte Racemisierungsrate 0,0013 abgezogen, es handelt sich also um Netto-D/L-Asp- bzw. Netto-D/L-Glu-Verhältnisse.

4.5.1. Asparaginsäure

4.5.1.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 60 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.3.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.27):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-Asp})^{1,9} = 0{,}00009x + 0{,}001$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9963$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-Asp})^{1,8} = 0{,}00006x + 0{,}0015$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9877$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-Asp})^{1,9} = 0{,}00005x + 0{,}0014$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9611$

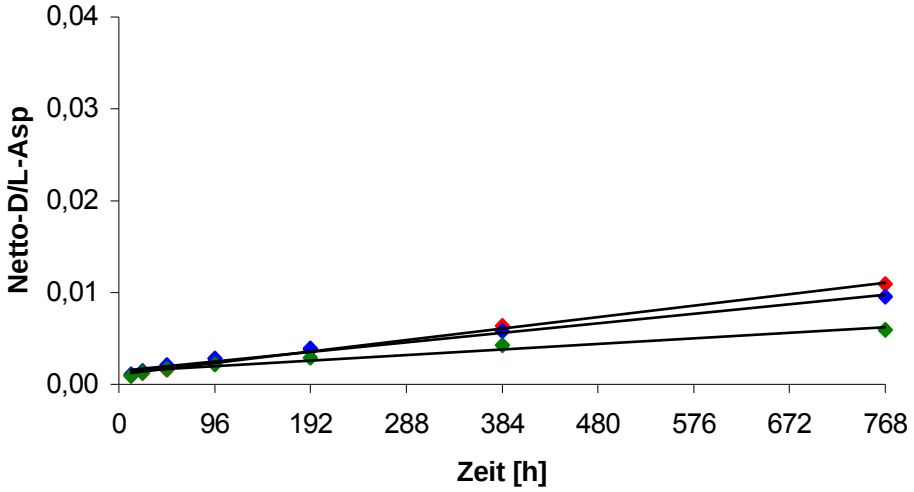


Abb. 4.27: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.1.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 80 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.3.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.28):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,4} = 0,0027x + 0,0469$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,997$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,9} = 0,0023x - 0,0065$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9919$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,4} = 0,0026x + 0,0524$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9928$

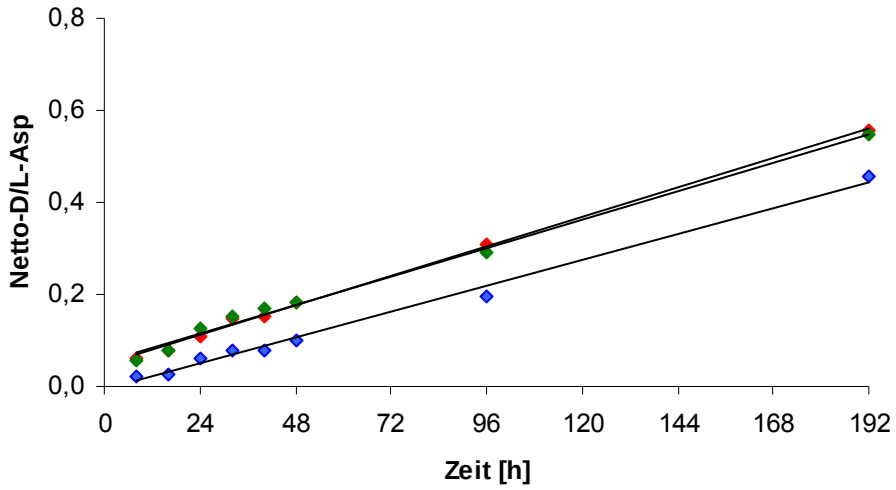


Abb. 4.28: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.1.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 100 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.3.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.29):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,8} = 0,0071x + 0,0127$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9915$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0,006x + 0,0079$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9913$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0,0063x - 0,000008$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9947$

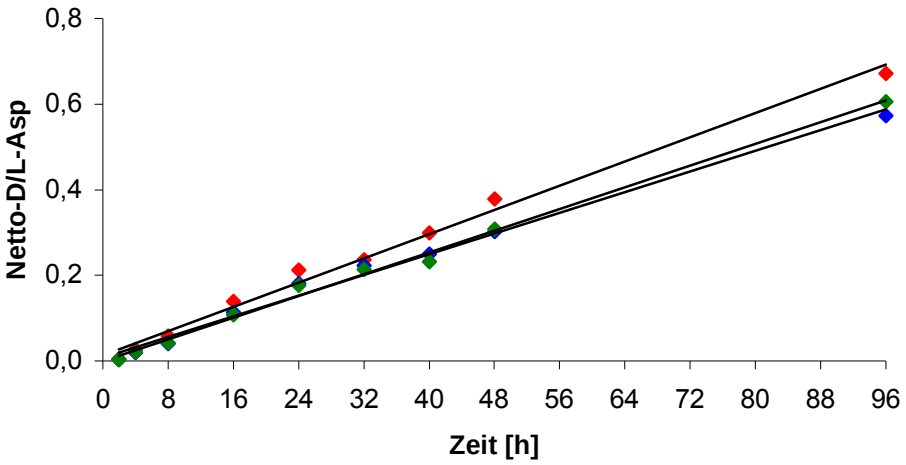


Abb. 4.29: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.2. Glutaminsäure

4.5.2.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 60 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.4.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.30):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0{,}0001x + 0{,}0006$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9904$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0{,}00008x + 0{,}0018$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9958$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0{,}00009x + 0{,}0007$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9982$

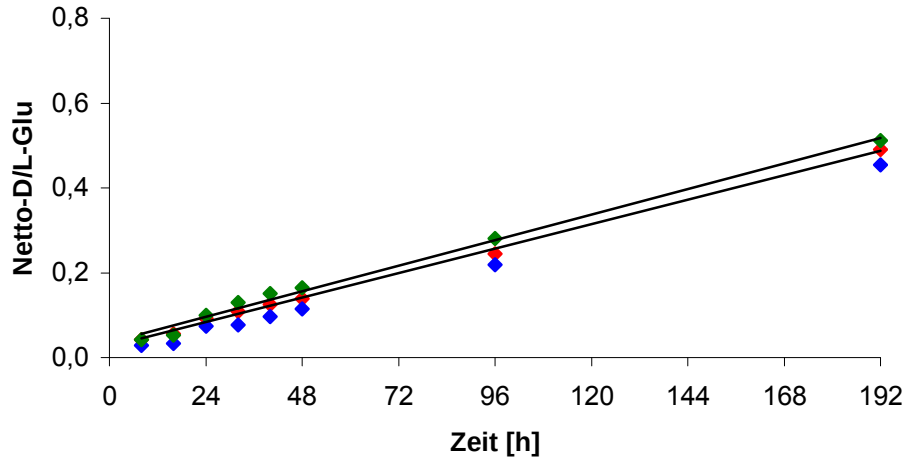


Abb. 4.30: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.2.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 80 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.4.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4. 31):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,6} = 0,0024x + 0,0253$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9977$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0,0023x + 0,0052$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9973$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,5} = 0,0025x + 0,0358$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9924$

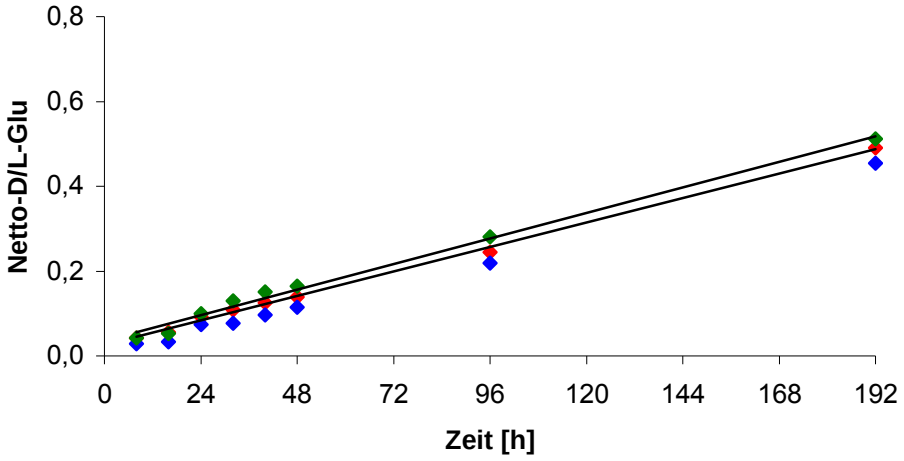


Abb. 4.31: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.2.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 100 °C von *M. arenaria* L. (Anhang 8.2.4.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.32):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0,0062x + 0,0081$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9947$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0,0061x - 0,0034$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9867$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0,0063x + 0,0049$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9939$

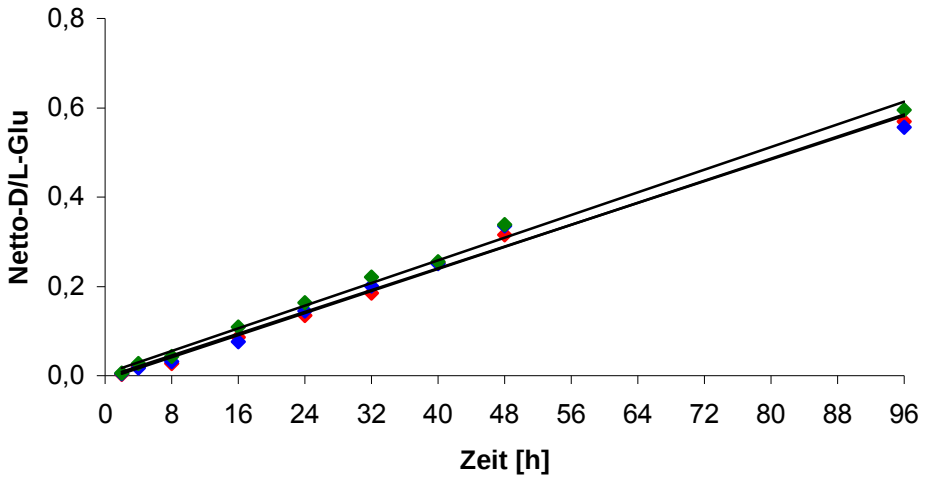


Abb. 4.32: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. arenaria* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.5.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L.

Die Umrechnung (Tab. 4.3) der Racemisierungsrate/h erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 8760 (1 a = 8760 h) zur Racemisierungsrate/a (Anhang 8.3.2.).

Temperatur [°C]	Asparaginsäure		Glutaminsäure	
	Racemisierungsrate/			
	h	a	h	a
60	0,00009	0,7884	0,00010	0,8760
	0,00006	0,5256	0,00008	0,7008
	0,00005	0,4380	0,00009	0,7884
MW		0,58 ± 31,2 %		0,79 ± 11,1 %
80	0,0027	23,652	0,0024	21,024
	0,0023	20,148	0,0023	20,148
	0,0026	22,776	0,0025	21,900
MW		22,19 ± 8,2 %		21,02 ± 4,2 %
100	0,0071	62,196	0,0062	54,312
	0,0060	52,560	0,0061	53,436
	0,0063	55,188	0,0063	55,188
MW		56,65 ± 8,8 %		54,31 ± 1,6 %

Tab. 4.3: Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L.

4.5.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors A

4.5.4.1. Berechnung von E_a und A für *M. arenaria* L. (Asparaginsäure)

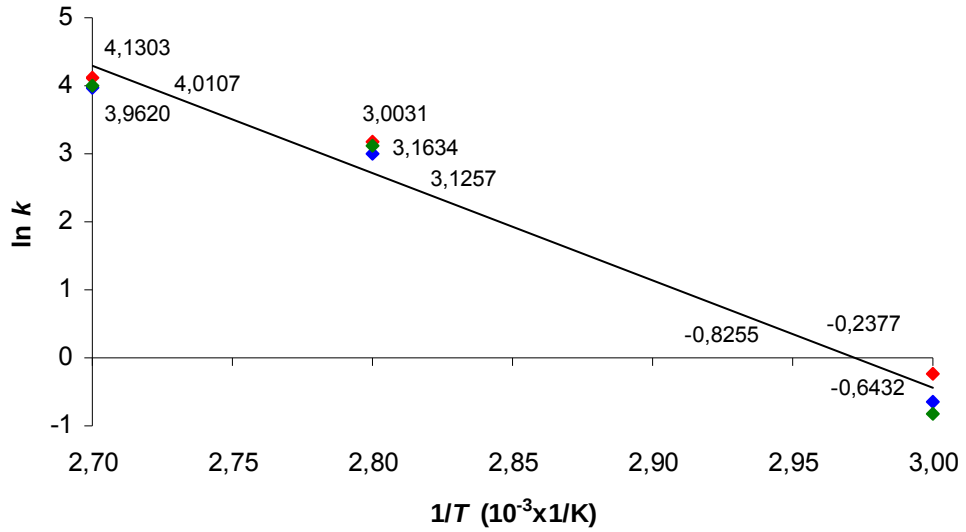


Abb. 4.33: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.33) der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = -15{,}771x + 46{,}871,\ R^2 = 0{,}9748$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -15,771, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 46,871.

$$-E_a/R = -15{,}771$$

$$E_a = 31{,}34\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 7{,}1\ \%]$$

$$\ln A = 46{,}871$$

$$A = 2{,}2689 \cdot 10^{20}\ [\pm 6{,}7\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Asp}/a:

$$k_{Asp} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 2{,}2689 \cdot 10^{20} \cdot e^{-\frac{31{,}34\frac{\text{kcal}}{\text{mol}}}{1{,}987 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kcal}}{\text{mol}\cdot K} \cdot 283{,}65 K}} = 1{,}6179 \cdot 10^{-4}\ /\text{a}$$

4.5.4.2. Berechnung von E_a und A für *M. arenaria* L. (Glutaminsäure)

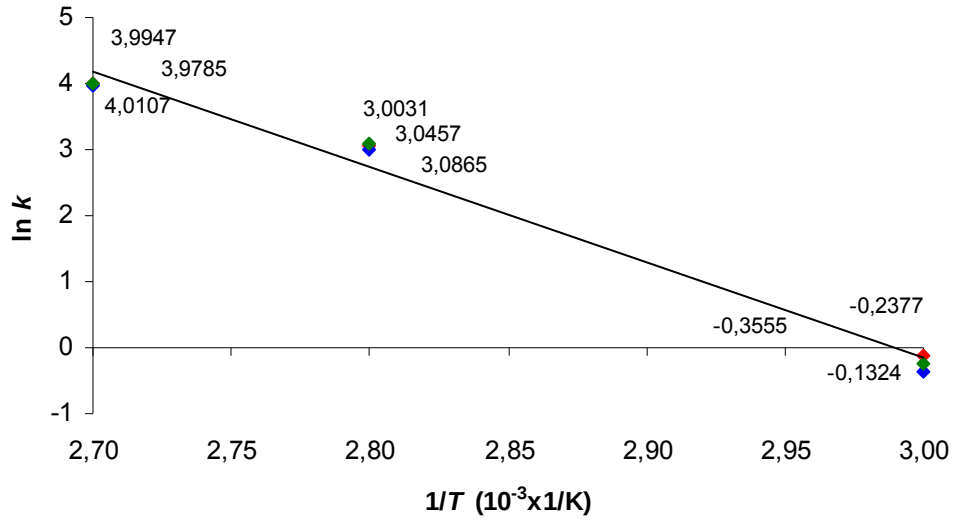


Abb. 4.34: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.34) der Heizexperimente mit *M. arenaria* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = - 14{,}452x + 43{,}214,\ R^2 = 0{,}9851$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -14,452, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 43,214.

$$- E_a/R = -14{,}452$$

$$E_a = 28{,}72\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 4{,}5\ \%]$$

$$\ln A = 43{,}214$$

$$A = 5{,}8560 \cdot 10^{18}\ [\pm 4{,}3\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Glu}/a:

$$k_{Glu} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 5{,}8560 \cdot 10^{18} \cdot e^{-\frac{28{,}72\frac{\text{kcal}}{\text{mol}}}{1{,}987\cdot10^{-3}\frac{\text{kcal}}{\text{mol}\cdot K}\cdot 283{,}65K}} = 4{,}3677 \cdot 10^{-4}\,/\,\text{a}$$

4.6. Heizexperimente mit *Mytilus edulis* L.

Die Racemisierung von L- zu D-Glutaminsäure in jungen Schalen von *M. edulis* L. wurde während jeweils dreifach durchgeführter Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C bestimmt. Die Racemisierungsrate nimmt mit zunehmender Annäherung an die Gleichgewichtskonzentration ab, d.h., das D/L-Verhältnis nähert sich asymptotisch an die Gleichgewichtskonzentration (D/L-Glu = 1) an.

In den nachfolgenden Abbildungen der einzelnen Heizexperimente wird jeweils ln ((1 + (D/L)) / (1 - (D/L))) gegen die Zeit aufgetragen. Bei allen folgenden Ergebnissen wurde die chemisch induzierte Racemisierungsrate 0,0016 abgezogen, es handelt sich also um Netto-D/L-Glu-Verhältnisse.

4.6.1. Glutaminsäure

4.6.1.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 60 °C von *M. edulis* L. (Anhang 8.2.5.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.35):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0{,}00005x + 0{,}0019$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9888$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0{,}0001x + 0{,}0013$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9977$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0{,}00008x + 0{,}0011$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9882$

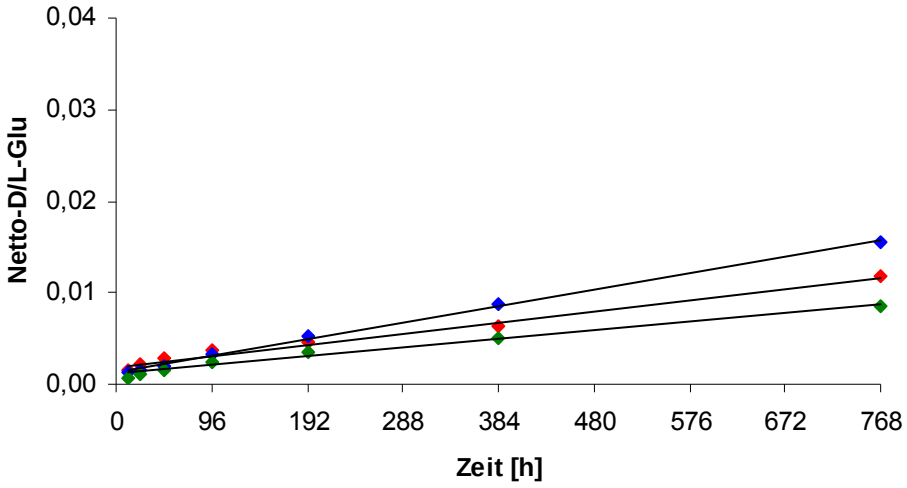


Abb. 4.35: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.6.1.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 80 °C von *M. edulis* L. (Anhang 8.2.5.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.36):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,3} = 0{,}003x + 0{,}0962$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}994$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0{,}0029x + 0{,}0162$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9976$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,2} = 0{,}0031x + 0{,}1216$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9927$

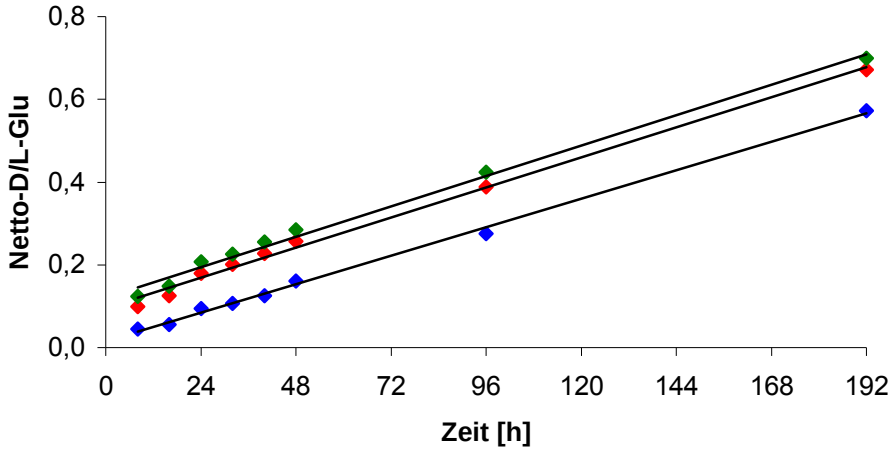


Abb. 4.36: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.6.1.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 100 °C von *M. edulis* L. (Anhang 8.2.5.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.37):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,7} = 0{,}0066x + 0{,}0044$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9878$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,9} = 0{,}0061x - 0{,}0054$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9937$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,8} = 0{,}0062x + 0{,}0045$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9875$

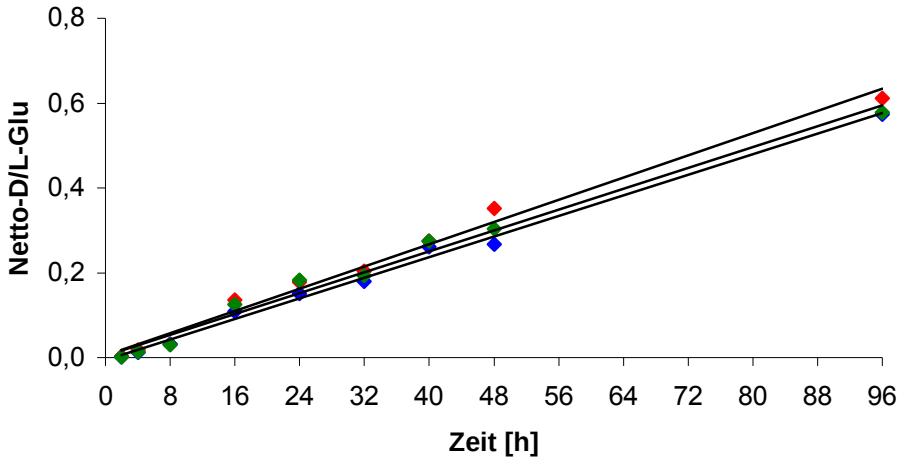


Abb. 4.37: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *M. edulis* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.6.2. Berechnung der Racemisierungsrate/a für *M. edulis* L.

Die Umrechnung (Tab. 4.4) der Racemisierungsrate/h erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 8760 (1 a = 8760 h) zur Racemisierungsrate/a (Anhang 8.3.3.).

Temperatur [°C]	Glutaminsäure	
	Racemisierungsrate/	
	h	a
60	0,00005	0,4380
	0,00010	0,8760
	0,00008	0,7008
MW		0,67 ± 32,8 %
80	0,0030	26,280
	0,0029	25,404
	0,0031	27,156
MW		26,28 ± 3,3 %
100	0,0066	57,816
	0,0061	53,436
	0,0062	54,312
MW		55,19 ± 4,2 %

Tab. 4.4: Racemisierungsrate/a für *M. edulis* L.

4.6.3. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors A

4.6.3.1. Berechnung von E_a und A für *M. edulis* L. (Glutaminsäure)

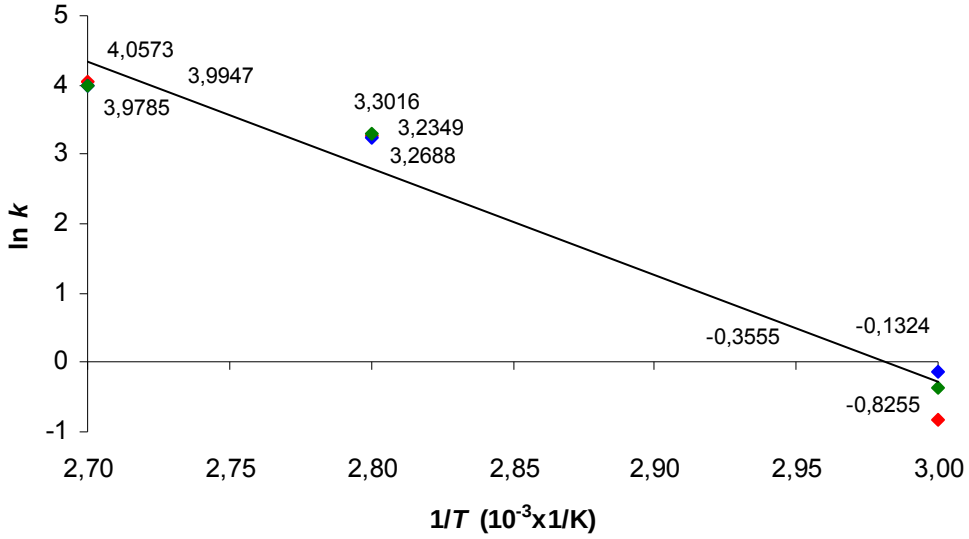


Abb. 4.38: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *M. edulis* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.38) der Heizexperimente mit *M. edulis* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = -15{,}356x + 45{,}789,\ R^2 = 0{,}9617$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -15,356, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 45,789.

$$-E_a/R = -15{,}356$$

$$E_a = 30{,}51\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 9{,}6\ \%]$$

$$\ln A = 45{,}789$$

$$A = 7{,}6897 \cdot 10^{19}\ [\pm 9\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 12,5 °C (285,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Glu}/a:

$$k_{Glu} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 7{,}6897 \cdot 10^{19} \cdot e^{-\frac{30{,}51\frac{kcal}{mol}}{1{,}987 \cdot 10^{-3}\frac{kcal}{mol \cdot K} \cdot 285{,}65K}} = 3{,}4599 \cdot 10^{-4}\ /\,a$$

Zum vollständigen Lösen der Arrhenius-Gleichung wurden hier 12,5 °C anstatt der in der Literatur angegebenen 10,5 °C eingesetzt. Bereits ZIEHE (2005) verwendete zur Berechnung der Racemisierungsrate k_{Asp} für *M. edulis* L. eine um 2 °C höhere durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur, da *M. edulis* L. vorwiegend im Eulitoral anzutreffen ist und epibenthonisch lebt. Seiner Meinung nach ist sie beim Trockenfallen des Watts einer wesentlich stärkeren Sonneneinstrahlung ausgesetzt als beispielsweise *C. edule* L., *M. arenaria* L. und *S. plana* L., die endobenthonisch leben. Bis zum Einsedimentieren zu einem späteren Zeitpunkt bleiben lebende und bereits abgestorbene *Mytilus*-Schalen somit für einen längeren Zeitraum an der Sedimentoberfläche. Das hat zur Folge, dass sich die dunkle, blauschwarze *Mytilus*-Schale wesentlich schneller und intensiver aufheizt als vergleichbare helle Schalen anderer Spezies. Die Wärmeabsorption ist somit bedeutend höher. Durch die massive direkte Sonneneinstrahlung bei Ebbe wird die chemisch induzierte Racemisierung der im lebenden Gewebe vorhandenen L-Aminosäuren möglicherweise schon zu Lebzeiten vorangetrieben.

Ein Versuch zur Wärmeabsorption von *M. edulis* L. (Kapitel 3.11.), bei dem *in situ*-Temperaturen auf Muschelschalen bzw. im Sediment gemessen wurden, soll zur Klärung dieses Sachverhalts beitragen.

4.7. Heizexperimente mit *Scrobicularia plana* L.

Die Racemisierung von L- zu D-Asparaginsäure und L- zu D-Glutaminsäure in jungen Schalen von *S. plana* L. wurde während jeweils dreifach durchgeführter Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C bestimmt.

In den nachfolgenden Abbildungen der einzelnen Heizexperimente wird jeweils ln ((1 + (D/L)) / (1 - (D/L))) gegen die Zeit aufgetragen. Bei allen folgenden Ergebnissen wurde die chemisch induzierte Racemisierungsrate 0,0013 abgezogen, es handelt sich also um Netto-D/L-Asp- bzw. Netto-D/L-Glu-Verhältnisse.

4.7.1. Asparaginsäure

4.7.1.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 60 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.6.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.39):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,8} = 0{,}00009x + 0{,}0008$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9962$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,9} = 0{,}00007x + 0{,}0006$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9982$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,8} = 0{,}00008x + 0{,}0013$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9981$

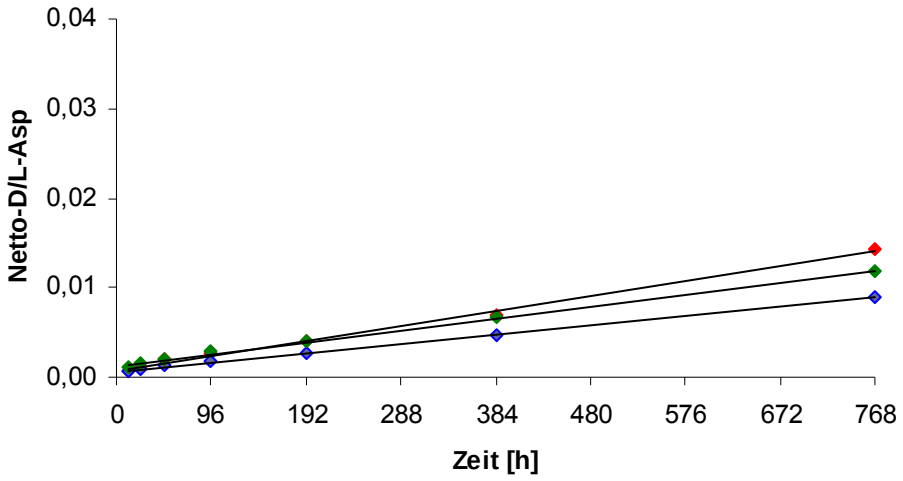


Abb. 4.39: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.1.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 80 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.6.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.40):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,1} = 0,0029x - 0,0061$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9914$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,9} = 0,0028x + 0,0231$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9973$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,3} = 0,0027x - 0,0171$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0,9855$

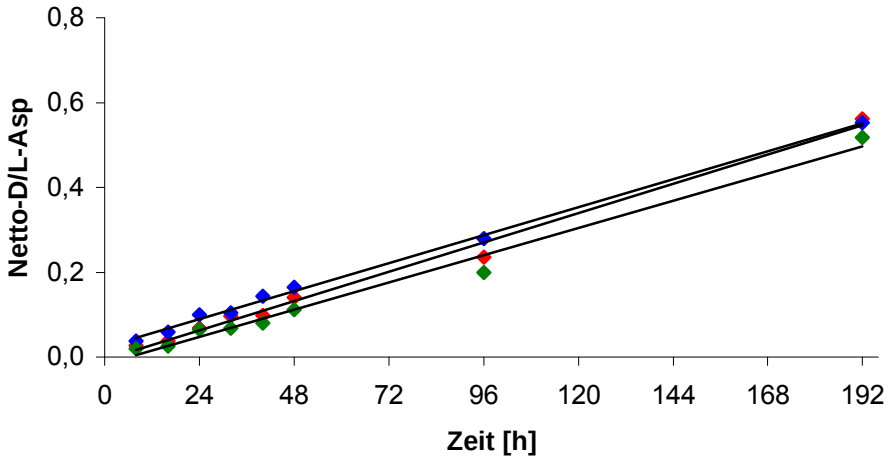


Abb. 4.40: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.1.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 100 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.6.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.41):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{1,9} = 0{,}0077x + 0{,}0282$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9907$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,0} = 0{,}0081x - 0{,}003$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9977$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Asp)^{2,3} = 0{,}0074x - 0{,}0166$ [D/L-Asp/h], $R^2 = 0{,}9950$

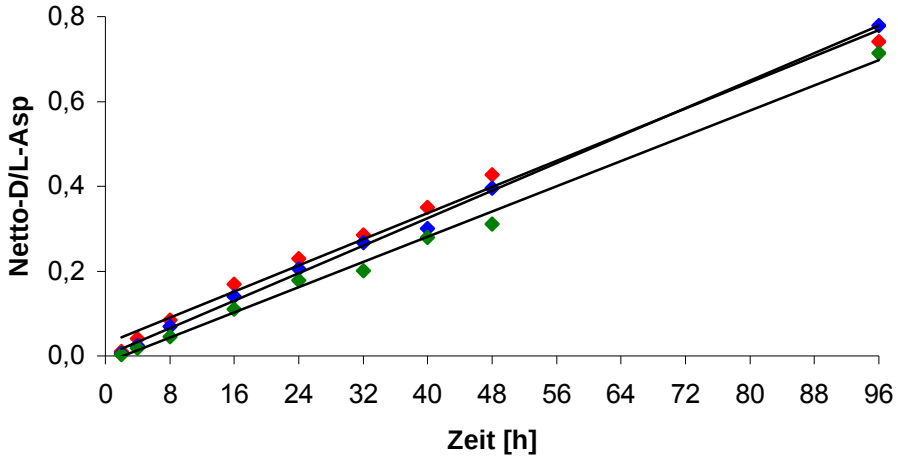


Abb. 4.41: Netto-D/L-Asp vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.2. Glutaminsäure

4.7.2.1. Heizexperimente bei 60 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Asp-Racemisierungsrate bei 60 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.7.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4. 42):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,8} = 0{,}00009x + 0{,}0011$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9966$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0{,}00009x + 0{,}0003$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9974$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,9} = 0{,}0001x + 0{,}0002$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0{,}9952$

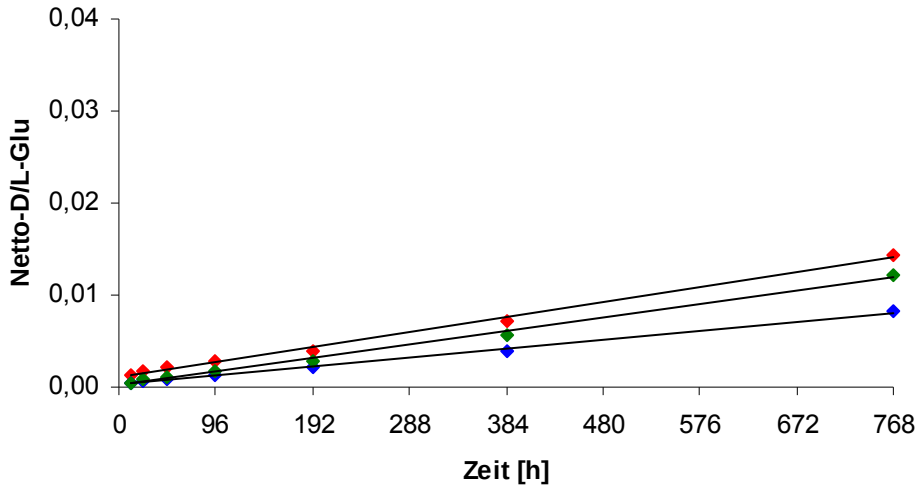


Abb. 4.42: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 60 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.2.2. Heizexperimente bei 80 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 80 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.7.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.43):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,4} = 0,003x + 0,0896$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9928$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,0} = 0,0027x + 0,0313$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9962$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{1,6} = 0,0033x + 0,0695$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9923$

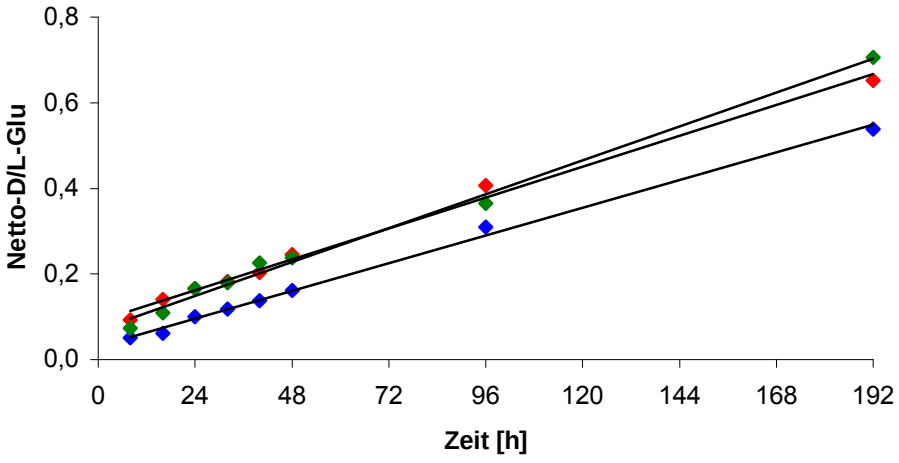


Abb. 4.43: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 80 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.2.3. Heizexperimente bei 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Glu-Racemisierungsrate bei 100 °C von *S. plana* L. (Anhang 8.2.7.) wurden Exponenten ermittelt. Mit Hilfe der linearen Regression ergaben sich folgende Gleichungen für die jeweilige Ausgleichsgerade (Abb. 4.44):

1. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,6} = 0,0056x + 0,0065$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9876$
2. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,8} = 0,0058x - 0,002$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,9855$
3. Durchgang (◆): $(D/L\text{-}Glu)^{2,3} = 0,0074x - 0,0166$ [D/L-Glu/h], $R^2 = 0,995$

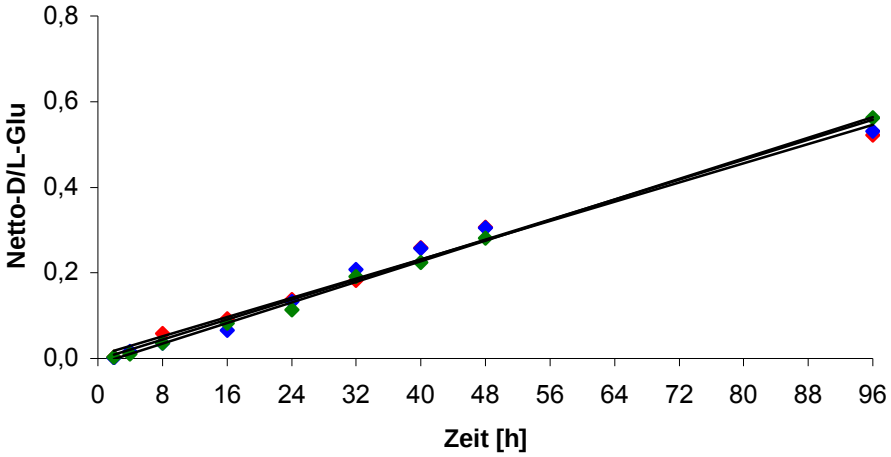


Abb. 4.44: Netto-D/L-Glu vom Heizexperiment mit *S. plana* L. bei 100 °C (1. - 3. Durchgang)

4.7.3. Berechnung der Racemisierungsraten/a für *S. plana* L.

Die Umrechnung (Tab. 4.5) der Racemisierungsrate/h erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 8760 (1 a = 8760 h) zur Racemisierungsrate/a (Anhang 8.3.4.).

Temperatur [°C]	Asparaginsäure		Glutaminsäure	
	Racemisierungsrate/			
	h	a	h	a
60	0,00009	0,7884	0,00009	0,7884
	0,00007	0,6132	0,00009	0,7884
	0,00008	0,7008	0,00010	0,8760
MW		0,70 ± 12,5 %		0,82 ± 6,2%
80	0,0029	25,404	0,0030	26,280
	0,0028	24,528	0,0027	23,652
	0,0027	23,652	0,0033	28,908
MW		24,53 ± 3,6 %		26,28 ± 10 %
100	0,0077	67,452	0,0056	52,560
	0,0081	70,956	0,0058	50,808
	0,0074	64,824	0,0056	49,056
MW		67,74 ± 4,5 %		50,81 ± 3,5 %

Tab. 4.5: Racemisierungsraten/a für *S. plana* L.

4.7.4. Berechnung der Aktivierungsenergie E_a und des präexponentiellen Faktors *A*

4.7.4.1. Berechnung von E_a und *A* für *S. plana* L. (Asparaginsäure)

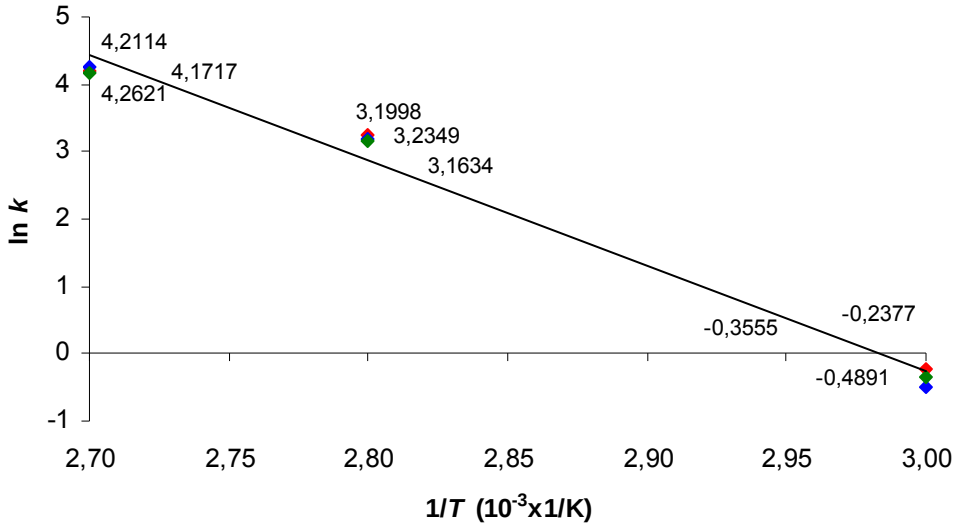


Abb. 4.45: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *S. plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.45) der Heizexperimente mit *S. plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Asp) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = -15{,}617x + 46{,}599,\ R^2 = 0{,}9845$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -15,617, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 46,599.

$$-E_a/R = -15{,}617$$

$$E_a = 31{,}03\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 5{,}2\ \%]$$

$$\ln A = 46{,}599$$

$$A = 1{,}7286 \cdot 10^{20}\ [\pm 4{,}6\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Asp}/a:

$$k_{Asp} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 1{,}7286 \cdot 10^{20} \cdot e^{-\frac{31{,}03\frac{kcal}{mol}}{1{,}987 \cdot 10^{-3}\frac{kcal}{mol \cdot K} \cdot 283{,}65K}} = 2{,}1214 \cdot 10^{-4}/a$$

4.7.4.2. Berechnung von E_a und A für *S. plana* L. (Glutaminsäure)

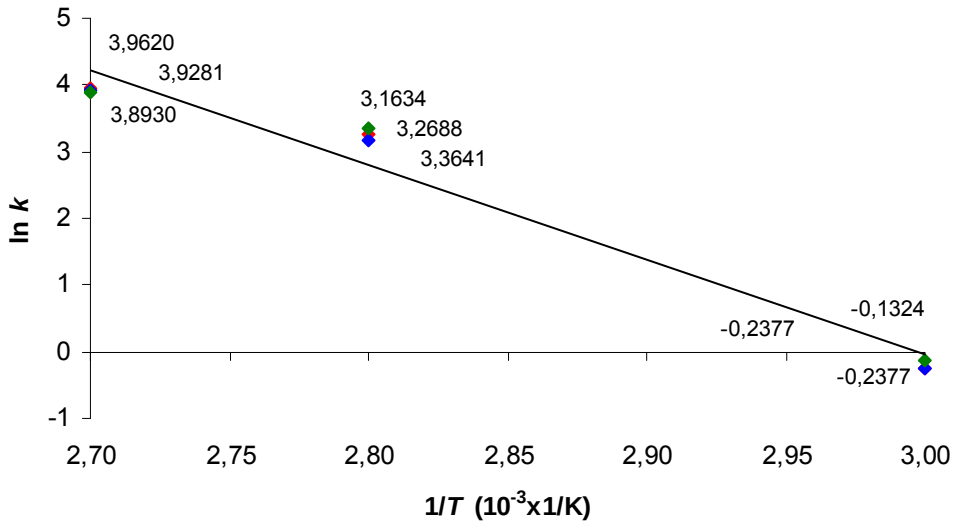


Abb. 4.46: Arrhenius-Diagramm der Heizexperimente mit *S. plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu)

Aus dem Arrhenius-Diagramm (Abb. 4.46) der Heizexperimente mit *S*. *plana* L. bei 60, 80 und 100 °C (für Glu) wurde mit Hilfe der linearen Regression folgende Gleichung für die Ausgleichsgerade ermittelt:

$$y = - 14{,}278x + 42{,}785,\ R^2 = 0{,}9657$$

Für die Steigung m ergibt sich der Wert -14,278, für den Ordinatenabschnitt ergibt sich 42,785.

$$- E_a/R = -14{,}278$$

$$E_a = 28{,}37\ \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\ [\pm 5{,}4\ \%]$$

$$\ln A = 42{,}785$$

$$A = 3{,}8132 \cdot 10^{18}\ [\pm 5{,}1\ \%]$$

Durch Einsetzen in die Arrhenius-Gleichung ergibt sich, unter Annahme einer durchschnittlichen Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C (283,65 K) (s.o.), die Racemisierungsrate k_{Glu}/a:

$$k_{Glu} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} = 3{,}8132 \cdot 10^{28} \cdot e^{-\frac{28{,}37\frac{kcal}{mol}}{1{,}987\cdot10^{-3}\frac{kcal}{mol\cdot K}\cdot 283{,}65K}} = 5{,}2523 \cdot 10^{-4}/a$$

4.8. Heizexperimente mit *Cerastoderma edule* L., *Mya arenaria* L., *Mytilus edulis* L. und *Scrobicularia plana* L.

Die Racemisierung von L- zu D-Asparagin- bzw. Glutaminsäure in jungen Schalen von *C*. *edule* L., *M*. *arenaria* L., *M*. *edulis* L. und *S*. *plana* L. wurde während der Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C bestimmt. Die Racemisierungsrate nimmt mit zunehmender Annäherung an die Gleichgewichtskonzentration ab, d.h., das D/L-Verhältnis nähert sich asymptotisch an die Gleichgewichtskonzentration (D/L-Asp bzw. D/L-Glu = 1) an.

4.8.1. Heizexperimente bei 60, 80 und 100 °C

Für die linearisierte Zeitabhängigkeit der D/L-Racemisierungsrate bei 60, 80 und 100 °C wurden Exponenten für y eingeführt. Die gute Abdeckung der Werte zeigt sich in einem hohen Bestimmtheitsmaß R^2 >0,9583 (für 60 °C) und R^2 >0,9855 (für 80 bzw. 100 °C).

4.9. Übersicht aller Aktivierungsenergien und Racemisierungsraten

In Tabelle 4.6 sind alle ermittelten Aktivierungsenergien E_a und Racemisierungsraten k/a aufgeführt. Zusätzlich sind die von ZIEHE (2005) ermittelten Werte für *M. edulis* L. (für Asparaginsäure) mit eingefügt.

	Aktivierungsenergie E_a [kcal·mol^{-1}]		Racemisierungsrate k/a ($\cdot 10^{-4}$)	
	Asp	Glu	Asp	Glu
Cerastoderma edule L.	30,60	28,00	2,3943	6,1529
Mya arenaria L.	31,34	28,72	1,6179	4,3677
Mytilus edulis L.	33,09	30,51	1,8501	3,4599
Scrobicularia plana L.	31,03	28,37	2,1214	5,2523
MW	31,52 ± 3,5 %	28,90 ± 3,9 %	2,00 ± 16,8 %	4,81 ± 24,1 %

Tab. 4.6: Übersicht aller Aktivierungsenergien und Racemisierungsraten

4.10. Arrhenius-Kinetik

4.10.1. Folge einer abweichenden Umgebungstemperatur

Für die eingesetzte Jahresumgebungstemperatur von 10,5 °C wurden Racemisierungsraten von k_{Asp} = 2,3943 · 10^{-4} /a (für *C. edule* L.), k_{Asp} = 1,6179 · 10^{-4} /a (für *M. arenaria* L.) und k_{Asp} = 2,1214 · 10^{-4} /a (für *S. plana* L.) berechnet. Sie liegen im Bereich der von BEHRENDS et al. (2003) gefundenen k_{Asp} = 1,47 · 10^{-5} /a für *C. edule* L., die allerdings auf einer ^{14}C-Kalibrierung basiert.

Eine Abweichung der Jahresdurchschnittstemperatur um ein Grad nach unten hätte eine geringere Racemisierungsrate zur Folge. Demzufolge wäre das berechnete Alter für das Schalenmaterial zu hoch, wenn die tatsächliche Umgebungstemperatur in der Zeitspanne wärmer gewesen wäre, in der das zu datierende Objekt im Boden lag. Eine Abweichung von 23 % resultiert.

Andererseits wäre das berechnete Alter zu jung, wenn die Umgebungstemperatur während der zu datierenden Zeitspanne niedriger gewesen wäre. Die Racemisierungsrate wäre höher, das Alter aber jünger. Wiederum resultiert eine Abweichung von 23 %.

Die Wahl der „richtigen“ Temperatur ist also der entscheidende Faktor bei der Datierung mit der AAR-Methode. Die Wahl der Temperatur oder eine bedeutende Klimaänderung in der Zeitspanne, in der das zu datierende Objekt im Boden lag, kann daher zu erheblichen Fehlern führen.

Nach BADA (1982) spielt in Tiefseesedimenten der Temperatureffekt keine entscheidende Rolle, da hier konstante Temperaturverhältnisse vorliegen.

4.10.2. Durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur

Bereits VEENSTRA berichtet in seiner 1983 erschienenen Arbeit, dass nicht viel über die Temperatur während der letzten 2.000 Jahre im Bereich des nordwesteuropäischen Wattenmeers bekannt ist.

Kontinuierliche meteorologische Beobachtungen wurden in England erst seit 1680 bzw. in den Niederlanden seit 1720 durchgeführt. Der 10-Jahres-Durchschnitt der Temperatur in den Niederlanden während des 18. und des 19. Jahrhunderts beträgt 9 °C, im 20. Jahrhundert liegt er bei 9,3 °C. Die durchschnittliche Temperatur der letzten 75 Jahre beträgt 9,5 °C (VEENSTRA, 1983).

Die Suche nach Jahresdurchschnittstemperaturen in der Literatur insbesondere für die Untersuchungsgebiete, den Bereich des Niedersächsischen und des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeers, erwies sich daher als schwierig. Es wurden nur vereinzelt einige regional und standortspezifisch bedingte Jahresdurchschnittstemperaturen gefunden, die jedoch nicht unbedingt eine längere Zeitspanne repräsentieren. Von West nach Ost betrachtet wurde für Roptazijl/Marsdiep in den Niederlanden eine Temperatur von 9,9 °C für die Jahre 1935 - 1939 (EISMA, 1983), für Norderney 11,3 °C für 1985 - 2002 (NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE BRAKE - OLDENBURG, 2006), für den Messpfahl vor Spiekeroog 10,9 °C für 2004 - 2007 (BADEWIEN, 2008), für die Außenjade in Wilhelmshaven 9,8 °C für 1969 - 1983 (REINECK, 1987), für die Jade (NWO-Terminal) in Wilhelmshaven 12,2 °C für 2000 - 2004 (LIEBEZEIT, 2004), für den Helgolandkai in Wilhelmshaven 10,8 °C für 1998 - 2003 (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE - FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE, 2004) und für das Jadebusenwatt 9,7 °C für 1935 (LINKE, 1939) gefunden.

Aus den aufgeführten Literaturwerten für eine durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur der letzten Jahre ergab sich ein Mittelwert von 10,5 °C (± 9 %).

Aktuelle Temperaturdaten infolge des globalen Temperaturanstiegs sollten allerdings nicht dazu führen, die oben ermittelte durchschnittliche Jahresumgebungstemperatur zu überschätzen. Daher sollten lokal ermittelte Durchschnittstemperaturen auch keinesfalls mit globalen Temperaturanstiegskurven korrigiert werden (CHURCH & WHITE, 2006).

Nun stellt sich jedoch die Frage, ob die oben aufgeführten Jahresumgebungstemperaturen, bei denen es sich ausschließlich um Wassertemperaturen handelt, tatsächlich zum Lösen der Arrhenius-Gleichung herangezogen werden können, da in der Literatur kaum Temperatur-Daten für die oberen 30 cm Sediment vorliegen.

Aktuelle Temperatur-Daten vom Janssand (Abb. 4.47) zeigen jedoch, dass auch Wassertemperaturen bis zu einer Tiefe von 30 cm genutzt werden können (LIEBEZEIT, 2005).

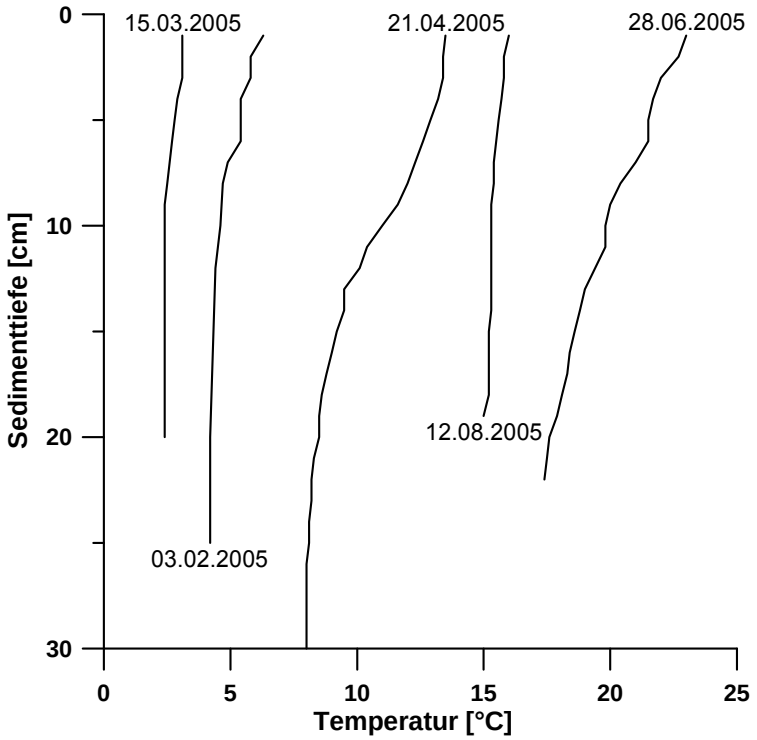


Abb. 4.47: Temperatur-Daten vom Janssand

Die ermittelten Daten zeigen im Durchschnitt nur äußerst geringfügige Abweichungen von max. <1 °C zwischen der Wasser- und der Sedimenttemperatur in 30 cm Tiefe.

Zum gleichen Ergebnis kommt eine Studie zur Bestimmung von Sedimenttemperaturen vor Neuharlingersiel, bei der Sedimenttemperaturen bis zu einer Tiefe von 50 cm ermittelt wurden (SASS et al., 2003). Diese Tatsache ist insbesondere für *M*. *arenaria* L. von Bedeutung, die vorwiegend in 20 - 25 cm Tiefe anzutreffen ist. Des Weiteren betrifft dies die ebenfalls endobenthonisch lebende *S*. *plana* L. (in 15 cm Tiefe), *C*. *edule* L. (in 1 - 2 cm Tiefe) hingegen weniger. Für *M*. *edulis* L., die vorwiegend im Eulitoral anzutreffen ist und epibenthonsich lebt, ist dieser Sachverhalt dagegen nicht von Bedeutung.

Weitere Temperaturmessungen für die Jade aus dem Zeitraum 1988 - 2006 zeigen, dass zwischen dem inneren und äußeren Wattenmeer zumindest im Wasser kein Unterschied besteht (FLEMMING, 2006).

VON REINECK & FLEMMING (1990) ermittelte Temperatur-Daten an 10 Messstationen des Jadefahrwassers zeigen ebenfalls nur eine geringe Abweichung der Temperatur, die maximal 1 °C erreicht. Auffallend ist, dass die mittlere Jahrestemperatur im Messzeitraum von August 1988 bis Juni 1989 an allen Stationen annähernd gleich geblieben ist, d.h., dass alle jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen an den einzelnen Messstationen gleichmäßig ausgeglichen worden sind.

Während das Watt von Wasser bedeckt ist, wird die Temperatur der obersten Bodenschicht von der Wassertemperatur beeinflusst. Östlich von Dangast untersuchte HOBBENSIEFKEN (1997) direkt nach dem Trockenfallen des Watts die noch von der Temperatur des Flutwassers beeinflusste Temperatur des Kolkwassers. Dabei stellte sie keine signifikanten Unterschiede in bezug auf Temperaturmessungen in 7 cm Tiefe fest. Trockengefallene Tafeln und wassergefüllte Kolke zeigen demnach keine Auswirkung der Sonnenstrahlung auf die Bodentemperatur in dieser Tiefe. Zu erklären ist dies u.a. mit dem hohen Temperaturgefälle in Schlickböden, bedingt durch den geringen Porenraum und den hohen Wassergehalt (LINKE, 1939).

4.10.3. Bedeutung der Umgebungstemperatur

Ist die Umgebungstemperatur einer fossilen Probe bekannt, kann aus der Umlagerungsrate das Alter der Probe berechnet werden. Zum anderen muss die Durchschnittstemperatur des zu bestimmenden Zeitraums bekannt sein, da die Umwandlung in Racemate stark von Umweltfaktoren, wie z.B. Temperaturwechseln, abhängt. Eine bedeutende Klimaänderung in der Zeitspanne, in der das zu datierende Objekt im Boden lag, kann daher zu erheblichen Fehlern führen. Ein Temperaturunterschied von einem Grad hat eine Abweichung von 19 % (proteinogene Aminosäuren bei Säugetieren; BADA, 1982), 16 % (Isoleucin; BROWN, 1985) und 19 % (Asparaginsäure in biogenen Carbonaten; GOODFRIEND et al., 1995) bei der Racemisierungsrate zur Folge.

4.10.4. Faktoren, welche die Racemisierungsrate beeinflussen

Faktoren, welche die Racemisierungsrate von Aminosäuren in biogenen Carbonaten des Weiteren beeinflussen können, werden u.a. von SMITH et al. (1978) und BROWN (1985) diskutiert. Neben der in Kapitel 4.10.1. bereits konkretisierten essentiellen Bedeutung der Umgebungstemperatur, von der jedoch angenommen wird, dass sie sich während der letzten Jahrhunderte für das Wattenmeer nicht bedeutsam verändert hat, werden weitere Faktoren genannt. Die Wasserkonzentration in unmittelbarer Umgebung des Schalenmaterials kann dabei für das Wattenmeer als gesättigt angesehen werden. Nebenbei wird der pH-Wert als konstant ~8 angenommen und sollte sich auch im anoxischen Milieu nicht signifikant ändern. Zum Bindungszustand der Aminosäuren lässt sich festhalten, dass die Anzahl der frei vorhandenen Aminosäuren mit zunehmendem Alter ansteigt, die Proteine in der Carbonatmatrix allerdings relativ lange erhalten bleiben (PENKMAN et al., 2008). Indes können Hydrolyseprozesse zur Bildung von freien Aminosäuren führen, die durch Auswaschung aus der Carbonatmatrix herausgelöst werden und somit zur Abnahme des Proteingehalts mit zunehmendem Alter führen (KAISER & BENNER,

2005). PEDERSEN et al. (2001) berichten des Weiteren von einem möglichen bakteriellen Einfluss auf die Racemisierung, der allerdings zu vernachlässigen ist.

Somit lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Wahl der „richtigen" Temperatur der entscheidende Faktor bei der Datierung mit der AAR-Methode ist.

4.10.5. Vergleich mit in der Literatur aufgeführten Aktivierungsenergien

Die in Kapitel 4.9. aufgeführten Aktivierungsenergien liegen im Bereich der von GOODFRIEND et al. (1996) für Asparaginsäure angegebenen 30 - 31 kcal·mol^{-1} für *Mya arenaria* und *Hiatella arctica* bzw. 25 - 29 kcal·mol^{-1} für *Trochoidea seetzeni* (GOODFRIEND & MEYER, 1991). MANLEY et al. (2000) ermittelten ebenfalls Aktivierungsenergien für Asparaginsäure von 30,08 für *Mya truncata* bzw. 30,16 kcal·mol^{-1} für *Hiatella arctica*. KAUFMAN (2006) berichtet von 31,5 ± 0,2 und 31,2 ± 0,3 kcal·mol^{-1} für Asparagin- und Glutaminsäure für die Foraminifere *Pulleniatina*. Nach GOODFRIEND & MEYER (1991) sind Werte bis 37 kcal·mol^{-1} realistisch, in der Regel liegen sie allerdings zwischen 23 - 31 kcal·mol^{-1}. Die meisten in der Literatur aufgeführten Aktivierungsenergien beziehen sich allerdings auf Isoleucin.

4.10.6. Vergleich mit in der Literatur aufgeführten Racemisierungsraten

Die in Kapitel 4.9. aufgeführten Racemisierungsraten liegen im Bereich der von BADA & PROTSCH (1973) für Asparaginsäure angegebenen 1,48 $\pm$ 0,09 · 10^{-5} *k*/a für fossile Knochen. PETIT (1974) berichtet von k_{Asp} = 2,5 $\pm$ 0,6 · 10^{-5} /a für ^{14}C-datierten versteinerten Unrat Amerikanischer Buschratten. BADA & SCHROEDER (1975) ermittelten k_{Asp} = 1,25 - 4,84 · 10^{-5} /a ebenfalls für fossile Knochen. IKE et al. (1979) berichten über k_{Asp} von 1,5 · 10^{-5} /a für Skelette. Des Weiteren referieren WAITE et al. (1999) über diverse Racemisierungsraten für Asparaginsäure von 5,68 - 8,35 · 10^{-4} *k*/a für Dentin. Ebenfalls über Dentin berichten SINIBALDI et al. (1999), sie ermittelten k_{Asp} = 2,139 · 10^{-5} /a. BRINTON et al. (2002) referieren über k_{Asp} = 2,05 · 10^{-5} /a für sibirische Permafrost-Bodenproben. Analog zu den Aktivierungsenergien beziehen sich die meisten in der Literatur aufgeführten Racemisierungsraten auf Isoleucin.

4.11. Berechnung des Alters

Zur Berechnung des Alters in Jahren vor heute [J. v.h.] wird Gleichung 1.6 verwendet (Kapitel 1.3.1.).

Wird Gleichung 1.6 nach *t* aufgelöst, resultiert Gleichung 4.1:

$$t = \frac{\ln\left[\frac{1+\frac{D}{L}}{1-\frac{D}{L}}\right] - \ln\left[\frac{1+\frac{D}{L}}{1-\frac{D}{L}}\right]_{t=0}}{2k_{\text{Asp bzw. Glu}}}$$

Gl. 4.1: Integrierte Funktion des Zeitgesetzes für $K' = 1$ für Asparagin- bzw. Glutaminsäure zur Berechnung des Alters

Für $t = 0$ wurde der Mittelwert 0,0013 (± 0,0005) für *C. edule* L., 0,0013 (± 0,0005) für *M. arenaria* L., 0,0016 (± 0,0006) für *M. edulis* L. und 0,0013 (± 0,0003) für *S. plana* L. aus allen gemessenen Blindwerten der Heizexperimente eingesetzt.

4.12. D/L-Asp/Glu-Plot aller 267 datierten Proben

In Abbildung 4.48 sind die D/L-Glu-Alter [J. v.h.] aller 267 datierten Proben gegen ihre jeweiligen D/L-Asp-Alter [J. v.h.] aufgetragen.

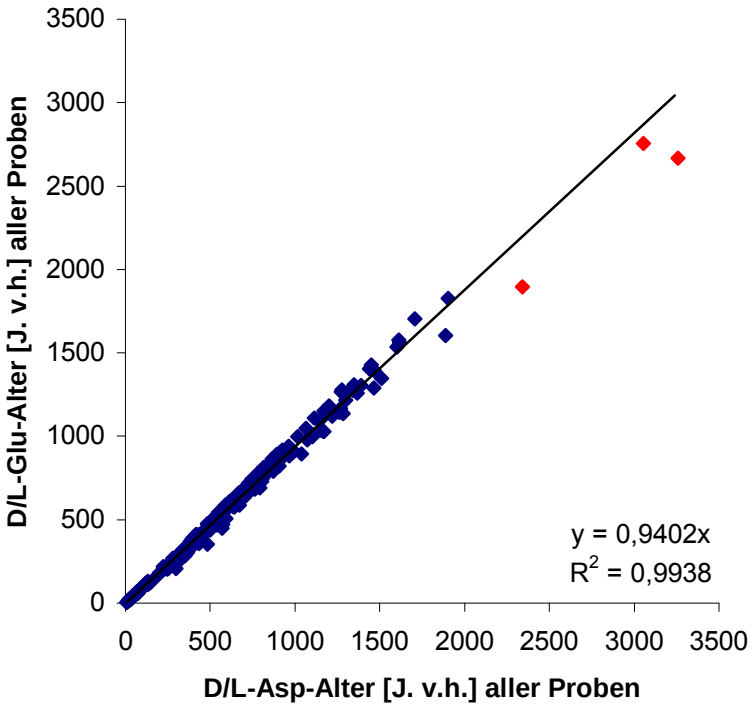


Abb. 4.48: D/L-Asp/Glu-Plot aller Proben

Mit Hilfe der linearen Regression wurde die Ausgleichsgerade y = 0,9402x ermittelt. Die rot markierten Datenpunkte wurden nicht berücksichtigt. Dass der y-Wert <1 ist, bedeutet zum einen, die D/L-Glu-Alter [J. v.h.] sind tendenziell jünger als die dazugehörigen D/L-Asp-Alter [J. v.h.] [± 7,5 %]. Zum anderen zeigt sich die gute Abdeckung der Werte in einem hohen Bestimmtheitsmaß R^2 >0,9938.

Bereits LAJOIE et al. (1980) und WEHMILLER (1980) wählten diese Form der graphischen Gegenüberstellung unterschiedlicher verwendeter Aminosäuren, um zu zeigen, dass, trotz einer gewissen Streuung, die Kinetik für die Umlagerungsreaktion intergenerischer Proben nahezu identisch ist.

In den nachfolgenden Ergebnissen wird somit der Schwerpunkt bei der Darstellung der D/L-Asp-Alter [J. v.h.] liegen. Die D/L-Glu-Alter [J. v.h.] sind teilweise in einer zweiten Abbildung dargestellt.

4.13. Anwendung der Aminosäure-Racemisierungs-Methode

Mit der Aminosäure-Racemisierungs-Methode wurden Altersbestimmungen an Muschelschalen von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. im Bereich des Niedersächsischen und des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeers durchgeführt. Die angewandte Methode ermöglicht die Datierung von Proben, die sich dem Zeitraum der ^{14}C-Datierung (1.000 - 40.000 J. v.h.) entziehen. Die AAR-Methode ist besonders geeignet, um die in geologischer Zeitskala sehr jungen Zeiträume des Wattenmeers zu erfassen, insbesondere um Proben zu datieren, die jünger als 350 Jahre sind (GOODFRIEND, 1992) und um Sedimentakkumulationsraten zu bestimmen. Dieser Altersbereich kann von der ^{14}C-Datierung wegen des Reservoireffektes der Ozeane (ca. 400 Jahre) nicht mehr erfasst werden (LEE, 1981; KEIR, 1984; WEIDMAN, 1995).

4.14. Auswertung der Ergebnisse - Statistische Berechnungen

Die Ergebnisse der Messungen weisen geringe Abweichungen auf. Diese können sowohl durch zufällige als auch durch systematische Fehler aufgetreten sein. Zufällige Fehler resultieren beispielsweise aus unsauberen Glasgefäßen, Wäge-, Pipettier- und Ablesefehlern sowie Veränderungen der eingesetzten Reagentien. Aber auch Muschelschalen, die noch Reste von organischem Material auf der Oberfläche enthalten, können zu einer Beeinflussung der Ergebnisse bei der Bestimmung der Aminosäurenverhältnisse führen, weshalb das Probenmaterial umfangreichen Reinigungsschritten unterzogen werden sollte. Dennoch kann es zu Abweichungen kommen. Insgesamt konnten Abweichungen bei der Ein- und Auswaage des Probenmaterials und bei der Bestimmung der D/L-Asparagin- zw. Glutaminsäure-Verhältnisse für die Kalibrierung unter 12 % beobachtet werden.

4.15. Datierung der Muschelschalen aus den Sedimentkernen, Aufschlüssen etc.

4.15.1. Einordnung des Probenmaterials

Das untersuchte Probenmaterial entstammt sechs verschiedenen Standorten. Davon befinden sich fünf im Niedersächsischen und einer im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer**.** Unter der Annahme, dass das Alter der Muschelschalen in jeder Sedimenttiefe dem Zeitpunkt der Deposition entspricht, lassen sich Aussagen über die Sedimentationsrate am jeweiligen Standort machen. Wenn längere Zeiträume (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) betrachtet werden, liefert die angewandte Methode sinnvolle Resultate, da sich kurzfristige Ereignisse wie z.B. Stürme oder Bioturbation über den betrachteten Zeitraum herausmitteln.

4.16. Ergebnisse der Untersuchungen auf der Kachelotplate

4.16.1. Untersuchung der Bänke - Bankbeschreibungen

Diverse *Mya*-DK's wies Probe 0687 auf, die einer Schlickbank entnommen wurde. Probe 0692 entstammt ebenfalls einer Schlickbank. Sie enthielt etliche *Cerastoderma*- und *Mytilus*-DK's.

Probe 0858, einer weiteren Schlickbank entnommen, enthielt mehrere *Mya*-DK's in Lebendstellung. Ebenfalls aus einer Schlickbank stammt Probe 0859. Sie wies ebenso einige *Mya*-DK's in Lebendstellung auf.

Der Basis einer Kleibank wurde Probe 001-011 entnommen. Sie enthielt diverse *Mya*-DK's in Lebendstellung. Das Top der Bank wies zusätzlich etliche *Cerastoderma*- und *Mya*-DK's in Lebendstellung auf. Probe 023-029 entstammt einer weiteren Kleibank. Hier befanden sich mehrere *Cerastoderma*-DK's in Lebendstellung. Eine andere Kleibank, der Probe 030-044 entnommen wurde, enthielt ebenfalls einige *Cerastoderma*- und *Mya*-DK's in Lebendstellung. Die *Mya*-DK's waren hier in einem etwas höher gelegenen Niveau als die *Cerastoderma*-DK's angesiedelt.

4.16.2. Untersuchung der Sedimentkerne - Kernbeschreibungen

Kern 1 (KP) (Anhang 8.1.1.) wurde von FREUND & WEHRMANN (2007) beschrieben. In 4, 14 - 16, 24, 27 - 30 und 27 - 36,5 cm Tiefe befand sich je eine *Cerastoderma*-DK. Eine einzelne *Mytilus*-Klappe lag in 4,5 - 14 cm Tiefe. Eine *Scrobicularia*-EK befand sich in einer Tiefe von 24 cm.

Kern 2 (KP) (Anhang 8.1.2.) wurde ebenfalls von FREUND & WEHRMANN (2007) beschrieben. Eine *Cerastoderma*-DK befand sich jeweils in 6 - 7, 23 - 28 und 28 - 31 cm Tiefe. Eine einzelne *Mya*-Klappe lag in 28 - 31 cm Tiefe vor.

4.16.3. Datierung der Muschelschalen

4.16.3.1. Probe 0687

Für Probe 0687 wurde die Aminosäuredatierung an fünf *Mya*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.1.).

Die Klappen, einer Schlickbank entnommen, wiesen Alter von 398 ± 12, 418 ± 24, 478 ± 13, 502 ± 12 und 617 ± 32 J. v.h. auf.

4.16.3.2. Probe 0692

Die Aminosäuredatierung wurde für Probe 0692 an elf *Cerastoderma*- und fünf *Mytilus*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.2.).

Die *Cerastoderma*-Klappen, ebenfalls einer Schlickbank entnommen, wiesen Alter von 218 ± 36, 257 ± 13, 289 ± 33, 311 ± 23, 406 ± 6, 408 ± 13, 411 ± 19, 472 ± 2, 488 ± 16, 501 ± 6, 502 ± 39, die *Mytilus*-Klappen Alter von 287 ± 24, 311 ± 7, 401 ± 11, 417 ± 32 und 514 ± 11 J. v.h. auf.

4.16.3.3. Probe 0858

Für Probe 0858 wurde die Aminosäuredatierung an fünf *Mya*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.3.).

Die einer Schlickbank entnommenen Klappen wiesen Alter von 409 ± 16, 491 ± 29, 521 ± 29, 558 ± 16 und 602 ± 25 J. v.h. auf.

4.16.3.4. Probe 0859

Die Aminosäuredatierung wurde für Probe 0859 wiederum an fünf *Mya*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.4.).

Die Klappen, wiederum einer Schlickbank entnommen, wiesen Alter von 389 ± 14, 402 ± 11, 421 ± 23, 482 ± 27 und 572 ± 3 J. v.h. auf.

4.16.3.5. Kern 1 (KP)

Für Kern 1 (KP) wurde die Aminosäuredatierung an fünf *Cerastoderma*-DK's, einer *Mytilus*-EK und einer *Scrobicularia*-DK durchgeführt (Anhang 8.4.1.5.).

Abbildung 4.49 zeigt das Alter der Klappen. Die Datierung ergab einen deutlich linearen Anstieg des Alters mit zunehmender Sedimenttiefe. Mit 190 ± 8 J. v.h. (DK) in einer Tiefe von 4 cm, 280 ± 6 in 4,5 - 14 cm, 324 ± 14 (DK) in 14 - 16 cm, 336 ± 7 (DK) bzw. 337 ± 14 (DK) in 24 cm, 427 ± 18 (DK) in 27 - 30 cm und 460 ± 6 (DK) in 27 - 36,5 cm

Tiefe ergibt sich nach durchgeführter Regressionsanalyse eine Sedimentakkumulationsrate von 11 ± 1 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8893).

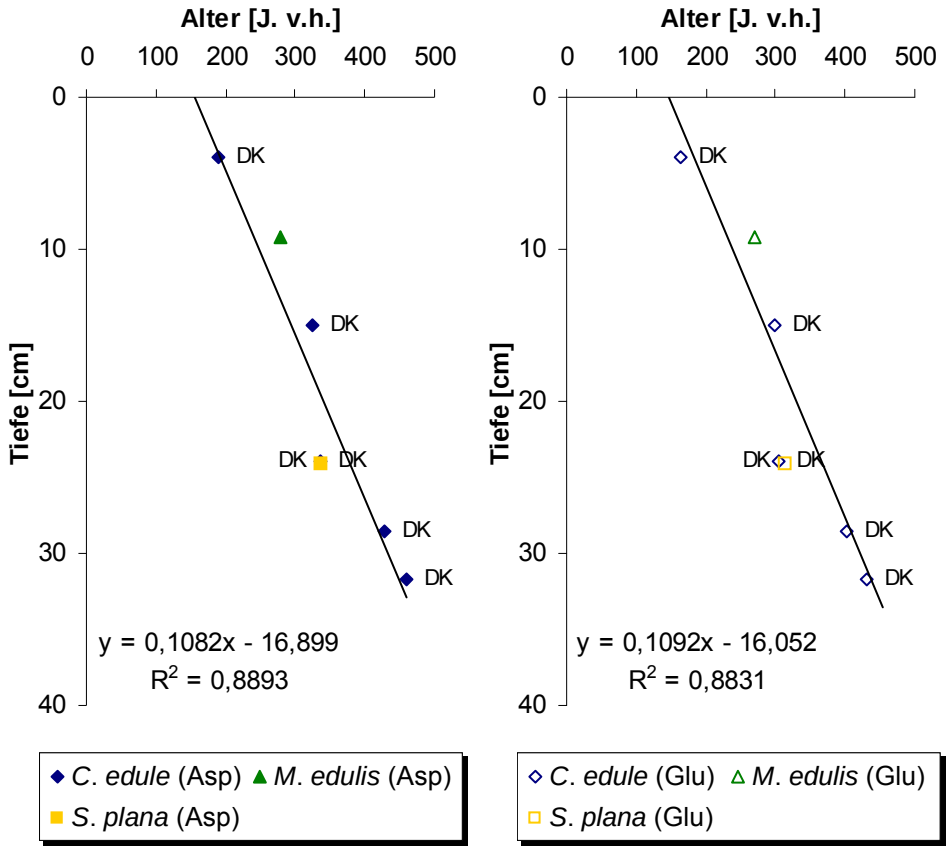


Abb. 4.49: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 1 (KP)

Durch Extrapolation der Regressionsgeraden liegen in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 150 J. v.h. vor. Wird mit Hilfe der Regressionsanalyse die Trendlinie jedoch über die x-Achse hinaus verlängert, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -17 cm, was für eine Sedimenterosion spricht, die in Kapitel 4.16.4. diskutiert wird.

4.16.3.6. Kern 2 (KP)

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern 2 (KP) an drei *Cerastoderma*-DK's und einer *Mya*-DK durchgeführt (Anhang 8.4.1.6.).

Das Alter der Klappen ist in Abbildung 4.50 aufgeführt. In einer Tiefe von 6 - 7 cm wies eine Doppelklappe ein Alter von 201 ± 14 J. v.h. auf. In 23 - 31 cm Tiefe lagen drei weitere Klappen mit 378 ± 23 (DK), 383 ± 4 (DK) und eine weitere Doppelklappe mit einem Alter von 393 ± 12 J. v.h. sehr dicht beieinander. Die Durchführung einer Regressionsanalyse ergibt eine Sedimentaufwuchsrate von 12 ± 6 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9835).

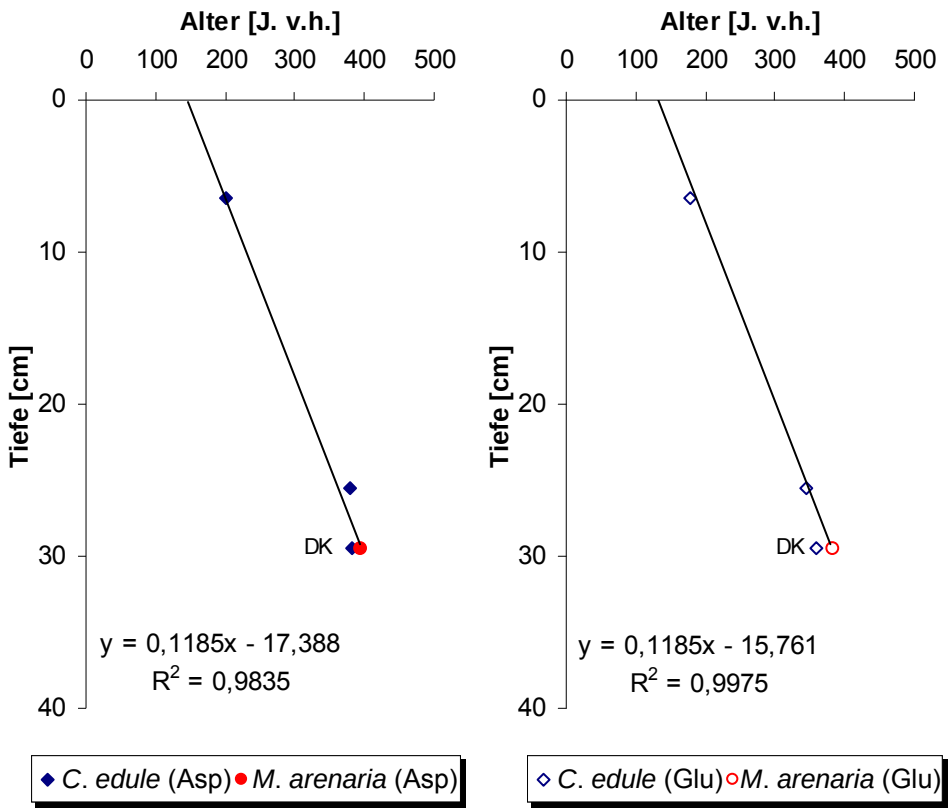


Abb. 4.50: Alter von *C. edule* L. und *M. arenaria* L. in Kern 2 (KP)

Auch hier liegen durch Extrapolation der Regressionsgeraden in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 150 J. v.h. vor. Wird hier ebenfalls mit Hilfe der Regressionsanalyse die Trendlinie über die x-Achse hinaus verlängert, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -17 cm, was ebenso für eine Sedimenterosion spricht, die in Kapitel 4.16.4. diskutiert wird.

4.16.3.7. Probe 001-011

Probe 001-011 bestand ausschließlich aus DK's in Lebendstellung. Die Aminosäuredatierung wurde hier an zwei *Cerastoderma*- und sieben *Mya*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.7.).

Die vier *Mya*-DK's, welche der Basis der Kleibank entnommen wurden, wiesen Alter von 521 ± 29, 529 ± 8, 552 ± 26 und 562 ± 29 J. v.h. auf. Die dem Top der Bank entnommenen zwei *Cerastoderma*-DK's ergaben ein Alter von 615 ± 60 und 630 ± 11 J. v.h., die drei *Mya*-DK's wiesen Alter von 616 ± 23, 662 ± 8 und 663 ± 19 J. v.h. auf.

4.16.3.8. Probe 023-029

Ebenfalls nur aus DK's in Lebendstellung bestand Probe 023-029. An vier *Cerastoderma*-DK's wurde hier die Aminosäuredatierung durchgeführt (Anhang 8.4.1.8.).

Die Klappen, die einer weiteren Kleibank entstammen, wiesen Alter von 537 ± 5, 550 ± 15, 553 ± 10 und 563 ± 10 J. v.h. auf.

4.16.3.9. Probe 030-044

Probe 030-044 bestand ebenso nur aus DK's in Lebendstellung. Die Aminosäuredatierung wurde an zwei *Cerastoderma*- und vier *Mya*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.1.9.).

Die vier *Mya*-DK's, welche in einem etwas höher gelegenen Niveau als die *Cerastoderma*-DK's angesiedelt waren, wiesen Alter von 611 ± 10, 634 ± 25, 660 ± 23 und 663 ± 17, die zwei *Cerastoderma*-DK's Alter von 545 ± 14 und 562 ± 3 J. v.h. auf.

4.16.4. Interpretation der Datierungen auf der Kachelotplate

Für Kern 1 (KP) ergab sich eine Sedimentaufwuchsrate von 11 ± 1 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8893), für Kern 2 (KP) wurden 12 ± 6 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9835) ermittelt. In Tiefen von 27 - 36,5 cm lagen somit schon relativ hohe Alter (460 ± 6 J. v.h. für eine *Cerastoderma*-DK in Kern 1 (KP)) bzw. in 28 - 31 cm (383 ± 4 für eine *Cerastoderma*-DK und 393 ± 15 J. v.h. für eine *Mya*-DK in Kern 2 (KP)) vor. Durch Extrapolation der Regressionsgeraden liegen in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 150 J. v.h. vor was für Erosionseffekte spricht, die im Weiteren diskutiert werden.

Laut ERCHINGER & STROMANN (2004) haben sich die Sandvorräte in der an die Osterems angrenzenden Kachelotplate oberhalb von Mittelspringtidenniedrigwasser (MSpTnw) von 1,7 Millionen Kubikmeter im Jahr 1958 auf 11,1 Millionen Kubikmeter im Jahr 1986, also auf das etwa 6,5-fache erhöht. Die bei der MSpTnw trockenfallende Fläche hat sich dadurch von 200 auf 720 Hektar vergrößert. Die Plate hat sich weiter nach Norden zur Billplate und nach Osten Richtung Memmert ausgedehnt.

Des Weiteren lag die Küste im nordwestlichen Ostfriesland lange Zeit erheblich weiter nördlich als heute. Das Pleistozän steht dabei in den Wattgebieten zwischen NN -2 und NN -5 m an. Eng analysierte Pollendiagramme ermöglichen die Datierung des Torfabbruchs in dem gesamten Gebiet etwa um 300 v.Chr. Der Torf wurde teils erodiert, teils erosionsfrei ruhig überschlickt. Bis in diese Zeit muss demnach das Festland vom Raum Norden bis mindestens in das Gebiet der späteren Insel Juist gereicht haben (ERCHINGER & STROMANN, 2004).

Vielfach treten fossile Wattsedimente, Kleibänke, Inselgroden und Salzwiesenhorizonte, allesamt Elemente der Rückseitenwatten, im seewärtigen Strandbereich der Inseln zu Tage und dokumentieren somit ein „Überwandern" der Inseln über ihre eigenen Wattsedimente hinweg. Für die letzten 2.000 Jahre lassen sich südwärtige Verlagerungsbeträge

von mehr als 100 m/Jahrhundert feststellen (BARCKHAUSEN, 1969; STREIF, 1990; FREUND & STREIF, 1999).

Eine Tatsache, die auch zur Interpretation der Proben 0687, 0692, 0858, 0859, 001-011, 023-029 und 030-044, die sich möglicherweise Extremereignissen, u.U. historisch dokumentierten Sturmfluten zuordnen lassen, herangezogen werden kann (JENSEN, 2000; ERCHINGER & STROMANN, 2004).

Sturmfluten besitzen erhebliche Bedeutung für die Materialbilanz eines Gebietes, sowohl für die Erosion als auch für die Akkumulation. Schalen von *M. arenaria* L. in Lebendstellung können als Sturmflutindikatoren dienen, da für ihren Transport an die Oberfläche eine relativ hohe Wellenenergie benötigt wird.

Untersuchungen von WEHRMANN (2008) ergaben eine Sedimentakkumulation von bis zu 30 cm in Nordwesten bzw. Sedimenterosion von bis zu 15 cm im Südosten der Plate im Zeitraum Mai - November 2007. Möglicherweise führte dies zur Freilegung der Klei- und Schlickbänke mit u.a. *Cerastoderma*- und *Mya*-DK's in Lebendstellung. Laut FREUND (2008) ist das Auftreten von Klei- und Schlickbänken im Nordwesten der Plate ein eindeutiges Indiz für ein „Überwandern" der Plate über ihre eigenen Wattsedimente hinweg.

4.17. Ergebnisse der Untersuchungen im Spiekerooger Rückseitenwatt

4.17.1. Untersuchung der Sedimentkerne - Kernbeschreibungen

Kern 1 (Anhang 8.1.3.) wurde lithologisch bereits von ZIEHE (2005) beschrieben. In einer Tiefe von 13 - 18,5 cm befand sich eine *Cerastoderma*-EK, eine weitere Klappe befand sich in 18,5 - 25,5 cm Tiefe.

ZIEHE (2005) beschrieb ebenfalls Kern 2 (Anhang 8.1.4.). In 0 - 8 cm Tiefe befand sich eine *Cerastoderma*-EK, eine weitere Klappe befand sich in 14,5 - 19 cm Tiefe. In 76 cm Tiefe befand sich noch eine weitere *Cerastoderma*-EK.

Auch Kern 6 (Anhang 8.1.5.) wurde von ZIEHE (2005) beschrieben. Eine *Mya*-EK befand sich in 21 cm Tiefe. Je eine *Cerastoderma*-EK befand sich in 25 bzw. 206 cm Tiefe. In 223 - 227, 229 - 238, 232 - 238, 268 - 281 und in 278 - 282 cm Tiefe befanden sich etliche weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's. Eine *Cerastoderma*-EK befand sich in 352 cm Tiefe. In 425 - 432 cm Tiefe befanden sich zwei *Cerastoderma*- und einige *Scrobicularia*-EK's. Mehrere *Scrobicularia*-EK's befanden sich ebenfalls in 427 cm Tiefe. In 427 - 432 cm Tiefe befanden sich einige weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's. Drei *Scrobicularia*-DK's befanden sich ferner in 531 cm Tiefe. In 538 - 546 cm Tiefe befanden sich noch zwei *Scrobicularia*-EK's.

ZIEHE (2005) beschrieb ebenfalls Kern 7 (Anhang 8.1.6.). In 184 - 197 cm Tiefe befanden sich mehrere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's. Etliche *Cerastoderma*-EK's befanden sich auch in 215 - 224 cm Tiefe bzw. je eine *Mya*- und eine *Scrobicularia*-EK. In

226 - 232 cm Tiefe befanden sich ebenfalls einige *Cerastoderma*-EK's. Mehrere *Cerastoderma*- und *Mya*-EK's befanden sich in 245 - 253 cm Tiefe bzw. eine *Mya*-DK. In 313, 340, 346, 360 und in 365 cm Tiefe, in 336 - 351 und in 357 - 363 cm Tiefe befand sich je eine *Mya*-EK bzw. in 370 cm Tiefe noch eine *Scrobicularia*-DK.

Kern 8 (Anhang 8.1.7.) wurde außerdem von ZIEHE (2005) beschrieben. Etliche *Cerastoderma*-EK's befanden sich in 12 - 15 cm Tiefe bzw. eine *Scrobicularia*-DK. In 30 - 35 cm Tiefe befand sich eine einzelne *Mya*-DK. In 37 - 39 cm Tiefe befanden sich einige *Cerastoderma*-EK's. Etliche weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's befanden sich in 39 - 44, 72 - 74 und in 78 - 80 cm Tiefe. In 88 - 91 cm Tiefe befanden sich einige *Cerastoderma*-EK's bzw. noch eine *Scrobicularia*-DK. Mehrere *Cerastoderma*-EK's befanden sich ferner in 97 - 101 cm Tiefe bzw. befand sich dort eine *Scrobicularia*-DK. In 110 cm Tiefe befand sich eine weitere *Scrobicularia*-EK. Je eine *Cerastoderma*- bzw. *Scrobicularia*-EK befand sich in 127 - 130 cm Tiefe. Eine *Scrobicularia*-EK befand sich des Weiteren in 237 cm Tiefe. In 321 - 326 bzw. in 374 cm Tiefe befanden sich etliche *Cerastoderma*- und zwei *Scrobicularia*-EK's. Ebenfalls mehrere *Cerastoderma*-EK's befanden sich in 388 - 389 und in 398 - 401 cm Tiefe.

In Kern 9 (Anhang 8.1.8.), von KÖSTER (2004) beschrieben, befanden sich zwei *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Mytilus*-EK in 6 - 15 cm Tiefe. Eine *Cerastoderma*- und eine *Scrobicularia*-EK befanden sich in 20 - 24 und in 80 - 85 cm Tiefe. In 222 - 227 cm Tiefe befand sich eine *Cerastoderma*-EK. Mehrere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's befanden sich in 225 cm Tiefe. In 233 und in 236 cm Tiefe befanden sich zwei *Scrobicularia*-EK's. Zwei weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's befanden sich in 252 - 255 cm Tiefe. In 312 cm Tiefe befand sich eine *Scrobicularia*-EK. Etliche weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's befanden sich in 327 - 333 cm Tiefe. In 332 cm Tiefe befanden sich zwei *Scrobicularia*-EK's. Eine *Cerastoderma*-EK befand sich ferner in 337 - 345 cm Tiefe. In 375 - 383 cm Tiefe befanden sich noch zwei *Cerastoderma*-EK's. Eine *Cerastoderma*-DK und eine *Scrobicularia*-EK befanden sich in 480 cm Tiefe.

In Kern 10 (Anhang 8.1.9.), von KÖSTER (2005) beschrieben, befanden sich in 10 - 15 cm Tiefe einige *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Mytilus*- und eine *Scrobicularia*-EK. Eine weitere *Cerastoderma*-EK befand sich in 82 cm Tiefe. In 180 - 185 cm Tiefe befand sich eine *Mytilus*-DK. Eine weitere *Cerastoderma*-EK befand sich in 196 cm Tiefe. In 210 - 215 cm Tiefe befanden sich mehrere *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Scrobicularia*-EK. Etliche *Cerastoderma*-EK's befanden sich in 227 - 234 cm Tiefe bzw. eine *Mya*-DK. In 250 - 260 cm Tiefe befanden sich zwei *Scrobicularia*-DK's. Eine weitere *Cerastoderma*-EK befand sich noch in einer Tiefe von 270 cm.

In Kern 11 (Anhang 8.1.10.), auch von KÖSTER (2005) beschrieben, befanden sich einige *Cerastoderma*-EK's in einer Tiefe von 10 - 13 cm. Eine weitere *Cerastoderma*-EK

befand sich in 101 cm Tiefe. In 105 - 107 cm Tiefe befanden sich je eine *Cerastoderma*- und eine *Mytilus*-EK. Des Weiteren befanden sich mehrere *Cerastoderma*-EK's in 105 - 111 und in 120 - 123 cm Tiefe.

In Kern B1 (Anhang 8.1.11.), beschrieben von ENGELEN (2006), befand sich in 228 cm Tiefe eine *Cerastoderma*-DK.

In Kern B2 (Anhang 8.1.12.), ebenfalls von ENGELEN (2006) beschrieben, befanden sich zwei *Cerastoderma*-EK's in einer Tiefe von 40 cm. Einzelne *Cerastoderma*-Klappen befanden sich in 110 bzw. in 225 cm Tiefe. In 279 cm Tiefe befand sich eine weitere *Cerastoderma*-EK bzw. eine *Mytilus*-DK. Eine *Cerastoderma*-DK befand sich in 340 cm Tiefe.

In Kern B3 (Anhang 8.1.13.), auch von ENGELEN (2006) beschrieben, befand sich eine *Mytilus*-EK in 145 cm Tiefe. In 245 cm Tiefe befanden sich zwei *Mytilus*-EK's. Je zwei einzelne *Cerastoderma*-Klappen befanden sich in 337 bzw. 360 cm Tiefe. In 374 - 377 cm Tiefe befanden sich etliche *Cerastoderma*-EK's.

In Kern B4 (Anhang 8.1.14.), beschrieben von ENGELEN (2006), befand sich eine *Scrobicularia*-EK in einer Tiefe von 85 cm. Eine einzelne *Cerastoderma*-Klappe befand sich in 94 cm Tiefe. In 105 - 110 cm Tiefe befanden sich einige *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Scrobicularia*-EK. Zwei *Cerastoderma*-DK's und mehrere einzelne *Scrobicularia*-Klappen befanden sich in 140 - 145 cm Tiefe. In einer Tiefe von 190 cm befanden sich etliche *Cerastoderma*-EK's. Einige *Cerastoderma*-EK's und eine einzelne *Scrobicularia*-Klappe befanden sich in 232 cm Tiefe. In einer Tiefe von 270 cm befand sich eine *Cerastoderma*-DK bzw. eine *Mytilus*-EK. Jeweils eine einzelne *Cerastoderma*-Klappe befand sich in 373 bzw. in 381 cm Tiefe.

In Kern B5 (Anhang 8.1.15.), ebenfalls von ENGELEN (2006) beschrieben, befand sich in 120 cm Tiefe eine einzelne *Cerastoderma*-Klappe. Einige *Cerastoderma*-EK's befanden sich ferner in 140 cm Tiefe. In 315, 340 und in 360 cm Tiefe befand sich je eine *Cerastoderma*-DK.

In Kern C1 (Anhang 8.1.16.), von FREUND & KÖSTER (2007) beschrieben, befanden sich mehrere *Cerastoderma*-EK's in 25 cm Tiefe. Zwei weitere einzelne *Cerastoderma*-Klappen befanden sich in 60 cm Tiefe, eine einzelne in 300 cm Tiefe. Etliche weitere *Cerastoderma*-Klappen befanden sich ferner in 402 cm Tiefe bzw. eine DK.

In Kern C2 (Anhang 8.1.17.), beschrieben von FREUND & KÖSTER (2007), befanden sich in einer Tiefe von 267 cm zwei *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Mytilus*-EK. Einige weitere *Cerastoderma*-EK's befanden sich in 290 cm Tiefe. In 354 - 360 cm Tiefe befanden sich mehrere *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Mytilus*-EK. Eine *Scrobicularia*-DK befand sich in 467 cm Tiefe. In 560 cm Tiefe befanden sich etliche weitere *Cerastoderma*-EK's.

In Kern D1 (Anhang 8.1.18.), ebenfalls von FREUND & KÖSTER (2007) beschrieben, befanden sich zwei *Cerastoderma*-EK's bzw. eine *Mytilus*-DK in 5 cm Tiefe. Eine *Scrobicularia*-DK befand sich in 242 cm Tiefe, zwei weitere DK's befanden sich in 258 cm Tiefe.

In Kern D2 (Anhang 8.1.19.), beschrieben von FREUND & KÖSTER (2007), befanden sich in 45 cm Tiefe zwei *Cerastoderma*-DK's bzw. eine *Mytilus*-EK. Einige einzelne *Cerastoderma*-Klappen befanden sich in 60 cm Tiefe bzw. eine weitere *Mytilus*-EK. In 90 cm Tiefe befanden sich mehrere *Cerastoderma*-DK's. Etliche *Cerastoderma*-EK's befanden sich jeweils in 144 - 151 und in 145 cm Tiefe bzw. jeweils eine *Scrobicularia*-EK. Zwei *Scrobicularia*-DK's befanden sich in 167 cm Tiefe, eine DK jeweils in 180, 190 und in 260 cm Tiefe. In 335 cm Tiefe befanden sich noch einige weitere *Cerastoderma*- und *Scrobicularia*-EK's.

4.17.2. Datierungen der Muschelschalen

4.17.2.1. Kern 1

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern 1 an zwei *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.1.). Vier bereits von ZIEHE (2005) datierte Proben von *Mytilus*-Schill wurden mit zur Analyse herangezogen.

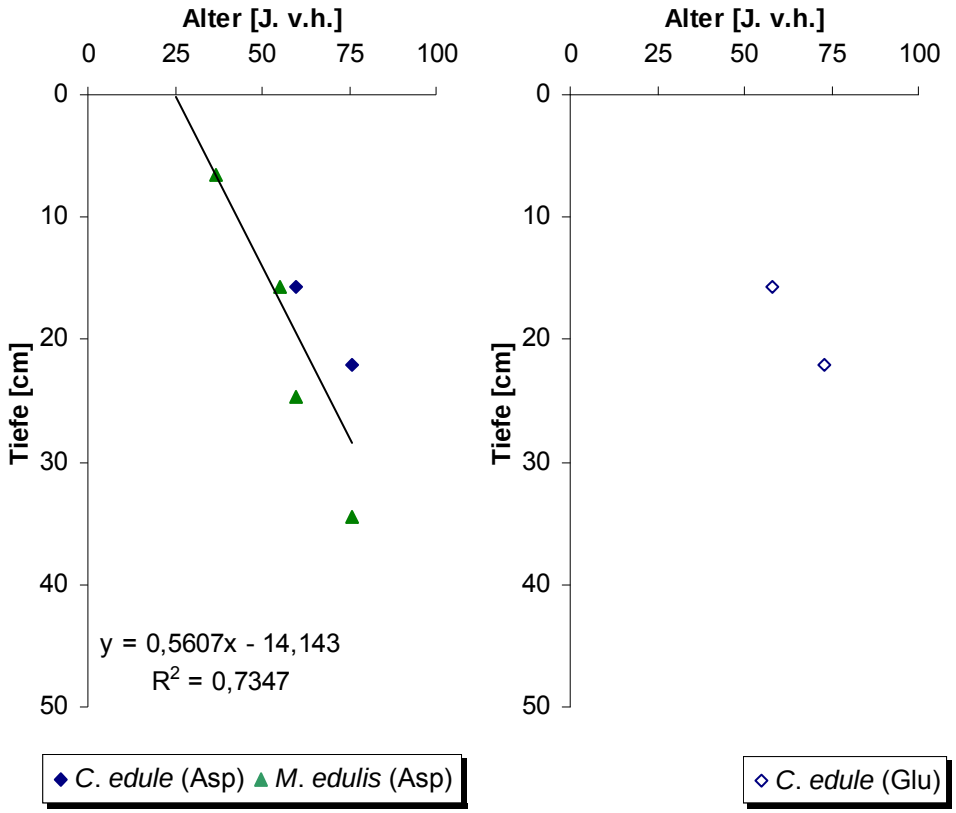


Abb. 4.51: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 1

In Abbildung 4.51 ist das Alter der Klappen bzw. des Schillmaterials aufgeführt. Die Datierung ergab einen deutlich linearen Anstieg des Alters mit zunehmender Sedimenttiefe.

Mit 37 ± 9 J. v.h. in einer Tiefe von 0 - 13 cm, 55 ± 2 bzw. 60 ± 3 in 13 - 18,5 cm, 76 ± 6 in 18,5 - 25,5 cm, 60 ± 6 in 18,5 - 31 cm und 76 ± 7 in 31 - 38 cm Tiefe ergibt sich nach durchgeführter Regressionsanalyse eine ungewöhnlich hohe Sedimentationsrate von 56 ± 15 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,7347).

Durch Extrapolation der Regressionsgeraden liegen in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 25 J. v.h. vor. Wird mit Hilfe der Regressionsanalyse die Trendlinie jedoch über die x-Achse hinaus verlängert, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -14 cm, was für eine Sedimenterosion spricht, die in Kapitel 4.17.3. diskutiert wird.

4.17.2.2. Kern 2

Für Kern 2 wurde die Aminosäuredatierung an drei *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.2.). Ebenfalls mit zur Analyse herangezogen wurden vier bereits von ZIEHE (2005) datierte Proben von *Mytilus*-Schill.

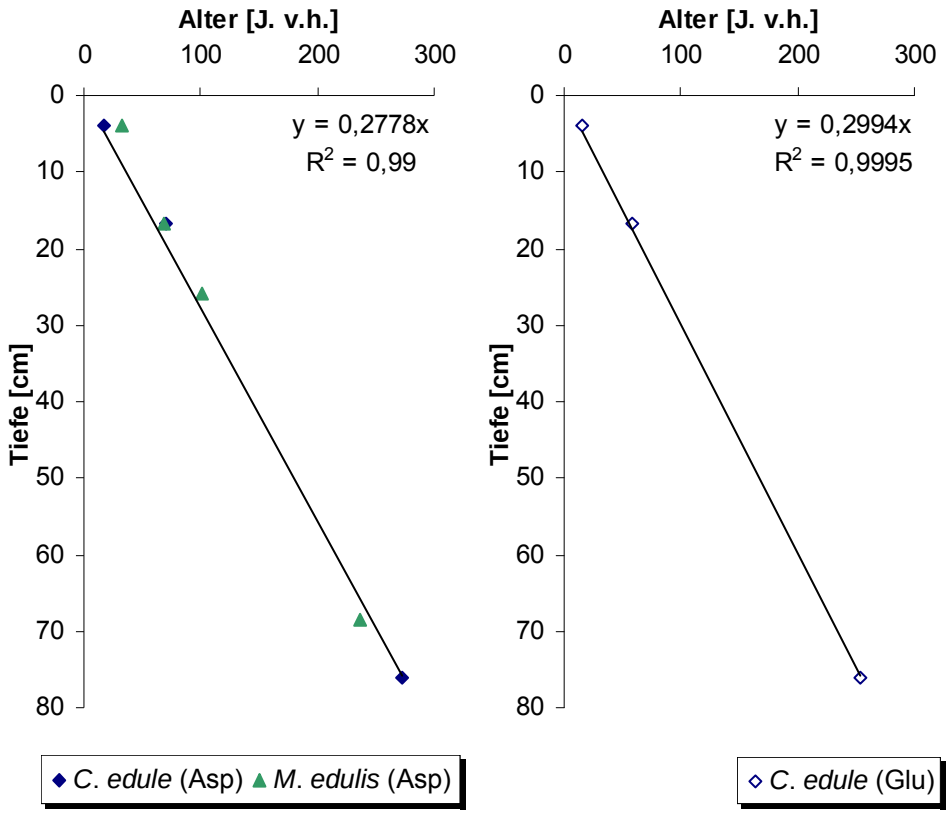


Abb. 4.52: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 2

Abbildung 4.52 zeigt das Alter der Klappen bzw. des Schillmaterials. Die Datierung lässt einen deutlich linearen Anstieg des Alters mit zunehmender Sedimenttiefe erkennen, was sich nach durchgeführter Regressionsanalyse in einem guten Bestimmtheitsmaß bestätigt. Eine Sedimentationsrate von 28 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9900) zeichnet sich ab. Mit 17 ± 2 bzw. 33 ± 5 J. v.h. in einer Tiefe von 0 - 8 cm, 69 ± 15 bzw. 70 ± 6 in 14,5 -

19 cm, 101 ± 19 in 19 - 33 cm, 236 ± 36 in 61 - 76 cm und 273 ± 12 in 76 cm Tiefe ergibt sich eine gute Ausgleichsgerade.

4.17.2.3. Kern 6

Für Kern 6 wurde die Aminosäuredatierung an zehn *Cerastoderma*-EK's, einer *Mya*-EK, neun *Scrobicularia*-EK's bzw. einer -DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.3.). Sechs bereits von ZIEHE (2005) datierte *Mytilus*-EK's wurden in die Auswertung mit einbezogen.

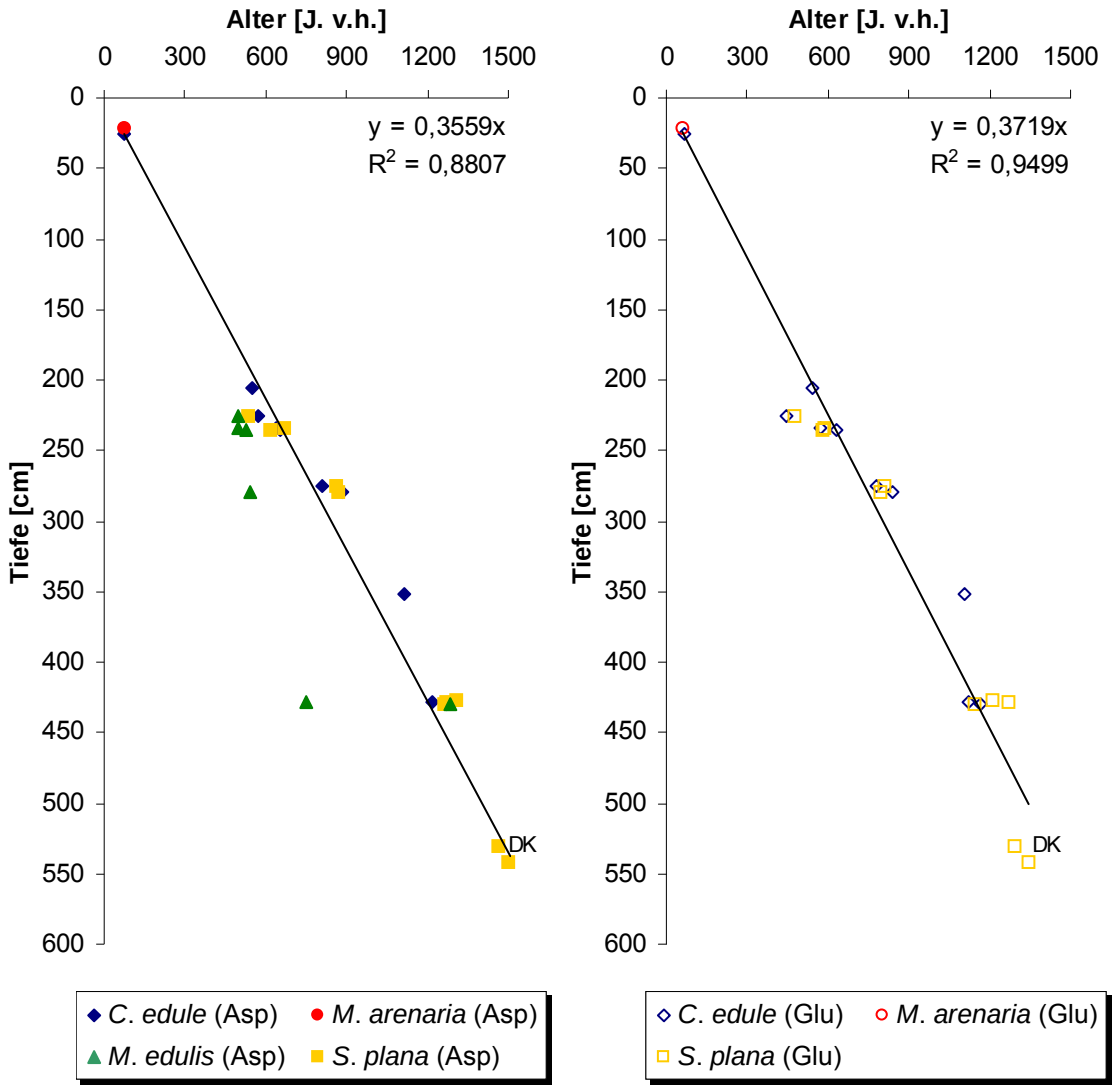


Abb. 4.53: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 6

Das Alter der Klappen ist in Abbildung 4.53 aufgeführt. Die Datierung ergab ein Alterspektrum, das von 73 ± 8 bis 1509 ± 87 J. v.h. zurückreicht. In einer Tiefe von 21 - 25 cm befanden sich zwei Klappen, die oben bereits erwähnte und eine weitere mit 77 ± 5 J. v.h. sehr dicht beieinander. In einer Tiefe von 206 - 282 cm lagen fünfzehn Klappen, mit 494 ± 66, 499 ± 4, 528 ± 111, 537 ± 45, 542 ± 71, 546 ± 89, 571 ± 45, 613 ± 53, 641 ± 36, 654 ± 35, 671 ± 56, 808 ± 41, 861 ± 18, 871 ± 35 und 884 ± 19 J. v.h. ebenfalls sehr eng

zusammen, wobei hier große Abweichungen vorliegen. Eine einzelne Klappe in 352 cm Tiefe wies ein Alter von 1113 ± 17 J. v.h. auf. In 425 - 432 cm Tiefe befanden sich sieben Klappen, mit 752 ± 109, 1219 ± 73, 1262 ± 83, 1267 ± 53, 1273 ± 64, 1282 ± 57 und 1304 ± 88 J. v.h. sehr dicht beieinander, wobei auch hier große Abweichungen vorliegen. Eine Doppelklappe in 531 cm Tiefe mit einem Alter von 1466 ± 96 J. v.h. und eine weitere Einzelklappe, mit oben bereits genannten Alter, in 538 - 546 cm Tiefe bestätigen das nicht so gute Bestimmtheitsmaß. Dementsprechend ergibt sich eine Sedimentaufwuchsrate von 36 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8807).

4.17.2.4. Kern 7

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern 7 an vier *Cerastoderma*-EK's, neun *Mya*-EK's bzw. einer -DK und zwei *Scrobicularia*-EK's bzw. einer -DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.4.). Ebenfalls mit zur Analyse herangezogen wurden sieben bereits von ZIEHE (2005) datierte *Mytilus*-EK's.

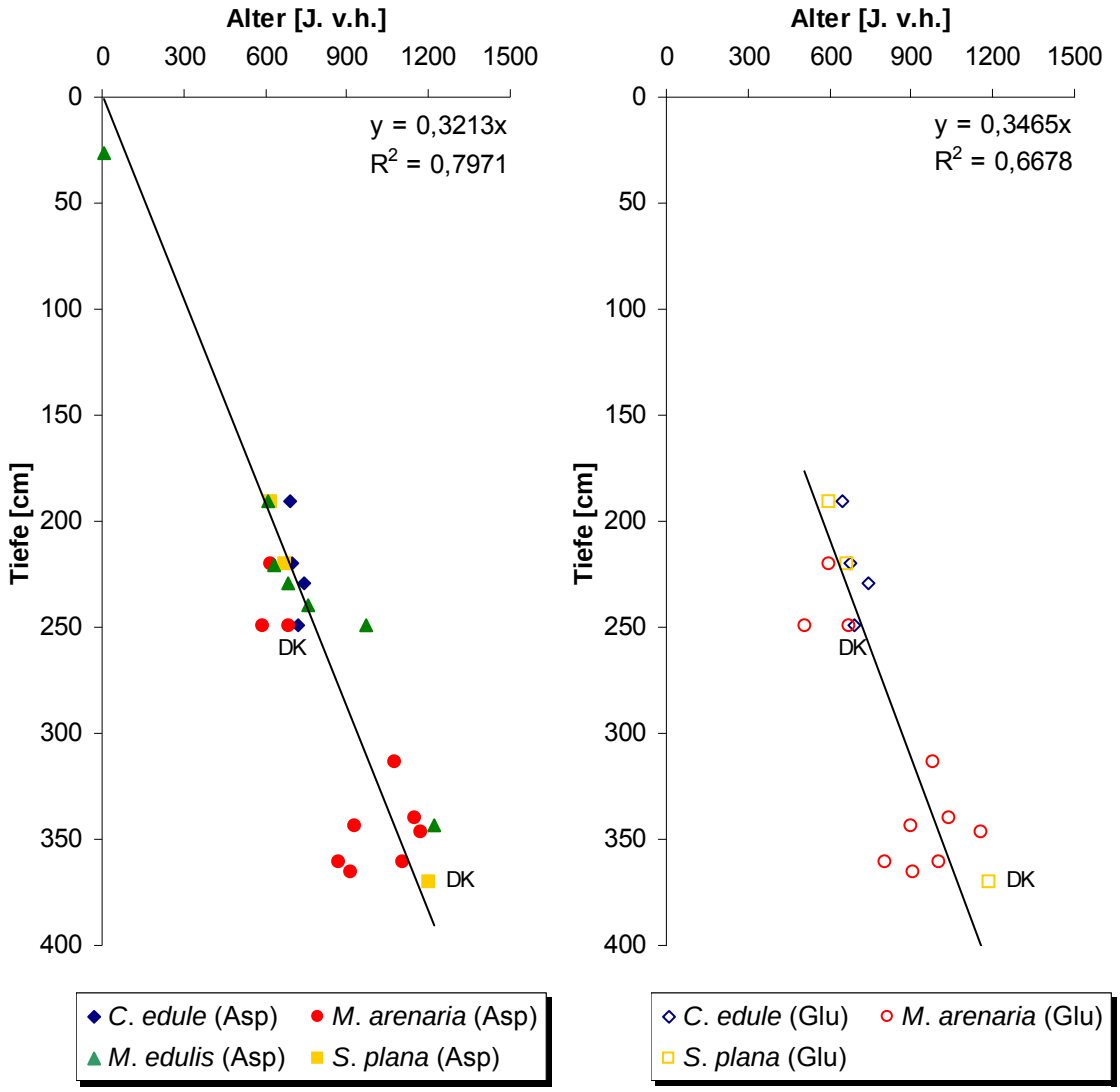


Abb. 4.54: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 7

In Abbildung 4.54 ist das Alter der Klappen aufgeführt. Bei der Datierung fand sich ein Altersspektrum das von 4 ± 4 bis 1217 ± 68 J. v.h. reicht. In einer Tiefe von 184 - 253 cm lagen vierzehn Klappen mit 591 ± 33, 610 ± 34, 615 ± 14, 620 ± 69, 636 ± 42, 670 ± 50, 683 ± 94 (DK), 687 ± 59, 691 ± 25, 702 ± 35, 723 ± 49, 745 ± 60, 756 ± 81 und 972 ± 105 J. v.h. relativ dicht beieinander und passen gut in das Altersspektrum. Ebenso befanden sich in einer Tiefe von 313 - 370 cm neun Klappen mit 865 ± 83, 910 ± 97, 923 ± 52, 1074 ± 58, 1104 ± 16, 1149 ± 20, 1172 ± 32, 1201 ± 52 J. v.h. (DK) inklusive der bereits oben erwähnten ziemlich eng zusammen. Wird eine lineare Beziehung zwischen Alter und Sedimenttiefe angenommen und eine Regressionsanalyse durchgeführt, ergibt sich eine Sedimentaufwuchsrate von 32 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,7971).

4.17.2.5. Kern 8

Für Kern 8 wurde die Aminosäuredatierung an elf *Cerastoderma*-EK's, einer *Mya*-DK und neun *Scrobicularia*-EK's bzw. drei -DK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.5.). Darüber hinaus wurden sieben bereits von ZIEHE (2005) datierte *Mytilus*-EK's mit zur Analyse herangezogen.

Das Alter der Klappen ist in Abbildung 4.55 aufgeführt. Die Datierung ergab ein weites Altersspektrum, das von 38 ± 2 bis 1388 ± 134 J. v.h. reicht. Im oberen Teil, in einer Tiefe von 12 - 15 cm lagen zwei Klappen unmittelbar zusammen, eine Einzelklappe mit 51 ± 7 J. v.h. und die oben bereits aufgeführte Doppelklappe. In 30 - 44 cm Tiefe folgten fünf Klappen mit 68 ± 4, 74 ± 3, 92 ± 6, 96 ± 7 (DK) und 96 ± 17 J. v.h. dicht beieinander. Weitere Klappen mit 133 ± 8, 134 ± 5, 232 ± 66, 247 ± 33, 248 ± 26, 272 ± 11, 283 ± 22, 288 ± 9, 288 ± 17 (DK), 306 ± 38, 328 ± 62 und eine Doppelklappe mit 335 ± 23 J. v.h. befanden sich in 72 - 110 cm Tiefe und passen gut in die Ausgleichsgerade. Mit einem Alter von 365 ± 12 und 373 ± 21 J. v.h. folgen zwei Klappen in 127 - 130 cm Tiefe und eine weitere einzelne Klappe mit 633 ± 66 J. v.h. in 237 cm Tiefe. Jeweils drei Klappen mit einem Alter von 687 ± 35, 906 ± 26 und 944 ± 15 bzw. 735 ± 30, 934 ± 80 und 1385 ± 38 J. v.h. befanden sich in 321 - 326 cm bzw. 374 cm Tiefe. Weitere Klappen in 388 - 401 cm Tiefe, die oben bereits erwähnte und zwei weitere mit 1061 ± 46 und 1272 ± 258 komplettieren die Datierung. Wird eine lineare Beziehung zwischen Alter und Sedimenttiefe angenommen und eine Regressionsanalyse durchgeführt, ergibt sich eine Sedimentationsrate von 34 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9132).

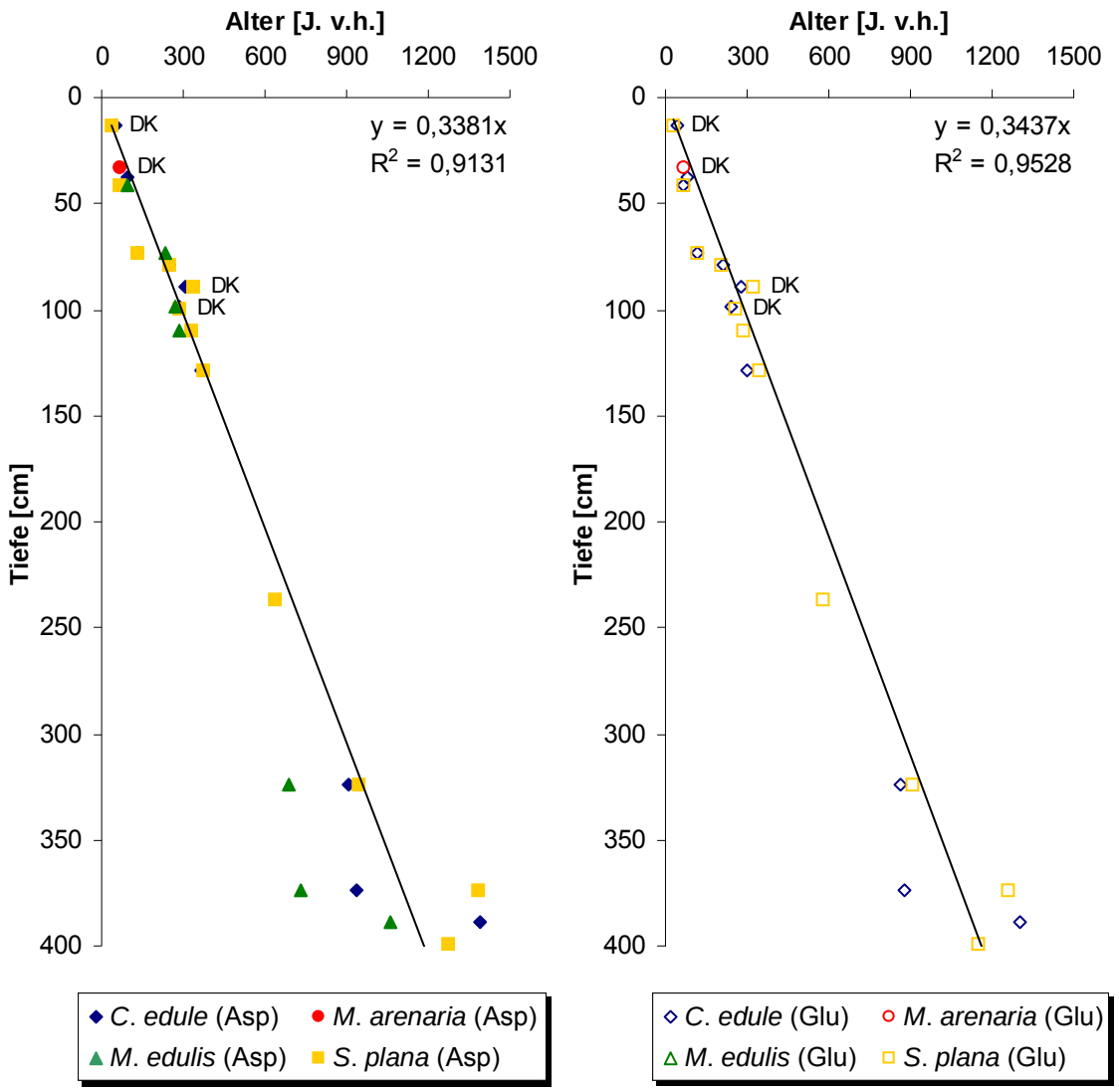


Abb. 4.55: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 8

4.17.2.6. Kern 9

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern 9 an acht *Cerastoderma*-EK's bzw. einer -DK, einer *Mytilus*-EK und neun *Scrobicularia*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.6.).

In Abbildung 4.56 ist das Alter der Klappen aufgeführt. In 6 - 24 cm Tiefe fanden sich vier Klappen mit einem Alter von 20 ± 5, 21 ± 6, 46 ± 9 und 70 ± 5 J. v.h. recht dicht beisammen. Eine weitere Anhäufung von Schalenmaterial wurde in einer Tiefe von 222 - 255 cm vorgefunden. Die sieben dort gefundenen Klappen wiesen Alter von 754 ± 32, 639 ± 88, 699 ± 36, 725 ± 56, 762 ± 50, 811 ± 143 und 816 ± 41 J. v.h. auf. Sechs weitere Klappen mit einem Alter von 810 ± 76, 834 ± 6, 908 ± 108, 953 ± 59, 988 ± 61 und 1065 ± 29 J. v.h. befanden sich in einer Tiefe zwischen 312 - 383 cm. Im unteren Teil befand sich noch eine einzelne Klappe mit einem Alter von 1278 ± 141 J. v.h. bzw. eine Doppelklappe mit 1438 ± 74. Die Durchführung einer Regressionsanalyse ergibt eine Sedimentationsrate von 34 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9414).

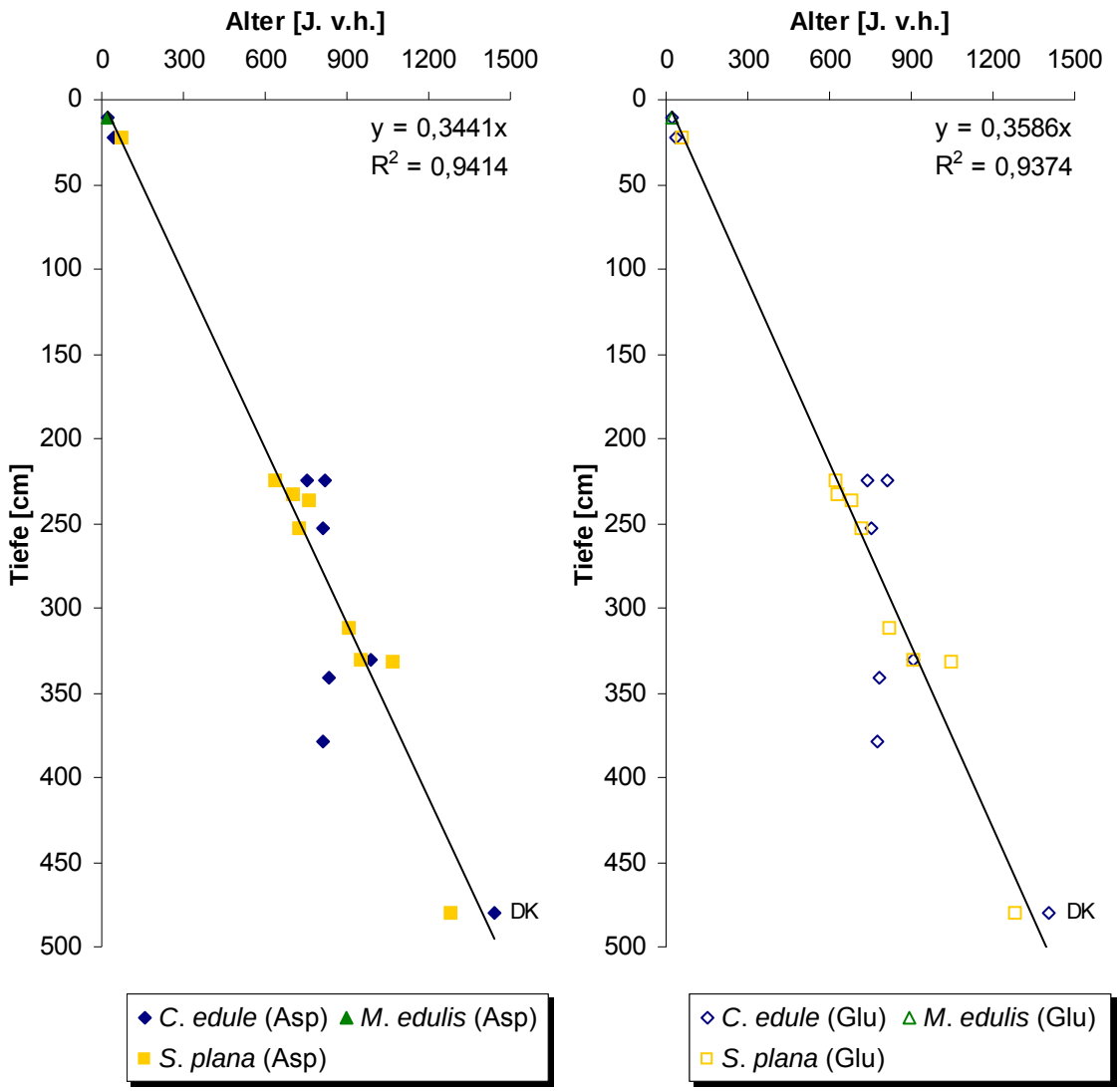


Abb. 4.56: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 9

4.17.2.7. Kern 10

Für Kern 10 wurde die Aminosäuredatierung an sechs *Cerastoderma*-EK's, einer *Mya*-DK, einer *Mytilus*-EK bzw. -DK und drei *Scrobicularia*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.7.).

Das Alter der Klappen ist in Abbildung 4.57 aufgeführt. Die Datierung ergab ein Altersspektrum, das von 22 ± 3 bis 1139 ± 71 J. v.h. zurückreicht. In einer Tiefe von 10 - 15 cm lagen drei Klappen, mit der oben bereits aufgeführten und zwei weiteren mit 27 ± 1 und 31 ± 2 J. v.h. dicht zusammen. Mit 126 ± 11 J. v.h. folgte eine einzelne Klappe in 82 cm Tiefe. Im Bereich von 180 - 260 cm fanden sich sieben Klappen mit 512 ± 82, 517 ± 54, 521 ± 31, 527 ± 18, 542 ± 15 (DK), 596 ± 50 und eine Doppelklappe mit 714 ± 62 J. v.h. relativ gut beieinander. Die oben bereits erwähnte Klappe komplettiert die Datierung. Es ergibt sich eine Sedimentaufwuchsrate von 33 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,7656).

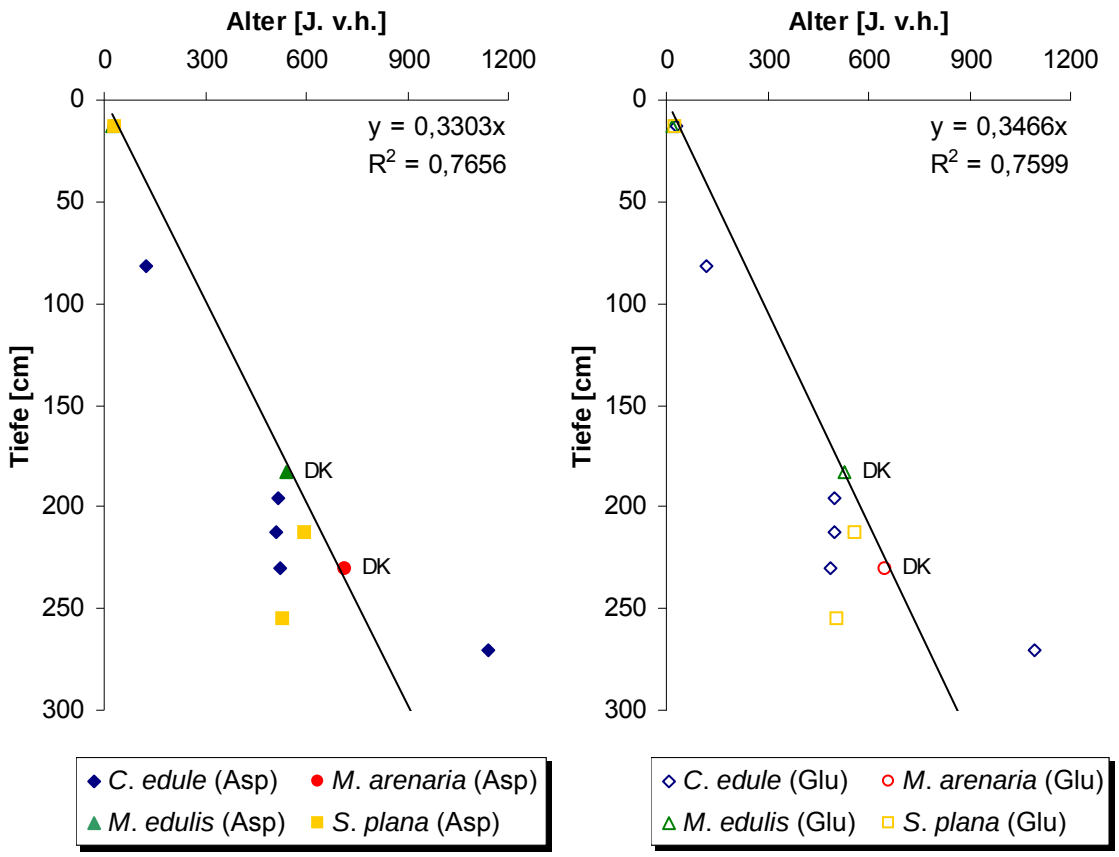


Abb. 4.57: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern 10

4.17.2.8. Kern 11

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern 11 an fünf *Cerastoderma*-EK's und an einer *Mytilus*-EK durchgeführt (Anhang 8.4.2.8.).

Abbildung 4.58 zeigt das Alter der Klappen. Mit 36 ± 5 J. v.h. befand sich lediglich eine einzelne Klappe im oberen Bereich von 10 - 13 cm. Im unteren Teil von 101 - 123 cm lagen fünf Klappen relativ dicht beisammen. Sie wiesen Alter von 252 ± 42, 324 ± 69, 329 ± 70, 345 ± 56 und 398 ± 73 J. v.h. auf. Es ergibt sich eine Sedimentakkumulationsrate von 32 ± 6 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9108).

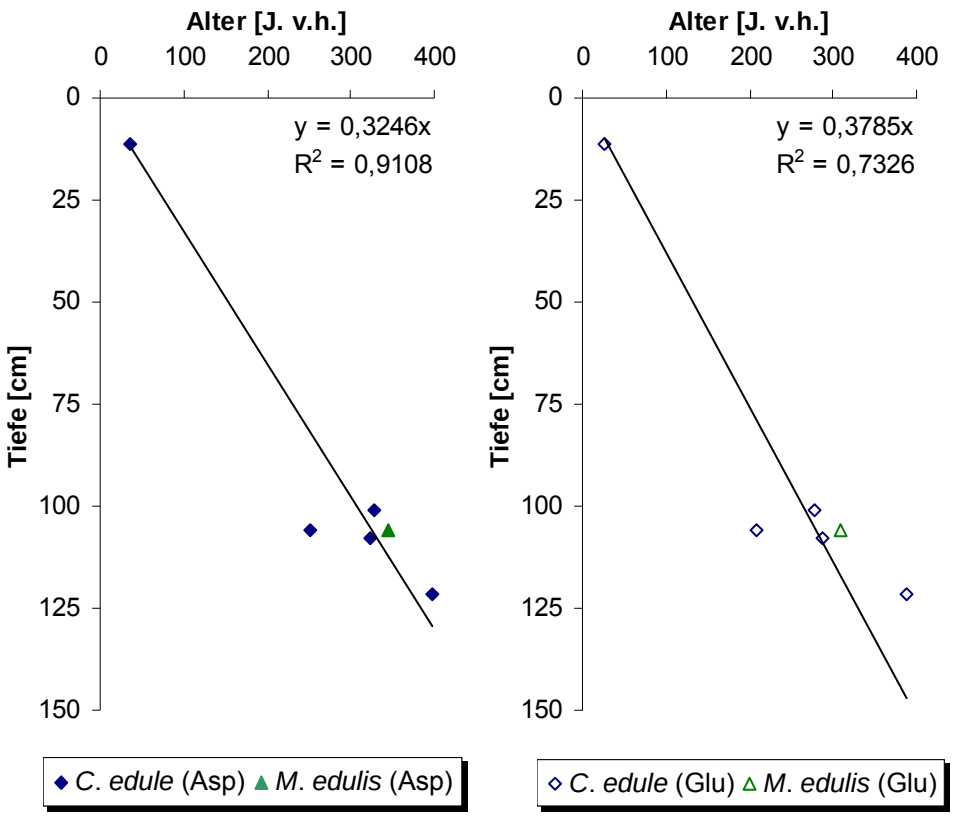


Abb. 4.58: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern 11

4.17.2.9. Kern B1

Für Kern B1 wurde die Aminosäuredatierung an nur einer *Cerastoderma*-DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.9.). Die Doppelklappe wies ein Alter von 416 ± 9 J. v.h. auf und befand sich in 228 cm Tiefe.

4.17.2.10. Kern B2

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern B2 an vier *Cerastoderma*-EK's bzw. einer -DK und einer *Mytilus*-DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.10.).

In Abbildung 4.59 ist das Alter der Klappen aufgeführt. In 40 cm Tiefe lag mit einem Alter von 56 ± 5 J. v.h. lediglich eine einzelne Klappe. Weitere einzelne Klappen folgten in größeren Abständen. Mit 234 ± 34 J. v.h. in 110 cm Tiefe, 590 ± 35 in 225 cm, 680 ± 66 (DK) bzw. 731 ± 64 in 279 cm und 964 ± 38 (DK) in 340 cm Tiefe ergibt sich nach durchgeführter Regressionsanalyse eine Sedimentaufwuchsrate von 38 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9708).

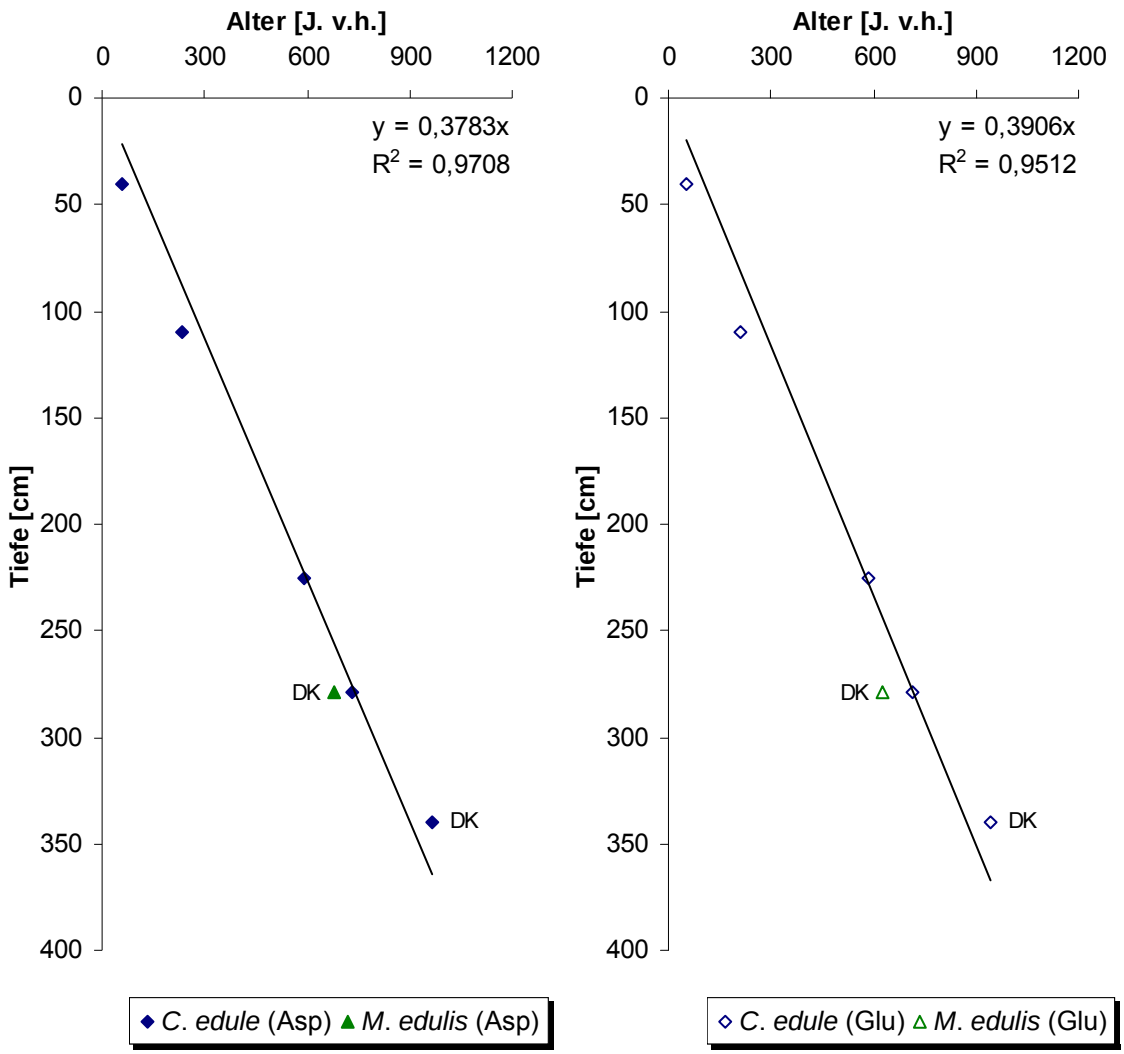


Abb. 4.59: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern B2

4.17.2.11. Kern B3

Für Kern B3 wurde die Aminosäuredatierung an drei *Cerastoderma*- und zwei *Mytilus*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.11.).

Abbildung 4.60 zeigt das Alter der Klappen. Mit einem Alter von 391 ± 17 J. v.h. befand sich eine einzelne Klappe in einer Tiefe von 145 cm. Eine weitere Einzelklappe, die sich in 245 cm Tiefe befand, wies ein Alter von 711 ± 106 J. v.h. auf. Im unteren Teil lagen noch drei weitere Klappen. Zunächst eine Klappe mit 890 ± 64 J. v.h. in 337 cm Tiefe, eine weitere mit 830 ± 63 in 360 cm und letztlich eine mit 1016 ± 54 in 374 - 377 cm. Wird auch hier eine lineare Beziehung zwischen Alter und Sedimenttiefe angenommen und eine Regressionsanalyse durchgeführt, ergibt sich eine Sedimentakkumulationsrate von 38 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9269).

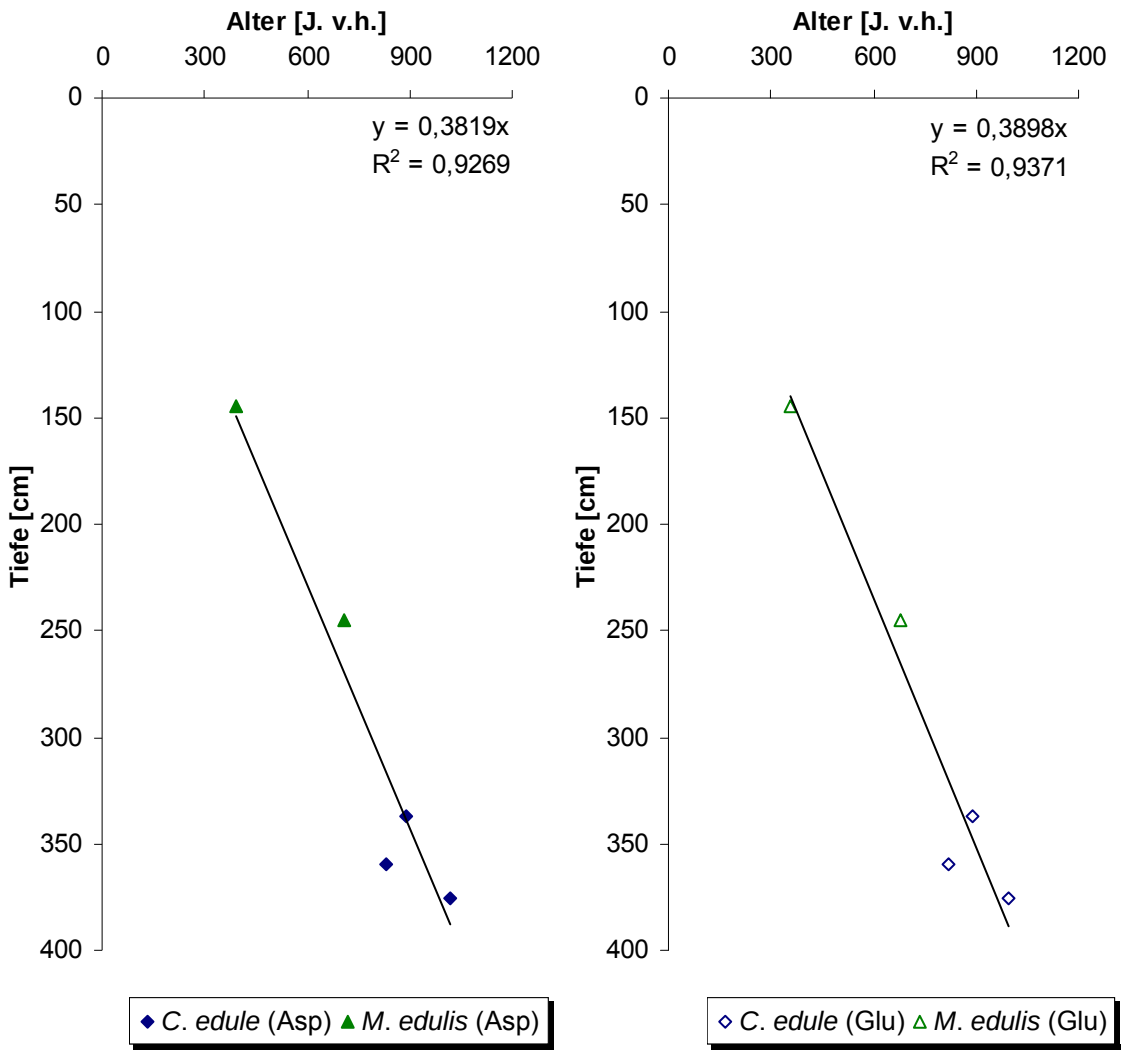


Abb. 4.60: Alter von *C. edule* L. und *M. edulis* L. in Kern B3

4.17.2.12. Kern B4

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern B4 an sechs *Cerastoderma*-EK's bzw. zwei -DK's, einer *Mytilus*-EK und vier *Scrobicularia*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.12.).

In Abbildung 4.61 ist das Alter der Klappen aufgeführt. Die Datierung ergab ein Alterspektrum, das von 224 ± 18 bis 1300 ± 57 J. v.h. reicht. In einer Tiefe von 85 - 145 cm lagen sechs Klappen, mit der oben bereits aufgeführten und fünf weiteren mit 297 ± 8, 304 ± 36, 350 ± 47, 410 ± 32 und mit 510 ± 35 J. v.h. eine Doppelklappe sehr dicht zusammen. Es folgt eine einzelne Klappe mit 583 ± 74 J. v.h. in 190 cm Tiefe. Im Bereich von 232 - 270 cm Tiefe folgen einzelne Klappen mit 618 ± 12, 743 ± 81, 873 ± 81 und mit 924 ± 35 J. v.h. eine weitere Doppelklappe. Eine weitere Klappe folgt mit einem Alter von 1283 ± 85 J. v.h. zusammen mit der oben schon erwähnten in 373 - 381 cm Tiefe. Es ergibt sich eine Sedimentaufwuchsrate von 31 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9663).

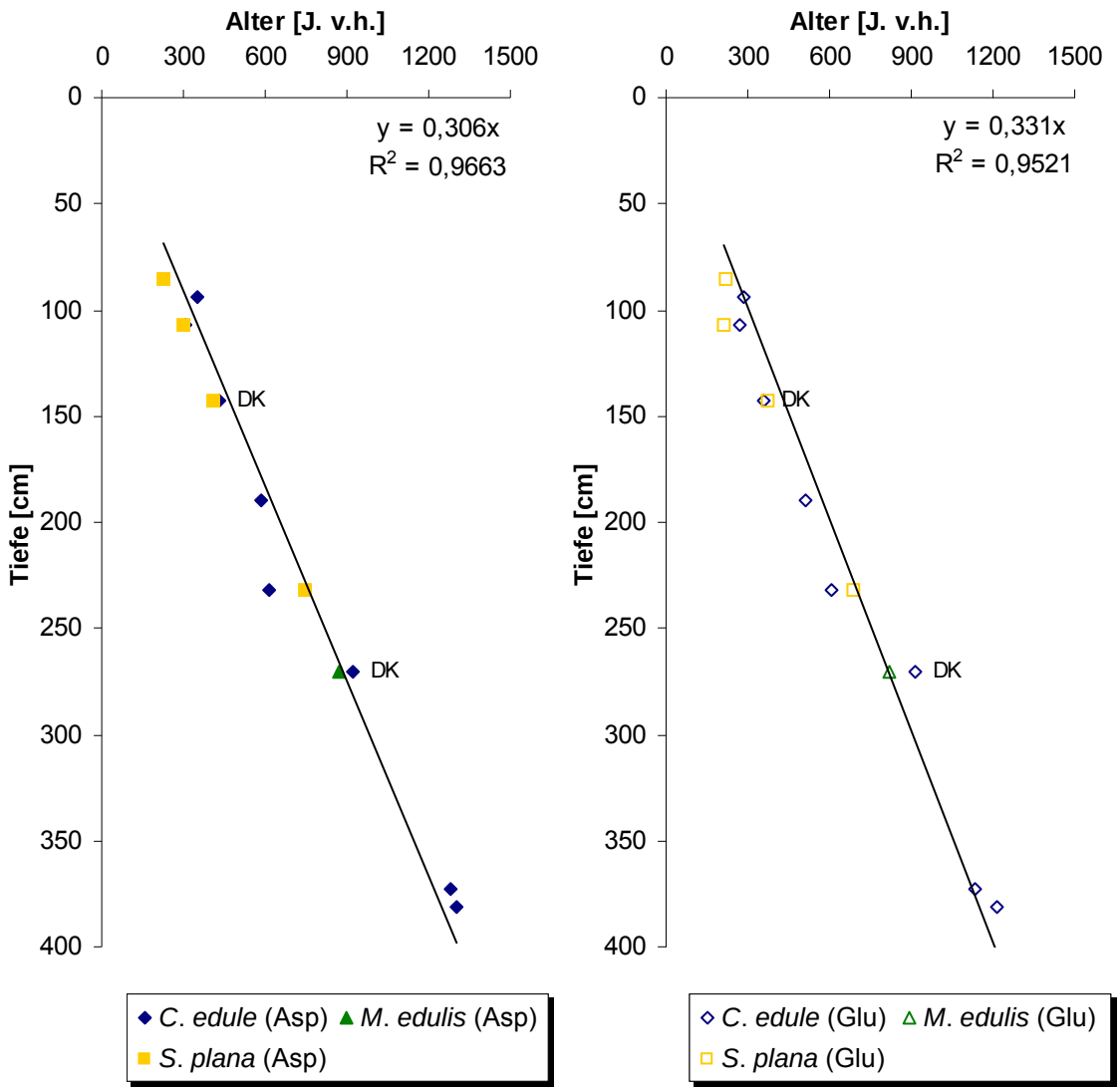


Abb. 4.61: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern B4

4.17.2.13. Kern B5

Für Kern B5 wurde die Aminosäuredatierung an zwei *Cerastoderma*-EK's bzw. drei -DK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.13.).

Das Alter der Klappen ist in Abbildung 4.62 aufgeführt. Die Datierung ergab einen deutlich linearen Anstieg des Alters mit zunehmender Sedimenttiefe. In 120 - 140 cm Tiefe lagen mit einem Alter von 499 ± 31 und 574 ± 42 zwei Klappen. Es folgten drei Doppelklappen mit einem Alter von 1164 ± 69, 1170 ± 60 und 1347 ± 86 J. v.h. im unteren Bereich von 315 - 360 cm Tiefe. Es ergibt sich eine Sedimentaufwuchsrate von 27 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9808).

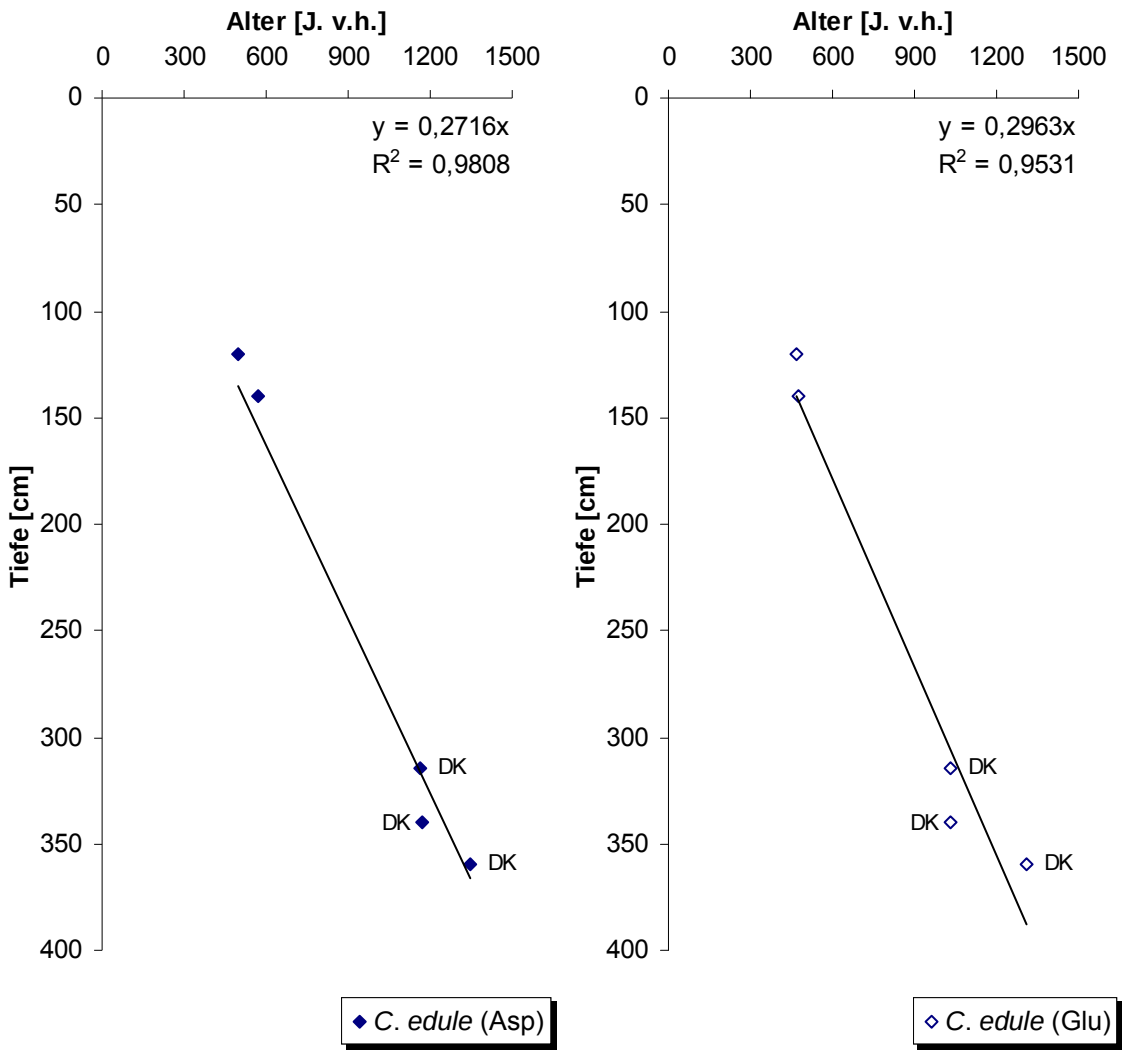


Abb. 4.62: Alter von *C. edule* L. in Kern B5

4.17.2.14. Kern C1

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern C1 an vier *Cerastoderma*-EK's bzw. einer -DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.14.).

In Abbildung 4.63 ist das Alter der Klappen aufgeführt. Im oberen Teil in 25 - 60 cm Tiefe lagen zwei Klappen. Sie wiesen Alter von 98 ± 3 und 133 ± 4 J. v.h. auf. Mit 797 ± 18 J. v.h. befand sich eine einzelne Klappe in 300 cm Tiefe. Im untern Teil befanden sich noch zwei weitere Klappen in 402 cm Tiefe unmittelbar zusammen, wobei hier jedoch eine große Abweichung vorliegt. Die Klappen wiesen Alter von 1467 ± 55 und 1706 ± 19 J. v.h. auf. Beim Anlegen einer Ausgleichsgerade ergibt sich eine Sedimentakkumulationsrate von 27 ± 1 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9171).

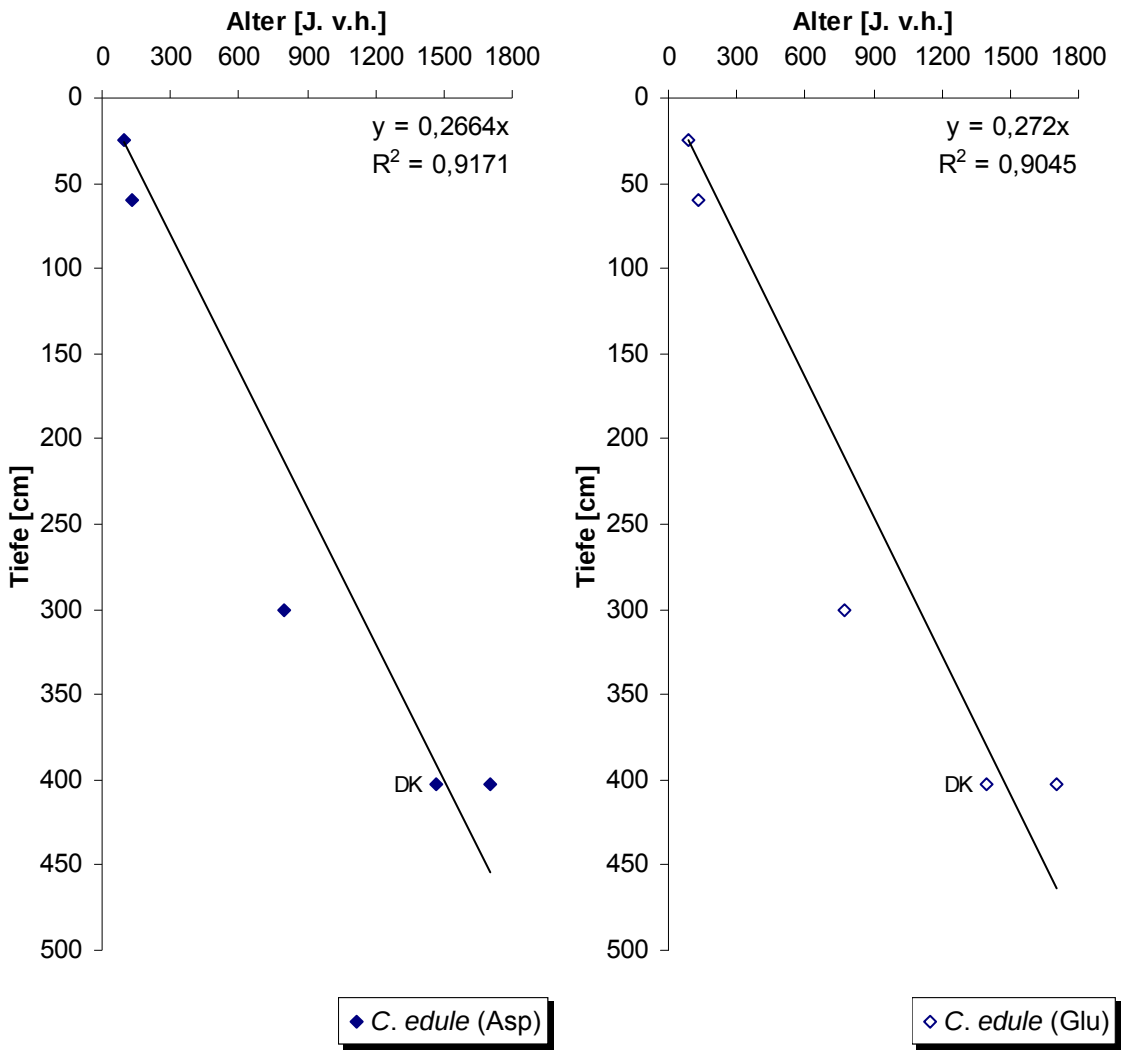


Abb. 4.63: Alter von *C. edule* L. in Kern C1

4.17.2.15. Kern C2

Für Kern C2 wurde die Aminosäuredatierung an vier *Cerastoderma*-EK's, zwei *Mytilus*-EK's und einer *Scrobicularia*-DK durchgeführt (Anhang 8.4.2.15.).

Abbildung 4.64 zeigt das Alter der Klappen. Mit 751 ± 43 und 785 ± 18 lagen zwei Klappen in 267 cm Tiefe. Eine einzelne Klappe in 290 cm Tiefe wies ein Alter von 770 ± 40 J. v.h. auf. Zwei weitere Klappen mit einem Alter von 812 ± 30 und 828 ± 25 J. v.h. lagen in einer Tiefe von 354 - 360 cm. Im unteren Teil befand sich eine Doppelklappe mit 864 ± 36 J. v.h. in 467 cm Tiefe. Eine weitere Klappe in 560 cm Tiefe mit einem Alter von 1111 ± 89 J. v.h. komplettiert die Datierung. Wird eine lineare Beziehung zwischen Alter und Sedimenttiefe angenommen und eine Regressionsanalyse durchgeführt, ergibt sich eine außergewöhnlich hohe Sedimentakkumulationsrate von 122 ± 30 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9149).

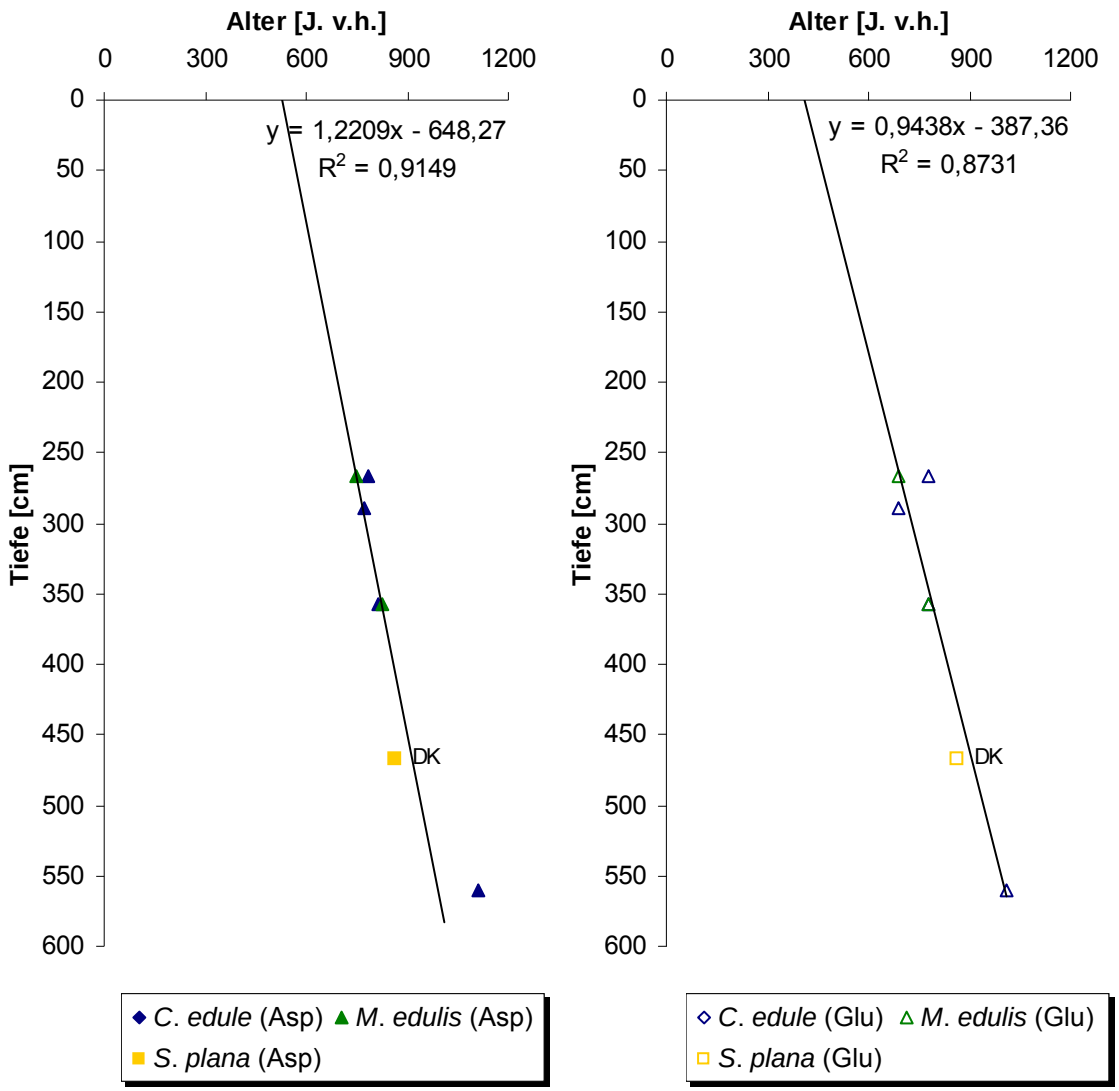


Abb. 4.64: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern C2

Auch hier liegen durch Extrapolation der Regressionsgeraden in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 520 J. v.h. vor. Wird hier ebenfalls mit Hilfe der Regressionsanalyse die Trendlinie über die x-Achse hinaus verlängert, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -648 cm, was für eine enorme Sedimenterosion spricht, die in Kapitel 4.17.3. diskutiert wird.

4.17.2.16. Kern D1

Die Aminosäuredatierung wurde für Kern D1 an einer *Cerastoderma*- und einer *Mytilus*-DK und an zwei *Scrobicularia*-DK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.16.).

Das Alter der Klappen ist Abbildung 4.65 aufgeführt. In 5 cm Tiefe lagen zwei Klappen unmittelbar zusammen. Sie wiesen Alter von 6 ± 1 (DK) und 10 ± 2 J. v.h. auf. In 242 - 258 cm Tiefe lagen mit 644 ± 12 und 668 ± 44 J. v.h. noch zwei weitere Doppelklappen. Es ergibt sich eine Sedimentationsrate von 38 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9995).

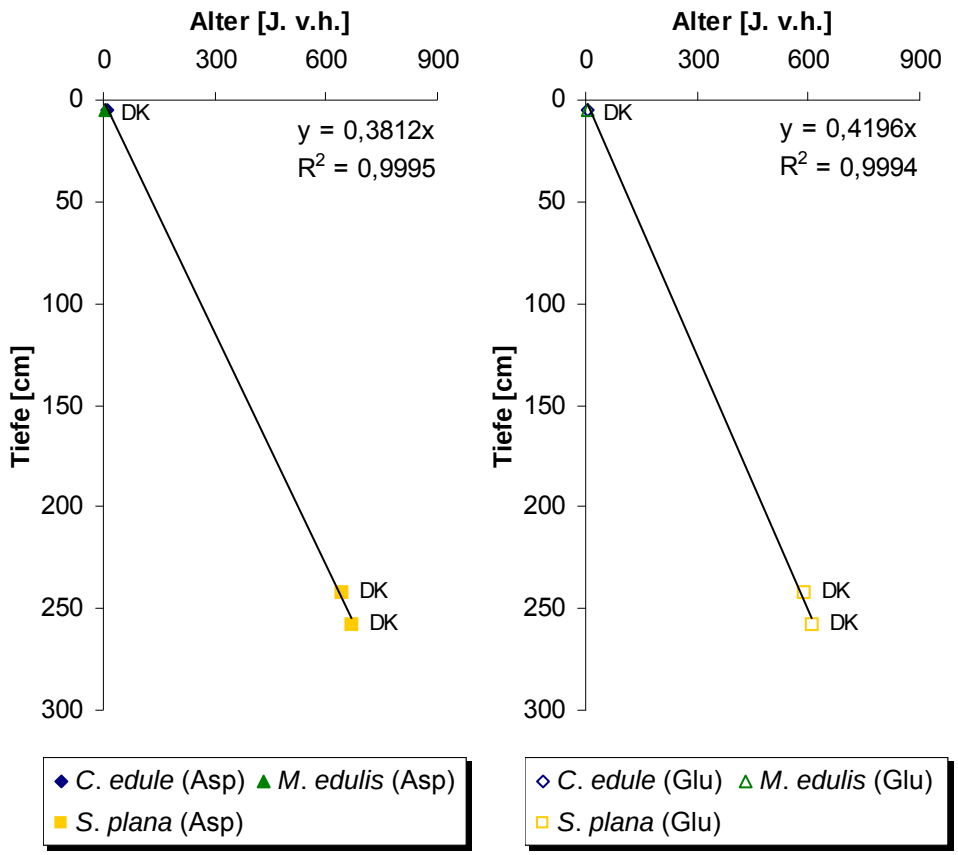


Abb. 4.65: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern D1

4.17.2.17. Kern D2

Für Kern D2 wurde die Aminosäuredatierung an vier *Cerastoderma*-EK's bzw. zwei -DK's, zwei *Mytilus*-EK's und an zwei *Scrobicularia*-EK's bzw. fünf DK's durchgeführt (Anhang 8.4.2.17.).

Abbildung 4.66 zeigt das Alter der Klappen. In 45 bzw. 60 cm Tiefe lagen jeweils zwei Klappen. Sie wiesen Alter von 102 ± 6 und 132 ± 1 (DK) bzw. 101 ± 30 und 148 ± 4 J. v.h. auf. In 90 cm Tiefe folgte mit einem Alter von 314 ± 26 J. v.h. eine einzelne Doppelklappe. In einer Tiefe von 144 - 190 cm lagen sieben Klappen mit 353 ± 44, 360 ± 5, 425 ± 8 (DK), 430 ± 34, 485 ± 44, 492 ± 25 (DK) und 540 ± 6 J. v.h. (DK) sehr dicht beieinander und passen gut in die Ausgleichsgerade. In 260 cm Tiefe folgte noch eine weitere Doppelklappe. Sie wies ein Alter von 982 ± 64 J. v.h. auf. Zwei Klappen in 335 cm Tiefe komplettieren die Datierung. Sie wiesen Alter von 791 ± 63 und 803 ± 82 J. v.h. auf. Die Durchführung einer Regressionsanalyse ergibt eine Sedimentakkumulationsrate von 36 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8594).

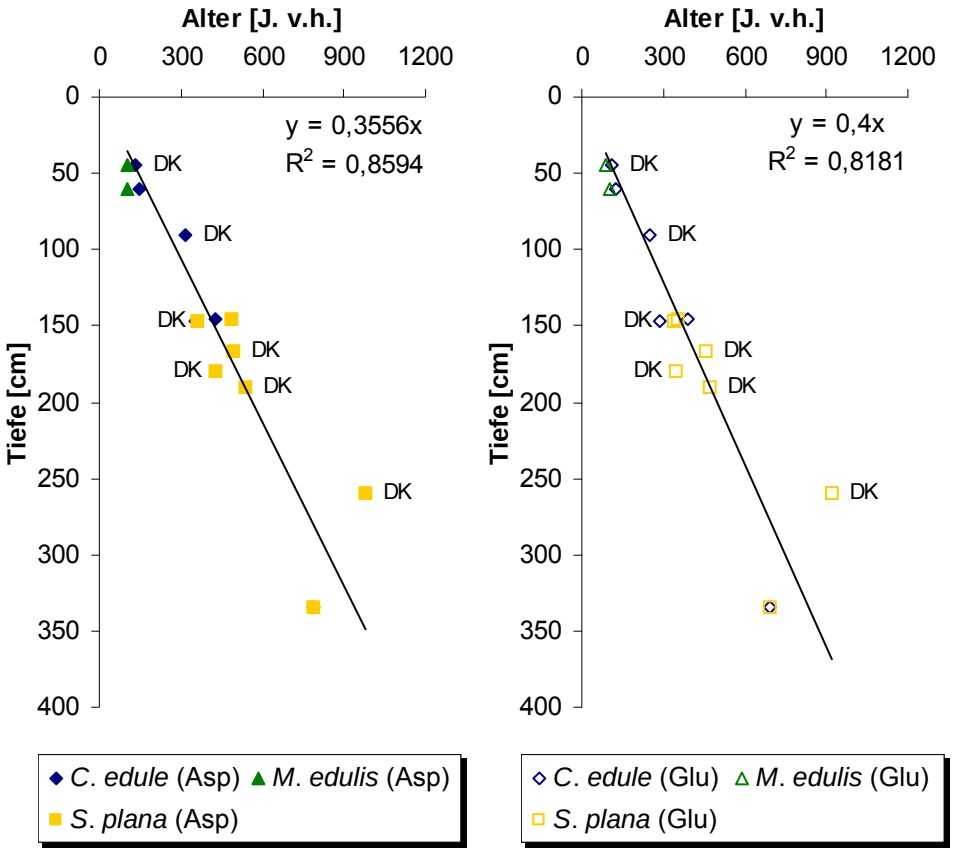


Abb. 4.66: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in Kern D2

4.17.3. Interpretation der Datierungen im Spiekerooger Rückseitenwatt

Innerhalb des Spiekerooger Rückseitenwatts lassen sich Bereiche mit unterschiedlichen morphologischen Tendenzen gegeneinander abgrenzen. Die Rinnen und die Wattkanten unterliegen zeitweise starker Erosion, die im Dezimeterbereich liegt. Auf den zentralen Wattflächen wird hingegen Sediment akkumuliert. Dazwischen liegen Bereiche, deren Morphologie im Wechsel akkumulative und erosive Trends aufweist. Dieses Wechselspiel von Erosion und Sedimentation und die damit verbundenen kurzfristigen Sedimentumlagerungen sind das Ergebnis von Seegang und Strömung (TILCH, 2003).

Die Fläche im Norden des Janssands, dort wo die Kerne 11, B1 - B5, C1 und C2 abgeteuft wurden, liegt in direkter Nähe zum Durchlass zwischen den Inseln an der Hauptrinne des Entwässerungssystems, der Schillbalje, und ist somit gegenüber den anderen Flächen der hydrodynamischen Energie am stärksten ausgesetzt.

Im Gegensatz zu allen anderen am Standort Janssand beprobten Kernen liegen bei Kern C2, in unmittelbarer Reichweite zur Schillbalje gelegen, durch Extrapolation der Regressionsgeraden in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 520 J. v.h. vor. Bei einer Verlängerung der Trendlinie über die x-Achse hinaus ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -648 cm, was für eine enorme Sedimenterosion an dieser Stelle spricht. Als denkbare Ursache mag die Tatsache dienen, dass möglicherweise ein Priel durch die Fläche

mäandrierte oder die Schillbalje ursprünglich weiter südlich gelegen war. Dies deckt sich wiederum mit der Arbeit von TILCH (2003), die durch Auswertung von Seekarten des Ausschnitts des Spiekerooger Rückseitenwatts der Jahre 1866 bis 2000 ein eindeutiges Vertiefen und eine Verlagerung des Rinnensystems in Richtung Nordosten beobachtete. Ferner kommt hinzu, dass Kern C2 im oberen Bereich bis 266 cm kein bzw. im unteren Bereich nur wenig Schalenmaterial enthielt. Bereits HERTWECK (1995) stelle fest, dass die meisten der weniger stabilen Platenränder, deren Sandkörper in den Gezeitenströmen hohen Umlagerungsintensitäten unterliegen, nahezu frei von Besiedlung sind.

Des Weiteren beobachte TILCH (2003) auf den zentraler und somit auch geschützter gelegenen Flächen Gröninger Plate (hier wurde Kern 6 abgeteuft), Janssand Süd (Kern D1 und D2) und Swinnplate (Kern 1 und 2) lediglich geringfügige Unterschiede im Sedimentationsgeschehen, die auf saisonal variierende hydrodynamische Bedingungen zurückzuführen sind. Allerdings gibt es auch hier eine Ausnahme: am Standort Swinnplate liegen bei Kern 1, in direkter Nachbarschaft zur Swinnbalje gelegen, durch Extrapolation der Regressionsgeraden in einer Tiefe von 0 cm bereits Alter von ca. 25 J. v.h. vor. Wird auch hier mit Hilfe der Regressionsanalyse die Trendlinie über die x-Achse hinaus verlängert, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von ca. -14 cm, was ebenfalls für eine Sedimenterosion spricht. Auch hier mag erneut oben aufgeführte Aussage als Erklärung dienen.

Die Fläche auf dem weiter im Süden gelegenen Neuharlingersieler Nacken (hier wurden die Kerne 7, 8, 9 und 10 abgeteuft) liegt zwar ebenfalls in unmittelbare Nähe zur Hauptrinne, die auf sie einwirkende hydrodynamische Energie ist aber aufgrund der Lage innerhalb des Wattsystems bereits schwächer als auf der Fläche Janssand Nord. Laut TILCH (2003) wies die Morphologie des Neuharlingersieler Nackens im Gegensatz zu den anderen Standorten ein stetiges Anwachsen auf.

In Abbildung 4.67 ist das Alter aller Klappen vom Standort Janssand aus den Sedimentkernen 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2 gegen die Sedimenttiefe aufgetragen.

Hier fällt besonders auf, dass nach Durchführung der Regressionsanalyse sowohl im oberen als auch speziell im unteren Tiefenbereich erhebliche Variationen vorliegen.

Wie bereits in Kapitel 4.10.2. angedeutet, erwies sich die Suche nach Jahresdurchschnittstemperaturen in der Literatur als schwierig. Laut VEENSTRA (1983) ist nicht viel über die Temperatur während der letzten 2.000 Jahre im Bereich des nordwesteuropäischen Wattenmeers bekannt, da kontinuierliche meteorologische Beobachtungen erst seit Beginn des 18. Jahrhunderts vorliegen.

Da die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Datierungen allerdings über den Beginn der Temperaturaufzeichnungen hinausgehen, kann eine bedeutende Klimaänderung in der Zeitspanne, in der das zu datierende Objekt im Boden lag, beispielsweise im Rah-

men der mittelalterlichen Warmzeit bzw. der kleinen Eiszeit, zu erheblichen Fehlern führen (Kapitel 4.17.4.).

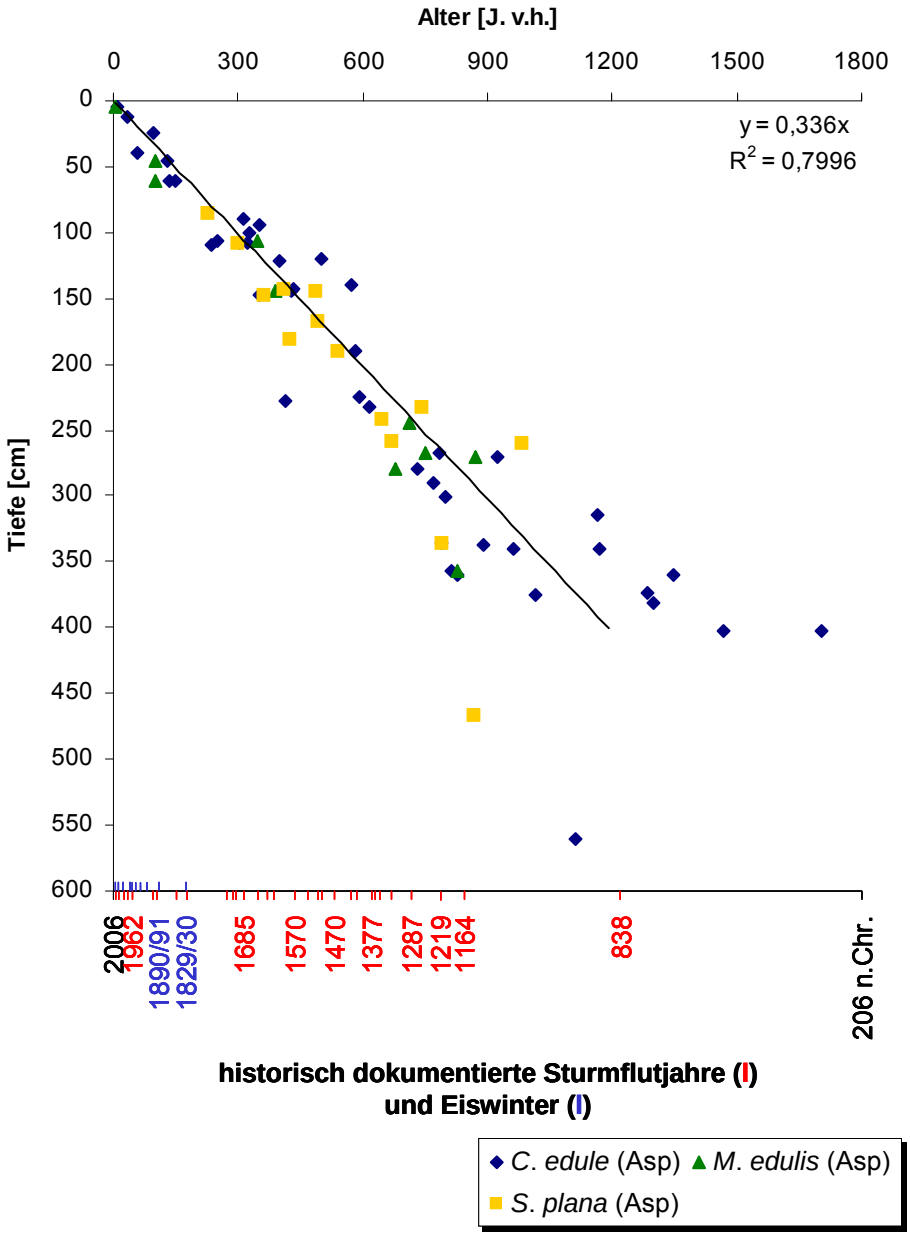


Abb. 4.67: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2

Die für die zehn Sedimentkerne ermittelten Sedimentaufwuchsraten ergeben eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 34 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,7996).

Extreme Sturmflutereignisse mit teilweise erheblichen Landverlusten haben die Entwicklung der deutschen Nordseeküste geprägt, aus historischer Sicht sind viele Sturmfluten mit verheerenden Folgen für die Bewohner der Küstenregion bekannt (JENSEN, 2000).

Aufgrund dieser Tatsache enthält Abbildung 4.67 einige nach JENSEN (2000) bzw. ERCHINGER & STROMANN (2004) historisch dokumentierte Sturmflutjahre (I) der Vergangenheit (Tab. 4.7).

Jahr	Name der Flut	Jahr	Name der Flut
838	Weihnachtsflut	1634	2. Manndränke
1164	1. Julianenflut	1651	Petriflut
1219	1. Marcellusflut	1685	Katharinenflut
1287	Luciaflut	1717	Weihnachtsflut
1334	Clemensflut	1720/21	Neujahrsflut
1362	2. Marcellusflut (1. Manndränke)	1736	Katharinenflut
1374	1. Dionysiusflut	1825	Februarflut
1377	2. Dionysiusflut	1855	Neujahrsflut
1428	Franziusflut	1895	Sturmflut
1436	1. Allerheiligenflut	1906	Märzflut
1470	Dreikönigsflut	1962	2. Julianenflut
1509	Cosmas- und Damianflut	1973	Sturmtidenkette
1511	Antoniusflut	1976	Januarflut
1532	3. Allerheiligenflut	1981	Novemberflut
1570	4. Allerheiligenflut	1994	Januarflut
1625	Fastnachtsflut		

Tab. 4.7: Übersicht der wichtigsten Sturmflutkatastrophen der Vergangenheit

Ferner sind mehrere von STRASSER et al. (2001) dokumentierte Eiswinter (I) der Jahre 1829/30, 1890/91, 1929, 1946/47, 1955/56, 1962/63, 1968/69, 1979, 1984/85 und 1995/96 aufgeführt.

Die eingezeichneten historisch dokumentierten Sturmflutjahre und Eiswinter sollen dazu beitragen, speziell die Variationen im oberen Tiefenbereich zu erklären. Von diesen extremen Bedingungen, beeinflusst durch Stürme oder Eisgang, sind Schichten bis zu einer Mächtigkeit von mehreren Dezimetern betroffen (HERTWECK & LIEBEZEIT, 2002; FLEMMING & BARTHOLOMÄ, 2003).

Insbesondere für die Sturmfluten der Jahre 1164 und 1570 lässt sich die Streuung in Abbildung 4.67 erklären.

Die anderen Sedimentaufwuchsraten, die für das Spiekerooger Rückseitenwatt ermittelt wurden, liegen für Kern 1 am Standort Swinnplate bei ungewöhnlich hohen 56 ± 15 cm (R^2 = 0,7347) (ZIEHE, 2005: 38 ± 4 cm) und für Kern 2 bei 28 ± 3 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9900) (ZIEHE, 2005: 28 ± 4 cm).

Für Kern 6 beträgt die Sedimentakkumulationsrate am Standort Gröninger Plate 36 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8807) (ZIEHE, 2005: 42 ± 3 cm).

Am Standort Neuharlingersieler Nacken liegt die Sedimentationsrate für Kern 7 bei 32 ± 2 (R^2 = 0,7971) (ZIEHE, 2005: 30 ± 2 cm), für Kern 8 bei 34 ± 3 (R^2 = 0,9132) (ZIEHE, 2005: 42 ± 3 cm), für Kern 9 bei 34 ± 3 (R^2 = 0,9414) und bei Kern 10 bei 33 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,7655).

In Abbildung 4.68 ist das Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 11 und B1 - B5 am Standort Janssand aufgetragen. Mit Hilfe der unterlegten Schraffur (▒) soll versucht werden, Schalenmaterial gleichen Alters in unterschiedlichen Tiefen miteinander zu verbinden.

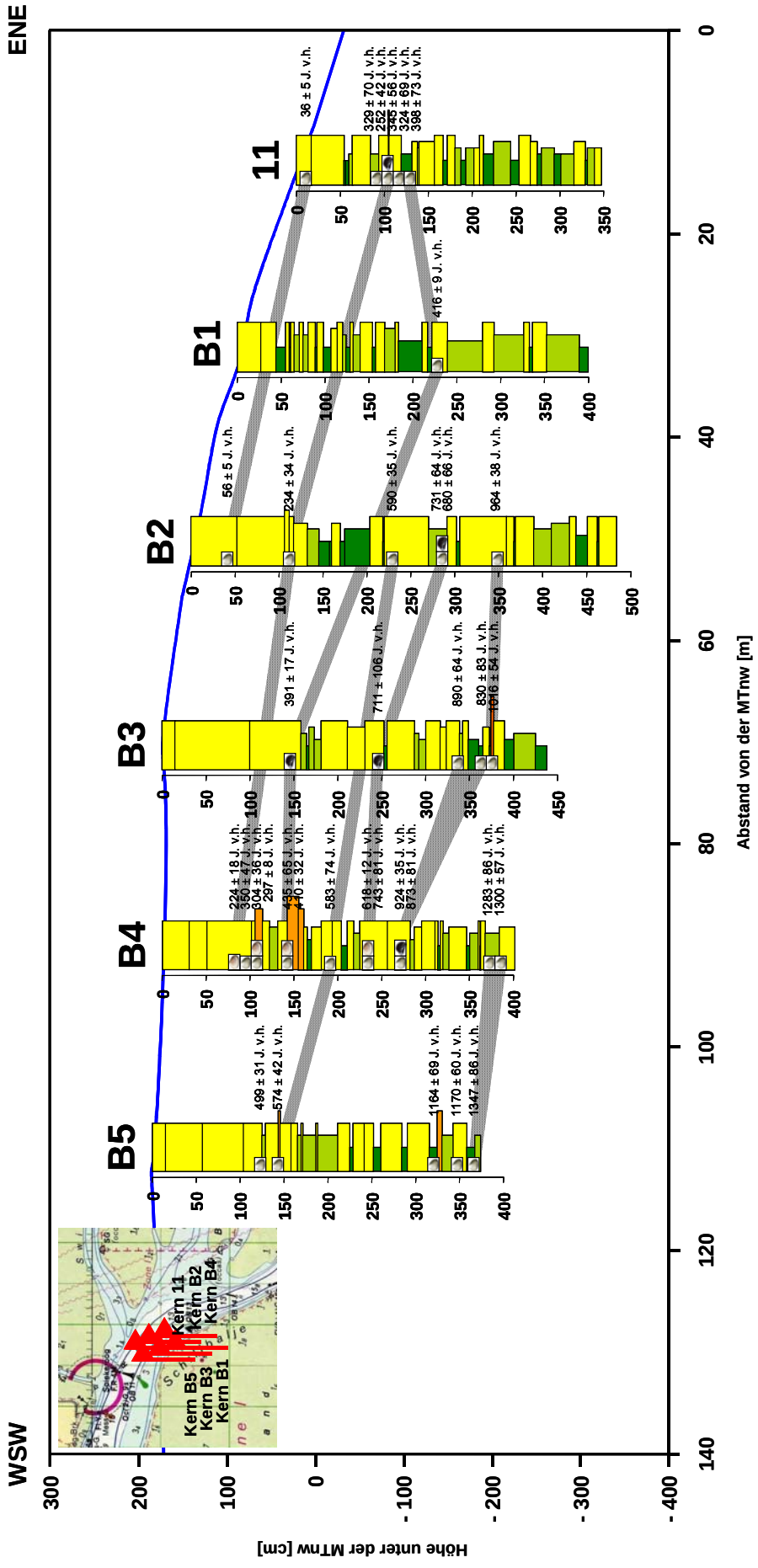


Abb. 4.68: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 11 und B1 - B5

Hiermit kann nun unterschieden werden, dass bestimmte Tiefen mehr oder weniger gleichmäßige Akkumulation zeigen, was z.B. bei den Kernen B4 und B5 der Fall ist. In Tiefen von 125 - 175 cm bzw. 325 - 375 cm liegen annähernd gleiche Alter vor. Die Kerne B3 und B4 weisen in 150 bzw. 250 cm Tiefe ebenfalls nahezu identische Alter auf. Selbiges gilt für die Kerne B2 und B3. Bei den Kernen B2, B3 und Kern 11 hingegen weist rascher Aufwuchs auf eine ereigniskontrollierte Akkumulation hin, zumal Kern 11 in unmittelbarer Nähe zum Priel angesiedelt ist. Für Kern B1 lässt sich dagegen kein aussagekräftiges Ergebnis treffen.

4.17.4. Ermittelte Sedimentationsraten - Ein Vergleich mit der Literatur

Abbildung 4.69 zeigt das Alter aller Klappen vom Standort Spiekerooger Rückseitenwatt aus den Sedimentkernen 1, 2, 6 - 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2 aufgetragen gegen die Sedimenttiefe.

Zusätzlich enthält Abbildung 4.69 ebenfalls einige nach JENSEN (2000) bzw. ERCHINGER & STROMANN (2004) (Tab. 4.7) historisch dokumentierte Sturmflutjahre (**I**) und mehrere von STRASSER et al. (2001) dokumentierte Eiswinter (**I**) der Vergangenheit.

Zur Einordnung der historischen Sturmfluten, d.h. insbesondere der Sturmfluten bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, ist die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der mittleren (Tide-)Wasserstände erforderlich, weil die Höhenangaben auf den mittleren Meeresspiegel bezogen sind. Da neben den Folgeerscheinungen der Eiszeiten auch die tektonischen Küstenbewegungen zu berücksichtigen sind, ist der Verlauf der zeitlichen Entwicklung des mittleren Meeresspiegels nicht exakt nachvollziehbar. Detaillierte Kenntnisse zur mittleren Wasserstandsentwicklung liegen erst ab etwa 1850 für die Nordseeküste vor (JENSEN, 2000).

Die für die siebzehn Sedimentkerne ermittelten Sedimentaufwuchsraten ergeben eine durchschnittliche Sedimentakkumulationsrate von 34 ± 2 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,8865).

Dieser Wert entspricht der in der Literatur allgemein angenommenen Sedimentationsrate von 25 - 30 cm/Jahrhundert, die aus dem Anstieg des Meeresspiegels in jüngster Zeit berechnet wurde (KUNZ, 1993). Untersuchungen von LÜDERS (1971) über das mittlere Ansteigen der Scheitelwasserstände von fünf Jahrhundertfluten (1717, 1825, 1855, 1906 und 1962) gehen von 30 cm/Jahrhundert aus. ROHDE (1980) geht ebenfalls von einem Anstieg von 25 cm/Jahrhundert aus. Ferner liegt der oben aufgeführte Wert im Bereich der von BEHRENDS (1997) bzw. ZIEHE (2005) über die AAR-Methode ermittelten 35 cm/Jahrhundert bzw. 36 ± 10 cm/Jahrhundert. Des Weiteren berichten BUNGENSTOCK & SCHÄFER (2009) von einem Anstieg von 31 cm/Jahrhundert für die letzten 6.000 bis 7.000 Jahre.

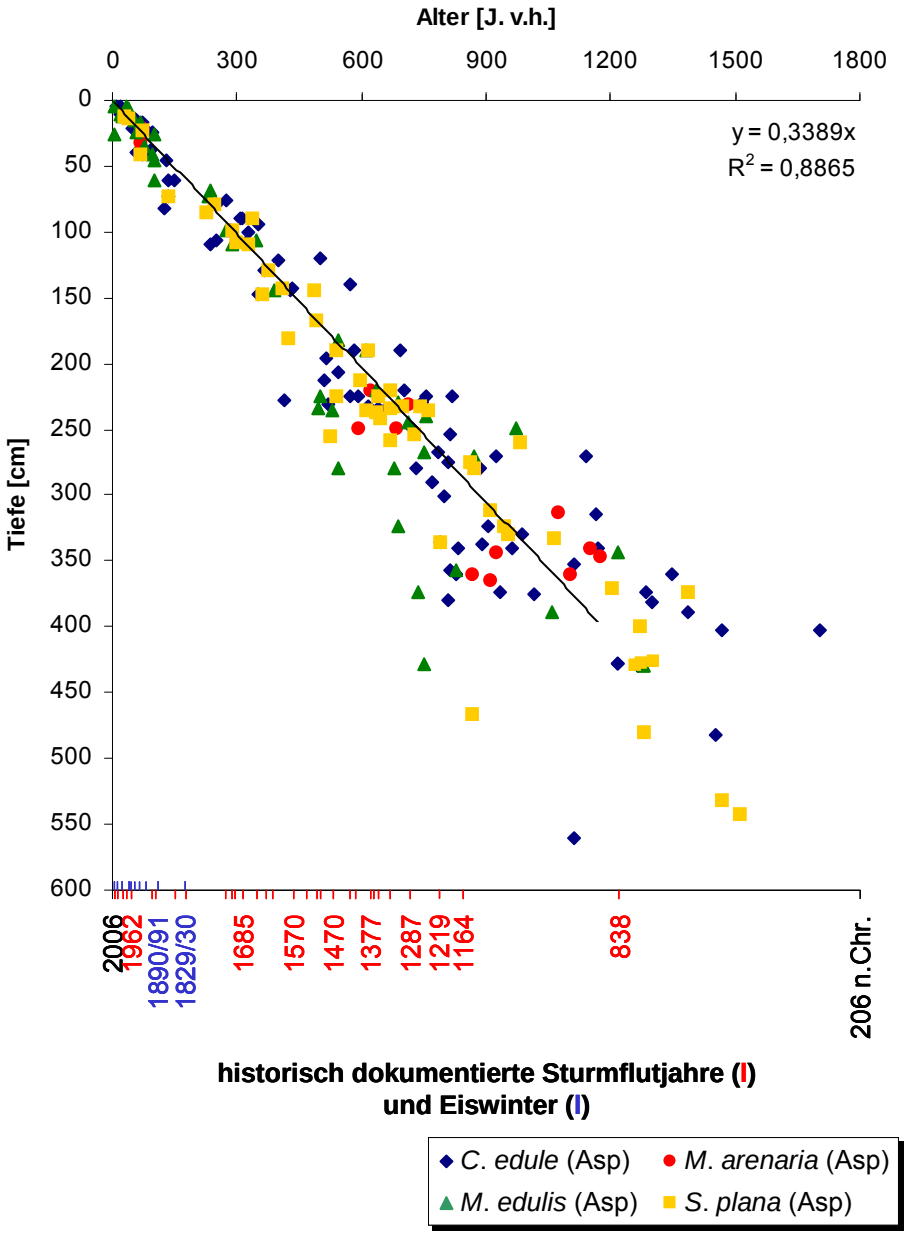


Abb. 4.69: Alter von *C. edule* L., *M. arenaria* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Kernen 1, 2, 6 - 11, B1 - B5, C1, C2, D1 und D2

Auch hier lassen sich anhand der Streuung im oberen Tiefenbereich u.U. Sturmfluten der Jahre 1164, 1219 und 1470 zuordnen.

Wie in Kapitel 4.17.3. bereits erwähnt, gehen die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Datierungen über den Beginn der Temperaturaufzeichnungen hinaus. Da die Wahl der „richtigen“ Temperatur jedoch der entscheidende Faktor bei der Datierung mit der AAR-Methode ist, kann eine bedeutende Klimaänderung in der Zeitspanne, in der das zu datierende Objekt im Boden lag, beispielsweise im Rahmen der mittelalterlichen Warmzeit bzw. der kleinen Eiszeit, zu erheblichen Fehlern führen. Ein Temperaturunterschied von einem Grad hat eine Abweichung von 19 % (Asparaginsäure in biogenen Carbonaten; GOODFRIEND et al., 1995) bei der Racemisierungsrate zur Folge.

Abbildung 4.70 zeigt u.a. den jüngsten Abschnitt der Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs, der durch einen Wechsel von land- und seewärtigen Küstenlinienverschiebungen geprägt ist. STREIF (2003) gibt als Ursache dieser wechselvollen Entwicklung den deutlich verlangsamten und z.T. durch Stillstandsphasen sowie kurze Absenkungen unterbrochenen Meeresspiegelanstieg während der letzten 7.500 Jahre an. Die über die gesamte Zeitspanne gemittelte Rate des Meeresspiegelanstiegs beträgt 33 cm/Jahrhundert (SCHWARZ, 1996).

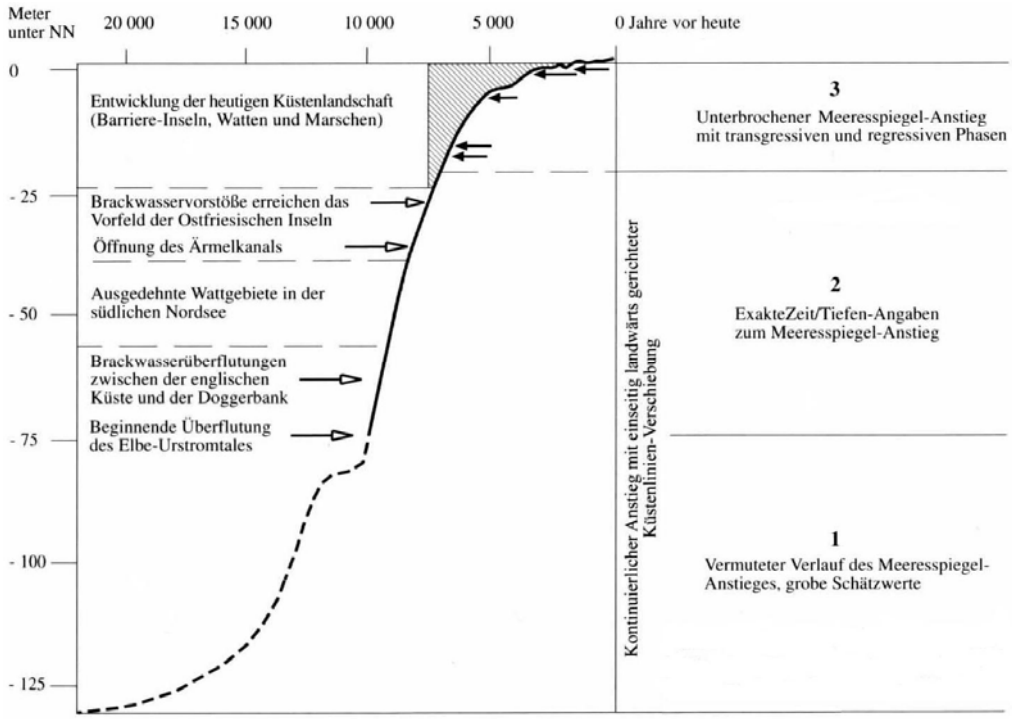


Abb. 4.70: Zeit-/Tiefendiagramm des in drei Phasen abgelaufenen Meeresspiegelanstiegs vom Höhepunkt der Weichsel-Kaltzeit bis heute mit Hinweisen auf Abschnitte transgressiver bzw. regressiver Entwicklung sowie auf besondere Ereignisse der Landschaftsgeschichte (aus STREIF, 2003)

Vergleicht man hingegen die für den Standort Spiekerooger Rückseitenwatt ermittelte durchschnittliche Sedimentakkumulationsrate von 34 ± 2 cm/Jahrhundert für den betrachteten Zeitraum der letzten ~1.500 Jahre mit Daten von BEHRE (2003, 2007), so ergeben sich erhebliche Unterschiede (Abb. 4.72). Laut BEHRE (2003, 2007) beträgt der mittlere Anstieg zwischen 1.000 v.Chr. und 2.000 n.Chr. lediglich 11 cm/Jahrhundert und zwischen Christi Geburt und 2.000 n.Chr. 11,5 cm/Jahrhundert. Bei kürzer gefassten Intervallen lassen sich jedoch in den letzten 4.000 Jahren nach Belieben auch wesentliche steilere Anstiege berechnen. Nachdem das Meer den Hauptanstieg beendet hatte, konnten natürliche Klimaschwankungen ihren Ausdruck auch in Meeresspiegelbewegungen finden (BEHRE, 2003).

Isostatische Einflüsse lassen sich an der südlichen Nordsee hingegen nicht nachweisen und die tektonischen Bewegungen sind so schwach, dass sie zu vernachlässigen sind (BEHRE, 2003, 2007).

Laut BEHRE (2003, 2007) waren Schwankungen des Meeresspiegels von 1 - 2 m in wenigen Jahrhunderten nicht ungewöhnlich. Seit 1600 bis heute beispielsweise ist die Nordsee um ca. 135 cm gestiegen. Das sind im Mittel ca. 33 cm/Jahrhundert (Abb. 4.71).

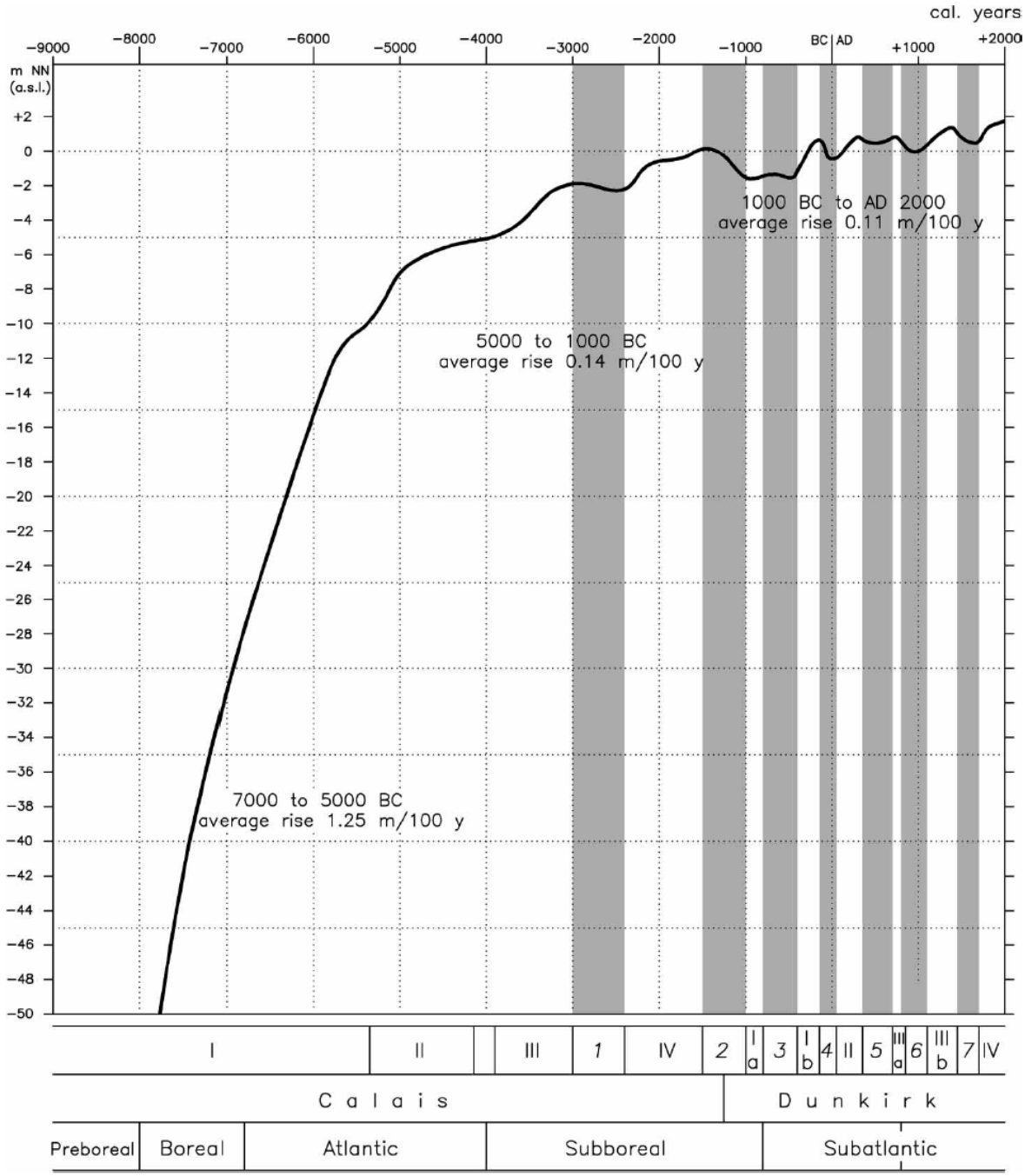


Abb. 4.71: Einfache Form der Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee. Zeitangaben in kalibrierten Kalenderjahren. Das Subatlantikum wird, durch die Teilstriche angedeutet, in Frühes und Spätes Subatlantikum unterteilt (aus BEHRE, 2007)

Dagegen lassen sich die jüngsten Veränderungen des Meeresspiegels aus Pegelwerten exakt ablesen. Für den Bereich der Deutschen Bucht haben umfassende Untersuchungen von TÖPPE (1993, 1995) ergeben, dass im Zeitraum 1855 - 1990 das Mittelwasser um 15 cm/Jahrhundert angestiegen ist, und zwar gleichmäßig, ohne eine manchmal vermutete Beschleunigung. Demgegenüber ist das MThw in diesem Zeitraum um

23 cm/Jahrhundert angestiegen, das MTnw jedoch nur um 9 cm/Jahrhundert, was sich in einem höheren Tidenhub ausdrückt. Auch diese Anstiege zeigen im Gesamtbefund keine Beschleunigung, wohl aber eine Abweichung einzelner Pegel gegenüber dem Mittel, was im Wesentlichen anthropogene Ursachen haben dürfte (BEHRE, 2003, 2007; RAHMSTORF, 2007).

Die Pegeldaten stimmen somit größtenteils mit den Daten der Aminosäure-Racemisierungs-Methode überein, die konventionellen korrigierten ^{14}C-Daten von BEHRE (2003, 2007), die mit Hilfe des Kalibrierungsprogramms IntCal98 von STUIVER et al. (1998) in „kalibrierte Jahre vor heute“ umgerechnet wurden, jedoch nicht immer.

Als Erklärung für die Differenz mag die Tatsache dienen, dass unter Berücksichtigung der sehr dynamischen Ablagerungsverhältnisse, die den holozänen Sedimentkörper charakterisieren, nicht alle Ablagerungsphasen im Probenmaterial von BEHRE (2003) erkennbar sind. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die sedimentologische Ansprache nicht ausreicht, um eine genügend hohe Auflösung bei der Interpretation der einzelnen Ablagerungsprozesse zu erreichen. Eine weitere Erklärung könnte die Erosion von Sediment während Transgressions- und Sturmflutereignissen sein (MAUZ & BUNGENSTOCK, 2007).

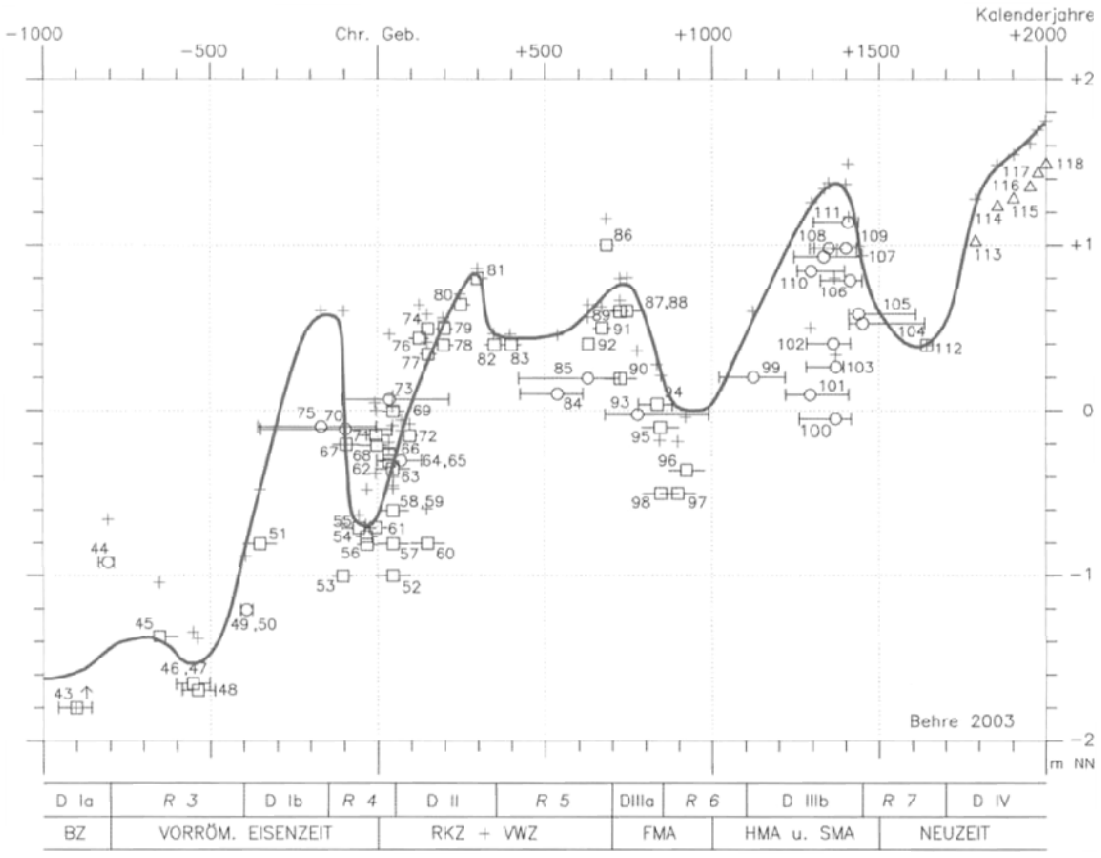


Abb. 4.72: Im Verhältnis 4:1 überhöhter Abschnitt des jüngsten Teils der Meeresspiegelkurve (aus BEHRE, 2003)

4.18. Ergebnisse der Untersuchungen auf Hallig Hooge

4.18.1. Datierung der Muschelschalen

4.18.1.1. Bohrung Hoo-06-01 und Hoo-06-02

Für die Bohrung Hoo-06-01 wurde die Aminosäuredatierung an sechs *Cerastoderma*-EK's (Anhang 8.4.3.1.) und für die Bohrung Hoo-06-02 an drei *Cerastoderma*-EK's, einer *Mytilus*-EK und zwei *Scrobicularia*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.3.2.).

In Abbildung 4.73 ist das Alter aller Klappen aus den Bohrungen Hoo-06-01 und Hoo-06-02 aufgeführt.

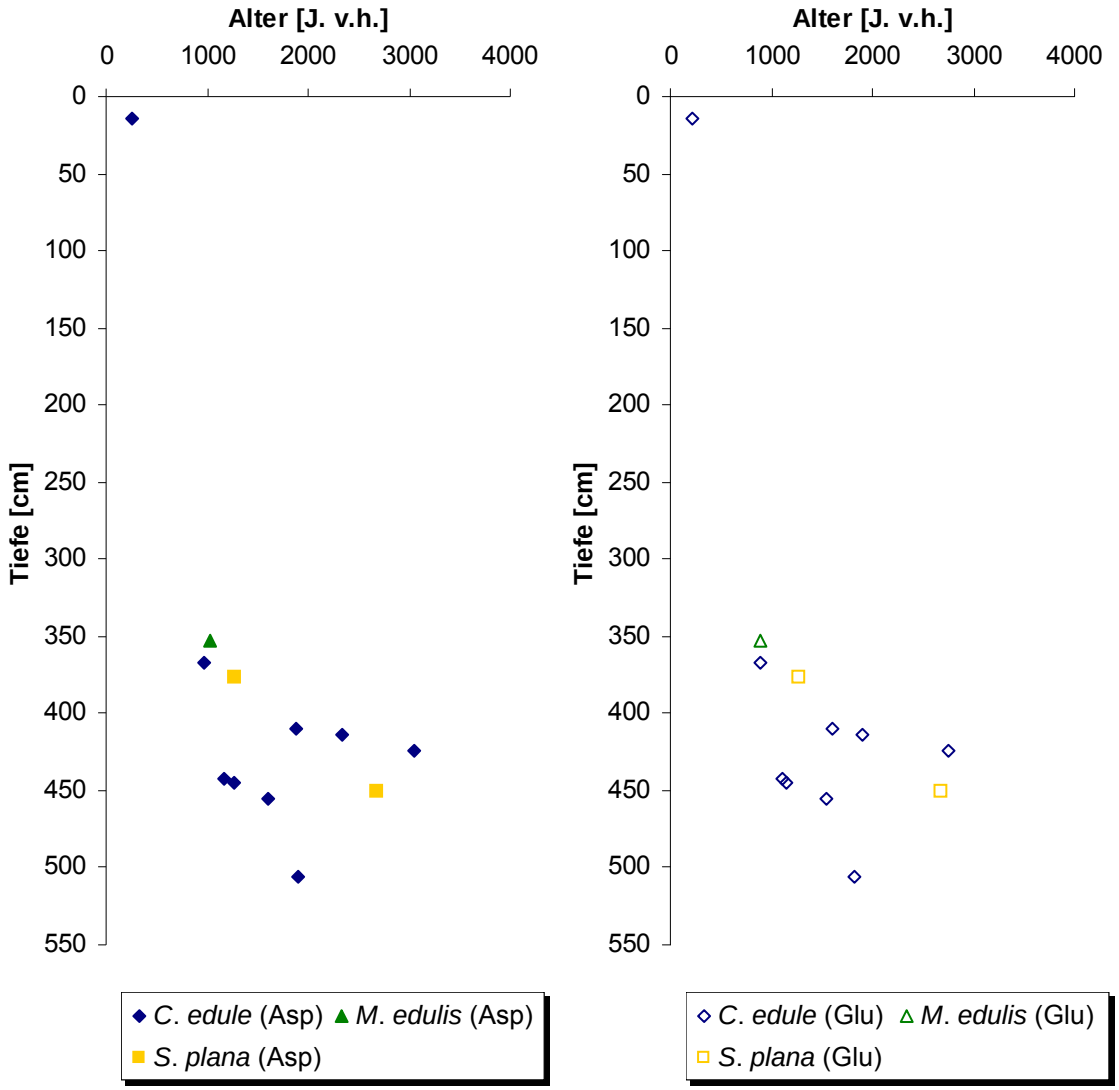


Abb. 4.73: Alter von *C. edule* L., *M. edulis* L. und *S. plana* L. in den Bohrungen Hoo-06-01 und Hoo-06-02

Im oberen Teil der Bohrung Hoo-06-01, in 14 cm Tiefe, befand sich mit einem Alter von 259 ± 15 J. v.h. eine einzelne Klappe. Mit einem Alter von 965 ± 64 J. v.h. lag eine weitere Klappe in 366 - 369 cm Tiefe. Vier weitere Klappen befanden sich in einer Tiefe von 442 - 509 cm. Sie wiesen Alter von 1165 ± 85, 1264 ± 35, 1602 ± 95 und 1903 ± 77 J. v.h. auf.

In der Bohrung Hoo-06-02 lagen in einer Tiefe von 351,5 - 450 cm sechs Klappen mit 1039 ± 55, 1343 ± 82, 1886 ± 118, 2339 ± 169, 3056 ± 148 und 3257 ± 130 J. v.h. relativ eng zusammen, wobei hier jedoch sehr große Abweichungen vorliegen.

4.18.1.2. Aufschluss H06/DR01

Für den Aufschluss H06/DR01 wurde die Aminosäuredatierung an fünf *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.3.3.).

In Abbildung 4.74 ist das Alter der Klappen aufgeführt. Der Aufschluss enthielt vier Klappen mit einem Alter von 26 ± 2, 32 ± 6, 55 ± 6 und 59 ± 6 J. v.h. in einer Tiefe von 13 - 37 cm. Eine weitere Klappe mit 116 ± 3 J. v.h. komplettiert die Datierung in 68 - 87 cm Tiefe. Nach durchgeführter Regressionsanalyse ergibt sich eine ungewöhnlich hohe Sedimentaufwuchsrate von 63 ± 4 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9651).

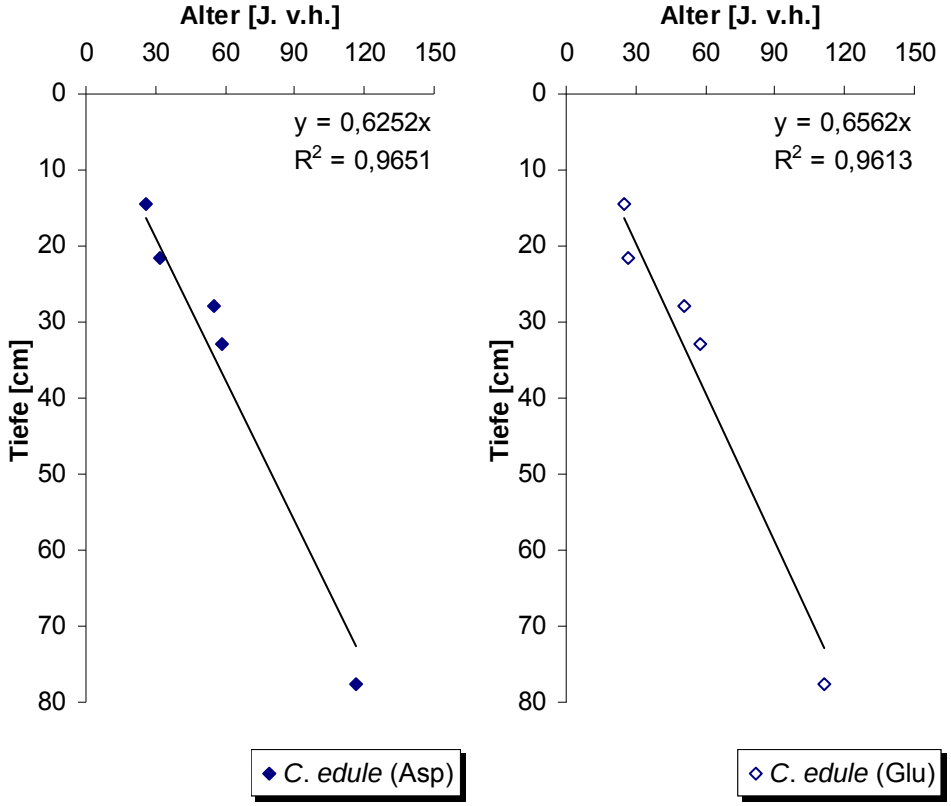


Abb. 4.74: Alter von *C. edule* L. im Aufschluss H06/DR01

4.18.1.3. Aufschluss H06/KW03

Die Aminosäuredatierung wurde für den Aufschluss H06/KW03 an elf *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.3.4.).

Abbildung 4.75 zeigt das Alter der Klappen. Im Bereich von 11 - 44,5 cm Tiefe lagen fünf Klappen mit einem Alter von 17 ± 3, 25 ± 7, 31 ± 4, 35 ± 4 und 45 ± 3 J. v.h. relativ dicht beieinander. Es folgten weitere fünf Klappen mit 62 ± 4, 71 ± 6, 79 ± 5, 91 ± 11 und

102 ± 4 J. v.h. in einer Tiefe von 52,5 - 86,5 cm. Eine Klappe mit 116 ± 7 J. v.h. in 95,5 - 101,5 cm Tiefe ergänzt die Datierung. Wird eine lineare Beziehung zwischen Alter und Sedimenttiefe angenommen und eine Regressionsanalyse durchgeführt, ergibt sich wieder eine sehr hohe Sedimentakkumulationsrate von 79 ± 6 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9255).

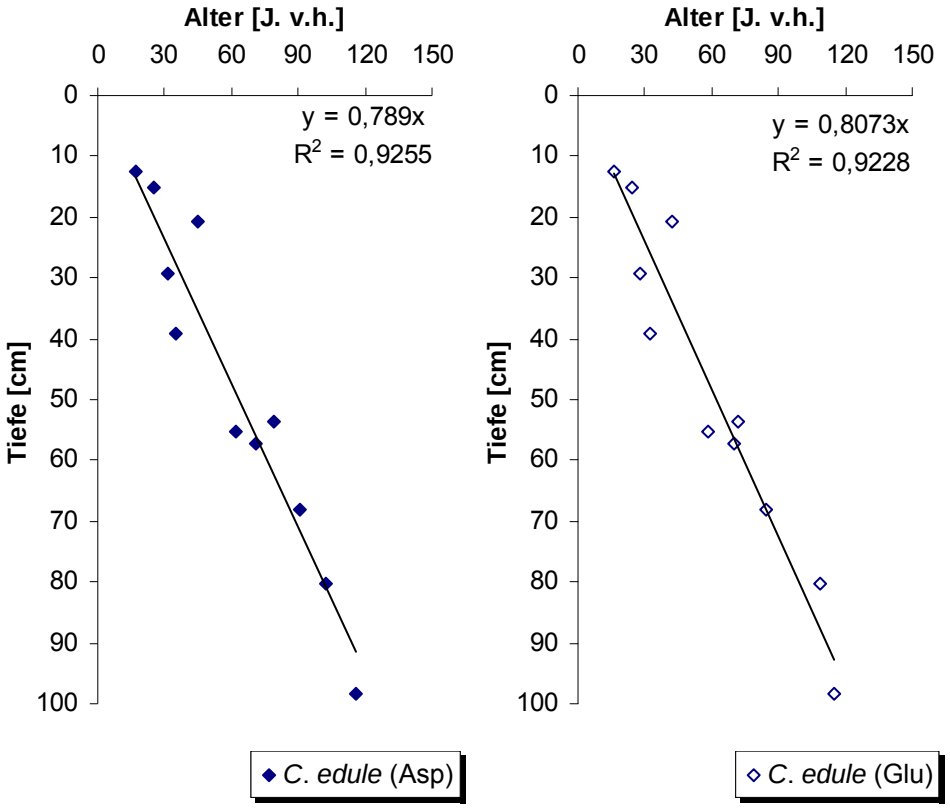


Abb. 4.75: Alter von *C. edule* L. im Aufschluss H06/KW03

4.18.2. Interpretation der Datierungen auf Hallig Hooge

Laut DEICKE et al. (2007) sind die jüngeren Sedimentschichten aus dem Inneren der Hallig deutlich anders aufgebaut als in den deichnahen Randbereichen. Die Bohrung Hoo-06-02 zeigt, dass die jüngeren Sedimentschichten vorwiegend aus siltigem Material bestehen, welches gelegentlich von wenigen Millimeter umfassenden, sandigen Sturmflutlagen unterbrochen wird. In einer Tiefe von 53 cm ist ein Sedimentwechsel zu feinsandigen Ablagerungen erkennbar. Dieser Sedimentwechsel kann mit dem Bau des Überflutungsdeiches von 1914 in Verbindung gebracht werden. Durch den Deichbau wurde ein Becken mit ruhigen Sedimentationsbedingungen geschaffen, die zur Ablagerung von Silt führten. Die Mächtigkeit der Ablagerungen seit 1914 beträgt an dieser Stelle 53 cm, entsprechend einer Sedimentakkumulationsrate von 60 cm/Jahrhundert (DEICKE et al., 2007).

Dieser Sachverhalt lässt sich jedoch aus der Datierung des Schalenmaterials der Bohrungen Hoo-06-01 aus dem vorgelagerten Watt Hallig Hooges und Hoo-06-02 aus dem Inneren der Hallig nicht ableiten, da lediglich Schalenmaterial aus einer Tiefe von 351,5 -

509 cm zur Verfügung stand. Möglicherweise handelt es sich hierbei um eine anthropogene Erhöhung der Hallig im Rahmen des Deichbaus bzw. der Erhöhung einer ehemaligen Warft.

Bei den Aufschlüssen H06/DR01 und H06/KW03 handelt es sich um zwei ca. 1 m hohe Profile auf der Nordwestseite Hallig Hooges unmittelbar hinter dem zwischen 1911 und 1914 errichteten Überflutungsdeich (MÜLLER, 1917). Theoretisch sollten die am 23. Februar 2006 beprobten Aufschlüsse somit kein Schalenmaterial erhalten, welches älter als 92 Jahre ist. Bei einer Sedimentationsrate von 63 ± 4 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9651) für den Aufschluss H06/DR01 ergab die älteste vorgefundene Schale jedoch ein Alter von 116 ± 3 J. v.h., was möglicherweise für eine Umlagerung spricht, da alle anderen Schalen jüngere Alter < 92 J. v. 2006 aufweisen. Ähnliches gilt für den Aufschluss H06/KW03 mit einer Sedimentaufwuchsrate von 79 ± 6 cm/Jahrhundert (R^2 = 0,9255). Die ältesten hier gefundenen Schalen weisen Alter von 91 ± 11, 102 ± 4 und 116 ± 7 J. v.h. knapp über den 92 J. v. 2006 auf, was unter Umständen auch für Transport- bzw. Umlagerungsprozesse spricht.

DEICKE et al. (2007) gibt an, dass sich die Sedimentationsbedingungen auf der Hallig mit Fertigstellung des Überflutungsdeiches nachhaltig verändert haben. Es existiert zwar keine einheitlich aufgebaute Halligmarsch aus der Zeit vor 1914, doch lässt sich die ältere Marsch von den jüngeren Ablagerungen recht deutlich unterscheiden, da das jüngere Sediment in der Regel deutlich geschichtet ist. Die Mächtigkeit der Lagen liegt häufig im Bereich von wenigen Zentimetern. Insbesondere in den deichnahen Aufschlüssen H06/DR01 und H06/KW03 ist eine deutliche Wechsellagerung von feineren und gröberen Lagen erkennbar. Die älteren Ablagerungen (vor 1914) wirken im Gegensatz zu den jüngeren Sedimentschichten auf den ersten Blick sehr homogen. Erst bei genauerer Betrachtung zeichnet sich häufig eine sehr feine Wechsellagerung von nicht durchgängigen und meist nur weinigen Millimeter starken siltigen bis sandigen Lagen ab. Mächtigere Lagen treten nur selten auf. Die gröbere Schichtung ab 1914 ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass nach dem Deichbau die Anzahl der „Land unter“ deutlich abgenommen hat. Überflutungen traten nur noch bei höheren Hochwässern auf und diese hatten wegen des höheren energetischen Niveaus vermutlich eine entsprechend erhöhte Suspensionsfracht als die zahlreichen kleinen Überflutungen vor dem Deichbau. Darüber hinaus wurde mit dem Deichbau ein Sedimentationsbecken geschaffen, weil das Wasser nur über drei Sieltore ablaufen konnte und damit die Verweildauer des Wassers auf der Hallig während eines „Land unters“ verlängert wurde. Dadurch wurde es möglich, dass auch feinere Kornfraktionen abgelagert werden konnten (DEICKE et al., 2007).

Die Grenze zwischen den Ablagerungen vor und nach dem Deichbau ist sehr scharf und in den meisten Aufschlüssen der Hallig vorzufinden. Diese Grenze ist häufig durch

eine Schichtfuge markiert (Abb. 3.25 - 3.26). Es handelt sich hierbei um eine 1 - 1,5 cm starke sandige Lage, die in den Aufschlüssen stark zurückgewittert ist. Vermutlich handelt es sich hierbei um das Sediment der schweren Sturmflut von 1916 (DEICKE et al., 2007).

Charakteristisch für die deichnahen Aufschlüsse sind mächtige Schilllagen (Abb. 3.27). Die Bildung der Schilllagen steht im Zusammenhang mit dem Überflutungsdeich. Das auf der Deichinnenseite schnell strömende Überschlagswasser ermöglicht zunächst nur groben Partikeln wie Schill oder Tongeröllen die Ablagerung. Feineres Material kommt in diesem anfangs schnell strömenden Milieu nicht zur Ablagerung. Die Schilllagen sind auf mehrere Meter in Richtung Halligzentrum zu verfolgen. Die untersten Schilllagen markieren den Beginn der Sedimentation nach dem Deichbau. Laut DEICKE et al. (2007) beträgt die Sedimentakkumulationsrate in den deichnahen Aufschlüssen 120 cm/Jahrhundert nach 1914 was im Bereich der ermittelten 63 ± 4 cm (für H06/DR01) bzw. 79 ± 6 cm/Jahrhundert (für H06/KW03) liegt.

4.19. Ergebnisse der Untersuchungen auf Borkum

4.19.1. Datierung der Muschelschalen

Die Aminosäuredatierung wurde an drei *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.4.). Die Klappen wiesen Alter von 1450 ± 31, 1613 ± 31 und 1615 ± 23 J. v.h. auf.

Für die Proben von Borkum lagen als Referenzmaterial Ergebnisse von ^{14}C-datierten *C*. *edule* L. und *H*. *ulvae* L. vor. Für *C*. *edule* L. gab FREUND (2004) ein Alter von 2120 ± 60 und für *H*. *ulvae* L. ein Alter von 2090 ± 115 J. v.h. an. Die Abweichung zu den mit der AAR-Methode für Asparagin- und Glutaminsäure ermittelten Altern beträgt über 500 Jahre.

4.20. Ergebnisse der Untersuchungen auf Langeoog

4.20.1. Datierung der Muschelschalen

Die Aminosäuredatierung wurde an drei *Cerastoderma*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.5.). Die Klappen wiesen Alter von 497 ± 6, 498 ± 14 und 499 ± 22 J. v.h. auf.

Für die Stichwand von Langeoog lagen als Referenzmaterial Ergebnisse von ^{14}C-datierten *C*. *edule* L. und *M*. *arenaria* L. bzw. mit der AAR-Methode für Asparaginsäure datierte Proben von *M*. *edulis* L. vor.

Die mit der AAR-Methode für Asparagin- und Glutaminsäure datierten Proben befanden sich an der Oberfläche eines Anreicherungshorizontes von Wattschnecken (*H*. *ulvae* L.), der von BARCKHAUSEN (1969) als Hydrobienbank bezeichnet wird. Für die an derselben Stelle gefundenen ^{14}C-datierten Muschelschalen von *C*. *edule* L. wurde von FREUND

(2004) ein Alter von 1030 ± 45 bzw. 1210 ± 45 J. v.h. angegeben. Für die mit der AAR-Methode für Asparaginsäure datierten Muschelschalen gab ZIEHE (2005) ein Alter von 329 ± 6 bzw. 375 ± 53 J. v.h. an.

Die Abweichung zu den mit der AAR-Methode für Asparagin- und Glutaminsäure ermittelten Altern beträgt über 500 Jahre.

4.21. Ergebnisse der Untersuchungen auf Mellum

4.21.1. Datierung der Muschelschalen

Die Aminosäuredatierung wurde jeweils an zwei *Cerastoderma*-, *Mya*- und *Mytilus*-EK's durchgeführt (Anhang 8.4.6.). Die *Cerastoderma*-Klappen wiesen Alter von 356 ± 12 und 390 ± 16, die *Mya*-Klappen Alter von 354 ± 3 und 382 ± 19, die *Mytilus*-Klappen Alter von 322 ± 13 und 347 ± 20 J. v.h. auf.

Für die Profile A u. B von Mellum lagen als Referenzmaterial ebenfalls Ergebnisse von ^{14}C-datierten *C*. *edule* L. und *M*. *arenaria* L. vor.

Für die an der Oberfläche entnommen Proben von *C*. *edule* L. gab FREUND (2004) ein Alter von 710 ± 50 und für *M*. *arenaria* L. ein Alter von 615 ± 55 und 800 ± 75 J. v.h. an.

Die Abweichung zu den mit der AAR-Methode für Asparagin- und Glutaminsäure ermittelten Altern beträgt über 400 Jahre.

4.22. Interpretation der Datierungen auf Borkum, Langeoog und Mellum

4.22.1. Mariner Reservoireffekt/Hartwassereffekt

Verschiedene Reservoireffekte können das ^{14}C-Alter von Proben verändern. So verarmt z.B. altes Tiefenwasser der Ozeane, das längere Zeit nicht im Gasaustausch mit der Atmosphäre stand, an ^{14}C und erhöht damit das ^{14}C-Alter des daraus abgeleiteten Probenmaterials (OLSSON, 1979). Diese Altersdifferenz wird mariner Reservoireffekt genannt.

Es wird eine Reservoirkorrektur notwendig, die bei mäßig tiefen Schelfbereichen wie der südlichen Nordsee bei bis zu 400 Jahren liegt (GEYH, 2005). Eine genaue Bestimmung dieser Reservoirkorrektur für biogene Carbonate erfolgte jedoch bisher für die südliche Nordsee bzw. das Wattenmeer nicht. Lediglich HEIER-NIELSEN et al. (1995) geben eine Reservoirkorrektur von 377 ± 16 Jahren für Dänemark an. BONDEVIK et al. (1999) beziffern die Reservoirkorrektur auf 380 ± 32 Jahre für Norwegen. Untersuchungen von MANGERUD et al. (2006) gehen von einer Reservoirkorrektur von 380 ± 30 bzw. 360 ± 30 Jahren für den Nordatlantik aus. Ein systematischer ^{14}C-Datierungsversuch von Torf- bzw. Holz und biogenen Carbonaten sollte zur Klärung der Frage der Reservoirkor-

rektur im Wattenmeer führen, um damit verlässliche unabhängige Altersbestimmungen für die AAR-Methode zu liefern.

Zusätzlich können Datierungen durch den sogenannten Hartwassereffekt verfälscht werden. Das Alter des Probenmaterials wird durch die Aufnahme von mineralischem Kohlenstoff aus alten Böden oder Gestein erhöht. Der Hartwassereffekt entsteht, wenn ^{14}C-verarmter Kohlenstoff aus Carbonatgestein gelöst und beispielsweise von biogenen Carbonaten im Wasser über das Bicarbonat aufgenommen wird.

Mit den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Datierungen auf Borkum, Langeoog und Mellum konnte gezeigt werden, dass die Reservoirkorrektur bei mindestens 465 Jahren, u.U. sogar vielleicht noch höher liegen muss (Abb. 4.76).

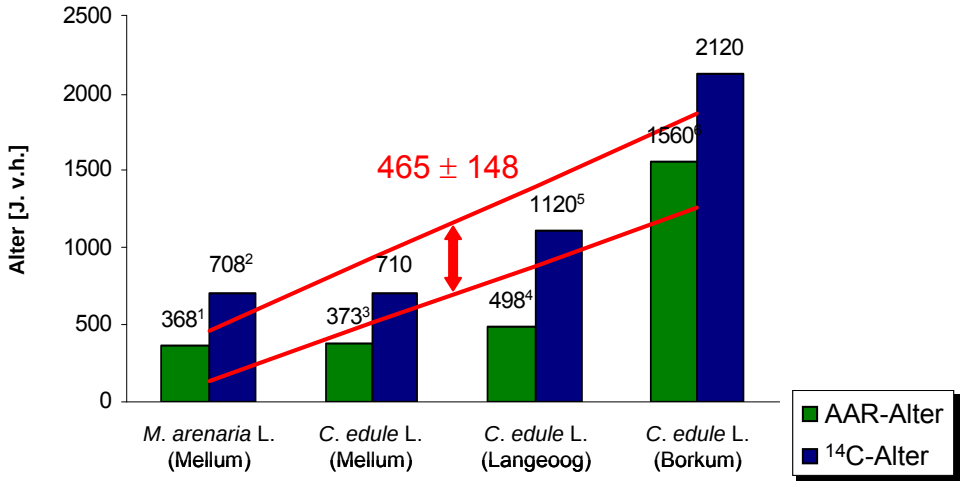


Abb. 4.76: AAR- und ^{14}C-Alter der Proben von Borkum, Langeoog und Mellum

([1]: Mittelwert aus 354 und 382 J. v.h., [2]: Mittelwert aus 615 und 800 J. v.h., [3]: Mittelwert aus 356 und 390 J. v.h., [4]: Mittelwert aus 497, 498 und 499 J. v.h., [5]: Mittelwert aus 1030 und 1210 J. v.h. bzw. [6]: Mittelwert aus 1450, 1631 und 1615 J. v.h.)

Genauer gesagt liegt die Altersdifferenz für die *C. edule* L.-Proben von Borkum bei ca. 560 Jahren bzw. für Langeoog bei ca. 622 Jahren. Bei den *C. edule* L.-Proben von Mellum beträgt der Altersunterschied ca. 337 Jahre und bei den *M. arenaria* L.-Proben ca. 340 Jahre. Gemittelt ergibt sich ein Wert von etwa 465 ± 148 Jahren, der im Bereich der von GEYH (2005) angegebenen 400 Jahre liegt.

Aus den ermittelten Daten lässt sich Folgendes ableiten: die für Mellum durchgeführten Datierungen gehen mit den aufgeführten Literaturdaten weitgehend einher, die für Borkum und Langeoog dagegen weniger. Dies könnte zum einen daran liegen, dass unterschiedliche Spezies analysiert wurden. Des Weiteren wurden nicht an ein und derselben Probe sowohl die ^{14}C-Datierung als auch die Datierung mit der AAR-Methode durchgeführt. Ferner können die Proben von Borkum und Langeoog aus Reservoiren eingetragen worden sein, deren ^{14}C-Anfangswerte von dem des atmosphärischen Kohlenstoffs abweichen (OLSSON, 1979), d.h. die Altersdifferenz könnte standortspezifisch bedingt sein.

5. Schlussbetrachtung

Die Datierung der Muschelschalen mit der Aminosäure-Racemisierungs-Methode von D/L-Asparagin- und Glutaminsäure hat gezeigt, dass sie geeignet ist, geologisch sehr junge Zeiträume wie das Wattenmeer zu betrachten. Die angewandte Methode ermöglicht die Datierung von Proben, die sich der ^{14}C-Datierung (1.000 - 40.000 J. v.h.) entziehen.

Die AAR-Methode stellt somit eine verlässliche Alternative zu anderen herkömmlichen Datierungsmethoden dar. Im Zusammenspiel mit der ^{210}Pb- bzw. der ^{14}C-Methode, nicht zu vergessen mit der OSL-Methode, sollte es in Zukunft möglich sein zuverlässige Aussagen über das holozäne Sedimentationsgeschehen im Bereich des norddeutschen Küstenraums treffen zu können. Besonders aufgrund der Tatsache, dass nun Aktivierungsenergien für die am häufigsten im Wattenmeer vorkommenden biogenen Carbonate vorliegen, sollte sich die AAR-Methode zu einer neuen, schnellen und kostengünstigen Routinemethodik entwickeln.

Ausgehend von der ermittelten Sedimentationsraten, die sehr gut mit bisher vorliegenden Daten übereinstimmen, sollte es möglich sein, die AAR-Methode zukünftig noch weiter auszubauen und zu präzisieren.

6. Literaturverzeichnis

ANDERSEN, T. J., MIKKELSEN, O. A., MØLLER, A. L. & PEJRUP, M. (2000): Deposition and mixing depths on some European intertidal mudflats based on ^{210}Pb and ^{137}Cs activities. - *Continental Shelf Research*, **20**: 1569-1591.

ARANY, S., OHTANI, S., YOSHIOKA, N. & GONMORI, K. (2004): Age estimation from aspartic acid racemization of root dentin by internal standard method. - *Forensic Science International*, **141**: 127-130.

BADA, J. L. & PROTSCH, R. (1973): Racemization reaction of aspartic acid and its use in dating fossil bones. - *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **70**: 1331-1334.

BADA, J. L. & SCHROEDER, R. A. (1975): Amino acid racemization reactions and their geochemical implications. - *Naturwissenschaften*, **62**: 71-79.

BADA, J. L. (1982): Racemization of amino acids in nature. - *Interdisciplinary Science Reviews*, **7**: 30-46.

BADA, J. L. (1985): Amino acid racemization dating of fossil bones. - *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **13**: 241-268.

BADEWIEN, T. H. (2008): Wassertemperaturen Messpfahl Spiekeroog (2004 - 2007). - *persönliche Mitteilung*.

BANDEL, K. (2009): Aufbau der *Mya arenaria* L.-Schale. - *persönliche Mitteilung*.

BARCKHAUSEN, J. (1969): Entstehung und Entwicklung der Insel Langeoog - Beiträge zur Quartärgeologie und Paläogeographie eines ostfriesischen Küstenabschnittes. - *Oldenburger Jahrbücher*, **68**: 239-281.

BARNES, R. D. (1987): Invertebrate Zoology. - *Saunders College Publishing*, *Philadelphia*, *Fifth Edition*: 1-893.

BATHURST, R. G. C. (1975): Carbonate Sediments and Their Diagenesis. - *In*: *Developments in Sedimentology 12*. *Elsevier Scientific Publishing Company*, *New York*: 1-660.

BEHRE, K.-E. (2003): Eine neue Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee - Transgressionen und Regressionen in den letzten 10.000 Jahren. - *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, **28**: 9-63.

BEHRE, K.-E. (2004): Coastal development, sea-level change and settlement history during the later Holocene in the Clay District of Lower Saxony (Niedersachsen), northern Germany. - *Quaternary International*, **112**: 37-53.

BEHRE, K.-E. (2005): Meeresspiegelanstieg - Marschentwicklung - Küstenlinien. Die letzten 10000 Jahre an der deutschen Nordseeküste im Zeitraffer. - *Schriftenreihe des Landesmuseums Natur und Mensch*, *Oldenburg*, **33**: 25-36.

BEHRE, K.-E. (2007): A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea. - *Boreas*, **36**: 82-102.

BEHRENDS, B. (1997): Aminosäuren in Sedimenten und Partikeln des Wattenmeeres. - *Dissertation*, *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*: 1-168.

BEHRENDS, B., GOODFRIEND, G. A. & LIEBEZEIT, G. (2003): Amino acid dating of recent intertidal sediments in the Wadden Sea, Germany. - *Senckenbergiana maritima*, **32** (1/2): 155-164.

BEHRENDS, B., HERTWECK, G., LIEBEZEIT, G. & GOODFRIEND, G. A. (2005): Earliest Holocene occurrence of the soft-shell clam, *Mya arenaria*, in the Greifswalder Bodden, Southern Baltic. - *Marine Geology*, **216**: 79-82.

BERGER, G. W., EISMA, D. & VAN BENNEKOM, A. J. (1987): ^{210}Pb-derived sedimentation rate in the Vlieter, a recently filled-in tidal channel in the Wadden Sea. - *Netherlands Journal of Sea Research*, **21**: 287-294.

BERGER, G. W. & CALINE, B. P. R. (1991): Estimation of sedimentation rates in the Bay of Mont Saint-Michel (France) by ^{210}Pb dating technique. A pilot study. - *Oceanologica Acta*, **11**: 137-142.

VON BERTALANFFY, L. (1934): Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. I. Teil: Allgemeine Grundlagen der Theorie; mathematische und physiologische Gesetzlichkeiten des Wachstums bei Wassertieren. - *Development Genes and Evolution*, **131**: 613-652.

BLASZYK, P. (1987): Geschichte und Aufgabe des Naturschutzes auf Mellum. - *In*: *GERDES*, *G*., *KRUMBEIN*, *W*. *E*. *&* *REINECK*, *H*.-*E*. (*Hrsg*.): *Mellum - Porträt einer Insel*. *Verlag Waldemar Kramer*, *Frankfurt*: 9-16.

BONDEVIK, S., BIRKS, H. H., GULLIKSEN, S. & MANGERUD, J. (1999): Late Weichselian marine ^{14}C reservoir ages at the western coast of Norway. - *Quaternary Research*, **52**: 104-114.

BRINTON, K. L. F., TSAPIN, A. I., GILICHINSKY, D. & MCDONALD, G. D. (2002): Aspartic acid racemization and age-depth relationships for organic carbon in Siberian permafrost. - *Astrobiology*, **2**: 77-82.

BROOKS, A. S., HARE, P. E., KOKIS, J. E., MILLER, G. H., ERNST, R. D. & WENDORF, F. (1990): Dating Pleistocene archeological sites by protein diagenesis in ostrich eggshell. - *Science*, **248**: 60-64.

BROUSSEAU, D. J. (1978): Population dynamics of the soft-shell clam *Mya arenaria*. - *Marine Biology*, **50**: 63-71.

BROUSSEAU, D. J. (1979): Analysis of growth rate in *Mya arenaria* using the von Bertalanffy equation. - *Marine Biology*, **51**: 221-227.

BROWN, R. H. (1985): Amino acid dating. - *Origins*, **12**: 8-25.

BRÜCKNER, H., WITTNER, R. & GODEL, H. (1991): Fully automated high-performance liquid chromatographic separation of DL-amino acids derivatized with *o*-phthaldialdehyde together with *N*-Isobutyryl-cysteine. Application to food samples. - *Chromatographia*, **32**: 383-388.

BRÜCKNER, H., HAASMANN, S., LANGER, M., WESTHAUSER, T. & WITTNER, R. (1994): Liquid chromatographic determination of D- and L-amino acids by derivatization with *o*-phthaldialdehyde and chiral thiols. - *Journal of Chromatography A*, **666**: 259-273.

BUNGENSTOCK, F., MAUZ, B. & SCHÄFER, A. (2004): The late Holocene sea level rise at the East Frisian coast (North Sea): new time constraints provided by optical ages of coastal deposits. - *In*: *SCHERNEWSKI*, *G*. & *DOLCH*, *T*. (*Hrsg*.): *Geographie der Meere und Küsten*. *Coastline Reports*, **1**: 37-41.

BUNGENSTOCK, F. & SCHÄFER, A. (2009): The Holocene relative sea-level curve for the tidal basin of the barrier island Langeoog, German Bight, southern North Sea. - *Global and Planetary Change*, **66**: 34-51.

BUSCHBAUM, C. & SAIER, B. (2001): Growth of the mussel *Mytilus edulis* L. in the Wadden Sea affected by tidal emergence and barnacle epibionts. - *Journal of Sea Research*, **45**: 27-36.

CHANG, T. S., FLEMMING, B. W., TILCH, E., BARTHOLOMÄ, A. & WÖSTMANN, R. (2006): Late Holocene stratigraphic evolution of a back-barrier tidal basin in the East Frisian Wadden Sea, southern North Sea: transgressive deposition and its preservation potential. - *Facies*, **52**: 329-340.

CHURCH, J. A. & WHITE, N. J. (2006): A 20th century acceleration in global sea-level rise. - *Geophysical Research Letters*, **33**: 1-4.

CLARK II, G. R. (1999): Organic matrix taphonomy in some molluscan shell microstructures. - *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*, **149**: 305-312.

CLARKE, S. J. & MURRAY-WALLACE, C. V. (2006): Mathematical expressions used in amino acid racemisation geochronology - A review. - *Quaternary Geochronology*, **1**: 261-278.

CZIHAK, G., LANGER, H. & ZIEGLER, H. (1990): Biologie - Ein Lehrbuch. - *Springer-Verlag Berlin*, *Heidelberg*, *4*. *Auflage*: 1-995.

DEGENS, E. T. & SCHMIDT, H. (1966): Die Paläobiochemie, ein neues Arbeitsgebiet der Evolutionsforschung. - *Paläontologische Zeitschrift*, **40**: 218-229.

DEICKE, M., KARIUS, V., JAHNKE, W., KALLWEIT, W., REBENS, M. & REYER, D. (2007): Charakterisierung von Sturmflutablagerungen auf Hallig Hooge - Quantifizierung des Sedimentwachstums seit 1914 -. - *In*: *GÖNNERT*, *G*., *PFLÜGER*, *B*. & *BREMER*, *J*.-*A*. (*Hrsg*.): *Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement*. *Coastline Reports*, **9**: 93-102.

VAN DUIN, A. C. T. & COLLINS, M. J. (1998): The effects of conformational constraints on aspartic acid racemization. - *Organic Geochemistry*, **29**: 1227-1232.

EISMA, D. (1983): Natural Forces. - *In*: *WOLF*, *W*. *J*. (*ed*): *Ecology of the Wadden Sea*. *Rotterdam*, **Vol. 1**: 20-31.

ELLIS, G. L., GOODFRIEND, G. A., ABBOTT, J. T., HARE, P. E. & VON ENDT, D. W. (1996): Assessment of integrity and geochronology of archaeological sites using amino acid racemization in land snail shells: examples from central Texas. - *Geoarchaeology*, **11**: 189-213.

ENGELEN, B. (2006): Lithologische Profile der Kerne B1, B2, B3, B4 und B5. - *unpubliziert*.

ERCHINGER, H. F. & STROMANN, M. (2004): Sturmfluten - Küsten- und Umweltschutz zwischen Ems und Jade. - *Verlag Soltau-Kurier-Norden*, *Norden*, *1*. *Auflage*: 1-223.

FITZNAR, H. P., LOBBES, J. M. & KATTNER, G. (1999): Determination of enantiomeric amino acids with high-performance liquid chromatography and pre-column derivatisation with *o*-phthaldialdehyde and *N*-isobutyrylcysteine in seawater and fossil samples (mollusks). - *Journal of Chromatography A*, **832**: 123-132.

FLEMING, K., JOHNSTON, P., ZWARTZ, D., YOKOYAMA, Y., LAMBECK, K. & CHAPPELL, J. (1998): Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites. - *Earth and Planetary Science Letters*, **163**: 327-342.

FLEMMING, B. W. & DAVIS JR., R. A. (1994): Holocene evolution, morphodynamics and sedimentology of the Spiekeroog barrier island system (southern North Sea). - *Senckenbergiana maritima*, **24** (1/6): 117-155.

FLEMMING, B. W. & BARTHOLOMÄ, A. (2003): Sedimentation und Erosion an der Nordseeküste. - *In*: *LOZÁN, J. L., RACHOR, E., REISE, K., SÜNDERMANN, J. & VON WESTERNHAGEN, H.* (*Hrsg.*): *Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer - Eine Umweltbilanz*. *Wissenschaftliche Auswertungen*, *Hamburg*: 57-60.

FLEMMING, B. W. (2006): Wassertemperaturen Jade (1988 - 2006). - *persönliche Mitteilung*.

FLESSA, K. W. (1998): Well-traveled cockles: shell transport during the Holocene transgression of the southern North Sea. - *Geology*, **26**: 187-190.

FOCKE, W. O., SCHÜTTE, H. & SARTORIUS, K. (1906): Zur Kenntnis des Mellum-Eilandes. - *Abhandlungen Naturwissenschaftlicher Verein zu Bremen*, **18**: 365-375.

FREUND, H. & STREIF, H. (1999): Natürliche Pegelmarken für Meeresspiegelschwankungen der letzten 2000 Jahre im Bereich der Insel Juist. - *Petermanns Geographische Mitteilungen*, **143**: 34-45.

FREUND, H. (2003): Die Dünen- und Salzwiesenvegetation auf Juist und deren Änderung als Indikator für die Entwicklung der Insel seit dem Frühen Mittelalter. - *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, **28**: 133-183.

FREUND, H., PETERSEN, J. & POTT, R. (2003): Investigations on recent and subfossil saltmarsh vegetation on the East Frisian barrier islands in the southern North Sea (Germany). - *Phytocoenologia*, **33**: 349-375.

FREUND, H. (2004): ^{14}C-datierte Mollusken Borkum, Langeoog und Mellum. - *unpubliziert*.

FREUND, H., GERDES, G., STREIF, H., DELLWIG, O. & WATERMANN, F. (2004): The indicative meaning of diatoms, pollen and botanical macro fossils for the reconstruction of palaeoenvironments and sea-level fluctuations along the coast of Lower Saxony; Germany. - *Quaternary International*, **112**: 71-87.

FREUND, H. & KÖSTER, J. (2007): Lithologische Profile der Kerne C1, C2, D1 und D2. - *unpubliziert*.

FREUND, H. & WEHRMANN, A. (2007): Lithologische Profile der Kerne 1 (KP) und 2 (KP). - *unpubliziert*.

FREUND, H. (2008): Dünen und Schlickbänke auf der Kachelotplate. - *persönliche Mitteilung*.

FU, S.-J., FAN, C.-C., SONG, H.-W. & WEI, F.-Q. (1995): Age estimation using a modified HPLC determination of ratio of aspartic acid in dentin. - *Forensic Science International*, **73**: 35-40.

GEIGER, T. & CLARKE, S. (1987): Deamidation, isomerization, and racemization at asparaginyl and aspartyl residues in peptides. - *Journal of Biological Chemistry*, **262**: 785-794.

GEYH, M. A. (2005): Handbuch der physikalischen und chemischen Altersbestimmung. - *Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, *Darmstadt*: 1-211.

GOODFRIEND, G. A. (1987a): Chronostratigraphic studies of sediments in the Negev Desert, using amino acid epimerization analysis of land snail shells. - *Quaternary Research*, **28**: 374-392.

GOODFRIEND, G. A. (1987b): Evalution of amino-acid racemization/epimerization dating using radiocarbon-dated fossil land snails. - *Geology*, **15**: 698-700.

GOODFRIEND, G. A. (1991): Patterns of racemization and epimerization of amino acids in land snail shells over the course of the Holocene. - *Geochimica et Cosmochimica Acta,* **55**: 293-302.

GOODFRIEND, G. A. (1992): Rapid racemization of aspartic acid in mollusc shells and potential for dating over recent centuries. - *Nature*, **357**: 399-401.

GOODFRIEND, G. A., HARE, P. E. & DRUFFEL, E. R. M. (1992): Aspartic acid racemization and protein diagenesis in corals over the last 350 years. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **56**: 3847-3850.

GOODFRIEND, G. A., KASHGARIAN, M. & HARASEWYCH, M. G. (1995): Use of aspartic acid racemization and post-bomb ^{14}C to reconstruct growth rate and longevity of the deep-water slit shell *Entemnotrochus adansonianus*. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**: 1125-1129.

GOODFRIEND, G. A. & STANLEY, D. J. (1996): Reworking and discontinuities in Holocene sedimentation in the Nile Delta: documentation from amino acid racemization and stable isotopes in mollusk shells. - *Marine Geology*, **129**: 271-283.

GOODFRIEND, G. A., BRIGHAM-GRETTE, J. & MILLER, G. H. (1996): Enhanced age resolution of the marine Quaternary record in the Arctic using aspartic acid racemization dating of bivalve shells. - *Quaternary Research*, **45**: 176-187.

GOODFRIEND, G. A. (1997): Aspartic acid racemization and amino acid composition of the organic endoskeleton of the deep-water colonial anemone *Gerardia*: determination of longevity from kinetic experiments. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **61**: 1931-1939.

GOODFRIEND, G. A. & ROLLINS, H. B. (1998): Recent barrier beach retreat in Georgia: dating exhumed salt marshes by aspartic acid racemization and post-bomb radiocarbon. - *Journal of Coastal Research*, **14**: 960-969.

GOODFRIEND, G. A. & WEIDMAN, C. R. (2001): Ontogenetic trends in aspartic acid racemization and amino acid composition within modern and fossil shells of the bivalve *Arctica*. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **65**: 1921-1932.

GOSLING, E. (2003): Bivalve Molluscs - Biology, Ecology and Culture. - *Fishing News Books*, *Oxford*: 1-443.

HALD, M., SÆTTEM, J. & NESSE, E. (1990): Middle and Late Weichselian stratigraphy in shallow drillings from the southwestern Barents Sea: foraminiferal, amino acid and radiocarbon evidence. - *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **70**: 241-257.

HANISCH, J. (1980): Neue Meeresspiegeldaten aus dem Raum Wangerooge. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, **30**: 221-228.

HARADA, N., HANDA, N., ITO, M., OBA, T. & MATSUMOTO, E. (1996): Chronology of marine sediments by the racemization reaction of aspartic acid in planktonic foraminifera. - *Organic Geochemistry*, **24**: 921-930.

HARADA, N., HANDA, N., OBA, T., MATSUOKA, H., KIMOTO, K. & KUSAKABE, M. (1997): Age determination of marine sediments in the western North Pacific by aspartic acid chronology. - *Journal of Oceanography*, **53**: 1-7.

HARE, P. E. & ABELSON, P. H. (1965): Amino Acid Composition of Some Calcified Proteins. - *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, **64**: 223-234.

HARE, P. E. & ABELSON, P. H. (1968): Racemization of Amino acids in Fossil Shells. - *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, **66**: 526-528.

HARE, P. E., VON ENDT, D. W. & KOKIS, J. E. (1997): Protein and Amino Acid Diagenesis Dating. - *In*: *TAYLOR*, *J. E. & AITKEN*, *J. C.* (*eds*): *Chronometric Dating in Archaeology*. *Plenum Press*, *New York*: 261-296.

HEARTY, P. J., VACHER, H. L. & MITTERER, R. M. (1992): Aminostratigraphy and ages of Pleistocene limestones of Bermuda. - *Geological Society of America Bulletin*, **104**: 471-480.

HEARTY, P. J., O'LEARY, M. J., KAUFMAN, D. S., PAGE, M. C. & BRIGHT, J. (2004): Amino acid geochronology of individual foraminifer (*Pulleniatina obliquiloculata*) tests, north Queensland margin, Australia: a new approach to correlating and dating Quaternary tropical marine sediment cores. - *Paleoceanography*, **19**: 1-14.

HEARTY, P. J. & KAUFMAN, D. S. (2009): A *Cerion*-based chronostratigraphy and age model from the central Bahama Islands: Amino acid racemization and ^{14}C in land snails and sediments. - *Quaternary Geochronology*, **4**: 148-159.

HEIER-NIELSEN, S., HEINEMEIER, J., NIELSEN, H. L. & RUD, N. (1995): Recent reservoir ages for Danish fjords and marine waters. - *Radiocarbon*, **37**: 875-882.

HERTWECK, G. (1995): Verteilung charakteristischer Sedimentkörper und Benthossiedlungen im Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog, südliche Nordsee. I. Ergebnisse der Wattkartierung 1988-92. - *Senckenbergiana maritima*, **26** (1/2): 81-94.

HERTWECK, G. & LIEBEZEIT, G. (2002): Historic mussel beds (*Mytilus edulis*) in the sedimentary record of a back-barrier tidal flat near Spiekeroog Island, southern North Sea. - *Helgoland Marine Research*, **56**: 51-58.

HOBBENSIEFKEN, H. (1997): Ökologie eines spezifischen Wattbiotops im Jadebusen: landnaher Schlickgürtel mit Tafel- und Kolkrelief. - *Diplomarbeit*, *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*: 1-91.

HOSELMANN, C. & STREIF, H. (2004): Holocene sea-level rise and its effect on the mass balance of coastal deposits. - *Quaternary International*, **112**: 89-103.

IKE, D., BADA, J. L., MASTERS, P. M., KENNEDY, G. & VOGEL, J. C. (1979): Aspartic acid racemization and radiocarbon dating of an early milling stone horizon burial in California. - *American Antiquity*, **44**: 524-530.

JENSEN, J. (2000): Extremereignisse an Nord- und Ostseeküsten - Ermittlung von Bemessungsereignissen. - *Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau*, *Technische Universität Hannover*, **85**: 39-57.

JOHNSON, B. J. & MILLER, G. H. (1997): Archaeological applications of amino acid racemization. - *Archaeometry*, **39**: 265-287.

KAISER, K. & BENNER, R. (2005): Hydrolysis-induced racemization of amino acids. - *Limnology and Oceanography*: *Methods*, **3**: 318-325.

KAUFMAN, D. S. & MILLER, G. H. (1992): Overview of amino acid geochronology. - *Comparative Biochemistry and Physiology B*: *Biochemistry and Molecular Biology*, **102**: 199-204.

KAUFMAN, D. S., MILLER, G. H. & ANDREWS, J. T. (1992): Amino acid composition as a taxonomic tool for molluscan fossils: an example from Pliocene-Pleistocene Arctic marine deposits. - *Geochimica et Cosmochimica Acta,* **56**: 2445-2453.

KAUFMAN, D. S. & MILLER, G. H. (1995): Isoleucine epimerization and amino acid composition in molecular-weight separations of Pleistocene *Genyornis* eggshell. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**: 2757-2765.

KAUFMAN, D. S. (2003): Dating deep-lake sediments by using amino acid racemization in fossil ostracodes. - *Geology*, **31**: 1049-1052.

KAUFMAN, D. S. (2006): Temperature sensitivity of aspartic and glutamic acid racemization in the foraminifera *Pulleniatina*. - *Quaternary Geochronology*, **1**: 188-207.

KAUTSKY, N. (1982): Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. - *Marine Biology*, **68**: 117-133.

KEIR, R. S. (1984): Recent increase in Pacific $CaCO_3$ dissolution: a mechanism for generating old ^{14}C ages. - *Marine Geology*, **59**: 227-250.

KENNEDY, W. J., TAYLOR, J. D. & HALL, A. (1969): Environmental and biological controls on bivalve shell mineralogy. - *Biological Reviews*, **44**: 499-530.

KIMBER, R. W. L. & HARE, P. E. (1992): Wide range of racemization of amino acids in peptides from human fossil bone and its implications for amino acid racemization dating. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **56**: 739-743.

KLOCKMANN, F. (1979): Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie. - *Georg Enke Verlag*, *Stuttgart*, *17. Auflage*: 1-371.

KÖSTER, J. (2004): Lithologisches Profil von Kern 9. - *unpubliziert*.

KÖSTER, J. (2005): Lithologische Profile der Kerne 10 und 11. - *unpubliziert*.

KOSNIK, M. A., KAUFMAN, D. S. & HUA, Q. (2008): Identifying outliers and assessing the accuracy of amino acid racemization measurements for geochronology: I. Age calibration curves. - *Quaternary Geochronology*, **3**: 308-327.

KOSNIK, M. A. & KAUFMAN, D. S. (2008): Identifying outliers and assessing the accuracy of amino acid racemization measurements for geochronology: II. Data screening. - *Quaternary Geochronology*, **3**: 328-341.

KREMER, B. P., GOSSELCK, F. & JANKE, K. (2005): Der große Kosmos-Naturführer: Strand und Küste - Nord- und Ostsee. - *Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG*, *Stuttgart*: 1-156.

KUDO, J., KOBAYASHI, K., MARUMO, K. & TAKANO, Y. (2006): Fluctuation in proteinaceous labile organic matter verified with degradation rate constants of terrestrial biochemical indicators. - *Organic Geochemistry*, **37**: 1655-1663.

KÜHL, H. (1951): Über die Siedlungsweise von *Mya arenaria*. - *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*, **25**: 385-391.

KUNZ, H. (1993): Klimaänderungen und ihre Folgen für Wasserhaushalt, Gewässernutzung und Gewässerschutz. - *In*: *SCHELLNHUBER*, *H. J.* & *STERR*, *H.* (*Hrsg.*): *Klimaänderung und Küste*. *Springer-Verlag*, *Berlin*: 97-136.

LAJOIE, K. R., WEHMILLER, J. F. & KENNEDY, G. L. (1980): Inter- and Intrageneric Trends in Apparent Racemization Kinetics of Amino Acids in Quarternary Mollusks. - *In*: *HARE*, *P. E.*, *HOERING*, *T. C.* & *KING JR.*, *K.* (*eds*): *Biogeochemistry of Amino Acids*. *John Wiley* & *Sons*, *Inc.*, *New York*: 305-340.

LEE, R. E. (1981): Radiocarbon ages in error. - *Anthropological Journal of Canada*, **19**: 9-29.

LIEBEZEIT, G. (2004): Wassertemperaturen Jade (NWO-Terminal), Wilhelmshaven (2000 - 2004). - *unpubliziert*.

LIEBEZEIT, G. (2005): Sedimenttemperaturen Janssand (2005). - *unpubliziert*.

LINKE, O. (1939): Die Biodata des Jadebusenwatts. - *Helgoland Marine Research*, **1**: 201-348.

LOWENSTAM, H. A. & WEINER, S. (1989): On Biomineralization. - *Oxford University Press*, *New York*: 1-324.

LÜDERS, K. (1953): Die Entstehung der ostfriesischen Inseln und der Einfluß der Dünenbildung auf den geologischen Aufbau der ostfriesischen Küste. - *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, *Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung Wilhelmshaven*, **5**: 5-14.

LÜDERS, K. (1971): Über die Gültigkeitsdauer des Bemessungswasserstandes für Seedeiche an der Niedersächsischen Nordseeküste. - *Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz*, *Norderney*, *Jahresbericht 1969*, **Bd. 21**: 37-48.

MACDONALD, B. A. & THOMAS, M. L. H. (1980): Age determination of the soft-shell clam *Mya arenaria* using shell internal growth lines. - *Marine Biology*, **58**: 105-109.

MADSEN, A. T., MURRAY, A. S., ANDERSEN, T. J., PEJRUP, M. & BREUNING-MADSEN, H. (2005): Optically stimulated luminescence dating of young estuarine sediments: a comparision with ^{210}Pb and ^{137}Cs dating. - *Marine Geology*, **214**: 251-268.

MADSEN, A. T., MURRAY, A. S., ANDERSEN, T. J. & PEJRUP, M. (2007a): Optical dating of young sediments in the Danish Wadden Sea. - *Quaternary Geochronology*, **2**: 89-94.

MADSEN, A. T., MURRAY, A. S., ANDERSEN, T. J. & PEJRUP, M. (2007b): Temporal changes of accretion rates on an estuarine salt marsh during the late Holocene - Reflection of local sea level changes? The Wadden Sea, Denmark. - *Marine Geology*, **242**: 221-233.

MADSEN, A. T., MURRAY, A. S. & ANDERSEN, T. J. (2007c): Optical dating of dune ridges on Rømø, a barrier island in the Wadden Sea, Denmark. - *Journal of Coastal Research*, **23**: 1259-1269.

MAGEE, J. W., MILLER, G. H., SPOONER, N. A., QUESTIAUX, D. G., MCCULLOCH, M. T. & CLARK, P. A. (2009): Evaluating Quaternary dating methods: Radiocarbon, U-series, luminescence, and amino acid racemization dates of a late Pleistocene emu egg. - *Quaternary Geochronology*, **4**: 84-92.

MANGERUD, J., BONDEVIK, S., GULLIKSEN, S., HUFTHAMMER, A. K. & HØISÆTER, T. (2006): Marine ^{14}C reservoir ages for 19th century whales and molluscs from the North Atlantic. - *Quaternary Science Reviews*, **25**: 3228-3245.

MANLEY, W. F., MILLER, G. H. & CZYWCZYNSKI, J. (2000): Kinetics of Aspartic Acid Racemization in *Mya* and *Hiatella*: Modeling Age and Paleotemperature of High-Latitude Quaternary Mollusks. - *In*: *GOODFRIEND*, *G*. *A*., *COLLINS*, *M*. *J*., *FOGEL*, *M*. *L*., *MACKO*, *S*. *A*. & *WEHMILLER*, *J*. *F*. (*eds*): *Perspectives in Amino Acid and Protein Geochemistry*. *Oxford University Press*, *New York*: 202-218.

MAUZ, B. & BUNGENSTOCK, F. (2007): How to reconstruct trends of late Holocene relative sea level: a new approach using tidal flat clastic sediments and optical dating. - *Marine Geology*, **237**: 225-237.

MCCOY, W. D. (1987): The precision of amino acid geochronology and paleothermometry. - *Quaternary Science Reviews*, **6**: 43-54.

MEYER, V. R. (1991): Amino Acid Racemization - A Tool for Dating? - *In*: *AHUJA*, *S*. (*ed*): *Chiral Separations By Liquid Chromatography*. *American Chemical Society*, *Washington*, *D*.*C*.: 217-227.

MILLER, G. H., BEAUMONT, P. B., JULL, A. J. T. & JOHNSON, B. (1992): Pleistocene geochronology and palaeothermometry from protein diagenesis in ostrich eggshells: implications for the evolution of modern humans. - *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, *Series B*: *Biological Sciences*, **337**: 149-157.

MILLER, G. H., MAGEE, J. W. & JULL, A. J. T. (1997): Low-latitude glacial cooling in the southern hemisphere from amino-acid racemization in emu eggshells. - *Nature*, **385**: 241-244.

MILNE, G. A., LONG, A. J. & BASSETT, S. E. (2005): Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. - *Quaternary Science Reviews*, **24**: 1183-1202.

MÜLLER, F. (1917): Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Erster Teil: Die Halligen. - *Dietrich Reimer* (*Ernst Vohsen*), *Berlin*, **Bd. 1**: 1-377.

MÜLLER, P. J. (1984): Isoleucine epimerization in Quaternary planktonic foraminifera: effects of diagenetic hydrolysis and leaching, and Atlantic-Pacific intercore correlations. - *Meteor Forschungsergebnisse*, **38**: 25-47.

MUNCH-PETERSEN, S. & KRISTENSEN, P. S. (2001): On the dynamics of the stocks of blue mussels (*Mytilus edulis* L.) in the Danish Wadden Sea. - *Hydrobiologia*, **465**: 31-43.

MURRAY-WALLACE, C. V. & KIMBER, R. W. L. (1987): Evaluation of the amino acid racemization reaction in studies of Quaternary marine sediments in South Australia. - *Australian Journal of Earth Sciences*, **34**: 279-292.

MURRAY-WALLACE, C. V., BELPERIO, A. P., GOSTIN, V. A. & CANN, J. H. (1993): Amino acid racemization and radiocarbon dating of interstadial marine strata (oxygen isotope stage 3), Gulf St. Vincent, South Australia. - *Marine Geology*, **110**: 83-92.

MURRAY-WALLACE, C. V. & BELPERIO, A. P. (1994): Identification of remanié fossils using amino acid racemisation. - *Alcheringa*, **18**: 219-227.

MURRAY-WALLACE, C. V. (1995): Aminostratigraphy of Quaternary coastel sequences in southern Australia - An overview. - *Quaternary International*, **26**: 69-86.

NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE BRAKE - OLDENBURG (2006): Wassertemperaturen Norderney (1985 - 2002). - *persönliche Mitteilung*.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE - FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE (2004): Wassertemperaturen Helgolandkai, Wilhelmshaven (1998 - 2003). - *persönliche Mitteilung*.

NYBERG, J., CSAPÓ, J., MALMGREN, B. A. & WINTER, A. (2001): Changes in the D- and L-content of aspartic acid, glutamic acid, and alanine in a scleractinian coral over the last 300 years. - *Organic Geochemistry*, **32**: 623-632.

OHNSORGE, J. & HOLM, R. (1978): Rasterelektronenmikroskopie. - *Georg Thieme Verlag*, *Stuttgart*, *2*., *überarbeitete und erweiterte Auflage*: 1-155.

OHTANI, S., ITO, R. & YAMAMOTO, T. (2003): Differences in the D/L aspartic acid ratios in dentin among different types of teeth from the same individual and estimated age. - *International Journal of Legal Medicine*, **117**: 149-152.

OLSSON, I. U. (1979): The Radiocarbon Contents of Various Reservoirs. - *In*: *BERGER*, *R. & SUESS*, *H. E*. (*eds*): *Radiocarbon Dating*. *University of California Press*, *Los Angeles*: 613-618.

OOST, A. P. & DE BOER, P. L. (1994): Sedimentology and development of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and backbarrier areas of the Dutch Wadden Sea. - *Senckenbergiana maritima*, **24** (1/6): 65-115.

ORTEN, J. H. (1926): On the rate of growth of *Cardium edule*. Part I. Experimental observations. - *Journal of the Marine Biological Association*, **14**: 239-280.

OWEN, L. A., BRIGHT, J., FINKEL, R. C., JAISWAL, M. K., KAUFMAN, D. S., MAHAN, S., RADTKE, U., SCHNEIDER, J. S., SHARP, W., SINGHVI, A. K. & WARREN, C. N. (2007): Numerical dating of a Late Quaternary spit-shoreline complex at the northern end of Silver Lake playa, Mojave Desert, California: a comparison of the applicability of radiocarbon, luminescence, terrestrial cosmogenic nuclide, electron spin resonance, U-series and amino acid racemization methods. - *Quaternary International*, **166**: 87-110.

PEDERSEN, A.-G. U., THOMSEN, T. R., LOMSTEIN, B. A. & JØRGENSEN, N. O. G. (2001): Bacterial influence on amino acid enantiomerization in a coastal marine sediment. - *Limnology and Oceanography*, **46**: 1358-1369.

PELTIER, W. R. (2002): On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. - *Quaternary Science Reviews*, **21**: 377-396.

PENKMAN, K. E. H., KAUFMAN, D. S., MADDY, D. & COLLINS, M. J. (2008): Closed-system behaviour of the intra-crystalline fraction of amino acids in mollusc shells. - *Quaternary Geochronology*, **3**: 2-25.

PETERSEN, K. S., RASMUSSEN, K. L., HEINEMEIER, J. & RUD, N. (1992): Clams before Columbus? - *Nature*, **359**: 679.

PETIT, M. G. (1974): The racemization rate constant for protein-bound aspartic acid in woodrat middens. - *Quaternary Research*, **4**: 340-345.

POLLOCK, G. E. & KVENVOLDEN, K. A. (1978): Stereochemistry of amino acids in surface samples of a marine sediment. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**: 1903-1905.

PORAT, N., AVITAL, A., FRECHEN, M. & ALMOGI-LABIN, A. (2003): Chronology of upper Quaternary offshore successions from the southeastern Mediterranean Sea, Israel. - *Quaternary Science Reviews*, **22**: 1191-1199.

POTT, R. (1999): Nordwestdeutsches Tiefland zwischen Ems und Weser. - *Verlag Eugen Ulmer*, *Stuttgart*: 1-256.

POWELL, E. N., LOGAN, A., STANTON JR., R. J., DAVIS, D. J. & HARE, P. E. (1989): Estimating time-since-death from the free amino acid content of the mollusk shell: a measure of time averaging in modern death assemblages? - *Palaios*, **4**: 16-31.

RAHMSTORF, S. (2007): A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. - *Science*, **315**: 368-370.

REIMER, L. & PFEFFERKORN, G. (1977): Raster-Elektronenmikroskopie. - *Springer-Verlag*, *Berlin*, *2*., *neubearbeitete und erweiterte Auflage*: 1-282.

REINECK, H.-E. (1987): Der mittlere Salzgehalts- und Temperaturgang der Jade von 1969-1983, südliche Nordsee. - *Senckenbergiana maritima*, **19** (5/6): 345-375.

REINECK, H.-E. & FLEMMING, B. W. (1990): Salzgehalte der Restnässe auf oder in der obersten Sedimentschicht und der Porenwässer im Eu- und Supralitoral der Jadewatten in Relation zu denen des Jadewassers. - *Senckenbergiana maritima*, **21** (1/4): 33-54.

RENNER, M. (1984): Leitfaden für das zoologische Praktikum. - *Gustav Fischer Verlag Stuttgart*, *New York*, *19*., *neubearbeitete Auflage*: 1-505.

ROHDE, H. (1980): Changes in sea level in the German Bight. - *Geophysical Journal International*, **62**: 291-302.

RUTTER, N. W. & BLACKWELL, B. (1995): Amino Acid Racemization. - *In*: *RUTTER*, *N*. *W*. & *CATTO*, *N*. *R*. (*eds*): *Dating Methods for Quaternary Deposits*. *Geological Association of Canada*, *Toronto*, **2**: 125-164.

SALEUDDIN, A. S. M. & PETIT, H. P. (1983): The Mode of Formation and the Structure of the Periostracum. - *In*: *WILBUR*, *K*. *M*. (*ed*): *The Mollusca*, *Physiology Part 1*. *Academic Press*, **Vol. 4**: 199-234.

SASS, H., RÜTTERS, H., SCHLEDJEWSKI, R. & FREESE, E. (2003): The influence of seasonal changes on microbial communities in the Wadden Sea. - *Berichte Forschungszentrum Terramare Wilhelmshaven*, **12**: 99-102.

SCHWARZ, C. (1996): Die Bohrungen 89/3, 89/4 und 89/9 auf dem deutschen Nordseeschelf - Sedimentologische und magnetostratigraphische Befunde sowie lithostratigraphische Konnektierung. - *Geologische Jahrbücher*, *Hannover*, **A 146**: 33-137.

SEED, R. & BROWN, R. A. (1978): Growth as a strategy for survival in two marine nivalves, *Cerastoderma edule* and *Modiolus modiolus*. - *Journal of Animal Ecology*, **47**: 283-292.

SHERWOOD, O. A., SCOTT, D. B. & RISK, M. J. (2006): Late Holocene radiocarbon and aspartic acid racemization dating of deep-see octocorals. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **70**: 2806-2814.

SILFER, J. A., ENGEL, M. H. & MACKO, S. A. (1990): The effect of hydrothermal processes on the distribution and stereochemistry of amino acids in Recent Antarctic sediments. - *Applied Geochemistry*, **5**: 159-167.

SINIBALDI, M., GOODFRIEND, G. A., BARKAY, G., MARCHESE, S. & GIL-AV, E. (1999): Aspartic acid racemization in teeth from Ketef Hinnom, a Late Holocene burial cave in Jerusalem: evidence for reuse. - *Geoarchaeology*, **14**: 441-454.

SLOSS, C. R., MURRAY-WALLACE, C. V., JONES, B. G. & WALLIN, T. (2004): Aspartic acid racemisation dating of mid-Holocene to recent estuarine sedimentation in New South Wales, Australia: a pilot study. - *Marine Geology*, **212**: 45-59.

SMITH, G. G., WILLIAMS, K. M. & WONNACOTT, D. M. (1978): Factors affecting the rate of racemization of amino acids and their significance to geochronology. - *Journal of Organic Chemistry*, **43**: 1-5.

SOLA, J. C. (1997): Reproduction, population dynamics, growth and production of *Scrobicularia plana* da costa (Pelecypoda) in the Bidasoa estuary, Spain. - *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, **30**: 283-296.

STRASSER, M., WALENSKY, M. & REISE, K. (1999): Juvenile-adult distribution of the bivalve *Mya arenaria* on intertidal flats in the Wadden Sea: why are there so few year classes? - *Helgoland Marine Research*, **53**: 45-55.

STRASSER, M., REINWALD, T. & REISE, K. (2001): Differential effects of the severe winter of 1995/96 on the intertidal bivalves *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria* in the northern Wadden Sea. - *Helgoland Marine Research*, **55**: 190-197.

STREIF, H. (1987): Geologie des Inselsockels. - *In*: *GERDES*, *G*., *KRUMBEIN*, *W*. *E*. *& REINECK*, *H*.-*E*. (*Hrsg*.): *Mellum - Porträt einer Insel*. *Verlag Waldemar Kramer*, *Frankfurt*: 77-87.

STREIF, H. (1990): Das ostfriesische Küstengebiet. Nordsee, Inseln, Watten und Marschen. - *Sammlung geologischer Führer*, *Verlag Gebrüder Borntraeger*, *Berlin*, *Stuttgart*, *2*., *völlig neubearbeitete Auflage*, **Bd. 57**: 1-376.

STREIF, H. (2003): Die Nordsee im Wandel - vom Eiszeitalter bis zur Neuzeit. - *In*: *LOZÁN*, *J*. *L*., *RACHOR*, *E*., *REISE*, *K*., *SÜNDERMANN*, *J*. *& VON WESTERNHAGEN*, *H*. (*Hrsg*.): *Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer - Eine Umweltbilanz*. *Wissenschaftliche Auswertungen*, *Hamburg*: 19-28.

STREIF, H. (2004): Sedimentary record of Pleistocene and Holocene marine inundations along the North Sea coast of Lower Saxony, Germany. - *Quaternary International*, **112**: 3-28.

STUIVER, M., REIMER, P. J., BARD, E., BECK, J. W., BURR, G. S., HUGHEN, K. A., KROMER, B., MCCORMAC, G., VAN DER PLICHT, J. & SPURK, M. (1998): IntCal98 radiocarbon age calibration, 24.000-0 cal BP. - *Radiocarbon*, **40**: 1041-1083.

TILCH, E. (2003): Oszillation von Wattflächen und deren fossiles Erhaltungspotential (Spiekerooger Rückseitenwatt, südliche Nordsee). - *Berichte*, *Fachbereich Geowissenschaften*, *Universität Bremen*, **222**: 1-137.

TÖPPE, A. (1993): Zur Analyse des Meeresspiegelanstiegs aus langjährigen Wasserstandsaufzeichnungen an der deutschen Nordseeküste. - *Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau*, *Technische Universität Braunschweig*, **120**: 1-132.

TÖPPE, A. (1995): Beschleunigter Meeresspiegelanstieg an der deutschen Nordseeküste? - *Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft*, *Hamburg*, **49**: 200-209.

TORRES, T., ORTIZ, J. E., GARCÍA DE LA MORENA, M. A., LLAMAS, F. J. & GOODFRIEND, G. A. (2005): Ostracode-based aminostratigraphy and aminochronology of a tufa system in central Spain. - *Quaternary International*, **135**: 21-33.

VEENSTRA, H. J. (1983): Introduction to the Geomorphology of the Wadden Sea Area. - *In*: *WOLF*, *W*. *J*. (*ed*): *Ecology of the Wadden Sea*. *Rotterdam*, **Vol. 1**: 8-19.

VINK, A., STEFFEN, H., REINHARDT, L. & KAUFMANN, G. (2007): Holocene relative sea-level change, isostatic subsidence and the radial viscosity structure of the mantle of northwest Europe (Belgium, the Netherlands, Germany, southern North Sea). - *Quaternary Science Reviews*, **26**: 3249-3275.

VOLLHARDT, K. P. C. &. SCHORE, N. E. (2000): Organische Chemie. - *Wiley-VCH Verlag GmbH*, *Weinheim*, *3. Auflage*: 1-1445.

WAITE, E. R., COLLINS, M. J., RITZ-TIMME, S., SCHUTZ, H.-W., CATTANEO, C. & BORRMAN, H. I. M. (1999): A review of the methodological aspects of aspartic acid racemization analysis for use in forensic science. - *Forensic Science International*, **103**: 113-124.

WALTER, U. & LIEBEZEIT, G. (2001): Nachhaltige Miesmuschelzucht im Niedersächsischen Wattenmeer durch die Besiedlung natürlicher und künstlicher Substrate. - *Abschlussbericht 2001*: 1-98.

WATERMANN, F., FREUND, H. & GERDES, G. (2004): Distribution and palaeoecological indicator value of diatoms in Holocene coastal deposits of the southern North Sea (Lower Saxony, Germany). - *Eiszeitalter und Gegenwart*, **54**: 48-70.

WEHMILLER, J. F. (1980): Intergeneric Differences in Apparent Racemization Kinetics in Mollusks and Foraminifera: Implications for Models of Diagentic Racemization. - *In*: *HARE*, *P. E.*, *HOERING*, *T. C.* & *KING JR.*, *K.* (*eds*): *Biogeochemistry of Amino Acids*. *John Wiley* & *Sons*, *Inc.*, *New York*: 341-355.

WEHMILLER, J. F. (1986): Amino Acid Racemization Geochronology. - *In*: *HURFORD*, *A. J.*, *JÄGER*, *E. & TEN CATE*, *J. A. M.* (*eds*): *Dating Young Sediments*. *COOP Technical Secretary*, *Bangkok*: 139-158.

WEHRMANN, A. (2008): Erosion und Akkumulation auf der Kachelotplate. - *unpubliziert*.

WEHRMANN, A. & TILCH, E. (2008): Sedimentary dynamics of an ephemeral sand bank island (Kachelotplate, German Wadden Sea): an atlas of sedimentary structures. - *Senckenbergiana maritima*, **38** (2): 185-198.

WEIDMAN, C. R. (1995): Development and application of the mollusc *Arctica islandica* as a paleoceanographic tool for the North Atlantic ocean. - *PhD dissertation*, *Massachusetts Institute of Technology*, *Cambridge*: 1-203.

WEINER, S. (1979): Aspartic acid-rich proteins: major components of the soluble organic matrix of mollusk shells. - *Calcified Tissue International*, **29**: 163-167.

WOOD, S. L. B., KRAUSE JR., R. A., KOWALEWSKI, M., WEHMILLER, J. & SIMÕES, M. G. (2006): Aspartic acid racemization dating of Holocene brachiopods and bivalves from the southern Brazilian shelf, South Atlantic. - *Quaternary Research*, **66**: 323-331.

WUNDERLICH, F. (1997): Die Insel Mellum (Südliche Nordsee): Dynamische Prozesse und Sedimentgefüge. I. Südwatt, Übergangszone und Hochfläche. - *Senckenbergiana maritima*, **11** (1/2): 59-113.

YEKKALA, R., MEERS, C., VAN SCHEPDAEL, A., HOOGMARTENS, J., LAMBRICHTS, I. & WILLEMS, G. (2006): Racemization of aspartic acid from human dentin in the estimation of chronological age. - *Forensic Science International*, **159**: S89-S94.

YEKKALA, R., MEERS, C., HOOGMARTENS, J., LAMBRICHTS, I., WILLEMS, G. & VAN SCHEPDAEL, A. (2007): An improved sample preparation for an LC method used in the age estimation based on aspartic acid racemization from human dentin. - *Journal of Separation Science*, **30**: 118-121.

ZIEHE, D. (2005): Datierung von biogenen Carbonaten mit Aminosäurenenantiomerenverhältnissen. - *Diplomarbeit*, *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*: 1-94.

7. Bild- und Abbildungsnachweis

Abb. 1.4: STREIF, H. (2003): Die Nordsee im Wandel - vom Eiszeitalter bis zur Neuzeit. - *In*: *LOZÁN*, *J. L.*, *RACHOR*, *E.*, *REISE*, *K.*, *SÜNDERMANN*, *J.* & *WESTERNHAGEN*, *H. VON* (*Hrsg.*): *Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer - Eine Umweltbilanz*. *Wissenschaftliche Auswertungen*, *Hamburg*: 26. 9

Abb. 1.5: BEHRE, K.-E. (2007): A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea. - *Boreas*, **36**: 98. 10

Abb. 1.6: VINK, A., STEFFEN, H., REINHARDT, L. & KAUFMANN, G. (2007): Holocene relative sea-level change, isostatic subsidence and the radial viscosity structure of the mantle of northwest Europe (Belgium, the Netherlands, Germany, southern North Sea). - *Quaternary Science Reviews*, **26**: 3263. 11

Abb. 2.1: STREIF, H. (1998): Die Geologische Küstenkarte von Niedersachsen 1:25000 - eine neue Planungsgrundlage für die Küstenregion. - *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, **44**: 184. 16

Abb. 2.2: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 4, Maßstab 1:50000 19

Abb. 2.3: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 4, Maßstab 1:50000 20

Abb. 2.4: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 7, Maßstab 1:50000 21

Abb. 2.5: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 8, Maßstab 1:50000 22

Abb. 2.6: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 9, Maßstab 1:50000 24

Abb. 2.7: Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2000, Topographische Übersichtskarte, Maßstab 1:50000 25

Abb. 3.5: LOWENSTAM, H. A. & WEINER, S. (1989): On Biomineralization. - *Oxford University Press*, *New York*: 103. 30

Abb. 3.6: ZIEHE, D. (2005) 30

Abb. 3.7: ZIEHE, D. (2005) 30

Abb. 3.8: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 4, Maßstab 1:50000 31

Abb. 3.9: WEHRMANN, A. (2007) 31

Abb. 3.10: WEHRMANN, A. (2007) 31

Abb. 3.11: WEHRMANN, A. (2007) 32

Abb. 3.12: WEHRMANN, A. (2007) 32

Abb. 3.13: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 4, Maßstab 1:50000 32

Abb. 3.14: Niedersächsisches Wattenmeer - Standort Kachelotplate - Aufnahme vom 01.08.2007, Maßstab 1:20000, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 32

Abb. 3.15: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 7, Maßstab 1:50000 33

Abb. 3.16: ZIEHE, D. (2004) 33

Abb. 3.17: ZIEHE, D. (2004) 33

Abb. 3.18: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 8, Maßstab 1:50000 34

Abb. 3.19: Niedersächsisches Wattenmeer - Standort Janssand - Aufnahme vom 01.08.2007, Maßstab 1:20000, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 35

Abb. 3.20: Niedersächsisches Wattenmeer - Standort Swinnplate - Aufnahme vom 01.08.2007, Maßstab 1:20000, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 35

Abb. 3.21: Niedersächsisches Wattenmeer - Standort Neuharlingersieler Nacken - Aufnahme vom 01.08.2007, Maßstab 1:20000, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 35

Abb. 3.22: Niedersächsisches Wattenmeer - Standort Gröninger Plate - Aufnahme vom 01.08.2007, Maßstab 1:20000, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 35
Abb. 3.23: FREUND, H. (1997) 36
Abb. 3.24: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg · Rostock, Ausgabe 2005, 3015, Blatt 9, Maßstab 1:50000 36
Abb. 3.25: DEICKE, M. (2006) 37
Abb. 3.26: DEICKE, M. (2006) 37
Abb. 3.27: DEICKE, M. (2006) 37
Abb. 3.28: Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2000, Topographische Übersichtskarte, Maßstab 1:50000 38
Abb. 3.31: ZIEHE, D. (2007) 49
Abb. 3.32: ZIEHE, D. (2007) 49
Abb. 3.33: ZIEHE, D. (2007) 49
Abb. 4.1: KORT, R. (2006) 51
Abb. 4.2: KORT, R. (2006) 51
Abb. 4.3: KORT, R. (2006) 52
Abb. 4.4: KORT, R. (2006) 52
Abb. 4.5: KORT, R. (2006) 53
Abb. 4.6: KORT, R. (2006) 53
Abb. 4.7: KORT, R. (2006) 54
Abb. 4.8: KORT, R. (2006) 54
Abb. 4.9: KORT, R. (2006) 55
Abb. 4.10: KORT, R. (2006) 55
Abb. 4.11: KORT, R. (2006) 56
Abb. 4.12: KORT, R. (2006) 56
Abb. 4.13: KORT, R. (2006) 57
Abb. 4.14: CLAUSEN, C., GROBBEN, K. & KÜHN, A. (1971): Lehrbuch der Zoologie, Spezieller Teil. - *Springer-Verlag*, *Berlin*, *Heidelberg*, *New York*: 786. 58
Abb. 4.15: ZIEHE, D. (2007) 59
Abb. 4.70: STREIF, H. (2003): Die Nordsee im Wandel - vom Eiszeitalter bis zur Neuzeit. - *In*: *LOZÁN*, *J. L.*, *RACHOR*, *E.*, *REISE*, *K.*, *SÜNDERMANN*, *J.* & *WESTERNHAGEN*, *H. VON* (*Hrsg.*): *Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer - Eine Umweltbilanz*. *Wissenschaftliche Auswertungen*, *Hamburg*: 26. 127
Abb. 4.71: BEHRE, K.-E. (2007): A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea. - *Boreas*, **36**: 98. 128
Abb. 4.72: BEHRE, K.-E. (2003): Eine neue Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee - Transgressionen und Regressionen in den letzten 10.000 Jahren. - *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, **28**: 35. 129

8. Anhang

8.1. Vereinfachte lithologische Aufnahme der Profile

8.1.1. Kern 1 (KP) - Kachelotplate vom 16.07.2007

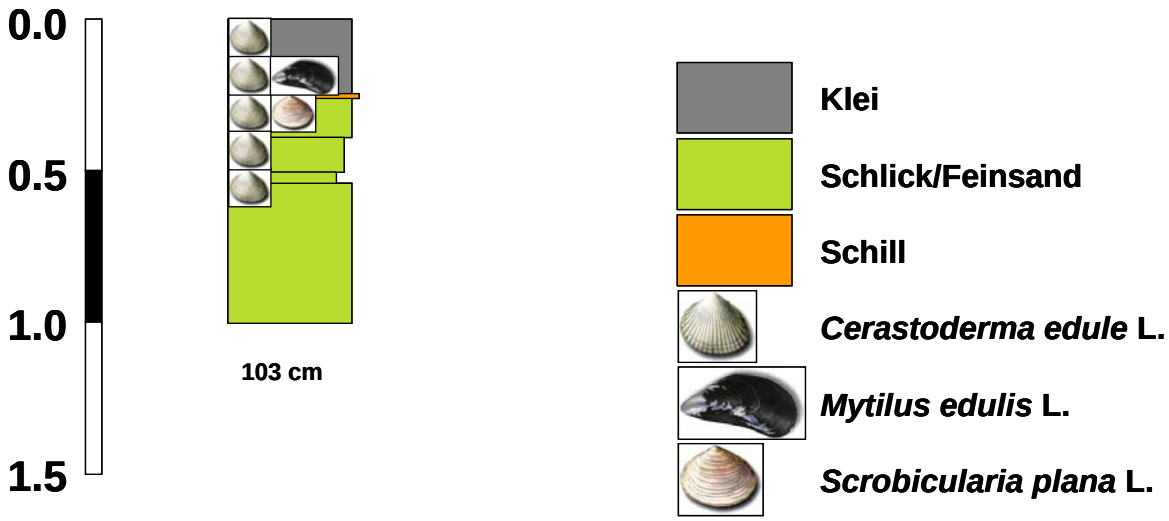


Abb. 8.1: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 1 (KP)

8.1.2. Kern 2 (KP) - Kachelotplate vom 16.07.2007

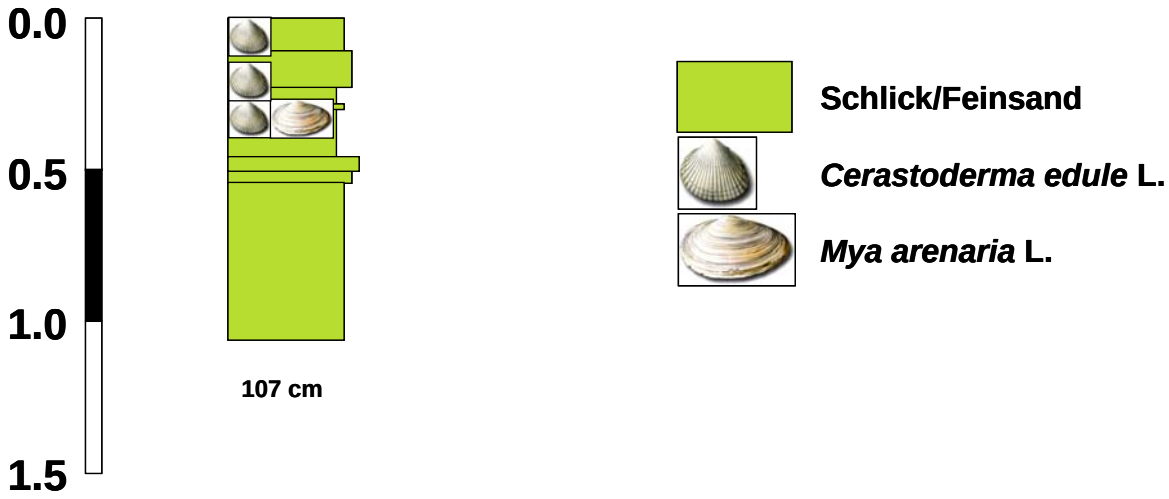


Abb. 8.2: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 2 (KP)

8.1.3. Kern 1 - Swinnplate vom 12.05.2004

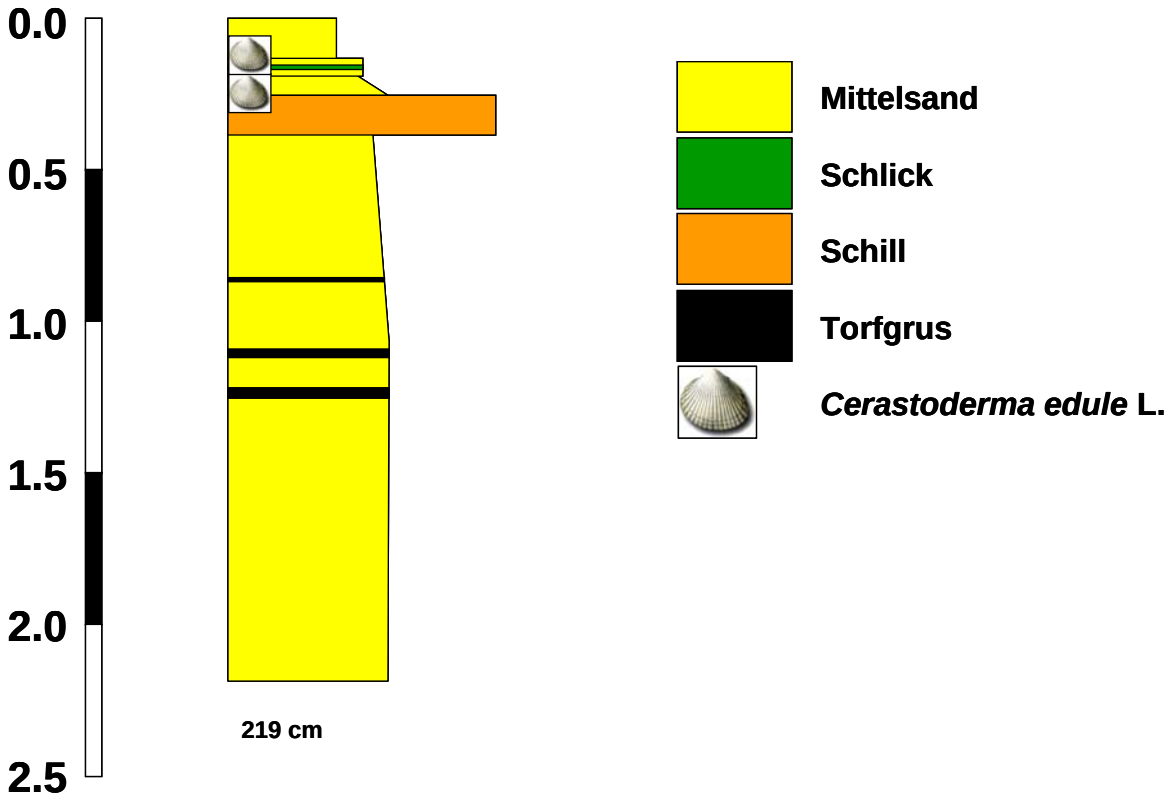


Abb. 8.3: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 1

8.1.4. Kern 2 - Swinnplate vom 12.05.2004

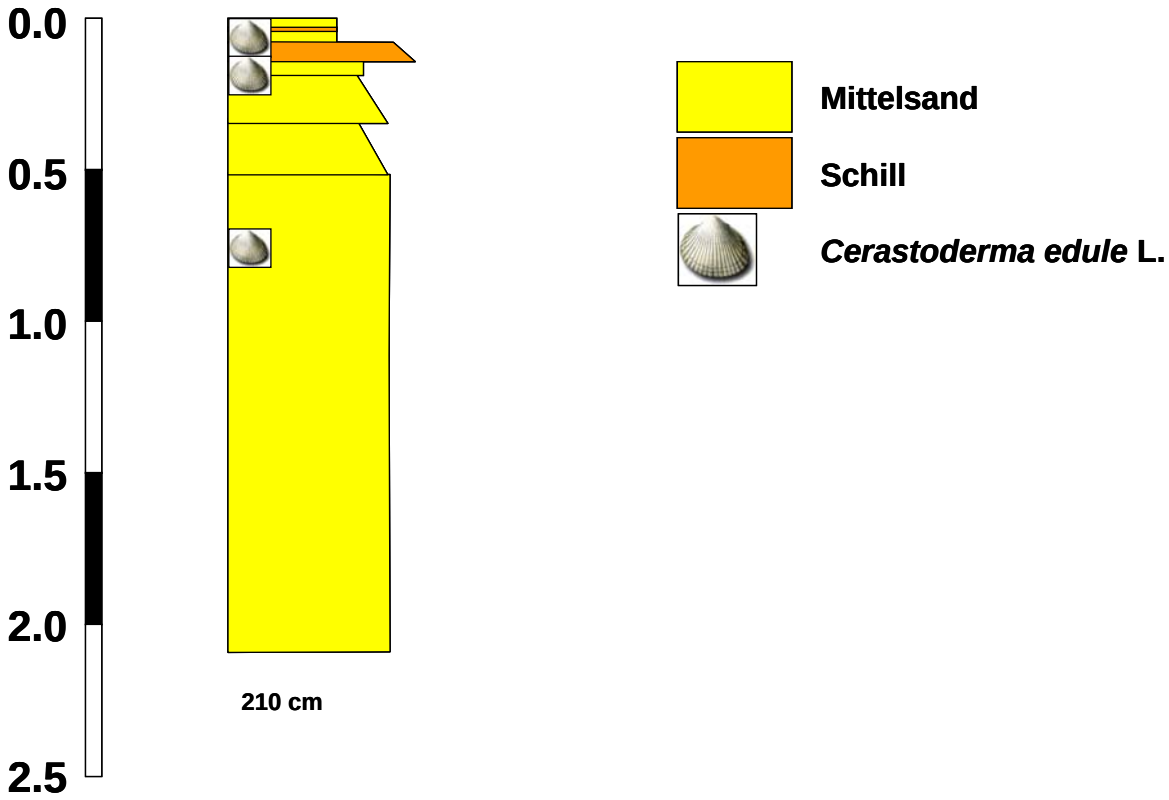


Abb. 8.4: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 2

8.1.5. Kern 6 - Gröninger Plate vom 25.02.2004

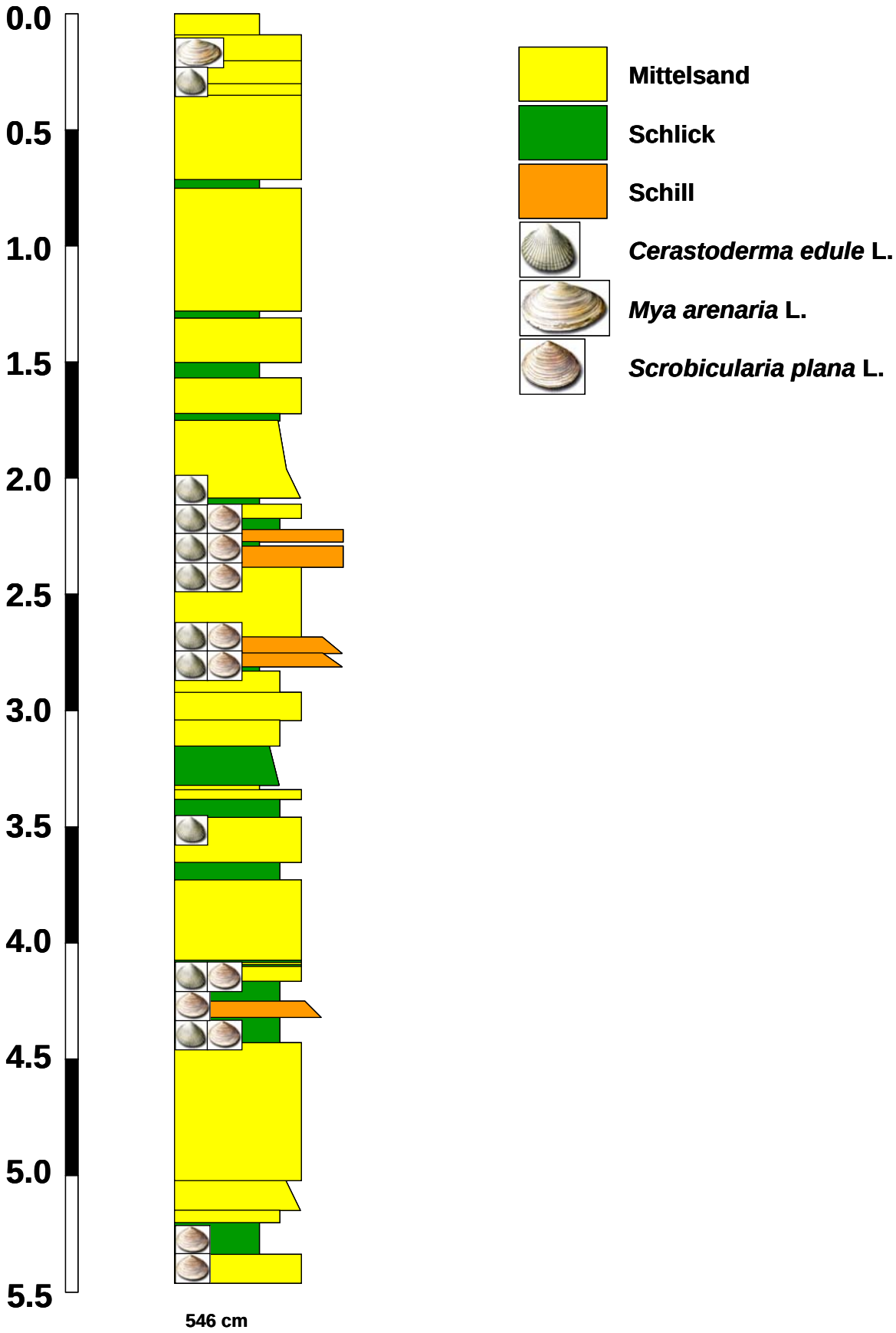


Abb. 8.5: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 6

8.1.6. Kern 7 - Neuharlingersieler Nacken vom 25.02.2004

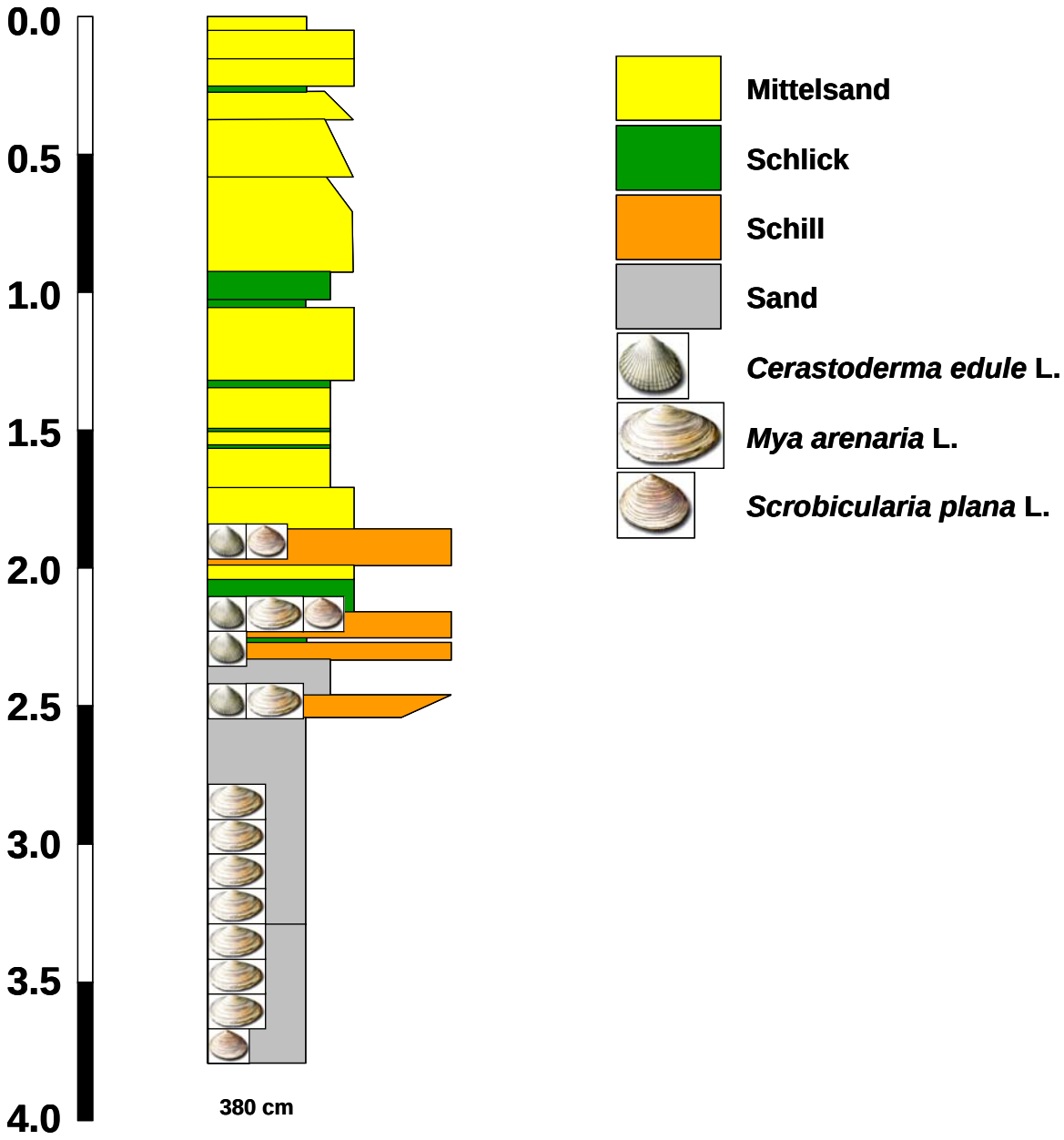


Abb. 8.6: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 7

8.1.7. Kern 8 - Neuharlingersieler Nacken vom 09.06.2004

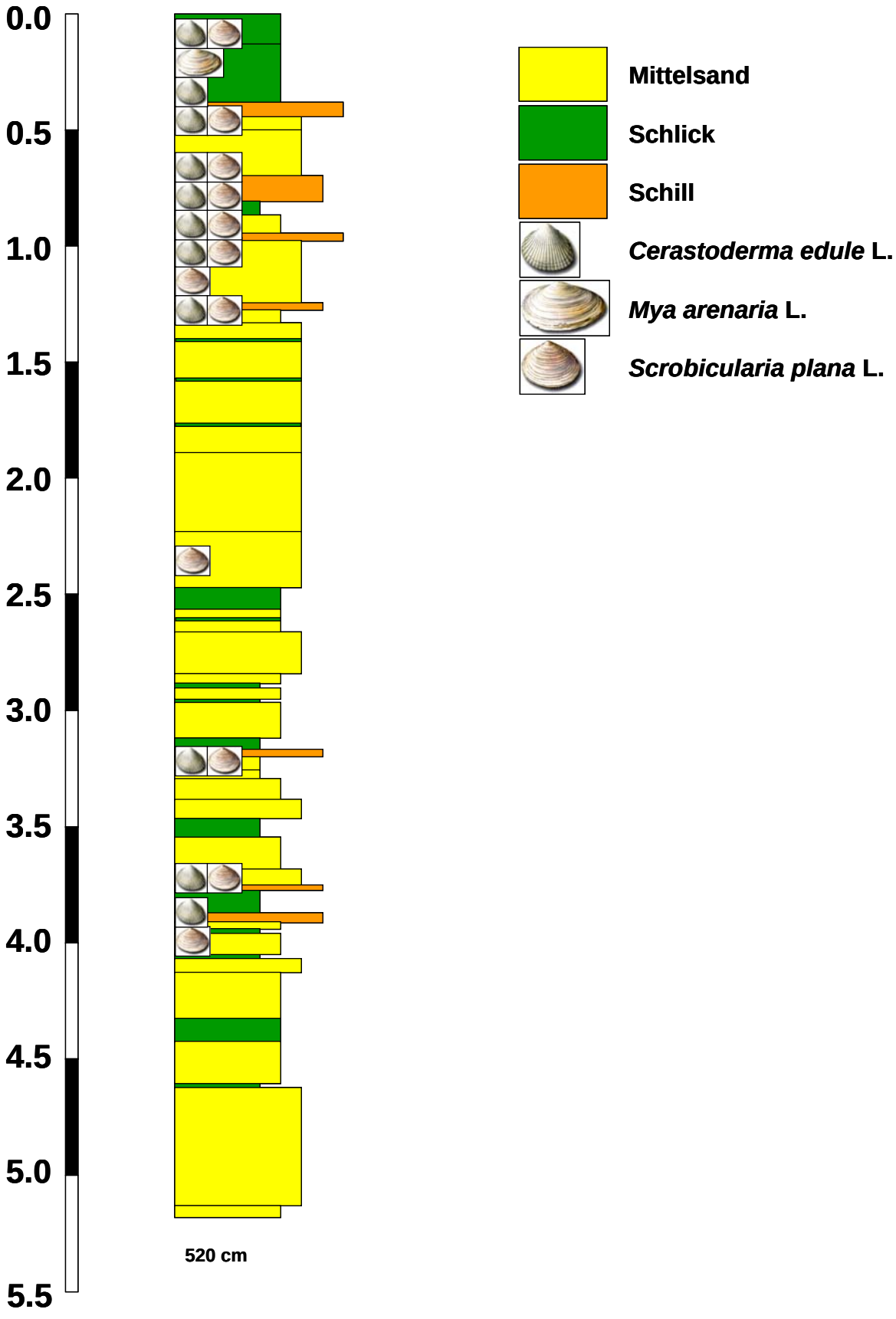


Abb. 8.7: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 8

8.1.8. Kern 9 - Neuharlingersieler Nacken vom 04.11.2004

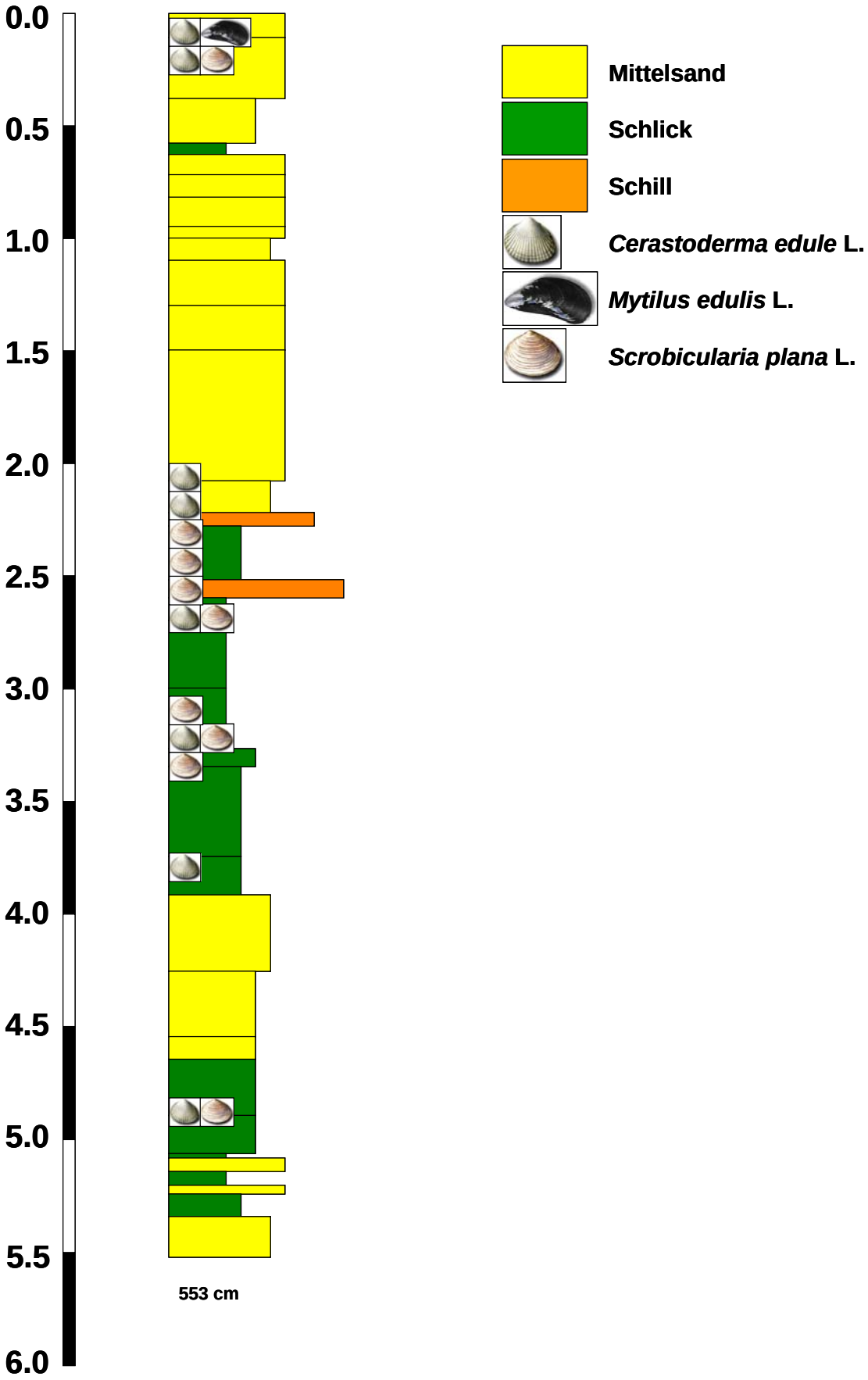


Abb. 8.8: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 9

8.1.9. Kern 10 - Neuharlingersieler Nacken vom 05.04.2005

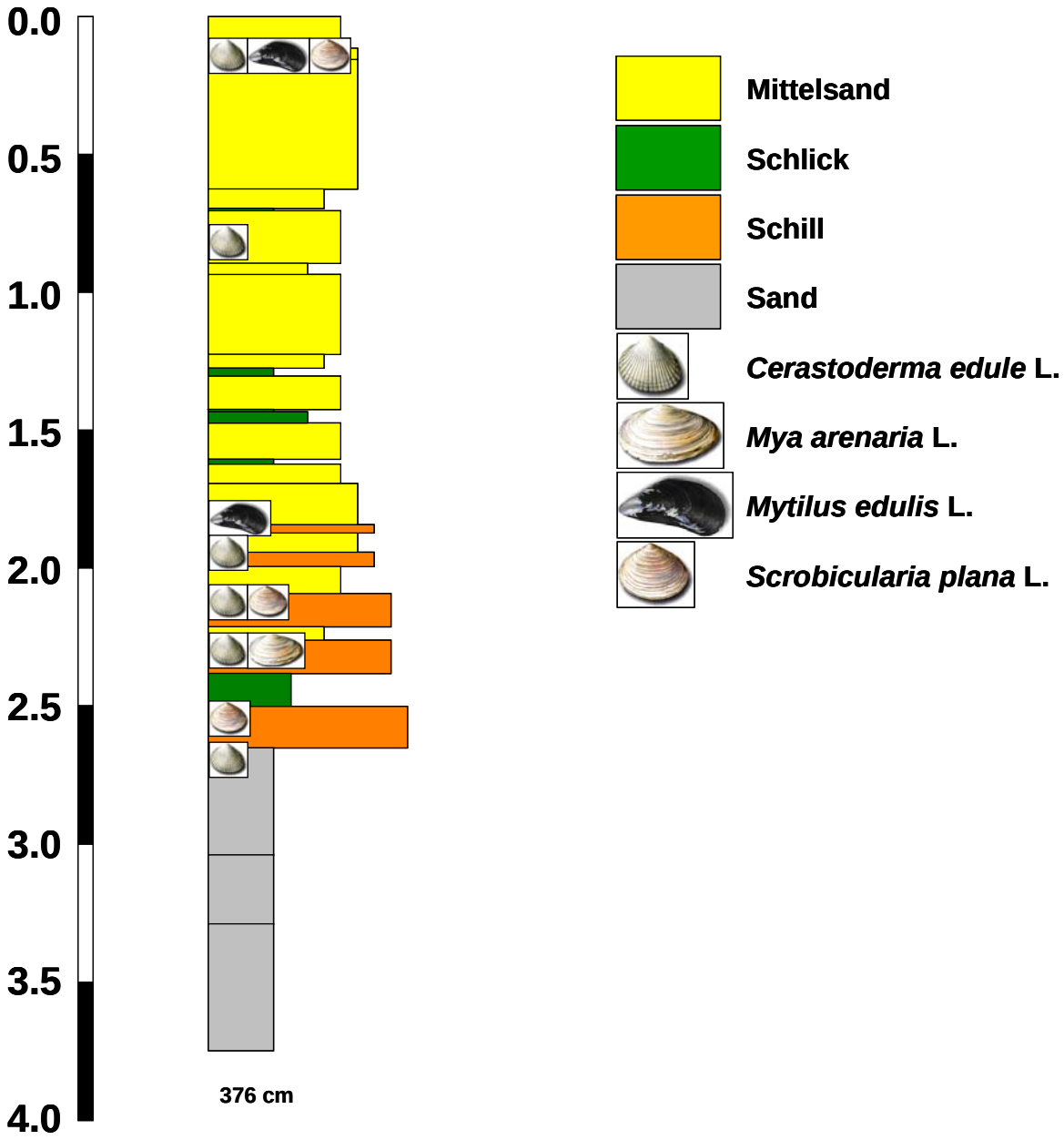


Abb. 8.9: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 10

8.1.10. Kern 11 - Janssand vom 06.04.2005

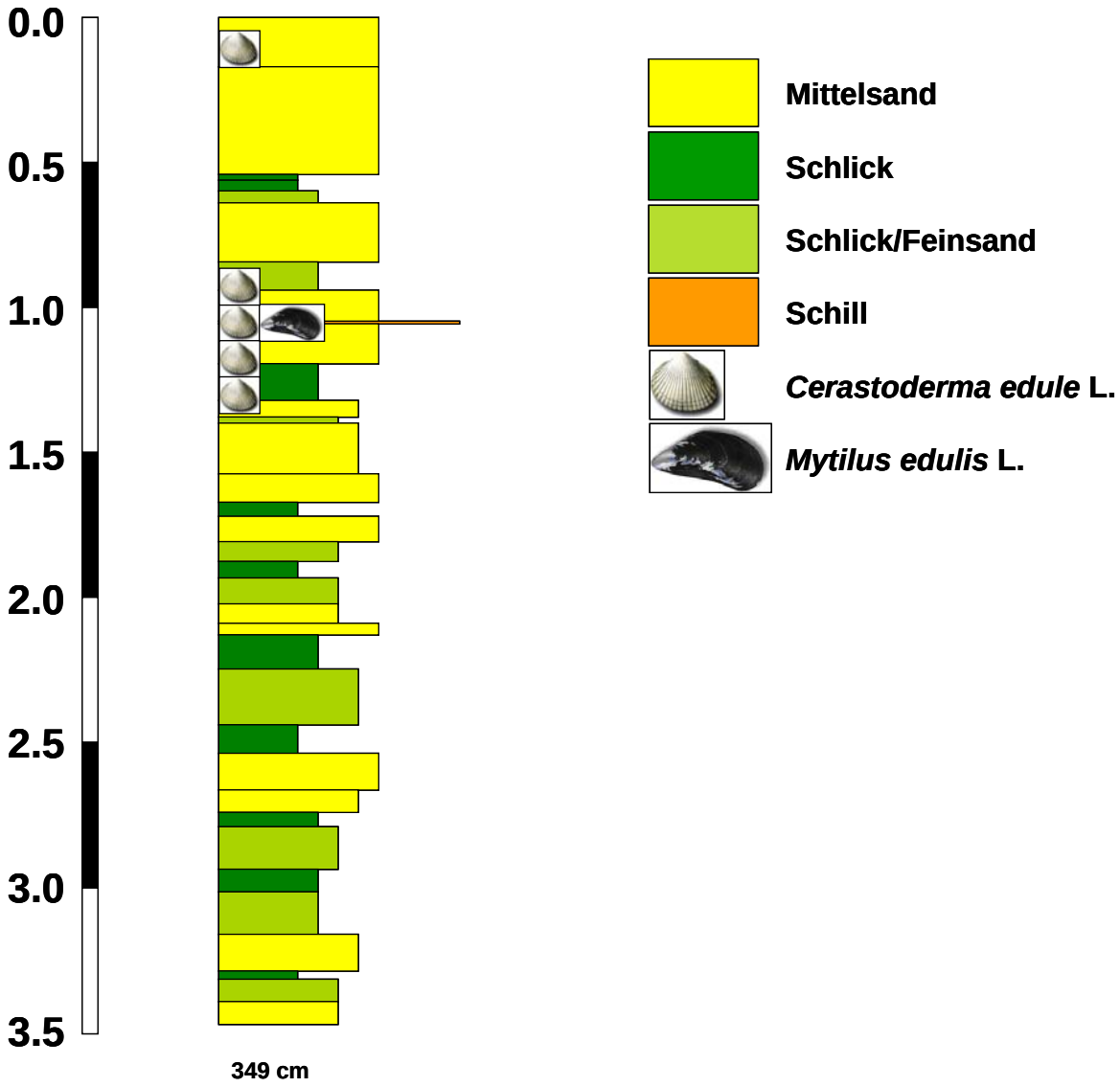


Abb. 8.10: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern 11

8.1.11. Kern B1 - Janssand vom 04.07.2006

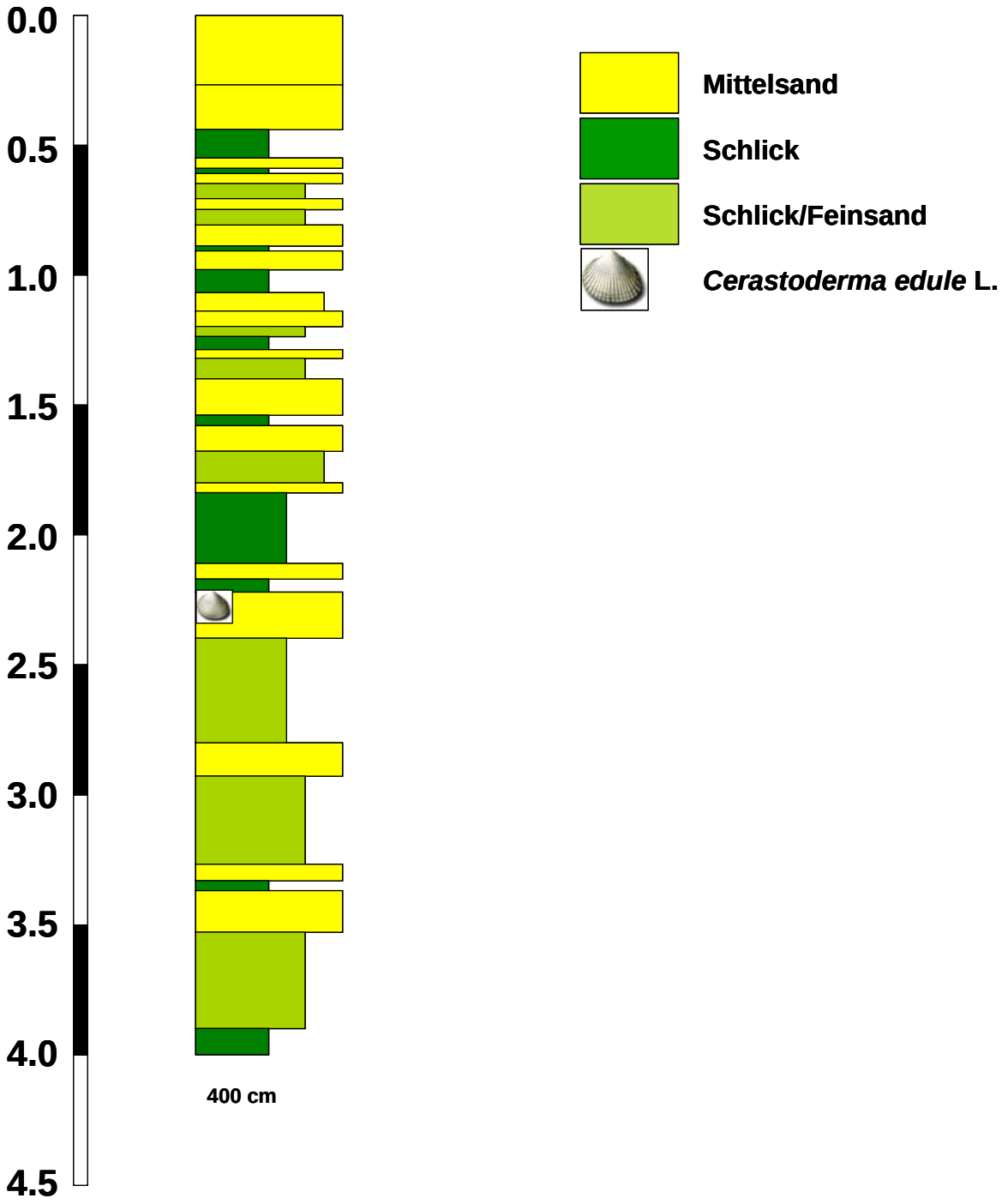


Abb. 8.11: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B1 (ENGELEN, 2006)

8.1.12. Kern B2 - Janssand vom 04.07.2006

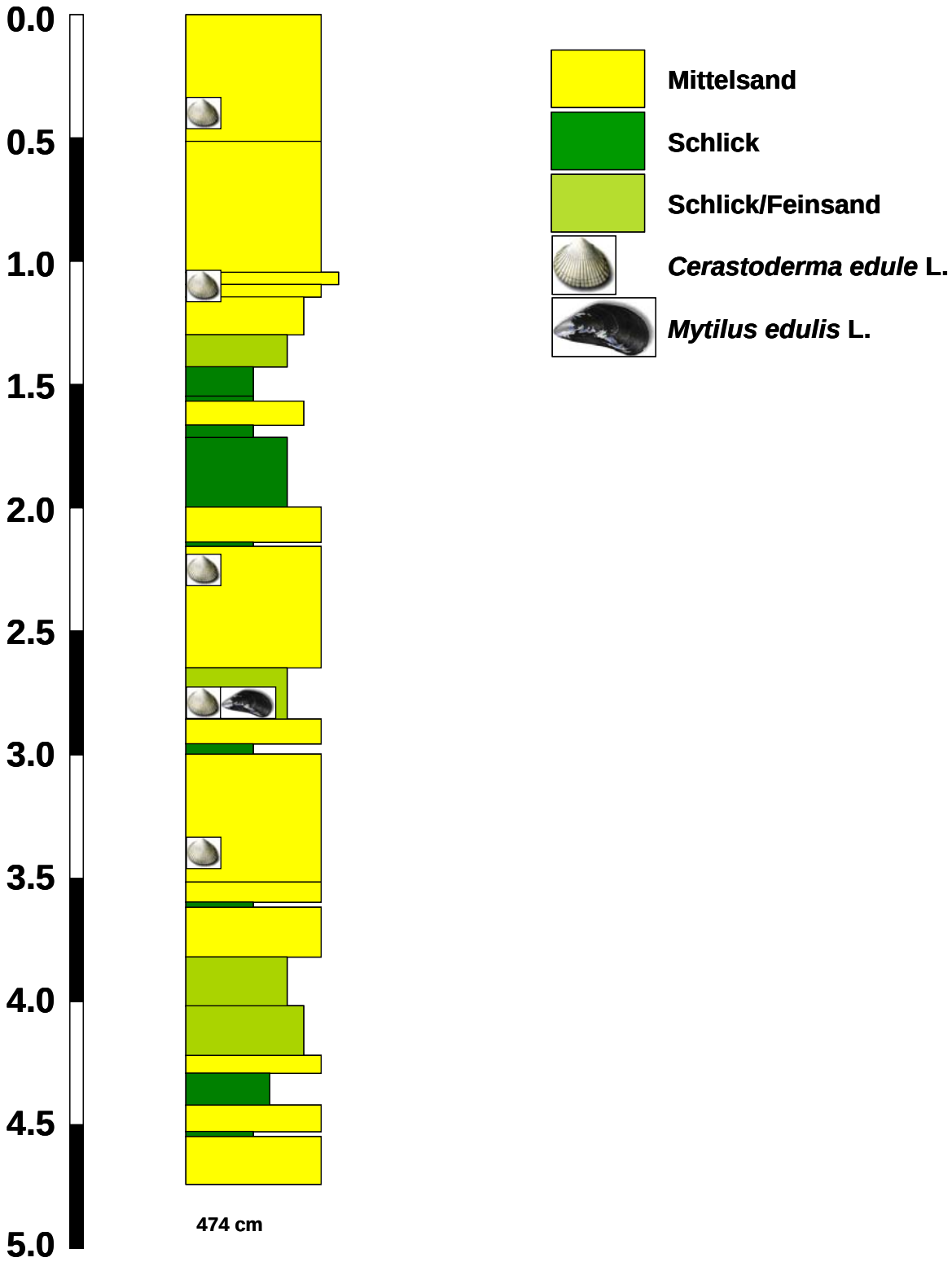


Abb. 8.12: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B2 (ENGELEN, 2006)

8.1.13. Kern B3 - Janssand vom 04.07.2006

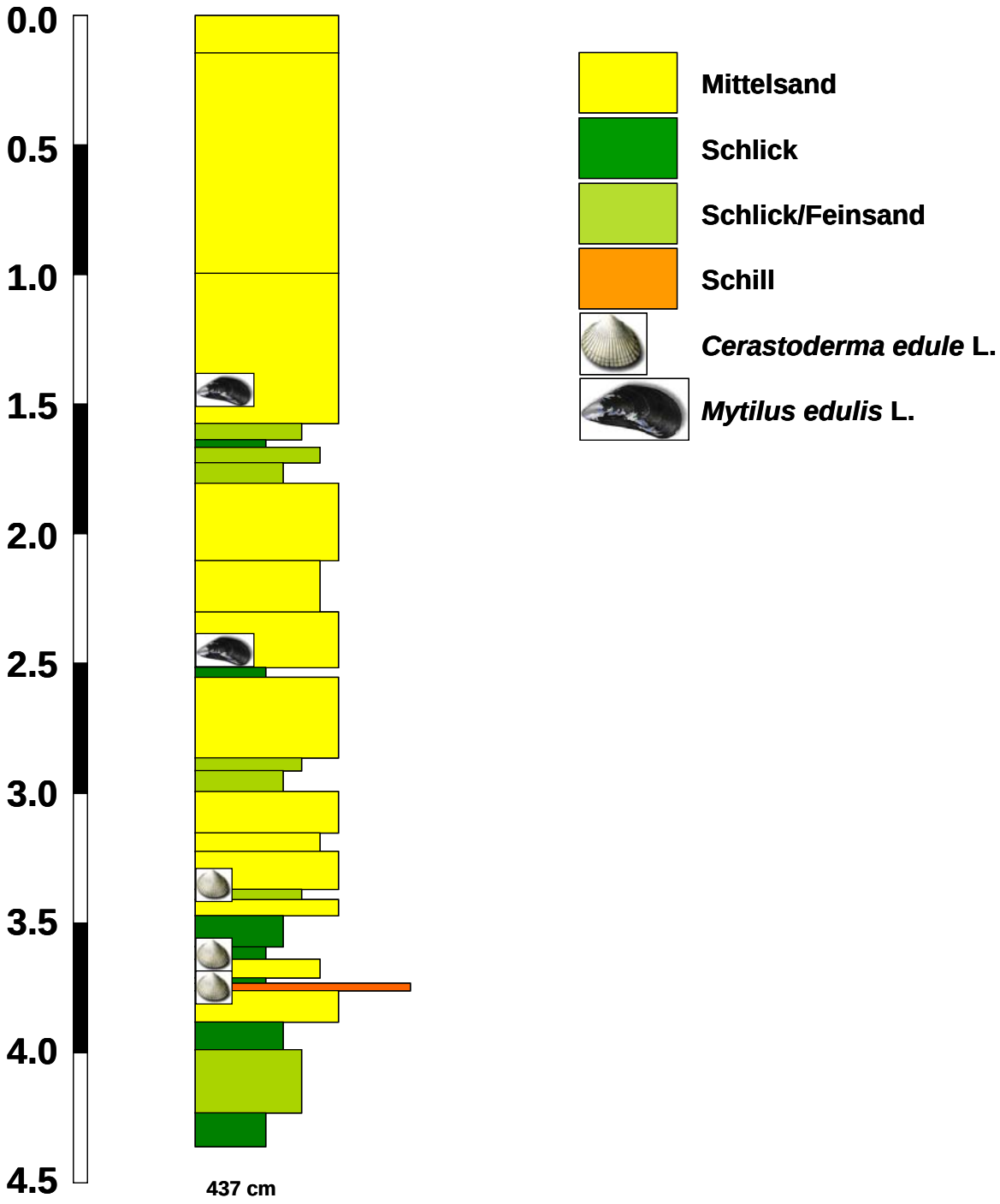


Abb. 8.13: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B3 (ENGELEN, 2006)

8.1.14. Kern B4 - Janssand vom 04.07.2006

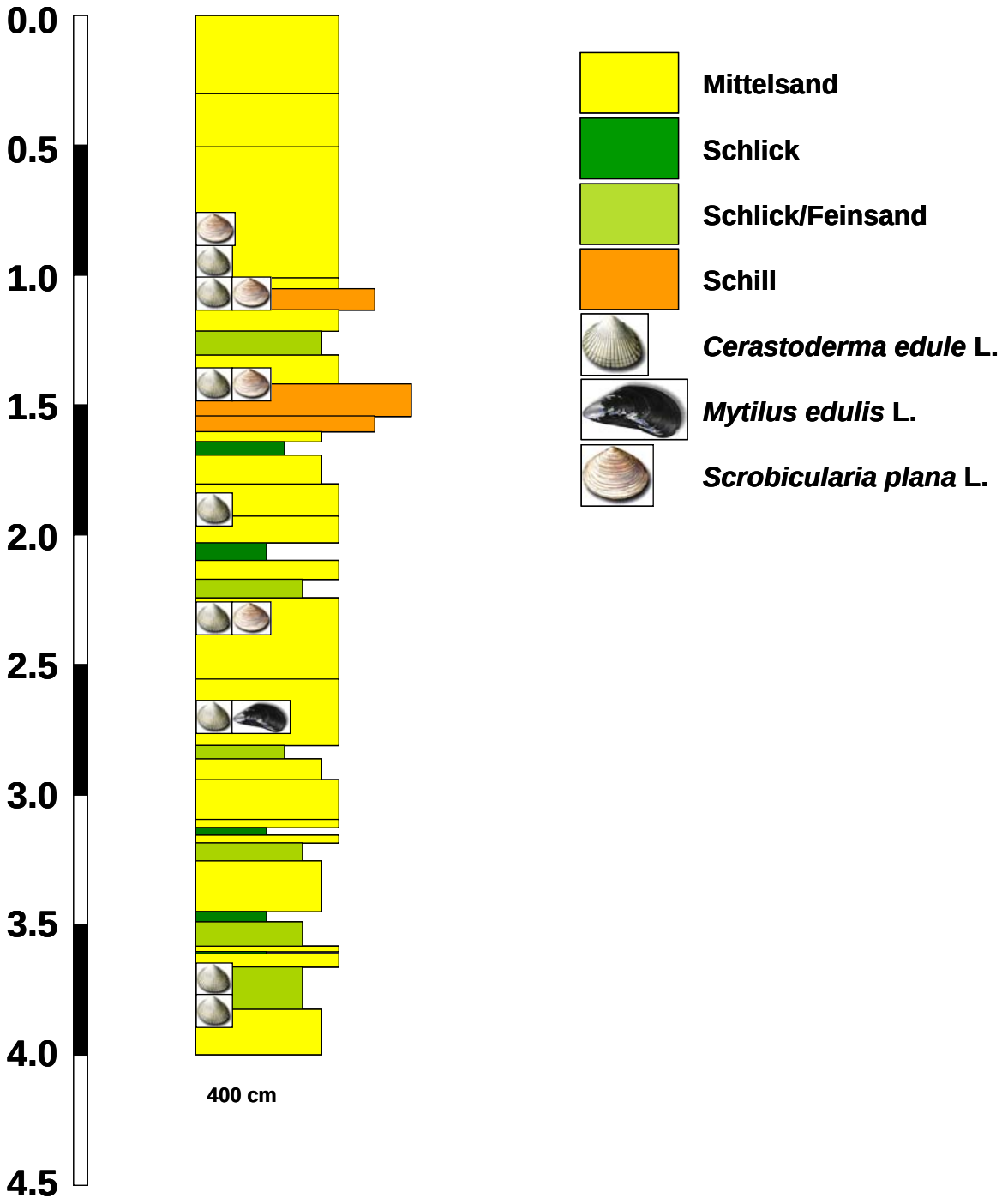


Abb. 8.14: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B4 (ENGELEN, 2006)

8.1.15. Kern B5 - Janssand vom 04.07.2006

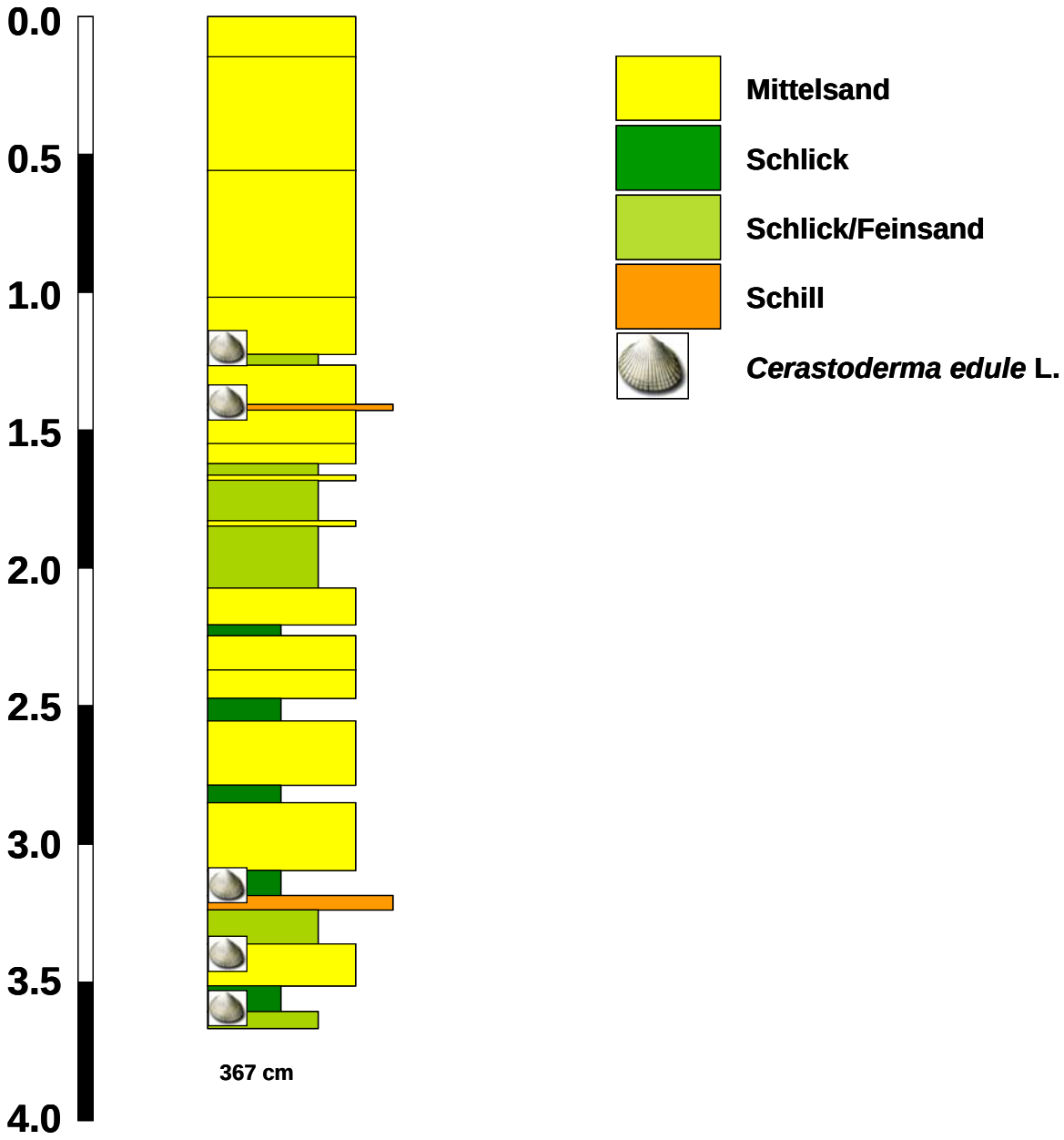


Abb. 8.15: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern B5 (ENGELEN, 2006)

8.1.16. Kern C1 - Janssand vom 24.04.2007

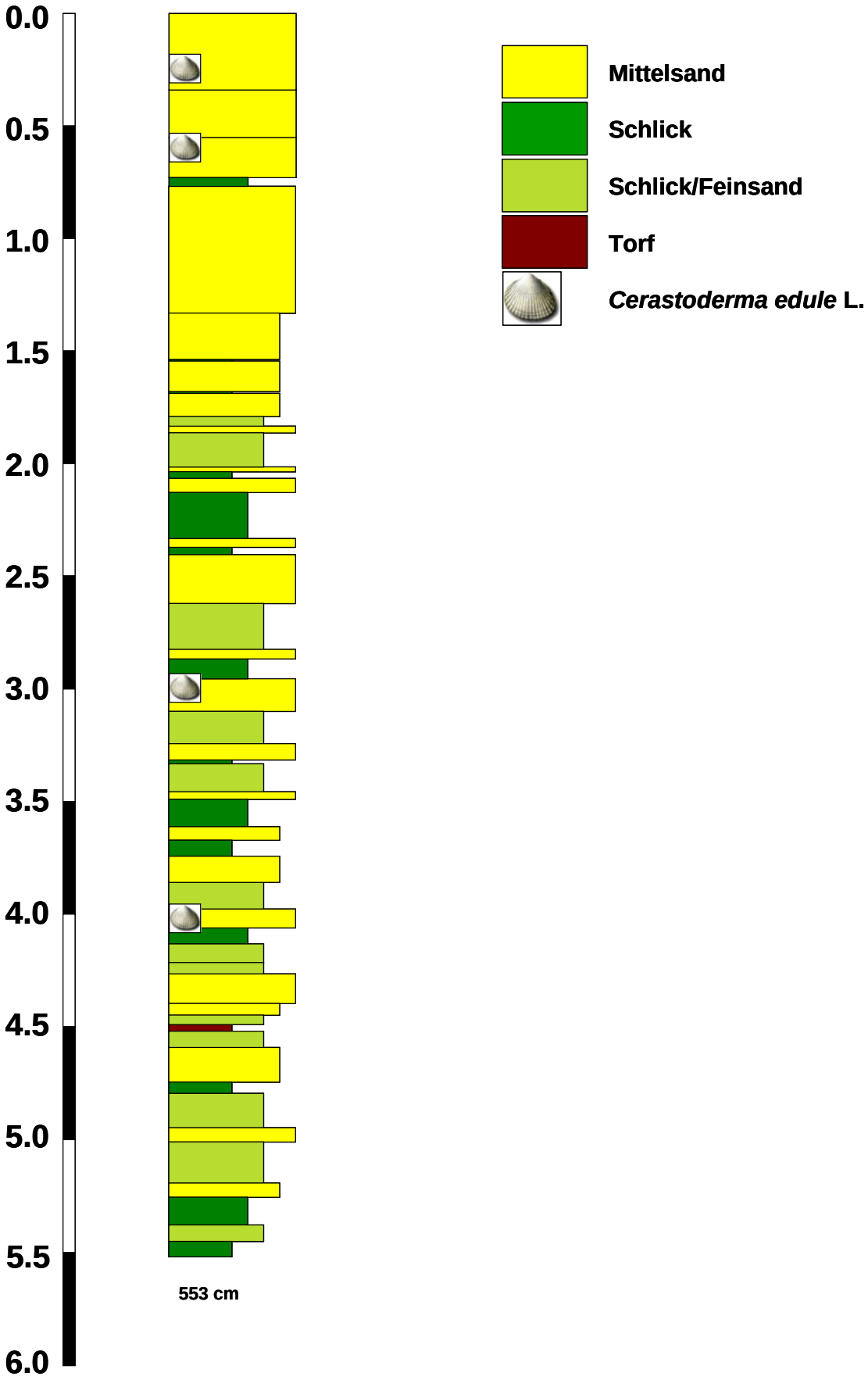


Abb. 8.16: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern C1 (FREUND & KÖSTER, 2007)

8.1.17. Kern C2 - Janssand vom 24.04.2007

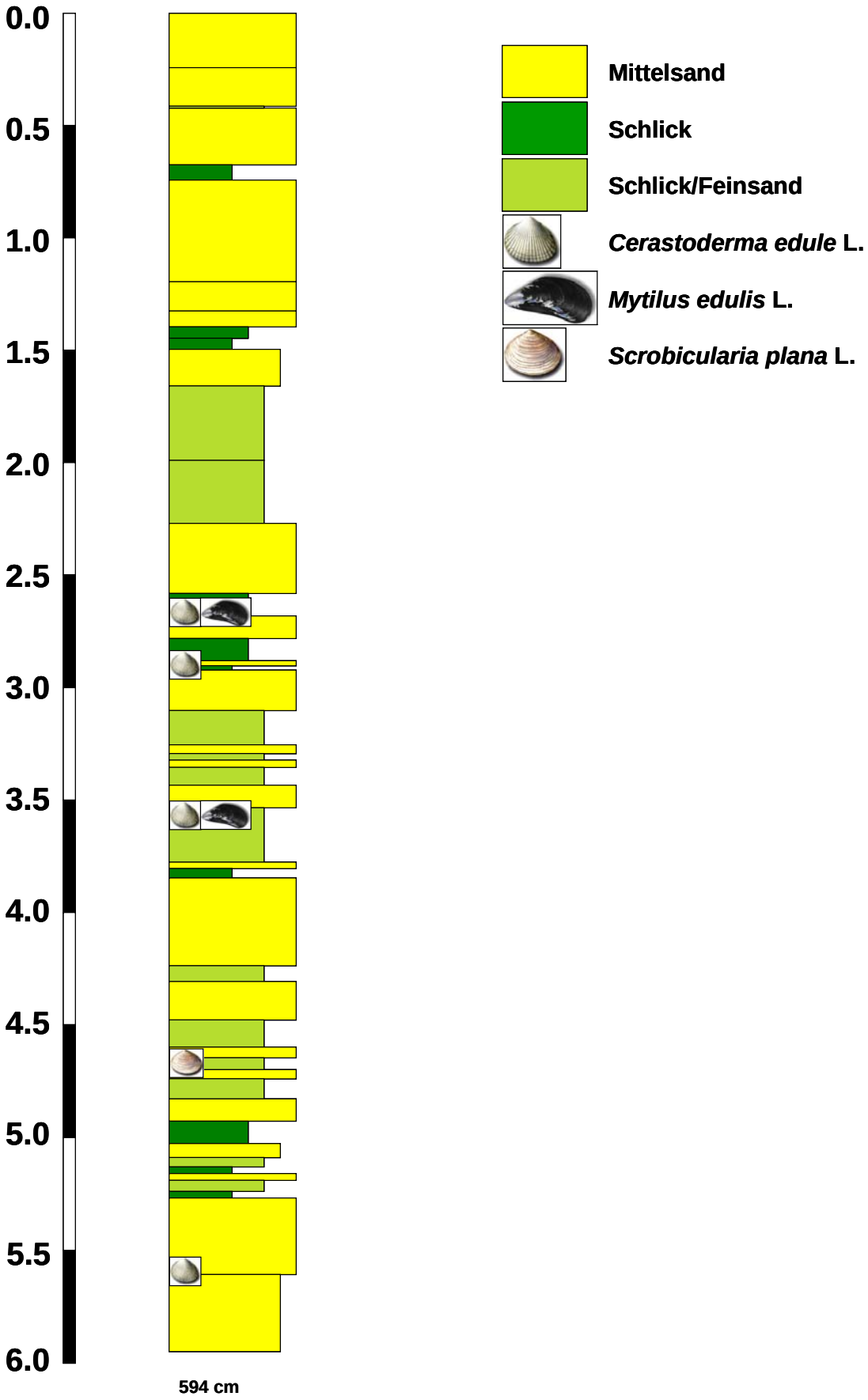


Abb. 8.17: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern C2 (FREUND & KÖSTER, 2007)

8.1.18. Kern D1 - Janssand vom 24.04.2007

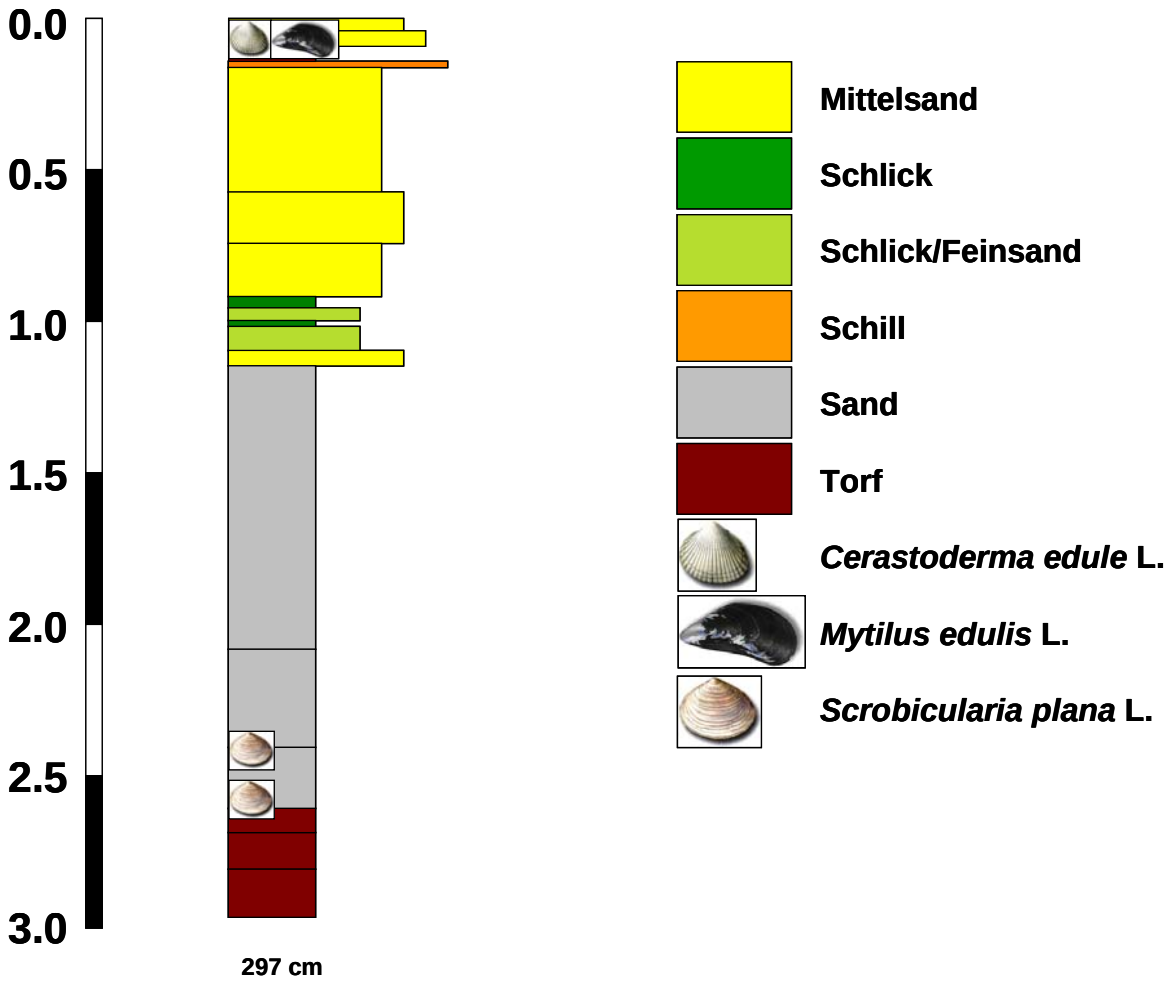


Abb. 8.18: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern D1 (FREUND & KÖSTER, 2007)

8.1.19. Kern D2 - Janssand vom 24.04.2007

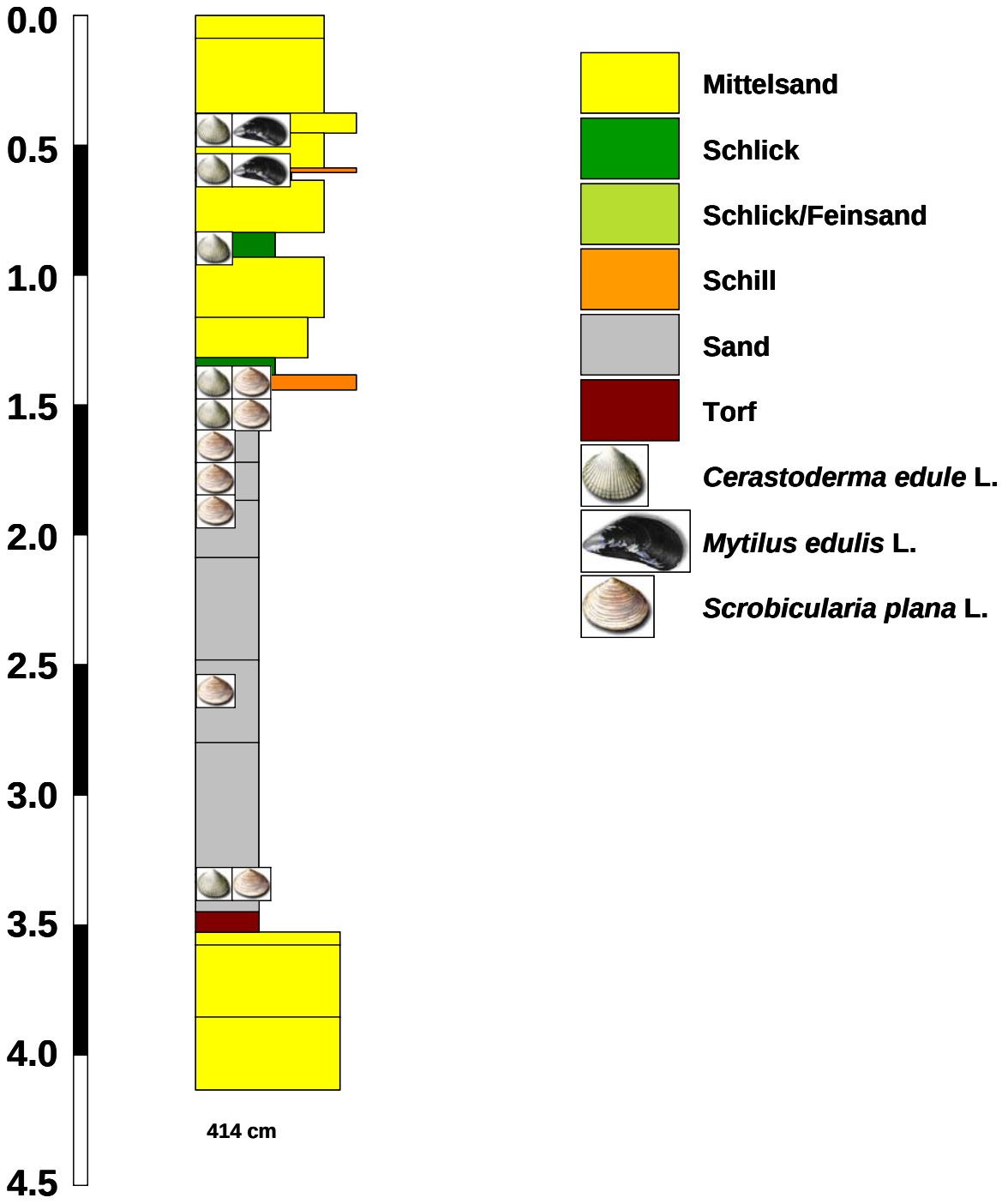


Abb. 8.19: Vereinfachtes lithologisches Profil von Kern D2 (FREUND & KÖSTER, 2007)

8.2. D/L-Verhältnisse der Kalibrierungen

8.2.1. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *C. edule* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	614257	287		631228	312		598221	231	
	612238	292		627882	301		597442	204	
	610028	288		630087	305		597025	211	
MW	612174,33	289,00	0,0009	629732,33	306,00	0,0010	597562,67	215,33	0,0007
STABW	2115,22	2,65		1700,96	5,57		607,06	14,01	
rel. STABW [%]	0,35	0,92		0,27	1,82		0,10	6,51	
12	620857	9822		623557	10223		522387	8822	
	619228	9720		619885	9987		529960	8132	
	624873	9683		622510	9930		529914	8214	
MW	621652,67	9741,67	0,0313	621984,00	10046,67	0,0323	527420,33	8389,33	0,0318
STABW	2905,40	71,99		1891,67	155,35		4359,06	376,94	
rel. STABW [%]	0,47	0,74		0,30	1,55		0,83	4,49	
24	617225	11452		603529	10558		545528	10258	
	619821	11698		599823	11269		543367	9981	
	619337	10982		602891	12003		540328	10398	
MW	618794,33	11377,33	0,0368	602081,00	11276,67	0,0375	543074,33	10212,33	0,0376
STABW	1380,46	363,79		1981,33	722,53		2612,32	212,22	
rel. STABW [%]	0,22	3,20		0,33	6,41		0,48	2,08	
48	652810	13558		612257	12208		522391	12235	
	652291	14028		609335	13669		529920	11559	
	653398	13669		608224	12698		521187	10992	
MW	652833,00	13751,67	0,0421	609938,67	12858,33	0,0422	524499,33	11595,33	0,0442
STABW	553,86	245,66		2083,17	743,58		4732,88	622,30	
rel. STABW [%]	0,08	1,79		0,34	5,78		0,90	5,37	
96	642098	16692		652281	16672		555412	15521	
	643009	16220		653391	17998		553927	13028	
	642891	16982		658890	16998		558310	14431	
MW	642666,00	16631,33	0,0518	654854,00	17222,67	0,0526	555883,00	14326,67	0,0516
STABW	495,43	384,61		3539,07	690,96		2229,14	1249,77	
rel. STABW [%]	0,08	2,31		0,54	4,01		0,40	8,72	
192	620369	18821		644872	19982		581133	17742	
	619028	19993		643389	18882		581009	19225	
	617973	18470		640339	21009		599317	18224	
MW	619123,33	19094,67	0,0617	642866,67	19957,67	0,0621	587153,00	18397,00	0,0627
STABW	1200,84	797,53		2311,20	1063,71		10534,52	756,48	
rel. STABW [%]	0,19	4,18		0,36	5,33		1,79	4,11	
384	642271	24405		633280	23680		571121	25511	
	649893	25772		630087	25532		573396	21447	
	642089	24551		629551	22558		573325	23581	
MW	644751,00	24909,33	0,0773	630972,67	23923,33	0,0759	572614,00	23513,00	0,0822
STABW	4454,03	750,65		2016,10	1501,86		1293,46	2032,85	
rel. STABW [%]	0,69	3,01		0,32	6,28		0,23	8,65	
768	652287	31220		606891	26025		544172	28214	
	653717	33902		602247	26551		549328	25447	
	659830	32251		603357	29581		548470	27114	
MW	655278,00	32457,67	0,0991	604165,00	27385,67	0,0907	547323,33	26925,00	0,0985
STABW	4006,46	1352,89		2425,15	1919,32		2762,65	1393,15	
rel. STABW [%]	0,61	4,17		0,40	7,01		0,50	5,17	

Tab. 8.1: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	231456	298		323651	218		232491	112	
	240474	311		319754	212		235484	119	
	229642	243		325897	267		229745	165	
MW	233857,33	284,00	0,0024	323100,67	232,33	0,0014	232573,33	132,00	0,0011
STABW	5801,54	36,10		3108,26	30,17		2870,39	28,79	
rel. STABW [%]	2,48	12,71		0,96	12,99		1,23	21,81	
8	324679	28985		423879	35278		298724	24781	
	332884	26743		425781	38112		302884	29548	
	315745	27554		429774	36228		305681	32597	
MW	324436,00	27760,67	0,1716	426478,00	36539,33	0,1718	302429,67	28975,33	0,1922
STABW	8572,08	1135,20		3008,67	1442,42		3500,68	3939,34	
rel. STABW [%]	2,64	4,09		0,71	3,95		1,16	13,60	
16	473900	47623		395715	47178		298651	32579	
	457398	47321		395272	41245		299217	36998	
	475388	46329		393788	45479		295876	35687	
MW	468895,33	47091,00	0,2015	394925,00	44634,00	0,2270	297914,67	35088,00	0,2367
STABW	9984,74	676,97		1009,28	3055,43		1788,07	2269,58	
rel. STABW [%]	2,13	1,44		0,26	6,85		0,60	6,47	
24	489064	63778		365741	54587		369244	52698	
	487296	67646		359874	57548		362497	50326	
	474370	69664		365781	58417		362598	52366	
MW	483576,67	67029,33	0,2790	363798,67	56850,67	0,3151	364779,67	51796,67	0,2859
STABW	8022,06	2991,06		3398,92	2007,97		3866,56	1284,41	
rel. STABW [%]	1,66	4,46		0,93	3,53		1,06	2,48	

32	574738	83678		325418	55146		314955	48351	
	575656	87532		328974	51457		326988	46211	
	587645	89063		325479	53247		319654	47662	
MW	579346,33	86757,67	0,3018	326623,67	53283,33	0,3292	320532,33	47408,00	0,2980
STABW	7201,50	2774,75		2035,68	1844,77		6064,39	1092,38	
rel. STABW [%]	1,24	3,20		0,62	3,46		1,89	2,30	
40	464781	78417		423879	74427		401229	66397	
	469085	75211		419875	70214		406544	64028	
	473119	76320		411247	72658		409872	69244	
MW	468995,00	76649,33	0,3298	418333,67	72433,00	0,3498	405881,67	66556,33	0,3309
STABW	4169,73	1628,18		6455,51	2115,49		4359,40	2611,65	
rel. STABW [%]	0,89	2,12		1,54	2,92		1,07	3,92	
48	575398	99434		402589	80218		365971	70124	
	586155	102611		398751	76233		360189	68324	
	563470	105342		398674	77752		362491	67229	
MW	575007,67	102462,33	0,3602	400004,67	78067,67	0,3954	362883,67	68559,00	0,3825
STABW	11347,54	2956,80		2238,43	2011,17		2910,93	1461,74	
rel. STABW [%]	1,97	2,89		0,56	2,58		0,80	2,13	
96	446308	108752		325479	86971		298214	72598	
	473578	111095		325489	80254		300255	70238	
	461455	110532		329871	80025		296872	74339	
MW	460447,00	110126,33	0,4878	326946,33	82416,67	0,5153	298447,00	72391,67	0,4950
STABW	13662,92	1223,04		2532,84	3945,83		1703,49	2058,27	
rel. STABW [%]	2,97	1,11		0,77	4,79		0,57	2,84	
192	397214	133778		423184	154763		248672	85644	
	389548	137975		418721	162487		240397	82567	
	401367	145180		419872	158666		251487	80124	
MW	396043,00	138977,67	0,7330	420592,33	158638,67	0,7935	246852,00	82778,33	0,6977
STABW	5995,88	5766,75		2317,06	3862,07		5764,66	2766,06	
rel. STABW [%]	1,51	4,15		0,55	2,43		2,34	3,34	

Tab. 8.2: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	467178	365		357542	294		312485	159	
	414381	317		367628	261		314028	148	
	406711	298		346901	278		311821	161	
MW	429423,33	326,67	0,0015	357357,00	277,67	0,0016	312778,00	156,00	0,0010
STABW	32920,64	34,53		10364,74	16,50		1132,30	7,00	
rel. STABW [%]	7,67	10,57		2,90	5,94		0,36	4,49	
2	477141	15757		468720	17681		320147	10258	
	436547	16786		478109	18542		329821	11587	
	461778	14657		469065	17984		326978	11935	
MW	458488,67	15733,33	0,0687	471964,67	18069,00	0,0766	325648,67	11260,00	0,0692
STABW	20495,93	1064,70		5323,94	436,75		4972,11	885,03	
rel. STABW [%]	4,47	6,77		1,13	2,42		1,53	7,86	
4	466154	45761		356894	36541		332861	32584	
	479001	37768		352477	32287		335817	30281	
	412798	40681		359244	35477		339812	31824	
MW	452651,00	41403,33	0,1834	356205,00	34768,33	0,1958	336163,33	31563,00	0,1883
STABW	35106,37	4045,16		3435,71	2213,77		3488,42	1173,47	
rel. STABW [%]	7,76	9,77		0,96	6,37		1,04	3,72	
8	392727	51682		321018	33587		356821	38657	
	412765	47681		319822	35178		349582	40258	
	421157	46267		318224	37514		353369	39827	
MW	408883,00	48543,33	0,2386	319688,00	35426,33	0,2225	353257,33	39580,67	0,2250
STABW	14607,14	2808,61		1401,81	1975,24		3620,79	828,44	
rel. STABW [%]	3,57	5,79		0,44	5,58		1,02	2,09	
16	475619	80362		382477	70332		368221	66277	
	437155	87517		389271	68221		362584	65871	
	453118	88637		386521	69541		362587	67992	
MW	455297,33	85505,33	0,3801	386089,67	69364,67	0,3633	364464,00	66713,33	0,3703
STABW	19324,39	4489,32		3417,48	1066,49		3253,66	1125,81	
rel. STABW [%]	4,24	5,25		0,89	1,54		0,89	1,69	
24	606745	136481		382210	82697		325774	75485	
	596428	137527		380171	83665		328155	70154	
	598631	134371		386209	80171		329547	71662	
MW	600601,33	136126,33	0,4613	382863,33	82177,67	0,4361	327825,33	72433,67	0,4493
STABW	5433,40	1607,61		3071,56	1803,96		1907,98	2748,00	
rel. STABW [%]	0,90	1,18		0,80	2,20		0,58	3,79	
32	536678	137596		425283	99271		341228	82214	
	547159	137215		419822	102145		341181	85547	
	525794	135529		421792	104987		349522	86921	
MW	536543,67	136780,00	0,5214	422299,00	102134,33	0,4935	343977,00	84894,00	0,5040
STABW	10683,13	1100,02		2765,58	2858,01		4802,17	2420,49	
rel. STABW [%]	1,99	0,80		0,65	2,80		1,40	2,85	
40	454181	123579		402289	106812		362578	96525	
	455729	120891		402873	103841		366971	92571	
	447527	121459		403811	105472		359668	93284	
MW	452479,00	121976,33	0,5528	402991,00	105375,00	0,5354	363072,33	94126,67	0,5306
STABW	4357,84	1416,71		767,83	1487,87		3676,51	2107,39	
rel. STABW [%]	0,96	1,16		0,19	1,41		1,01	2,24	
48	432785	128725		382445	111682		355891	100581	
	421458	127668		381447	110977		352477	107840	
	427508	129348		379282	109837		351188	102447	
MW	427250,33	128580,33	0,6211	381058,00	110832,00	0,5990	353185,33	103622,67	0,6046
STABW	5667,89	849,29		1616,98	931,01		2430,20	3769,60	
rel. STABW [%]	1,33	0,66		0,42	0,84		0,69	3,64	

96	572215	222557		367227	138668		341874	135744	
	565128	221175		362008	140582		341189	137785	
	538209	223678		359871	142772		333984	135547	
MW	558517,33	222470,00	0,8433	363035,33	140674,00	0,8177	339015,67	136358,67	0,8526
STABW	17940,95	1253,77		3784,08	2053,55		4370,99	1239,16	
rel. STABW [%]	3,21	0,56		1,04	1,46		1,29	0,91	

Tab. 8.3: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.2. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *C. edule* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	762161	367		721408	233		720147	251	
	772464	377		723369	296		717221	263	
	877672	481		720148	278		719360	277	
MW	804099,00	408,33	0,0010	721641,67	269,00	0,0007	718909,33	263,67	0,0007
STABW	63924,00	63,13		1623,16	32,45		1514,16	13,01	
rel. STABW [%]	7,95	15,46		0,22	12,06		0,21	4,94	
12	626762	8778		702633	10005		733258	12501	
	678252	8350		712743	11022		739227	10998	
	698772	8925		708224	12961		730149	11429	
MW	667928,67	8684,33	0,0260	707866,67	11329,33	0,0320	734211,33	11642,67	0,0317
STABW	37098,36	298,72		5064,46	1501,77		4613,48	773,95	
rel. STABW [%]	5,55	3,44		0,72	13,26		0,63	6,65	
24	614724	9772		752966	14228		741328	14322	
	658114	11983		754483	12496		740364	12381	
	697624	10893		750149	13655		741537	13567	
MW	656820,67	10882,67	0,0331	752532,67	13459,67	0,0358	741076,33	13423,33	0,0362
STABW	41465,13	1105,54		2199,25	882,37		625,69	978,44	
rel. STABW [%]	6,31	10,16		0,29	6,56		0,08	7,29	
48	675631	14654		743390	14558		721955	14552	
	776298	15223		742291	16238		725549	15336	
	717833	13535		749823	15332		723651	15002	
MW	723254,00	14470,67	0,0400	745168,00	15376,00	0,0413	723718,33	14963,33	0,0414
STABW	50551,97	858,80		4068,63	840,86		1797,95	393,43	
rel. STABW [%]	6,99	5,93		0,55	5,47		0,25	2,63	
96	846753	19985		722956	17771		756228	18951	
	865242	20678		724483	18002		756324	19554	
	862902	18861		721460	17982		754432	19266	
MW	858299,00	19841,33	0,0462	722966,33	17918,33	0,0496	755661,33	19257,00	0,0510
STABW	10067,35	916,98		1511,53	127,99		1065,72	301,60	
rel. STABW [%]	1,17	4,62		0,21	0,71		0,14	1,57	
192	787244	22571		721149	22154		746692	22251	
	728722	20128		725543	23662		742287	23668	
	797244	22117		729901	20189		743365	22168	
MW	771070,00	21605,33	0,0561	725531,00	22001,67	0,0607	744114,67	22695,67	0,0610
STABW	37013,71	1299,39		4376,01	1741,50		2296,19	843,09	
rel. STABW [%]	4,80	6,01		0,60	7,92		0,31	3,71	
384	675429	27027		783361	32247		758924	29251	
	659843	25336		781155	30552		751462	31002	
	698464	26118		783144	29882		756692	30669	
MW	677912,00	26160,33	0,0772	782553,33	30893,67	0,0790	755692,67	30307,33	0,0803
STABW	19429,86	846,29		1215,84	1218,96		3830,06	929,84	
rel. STABW [%]	2,87	3,24		0,16	3,95		0,51	3,07	
768	753972	38643		766244	36645		722147	35442	
	745764	37476		769232	39221		725893	36524	
	768231	38372		762156	40112		721489	36922	
MW	755989,00	38163,67	0,1010	765877,33	38659,33	0,1010	723176,33	36296,00	0,1005
STABW	11368,50	610,76		3552,22	1800,45		2375,59	765,89	
rel. STABW [%]	1,50	1,60		0,46	4,66		0,33	2,11	

Tab. 8.4: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	366278	367		192547	201		187651	117	
	378723	402		201264	192		192872	119	
	373167	384		197244	187		190279	128	
MW	372722,67	384,33	0,0021	197018,33	193,33	0,0020	190267,33	121,33	0,0013
STABW	6234,39	17,50		4362,88	7,09		2610,52	5,86	
rel. STABW [%]	1,67	4,55		2,21	3,67		1,37	4,83	
8	368349	31743		234216	20332		190287	12872	
	375883	29654		237231	21002		192764	13894	
	364004	28477		240028	20257		193287	16824	
MW	369412,00	29958,00	0,1625	237158,33	20530,33	0,1736	192112,67	14530,00	0,1516
STABW	6010,42	1654,09		2906,68	410,19		1602,55	2051,33	
rel. STABW [%]	1,63	5,52		1,23	2,00		0,83	14,12	
16	396438	37849		352497	33974		201792	20789	
	401306	36043		356171	36978		198731	19895	
	394547	39832		354479	37598		193584	19867	
MW	397430,33	37908,00	0,1913	354382,33	36183,33	0,2049	198035,67	20183,67	0,2045
STABW	3487,06	1895,19		1838,91	1938,29		4147,94	524,42	
rel. STABW [%]	0,88	5,00		0,52	5,36		2,09	2,60	

24	453278	59362		365972	46972		235975	29384	
	453197	58422		362872	49357		239854	32598	
	444291	60175		362897	46987		239720	31689	
MW	450255,33	59319,67	0,2650	363913,67	47772,00	0,2641	238516,33	31223,67	0,2633
STABW	5165,42	877,27		1782,61	1372,67		2201,88	1656,76	
rel. STABW [%]	1,15	1,48		0,49	2,87		0,92	5,31	
32	389832	56783		398314	63591		239987	36891	
	400563	55908		390287	60218		236919	35114	
	396439	57990		389721	59842		231792	36598	
MW	395611,33	56893,67	0,2896	392774,00	61217,00	0,3143	236232,67	36201,00	0,3089
STABW	5413,17	1045,40		4806,12	2064,52		4140,39	952,70	
rel. STABW [%]	1,37	1,84		1,22	3,37		1,75	2,63	
40	456398	70485		376328	65897		289248	46982	
	461287	72458		372258	62149		283389	49385	
	453743	72987		371458	63987		279968	44723	
MW	457142,67	71976,67	0,3175	373348,00	64011,00	0,3463	284201,67	47030,00	0,3340
STABW	3826,73	1318,62		2611,57	1874,12		4693,07	2331,37	
rel. STABW [%]	0,84	1,83		0,70	2,93		1,65	4,96	
48	418274	71468		324956	63484		236697	46582	
	413671	73241		329861	66032		240289	40995	
	415279	71211		324781	61299		245897	46552	
MW	415741,33	71973,33	0,3498	326532,67	63605,00	0,3946	240961,00	44709,67	0,3754
STABW	2336,07	1105,33		2883,75	2368,82		4636,67	3217,03	
rel. STABW [%]	0,56	1,54		0,88	3,72		1,92	7,20	
96	396517	94721		369824	96812		355891	79328	
	395417	92414		372987	98247		352179	82319	
	400021	93558		370012	95638		350891	83229	
MW	397318,33	93564,33	0,4800	370941,00	96899,00	0,5348	352987,00	81625,33	0,4710
STABW	2404,33	1153,51		1774,38	1306,67		2596,08	2040,91	
rel. STABW [%]	0,61	1,23		0,48	1,35		0,74	2,50	
192	356813	123871		395217	156897		296812	98875	
	364714	125697		402891	146972		293417	109921	
	362587	129354		398449	154358		302890	95721	
MW	361371,33	126307,33	0,7298	398852,33	152742,33	0,8070	297706,33	101505,67	0,7104
STABW	4088,38	2791,99		3852,87	5155,99		4799,41	7456,56	
rel. STABW [%]	1,13	2,21		0,97	3,38		1,61	7,35	

Tab. 8.5: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	685432	461		617228	358		602845	304	
	686251	572		612584	401		603248	322	
	697816	590		614738	377		602114	351	
MW	689833,00	541,00	0,0016	614850,00	378,67	0,0012	602735,67	325,67	0,0011
STABW	6925,60	69,86		2324,02	21,55		574,85	23,71	
rel. STABW [%]	1,00	12,91		0,38	5,69		0,10	7,28	
2	619078	31247		628122	33569		614718	35221	
	687130	35175		628944	39582		612287	33697	
	671541	33427		626848	35811		613558	34661	
MW	659249,67	33283,00	0,1011	627971,33	36320,67	0,1158	613521,00	34526,33	0,1127
STABW	35652,16	1967,96		1056,09	3038,73		1215,92	770,87	
rel. STABW [%]	5,41	5,91		0,17	8,37		0,20	2,23	
4	651791	58446		623218	68952		600147	52147	
	616154	59541		623942	67887		596557	56990	
	571711	62850		628941	66811		598021	55178	
MW	613218,67	60279,00	0,1972	625367,00	67883,33	0,2180	598241,67	54771,67	0,1836
STABW	40120,61	2292,88		3116,27	1070,50		1805,14	2446,94	
rel. STABW [%]	6,54	3,80		0,50	1,58		0,30	4,47	
8	617971	81247		602148	97001		566227	75283	
	591786	87517		611852	99320		562971	79328	
	590615	83248		608725	96221		563381	78554	
MW	600124,00	84004,00	0,2818	607575,00	97514,00	0,3238	564193,00	77721,67	0,2773
STABW	15467,04	3202,64		4953,16	1611,93		1773,38	2147,11	
rel. STABW [%]	2,58	3,81		0,82	1,65		0,31	2,76	
16	587160	127586		598232	125788		582297	124479	
	514165	124991		603922	129358		584172	129557	
	586144	122872		596624	131842		583067	124772	
MW	562489,67	125149,67	0,4526	599592,67	128996,00	0,4371	583178,67	126269,33	0,4400
STABW	41853,47	2361,00		3834,55	3043,19		942,47	2850,97	
rel. STABW [%]	7,44	1,89		0,64	2,36		0,16	2,26	
24	571153	140576		600987	152485		581179	140257	
	537155	139827		596572	149588		579958	143392	
	548181	135782		598712	148225		583319	145821	
MW	552163,00	138728,33	0,5135	598757,00	150099,33	0,5123	581485,33	143156,67	0,5027
STABW	17345,27	2578,94		2207,84	2175,55		1701,31	2789,46	
rel. STABW [%]	3,14	1,86		0,37	1,45		0,29	1,95	
32	517172	138975		589345	165835		568821	156887	
	497610	137217		598472	160584		562871	152308	
	526719	139287		586671	152288		562997	153321	
MW	513833,67	138493,00	0,5527	591496,00	159569,00	0,5532	564896,33	154172,00	0,5600
STABW	14838,86	1116,01		6187,57	6830,30		3399,44	2405,19	
rel. STABW [%]	2,89	0,81		1,05	4,28		0,60	1,56	
40	445710	136892		596853	172551		566871	172287	
	439863	132571		588247	171211		568029	169822	
	486145	131988		590284	173221		562893	168223	
MW	457239,33	133817,00	0,6030	591794,67	172327,67	0,5997	565931,00	170110,67	0,6203
STABW	25203,17	2678,93		4497,49	1023,44		2693,94	2047,32	
rel. STABW [%]	5,51	2,00		0,76	0,59		0,48	1,20	

48	414361	129822		572496	178245		579221	182244	
	431419	125752		571486	174117		572218	180229	
	390134	124793		571817	172998		573690	184702	
MW	411971,33	126789,00	0,6361	571933,00	175120,00	0,6327	575043,00	182391,67	0,6570
STABW	20745,98	2670,06		514,90	2763,56		3692,35	2240,15	
rel. STABW [%]	5,04	2,11		0,09	1,58		0,64	1,23	
96	387166	147125		574169	215199		569830	215871	
	381664	147180		573395	214450		561048	213358	
	361837	149412		571147	213774		560328	219920	
MW	376889,00	147905,67	0,8294	572903,67	214474,33	0,7870	563735,33	216383,00	0,8091
STABW	13322,54	1304,81		1569,77	712,81		5290,40	3310,83	
rel. STABW [%]	3,53	0,88		0,27	0,33		0,94	1,53	

Tab. 8.6: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *C. edule* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.3. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M. arenaria* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	300798	71		312796	124		296716	102	
	296576	56		316995	104		294831	98	
	305974	99		317401	101		290764	115	
MW	301116,00	75,33	0,0005	315730,67	109,67	0,0007	294103,67	105,00	0,0007
STABW	4707,06	21,83		2549,59	12,50		3041,93	8,89	
rel. STABW [%]	1,56	28,97		0,81	11,40		1,03	8,46	
12	312985	3847		326987	3559		299472	3760	
	307854	4025		321704	3698		302499	3986	
	306917	4138		318696	3874		304945	4247	
MW	309252,00	4003,33	0,0259	322462,33	3710,33	0,0230	302305,33	3997,67	0,0264
STABW	3266,64	146,70		4197,20	157,86		2741,63	243,71	
rel. STABW [%]	1,06	3,66		1,30	4,25		0,91	6,10	
24	298667	4671		302890	4092		311997	4989	
	295831	4218		308561	4179		306694	4756	
	292840	4398		301568	4269		307985	4813	
MW	295779,33	4429,00	0,0300	304339,67	4180,00	0,0275	308892,00	4852,67	0,0314
STABW	2913,84	228,09		3715,06	88,50		2765,40	121,46	
rel. STABW [%]	0,99	5,15		1,22	2,12		0,90	2,50	
48	290036	5271		298762	4987		316892	5347	
	297147	5097		293347	4819		323594	5742	
	291765	4788		290100	4976		320745	5869	
MW	292982,67	5052,00	0,0345	294069,67	4927,33	0,0335	320410,33	5652,67	0,0353
STABW	3708,59	244,62		4375,99	93,98		3363,51	272,22	
rel. STABW [%]	1,27	4,84		1,49	1,91		1,05	4,82	
96	287466	5893		289667	5599		320774	6639	
	282574	6022		283694	5727		319763	6288	
	283699	6359		286685	5478		321568	6372	
MW	284579,67	6091,33	0,0428	286682,00	5601,33	0,0391	320701,67	6433,00	0,0401
STABW	2562,15	240,61		2986,50	124,52		904,67	183,28	
rel. STABW [%]	0,90	3,95		1,04	2,22		0,28	2,85	
192	299473	8070		311970	7264		304947	7050	
	296507	7979		309644	7041		300507	7121	
	306827	8164		313005	7369		301225	6963	
MW	300935,67	8071,00	0,0537	311539,67	7224,67	0,0464	302226,33	7044,67	0,0466
STABW	5313,20	92,50		1721,33	167,50		2383,36	79,13	
rel. STABW [%]	1,77	1,15		0,55	2,32		0,79	1,12	
384	296337	10212		305789	8976		306579	8965	
	292080	11498		314794	9279		312465	8803	
	288674	9086		311302	8670		304700	8785	
MW	292363,67	10265,33	0,0703	310628,33	8975,00	0,0578	307914,67	8851,00	0,0575
STABW	3839,37	1206,88		4540,14	304,50		4051,15	99,14	
rel. STABW [%]	1,31	11,76		1,46	3,39		1,32	1,12	
768	274106	13979		297451	11993		296751	9981	
	275239	12878		296717	10987		291171	9940	
	270650	11307		293674	10796		297432	10088	
MW	273331,67	12721,33	0,0932	295947,33	11258,67	0,0761	295118,00	10003,00	0,0678
STABW	2390,49	1342,87		2002,68	643,08		3435,12	76,41	
rel. STABW [%]	0,87	10,56		0,68	5,71		1,16	0,76	

Tab. 8.7: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	303544	188		326892	324		296762	236	
	298665	205		311475	301		304751	304	
	306571	217		317008	317		301401	312	
MW	302926,67	203,33	0,0013	318458,33	314,00	0,0020	300971,33	284,00	0,0019
STABW	3988,99	14,57		7810,16	11,79		4011,79	41,76	
rel. STABW [%]	1,32	7,17		2,45	3,75		1,33	14,70	
8	316922	21975		315703	16898		324756	21569	
	308754	20744		310891	21794		319761	20986	
	309641	19893		318952	24766		322984	19766	
MW	311772,33	20870,67	0,1341	315182,00	21152,67	0,1344	322500,33	20773,67	0,1290
STABW	4481,74	1046,76		4055,68	3973,01		2532,38	920,06	
rel. STABW [%]	1,44	5,02		1,29	18,78		0,79	4,43	

16	301878	26599		320987	23989		314655	26901	
	311496	24367		317652	21796		318970	24985	
	301979	23685		314669	26898		319662	25002	
MW	305117,67	24883,67	0,1635	317769,33	24227,67	0,1528	317762,33	25629,33	0,1617
STABW	5524,03	1524,16		3160,63	2559,36		2713,18	1101,33	
rel. STABW [%]	1,81	6,13		0,99	10,56		0,85	4,30	
24	321894	34871		301476	32994		323986	38711	
	317641	30987		296873	36877		316997	36252	
	314969	33594		299770	33210		318664	34602	
MW	318168,00	33150,67	0,2091	299373,00	34360,33	0,2306	319882,33	36521,67	0,2293
STABW	3492,45	1979,59		2327,04	2182,17		3650,31	2067,73	
rel. STABW [%]	1,10	5,97		0,78	6,35		1,14	5,66	
32	320487	39987		314965	44677		310798	39874	
	318334	41874		312773	40229		309655	41654	
	314976	40369		318687	39710		307664	38660	
MW	317932,33	40743,33	0,2577	315475,00	41538,67	0,2649	309372,33	40062,67	0,2605
STABW	2777,37	997,64		2989,80	2730,24		1586,01	1505,89	
rel. STABW [%]	0,87	2,45		0,95	6,57		0,51	3,76	
40	327467	44720		288669	39964		299764	41058	
	319459	40979		286741	36250		296833	44498	
	324775	41385		283692	37001		298841	40023	
MW	323900,33	42361,33	0,2631	286367,33	37738,33	0,2651	298479,33	41859,67	0,2823
STABW	4075,02	2052,73		2509,45	1963,72		1498,60	2342,74	
rel. STABW [%]	1,26	4,85		0,88	5,20		0,50	5,60	
48	318650	50792		294765	39871		286977	46798	
	316084	46930		296657	46682		287415	40669	
	313479	42798		296076	44107		282602	39642	
MW	316071,00	46840,00	0,2986	295832,67	43553,33	0,2966	285664,67	42369,67	0,2988
STABW	2585,52	3997,76		969,19	3439,09		2661,37	3869,27	
rel. STABW [%]	0,82	8,53		0,33	7,90		0,93	9,13	
96	305879	66693		289746	59714		297663	56796	
	301796	62791		296734	60589		294710	60974	
	309754	65987		292461	63557		286993	62307	
MW	305809,67	65157,00	0,4328	292980,33	61286,67	0,4246	293122,00	60025,67	0,4154
STABW	3979,45	2079,20		3522,83	2014,25		5509,40	2875,29	
rel. STABW [%]	1,30	3,19		1,20	3,29		1,88	4,79	
192	298766	89443		286734	88964		290117	85416	
	288407	96802		283447	90475		280473	90563	
	293655	94324		281502	92933		282007	92870	
MW	293609,33	93523,00	0,6600	283894,33	90790,67	0,6629	284199,00	89616,33	0,6529
STABW	5179,65	3744,32		2644,53	2003,24		5182,21	3816,11	
rel. STABW [%]	1,76	4,00		0,93	2,21		1,82	4,26	

Tab. 8.8: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	312472	103		286811	210		314855	144	
	301483	111		280289	188		305841	213	
	305698	97		284336	172		309756	179	
MW	306551,00	103,67	0,0007	283812,00	190,00	0,0013	310150,67	178,67	0,0012
STABW	5543,94	7,02		3292,42	19,08		4519,94	34,50	
rel. STABW [%]	1,81	6,78		1,16	10,04		1,46	19,31	
2	302185	7582		305821	8733		323468	9563	
	297664	8243		299682	8047		317040	8863	
	299601	7029		311727	8214		312769	8731	
MW	299816,67	7618,00	0,0508	305743,33	8331,33	0,0545	317759,00	9052,33	0,0570
STABW	2268,20	607,80		6022,88	357,74		5385,62	447,15	
rel. STABW [%]	0,76	7,98		1,97	4,29		1,69	4,94	
4	311492	23581		275582	21833		298893	21833	
	319874	21863		292721	19735		311712	20438	
	309821	17683		279558	17441		306941	25566	
MW	313729,00	21042,33	0,1343	282620,33	19669,67	0,1394	305848,67	22612,33	0,1481
STABW	5386,91	3033,43		8970,49	2196,73		6478,93	2651,34	
rel. STABW [%]	1,72	14,42		3,17	11,17		2,12	11,73	
8	326983	31599		316980	30141		308917	30951	
	318550	37802		311762	29763		314665	29678	
	327446	30824		304701	33989		319752	35446	
MW	324326,33	33408,33	0,2068	311147,67	31297,67	0,2019	314444,67	32025,00	0,2044
STABW	5007,81	3824,71		6162,51	2338,41		5420,86	3030,27	
rel. STABW [%]	1,54	11,45		1,98	7,47		1,72	9,46	
16	314002	45580		324711	51796		329746	48634	
	304777	53277		317693	53531		320762	56677	
	309805	55602		316582	54879		317790	53002	
MW	309528,00	51486,33	0,3358	319662,00	53402,00	0,3373	322766,00	52771,00	0,3300
STABW	4618,73	5245,47		4407,71	1545,54		6224,83	4026,47	
rel. STABW [%]	1,49	10,19		1,38	2,89		1,93	7,63	
24	298446	60572		347162	69893		339946	65791	
	290141	58630		339829	72046		328711	70895	
	289632	63914		344188	74358		341066	73164	
MW	292739,67	61038,67	0,4232	343726,33	72099,00	0,4258	336574,33	69950,00	0,4218
STABW	4948,38	2672,73		3688,23	2232,97		6832,83	3776,25	
rel. STABW [%]	1,69	4,38		1,07	3,10		2,03	5,40	
32	286079	68221		320557	79841		319461	76490	
	293658	60932		312702	70218		316317	70698	
	304767	65998		321992	71665		327932	72479	
MW	294834,67	65050,33	0,4486	318417,00	73908,00	0,4728	321236,67	73222,33	0,4640
STABW	9399,40	3735,76		5001,07	5188,82		6007,65	2966,69	
rel. STABW [%]	3,19	5,74		1,57	7,02		1,87	4,05	

40	300698	75145		288769	78565		306816	78461	
	312476	80367		301722	69871		298749	68912	
	313587	76592		294763	68920		301461	67220	
MW	308920,33	77368,00	0,5118	295084,67	72452,00	0,5013	302342,00	71531,00	0,4823
STABW	7142,38	2696,10		6482,49	5315,32		4105,03	6060,89	
rel. STABW [%]	2,31	3,48		2,20	7,34		1,36	8,47	
48	312961	93547		278814	78451		299443	82364	
	324569	88210		270908	70445		290716	79411	
	318500	89473		274866	72669		288713	76558	
MW	318676,67	90410,00	0,5834	274862,67	73855,00	0,5509	292957,33	79444,33	0,5563
STABW	5806,02	2789,15		3953,00	4132,67		5705,34	2903,14	
rel. STABW [%]	1,82	3,09		1,44	5,60		1,95	3,65	
96	306472	109382		289731	99431		276464	107667	
	304228	115932		287655	109531		270481	99865	
	300152	121782		281743	101897		287013	101768	
MW	303617,33	115698,67	0,8026	286376,33	103619,67	0,7580	277986,00	103100,00	0,7789
STABW	3203,95	6203,29		4144,67	5265,76		8370,43	4067,98	
rel. STABW [%]	1,06	5,36		1,45	5,08		3,01	3,95	

Tab. 8.9: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.4. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M. arenaria* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	218664	132		210796	104		186576	109	
	210963	147		208974	99		182357	120	
	209751	121		206957	116		180249	103	
MW	213126,00	133,33	0,0013	208909,00	106,33	0,0010	183060,67	110,67	0,0012
STABW	4834,18	13,05		1920,33	8,74		3221,66	8,62	
rel. STABW [%]	2,27	9,79		0,92	8,22		1,76	7,79	
12	186934	2369		195520	2566		192576	2318	
	180697	2108		194531	2898		190255	2493	
	179652	2085		192673	2682		187401	2654	
MW	182427,67	2187,33	0,0240	194241,33	2715,33	0,0280	190077,33	2488,33	0,0262
STABW	3937,42	157,75		1445,43	168,49		2592,07	168,05	
rel. STABW [%]	2,16	7,21		0,74	6,21		1,36	6,75	
24	170096	2679		201965	2966		194732	3268	
	177820	2468		204710	3424		201766	3087	
	180765	2513		211600	3569		205795	3341	
MW	176227,00	2553,33	0,0290	206091,67	3319,67	0,0322	200764,33	3232,00	0,0322
STABW	5510,00	111,13		4963,88	314,75		5599,11	130,77	
rel. STABW [%]	3,13	4,35		2,41	9,48		2,79	4,05	
48	186423	3098		208862	4088		213905	3999	
	180476	3281		207533	3967		204740	4210	
	183525	3570		204669	3901		211897	3865	
MW	183474,67	3316,33	0,0362	207021,33	3985,33	0,0385	210180,67	4024,67	0,0383
STABW	2973,82	237,98		2142,82	94,84		4817,54	173,93	
rel. STABW [%]	1,62	7,18		1,04	2,38		2,29	4,32	
96	190564	4029		201436	4231		216997	4789	
	193500	4174		198634	4685		210730	4632	
	191087	3867		194302	4279		209582	4807	
MW	191717,00	4023,33	0,0420	198124,00	4398,33	0,0444	212436,33	4742,67	0,0447
STABW	1566,11	153,58		3594,24	249,42		3991,14	96,26	
rel. STABW [%]	0,82	3,82		1,81	5,67		1,88	2,03	
192	186542	4863		187423	4717		198645	5123	
	180464	4575		181476	4896		196543	5343	
	183677	4621		177520	4630		192058	5254	
MW	183561,00	4686,33	0,0511	182139,67	4747,67	0,0521	195748,67	5240,00	0,0536
STABW	3040,66	154,72		4984,75	135,63		3364,58	110,67	
rel. STABW [%]	1,66	3,30		2,74	2,86		1,72	2,11	
384	198575	6698		170594	5865		189653	6210	
	190546	6237		177609	5793		180364	6539	
	187320	6312		172476	5772		187453	6846	
MW	192147,00	6415,67	0,0668	173559,67	5810,00	0,0670	185823,33	6531,67	0,0703
STABW	5795,79	247,37		3630,88	48,77		4854,20	318,06	
rel. STABW [%]	3,02	3,86		2,09	0,84		2,61	4,87	
768	197543	9984		175424	7799		176057	8698	
	192765	9665		171886	8265		180468	8524	
	191786	9872		182460	8006		185243	8865	
MW	194031,33	9840,33	0,1015	176590,00	8023,33	0,0909	180589,33	8695,67	0,0964
STABW	3080,33	161,84		5382,57	233,48		4594,20	170,51	
rel. STABW [%]	1,59	1,64		3,05	2,91		2,54	1,96	

Tab. 8.10: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	212495	206		199648	204		225878	201	
	208369	197		203679	198		217460	265	
	212791	178		206917	179		222004	193	
MW	211218,33	193,67	0,0018	203414,67	193,67	0,0019	221780,67	219,67	0,0020
STABW	2472,03	14,29		3641,70	13,05		4213,44	39,46	
rel. STABW [%]	1,17	7,38		1,79	6,74		1,90	17,96	

8	235891	12317		209646	11359		209763	13891	
	234410	16985		213991	13955		214870	10933	
	230471	19961		212056	19554		219983	14873	
MW	233590,67	16421,00	0,1408	211897,67	14956,00	0,1414	214872,00	13232,33	0,1233
STABW	2801,35	3853,08		2176,82	4188,20		5110,00	2050,92	
rel. STABW [%]	1,20	23,46		1,03	28,00		2,38	15,50	
16	242987	17698		235998	19876		233896	22650	
	237945	19680		237104	16023		238712	12879	
	235974	22079		229668	17401		230045	14796	
MW	238968,67	19819,00	0,1663	234256,67	17766,67	0,1520	234217,67	16775,00	0,1435
STABW	3616,83	2193,81		4012,19	1952,35		4342,44	5177,40	
rel. STABW [%]	1,51	11,07		1,71	10,99		1,85	30,86	
24	236971	29741		240368	26984		211980	25498	
	246975	26532		239648	30741		202914	20179	
	241368	25701		249997	28402		206533	21357	
MW	241771,33	27324,67	0,2270	243337,67	28709,00	0,2371	207142,33	22344,67	0,2166
STABW	5014,18	2133,46		5778,38	1897,22		4563,61	2793,66	
rel. STABW [%]	2,07	7,81		2,37	6,61		2,20	12,50	
32	229875	29997		223941	31999		198668	25894	
	220976	28002		228766	24003		200600	24790	
	231697	27465		236974	27658		197662	25981	
MW	227516,00	28488,00	0,2517	229893,67	27886,67	0,2438	198976,67	25555,00	0,2583
STABW	5736,60	1334,13		6589,27	4002,90		1493,12	663,94	
rel. STABW [%]	2,52	4,68		2,87	14,35		0,75	2,60	
40	212964	30871		236952	36970		189648	30587	
	210997	28694		231475	30792		193347	24791	
	209820	26887		240785	29321		196874	26988	
MW	211260,33	28817,33	0,2745	236404,00	32361,00	0,2755	193289,67	27455,33	0,2860
STABW	1588,46	1994,86		4679,13	4058,71		3613,34	2926,12	
rel. STABW [%]	0,75	6,92		1,98	12,54		1,87	10,66	
48	200798	30678		220479	36972		193717	32279	
	204963	27996		221985	30879		190326	29983	
	199864	29667		217659	31005		196873	24789	
MW	201875,00	29447,00	0,2938	220041,00	32952,00	0,3018	193638,67	29017,00	0,3020
STABW	2714,76	1354,47		2196,01	3481,99		3274,20	3837,30	
rel. STABW [%]	1,34	4,60		1,00	10,57		1,69	13,22	
96	189761	35489		215979	40899		198644	46597	
	188466	40681		213697	46320		203569	39798	
	196764	42036		209721	48940		194776	40121	
MW	191663,67	39402,00	0,4171	213132,33	45386,33	0,4325	198996,33	42172,00	0,4304
STABW	4464,23	3455,82		3166,98	4101,00		4407,08	3835,56	
rel. STABW [%]	2,33	8,77		1,49	9,04		2,21	9,10	
192	198762	56988		206972	65902		188500	56627	
	190366	60784		201796	63477		180279	60989	
	187004	61358		199683	60807		187976	55014	
MW	192044,00	59710,00	0,6431	202817,00	63395,33	0,6468	185585,00	57543,33	0,6412
STABW	6055,94	2374,73		3750,23	2548,48		4602,59	3091,10	
rel. STABW [%]	3,15	3,98		1,85	4,02		2,48	5,37	

Tab. 8.11: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	197221	126		217911	134		211007	127	
	201793	102		224517	95		204549	104	
	204946	88		210495	104		208713	99	
MW	201320,00	105,33	0,0010	217641,00	111,00	0,0010	208089,67	110,00	0,0011
STABW	3884,16	19,22		7014,90	20,42		3273,81	14,93	
rel. STABW [%]	1,93	18,24		3,22	18,40		1,57	13,58	
2	217949	5698		244612	6895		222484	6087	
	214928	5068		240587	6630		216592	5844	
	210793	5279		238763	6973		210977	5696	
MW	214556,67	5348,33	0,0499	241320,67	6832,67	0,0566	216684,33	5875,67	0,0542
STABW	3592,42	320,67		2992,72	179,80		5754,06	197,41	
rel. STABW [%]	1,67	6,00		1,24	2,63		2,66	3,36	
4	246989	18766		220796	14337		238997	13535	
	229872	17647		211863	12493		231700	18733	
	235710	14338		214770	11078		229878	14693	
MW	237523,67	16917,00	0,1427	215809,67	12636,00	0,1172	233525,00	15653,67	0,1343
STABW	8701,43	2302,49		4556,35	1634,20		4825,66	2728,91	
rel. STABW [%]	3,66	13,61		2,11	12,93		2,07	17,43	
8	219497	19734		245605	16993		214757	20764	
	224990	16347		240083	20863		208833	16937	
	228471	19354		239674	21760		212864	17980	
MW	224319,33	18478,33	0,1651	241787,33	19872,00	0,1647	212151,33	18560,33	0,1754
STABW	4524,44	1855,54		3312,51	2533,30		3025,62	1978,40	
rel. STABW [%]	2,02	10,04		1,37	12,75		1,43	10,66	
16	249493	35799		219865	26983		239825	29844	
	245084	34822		215698	28793		246682	36765	
	241397	36972		216957	27944		240869	38787	
MW	245324,67	35864,33	0,2945	217506,67	27906,67	0,2580	242458,67	35132,00	0,2919
STABW	4053,36	1076,49		2137,19	905,58		3694,58	4689,81	
rel. STABW [%]	1,65	3,00		0,98	3,25		1,52	13,35	
24	234789	43980		235889	39873		257354	47639	
	236977	40289		242472	43875		251766	43788	
	234764	44669		246973	46622		248983	45892	
MW	235510,00	42979,33	0,3691	241778,00	43456,67	0,3634	252701,00	45773,00	0,3663
STABW	1270,52	2355,23		5574,49	3393,89		4263,11	1928,26	
rel. STABW [%]	0,54	5,48		2,31	7,81		1,69	4,21	

32	227498	49887		217134	46674		243892	54793	
	220110	46032		213695	42358		241685	50734	
	219883	45977		209873	46899		239766	48977	
MW	222497,00	47298,67	0,4317	213567,33	45310,33	0,4309	241781,00	51501,33	0,4326
STABW	4332,48	2241,73		3632,18	2559,27		2064,67	2982,96	
rel. STABW [%]	1,95	4,74		1,70	5,65		0,85	5,79	
40	216892	51702		204893	49788		217933	48935	
	217097	49388		197966	42879		212879	53972	
	210793	57995		203547	51098		215896	46023	
MW	214927,33	53028,33	0,5038	202135,33	47921,67	0,4833	215569,33	49643,33	0,4690
STABW	3581,90	4454,15		3672,93	4415,92		2542,79	4021,56	
rel. STABW [%]	1,67	8,40		1,82	9,21		1,18	8,10	
48	206983	55987		216997	54966		229947	59733	
	198764	54733		220939	59873		234763	64824	
	204967	56595		219823	65772		227996	60897	
MW	203571,33	55771,67	0,5623	219253,00	60203,67	0,5636	230902,00	61818,00	0,5488
STABW	4283,56	949,49		2031,87	5410,58		3483,12	2667,54	
rel. STABW [%]	2,10	1,70		0,93	8,99		1,51	4,32	
96	204843	68981		204897	71469		219835	76843	
	196714	72027		205839	73598		224766	80466	
	193498	73691		207174	72495		220806	81356	
MW	198351,67	71566,33	0,7556	205970,00	72520,67	0,7357	221802,33	79555,00	0,7507
STABW	5847,11	2388,55		1144,14	1064,73		2612,13	2390,45	
rel. STABW [%]	2,95	3,34		0,56	1,47		1,18	3,00	

Tab. 8.12: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M*. *arenaria* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.5. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *M. edulis* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	624117	199		358417	221		365820	215	
	617402	197		346832	197		367145	217	
	627427	204		358891	156		368144	204	
MW	622982,00	200,00	0,0006	354713,33	191,33	0,0011	367036,33	212,00	0,0012
STABW	5107,97	3,61		6829,55	32,87		1165,80	7,00	
rel. STABW [%]	0,82	1,80		1,93	17,18		0,32	3,30	
12	758115	11897		375843	4869		386845	5286	
	750692	13821		370568	4982		379541	5444	
	749822	12874		368912	4355		380457	5381	
MW	752876,33	12864,00	0,0342	371774,33	4735,33	0,0255	382281,00	5370,33	0,0281
STABW	4557,63	962,04		3619,55	334,19		3978,99	79,54	
rel. STABW [%]	0,61	7,48		0,97	7,06		1,04	1,48	
24	668712	11172		357248	4922		347169	5874	
	669221	14963		359412	5071		339872	6133	
	664397	13744		350789	5120		330855	6089	
MW	667443,33	13293,00	0,0398	355816,33	5037,67	0,0283	339298,67	6032,00	0,0356
STABW	2650,45	1935,32		4486,23	103,12		8172,10	138,59	
rel. STABW [%]	0,40	14,56		1,26	2,05		2,41	2,30	
48	671198	14763		386721	6471		386002	7462	
	663220	16327		397220	6358		384663	8045	
	659024	14566		394762	6843		375447	7964	
MW	664480,67	15218,67	0,0458	392901,00	6557,33	0,0334	382037,33	7823,67	0,0410
STABW	6184,14	964,89		5491,33	253,76		5746,53	315,82	
rel. STABW [%]	0,93	6,34		1,40	3,87		1,50	4,04	
96	689705	17528		327871	7045		305459	7469	
	678446	16714		329461	6836		314735	8071	
	684733	19663		329754	7130		316814	7760	
MW	684294,67	17968,33	0,0525	329028,67	7003,67	0,0426	312336,00	7766,67	0,0497
STABW	5642,28	1523,01		1013,22	151,30		6045,69	301,06	
rel. STABW [%]	0,82	8,48		0,31	2,16		1,94	3,88	
192	628117	18711		297931	8665		308985	9247	
	629925	17658		307973	8147		307412	9063	
	634700	19330		301172	8252		300076	8973	
MW	630914,00	18566,33	0,0589	302358,67	8354,67	0,0553	305491,00	9094,33	0,0596
STABW	3401,11	845,34		5125,09	273,84		4755,02	139,66	
rel. STABW [%]	0,54	4,55		1,70	3,28		1,56	1,54	
384	741442	24738		344292	13572		315879	11034	
	740568	27696		349886	12400		317566	10796	
	749588	25721		343795	11763		310998	11857	
MW	743866,00	26051,67	0,0701	345991,00	12578,33	0,0727	314814,33	11229,00	0,0714
STABW	4974,63	1506,47		3382,31	917,59		3410,98	556,73	
rel. STABW [%]	0,67	5,78		0,98	7,30		1,08	4,96	
768	724100	33844		497938	23271		496637	27952	
	721469	39421		514729	24573		508234	21769	
	717665	31778		508971	28121		490688	20486	
MW	721078,00	35014,33	0,0972	507212,67	25321,67	0,0999	498519,67	23402,33	0,0940
STABW	3235,27	3953,62		8532,48	2510,18		8923,22	3992,01	
rel. STABW [%]	0,45	11,29		1,68	9,91		1,79	17,06	

Tab. 8.13: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *M*. *edulis* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	452389	314		321782	468		476922	504	
	449332	347		331475	404		470250	578	
	450896	336		327558	435		476985	533	
MW	450872,33	332,33	0,0015	326938,33	435,67	0,0027	474719,00	538,33	0,0023
STABW	1528,64	16,80		4876,12	32,01		3870,40	37,29	
rel. STABW [%]	0,34	5,06		1,49	7,35		0,82	6,93	
8	622870	56971		368871	28933		369837	31711	
	617338	52077		361178	35821		360127	35822	
	614527	49336		358401	33511		365709	29854	
MW	618245,00	52794,67	0,1712	362816,67	32755,00	0,1811	365224,33	32462,33	0,1782
STABW	4244,81	3867,76		5423,94	3505,68		4873,11	3054,12	
rel. STABW [%]	0,69	7,33		1,49	10,70		1,33	9,41	
16	721447	74145		347802	39822		389351	39521	
	716992	70547		346897	32110		380277	40726	
	713502	73699		340057	33577		379668	37451	
MW	717313,67	72797,00	0,2037	344918,67	35169,67	0,2046	383098,67	39232,67	0,2055
STABW	3982,26	1961,28		4234,57	4095,26		5423,23	1656,43	
rel. STABW [%]	0,56	2,69		1,23	11,64		1,42	4,22	
24	672144	89741		327331	45332		327669	44710	
	669300	87422		337924	44427		319753	43957	
	675288	92470		325699	43966		321172	42018	
MW	672244,00	89877,67	0,2690	330318,00	44575,00	0,2715	322864,67	43561,67	0,2715
STABW	2995,25	2526,77		6637,34	694,92		4220,74	1388,86	
rel. STABW [%]	0,45	2,81		2,01	1,56		1,31	3,19	
32	547763	83140		381176	53967		329668	46826	
	540122	78663		384117	57401		338147	50892	
	551446	77014		388215	54732		348224	49684	
MW	546443,67	79605,67	0,2934	384502,67	55366,67	0,2900	338679,67	49134,00	0,2922
STABW	5776,13	3169,93		3535,31	1802,83		9289,46	2088,05	
rel. STABW [%]	1,06	3,98		0,92	3,26		2,74	4,25	
40	500147	82357		375002	56992		368577	56821	
	511237	80116		372148	60719		360489	59572	
	503668	79663		376922	59644		359204	57689	
MW	505017,33	80712,00	0,3224	374690,67	59118,33	0,3182	362756,67	58027,33	0,3227
STABW	5666,79	1442,51		2402,18	1918,30		5081,34	1406,36	
rel. STABW [%]	1,12	1,79		0,64	3,24		1,40	2,42	
48	562384	96711		298653	53210		423114	74182	
	555871	99765		297441	56332		402833	70583	
	558639	97012		293664	50871		413932	72394	
MW	558964,67	97829,33	0,3537	296586,00	53471,00	0,3646	413293,00	72386,33	0,3539
STABW	3268,69	1683,08		2602,08	2739,84		10155,59	1799,51	
rel. STABW [%]	0,58	1,72		0,88	5,12		2,46	2,49	
96	541107	128672		359617	87662		389471	89272	
	538225	126983		350478	83247		386692	93511	
	547983	130781		360822	86892		380224	95748	
MW	542438,33	128812,00	0,4842	356972,33	85933,67	0,4911	385462,33	92843,67	0,4914
STABW	5013,38	1902,87		5656,44	2358,36		4744,56	3289,17	
rel. STABW [%]	0,92	1,48		1,58	2,74		1,23	3,54	
192	511439	177420		386697	137662		347117	124735	
	507461	180693		384711	132966		346892	118573	
	501766	178402		382693	135971		340822	124851	
MW	506888,67	178838,33	0,7373	384700,33	135533,00	0,7362	344943,67	122719,67	0,7441
STABW	4861,83	1679,56		2002,02	2378,44		3571,24	3591,59	
rel. STABW [%]	0,96	0,94		0,52	1,75		1,04	2,93	

Tab. 8.14: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *M. edulis* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	742879	532		675528	562		662359	554	
	739527	517		671330	605		659327	599	
	742551	493		670014	600		664563	543	
MW	741652,33	514,00	0,0014	672290,67	589,00	0,0018	662083,00	565,33	0,0017
STABW	1847,88	19,67		2879,79	23,52		2628,89	29,67	
rel. STABW [%]	0,25	3,83		0,43	3,99		0,40	5,25	
2	755391	40233		765572	41690		655930	36655	
	750236	40322		763328	43638		647561	34633	
	757732	40330		761479	42229		656639	32781	
MW	754453,00	40295,00	0,1069	763459,67	42519,00	0,1115	653376,67	34689,67	0,1063
STABW	3835,02	53,84		2049,67	1005,86		5048,98	1937,62	
rel. STABW [%]	0,51	0,13		0,27	2,37		0,77	5,59	
4	663328	75663		663398	69335		676305	73255	
	663201	76335		662257	72330		667525	72251	
	660081	73652		659332	73227		663359	70336	
MW	662203,33	75216,67	0,2282	661662,33	71630,67	0,2174	669063,00	71947,33	0,2159
STABW	1839,09	1396,08		2097,21	2038,07		6608,62	1483,00	
rel. STABW [%]	0,28	1,86		0,32	2,85		0,99	2,06	
8	746693	103999		754492	112583		743691	104732	
	745527	107328		757023	115669		736855	105540	
	739622	101496		754469	117744		737662	109683	
MW	743947,33	104274,33	0,2822	755328,00	115332,00	0,3078	739402,67	106651,67	0,2905
STABW	3790,95	2925,73		1467,96	2596,95		3735,66	2656,12	
rel. STABW [%]	0,51	2,81		0,19	2,25		0,51	2,49	
16	669952	155842		711147	163559		676327	158637	
	662473	156778		713958	166308		668475	160228	
	662473	156882		710235	160225		669320	153668	
MW	664966,00	156500,67	0,4797	711780,00	163364,00	0,4674	671374,00	157511,00	0,4781
STABW	4318,00	572,79		1940,54	3046,18		4310,18	3421,89	
rel. STABW [%]	0,65	0,37		0,27	1,86		0,64	2,17	

24	596682	156224		610293	150338		663221	174336	
	603327	153957		606558	159932		664793	179668	
	602234	155778		604335	155004		666822	177653	
MW	600747,67	155319,67	0,5291	607062,00	155091,33	0,5225	664945,33	177219,00	0,5462
STABW	3563,13	1200,99		3010,81	4797,60		1805,33	2692,36	
rel. STABW [%]	0,59	0,77		0,50	3,09		0,27	1,52	
32	696682	186952		668552	178825		721479	196357	
	703327	187663		659335	179224		717533	197913	
	702234	195883		664231	181227		719330	191733	
MW	700747,67	190166,00	0,5567	664039,33	179758,67	0,5552	719447,33	195334,33	0,5570
STABW	3563,13	4963,81		4611,49	1287,17		1975,61	3214,42	
rel. STABW [%]	0,51	2,61		0,69	0,72		0,27	1,65	
40	617348	186887		656328	205849		600367	186920	
	612236	181669		654485	201366		611472	181329	
	616922	186629		669982	197931		606981	187982	
MW	615502,00	185061,67	0,6205	660265,00	201715,33	0,6312	606273,33	185410,33	0,6319
STABW	2836,45	2940,97		8465,47	3970,54		5586,22	3574,20	
rel. STABW [%]	0,46	1,59		1,28	1,97		0,92	1,93	
48	633652	205217		686592	223311		785863	247831	
	636921	209365		680179	220336		780224	250784	
	634472	209447		786553	218662		786539	244693	
MW	635015,00	208009,67	0,6802	717774,67	220769,67	0,6357	784208,67	247769,33	0,6543
STABW	1700,80	2418,87		59650,03	2354,64		3467,34	3045,97	
rel. STABW [%]	0,27	1,16		8,31	1,07		0,44	1,23	
96	616632	244089		677853	266688		766821	302881	
	613287	240008		679681	260229		771206	298337	
	609668	242114		670214	267231		768149	298833	
MW	613195,67	242070,33	0,8349	675916,00	264716,00	0,8275	768725,33	300017,00	0,8243
STABW	3482,90	2040,85		5021,95	3895,33		2248,59	2492,66	
rel. STABW [%]	0,57	0,84		0,74	1,47		0,29	0,83	

Tab. 8.15: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *M*. *edulis* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.6. D/L-Asp-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *S. planа* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	221861	113		217316	101		224689	132	
	217620	107		213642	123		219670	107	
	219834	101		211048	116		225608	121	
MW	219771,67	107,00	0,0010	214002,00	113,33	0,0011	223322,33	120,00	0,0011
STABW	2121,19	6,00		3149,47	11,24		3196,22	12,53	
rel. STABW [%]	0,97	5,61		1,47	9,92		1,43	10,44	
12	238995	2358		226876	2367		217534	2779	
	230174	1957		224672	2476		223781	2672	
	234697	2350		220779	2548		216894	2689	
MW	234622,00	2221,67	0,0189	224109,00	2463,67	0,0220	219403,00	2713,33	0,0247
STABW	4410,98	229,24		3087,24	91,13		3804,94	57,50	
rel. STABW [%]	1,88	10,32		1,38	3,70		1,73	2,12	
24	223944	2676		249820	3379		239796	3284	
	229020	3004		241736	3205		230471	3167	
	224729	2569		244968	2864		235764	3479	
MW	225897,67	2749,67	0,0243	245508,00	3149,33	0,0257	235343,67	3310,00	0,0281
STABW	2732,36	226,66		4068,96	261,97		4676,69	157,62	
rel. STABW [%]	1,21	8,24		1,66	8,32		1,99	4,76	
48	246937	3785		237108	3479		240176	3679	
	239558	3961		230761	3644		238664	3851	
	248300	4052		233824	3596		231077	3905	
MW	244931,67	3932,67	0,0321	233897,67	3573,00	0,0306	236639,00	3811,67	0,0322
STABW	4703,37	135,74		3174,14	84,87		4875,80	118,02	
rel. STABW [%]	1,92	3,45		1,36	2,38		2,06	3,10	
96	237428	4299		214732	4099		223897	4091	
	230586	4431		217305	3850		226761	4694	
	229651	4332		213009	4168		221983	4432	
MW	232555,00	4354,00	0,0374	215015,33	4039,00	0,0376	224213,67	4405,67	0,0393
STABW	4245,96	68,69		2161,97	167,28		2404,69	302,36	
rel. STABW [%]	1,83	1,58		1,01	4,14		1,07	6,86	
192	211576	5173		209367	4943		215798	4979	
	214685	4985		216880	4831		210487	5197	
	216897	5268		217583	5007		209631	5007	
MW	214386,00	5142,00	0,0480	214610,00	4927,00	0,0459	211972,00	5061,00	0,0478
STABW	2673,07	144,02		4554,16	89,08		3340,94	118,61	
rel. STABW [%]	1,25	2,80		2,12	1,81		1,58	2,34	
384	210238	6522		204763	6290		201471	6372	
	206781	6797		208354	6027		198344	6169	
	209732	6678		201369	6098		199670	6420	
MW	208917,00	6665,67	0,0638	204828,67	6138,33	0,0600	199828,33	6320,33	0,0633
STABW	1867,05	137,91		3492,96	136,06		1569,50	133,24	
rel. STABW [%]	0,89	2,07		1,71	2,22		0,79	2,11	

768	202176	9573		198764	8164		192678	8224	
	198657	9467		190346	8363		190664	8121	
	193871	9233		195801	8268		186734	8079	
MW	198234,67	9424,33	0,0952	194970,33	8265,00	0,0848	190025,33	8141,33	0,0857
STABW	4168,58	173,97		4270,03	99,53		3023,03	74,61	
rel. STABW [%]	2,10	1,85		2,19	1,20		1,59	0,92	

Tab. 8.16: D/L-Asp-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	237162	165		220567	168		224799	213	
	241936	198		217502	172		230971	195	
	232489	176		216338	190		226694	202	
MW	237195,67	179,67	0,0015	218135,67	176,67	0,0016	227488,00	203,33	0,0018
STABW	4723,59	16,80		2184,55	11,72		3161,68	9,07	
rel. STABW [%]	1,99	9,35		1,00	6,63		1,39	4,46	
8	215493	16822		236889	18043		249793	22417	
	206841	19345		234771	23686		257439	20488	
	212357	20586		230478	21669		253009	26987	
MW	211563,67	18917,67	0,1793	234046,00	21132,67	0,1811	253413,67	23297,33	0,1844
STABW	4380,22	1918,04		3266,41	2859,48		3839,03	3337,74	
rel. STABW [%]	2,07	10,14		1,40	13,53		1,51	14,33	
16	223841	26533		223587	24171		239802	26821	
	228475	20557		231475	26981		241738	24712	
	230599	24697		225814	25338		240192	22317	
MW	227638,33	23929,00	0,2110	226958,67	25496,67	0,2256	240577,33	24616,67	0,2054
STABW	3455,81	3061,13		4066,67	1411,70		1023,91	2253,51	
rel. STABW [%]	1,52	12,79		1,79	5,54		0,43	9,15	
24	207589	30678		216573	32072		216943	29364	
	201473	26471		213476	30718		213397	33287	
	209687	28692		218699	33690		210089	34240	
MW	206249,67	28613,67	0,2793	216249,33	32160,00	0,2997	213476,33	32297,00	0,3049
STABW	4267,65	2104,59		2626,50	1487,95		3427,69	2584,36	
rel. STABW [%]	2,07	7,36		1,21	4,63		1,61	8,00	
32	198733	32184		209761	36971		203398	32989	
	206895	34225		214952	30487		201796	30471	
	207182	33594		213508	29717		196817	29715	
MW	204270,00	33334,33	0,3293	212740,33	32391,67	0,3069	200670,33	31058,33	0,3121
STABW	4797,33	1044,98		2679,29	3984,46		3431,87	1714,20	
rel. STABW [%]	2,35	3,13		1,26	12,30		1,71	5,52	
40	216984	36597		238871	39895		213694	36975	
	225764	34972		230458	43558		219722	35748	
	220793	37958		227410	41007		217458	34978	
MW	221180,33	36509,00	0,3332	232246,33	41486,67	0,3611	216958,00	35900,33	0,3340
STABW	4402,80	1494,94		5936,10	1878,02		3044,95	1007,18	
rel. STABW [%]	1,99	4,09		2,56	4,53		1,40	2,81	
48	230473	40381		219847	41389		208439	40682	
	221698	46582		214683	43068		206891	38955	
	222355	44420		216558	40198		205473	39004	
MW	224842,00	43794,33	0,3946	217029,33	41551,67	0,3877	206934,33	39547,00	0,3870
STABW	4887,64	3147,49		2614,07	1441,90		1483,47	983,24	
rel. STABW [%]	2,17	7,19		1,20	3,47		0,72	2,49	
96	203489	46917		201276	45984		189571	43297	
	197751	50059		209463	50997		198611	50698	
	200154	51362		204741	57369		201476	49751	
MW	200464,67	49446,00	0,5037	205160,00	51450,00	0,5125	196552,67	47915,33	0,4976
STABW	2881,59	2285,02		4109,55	5706,00		6213,68	4027,52	
rel. STABW [%]	1,44	4,62		2,00	11,09		3,16	8,41	
192	196520	67864		215767	70684		206885	69274	
	190336	70941		214669	78395		201474	76992	
	191700	71436		210771	76002		207410	75102	
MW	192852,00	70080,33	0,7616	213735,67	75027,00	0,7332	205256,33	73789,33	0,7526
STABW	3248,97	1935,29		2625,52	3946,88		3286,10	4022,96	
rel. STABW [%]	1,68	2,76		1,23	5,26		1,60	5,45	

Tab. 8.17: D/L-Asp-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis
0	247104	174		217667	126		239764	169	
	244398	136		211963	107		234710	171	
	221400	152		223967	134		241679	158	
MW	237634,00	154,00	0,0013	217865,67	122,33	0,0011	238717,67	166,00	0,0014
STABW	14124,01	19,08		6004,47	13,87		3600,40	7,00	
rel. STABW [%]	5,94	12,39		2,76	11,34		1,51	4,22	
2	232584	10765		246932	9764		244562	10497	
	227014	8693		240964	10258		251743	9657	
	222008	11724		236971	9635		240689	9963	
MW	227202,00	10394,00	0,0916	241622,33	9885,67	0,0819	245664,67	10039,00	0,0818
STABW	5290,51	1549,18		5013,03	328,84		5608,89	425,13	
rel. STABW [%]	2,33	14,90		2,07	3,33		2,28	4,23	
4	256928	23589		251948	16987		266417	21861	
	251877	26898		250699	21765		262794	23699	
	259552	20796		244697	19627		259746	24087	
MW	256119,00	23761,00	0,1861	249114,67	19459,67	0,1565	262985,67	23215,67	0,1770
STABW	3900,93	3054,63		3876,45	2393,39		3339,63	1189,11	
rel. STABW [%]	1,52	12,86		1,56	12,30		1,27	5,12	

8	232567	30966		237969	29979		232419	30647	
	219786	31985		231005	32954		227410	28674	
	224765	29548		240558	30820		225754	29732	
MW	225706,00	30833,00	0,2749	236510,67	31251,00	0,2658	228527,67	29684,33	0,2613
STABW	6442,25	1223,93		4940,65	1533,62		3470,22	987,36	
rel. STABW [%]	2,85	3,97		2,09	4,91		1,52	3,33	
16	221469	39547		256983	46854		212379	41897	
	216802	42669		248533	43697		209764	39644	
	215683	45107		252796	50284		211325	38560	
MW	217984,67	42441,00	0,3944	252770,67	46945,00	0,3758	211156,00	40033,67	0,3838
STABW	3068,95	2787,00		4225,06	3294,44		1315,67	1702,28	
rel. STABW [%]	1,41	6,57		1,67	7,02		0,62	4,25	
24	209684	43865		246989	53397		201879	45672	
	216833	50764		246388	56876		197368	50475	
	210576	49766		245707	54862		206834	44683	
MW	212364,33	48131,67	0,4613	246361,33	55045,00	0,4545	202027,00	46943,33	0,4734
STABW	3895,59	3728,58		641,42	1746,70		4734,74	3098,23	
rel. STABW [%]	1,83	7,75		0,26	3,17		2,34	6,60	
32	205735	58734		238567	59731		222496	53587	
	214682	50746		234579	60897		217487	49873	
	216558	51873		230658	57649		215369	56562	
MW	212325,00	53784,33	0,5179	234601,33	59425,67	0,5179	218450,67	53340,67	0,4984
STABW	5783,68	4323,42		3954,55	1645,39		3659,92	3351,30	
rel. STABW [%]	2,72	8,04		1,69	2,77		1,68	6,28	
40	223597	59637		227683	64713		214685	63248	
	226802	63591		224698	59761		210780	60421	
	220058	64887		226835	57679		216903	56387	
MW	223485,67	62705,00	0,5766	226405,33	60717,67	0,5498	214122,67	60018,67	0,5760
STABW	3373,38	2734,84		1538,19	3613,27		3099,99	3448,15	
rel. STABW [%]	1,51	4,36		0,68	5,95		1,45	5,75	
48	231098	70668		220471	62049		205684	61479	
	227459	72754		213698	68395		207336	57814	
	224734	68102		216470	67982		196874	59320	
MW	227763,67	70508,00	0,6401	216879,67	66142,00	0,6300	203298,00	59537,67	0,6034
STABW	3192,92	2330,12		3405,03	3550,65		5624,33	1842,17	
rel. STABW [%]	1,40	3,30		1,57	5,37		2,77	3,09	
96	209963	80611		219653	89673		216983	86558	
	205794	86335		223985	89607		207841	90476	
	217911	88657		216597	94767		209574	81453	
MW	211222,67	85201,00	0,8553	220078,33	91349,00	0,8835	211466,00	86162,33	0,8651
STABW	6155,93	4141,13		3712,32	2960,26		4855,80	4524,49	
rel. STABW [%]	2,91	4,86		1,69	3,24		2,30	5,25	

Tab. 8.18: D/L-Asp-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang)

8.2.7. D/L-Glu-Verhältnisse der 60, 80 und 100 °C-Kalibrierungen von *S. plana* L.

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	109782	105		112079	63		117641	56	
	116857	97		110953	78		110548	69	
	113006	103		107661	59		114392	71	
MW	113215,00	101,67	0,0018	110231,00	66,67	0,0012	114193,67	65,33	0,0011
STABW	3542,13	4,16		2295,79	10,02		3550,66	8,14	
rel. STABW [%]	3,13	4,10		2,08	15,02		3,11	12,47	
12	120764	1587		123682	1294		120789	1211	
	119723	1408		117856	1458		118342	1097	
	117004	1687		121697	1167		121075	1187	
MW	119163,67	1560,67	0,0262	121078,33	1306,33	0,0216	120068,67	1165,00	0,0194
STABW	1941,40	141,35		2961,86	145,89		1502,16	60,10	
rel. STABW [%]	1,63	9,06		2,45	11,17		1,25	5,16	
24	113574	1679		137007	1808		116937	1547	
	109751	1705		132578	1689		114728	1304	
	114810	1932		136021	1778		112062	1398	
MW	112711,67	1772,00	0,0314	135202,00	1758,33	0,0260	114575,67	1416,33	0,0247
STABW	2637,44	139,17		2325,31	61,89		2441,07	122,53	
rel. STABW [%]	2,34	7,85		1,72	3,52		2,13	8,65	
48	103589	1921		125032	1986		110878	1579	
	109713	1711		121789	1874		109732	1632	
	107115	1863		129741	1889		113299	1764	
MW	106805,67	1831,67	0,0343	125520,67	1916,33	0,0305	111303,00	1658,33	0,0298
STABW	3073,70	108,45		3998,46	60,80		1821,08	95,27	
rel. STABW [%]	2,88	5,92		3,19	3,17		1,64	5,74	
96	120485	2324		116982	2358		109766	1778	
	123690	2290		117461	2071		110568	2051	
	117406	2571		115736	2189		102987	1974	
MW	120527,00	2395,00	0,0397	116726,33	2206,00	0,0378	107773,67	1934,33	0,0359
STABW	3142,21	153,37		890,47	144,25		4164,73	140,76	
rel. STABW [%]	2,61	6,40		0,76	6,54		3,86	7,28	
192	104086	2689		111359	2589		98732	2495	
	103569	2248		109723	2774		96716	2029	
	99872	2467		114987	2615		102395	2398	
MW	102509,00	2468,00	0,0482	112023,00	2659,33	0,0475	99281,00	2307,33	0,0465
STABW	2298,29	220,50		2694,09	100,15		2879,03	245,87	
rel. STABW [%]	2,24	8,93		2,40	3,77		2,90	10,66	

384	98451	3048		103298	3238		96732	2986	
	92237	3291		106897	3591		90761	3279	
	95672	3165		99761	3087		93075	3065	
MW	95453,33	3168,00	0,0664	103318,67	3305,33	0,0640	93522,67	3110,00	0,0665
STABW	3112,77	121,53		3568,04	258,66		3010,57	151,59	
rel. STABW [%]	3,26	3,84		3,45	7,83		3,22	4,87	
768	89593	4961		98741	4587		98369	4944	
	94672	4124		101794	4478		96437	4568	
	95120	4357		96740	4635		90792	4672	
MW	93128,33	4480,67	0,0963	99091,67	4566,67	0,0922	95199,33	4728,00	0,0994
STABW	3069,87	431,99		2545,18	80,45		3937,21	194,15	
rel. STABW [%]	3,30	9,64		2,57	1,76		4,14	4,11	

Tab. 8.19: D/L-Glu-Verhältnisse der 60 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	147006	102		154087	161		168762	90	
	143616	98		149318	135		173850	87	
	144904	85		154930	144		176987	92	
MW	145175,33	95,00	0,0013	152778,33	146,67	0,0019	173199,67	89,67	0,0010
STABW	1711,21	8,89		3026,23	13,20		4150,89	2,52	
rel. STABW [%]	1,18	9,36		1,98	9,00		2,40	2,81	
8	142697	13187		162080	17313		164139	16164	
	150987	15076		153698	14392		156722	17721	
	146921	11987		158437	21966		162700	13330	
MW	146868,33	13416,67	0,1832	158071,67	17890,33	0,2273	161187,00	15738,33	0,1959
STABW	4145,25	1557,25		4202,93	3819,86		3933,17	2226,23	
rel. STABW [%]	2,82	11,61		2,66	21,35		2,44	14,15	
16	153594	16898		150733	16123		170235	19178	
	155781	19006		154928	20394		168413	23441	
	157327	21761		149389	19737		168767	20873	
MW	155567,33	19221,67	0,2484	151683,33	18751,33	0,2485	169138,33	21164,00	0,2516
STABW	1875,65	2438,66		2889,20	2299,79		966,09	2146,35	
rel. STABW [%]	1,21	12,69		1,90	12,26		0,57	10,14	
24	149307	20691		146834	26438		150467	21891	
	157926	23071		154772	20378		149034	26830	
	150982	19550		150893	24608		153789	24471	
MW	152738,33	21104,00	0,2781	150833,00	23808,00	0,3183	151096,67	24397,33	0,3258
STABW	4570,05	1796,47		3969,34	3108,20		2439,23	2470,32	
rel. STABW [%]	2,99	8,51		2,63	13,06		1,61	10,13	
32	142300	23941		157873	24700		153492	30461	
	146861	20974		150764	25339		167348	27343	
	147935	19676		146832	28098		160796	23938	
MW	145698,67	21530,33	0,2977	151823,00	26045,67	0,3465	160545,33	27247,33	0,3428
STABW	2991,92	2186,25		5596,16	1805,86		6931,40	3262,55	
rel. STABW [%]	2,05	10,15		3,69	6,93		4,32	11,97	
40	156974	29731		140328	25789		155756	28072	
	150766	20944		137921	24788		150781	31974	
	151023	22347		143069	26989		149792	29227	
MW	152921,00	24340,67	0,3211	140439,33	25855,33	0,3725	152109,67	29757,67	0,3964
STABW	3512,35	4720,58		2575,81	1102,00		3196,30	2004,40	
rel. STABW [%]	2,30	19,39		1,83	4,26		2,10	6,74	
48	143688	22671		157933	29764		146737	30979	
	144697	28671		165733	30571		140689	28131	
	139205	26330		163012	36737		143792	27698	
MW	142530,00	25890,67	0,3674	162226,00	32357,33	0,4043	143739,33	28936,00	0,4082
STABW	2923,40	3024,03		3958,96	3814,30		3024,34	1782,49	
rel. STABW [%]	2,05	11,68		2,44	11,79		2,10	6,16	
96	143387	33971		154007	38971		157109	34760	
	139005	39510		151398	43099		150764	40765	
	138751	35002		149723	41857		146832	42978	
MW	140381,00	36161,00	0,5271	151709,33	41309,00	0,5587	151568,33	39501,00	0,5335
STABW	2606,37	2945,78		2158,90	2117,86		5185,50	4252,31	
rel. STABW [%]	1,86	8,15		1,42	5,13		3,42	10,77	
192	137698	49817		143981	55611		146774	50977	
	139633	46039		149673	50329		147306	59102	
	140781	51771		154144	51784		151089	60117	
MW	139370,67	49209,00	0,7379	149266,00	52574,67	0,7360	148389,67	56732,00	0,8055
STABW	1558,15	2913,97		5093,71	2728,32		2352,78	5009,75	
rel. STABW [%]	1,12	5,92		3,41	5,19		1,59	8,83	

Tab. 8.20: D/L-Glu-Verhältnisse der 80 °C-Kalibrierung von *S. plana* L. (1. - 3. Durchgang)

	1. Durchgang			2. Durchgang			3. Durchgang		
Zeit [h]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis
0	117358	107		138964	74		154861	91	
	112097	98		132547	65		147258	86	
	114680	113		141079	81		150737	77	
MW	114711,67	106,00	0,0018	137530,00	73,33	0,0011	150952,00	84,67	0,0011
STABW	2630,64	7,55		4443,09	8,02		3806,06	7,09	
rel. STABW [%]	2,29	7,12		3,23	10,94		2,52	8,38	
2	124892	6895		129764	6139		148648	7993	
	126973	6257		120796	7246		142539	8676	
	120789	6102		119681	6582		150736	8032	
MW	124218,00	6418,00	0,1034	123413,67	6655,67	0,1080	147307,67	8233,67	0,1119
STABW	3146,61	420,30		5527,74	557,16		4259,70	383,57	
rel. STABW [%]	2,53	6,55		4,48	8,37		2,89	4,66	

4	134896	13784		134571	13132		138697	14763	
	127045	10498		130598	15731		136701	10279	
	125733	12847		129764	16735		133520	13005	
MW	129224,67	12376,33	0,1921	131644,33	15199,33	0,2319	136306,00	12682,33	0,1866
STABW	4955,13	1692,81		2568,64	1859,41		2611,01	2259,35	
rel. STABW [%]	3,83	13,68		1,95	12,23		1,92	17,81	
8	120987	16794		143069	20766		142879	20376	
	112569	21783		137448	23872		136007	18689	
	117026	19799		140136	19357		133365	21087	
MW	116860,67	19458,67	0,3362	140217,67	21331,67	0,3066	137417,00	20050,67	0,2939
STABW	4211,43	2511,85		2811,39	2310,04		4911,22	1231,66	
rel. STABW [%]	3,60	12,91		2,01	10,83		3,57	6,14	
16	114768	23427		120764	26894		112432	24642	
	112087	20484		118473	20762		119587	19687	
	119302	24976		119715	19736		113347	23471	
MW	115385,67	22962,33	0,4034	119650,67	22464,00	0,3800	115122,00	22600,00	0,3978
STABW	3646,94	2281,77		1146,85	3870,64		3893,77	2589,79	
rel. STABW [%]	3,16	9,94		0,96	17,23		3,38	11,46	
24	103293	22897		109346	23264		123658	30984	
	98677	26891		114768	27879		127691	28796	
	107548	21486		117243	30487		131080	24330	
MW	103172,67	23758,00	0,4690	113785,67	27210,00	0,4877	127476,33	28036,67	0,4472
STABW	4436,72	2803,48		4039,11	3657,68		3715,65	3391,37	
rel. STABW [%]	4,30	11,80		3,55	13,44		2,91	12,10	
32	108738	29954		128731	34387		111487	30796	
	106733	26893		126578	30676		117025	32417	
	104733	24876		121747	39763		114398	27654	
MW	106734,67	27241,00	0,5220	125685,33	34942,00	0,5711	114303,33	30289,00	0,5429
STABW	2002,50	2556,82		3576,55	4568,85		2770,21	2421,64	
rel. STABW [%]	1,88	9,39		2,85	13,08		2,42	8,00	
40	97462	26478		111689	29941		113676	30133	
	105647	31565		116200	38541		119047	31461	
	101238	30047		110478	32760		120279	37460	
MW	101449,00	29363,33	0,5959	112789,00	33747,33	0,6173	117667,33	33018,00	0,5767
STABW	4096,58	2611,50		3015,43	4384,19		3511,06	3903,77	
rel. STABW [%]	4,04	8,89		2,67	12,99		2,98	11,82	
48	120717	36981		108739	33118		114933	38575	
	117681	31097		104378	30784		123976	32476	
	114369	40547		102736	36029		116287	36572	
MW	117589,00	36208,33	0,6365	105284,33	33310,33	0,6552	118398,67	35874,33	0,6256
STABW	3175,00	4772,15		3102,43	2627,78		4877,33	3108,78	
rel. STABW [%]	2,70	13,18		2,95	7,89		4,12	8,67	
96	107867	39891		102334	39654		109347	43497	
	104689	40455		99334	36357		103684	40489	
	105871	38002		106732	41002		101036	36563	
MW	106142,33	39449,33	0,7807	102800,00	39004,33	0,7988	104689,00	40183,00	0,8091
STABW	1606,28	1284,76		3720,95	2389,68		4245,67	3477,11	
rel. STABW [%]	1,51	3,26		3,62	6,13		4,06	8,65	

Tab. 8.21: D/L-Glu-Verhältnisse der 100 °C-Kalibrierung von *S*. *plana* L. (1. - 3. Durchgang)

8.3. Racemisierungsraten/a der Kalibrierungen

8.3.1. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *C. edule* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure)

	Asparaginsäure			Glutaminsäure		
	Temperatur [°C]			Temperatur [°C]		
	60	80	100	60	80	100
	Temperatur [K]			Temperatur [K]		
	333,15	353,15	373,15	333,15	353,15	373,15
	$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$			$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$		
	3,00	2,80	2,70	3,00	2,80	2,70
Racemisierungsrate/a						
1. Durchgang	0,7884	23,652	64,824	0,876	25,404	54,312
ln *k*	-0,2377	3,1634	4,1717	-0,1324	3,2349	3,9947
2. Durchgang	0,6132	28,032	60,444	0,876	29,784	49,932
ln *k*	-0,4891	3,3333	4,1017	-0,1324	3,3940	3,9107
3. Durchgang	0,7008	21,024	63,948	0,876	23,652	51,684
ln *k*	-0,3555	3,0457	4,1581	-0,1324	3,1634	3,9451
MW	0,70	24,24	63,07	0,88	26,28	51,98
STABW	0,09	3,54	2,32	0,00	3,16	2,20
rel. STABW [%]	12,50	14,61	3,67	0,00	12,02	4,24

Tab. 8.22: Racemisierungsraten/a für *C*. *edule* L.

8.3.2. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *M. arenaria* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure)

	Asparaginsäure			Glutaminsäure		
	Temperatur [°C]			Temperatur [°C]		
	60	80	100	60	80	100
	Temperatur [K]			Temperatur [K]		
	333,15	353,15	373,15	333,15	353,15	373,15
	$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$			$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$		
	3,00	2,80	2,70	3,00	2,80	2,70
Racemisierungsrate/a						
1. Durchgang	0,7884	23,652	62,196	0,876	21,024	54,312
ln *k*	-0,2377	3,1634	4,1303	-0,1324	3,0457	3,9947
2. Durchgang	0,5256	20,148	52,56	0,7008	20,148	53,436
ln *k*	-0,6432	3,0031	3,9620	-0,3555	3,0031	3,9785
3. Durchgang	0,438	22,776	55,188	0,7884	21,9	55,188
ln *k*	-0,8255	3,1257	4,0107	-0,2377	3,0865	4,0107
MW	0,58	22,19	56,65	0,79	21,02	54,31
STABW	0,18	1,82	4,98	0,09	0,88	0,88
rel. STABW [%]	31,22	8,22	8,79	11,11	4,17	1,61

Tab. 8.23: Racemisierungsraten/a für *M. arenaria* L.

8.3.3. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *M. edulis* L. (für Glutaminsäure)

	Glutaminsäure		
	Temperatur [°C]		
	60	80	100
	Temperatur [K]		
	333,15	353,15	373,15
	$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$		
	3,00	2,80	2,70
Racemisierungsrate/a			
1. Durchgang	0,438	26,28	57,816
ln *k*	-0,8255	3,2688	4,0573
2. Durchgang	0,876	25,404	53,436
ln *k*	-0,1324	3,2349	3,9785
3. Durchgang	0,7008	27,156	54,312
ln *k*	-0,3555	3,3016	3,9947
MW	0,67	26,28	55,19
STABW	0,22	0,88	2,32
rel. STABW [%]	32,83	3,33	4,20

Tab. 8.24: Racemisierungsraten/a für *M. edulis* L.

8.3.4. Racemisierungsraten/a der 60, 80 und 100 °C- Kalibrierungen für *S. plana* L. (für Asparagin- und Glutaminsäure)

	Asparaginsäure			Glutaminsäure		
	Temperatur [°C]			Temperatur [°C]		
	60	80	100	60	80	100
	Temperatur [K]			Temperatur [K]		
	333,15	353,15	373,15	333,15	353,15	373,15
	$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$			$1/T[10^{-3}\cdot 1/K]$		
	3,00	2,80	2,70	3,00	2,80	2,70
Racemisierungsrate/a						
1. Durchgang	0,7884	25,404	67,452	0,7884	26,28	52,56
ln *k*	-0,2377	3,2349	4,2114	-0,2377	3,2688	3,9620
2. Durchgang	0,6132	24,528	70,956	0,7884	23,652	50,808
ln *k*	-0,4891	3,1998	4,2621	-0,2377	3,1634	3,9281
3. Durchgang	0,7008	23,652	64,824	0,876	28,908	49,056
ln *k*	-0,3555	3,1634	4,1717	-0,1324	3,3641	3,8930
MW	0,70	24,53	67,74	0,82	26,28	50,81
STABW	0,09	0,88	3,08	0,05	2,63	1,75
rel. STABW [%]	12,50	3,57	4,54	6,19	10,00	3,45

Tab. 8.25: Racemisierungsraten/a für *S. plana* L.

8.4. Alter des Schalenmaterials

8.4.1. Kachelotplate

8.4.1.1. Probe 0687

	Probe 0687							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	56472	5747	0,2042	627	32578	8544	0,5371	613
M. a. DK	49321	5173	0,2105	647	30871	8074	0,5355	612
	58713	5562	0,1900	583	31744	8234	0,5309	606
MW	54835,33	5494,00	0,2011	617	31731,00	8284,00	0,5345	610
STABW	4905,24	292,98	0,0105	32	853,57	238,96	0,0032	4
rel. STABW [%]	8,95	5,33	5,23	5,26	2,69	2,88	0,60	0,60
2	43572	3088	0,1420	435	25784	4447	0,3484	397
M. a. DK	40985	2607	0,1274	390	23571	4107	0,3521	402
	43957	3069	0,1399	428	21776	4002	0,3718	424
MW	42838,00	2921,33	0,1366	418	23710,33	4185,33	0,3568	407
STABW	1616,25	272,39	0,0079	24	2007,63	232,61	0,0126	14
rel. STABW [%]	3,77	9,32	5,77	5,83	8,47	5,56	3,52	3,54
3	39584	3154	0,1597	490	27411	5247	0,3876	442
M. a. DK	40377	3378	0,1677	514	25489	5057	0,4021	459
	36977	3027	0,1641	503	30784	5798	0,3812	435
MW	38979,33	3186,33	0,1639	502	27894,67	5367,33	0,3897	445
STABW	1778,82	177,72	0,0040	12	2680,43	384,88	0,0107	12
rel. STABW [%]	4,56	5,58	2,45	2,47	9,61	7,17	2,75	2,76
4	35520	2674	0,1508	462	18787	3821	0,4125	471
M. a. DK	37001	2911	0,1577	483	24879	4325	0,3513	401
	43874	3471	0,1586	486	20177	3867	0,3881	443
MW	38798,33	3018,67	0,1559	478	21281,00	4004,33	0,3809	435
STABW	4457,59	409,26	0,0042	13	3192,53	278,66	0,0308	35
rel. STABW [%]	11,49	13,56	2,71	2,73	15,00	6,96	8,10	8,13
5	39750	2507	0,1263	386	32485	4965	0,3081	351
M. a. DK	31899	2134	0,1340	410	30487	4689	0,3101	353
	33957	2224	0,1312	401	27945	4877	0,3527	402
MW	35202,00	2288,33	0,1302	398	30305,67	4843,67	0,3224	368
STABW	4070,88	194,64	0,0039	12	2275,43	140,99	0,0252	29
rel. STABW [%]	11,56	8,51	2,99	3,02	7,51	2,91	7,81	7,84

Tab. 8.26: Alter des Schalenmaterials von Probe 0687

8.4.1.2. Probe 0692

	Probe 0692							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	26777	1474	0,1102	227	19542	2405	0,2474	200
C. e. DK	20194	1247	0,1237	256	21857	2680	0,2465	199
	29874	1334	0,0894	184	23681	2804	0,2379	192
MW	25615,00	1351,67	0,1056	218	21693,33	2629,67	0,2436	197
STABW	4943,51	114,53	0,0173	36	2074,35	204,21	0,0052	4
rel. STABW [%]	19,30	8,47	16,36	16,56	9,56	7,77	2,14	2,15
2	20674	1478	0,1432	296	14874	2330	0,3159	256
C. e. DK	21067	1298	0,1234	255	10398	1880	0,3656	296
	17894	1378	0,1543	320	13057	2157	0,3335	270
MW	19878,33	1384,67	0,1395	289	12776,33	2122,33	0,3353	271
STABW	1729,68	90,18	0,0157	33	2251,16	226,99	0,0252	20
rel. STABW [%]	8,70	6,51	11,23	11,34	17,62	10,70	7,52	7,55
3	24990	2041	0,1637	339	19574	3354	0,3461	280
C. e. DK	29843	2177	0,1462	303	23305	3868	0,3350	271
	30987	2223	0,1437	297	21078	3847	0,3692	299
MW	28606,67	2147,00	0,1504	311	21319,00	3689,67	0,3497	283
STABW	3183,93	94,64	0,0109	23	1877,14	290,89	0,0174	14
rel. STABW [%]	11,13	4,41	7,25	7,31	8,81	7,88	4,98	5,00
4	25878	2448	0,1898	394	15751	3652	0,4723	383
C. e. DK	21744	2185	0,2017	418	14628	3080	0,4275	346
	26870	2668	0,1992	413	17300	3907	0,4596	372
MW	24830,67	2433,67	0,1967	408	15893,00	3546,33	0,4539	368
STABW	2718,76	241,82	0,0063	13	1341,65	423,50	0,0231	19
rel. STABW [%]	10,95	9,94	3,20	3,22	8,44	11,94	5,09	5,10
5	32878	2098	0,1278	264	21865	3204	0,2952	239
C. e. DK	39774	2337	0,1176	243	20687	3028	0,2949	239
	34988	2251	0,1289	266	24921	3198	0,2581	209
MW	35880,00	2228,67	0,1244	257	22491,00	3143,33	0,2814	228
STABW	3533,48	121,06	0,0062	13	2185,31	99,93	0,0213	17
rel. STABW [%]	9,85	5,43	4,97	5,03	9,72	3,18	7,58	7,62
6	35770	3378	0,1894	393	24745	5971	0,4923	399
C. e. DK	34898	3451	0,1984	412	26974	5717	0,4304	349
	30977	3205	0,2077	431	23017	5378	0,4761	386
MW	33881,67	3344,67	0,1981	411	24912,00	5688,67	0,4649	377
STABW	2553,02	126,34	0,0091	19	1983,78	297,51	0,0321	26
rel. STABW [%]	7,54	3,78	4,60	4,63	7,96	5,23	6,90	6,92

7	40457	4879	0,2424	503	23974	6684	0,5728	464
C. e. DK	35674	4311	0,2429	504	20571	6098	0,6112	496
	37798	4474	0,2378	494	21688	5994	0,5675	460
MW	37976,33	4554,67	0,2410	501	22077,67	6258,67	0,5829	473
STABW	2396,48	292,47	0,0028	6	1734,64	372,00	0,0239	19
rel. STABW [%]	6,31	6,42	1,15	1,16	7,86	5,94	4,09	4,10
8	29894	3369	0,2264	470	14798	4114	0,5710	463
C. e. DK	30677	3687	0,2415	502	13927	3917	0,5781	469
	32204	3798	0,2370	492	16852	4577	0,5572	452
MW	30925,00	3618,00	0,2351	488	15192,33	4202,67	0,5681	461
STABW	1174,80	222,67	0,0078	16	1501,84	338,82	0,0106	9
rel. STABW [%]	3,80	6,15	3,31	3,33	9,89	8,06	1,87	1,88
9	36884	3541	0,1926	399	21554	4887	0,4615	374
C. e. DK	32447	3177	0,1965	408	26643	6287	0,4810	390
	33320	3296	0,1985	412	27746	6524	0,4792	388
MW	34217,00	3338,00	0,1957	406	25314,33	5899,33	0,4748	385
STABW	2350,57	185,60	0,0030	6	3302,91	884,68	0,0108	9
rel. STABW [%]	6,87	5,56	1,53	1,54	13,05	15,00	2,27	2,28
10	29844	3616	0,2435	506	18824	5541	0,6067	492
C. e. DK	26774	2988	0,2241	465	21487	6039	0,5777	468
	21079	2741	0,2616	543	23577	6924	0,6052	491
MW	25899,00	3115,00	0,2417	502	21296,00	6168,00	0,5963	484
STABW	4447,53	451,11	0,0187	39	2382,25	700,47	0,0163	13
rel. STABW [%]	17,17	14,48	7,74	7,78	11,19	11,36	2,74	2,75
11	36841	4158	0,2267	471	23228	6371	0,5630	456
C. e. DK	32084	3652	0,2286	475	26487	6981	0,5399	438
	39745	4498	0,2273	472	29955	7922	0,5418	439
MW	36223,33	4102,67	0,2275	472	26556,67	7091,33	0,5473	444
STABW	3867,67	425,71	0,0010	2	3364,04	781,36	0,0128	10
rel. STABW [%]	10,68	10,38	0,44	0,44	12,67	11,02	2,34	2,35
1	86897	4299	0,0990	263	72441	6084	0,1684	241
M. e. DK	82047	4792	0,1169	312	70365	6325	0,1803	258
	90028	4875	0,1084	289	78996	6930	0,1759	252
MW	86324,00	4655,33	0,1080	287	73934,00	6446,33	0,1748	250
STABW	4021,24	311,37	0,0090	24	4505,03	435,86	0,0060	9
rel. STABW [%]	4,66	6,69	8,30	8,43	6,09	6,76	3,44	3,47
2	99851	7876	0,1581	423	81024	9944	0,2467	354
M. e. DK	95817	7947	0,1663	445	76891	10187	0,2665	383
	93028	6631	0,1428	382	79722	10988	0,2774	399
MW	96232,00	7484,67	0,1559	417	79212,33	10373,00	0,2634	378
STABW	3430,38	740,15	0,0119	32	2113,11	546,29	0,0156	23
rel. STABW [%]	3,56	9,89	7,64	7,72	2,67	5,27	5,91	5,95
3	90248	5333	0,1183	315	69851	7053	0,2026	291
M. e. DK	99771	5678	0,1139	304	73210	6864	0,1881	269
	96500	5695	0,1182	315	65528	6611	0,2025	290
MW	95506,33	5568,67	0,1167	311	69529,67	6842,67	0,1975	283
STABW	4838,64	204,27	0,0025	7	3851,07	221,77	0,0084	12
rel. STABW [%]	5,07	3,67	2,13	2,16	5,54	3,24	4,23	4,27
4	97484	7435	0,1528	409	80124	9815	0,2462	354
M. e. DK	112688	8190	0,1456	389	76334	9797	0,2581	371
	100398	7632	0,1523	407	77698	9959	0,2578	370
MW	103523,33	7752,33	0,1501	401	78052,00	9857,00	0,2539	365
STABW	8069,46	391,62	0,0040	11	1919,64	88,79	0,0068	10
rel. STABW [%]	7,79	5,05	2,69	2,72	2,46	0,90	2,66	2,68
5	89494	8774	0,1967	527	76541	12467	0,3287	473
M. e. DK	93468	8847	0,1899	509	73214	11688	0,3220	463
	97895	9233	0,1892	507	79922	13009	0,3285	472
MW	93619,00	8951,33	0,1918	514	76559,00	12388,00	0,3265	470
STABW	4202,54	246,65	0,0042	11	3354,04	664,03	0,0038	5
rel. STABW [%]	4,49	2,76	2,17	2,19	4,38	5,36	1,16	1,16

Tab. 8.27: Alter des Schalenmaterials von Probe 0692

8.4.1.3. Probe 0858

	Probe 0858							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	32874	2787	0,1700	521	20871	4287	0,4167	476
M. a. DK	36874	2778	0,1510	463	23989	4588	0,3873	442
	29455	2365	0,1609	493	24977	4847	0,3931	449
MW	33067,67	2643,33	0,1602	491	23279,00	4574,00	0,3981	454
STABW	3713,29	241,09	0,0095	29	2143,10	280,26	0,0156	18
rel. STABW [%]	11,23	9,12	5,93	5,98	9,21	6,13	3,92	3,93
2	43074	2987	0,1389	425	29557	5178	0,3540	404
M. a. DK	41127	2758	0,1343	411	31658	5591	0,3570	407
	49812	3201	0,1287	394	33690	5647	0,3384	386
MW	44671,00	2982,00	0,1337	409	31635,00	5472,00	0,3495	399
STABW	4557,42	221,54	0,0051	16	2066,60	256,15	0,0100	11
rel. STABW [%]	10,20	7,43	3,83	3,86	6,53	4,68	2,85	2,86
3	39459	3684	0,1873	575	25578	5574	0,4429	506
M. a. DK	40578	3668	0,1813	556	23488	5189	0,4492	513
	43579	3850	0,1772	543	29844	6385	0,4346	496
MW	41205,33	3734,00	0,1817	558	26303,33	5716,00	0,4417	504
STABW	2130,44	100,78	0,0051	16	3239,49	610,51	0,0073	8
rel. STABW [%]	5,17	2,70	2,80	2,82	12,32	10,68	1,66	1,67

4	27465	2784	0,2034	625	19746	5058	0,5240	598
M. a. DK	26988	2668	0,1984	609	21067	5299	0,5141	587
	29964	2798	0,1873	575	16877	4177	0,5055	577
MW	28139,00	2750,00	0,1961	602	19230,00	4844,67	0,5150	588
STABW	1598,39	71,36	0,0082	25	2142,13	590,64	0,0093	11
rel. STABW [%]	5,68	2,59	4,21	4,23	11,14	12,19	1,80	1,80
5	23578	1987	0,1689	518	14478	2887	0,4042	461
M. a. DK	26887	2157	0,1608	493	23187	4857	0,4252	485
	26877	2409	0,1797	551	19544	4307	0,4481	511
MW	25780,67	2184,33	0,1699	521	19069,67	4017,00	0,4277	488
STABW	1907,57	212,32	0,0095	29	4373,83	1016,51	0,0219	25
rel. STABW [%]	7,40	9,72	5,60	5,64	22,94	25,31	5,13	5,15

Tab. 8.28: Alter des Schalenmaterials von Probe 0858

8.4.1.4. Probe 0859

	Probe 0859							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	39541	3651	0,1852	568	24784	5941	0,4889	558
M. a. DK	43122	4008	0,1864	572	23097	5820	0,5151	588
	49891	4648	0,1869	573	26874	6345	0,4813	549
MW	44184,67	4102,33	0,1862	572	24918,33	6035,33	0,4942	564
STABW	5256,19	505,15	0,0009	3	1892,08	274,92	0,0177	20
rel. STABW [%]	11,90	12,31	0,47	0,47	7,59	4,56	3,58	3,59
2	47898	3154	0,1319	404	30287	5646	0,3772	430
M. a. DK	40387	2945	0,1461	447	33694	5657	0,3390	387
	43987	2974	0,1354	415	29447	5327	0,3658	417
MW	44090,67	3024,33	0,1374	421	31142,67	5543,33	0,3598	410
STABW	3756,57	113,23	0,0074	23	2249,08	187,43	0,0196	22
rel. STABW [%]	8,52	3,74	5,38	5,44	7,22	3,38	5,46	5,48
3	54128	3447	0,1275	390	40384	5831	0,2908	331
M. a. DK	50971	3346	0,1315	402	35797	5678	0,3199	365
	49320	3018	0,1225	375	33691	5323	0,3187	363
MW	51473,00	3270,33	0,1272	389	36624,00	5610,67	0,3088	352
STABW	2442,99	224,29	0,0045	14	3422,28	260,61	0,0165	19
rel. STABW [%]	4,75	6,86	3,52	3,56	9,34	4,64	5,33	5,35
4	60941	3877	0,1274	390	39658	6647	0,3384	386
M. a. DK	54725	3654	0,1337	409	46688	7588	0,3280	374
	59784	3968	0,1329	407	43287	7547	0,3523	402
MW	58483,33	3833,00	0,1313	402	43211,00	7260,67	0,3393	387
STABW	3305,82	161,56	0,0034	11	3515,62	531,85	0,0122	14
rel. STABW [%]	5,65	4,21	2,63	2,65	8,14	7,33	3,60	3,61
5	43387	3387	0,1564	479	23032	4678	0,4119	470
M. a. DK	40339	2987	0,1484	454	29650	5933	0,4057	463
	46911	3877	0,1657	508	21547	4677	0,4411	504
MW	43545,67	3417,00	0,1573	482	24743,00	5096,00	0,4179	477
STABW	3288,87	445,76	0,0087	27	4313,96	724,86	0,0189	22
rel. STABW [%]	7,55	13,05	5,51	5,55	17,44	14,22	4,53	4,54

Tab. 8.29: Alter des Schalenmaterials von Probe 0859

8.4.1.5. Kern 1 (KP)

	Kern 1 (KP)							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
4	39891	1924	0,0965	199	23147	2254	0,1954	158
C. e. DK	32565	1468	0,0902	186	19854	2245	0,2271	184
	34795	1547	0,0890	183	22311	2103	0,1891	153
MW	35750,33	1646,33	0,0922	190	21770,67	2200,67	0,2029	164
STABW	3755,27	243,69	0,0041	8	1711,70	84,70	0,0204	17
rel. STABW [%]	10,50	14,80	4,40	4,46	7,86	3,85	10,05	10,12
4,5-14	93441	4978	0,1066	284	65841	6214	0,1893	271
M. e.	91358	4698	0,1029	274	69327	6689	0,1936	277
	93658	4979	0,1064	283	70320	6377	0,1819	261
MW	92819,00	4885,00	0,1054	280	68496,00	6426,67	0,1882	270
STABW	1269,91	161,95	0,0021	6	2352,29	241,36	0,0059	9
rel. STABW [%]	1,37	3,32	1,97	2,00	3,43	3,76	3,15	3,17
14-16	35877	2658	0,1484	307	21421	4354	0,4123	334
C. e. DK	36989	2972	0,1610	334	17652	3054	0,3495	283
	35875	2855	0,1595	330	19307	3265	0,3415	276
MW	36247,00	2828,33	0,1564	324	19460,00	3557,67	0,3698	299
STABW	642,59	158,69	0,0069	14	1889,15	697,67	0,0387	31
rel. STABW [%]	1,77	5,61	4,39	4,43	9,71	19,61	10,48	10,51
24	46374	3635	0,1571	325	23113	4123	0,3606	292
C. e. DK	40032	3204	0,1604	332	24898	4438	0,3603	292
	43225	3668	0,1701	353	20384	4224	0,4205	341
MW	43210,33	3502,33	0,1625	337	22798,33	4261,67	0,3783	306
STABW	3171,03	258,89	0,0068	14	2273,39	160,84	0,0347	28
rel. STABW [%]	7,34	7,39	4,17	4,20	9,97	3,77	9,16	9,20

24	21356	1541	0,1446	337	13027	2154	0,3338	316
S. p. DK	26987	1974	0,1466	342	12008	2104	0,3541	336
	29842	2098	0,1408	329	16944	2582	0,3072	291
MW	26061,67	1871,00	0,1438	336	13993,00	2280,00	0,3288	312
STABW	4318,01	292,44	0,0029	7	2605,93	262,73	0,0235	22
rel. STABW [%]	16,57	15,63	2,02	2,04	18,62	11,52	7,16	7,19
27-30	36891	3954	0,2152	447	16558	4414	0,5464	443
C. e. DK	43023	4237	0,1976	410	19811	4695	0,4832	392
	37668	3868	0,2061	428	23188	5362	0,4710	382
MW	39194,00	4019,67	0,2058	427	19852,33	4823,67	0,4959	402
STABW	3338,69	193,07	0,0088	18	3315,19	486,92	0,0405	33
rel. STABW [%]	8,52	4,80	4,27	4,30	16,70	10,09	8,16	8,18
27-36,5	29784	3265	0,2201	457	17465	4756	0,5587	453
C. e. DK	32685	3658	0,2248	467	20698	5014	0,4943	401
	36699	4021	0,2200	457	16353	4365	0,5471	444
MW	33056,00	3648,00	0,2216	460	18172,00	4711,67	0,5307	430
STABW	3472,40	378,10	0,0027	6	2257,13	326,76	0,0343	28
rel. STABW [%]	10,50	10,36	1,23	1,23	12,42	6,94	6,47	6,48

Tab. 8.30: Alter des Schalenmaterials von Kern 1 (KP)

8.4.1.6. Kern 2 (KP)

	Kern 2 (KP)							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
6-7	39668	1944	0,0981	202	21324	2114	0,1989	161
C. e. DK	32877	1710	0,1041	215	23587	2698	0,2298	186
	36898	1677	0,0910	187	25587	2987	0,2345	190
MW	36481,00	1777,00	0,0975	201	23499,33	2599,67	0,2222	179
STABW	3414,65	145,56	0,0066	14	2132,85	444,73	0,0193	16
rel. STABW [%]	9,36	8,19	6,75	6,85	9,08	17,11	8,70	8,75
23-28	23287	2147	0,1849	383	17784	3544	0,4040	327
C. e. DK	30688	2624	0,1714	355	15677	3077	0,3977	322
	24470	2357	0,1932	401	13507	3257	0,4920	399
MW	26148,33	2376,00	0,1822	378	15656,00	3292,67	0,4270	346
STABW	3975,71	239,07	0,0110	23	2138,58	235,53	0,0527	43
rel. STABW [%]	15,20	10,06	6,04	6,08	13,66	7,15	12,34	12,38
28-31	39971	3687	0,1850	384	23218	4964	0,4343	352
C. e. DK	32354	3014	0,1869	387	21687	4614	0,4321	350
	32078	2922	0,1827	379	22099	4982	0,4588	372
MW	34801,00	3207,67	0,1849	383	22334,67	4853,33	0,4416	358
STABW	4479,48	417,66	0,0021	4	792,24	207,46	0,0148	12
rel. STABW [%]	12,87	13,02	1,13	1,14	3,55	4,27	3,35	3,36
28-31	23467	1554	0,1326	406	16620	3854	0,4724	383
M. a. DK	26874	1657	0,1235	378	15791	3698	0,4772	387
	29788	1932	0,1299	397	14306	3298	0,4695	380
MW	26709,67	1714,33	0,1285	393	15572,33	3616,67	0,4731	383
STABW	3163,70	195,41	0,0047	15	1172,40	286,78	0,0039	3
rel. STABW [%]	11,84	11,40	3,66	3,70	7,53	7,93	0,82	0,83

Tab. 8.31: Alter des Schalenmaterials von Kern 2 (KP)

8.4.1.7. Probe 001-011

	Probe 001-011							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
Basis 1	54217	4551	0,1683	516	35114	7345	0,4246	485
M. a. DK	50481	4087	0,1623	497	29844	6357	0,4326	494
	43894	3954	0,1807	554	27651	6204	0,4565	521
MW	49530,67	4197,33	0,1699	521	30869,67	6635,33	0,4367	498
STABW	5226,70	313,42	0,0094	29	3835,76	619,33	0,0166	19
rel. STABW [%]	10,55	7,47	5,51	5,56	12,43	9,33	3,80	3,81
Basis 2	44877	3867	0,1728	530	24641	5825	0,4819	550
M. a. DK	41096	3869	0,1889	580	29862	6669	0,4543	519
	39542	3730	0,1892	581	27920	6788	0,4962	567
MW	41838,33	3822,00	0,1832	562	27474,33	6427,33	0,4767	544
STABW	2743,88	79,68	0,0094	29	2638,88	525,02	0,0213	24
rel. STABW [%]	6,56	2,08	5,13	5,16	9,60	8,17	4,47	4,48
Basis 3	52391	4586	0,1755	538	36988	7947	0,4365	498
M. a. DK	50667	4321	0,1710	524	34975	8113	0,4725	539
	43688	3727	0,1710	525	36997	7965	0,4374	499
MW	48915,33	4211,33	0,1726	529	36320,00	8008,33	0,4484	512
STABW	4608,34	439,88	0,0026	8	1164,81	91,09	0,0205	24
rel. STABW [%]	9,42	10,45	1,51	1,52	3,21	1,14	4,58	4,59
Basis 4	65724	6087	0,1858	570	39851	9481	0,4851	554
M. a. DK	67412	5737	0,1706	523	42358	10174	0,4900	559
	60985	5599	0,1841	565	44089	10007	0,4620	527
MW	64707,00	5807,67	0,1800	552	42099,33	9887,33	0,4786	546
STABW	3332,01	251,56	0,0083	26	2130,81	361,67	0,0149	17
rel. STABW [%]	5,15	4,33	4,62	4,65	5,06	3,66	3,12	3,13

Top 1	32874	4741	0,2905	604	19681	7051	0,7498	608
C. e. DK	30687	4974	0,3271	680	23317	8141	0,7289	591
	31478	4238	0,2709	563	24170	8658	0,7497	608
MW	31679,67	4651,00	0,2958	615	22389,33	7950,00	0,7425	602
STABW	1107,36	376,16	0,0285	60	2383,95	820,35	0,0120	10
rel. STABW [%]	3,50	8,09	9,64	9,68	10,65	10,32	1,62	1,62
Top 2	27678	4239	0,3087	642	16608	5854	0,7365	597
C. e. DK	29377	4347	0,2981	620	15469	5908	0,8046	653
	21773	3258	0,3015	627	13686	4969	0,7608	617
MW	26276,00	3948,00	0,3028	630	15254,33	5577,00	0,7667	622
STABW	3991,17	599,99	0,0054	11	1472,78	527,24	0,0345	28
rel. STABW [%]	15,19	15,20	1,79	1,80	9,65	9,45	4,50	4,51
Top 1	65984	6611	0,2011	617	36991	9707	0,5374	614
M. a. DK	60347	6247	0,2078	638	40684	10565	0,5315	607
	62778	6046	0,1932	593	41298	10497	0,5197	594
MW	63036,33	6301,33	0,2006	616	39657,67	10256,33	0,5293	604
STABW	2827,37	286,39	0,0073	23	2329,72	476,95	0,0090	10
rel. STABW [%]	4,49	4,54	3,63	3,66	5,87	4,65	1,70	1,70
Top 2	56345	6077	0,2165	665	40121	10588	0,5406	617
M. a. DK	57191	6309	0,2215	681	36987	9979	0,5533	632
	59878	6244	0,2093	643	32445	9178	0,5816	664
MW	57804,67	6210,00	0,2157	663	36517,67	9915,00	0,5570	636
STABW	1844,71	119,68	0,0061	19	3859,46	707,18	0,0210	24
rel. STABW [%]	3,19	1,93	2,85	2,86	10,57	7,13	3,77	3,78
Top 3	49657	5363	0,2168	666	30318	8088	0,5468	624
M. a. DK	43078	4669	0,2176	669	29897	8154	0,5596	639
	46980	4974	0,2125	653	32657	8832	0,5547	634
MW	46571,67	5002,00	0,2156	662	30957,33	8358,00	0,5537	632
STABW	3308,45	347,85	0,0027	8	1486,93	411,82	0,0065	7
rel. STABW [%]	7,10	6,95	1,27	1,28	4,80	4,93	1,17	1,17

Tab. 8.32: Alter des Schalenmaterials von Probe 001-011

8.4.1.8. Probe 023-029

	Probe 023-029							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	41349	5411	0,2632	547	23347	7254	0,6426	521
C. e. DK	39651	5100	0,2587	537	22018	6547	0,6132	497
	33584	4552	0,2728	567	20988	6332	0,6228	505
MW	38194,67	5021,00	0,2644	550	22117,67	6711,00	0,6266	508
STABW	4082,22	434,91	0,0072	15	1182,65	482,38	0,0150	12
rel. STABW [%]	10,69	8,66	2,72	2,73	5,35	7,19	2,40	2,40
2	53295	6921	0,2612	543	34616	10841	0,6481	526
C. e. DK	46902	6298	0,2702	562	35467	10992	0,6409	520
	49334	6552	0,2672	555	33069	10221	0,6391	518
MW	49843,67	6590,33	0,2660	553	34384,00	10684,67	0,6427	521
STABW	3226,83	313,26	0,0046	10	1215,72	408,58	0,0048	4
rel. STABW [%]	6,47	4,75	1,72	1,73	3,54	3,82	0,75	0,75
3	42339	5649	0,2684	558	23268	7511	0,6695	543
C. e. DK	40225	5532	0,2768	575	22089	7351	0,6919	561
	41998	5599	0,2682	557	20008	6237	0,6449	523
MW	41520,67	5593,33	0,2711	563	21788,33	7033,00	0,6695	543
STABW	1134,96	58,71	0,0049	10	1650,67	693,98	0,0235	19
rel. STABW [%]	2,73	1,05	1,80	1,81	7,58	9,87	3,51	3,52
4	32897	4195	0,2564	533	23367	6868	0,6057	491
C. e. DK	36585	4689	0,2578	536	24795	7302	0,6070	492
	33320	4325	0,2611	542	20445	6633	0,6732	546
MW	34267,33	4403,00	0,2584	537	22869,00	6934,33	0,6261	508
STABW	2018,27	256,07	0,0024	5	2217,35	339,40	0,0386	31
rel. STABW [%]	5,89	5,82	0,93	0,93	9,70	4,89	6,17	6,18

Tab. 8.33: Alter des Schalenmaterials von Probe 023-029

8.4.1.9. Probe 030-044

	Probe 030-044							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	56577	7574	0,2694	560	29461	9344	0,6570	533
C. e. DK	49591	6654	0,2700	561	32544	10121	0,6433	522
	50674	6847	0,2719	565	30239	9622	0,6593	535
MW	52280,67	7025,00	0,2704	562	30748,00	9695,67	0,6529	530
STABW	3759,93	485,14	0,0013	3	1603,29	393,70	0,0086	7
rel. STABW [%]	7,19	6,91	0,49	0,49	5,21	4,06	1,32	1,33
2	54211	6874	0,2550	530	36598	11144	0,6289	510
C. e. DK	46688	6203	0,2673	555	32724	10221	0,6463	524
	47801	6311	0,2656	552	38560	12069	0,6477	525
MW	49566,67	6462,67	0,2623	545	35960,67	11144,67	0,6409	520
STABW	4060,43	360,29	0,0067	14	2969,74	924,00	0,0105	8
rel. STABW [%]	8,19	5,58	2,55	2,56	8,26	8,29	1,63	1,63

1	23254	2317	0,1999	614	13205	3411	0,5286	604
M. a. DK	23114	2247	0,1950	599	11238	2924	0,5326	608
	29744	2987	0,2015	619	14987	3658	0,4982	569
MW	25370,67	2517,00	0,1991	611	13143,33	3331,00	0,5182	592
STABW	3788,06	408,53	0,0034	10	1875,26	373,48	0,0188	22
rel. STABW [%]	14,93	16,23	1,70	1,71	14,27	11,21	3,63	3,64
2	26741	2914	0,2188	672	19892	5354	0,5519	630
M. a. DK	30644	3201	0,2097	644	20385	5688	0,5733	655
	32487	3547	0,2192	674	23244	6092	0,5367	613
MW	29957,33	3220,67	0,2159	663	21173,67	5711,33	0,5532	632
STABW	2933,90	316,96	0,0054	17	1809,83	369,55	0,0184	21
rel. STABW [%]	9,79	9,84	2,50	2,52	8,55	6,47	3,32	3,33
3	36657	3653	0,2000	614	26154	6658	0,5206	594
M. a. DK	33082	3552	0,2156	662	23027	6298	0,5613	641
	35875	3665	0,2050	630	24657	6332	0,5254	600
MW	35204,67	3623,33	0,2066	634	24612,67	6429,33	0,5348	611
STABW	1879,41	62,07	0,0080	25	1563,97	198,76	0,0223	25
rel. STABW [%]	5,34	1,71	3,85	3,88	6,35	3,09	4,16	4,17
4	29544	3284	0,2232	686	16588	4356	0,5378	614
M. a. DK	33265	3455	0,2085	640	13277	3698	0,5722	654
	30076	3201	0,2137	656	15683	4365	0,5717	653
MW	30961,67	3313,33	0,2149	660	15182,67	4139,67	0,5595	639
STABW	2012,40	129,52	0,0075	23	1711,27	382,52	0,0197	23
rel. STABW [%]	6,50	3,91	3,48	3,51	11,27	9,24	3,52	3,53

Tab. 8.34: Alter des Schalenmaterials von Probe 030-044

8.4.2. Rückseitenwatt Spiekeroog

8.4.2.1. Kern 1

	Kern 1							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
13-18,5	23541	374	0,0318	64	14741	527	0,0715	57
C. e.	27349	392	0,0287	57	17548	687	0,0783	63
	20710	305	0,0295	59	16086	548	0,0682	54
MW	23866,67	357,00	0,0299	60	16125,00	587,33	0,0729	58
STABW	3331,46	45,92	0,0016	3	1403,91	86,95	0,0052	4
rel. STABW [%]	13,96	12,86	5,40	5,65	8,71	14,80	7,12	7,24
18,5-25,5	17548	307	0,0350	70	11548	541	0,0938	75
C. e.	15739	318	0,0404	82	10984	509	0,0927	74
	16204	311	0,0384	77	12740	548	0,0861	69
MW	16497,00	312,00	0,0378	76	11757,33	532,67	0,0907	73
STABW	939,42	5,57	0,0027	6	896,52	20,79	0,0042	3
rel. STABW [%]	5,69	1,78	7,24	7,50	7,63	3,90	4,60	4,67

Tab. 8.35: Alter des Schalenmaterials von Kern 1

8.4.2.2. Kern 2

	Kern 2							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
0-8	268078	1258	0,0094	17	108816	1274	0,0234	18
C. e.	251977	1304	0,0104	19	97895	1083	0,0221	17
	271068	1195	0,0088	16	110287	974	0,0177	13
MW	263707,67	1252,33	0,0095	17	105666,00	1110,33	0,0210	16
STABW	10268,47	54,72	0,0008	2	6769,96	151,86	0,0030	2
rel. STABW [%]	3,89	4,37	8,16	9,45	6,41	13,68	14,36	15,31
14,5-19	397712	6547	0,0329	66	57840	1978	0,0684	55
C. e.	468707	7946	0,0339	68	49714	1831	0,0737	59
	382369	7307	0,0382	77	43892	1774	0,0809	65
MW	416262,67	7266,67	0,0349	70	50482,00	1861,00	0,0738	59
STABW	46061,46	700,37	0,0028	6	7005,64	105,26	0,0063	5
rel. STABW [%]	11,07	9,64	8,07	8,38	13,88	5,66	8,48	8,63
76	304479	19791	0,1302	269	38841	5941	0,3083	250
C. e.	299795	20749	0,1386	287	30498	5078	0,3361	272
	280071	17794	0,1272	263	35487	5236	0,2973	241
MW	294781,67	19444,67	0,1321	273	34942,00	5418,33	0,3127	253
STABW	12953,29	1507,64	0,0059	12	4198,12	459,48	0,0200	16
rel. STABW [%]	4,39	7,75	4,48	4,53	12,01	8,48	6,41	6,43

Tab. 8.36: Alter des Schalenmaterials von Kern 2

8.4.2.3. Kern 6

	Kern 6							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
21	65441	763	0,0233	68	54177	1425	0,0526	59
M. a.	58720	817	0,0278	82	52871	1438	0,0544	61
	62347	738	0,0237	69	49272	1522	0,0618	69
MW	62169,33	772,67	0,0249	73	52106,67	1461,67	0,0561	63
STABW	3364,02	40,38	0,0025	8	2540,26	52,65	0,0049	6
rel. STABW [%]	5,41	5,23	10,09	10,64	4,88	3,60	8,67	8,88
25	187491	3392	0,0362	73	174074	6997	0,0804	64
C. e.	170983	3197	0,0374	75	173358	7027	0,0811	65
	176838	3608	0,0408	83	169274	7073	0,0836	67
MW	178437,33	3399,00	0,0381	77	172235,33	7032,33	0,0817	65
STABW	8369,40	205,59	0,0024	5	2589,46	38,28	0,0017	1
rel. STABW [%]	4,69	6,05	6,29	6,52	1,50	0,54	2,05	2,08
206	32778	4827	0,2967	617	20899	6398	0,6326	513
C. e.	36780	5286	0,2894	602	21335	6682	0,6482	526
	48453	5304	0,2198	456	18791	6507	0,7224	586
MW	39337,00	5139,00	0,2628	546	20341,67	6529,00	0,6654	540
STABW	8144,33	270,35	0,0424	89	1360,50	143,27	0,0480	39
rel. STABW [%]	20,70	5,26	16,15	16,23	6,69	2,19	7,22	7,23
223-227	68744	8687	0,2541	528	57170	14007	0,5002	405
C. e.	63487	9377	0,2976	619	52797	13745	0,5329	432
	61082	8304	0,2736	569	53988	16496	0,6313	512
MW	64437,67	8789,33	0,2745	571	54651,67	14749,33	0,5535	449
STABW	3918,47	543,77	0,0218	45	2260,78	1518,32	0,0682	55
rel. STABW [%]	6,08	6,19	7,93	7,97	4,14	10,29	12,32	12,35
223-227	73581	7974	0,2176	509	67448	16851	0,5105	485
S. p.	71680	7869	0,2204	516	64181	16430	0,5236	497
	69345	8682	0,2517	590	63154	14247	0,4591	436
MW	71535,33	8175,00	0,2296	537	64927,67	15842,67	0,4981	473
STABW	2121,70	442,20	0,0189	45	2242,26	1397,83	0,0341	32
rel. STABW [%]	2,97	5,41	8,25	8,29	3,45	8,82	6,85	6,87
229-238	320717	48117	0,3023	629	239711	81871	0,7117	577
C. e.	387819	56846	0,2953	614	230974	82071	0,7431	603
	361045	58701	0,3281	682	245776	79388	0,6700	543
MW	356527,00	54554,67	0,3085	641	238820,33	81110,00	0,7073	574
STABW	33778,38	5651,81	0,0173	36	7441,09	1494,64	0,0366	30
rel. STABW [%]	9,47	10,36	5,60	5,62	3,12	1,84	5,18	5,19
229-238	149723	19336	0,2597	609	121079	39754	0,6819	648
S. p.	140079	21127	0,3040	713	127516	36417	0,5875	558
	135730	20035	0,2974	697	120974	34724	0,5907	561
MW	141844,00	20166,00	0,2863	671	123189,67	36965,00	0,6192	588
STABW	7161,52	902,66	0,0239	56	3747,08	2559,39	0,0536	51
rel. STABW [%]	5,05	4,48	8,34	8,37	3,04	6,92	8,66	8,68
232-238	23711	3841	0,3269	680	14797	5074	0,7148	580
C. e.	24846	3647	0,2957	615	13594	5169	0,8007	650
	20781	3325	0,3228	671	12148	4830	0,8416	683
MW	23112,67	3604,33	0,3145	654	13513,00	5024,33	0,7811	634
STABW	2097,51	260,63	0,0169	35	1326,36	174,87	0,0647	53
rel. STABW [%]	9,08	7,23	5,39	5,41	9,82	3,48	8,29	8,30
232-238	36971	4912	0,2673	626	23144	6897	0,6147	584
S. p.	37894	5327	0,2830	663	21737	6725	0,6397	608
	43475	5163	0,2386	559	23894	6680	0,5744	546
MW	39446,67	5134,00	0,2618	613	22925,00	6767,33	0,6085	578
STABW	3519,03	209,01	0,0225	53	1095,05	114,53	0,0329	31
rel. STABW [%]	8,92	4,07	8,60	8,64	4,78	1,69	5,41	5,42
268-281	65718	12081	0,3719	774	49376	21639	0,9401	763
C. e.	63791	12903	0,4102	854	48765	22698	1,0085	818
	60571	11470	0,3834	798	47682	20764	0,9332	757
MW	63360,00	12151,33	0,3884	808	48607,67	21700,33	0,9605	779
STABW	2600,43	719,08	0,0197	41	857,89	968,46	0,0416	34
rel. STABW [%]	4,10	5,92	5,06	5,08	1,76	4,46	4,33	4,34
268-281	972047	175574	0,3653	857	685446	269777	0,8321	791
S. p.	935175	173447	0,3753	881	680744	279416	0,8723	829
	963074	171688	0,3604	846	683371	271469	0,8408	799
MW	956765,33	173569,67	0,3669	861	683187,00	273554,00	0,8483	806
STABW	19228,51	1945,90	0,0076	18	2356,39	5146,65	0,0212	20
rel. STABW [%]	2,01	1,12	2,07	2,08	0,34	1,88	2,50	2,50
278-282	86741	17741	0,4149	864	79674	36811	0,9998	811
C. e.	89374	18764	0,4262	887	71508	36001	1,1078	899
	92071	19607	0,4325	901	76982	35978	1,0134	822
MW	89395,33	18704,00	0,4247	884	76054,67	36263,33	1,0377	842
STABW	2665,06	934,45	0,0089	19	4161,23	474,43	0,0589	48
rel. STABW [%]	2,98	5,00	2,10	2,11	5,47	1,31	5,67	5,68
278-282	47104	8451	0,3627	851	40975	16785	0,8704	827
S. p.	41763	8018	0,3888	912	43941	15745	0,7499	713
	46387	8345	0,3638	853	41289	17157	0,8846	841
MW	45084,67	8271,33	0,3711	871	42068,33	16562,33	0,8323	791
STABW	2898,90	225,70	0,0148	35	1629,36	731,86	0,0740	70
rel. STABW [%]	6,43	2,73	3,98	3,99	3,87	4,42	8,89	8,90
352	357411	94841	0,5437	1133	286711	168755	1,3510	1097
C. e.	350754	90745	0,5295	1103	287156	173584	1,4004	1137
	352786	91380	0,5301	1104	290348	170694	1,3489	1095
MW	353650,33	92322,00	0,5345	1113	288071,67	171011,00	1,3665	1109
STABW	3411,63	2204,50	0,0080	17	1983,88	2430,06	0,0291	24
rel. STABW [%]	0,96	2,39	1,51	1,51	0,69	1,42	2,13	2,13

425-432	361175	96471	0,5475	1141	306581	180567	1,3522	1098
C. e.	363387	104822	0,5938	1237	306672	182784	1,3739	1115
	337810	100813	0,6156	1283	299972	183369	1,4219	1154
MW	354124,00	100702,00	0,5849	1219	304408,33	182240,00	1,3821	1122
STABW	14171,56	4176,61	0,0348	73	3842,25	1478,09	0,0357	29
rel. STABW [%]	4,00	4,15	5,95	5,96	1,26	0,81	2,58	2,59
425-432	88248	24644	0,5738	1348	74546	45117	1,4027	1334
S. p.	90407	23205	0,5251	1233	70159	40658	1,3235	1259
	93050	24011	0,5280	1240	73046	41054	1,2716	1209
MW	90568,33	23953,33	0,5418	1273	72583,67	42276,33	1,3323	1267
STABW	2405,06	721,23	0,0273	64	2229,74	2468,04	0,0660	63
rel. STABW [%]	2,66	3,01	5,04	5,05	3,07	5,84	4,96	4,96
427	93005	25561	0,5642	1325	84154	51871	1,4383	1368
S. p.	91107	22907	0,5139	1207	80215	44912	1,2654	1203
	92478	26375	0,5867	1378	81337	45674	1,2702	1208
MW	92196,67	24947,67	0,5550	1304	81902,00	47485,67	1,3243	1259
STABW	979,78	1813,53	0,0373	88	2029,37	3816,87	0,0985	94
rel. STABW [%]	1,06	7,27	6,72	6,73	2,48	8,04	7,44	7,44
427-432	201813	59544	0,6082	1267	164716	98981	1,3892	1128
C. e.	198420	60872	0,6340	1321	160797	99915	1,4545	1181
	206698	58660	0,5836	1216	163723	102579	1,4714	1195
MW	202310,33	59692,00	0,6082	1267	163078,67	100491,67	1,4378	1167
STABW	4161,35	1113,40	0,0252	53	2037,40	1867,03	0,0434	35
rel. STABW [%]	2,06	1,87	4,14	4,15	1,25	1,86	3,02	3,02
427-432	34117	9567	0,5763	1354	27079	15433	1,2948	1231
S. p.	36944	9631	0,5337	1254	26473	14749	1,2573	1196
	39510	9802	0,5068	1190	24467	11787	1,0505	999
MW	36857,00	9666,67	0,5371	1262	26006,33	13989,67	1,2025	1143
STABW	2697,55	121,49	0,0351	83	1367,10	1937,98	0,1316	125
rel. STABW [%]	7,32	1,26	6,53	6,54	5,26	13,85	10,94	10,95
531	59582	18144	0,6290	1478	48755	29797	1,4215	1352
S. p. DK	65817	18657	0,5829	1369	47647	27964	1,3458	1280
	60272	19302	0,6638	1560	41398	23567	1,2929	1230
MW	61890,33	18701,00	0,6238	1466	45933,33	27109,33	1,3559	1290
STABW	3418,05	580,25	0,0406	96	3966,59	3201,73	0,0646	62
rel. STABW [%]	5,52	3,10	6,51	6,52	8,64	11,81	4,77	4,77
538-546	69871	20407	0,6016	1414	59541	36457	1,4252	1356
S. p.	60754	19270	0,6570	1544	62961	37971	1,3960	1328
	64428	20871	0,6721	1579	60208	36877	1,4258	1356
MW	65017,67	20182,67	0,6420	1509	60903,33	37101,67	1,4153	1346
STABW	4587,01	823,74	0,0371	87	1812,93	781,60	0,0170	16
rel. STABW [%]	7,06	4,08	5,78	5,79	2,98	2,11	1,20	1,21

Tab. 8.37: Alter des Schalenmaterials von Kern 6

8.4.2.4. Kern 7

	Kern 7							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
184-197	256547	41663	0,3277	682	179820	62787	0,7290	591
C. e.	252781	40497	0,3232	672	168952	66308	0,8294	673
	249484	42689	0,3456	719	172246	67982	0,8347	677
MW	252937,33	41616,33	0,3321	691	173672,67	65692,33	0,7960	646
STABW	3534,09	1096,74	0,0119	25	5572,69	2651,66	0,0596	48
rel. STABW [%]	1,40	2,64	3,57	3,59	3,21	4,04	7,48	7,49
184-107	98546	12978	0,2649	621	62023	18982	0,6324	601
S. p.	96891	11687	0,2424	568	67177	19207	0,5882	559
	97546	13587	0,2804	657	65298	21077	0,6695	636
MW	97661,00	12750,67	0,2626	615	64832,67	19755,33	0,6294	598
STABW	833,47	970,19	0,0191	45	2608,32	1150,11	0,0407	39
rel. STABW [%]	0,85	7,61	7,27	7,31	4,02	5,82	6,46	6,48
215-224	167667	26884	0,3235	673	121072	45429	0,7890	640
C. e.	168947	29754	0,3559	741	111995	42987	0,8091	656
	168794	27874	0,3333	693	117865	49867	0,9029	733
MW	168469,33	28170,67	0,3376	702	116977,33	46094,33	0,8332	676
STABW	699,04	1457,82	0,0166	35	4603,15	3487,92	0,0608	49
rel. STABW [%]	0,41	5,17	4,93	4,95	3,94	7,57	7,30	7,31
215-224	32577	3567	0,2199	675	14782	4124	0,5732	655
M. a.	36971	3277	0,1777	545	19898	4985	0,5120	585
	34946	3678	0,2113	649	17660	4308	0,4979	569
MW	34831,33	3507,33	0,2021	620	17446,67	4472,33	0,5244	599
STABW	2199,24	207,05	0,0223	69	2564,66	453,41	0,0400	46
rel. STABW [%]	6,31	5,90	11,02	11,09	14,70	10,14	7,63	7,65
215-224	213208	32555	0,3078	722	188763	60277	0,6618	629
S. p.	210983	29921	0,2856	669	182298	62388	0,7132	678
	218982	28850	0,2650	621	180058	61773	0,7151	680
MW	214391,00	30442,00	0,2859	670	183706,33	61479,33	0,6961	661
STABW	4128,63	1906,66	0,0214	50	4520,16	1085,71	0,0303	29
rel. STABW [%]	1,93	6,26	7,48	7,51	2,46	1,77	4,35	4,36
226-232	198762	36547	0,3720	774	148796	65822	0,9503	771
C. e.	201867	37855	0,3795	790	157862	66977	0,9058	735
	222387	35988	0,3265	679	156227	64782	0,8825	716
MW	207672,00	36796,67	0,3582	745	154295,00	65860,33	0,9121	740
STABW	12837,78	958,21	0,0287	60	4831,93	1098,00	0,0345	28
rel. STABW [%]	6,18	2,60	8,01	8,04	3,13	1,67	3,78	3,79

245-253	265473	42447	0,3226	671	103379	45477	0,9442	766
C. e.	268980	46892	0,3523	733	112785	40994	0,7618	618
	258765	47202	0,3690	768	116972	46898	0,8495	689
MW	264406,00	45513,67	0,3477	723	111045,33	44456,33	0,8481	688
STABW	5190,42	2660,33	0,0235	49	6961,48	3081,50	0,0913	74
rel. STABW [%]	1,96	5,85	6,76	6,78	6,27	6,93	10,76	10,78
245-253	121375	11547	0,1908	586	68498	15876	0,4721	539
M. a.	129982	13220	0,2041	627	71107	16765	0,4806	549
	131747	12009	0,1828	561	76222	14573	0,3871	442
MW	127701,33	12258,67	0,1926	591	71942,33	15738,00	0,4447	508
STABW	5549,39	863,99	0,0108	33	3929,17	1102,50	0,0517	59
rel. STABW [%]	4,35	7,05	5,59	5,63	5,46	7,01	11,62	11,65
245-253	156582	19882	0,2553	785	102387	29951	0,6027	688
M. a. DK	150398	14668	0,1957	601	103978	31041	0,6158	703
	148989	15893	0,2142	658	106924	28454	0,5454	623
MW	151989,67	16814,33	0,2222	683	104429,67	29815,33	0,5873	671
STABW	4038,99	2726,37	0,0305	94	2301,98	1298,82	0,0375	43
rel. STABW [%]	2,66	16,21	13,74	13,83	2,20	4,36	6,38	6,39
313	198937	33298	0,3379	1040	102198	43487	0,9088	1039
M. a.	200098	36681	0,3708	1142	116817	44487	0,8021	917
	214433	35974	0,3387	1043	114872	46589	0,8606	984
MW	204489,33	35317,67	0,3489	1074	111295,67	44854,33	0,8545	977
STABW	8631,01	1784,45	0,0188	58	7938,60	1583,29	0,0535	61
rel. STABW [%]	4,22	5,05	5,38	5,40	7,13	3,53	6,26	6,27
340	198567	36898	0,3760	1158	165883	76201	0,9930	1135
M. a.	190685	35568	0,3775	1163	174569	74121	0,9066	1036
	188256	34012	0,3653	1125	186550	73255	0,8299	949
MW	192502,67	35492,67	0,3730	1149	175667,33	74525,67	0,9057	1035
STABW	5390,47	1444,47	0,0066	20	10377,19	1514,12	0,0816	93
rel. STABW [%]	2,80	4,07	1,77	1,78	5,91	2,03	9,01	9,02
346	169841	32087	0,3824	1178	144982	69972	1,0528	1204
M. a.	177058	34095	0,3900	1201	140177	60688	0,9270	1060
	175823	32097	0,3692	1137	139865	66841	1,0405	1190
MW	174240,67	32759,67	0,3806	1172	141674,67	65833,67	1,0065	1151
STABW	3859,94	1156,44	0,0105	32	2868,48	4723,26	0,0693	79
rel. STABW [%]	2,22	3,53	2,76	2,77	2,02	7,17	6,89	6,90
360	113087	19885	0,3554	1094	86681	35989	0,8837	1010
M. a.	113082	19903	0,3557	1095	84548	32098	0,7993	914
	117698	21210	0,3644	1122	79656	34979	0,9423	1077
MW	114622,33	20332,67	0,3586	1104	83628,33	34355,33	0,8732	998
STABW	2663,61	759,85	0,0051	16	3601,67	2019,08	0,0719	82
rel. STABW [%]	2,32	3,74	1,43	1,43	4,31	5,88	8,23	8,25
365	103395	16895	0,3298	1015	82884	32651	0,8329	952
M. a.	109564	14549	0,2672	822	80546	27722	0,7176	820
	107101	15562	0,2927	900	81077	31498	0,8201	937
MW	106686,67	15668,67	0,2959	910	81502,33	30623,67	0,7902	903
STABW	3105,30	1176,63	0,0315	97	1225,66	2578,20	0,0632	72
rel. STABW [%]	2,91	7,51	10,64	10,69	1,50	8,42	7,99	8,01
336-351	108967	15244	0,2816	866	68982	26851	0,8218	939
M. a.	111688	17462	0,3153	970	72127	24955	0,7218	825
	132774	19903	0,3021	930	79852	30871	0,8156	932
MW	117809,67	17536,33	0,2999	923	73653,67	27559,00	0,7865	899
STABW	13030,71	2330,39	0,0169	52	5593,50	3020,88	0,0561	64
rel. STABW [%]	11,06	13,29	5,65	5,68	7,59	10,96	7,13	7,14
357-363	96262	12177	0,2544	782	65772	21874	0,6914	790
M. a.	95523	13389	0,2822	868	69327	22294	0,6668	762
	94771	14475	0,3079	947	62078	22187	0,7478	855
MW	95518,67	13347,00	0,2813	865	65725,67	22118,33	0,7003	800
STABW	745,51	1149,58	0,0268	83	3624,72	218,26	0,0415	48
rel. STABW [%]	0,78	8,61	9,52	9,56	5,51	0,99	5,93	5,94
370	108799	27754	0,5217	1225	89327	46771	1,1626	1105
S. p. DK	106595	25398	0,4859	1141	81184	44819	1,2427	1182
	104797	26970	0,5265	1237	83658	48662	1,3300	1265
MW	106730,33	26707,33	0,5113	1201	84723,00	46750,67	1,2419	1181
STABW	2004,43	1199,76	0,0222	52	4174,66	1921,58	0,0837	80
rel. STABW [%]	1,88	4,49	4,35	4,36	4,93	4,11	6,74	6,75

Tab. 8.38: Alter des Schalenmaterials von Kern 7

8.4.2.5. Kern 8

	Kern 8							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
12-15	186517	2323	0,0249	49	145098	4210	0,0580	46
C. e.	180215	2087	0,0232	46	143651	4039	0,0562	45
	182257	2698	0,0296	59	146399	4101	0,0560	44
MW	182996,33	2369,33	0,0259	51	145049,33	4116,67	0,0568	45
STABW	3215,39	308,12	0,0033	7	1374,65	86,57	0,0011	1
rel. STABW [%]	1,76	13,00	12,87	13,55	0,95	2,10	1,94	1,99
12-15	67988	621	0,0183	40	39441	644	0,0327	30
S. p. DK	70298	602	0,0171	37	41658	711	0,0341	31
	71577	613	0,0171	37	40606	706	0,0348	32
MW	69954,33	612,00	0,0175	38	40568,33	687,00	0,0339	31
STABW	1819,01	9,54	0,0007	2	1108,98	37,32	0,0011	1
rel. STABW [%]	2,60	1,56	3,76	4,06	2,73	5,43	3,21	3,33

30-35	121818	2099	0,0345	102	89711	3644	0,0813	92
M. a. DK	120974	1988	0,0329	98	80667	3107	0,0771	87
	127736	1933	0,0303	90	84136	3504	0,0833	94
MW	123509,33	2006,67	0,0325	96	84838,00	3418,33	0,0806	64
STABW	3684,65	84,56	0,0021	7	4562,68	278,56	0,0032	4
rel. STABW [%]	2,98	4,21	6,52	6,79	5,38	8,15	3,96	5,68
37-39	265823	5627	0,0423	86	198446	10123	0,1021	82
C. e.	260871	6026	0,0462	94	190962	9855	0,1033	83
	259723	6227	0,0480	97	191654	10137	0,1059	85
MW	262139,00	5960,00	0,0455	92	193687,33	10038,33	0,1037	83
STABW	3241,66	305,40	0,0029	6	4135,63	158,93	0,0019	2
rel. STABW [%]	1,24	5,12	6,32	6,51	2,14	1,58	1,86	1,88
39-44	279617	5232	0,0374	75	202065	8047	0,0797	64
C. e.	289225	5068	0,0350	70	199557	7841	0,0786	63
	284416	5378	0,0378	76	190084	8081	0,0851	68
MW	284419,33	5226,00	0,0368	74	197235,33	7989,67	0,0811	65
STABW	4804,00	155,09	0,0015	3	6318,92	129,87	0,0035	3
rel. STABW [%]	1,69	2,97	4,08	4,23	3,20	1,63	4,27	4,34
39-44	76892	1210	0,0315	71	49467	1357	0,0549	51
S. p.	70989	1103	0,0311	70	42320	1676	0,0792	74
	81219	1160	0,0286	64	43565	1564	0,0718	67
MW	76366,67	1157,67	0,0303	68	45117,33	1532,33	0,0680	63
STABW	5135,19	53,54	0,0016	4	3818,01	161,84	0,0125	12
rel. STABW [%]	6,72	4,62	5,20	5,43	8,46	10,56	18,38	18,74
72-74	211074	6651	0,0630	129	166745	12317	0,1480	119
C. e.	211069	7023	0,0666	136	176412	13124	0,1491	120
	204705	6891	0,0674	138	173320	12014	0,1389	112
MW	208949,33	6855,00	0,0656	134	172159,00	12485,00	0,1453	117
STABW	3675,70	188,59	0,0023	5	4936,97	573,75	0,0056	5
rel. STABW [%]	1,76	2,75	3,50	3,57	2,87	4,60	3,86	3,90
72-74	65652	1989	0,0606	140	39646	2355	0,1189	112
S. p.	63294	1698	0,0537	123	43447	2567	0,1183	111
	61872	1812	0,0586	135	40201	2887	0,1439	136
MW	63606,00	1833,00	0,0577	133	41098,00	2603,00	0,1268	120
STABW	1909,22	146,63	0,0036	8	2053,13	267,82	0,0146	14
rel. STABW [%]	3,00	8,00	6,19	6,34	5,00	10,29	11,50	11,62
78-80	166922	11217	0,1346	278	132329	19898	0,3030	245
C. e.	179857	9988	0,1112	229	127654	17641	0,2782	225
	175569	10120	0,1154	238	126997	13587	0,2148	173
MW	174116,00	10441,67	0,1201	248	128993,33	17042,00	0,2658	215
STABW	6588,78	674,69	0,0125	26	2907,39	3197,86	0,0455	37
rel. STABW [%]	3,78	6,46	10,39	10,51	2,25	18,76	17,12	17,20
78-80	45458	2187	0,0963	224	35864	3224	0,1803	170
S. p.	40329	2027	0,1006	234	31327	3235	0,2073	196
	41982	2565	0,1223	285	29844	4034	0,2720	258
MW	42589,67	2259,67	0,1062	247	32345,00	3497,67	0,2171	205
STABW	2617,94	276,26	0,0140	33	3136,45	464,51	0,0471	45
rel. STABW [%]	6,15	12,23	13,15	13,31	9,70	13,28	21,71	21,84
88-91	200585	16552	0,1654	343	154648	21314	0,2774	224
C. e.	196676	14547	0,1482	307	152301	29865	0,3973	322
	192276	12389	0,1290	267	157146	26884	0,3456	280
MW	196512,33	14496,00	0,1478	306	154698,33	26021,00	0,3396	275
STABW	4156,92	2081,97	0,0182	38	2422,89	4340,33	0,0601	49
rel. STABW [%]	2,12	14,36	12,31	12,42	1,57	16,68	17,71	17,78
88-91	98811	6598	0,1337	312	80027	12144	0,3059	290
S. p. DK	92327	6669	0,1447	338	76336	13547	0,3587	340
	87835	6711	0,1531	357	79210	13567	0,3460	328
MW	92991,00	6659,33	0,1435	335	78524,33	13086,00	0,3364	319
STABW	5518,04	57,12	0,0097	23	1938,68	815,86	0,0276	26
rel. STABW [%]	5,93	0,86	6,77	6,83	2,47	6,23	8,20	8,23
97-101	265957	18441	0,1389	287	206509	29971	0,2923	236
C. e.	263350	19221	0,1462	303	201656	32309	0,3232	262
	260095	16332	0,1258	260	209882	29846	0,2863	232
MW	263134,00	17998,00	0,1370	283	206015,67	30708,67	0,3004	243
STABW	2936,96	1494,58	0,0104	22	4135,13	1387,34	0,0198	16
rel. STABW [%]	1,12	8,30	7,57	7,65	2,01	4,52	6,59	6,62
97-101	41188	2644	0,1286	300	35046	4064	0,2330	221
S. p. DK	40238	2323	0,1156	269	36898	4677	0,2549	241
	39316	2487	0,1267	295	29992	4931	0,3318	315
MW	40247,33	2484,67	0,1236	288	33978,67	4557,33	0,2699	256
STABW	936,03	160,51	0,0070	17	3574,58	445,72	0,0519	49
rel. STABW [%]	2,33	6,46	5,67	5,73	10,52	9,78	19,24	19,33
110	37644	2114	0,1124	262	19982	3108	0,3136	297
S. p.	32952	2668	0,1623	379	19005	3207	0,3407	323
	31955	2411	0,1512	353	23689	2987	0,2535	240
MW	34183,67	2397,67	0,1405	328	20892,00	3100,67	0,2990	283
STABW	3037,92	277,24	0,0262	62	2471,04	110,18	0,0446	42
rel. STABW [%]	8,89	11,56	18,63	18,80	11,83	3,55	14,93	14,99
127-130	168641	16892	0,2010	417	147623	36851	0,5100	413
C. e.	168897	12108	0,1436	297	142058	20688	0,2933	237
	159377	14667	0,1846	383	146624	23254	0,3199	259
MW	165638,33	14555,67	0,1762	365	145435,00	26931,00	0,3747	303
STABW	5423,98	2393,94	0,0296	62	2966,92	8686,25	0,1182	96
rel. STABW [%]	3,27	16,45	16,77	16,90	2,04	32,25	31,54	31,65
127-130	77454	6232	0,1613	377	59864	11055	0,3736	354
S. p.	71148	5964	0,1680	393	60568	10318	0,3441	326
	69846	5234	0,1502	350	54568	10317	0,3827	363
MW	72816,00	5810,00	0,1599	373	58333,33	10563,33	0,3662	347
STABW	4069,04	516,52	0,0090	21	3279,82	425,80	0,0202	19
rel. STABW [%]	5,59	8,89	5,65	5,69	5,62	4,03	5,52	5,54

237	45417	5589	0,2474	579	35657	9898	0,5701	542
S. p.	46288	6065	0,2636	618	31391	9431	0,6200	589
	41198	6178	0,3022	709	32098	9951	0,6411	609
MW	44301,00	5944,00	0,2700	633	33048,67	9760,00	0,6088	578
STABW	2722,34	312,59	0,0282	66	2286,38	286,15	0,0365	35
rel. STABW [%]	6,15	5,26	10,43	10,48	6,92	2,93	5,99	6,00
321-326	223794	46467	0,4214	877	157641	76554	1,0606	861
C. e.	231875	50881	0,4461	929	150368	75454	1,1034	896
	230289	49646	0,4380	912	159763	75417	1,0254	832
MW	228652,67	48998,00	0,4353	906	155924,00	75808,33	1,0621	862
STABW	4281,80	2277,23	0,0126	26	4927,23	646,03	0,0391	32
rel. STABW [%]	1,87	4,65	2,90	2,90	3,16	0,85	3,68	3,68
321-326	45178	8821	0,3956	928	32098	14677	0,9877	939
S. p.	44002	8764	0,4037	948	37410	14646	0,8271	786
	41327	8323	0,4084	958	32017	15762	1,0782	1025
MW	43502,33	8636,00	0,4024	944	33841,67	15028,33	0,9546	908
STABW	1973,52	272,56	0,0065	15	3090,53	635,56	0,1271	121
rel. STABW [%]	4,54	3,16	1,61	1,61	9,13	4,23	13,32	13,34
374	188792	45468	0,4913	1023	121879	65607	1,2035	977
C. e.	197155	40466	0,4164	867	119785	58044	1,0579	859
	199221	43097	0,4396	915	131486	60567	0,9962	809
MW	195056,00	43010,33	0,4484	934	124383,33	61406,00	1,0818	878
STABW	5522,26	2502,13	0,0384	80	6239,56	3850,67	0,1064	86
rel. STABW [%]	2,83	5,82	8,55	8,58	5,02	6,27	9,84	9,85
374	58327	16464	0,5803	1363	40039	23235	1,3259	1261
S. p.	51198	14469	0,5810	1365	39664	20754	1,1616	1105
	51879	15320	0,6087	1430	33320	21558	1,5402	1465
MW	53801,33	15417,67	0,5896	1385	37674,33	21849,00	1,3248	1260
STABW	3934,11	1001,08	0,0162	38	3775,62	1265,84	0,1899	181
rel. STABW [%]	7,31	6,49	2,75	2,76	10,02	5,79	14,33	14,35
388-389	149655	46441	0,6418	1338	101377	65687	1,5435	1253
C. e.	140910	49920	0,7406	1544	98973	60689	1,4280	1159
	146989	44164	0,6200	1292	97645	72126	1,8950	1539
MW	145851,33	46841,67	0,6659	1388	99331,67	66167,33	1,6075	1305
STABW	4482,13	2898,84	0,0643	134	1891,68	5733,61	0,2432	198
rel. STABW [%]	3,07	6,19	9,65	9,67	1,90	8,67	15,13	15,14
398-401	32681	7415	0,4618	1084	19833	9892	1,0953	1041
S. p.	29963	7655	0,5225	1227	16982	8646	1,1231	1068
	24468	7950	0,6743	1585	14677	9223	1,4775	1405
MW	29037,33	7673,33	0,5414	1272	17164,00	9253,67	1,2059	1147
STABW	4184,02	267,97	0,1094	258	2582,81	623,57	0,2131	203
rel. STABW [%]	14,41	3,49	20,21	20,26	15,05	6,74	17,67	17,69

Tab. 8.39: Alter des Schalenmaterials von Kern 8

8.4.2.6. Kern 9

	Kern 9							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
6-15	289764	1957	0,0135	25	189617	2323	0,0245	19
C. e.	293374	1235	0,0084	15	195523	2401	0,0246	19
	301238	1674	0,0111	20	200586	2598	0,0259	20
MW	294792,00	1622,00	0,0110	20	195242,00	2440,67	0,0250	19
STABW	5866,96	363,80	0,0025	5	5489,90	141,73	0,0008	1
rel. STABW [%]	1,99	22,43	23,13	26,23	2,81	5,81	3,17	3,35
6-15	174652	865	0,0099	22	156782	1245	0,0159	21
M. e.	173256	987	0,0114	26	153026	1198	0,0157	20
	181486	652	0,0072	15	157568	1197	0,0152	20
MW	176464,67	834,67	0,0095	21	155792,00	1213,33	0,0156	20
STABW	4404,26	169,55	0,0021	6	2427,45	27,43	0,0004	1
rel. STABW [%]	2,50	20,31	22,56	27,15	1,56	2,26	2,25	2,51
20-24	210875	2312	0,0219	43	166238	3988	0,0480	38
C. e.	209878	2979	0,0284	57	169894	3989	0,0470	37
	206117	2068	0,0201	39	176628	4302	0,0487	39
MW	208956,67	2453,00	0,0235	46	170920,00	4093,00	0,0479	38
STABW	2509,24	471,58	0,0044	9	5270,44	181,00	0,0009	1
rel. STABW [%]	1,20	19,22	18,60	19,69	3,08	4,42	1,84	1,89
20-24	67954	1074	0,0316	71	31207	1134	0,0727	68
S. p.	60232	993	0,0330	75	32298	1056	0,0654	61
	59876	869	0,0290	65	36974	987	0,0534	50
MW	62687,33	978,67	0,0312	70	33493,00	1059,00	0,0633	59
STABW	4564,54	103,25	0,0020	5	3063,59	73,55	0,0097	9
rel. STABW [%]	7,28	10,55	6,42	6,70	9,15	6,94	15,41	15,73
222-227	200877	36774	0,3703	771	166894	82644	1,0858	881
C. e.	206697	40381	0,3958	824	166567	73249	0,9439	766
	204796	41322	0,4092	852	174667	79554	0,9831	798
MW	204123,33	39492,33	0,3919	816	169376,00	78482,33	1,0032	814
STABW	2967,74	2400,70	0,0197	41	4585,06	4788,30	0,0733	60
rel. STABW [%]	1,45	6,08	5,04	5,05	2,71	6,10	7,31	7,32
225	180641	32032	0,3584	746	165774	71321	0,9204	747
C. e.	180023	33741	0,3793	789	160693	65687	0,8683	705
	179156	31017	0,3498	728	147686	64356	0,9340	758
MW	179940,00	32263,33	0,3625	754	158051,00	67121,33	0,9068	736
STABW	745,97	1376,66	0,0152	32	9328,94	3697,40	0,0347	28
rel. STABW [%]	0,41	4,27	4,19	4,21	5,90	5,51	3,82	3,83

225	52464	6979	0,2676	627	36984	13558	0,7690	731
S. p.	49157	7698	0,3158	741	40246	11987	0,6143	584
	59792	7202	0,2421	567	41984	12148	0,5957	566
MW	53804,33	7293,00	0,2728	639	39738,00	12564,33	0,6548	622
STABW	5442,72	368,04	0,0374	88	2538,41	864,30	0,0951	91
rel. STABW [%]	10,12	5,05	13,72	13,79	6,39	6,88	14,53	14,55
233	46208	7017	0,3061	718	39987	13137	0,6824	648
S. p.	45697	6983	0,3080	722	35281	11164	0,6554	623
	44699	6228	0,2805	657	30588	9678	0,6553	623
MW	45534,67	6742,67	0,2983	699	35285,33	11326,33	0,6655	632
STABW	767,49	446,04	0,0154	36	4699,50	1735,20	0,0156	15
rel. STABW [%]	1,69	6,62	5,15	5,17	13,32	15,32	2,35	2,35
236	32589	4877	0,3016	707	25764	8465	0,6824	648
S. p.	29746	5032	0,3416	801	26477	8641	0,6775	644
	31466	5196	0,3333	782	22935	8765	0,8052	765
MW	31267,00	5035,00	0,3249	762	25058,67	8623,67	0,7176	682
STABW	1431,91	159,52	0,0211	50	1873,38	150,75	0,0723	69
rel. STABW [%]	4,58	3,17	6,51	6,53	7,48	1,75	10,08	10,10
252-255	403895	68979	0,3449	718	32577	13577	0,8875	720
C. e.	397411	72671	0,3699	770	26581	10187	0,8077	655
	309655	72026	0,4739	987	29002	14465	1,0953	889
MW	370320,33	71225,33	0,3895	811	29386,67	12743,00	0,9287	754
STABW	52637,65	1971,93	0,0684	143	3016,45	2257,65	0,1485	121
rel. STABW [%]	14,21	2,77	17,56	17,61	10,26	17,72	15,99	16,01
252-255	25889	4258	0,3320	779	19564	7241	0,7771	739
S. p.	32037	4987	0,3139	736	18561	6835	0,7728	734
	29764	4205	0,2845	667	17564	5964	0,7072	672
MW	29230,00	4483,33	0,3092	725	18563,00	6680,00	0,7534	716
STABW	3108,59	436,99	0,0240	56	1000,00	652,46	0,0392	37
rel. STABW [%]	10,63	9,75	7,75	7,79	5,39	9,77	5,20	5,21
312	19466	4223	0,4409	1035	13568	6421	1,0285	978
S. p.	21387	3986	0,3772	885	14689	6527	0,9553	908
	23359	4067	0,3518	825	19200	6332	0,6852	651
MW	21404,00	4092,00	0,3871	908	15819,00	6426,67	0,8623	820
STABW	1946,56	120,46	0,0459	108	2981,20	97,62	0,1808	172
rel. STABW [%]	9,09	2,94	11,86	11,90	18,85	1,52	20,97	21,00
327-333	143367	33484	0,4759	991	123659	65622	1,1822	960
C. e.	139028	30327	0,4434	923	124953	60971	1,0667	866
	150369	36945	0,5017	1045	139987	70006	1,0989	892
MW	144254,67	33585,33	0,4743	988	129533,00	65533,00	1,1145	905
STABW	5722,37	3310,16	0,0292	61	9076,52	4518,16	0,0596	48
rel. STABW [%]	3,97	9,86	6,15	6,17	7,01	6,89	5,35	5,35
327-333	63575	13554	0,4330	1017	53069	25487	1,0466	995
S. p.	59327	11302	0,3857	905	54564	23146	0,9056	861
	51338	10039	0,3962	930	59810	25682	0,9183	873
MW	58080,00	11631,67	0,4060	953	55814,33	24771,67	0,9540	907
STABW	6213,07	1780,54	0,0249	59	3540,17	1411,24	0,0780	74
rel. STABW [%]	10,70	15,31	6,12	6,14	6,34	5,70	8,18	8,19
332	45598	9891	0,4408	1035	35484	16646	1,0179	968
S. p.	41333	9432	0,4646	1091	36571	14321	0,8274	786
	42567	9563	0,4571	1073	29467	19892	1,6400	1560
MW	43166,00	9628,67	0,4538	1065	33840,67	16953,00	1,1012	1047
STABW	2194,69	236,44	0,0121	29	3826,50	2798,16	0,4250	405
rel. STABW [%]	5,08	2,46	2,67	2,68	11,31	16,51	38,59	38,64
337-345	133659	29467	0,4483	933	121894	51878	0,9090	738
C. e.	140985	28691	0,4128	859	117365	56110	1,0410	845
	152027	26220	0,3484	725	110981	49317	0,9553	775
MW	142223,67	28126,00	0,4008	834	116746,67	52435,00	0,9672	785
STABW	9246,44	1695,63	0,0506	106	5482,71	3430,58	0,0670	54
rel. STABW [%]	6,50	6,03	12,63	12,67	4,70	6,54	6,92	6,93
375-383	189865	33211	0,3535	735	146617	61354	0,8917	724
C. e.	180745	37955	0,4263	888	139311	65111	1,0134	822
	185333	35698	0,3901	812	142021	64114	0,9730	790
MW	185314,33	35621,33	0,3893	810	142649,67	63526,33	0,9577	777
STABW	4560,03	2372,93	0,0364	76	3693,35	1946,22	0,0620	50
rel. STABW [%]	2,46	6,66	9,36	9,39	2,59	3,06	6,48	6,48
480	219865	76957	0,7309	1524	178451	129872	1,8480	1501
C. e. DK	224686	72165	0,6659	1388	180039	120069	1,6103	1308
	226944	73680	0,6737	1404	174656	122281	1,7351	1409
MW	223831,67	74267,33	0,6897	1438	177715,33	124074,00	1,7274	1403
STABW	3616,00	2449,40	0,0355	74	2765,88	5141,58	0,1189	97
rel. STABW [%]	1,62	3,30	5,15	5,16	1,56	4,14	6,88	6,89
480	23568	5551	0,4801	1127	17657	9932	1,2730	1211
S. p.	17656	5003	0,5827	1369	16322	9827	1,3928	1325
	21069	5988	0,5845	1373	21337	12658	1,3653	1298
MW	20764,33	5514,00	0,5441	1278	18438,67	10805,67	1,3432	1277
STABW	2967,75	493,54	0,0598	141	2597,27	1605,03	0,0628	60
rel. STABW [%]	14,29	8,95	10,98	11,01	14,09	14,85	4,67	4,68

Tab. 8.40: Alter des Schalenmaterials von Kern 9

8.4.2.7. Kern 10

	Kern 10							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
10-15	126863	989	0,0156	30	71392	1322	0,0370	29
C. e.	128361	1120	0,0175	34	65369	1344	0,0411	32
	127308	1003	0,0158	30	62337	1109	0,0356	28
MW	127510,67	1037,33	0,0163	31	66366,00	1258,33	0,0379	30
STABW	769,29	71,93	0,0010	2	4609,10	129,79	0,0029	2
rel. STABW [%]	0,60	6,93	6,32	6,87	6,94	10,31	7,58	7,84
10-15	96981	421	0,0087	19	49325	299	0,0121	15
M. e.	95776	456	0,0095	21	51787	314	0,0121	15
	90213	482	0,0107	25	59302	394	0,0133	17
MW	94323,33	453,00	0,0096	22	53471,33	335,67	0,0126	16
STABW	3610,28	30,61	0,0010	3	5197,39	51,07	0,0007	1
rel. STABW [%]	3,83	6,76	10,48	12,57	9,72	15,22	5,35	6,13
10-15	32457	213	0,0131	28	25658	323	0,0252	23
S. p.	31176	197	0,0126	27	21078	311	0,0295	27
	29301	185	0,0126	27	29544	297	0,0201	18
MW	30978,00	198,33	0,0128	27	25426,67	310,33	0,0244	22
STABW	1587,29	14,05	0,0003	1	4237,74	13,01	0,0047	4
rel. STABW [%]	5,12	7,08	2,22	2,47	16,67	4,19	19,28	20,37
82	145476	4343	0,0597	122	121989	8877	0,1458	117
C. e.	140332	4032	0,0575	117	116300	8249	0,1421	114
	147627	4974	0,0674	138	109794	9001	0,1643	132
MW	144478,33	4449,67	0,0616	126	116027,67	8709,00	0,1504	121
STABW	3748,43	479,97	0,0052	11	6102,06	403,17	0,0119	10
rel. STABW [%]	2,59	10,79	8,45	416,43	5,26	4,63	7,92	7,99
180-185	167706	17190	0,2057	552	81519	11777	0,2910	418
M. e. DK	157925	16096	0,2046	549	79865	13547	0,3426	493
	162791	15877	0,1957	525	70328	16681	0,4836	697
MW	162807,33	16387,67	0,2020	542	77237,33	14001,67	0,3666	527
STABW	4890,52	703,42	0,0055	15	6040,54	2483,41	0,0997	144
rel. STABW [%]	3,00	4,29	2,72	2,74	7,82	17,74	27,20	27,32
196	176301	21889	0,2496	519	837814	243490	0,5985	485
C. e.	169139	18771	0,2229	463	859207	265864	0,6398	519
	170332	23208	0,2742	570	810307	241673	0,6152	499
MW	171924,00	21289,33	0,2489	517	835776,00	250342,33	0,6180	501
STABW	3837,24	2278,47	0,0257	54	24513,62	13472,82	0,0208	17
rel. STABW [%]	2,23	10,70	10,31	10,37	2,93	5,38	3,36	3,37
210-215	526936	67681	0,2583	537	259644	78446	0,6237	506
C. e.	492495	69318	0,2834	589	252698	76304	0,6233	505
	607087	62321	0,2060	428	243462	71652	0,6065	492
MW	542172,67	66440,00	0,2463	512	251934,67	75467,33	0,6181	501
STABW	58795,82	3659,86	0,0395	82	8117,96	3473,42	0,0098	8
rel. STABW [%]	10,84	5,51	16,02	16,10	3,22	4,60	1,59	1,59
210-215	47971	5522	0,2312	541	23477	5954	0,5185	492
S. p.	43058	5632	0,2631	616	21058	6202	0,6070	577
	44698	6032	0,2716	636	21745	6878	0,6551	622
MW	45242,33	5728,67	0,2546	596	22093,33	6344,67	0,5910	561
STABW	2501,32	268,39	0,0213	50	1246,55	478,24	0,0693	66
rel. STABW [%]	5,53	4,69	8,35	8,39	5,64	7,54	11,72	11,74
227-234	174644	23247	0,2678	557	132038	41321	0,6476	525
C. e.	170366	20298	0,2394	497	129741	39464	0,6282	509
	163271	19885	0,2448	509	139975	36098	0,5277	428
MW	169427,00	21143,33	0,2509	521	133918,00	38961,00	0,5992	486
STABW	5744,35	1833,49	0,0151	31	5369,78	2647,58	0,0644	52
rel. STABW [%]	3,39	8,67	6,01	6,04	4,01	6,80	10,74	10,77
227-234	69821	8674	0,2498	768	39620	11864	0,6178	706
M. a. DK	76600	8053	0,2110	648	42697	11108	0,5326	608
	71360	8472	0,2386	733	40212	10998	0,5613	641
MW	72593,67	8399,67	0,2325	714	40843,00	11323,33	0,5694	650
STABW	3553,89	316,76	0,0199	62	1632,67	471,45	0,0434	50
rel. STABW [%]	4,90	3,77	8,57	8,62	4,00	4,16	7,62	7,64
250-260	112988	12442	0,2211	518	89732	21089	0,4790	455
S. p.	120715	14068	0,2341	548	80463	22367	0,5710	542
	119328	13087	0,2202	516	86971	23204	0,5468	519
MW	117677,00	13199,00	0,2253	527	85722,00	22220,00	0,5305	504
STABW	4119,59	818,77	0,0078	18	4759,05	1065,14	0,0477	45
rel. STABW [%]	3,50	6,20	3,46	3,48	5,55	4,79	8,99	9,01
270	220398	56589	0,5253	1094	174330	110338	1,4926	1212
C. e.	197464	51054	0,5291	1102	176698	95687	1,2126	984
	210875	60097	0,5862	1221	189465	111697	1,3539	1099
MW	209579,00	55913,33	0,5468	1139	180164,33	105907,33	1,3487	1095
STABW	11521,80	4559,21	0,0341	71	8141,17	8877,11	0,1400	114
rel. STABW [%]	5,50	8,15	6,24	6,26	4,52	8,38	10,38	10,39

Tab. 8.41: Alter des Schalenmaterials von Kern 10

8.4.2.8. Kern 11

	Kern 11							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
10-13	165891	1323	0,0160	31	115057	1765	0,0307	24
C. e.	160567	1668	0,0208	41	121165	1989	0,0328	26
	168872	1556	0,0184	36	126984	2202	0,0347	27
MW	165110,00	1515,67	0,0184	36	121068,67	1985,33	0,0328	26
STABW	4207,22	176,00	0,0024	5	5964,08	218,52	0,0020	2
rel. STABW [%]	2,55	11,61	13,15	14,15	4,93	11,01	6,11	6,36
101	202989	12655	0,1248	258	165887	29464	0,3590	291
C. e.	210973	16893	0,1605	332	176001	26678	0,3055	247
	198929	18976	0,1914	397	170866	31317	0,3708	300
MW	204297,00	16174,67	0,1587	329	170918,00	29153,00	0,3445	279
STABW	6127,61	3221,14	0,0333	70	5057,20	2335,08	0,0348	28
rel. STABW [%]	3,00	19,91	20,98	21,15	2,96	8,01	10,10	10,14
105-107	206574	12164	0,1179	244	165647	21234	0,2578	208
C. e.	211302	11035	0,1045	216	176113	23974	0,2740	222
	204868	14762	0,1444	299	177032	21077	0,2392	193
MW	207581,33	12653,67	0,1221	252	172930,67	22095,00	0,2569	208
STABW	3333,19	1911,14	0,0203	42	6324,55	1629,15	0,0174	14
rel. STABW [%]	1,61	15,10	16,60	16,78	3,66	7,37	6,76	6,79
105-107	270684	19657	0,1455	389	128034	18454	0,2903	417
M. e.	259755	13718	0,1057	281	130468	10171	0,1562	223
	262347	17746	0,1355	362	131177	13144	0,2011	288
MW	264262,00	17040,33	0,1291	345	129893,00	13923,00	0,2152	309
STABW	5710,62	3031,73	0,0207	56	1648,51	4196,09	0,0682	99
rel. STABW [%]	2,16	17,79	16,02	16,22	1,27	30,14	31,71	31,95
105-111	240576	14339	0,1193	247	202174	32065	0,3199	259
C. e.	238971	20237	0,1698	352	210368	39941	0,3844	311
	232997	21106	0,1817	377	211147	37844	0,3624	293
MW	237514,67	18560,67	0,1566	324	207896,33	36616,67	0,3560	288
STABW	3993,87	3681,80	0,0331	69	4970,97	4078,92	0,0328	27
rel. STABW [%]	1,68	19,84	21,13	21,30	2,39	11,14	9,21	9,24
120-123	184473	16898	0,1837	381	136698	31314	0,4664	378
C. e.	179656	14608	0,1630	338	132878	30277	0,4639	376
	170236	19556	0,2308	479	114106	28633	0,5128	416
MW	178121,67	17020,67	0,1917	398	127894,00	30074,67	0,4793	388
STABW	7241,46	2476,28	0,0347	73	12092,55	1351,90	0,0276	22
rel. STABW [%]	4,07	14,55	18,12	18,24	9,46	4,50	5,75	5,77

Tab. 8.42: Alter des Schalenmaterials von Kern 11

8.4.2.9. Kern B1

	Kern B1							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
228	210547	21514	0,2051	426	148761	36987	0,5079	412
C. e. DK	215823	21088	0,1960	407	143228	40464	0,5808	471
	219655	21995	0,2009	417	149892	31879	0,4320	350
MW	215341,67	21532,33	0,2007	416	147293,67	36443,33	0,5053	410
STABW	4573,04	453,78	0,0045	9	3566,09	4318,24	0,0744	60
rel. STABW [%]	2,12	2,11	2,25	2,27	2,42	11,85	14,73	14,77

Tab. 8.43: Alter des Schalenmaterials von Kern B1

8.4.2.10. Kern B2

	Kern B2							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
40	147655	2148	0,0291	58	79565	2599	0,0654	52
C. e.	156898	1988	0,0253	50	71029	2137	0,0602	48
	150689	2268	0,0301	60	75235	2349	0,0625	50
MW	151747,33	2134,67	0,0281	56	75276,33	2361,67	0,0628	50
STABW	4711,51	140,48	0,0025	5	4268,15	231,26	0,0026	2
rel. STABW [%]	3,10	6,58	8,92	9,35	5,67	9,79	4,12	4,21
110	232487	11054	0,0952	196	116981	14345	0,2465	199
C. e.	230684	14644	0,1271	263	121864	15658	0,2584	209
	237985	13989	0,1177	243	123368	16845	0,2748	222
MW	233718,67	13229,00	0,1133	234	120737,67	15616,00	0,2601	210
STABW	3803,14	1911,86	0,0164	34	3339,15	1250,53	0,0142	12
rel. STABW [%]	1,63	14,45	14,49	14,66	2,77	8,01	5,46	5,49
225	198232	29441	0,2992	622	136847	45728	0,6950	564
C. e.	190036	26981	0,2859	594	130587	50587	0,8174	663
	189117	25011	0,2661	553	129955	41188	0,6565	532
MW	192461,67	27144,33	0,2840	590	132463,00	45834,33	0,7218	586
STABW	5018,34	2219,51	0,0167	35	3809,78	4700,40	0,0840	68
rel. STABW [%]	2,61	8,18	5,88	5,91	2,88	10,26	11,64	11,66

279	233208	36985	0,3199	665	127465	54569	0,9152	743
C. e.	230988	40561	0,3549	738	120099	50565	0,8979	729
	222795	41922	0,3809	793	125798	49655	0,8348	677
MW	228997,00	39822,67	0,3514	731	124454,00	51596,33	0,8823	716
STABW	5484,59	2549,97	0,0306	64	3862,54	2614,30	0,0423	34
rel. STABW [%]	2,40	6,40	8,71	8,74	3,10	5,07	4,80	4,80
279	147069	20323	0,2782	747	120989	21671	0,3621	521
M. e. DK	140665	17629	0,2520	677	121387	29565	0,4971	716
	143209	16330	0,2291	615	121715	26577	0,4439	639
MW	143647,67	18094,00	0,2533	680	121363,67	25937,67	0,4341	625
STABW	3224,46	2036,71	0,0246	66	363,56	3985,65	0,0680	98
rel. STABW [%]	2,24	11,26	9,70	9,76	0,30	15,37	15,66	15,72
340	121037	27446	0,4615	961	102266	56512	1,2442	1010
C. e. DK	111992	26506	0,4825	1005	109873	58684	1,1917	967
	113998	24997	0,4458	928	107366	51658	1,0489	851
MW	115675,67	26316,33	0,4631	964	106501,67	55618,00	1,1588	941
STABW	4750,15	1235,47	0,0184	38	3876,46	3597,30	0,1011	82
rel. STABW [%]	4,11	4,69	3,98	3,99	3,64	6,47	8,72	8,73

Tab. 8.44: Alter des Schalenmaterials von Kern B2

8.4.2.11. Kern B3

	Kern B3							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
145	121789	8544	0,1405	375	96144	12118	0,2534	364
M. e.	119892	8699	0,1454	389	102871	11139	0,2174	312
	118737	9054	0,1528	409	103955	14329	0,2774	399
MW	120139,33	8765,67	0,1462	391	100990,00	12528,67	0,2494	358
STABW	1540,96	261,45	0,0062	17	4231,61	1634,17	0,0302	44
rel. STABW [%]	1,28	2,98	4,23	4,27	4,19	13,04	12,11	12,19
245	97555	13888	0,2867	770	49463	11441	0,4711	679
M. e.	102187	14689	0,2895	778	50077	12178	0,4963	715
	103978	11398	0,2201	591	51068	11300	0,4500	648
MW	101240,00	13325,00	0,2648	711	50202,67	11639,67	0,4723	680
STABW	3314,56	1716,22	0,0393	106	809,85	471,51	0,0232	34
rel. STABW [%]	3,27	12,88	14,83	14,92	1,61	4,05	4,91	4,93
337	239891	54581	0,4632	964	174569	85641	1,0737	871
C. e.	249521	50565	0,4110	856	170585	86836	1,1229	911
	244495	49345	0,4093	852	165797	82344	1,0897	884
MW	244635,67	51497,00	0,4274	890	170317,00	84940,33	1,0952	889
STABW	4816,54	2739,60	0,0306	64	4392,14	2326,52	0,0251	20
rel. STABW [%]	1,97	5,32	7,17	7,19	2,58	2,74	2,29	2,29
360	169855	35988	0,4303	896	101238	46892	1,0027	814
C. e.	165057	32077	0,3937	819	101697	49062	1,0523	854
	163227	29911	0,3707	771	112063	50679	0,9750	791
MW	166046,33	32658,67	0,3986	830	104999,33	48877,67	1,0086	819
STABW	3422,96	3079,97	0,0300	63	6121,62	1900,22	0,0392	32
rel. STABW [%]	2,06	9,43	7,54	7,56	5,83	3,89	3,88	3,89
374-377	144786	36214	0,5111	1065	89321	43588	1,0668	866
C. e.	140986	31878	0,4602	958	88037	49833	1,2834	1042
	139892	33688	0,4913	1023	80467	47663	1,3625	1106
MW	141888,00	33926,67	0,4877	1016	85941,67	47028,00	1,2288	997
STABW	2568,66	2177,83	0,0257	54	4784,47	3170,56	0,1531	124
rel. STABW [%]	1,81	6,42	5,26	5,28	5,57	6,74	12,46	12,47

Tab. 8.45: Alter des Schalenmaterials von Kern B3

8.4.2.12. Kern B4

	Kern B4							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
85	74681	3787	0,1015	236	39851	4862	0,2452	232
S. p.	70369	3068	0,0873	202	38411	4068	0,2126	201
	72158	3595	0,0997	232	32417	3901	0,2418	229
MW	72402,67	3483,33	0,0963	224	36893,00	4277,00	0,2329	220
STABW	2166,39	372,28	0,0078	18	3942,63	513,46	0,0179	17
rel. STABW [%]	2,99	10,69	8,06	8,17	10,69	12,01	7,70	7,74
94	233091	16689	0,1434	297	117368	21177	0,3649	295
C. e.	230987	21388	0,1857	385	121777	23241	0,3864	313
	222702	19821	0,1785	370	129876	20189	0,3134	254
MW	228926,67	19299,33	0,1690	350	123007,00	21535,67	0,3538	286
STABW	5492,41	2392,54	0,0226	47	6344,07	1557,29	0,0375	30
rel. STABW [%]	2,40	12,40	13,38	13,48	5,16	7,23	10,60	10,64
105-110	210871	14787	0,1405	291	165902	28981	0,3530	286
C. e.	217668	14563	0,1340	277	167121	28117	0,3397	275
	209855	17465	0,1668	346	170336	26458	0,3132	253
MW	212798,00	15605,00	0,1469	304	167786,33	27852,00	0,3351	271
STABW	4248,03	1614,70	0,0174	36	2290,65	1282,21	0,0203	16
rel. STABW [%]	2,00	10,35	11,83	11,94	1,37	4,60	6,05	6,07

105-110	37796	2341	0,1240	289	14565	2021	0,2793	265
S. p.	34796	2209	0,1271	296	21687	2107	0,1949	184
	35698	2336	0,1311	306	22236	2308	0,2083	197
MW	36096,67	2295,33	0,1273	297	19496,00	2145,33	0,2210	209
STABW	1539,22	74,81	0,0035	8	4279,18	147,29	0,0453	43
rel. STABW [%]	4,26	3,26	2,77	2,79	21,95	6,87	20,52	20,64
140-145	200894	18655	0,1863	386	163389	30677	0,3800	308
C. e. DK	199241	19722	0,1986	412	169776	35642	0,4262	345
	193275	23587	0,2453	510	159972	40454	0,5170	419
MW	197803,33	20654,67	0,2096	435	164379,00	35591,00	0,4400	356
STABW	4007,80	2594,91	0,0311	65	4976,41	4888,70	0,0697	57
rel. STABW [%]	2,03	12,56	14,86	14,95	3,03	13,74	15,84	15,88
140-145	79965	6520	0,1634	382	56581	10977	0,3930	373
S. p.	72322	6307	0,1749	409	50322	9985	0,4022	382
	70287	6668	0,1903	445	51147	9755	0,3862	366
MW	74191,33	6498,33	0,1756	410	52683,33	10239,00	0,3937	374
STABW	5102,62	181,47	0,0135	32	3400,59	649,39	0,0080	8
rel. STABW [%]	6,88	2,79	7,68	7,74	6,45	6,34	2,04	2,05
190	266997	32355	0,2436	506	189894	56065	0,6086	494
C. e.	261033	36898	0,2846	592	186533	60584	0,6740	547
	260081	40497	0,3140	653	180698	53988	0,6163	500
MW	262703,67	36583,33	0,2803	583	185708,33	56879,00	0,6329	513
STABW	3748,48	4080,11	0,0354	74	4653,13	3372,50	0,0357	29
rel. STABW [%]	1,43	11,15	12,62	12,68	2,51	5,93	5,64	5,66
232	212558	32084	0,3042	633	198896	71211	0,7493	608
C. e.	207961	30297	0,2935	610	191220	70655	0,7757	629
	216687	31658	0,2943	612	197964	69447	0,7327	594
MW	212402,00	31346,33	0,2973	618	196026,67	70437,67	0,7522	610
STABW	4365,09	933,38	0,0060	12	4188,70	901,86	0,0217	18
rel. STABW [%]	2,06	2,98	2,01	2,02	2,14	1,28	2,88	2,89
232	32877	4658	0,2853	669	19956	6565	0,6834	649
S. p.	32028	5003	0,3150	739	22173	7666	0,7212	685
	29793	5217	0,3539	830	23876	8654	0,7594	722
MW	31566,00	4959,33	0,3168	743	22001,67	7628,33	0,7234	687
STABW	1593,06	282,05	0,0344	81	1965,61	1045,01	0,0380	36
rel. STABW [%]	5,05	5,69	10,86	10,90	8,93	13,70	5,26	5,27
270	230378	52344	0,4625	963	189567	99598	1,1675	948
C. e. DK	233098	49354	0,4300	895	180684	90644	1,1031	895
	237498	51328	0,4392	914	176993	89862	1,1193	909
MW	233658,00	51008,67	0,4438	924	182414,67	93368,00	1,1305	918
STABW	3592,88	1520,36	0,0168	35	6463,19	5409,49	0,0335	27
rel. STABW [%]	1,54	2,98	3,78	3,79	3,54	5,79	2,97	2,97
270	122887	21874	0,3598	968	121177	35455	0,6028	869
M. e.	129932	19965	0,3098	833	120987	34976	0,5951	858
	130689	19892	0,3068	825	119883	30237	0,5156	743
MW	127836,00	20577,00	0,3248	873	120682,33	33556,00	0,5711	823
STABW	4302,64	1123,83	0,0298	81	698,73	2884,30	0,0483	70
rel. STABW [%]	3,37	5,46	9,18	9,22	0,58	8,60	8,46	8,48
373	202879	56598	0,5731	1194	147873	83551	1,2803	1039
C. e.	196657	59317	0,6226	1298	143056	86604	1,4032	1139
	192357	60781	0,6544	1364	139565	89823	1,5286	1241
MW	197297,67	58898,67	0,6158	1283	143498,00	86659,33	1,3985	1135
STABW	5290,18	2122,65	0,0409	85	4171,60	3136,37	0,1241	101
rel. STABW [%]	2,68	3,60	6,65	6,66	2,91	3,62	8,87	8,88
381	146983	45985	0,6474	1349	130358	88202	1,6457	1336
C. e.	140698	42932	0,6303	1314	139986	86556	1,4446	1173
	144168	41588	0,5938	1237	138154	84654	1,4266	1158
MW	143949,67	43501,67	0,6239	1300	136166,00	86470,67	1,4996	1218
STABW	3148,18	2253,17	0,0274	57	5112,60	1775,54	0,1216	99
rel. STABW [%]	2,19	5,18	4,39	4,40	3,75	2,05	8,11	8,12

Tab. 8.46: Alter des Schalenmaterials von Kern B4

8.4.2.13. Kern B5

	Kern B5							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
120	255722	32688	0,2571	534	173994	47955	0,5659	459
C. e.	265892	30985	0,2341	486	170865	50988	0,6155	499
	260774	29822	0,2297	477	181809	49822	0,5624	456
MW	260796,00	31165,00	0,2401	499	175556,00	49588,33	0,5807	471
STABW	5085,04	1441,45	0,0147	31	5636,72	1529,94	0,0297	24
rel. STABW [%]	1,95	4,63	6,11	6,14	3,21	3,09	5,12	5,13
140	208791	26574	0,2559	532	98983	29892	0,6234	506
C. e.	211018	30985	0,2958	615	110087	28711	0,5339	433
	217657	29891	0,2764	575	102985	29687	0,5933	481
MW	212488,67	29150,00	0,2761	574	104018,33	29430,00	0,5817	472
STABW	4612,34	2296,96	0,0199	42	5623,66	631,05	0,0455	37
rel. STABW [%]	2,17	7,88	7,22	7,26	5,41	2,14	7,83	7,84
315	197982	50989	0,5270	1098	105878	59873	1,2817	1041
C. e. DK	179966	51819	0,5926	1235	106987	57655	1,2052	978
	182889	49855	0,5593	1165	101144	58830	1,3299	1080
MW	186945,67	50887,67	0,5585	1164	104669,67	58786,00	1,2704	1031
STABW	9668,84	985,91	0,0328	69	3103,26	1109,65	0,0629	51
rel. STABW [%]	5,17	1,94	5,88	5,89	2,96	1,89	4,95	4,95

340	186890	48853	0,5352	1115	98937	55278	1,2619	1024
C. e. DK	180697	51998	0,5923	1234	91127	50981	1,2641	1026
	182653	49721	0,5585	1164	95697	53998	1,2781	1038
MW	183413,33	50190,67	0,5616	1170	95253,67	53419,00	1,2680	1029
STABW	3165,74	1624,25	0,0287	60	3923,83	2206,24	0,0088	7
rel. STABW [%]	1,73	3,24	5,11	5,12	4,12	4,13	0,69	0,69
360	144862	46882	0,6714	1399	122746	86575	1,7556	1426
C. e. DK	140981	45582	0,6707	1398	126573	80355	1,4990	1217
	148983	43389	0,5998	1250	120074	79731	1,5999	1299
MW	144942,00	45284,33	0,6465	1347	123131,00	82220,33	1,6133	1310
STABW	4001,60	1765,42	0,0411	86	3266,56	3784,14	0,1293	105
rel. STABW [%]	2,76	3,90	6,36	6,37	2,65	4,60	8,01	8,02

Tab. 8.47: Alter des Schalenmaterials von Kern B5

8.4.2.14. Kern C1

	Kern C1							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
25	238958	5651	0,0473	96	106699	5658	0,1062	85
C. e.	239969	5997	0,0500	102	111069	6228	0,1123	90
	241784	5701	0,0472	96	99627	5797	0,1165	94
MW	240237,00	5783,00	0,0482	98	105798,33	5894,33	0,1115	90
STABW	1431,93	187,01	0,0016	3	5773,93	297,20	0,0052	4
rel. STABW [%]	0,60	3,23	3,31	3,40	5,46	5,04	4,66	4,72
60	201878	6582	0,0652	134	117856	9302	0,1582	127
C. e.	211997	6689	0,0631	129	112980	9655	0,1713	138
	208947	6989	0,0669	137	116558	9450	0,1625	131
MW	207607,33	6753,33	0,0651	133	115798,00	9469,00	0,1639	132
STABW	5190,82	210,99	0,0019	4	2525,28	177,27	0,0067	5
rel. STABW [%]	2,50	3,12	2,92	2,98	2,18	1,87	4,09	4,12
300	174468	33278	0,3862	804	98565	39898	0,8587	697
C. e.	179299	33087	0,3733	777	96277	46898	1,0645	864
	170988	32908	0,3898	811	92878	40989	0,9477	769
MW	174918,33	33091,00	0,3830	797	95906,67	42595,00	0,9547	775
STABW	4173,76	185,03	0,0086	18	2861,53	3766,22	0,1032	84
rel. STABW [%]	2,39	0,56	2,26	2,26	2,98	8,84	10,81	10,83
402	188757	73892	0,8271	1724	166598	129892	2,0891	1697
C. e.	184480	70791	0,8089	1686	159898	123818	2,0622	1675
	180096	69827	0,8182	1706	157688	124690	2,1468	1743
MW	184444,33	71503,33	0,8181	1706	161394,67	126133,33	2,0985	1704
STABW	4330,61	2124,06	0,0091	19	4639,72	3284,17	0,0432	35
rel. STABW [%]	2,35	2,97	1,11	1,11	2,87	2,60	2,06	2,06
402	115782	37800	0,6778	1413	99528	65221	1,5691	1274
C. e. DK	117955	39881	0,7039	1467	90598	62089	1,6782	1363
	116897	40879	0,7302	1522	91780	68550	1,9318	1569
MW	116878,00	39520,00	0,7040	1467	93968,67	65286,67	1,7142	1392
STABW	1086,62	1570,92	0,0262	55	4850,66	3231,00	0,1861	151
rel. STABW [%]	0,93	3,98	3,73	3,73	5,16	4,95	10,86	10,86

Tab. 8.48: Alter des Schalenmaterials von Kern C1

8.4.2.15. Kern C2

	Kern C2							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
267	348961	66554	0,3862	804	160791	71388	0,9544	774
C. e.	333944	60971	0,3693	768	156898	69891	0,9580	777
	340868	63278	0,3756	782	160972,00	72025,67	0,9630	781
MW	341257,67	63601,00	0,3772	785	4167,45	2514,88	0,0117	9
STABW	7516,08	2805,48	0,0085	18	2,59	3,49	1,21	1,21
rel. STABW [%]	2,20	4,41	2,26	2,27	121777	29797	0,4995	720
267	297915	39894	0,2694	724	117745	29895	0,5191	748
M. e.	298367	40198	0,2711	728	123878	25799	0,4227	609
	294765	43569	0,2978	801	121133,33	28497,00	0,4795	691
MW	297015,67	41220,33	0,2794	751	3116,75	2337,05	0,0510	74
STABW	1962,19	2039,68	0,0159	43	2,57	8,20	10,63	10,66
rel. STABW [%]	0,66	4,95	5,70	5,73	217879	89813	0,8766	711
290	698914	126777	0,3668	763	224765	88565	0,8331	676
C. e.	693275	120987	0,3526	734	225978	90487	0,8483	688
	693577	133884	0,3910	814	222874,00	89621,67	0,8523	692
MW	695255,33	127216,00	0,3701	770	4368,11	975,18	0,0220	18
STABW	3172,09	6459,70	0,0194	40	1,96	1,09	2,59	2,59
rel. STABW [%]	0,46	5,08	5,24	5,25	187648	80769	0,9208	747
354-360	468226	86555	0,3740	778	183672	86877	1,0279	834
C. e.	460878	90544	0,3981	829	184762	80277	0,9308	755
	455987	89824	0,3992	831	185360,67	82641,00	0,9590	778
MW	461697,00	88974,33	0,3903	812	2054,49	3676,72	0,0591	48
STABW	6160,47	2125,91	0,0142	30	1,11	4,45	6,16	6,17
rel. STABW [%]	1,33	2,39	3,65	3,66	179685	49792	0,5691	820

354-360	209468	30989	0,2981	801	169827	42988	0,5175	746
M. e.	211467	33209	0,3167	852	179658	46898	0,5344	770
	219887	33698	0,3089	831	176390,00	46559,33	0,5407	779
MW	213607,33	32632,00	0,3079	828	5683,74	3414,62	0,0263	38
STABW	5529,44	1443,73	0,0094	25	3,22	7,33	4,86	4,88
rel. STABW [%]	2,59	4,42	3,04	3,06	68982	29795	0,9245	879
467	96678	16898	0,3532	829	67982	27699	0,8651	822
S. p. DK	92045	17444	0,3837	900	61858	26927	0,9328	887
	96647	17613	0,3686	865	66274,00	28140,33	0,9066	862
MW	95123,33	17318,33	0,3682	864	3856,91	1484,06	0,0369	35
STABW	2665,96	373,70	0,0152	36	5,82	5,27	4,08	4,08
rel. STABW [%]	2,80	2,16	4,14	4,15	203898	113827	1,2606	1023
560	688187	164987	0,4890	1018	217866	114879	1,1728	952
C. e.	666184	185982	0,5736	1195	211997	120987	1,2971	1053
	676469	177922	0,5387	1122	160791	71388	0,9544	774
MW	676946,67	176297,00	0,5331	1111	211253,67	116564,33	1,2419	1008
STABW	11009,27	10591,41	0,0425	89	7013,61	3866,09	0,0639	52
rel. STABW [%]	1,63	6,01	7,97	7,99	3,32	3,32	5,15	5,15

Tab. 8.49: Alter des Schalenmaterials von Kern C2

8.4.2.16. Kern D1

	Kern D1							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
5	248662	652	0,0052	8	131647	546	0,0083	6
C. e.	240677	851	0,0071	12	132878	721	0,0109	8
	241698	665	0,0055	9	127631	577	0,0090	6
MW	243679,00	722,67	0,0059	10	130718,67	614,67	0,0094	7
STABW	4345,50	111,33	0,0010	2	2743,92	93,38	0,0013	1
rel. STABW [%]	1,78	15,41	16,67	21,36	2,10	15,19	13,98	16,23
5	339592	587	0,0035	5	208967	565	0,0054	6
M. e. DK	338487	698	0,0041	7	198981	438	0,0044	4
	369740	787	0,0043	7	208791	499	0,0048	5
MW	349273,00	690,67	0,0040	6	205579,67	500,67	0,0049	5
STABW	17733,55	100,20	0,0004	1	5715,29	63,52	0,0005	1
rel. STABW [%]	5,08	14,51	10,84	18,20	2,78	12,69	10,42	15,52
242	46411	6418	0,2784	652	15767	4238	0,5511	523
S. p. DK	49773	6651	0,2689	630	14677	4289	0,6020	572
	50878	7009	0,2773	650	14768	4976	0,7013	666
MW	49020,67	6692,67	0,2748	644	15070,67	4501,00	0,6161	585
STABW	2326,59	297,70	0,0052	12	604,76	412,15	0,0764	73
rel. STABW [%]	4,75	4,45	1,89	1,90	4,01	9,16	12,40	12,42
258	65823	8891	0,2718	637	24876	8866	0,7455	708
S. p. DK	65714	9065	0,2777	651	29773	8651	0,5984	568
	62933	9576	0,3067	719	32797	9521	0,5978	568
MW	64823,33	9177,33	0,2851	668	29148,67	9012,67	0,6393	607
STABW	1637,98	356,05	0,0187	44	3997,24	453,16	0,0851	81
rel. STABW [%]	2,53	3,88	6,56	6,59	13,71	5,03	13,32	13,34

Tab. 8.50: Alter des Schalenmaterials von Kern D1

8.4.2.17. Kern D2

	Kern D2							
Tiefe [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
45	234878	7589	0,0646	132	154722	11874	0,1538	124
C. e. DK	230797	7368	0,0639	131	150387	9993	0,1331	107
	236975	7690	0,0649	133	157657	9902	0,1258	101
MW	234216,67	7549,00	0,0645	132	154255,33	10589,67	0,1375	111
STABW	3141,65	164,68	0,0005	1	3657,40	1113,20	0,0145	12
rel. STABW [%]	1,34	2,18	0,85	0,86	2,37	10,51	10,56	10,67
45	369419	7674	0,0416	108	193517	6237	0,0645	91
M. e.	379561	7056	0,0372	96	193048	6099	0,0632	89
	375756	7397	0,0394	102	189463	6397	0,0676	95
MW	374912,00	7375,67	0,0394	102	192009,33	6244,33	0,0651	92
STABW	5123,41	309,55	0,0022	6	2217,62	149,14	0,0022	3
rel. STABW [%]	1,37	4,20	5,55	5,79	1,15	2,39	3,43	3,52
60	197931	6974	0,0705	145	120927	8564	0,1419	114
C. e.	196308	7307	0,0745	153	111752	9056	0,1624	131
	190770	6822	0,0716	147	117923	8839	0,1502	121
MW	195003,00	7034,33	0,0722	148	116867,33	8819,67	0,1512	122
STABW	3754,63	248,07	0,0021	4	4677,71	246,57	0,0103	8
rel. STABW [%]	1,93	3,53	2,86	2,91	4,00	2,80	6,84	6,90
60	300711	6971	0,0464	121	180394	6489	0,0720	102
M. e.	296385	6597	0,0445	116	189347	6669	0,0705	100
	293747	3866	0,0263	67	182208	6307	0,0693	98
MW	296947,67	5811,33	0,0391	101	183983,00	6488,33	0,0706	100
STABW	3515,93	1695,05	0,0111	30	4733,08	181,00	0,0014	2
rel. STABW [%]	1,18	29,17	28,30	29,51	2,57	2,79	1,93	1,97

90	106764	8787	0,1650	342	65898	9852	0,3013	244
C. e. DK	118764	8304	0,1401	290	63097	9935	0,3176	257
	114709	8644	0,1510	313	67418	10358	0,3097	251
MW	113412,33	8578,33	0,1516	314	65471,00	10048,33	0,3094	250
STABW	6104,18	248,11	0,0125	26	2191,92	271,37	0,0081	7
rel. STABW [%]	5,38	2,89	8,24	8,31	3,35	2,70	2,63	2,64
144-151	234641	22377	0,1913	397	116933	23241	0,4029	326
C. e.	237810	17689	0,1490	309	121863	20796	0,3447	279
	237974	20359	0,1715	355	127392	19668	0,3113	252
MW	236808,33	20141,67	0,1705	353	122062,67	21235,00	0,3515	285
STABW	1878,76	2351,54	0,0212	44	5232,36	1826,51	0,0464	38
rel. STABW [%]	0,79	11,68	12,40	12,50	4,29	8,60	13,19	13,24
144-151	71645	5441	0,1522	355	39954	6464	0,3264	310
S. p. DK	68945	5389	0,1566	366	33647	6567	0,3954	375
	73097	5627	0,1543	360	36594	6358	0,3510	333
MW	71229,00	5485,67	0,1543	360	36731,67	6463,00	0,3556	337
STABW	2107,03	125,13	0,0022	5	3155,75	104,50	0,0350	33
rel. STABW [%]	2,96	2,28	1,45	1,46	8,59	1,62	9,83	9,87
145	198744	21321	0,2154	447	121097	32917	0,5577	452
C. e.	190762	17894	0,1882	390	129347	28464	0,4474	363
	192578	20876	0,2177	452	120647	26898	0,4535	367
MW	194028,00	20030,33	0,2072	430	123697,00	29426,33	0,4851	393
STABW	4183,89	1863,45	0,0164	34	4898,21	3122,76	0,0620	50
rel. STABW [%]	2,16	9,30	7,92	7,97	3,96	10,61	12,77	12,81
145	63044	6549	0,2085	488	21098	4217	0,4052	385
S. p.	59811	6743	0,2264	530	24469	4652	0,3849	365
	67437	6346	0,1888	441	29941	4987	0,3363	319
MW	63430,67	6546,00	0,2071	485	25169,33	4618,67	0,3712	352
STABW	3827,68	198,52	0,0188	44	4462,90	386,08	0,0354	34
rel. STABW [%]	6,03	3,03	9,10	9,16	17,73	8,36	9,55	9,58
167	86564	8551	0,1982	464	55681	12124	0,4426	420
S. p. DK	82346	8934	0,2178	510	62076	16845	0,5567	529
	81670	8760	0,2154	504	66388	14587	0,4467	424
MW	83526,67	8748,33	0,2102	492	61381,67	14518,67	0,4822	458
STABW	2652,03	191,77	0,0107	25	5387,16	2361,24	0,0647	62
rel. STABW [%]	3,18	2,19	5,08	5,12	8,78	16,26	13,42	13,46
180	76114	6754	0,1779	416	19761	4546	0,4685	445
S. p. DK	72045	6550	0,1823	426	21337	3746	0,3548	337
	74331	6849	0,1848	432	22258	4045	0,3675	349
MW	74163,33	6717,67	0,1817	425	21118,67	4112,33	0,3945	374
STABW	2039,68	152,78	0,0035	8	1262,74	404,23	0,0623	59
rel. STABW [%]	2,75	2,27	1,92	1,93	5,98	9,83	15,79	15,84
190	56138	6374	0,2281	534	21868	5532	0,5172	491
S. p. DK	52748	6099	0,2323	544	27671	6417	0,4724	448
	51766	5983	0,2322	544	23466	5774	0,5024	477
MW	53550,67	6152,00	0,2308	540	24335,00	5907,67	0,4954	470
STABW	2293,86	200,82	0,0024	6	2997,51	457,39	0,0228	22
rel. STABW [%]	4,28	3,26	1,04	1,05	12,32	7,74	4,61	4,62
260	42069	8657	0,4175	980	30871	13771	0,9596	912
S. p. DK	39627	8623	0,4423	1038	33486	14564	0,9319	886
	41973	8209	0,3963	930	32876	15445	1,0196	969
MW	41223,00	8496,33	0,4182	982	32411,00	14593,33	0,9700	922
STABW	1383,01	249,42	0,0230	54	1368,11	837,39	0,0448	43
rel. STABW [%]	3,35	2,94	5,51	5,52	4,22	5,74	4,62	4,63
335	123795	20943	0,3416	711	45451	18748	0,8772	712
C. e.	124766	24564	0,3990	830	49765	19944	0,8491	689
	123879	25430	0,4165	867	51863	23274	0,9663	784
MW	124146,67	23645,67	0,3856	803	49026,33	20655,33	0,8986	729
STABW	538,00	2380,29	0,0391	82	3269,20	2345,35	0,0612	50
rel. STABW [%]	0,43	10,07	10,15	10,19	6,67	11,35	6,81	6,82
335	42208	6457	0,3084	723	17466	5964	0,7115	676
S. p.	36764	6344	0,3486	818	16651	5742	0,7192	683
	37140	6598	0,3591	843	15674	5673	0,7582	721
MW	38704,00	6466,33	0,3373	791	16597,00	5793,00	0,7287	692
STABW	3040,37	127,26	0,0268	63	897,22	152,06	0,0251	24
rel. STABW [%]	7,86	1,97	7,94	7,97	5,41	2,62	3,44	3,45

Tab. 8.51: Alter des Schalenmaterials von Kern D2

8.4.3. Hallig Hooge

8.4.3.1. Bohrung Hoo-06-01

	Bohrung Hoo-06-01							
Tiefe u. GOK [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
14	329189	19287	0,1173	242	177545	22375	0,2534	205
C. e.	307531	20223	0,1317	272	167637	23656	0,2841	230
	369440	23544	0,1276	264	180671	26577	0,2964	240
MW	335386,67	21018,00	0,1255	259	175284,33	24202,67	0,2779	225
STABW	31416,39	2237,08	0,0074	15	6804,72	2153,68	0,0221	18
rel. STABW [%]	9,37	10,64	5,91	5,97	3,88	8,90	7,96	8,00
366-369	21557	4859	0,4587	955	18646	8532	0,9885	802
C. e.	20484	4999	0,4981	1038	15129	7445	1,0777	875
	23557	5074	0,4376	911	16334	8844	1,2124	984
MW	21866,00	4977,33	0,4634	965	16703,00	8273,67	1,0862	882
STABW	1559,63	109,13	0,0307	64	1787,30	734,41	0,1127	92
rel. STABW [%]	7,13	2,19	6,63	6,65	10,70	8,88	10,38	10,39

442	33716	9487	0,5784	1205	15075	8588	1,2941	1051
C. e.	36037	9024	0,5117	1066	18256	10769	1,3550	1100
	40699	11577	0,5850	1219	16884	10577	1,4711	1194
MW	36817,33	10029,33	0,5589	1165	16738,33	9978,00	1,3742	1116
STABW	3556,30	1360,16	0,0406	85	1595,50	1207,60	0,0899	73
rel. STABW [%]	9,66	13,56	7,26	7,27	9,53	12,10	6,54	6,55
445	63774	18644	0,6023	1255	19794	12477	1,4840	1205
C. e.	54722	16588	0,6259	1304	21547	13008	1,3979	1135
	60567	17454	0,5932	1236	21544	12982	1,3944	1132
MW	59687,67	17562,00	0,6064	1264	20961,67	12822,33	1,4233	1156
STABW	4589,62	1032,25	0,0169	35	1011,23	299,35	0,0507	41
rel. STABW [%]	7,69	5,88	2,79	2,80	4,82	2,33	3,56	3,57
455	39296	15335	0,8242	1718	27231	20819	2,0141	1636
C. e.	50123	17741	0,7399	1542	24790	18430	1,9163	1556
	43369	15577	0,7519	1567	30785	21877	1,7769	1443
MW	44262,67	16217,67	0,7685	1602	27602,00	20375,33	1,8930	1537
STABW	5468,54	1324,78	0,0456	95	3014,67	1765,81	0,1192	97
rel. STABW [%]	12,35	8,17	5,93	5,94	10,92	8,67	6,30	6,30
504-509	30264	13465	0,9567	1995	14657	11844	2,2429	1822
C. e.	29988	12547	0,8915	1859	17845	14407	2,2387	1818
	36689	15387	0,8939	1864	20687	16772	2,2584	1834
MW	32313,67	13799,67	0,9126	1903	17729,67	14341,00	2,2475	1825
STABW	3791,66	1449,28	0,0370	77	3016,65	2464,66	0,0104	8
rel. STABW [%]	11,73	10,50	4,05	4,06	17,01	17,19	0,46	0,46

Tab. 8.52: Alter des Schalenmaterials von Bohrung Hoo-06-01

8.4.3.2. Bohrung Hoo-06-02

	Bohrung Hoo-06-02							
Tiefe u. GOK [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
351,5-353	311389	56284	0,3655	984	86280	24998	0,5965	860
M. e.	237286	47206	0,4033	1086	73553	21556	0,6038	870
	206789	40547	0,3973	1069	80046	25474	0,6594	951
MW	251821,33	48012,33	0,3860	1039	79959,67	24009,33	0,6196	893
STABW	53793,56	7899,43	0,0203	55	6363,94	2137,94	0,0344	50
rel. STABW [%]	21,36	16,45	5,26	5,28	7,96	8,90	5,55	5,56
376	65184	18411	0,5807	1364	56327	32471	1,3143	1250
S. p.	60872	17847	0,6041	1419	50492	29452	1,3349	1270
	71069	18598	0,5358	1259	61478	36622	1,3729	1306
MW	65708,33	18285,33	0,5716	1343	56099,00	32848,33	1,3417	1276
STABW	5118,68	390,95	0,0347	82	5496,55	3599,86	0,0297	28
rel. STABW [%]	7,79	2,14	6,07	6,08	9,80	10,96	2,21	2,22
410	40887	17828	0,9346	1949	35138	27849	2,1566	1751
C. e.	53474	23344	0,9359	1952	42254	30577	1,8305	1486
	42236	16712	0,8370	1745	34810	26487	1,9967	1622
MW	45532,33	19294,67	0,9045	1886	37400,67	28304,33	1,9773	1606
STABW	6910,68	3550,94	0,0567	118	4206,31	2082,67	0,1630	132
rel. STABW [%]	15,18	18,40	6,27	6,28	11,25	7,36	8,25	8,25
412-416	46259	24456	1,1766	2454	23112	19081	2,3482	1907
C. e.	51530	26833	1,1547	2409	39132	32724	2,4171	1963
	43358	20485	1,0265	2141	30895	24874	2,2260	1808
MW	47049,00	23924,67	1,1214	2339	31046,33	25559,67	2,3338	1895
STABW	4142,88	3207,18	0,0811	169	8011,07	6847,30	0,0968	79
rel. STABW [%]	8,81	13,41	7,23	7,24	25,80	26,79	4,15	4,15
422-426	13310	8524	1,5178	3167	11127	10466	3,4864	2832
C. e.	15981	9592	1,3870	2894	11044	10168	3,1870	2589
	16096	10225	1,5003	3130	13554	12763	3,5047	2847
MW	15129,00	9447,00	1,4645	3056	11908,33	11132,33	3,3909	2754
STABW	1576,35	859,72	0,0710	148	1425,79	1420,04	0,1784	145
rel. STABW [%]	10,42	9,10	4,85	4,85	11,97	12,76	5,26	5,26
450	44454	26293	1,3598	3199	35634	31515	2,7913	2656
S. p.	31453	19563	1,4564	3426	34303	30174	2,7483	2615
	50217	29744	1,3624	3205	40872	36441	2,8592	2721
MW	42041,33	25200,00	1,3845	3257	36936,33	32710,00	2,8021	2666
STABW	9611,85	5177,76	0,0550	130	3472,75	3299,98	0,0559	53
rel. STABW [%]	22,86	20,55	3,98	3,98	9,40	10,09	2,00	2,00

Tab. 8.53: Alter des Schalenmaterials von Bohrung Hoo-06-02

8.4.3.3. Aufschluss H06/DR01

	Aufschluss H06/DR01							
Tiefe u. GOK [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
13-16	14465	103	0,0142	27	8722	145	0,0333	26
C. e.	17535	130	0,0148	28	8940	156	0,0349	27
	15207	97	0,0128	24	8207	119	0,0290	23
MW	16000,00	110,00	0,0138	26	8623,00	140,00	0,0325	25
STABW	2170,82	17,58	0,0011	2	376,39	19,00	0,0030	2
rel. STABW [%]	13,57	15,98	7,76	8,57	4,37	13,57	9,38	9,77

16-27	52521	534	0,0203	40	34709	650	0,0375	29
C. e.	94147	724	0,0154	29	63197	1123	0,0355	28
	75980	598	0,0157	30	54719	904	0,0330	26
MW	74216,00	618,67	0,0167	32	50875,00	892,33	0,0351	27
STABW	20868,99	96,67	0,0028	6	14627,84	236,72	0,0022	2
rel. STABW [%]	28,12	15,63	16,57	17,97	28,75	26,53	6,31	6,55
27-29	19259	258	0,0268	53	17266	514	0,0596	47
C. e.	35346	524	0,0297	59	12359	408	0,0660	53
	20467	248	0,0242	48	12386	425	0,0687	55
MW	25024,00	343,33	0,0274	55	14003,67	449,00	0,0641	51
STABW	8959,50	156,54	0,0027	6	2825,30	56,93	0,0047	4
rel. STABW [%]	35,80	45,59	9,87	10,37	20,18	12,68	7,30	7,45
29-37	331955	5268	0,0317	64	249184	8823	0,0708	57
C. e.	359345	5622	0,0313	63	228650	7814	0,0684	55
	349985	4577	0,0262	52	230568	9089	0,0789	63
MW	347095,00	5155,67	0,0297	59	236134,00	8575,33	0,0727	58
STABW	13921,82	531,48	0,0031	6	11342,25	672,61	0,0055	4
rel. STABW [%]	4,01	10,31	10,44	10,92	4,80	7,84	7,56	7,70
68-87	76399	2181	0,0571	117	55378	3962	0,1433	115
C. e.	40887	1181	0,0578	118	35138	2449	0,1396	112
	56578	1558	0,0551	112	45649	2987	0,1311	105
MW	57954,67	1640,00	0,0566	116	45388,33	3132,67	0,1383	111
STABW	17795,98	505,02	0,0014	3	10122,52	766,95	0,0063	5
rel. STABW [%]	30,71	30,79	2,48	2,54	22,30	24,48	4,55	4,60

Tab. 8.54: Alter des Schalenmaterials von Aufschluss H06/DR01

8.4.3.4. Aufschluss H06/KW03

	Aufschluss H06/KW03							
Tiefe u. GOK [cm]	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
11-14	36794	194	0,0105	19	21844	201	0,0184	14
C. e.	30887	120	0,0078	14	20369	248	0,0244	19
	25791	126	0,0098	18	19720	200	0,0203	15
MW	31157,33	146,67	0,0094	17	20644,33	216,33	0,0210	16
STABW	5506,48	41,10	0,0014	3	1088,44	27,43	0,0030	2
rel. STABW [%]	17,67	28,02	15,21	17,65	5,27	12,68	14,51	15,47
14-16,5	266699	1444	0,0108	20	73656	1181	0,0321	25
C. e.	119476	1038	0,0174	34	68213	1058	0,0310	24
	280978	1934	0,0138	26	70987	1048	0,0295	23
MW	222384,33	1472,00	0,0132	25	70952,00	1095,67	0,0309	24
STABW	89406,75	448,66	0,0033	7	2721,67	74,07	0,0013	1
rel. STABW [%]	40,20	30,48	24,77	27,47	3,84	6,76	4,14	4,32
16,5-25	289531	3148	0,0217	43	159551	4136	0,0519	41
C. e.	270716	3102	0,0229	45	129723	3687	0,0569	45
	240975	2977	0,0247	49	136998	3487	0,0509	40
MW	267074,00	3075,67	0,0230	45	142090,67	3770,00	0,0531	42
STABW	24482,02	88,49	0,0015	3	15552,45	332,37	0,0032	3
rel. STABW [%]	9,17	2,88	6,48	6,87	10,95	8,82	6,02	6,17
25-33,5	62368	498	0,0160	31	32487	566	0,0348	27
C. e.	60897	437	0,0144	27	39792	741	0,0372	29
	54483	485	0,0178	34	40057	668	0,0334	26
MW	59249,33	473,33	0,0160	31	37445,33	658,33	0,0352	28
STABW	4192,78	32,13	0,0017	4	4296,09	87,90	0,0020	2
rel. STABW [%]	7,08	6,79	10,81	11,77	11,47	13,35	5,58	5,80
33,5-44,5	93976	757	0,0161	31	68645	1310	0,0382	30
C. e.	82057	774	0,0189	37	58053	1290	0,0444	35
	76684	770	0,0201	39	70469	1357	0,0385	30
MW	84239,00	767,00	0,0182	35	65722,33	1319,00	0,0401	32
STABW	8850,09	8,89	0,0020	4	6704,16	34,39	0,0035	3
rel. STABW [%]	10,51	1,16	11,18	12,03	10,20	2,61	8,79	9,08
52,5-54,5	27062	565	0,0418	84	36242	1677	0,0926	74
C. e.	23366	455	0,0390	79	19026	941	0,0990	79
	30974	578	0,0373	75	24897	987	0,0793	63
MW	27134,00	532,67	0,0393	79	26721,67	1201,67	0,0900	72
STABW	3804,51	67,57	0,0022	5	8751,84	412,29	0,0100	8
rel. STABW [%]	14,02	12,69	5,72	5,91	32,75	34,31	11,15	11,31
54,5-56	68945	1064	0,0309	62	47165	1454	0,0617	49
C. e.	56976	852	0,0299	60	40978	1680	0,0820	66
	40892	679	0,0332	67	30877	1189	0,0771	62
MW	55604,33	865,00	0,0311	62	39673,33	1441,00	0,0727	58
STABW	14076,71	192,83	0,0017	4	8222,00	245,76	0,0106	9
rel. STABW [%]	25,32	22,29	5,46	5,70	20,72	17,05	14,61	14,87
56-58,5	49967	913	0,0365	74	36473	1643	0,0902	72
C. e.	89609	1477	0,0330	66	64689	2373	0,0734	59
	56870	1089	0,0383	77	56780	2847	0,1004	81
MW	65482,00	1159,67	0,0354	71	52647,33	2287,67	0,0870	70
STABW	21177,75	288,56	0,0027	6	14554,89	606,52	0,0136	11
rel. STABW [%]	32,34	24,88	7,67	7,97	27,65	26,51	15,66	15,89
62,5-74	12893	314	0,0487	99	3852	219	0,1138	91
C. e.	24946	490	0,0393	79	5337	267	0,1001	80
	20898	508	0,0486	99	4079	204	0,1001	80
MW	19579,00	437,33	0,0447	91	4422,67	230,00	0,1041	84
STABW	6133,80	107,19	0,0054	11	799,93	32,91	0,0079	6
rel. STABW [%]	31,33	24,51	12,12	12,49	18,09	14,31	7,60	7,70

74-86,5	54434	1410	0,0518	105	12831	794	0,1239	100
C. e.	34372	834	0,0485	99	10761	656	0,1221	98
	40975	1007	0,0492	100	12789	787	0,1232	99
MW	43260,33	1083,67	0,0501	102	12127,00	745,67	0,1231	99
STABW	10224,38	295,55	0,0017	4	1183,18	77,73	0,0009	1
rel. STABW [%]	23,63	27,27	3,48	3,57	9,76	10,42	0,76	0,77
95,5-101,5	41383	1123	0,0543	111	36361	2625	0,1446	116
C. e.	46449	1306	0,0562	115	37371	2579	0,1382	111
	40976	1244	0,0607	124	30078	2175	0,1449	117
MW	42936,00	1224,33	0,0570	116	34603,33	2459,67	0,1424	115
STABW	3049,15	93,07	0,0033	7	3951,46	247,60	0,0038	3
rel. STABW [%]	7,10	7,60	5,80	5,93	11,42	10,07	2,64	2,67

Tab. 8.55: Alter des Schalenmaterials von Aufschluss H06/KW03

8.4.4. Borkum

	Borkum							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	36441	13652	0,7876	1642	23204	17262	1,9184	1558
C. e.	41309	14954	0,7584	1581	20137	15108	1,9471	1581
	40202	14881	0,7772	1620	24568	18479	1,9558	1588
MW	39317,33	14495,67	0,7738	1613	22636,33	16949,67	1,9404	1576
STABW	2551,73	731,55	0,0148	31	2269,39	1707,07	0,0196	16
rel. STABW [%]	6,49	5,05	1,91	1,92	10,03	10,07	1,01	1,01
2	42303	14209	0,6989	1457	24508	17285	1,7555	1425
C. e.	46268	15157	0,6803	1418	29645	21052	1,7749	1441
	42007	14305	0,7094	1479	27463	19285	1,7433	1416
MW	43526,00	14557,00	0,6956	1450	27205,33	19207,33	1,7584	1428
STABW	2379,25	521,83	0,0148	31	2578,18	1884,70	0,0159	13
rel. STABW [%]	5,47	3,58	2,12	2,13	9,48	9,81	0,91	0,91
3	47985	17482	0,7637	1592	20288	15054	1,9099	1551
C. e.	51477	18999	0,7747	1615	19032	14188	1,9254	1564
	43326	16205	0,7862	1639	24695	18427	1,9286	1566
MW	47596,00	17562,00	0,7745	1615	21338,33	15889,67	1,9217	1561
STABW	4089,40	1398,72	0,0112	23	2974,02	2239,65	0,0100	8
rel. STABW [%]	8,59	7,96	1,45	1,45	13,94	14,10	0,52	0,52

Tab. 8.56: Alter des Schalenmaterials von Borkum

8.4.5. Langeoog

	Langeoog							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1	47545	5854	0,2475	514	28985	8241	0,5848	474
C. e.	53024	6218	0,2356	489	25231	7352	0,6002	487
	56021	6594	0,2365	491	27654	8023	0,5974	484
MW	52196,67	6222,00	0,2395	498	27290,00	7872,00	0,5938	481
STABW	4298,14	370,02	0,0066	14	1903,29	463,34	0,0082	7
rel. STABW [%]	8,23	5,95	2,76	2,78	6,97	5,89	1,38	1,39
2	49552	6058	0,2457	510	30087	8064	0,5495	445
C. e.	43028	5292	0,2472	514	31458	8320	0,5418	439
	46337	5261	0,2281	474	32479	8456	0,5330	432
MW	46305,67	5537,00	0,2403	499	31341,33	8280,00	0,5412	439
STABW	3262,11	451,47	0,0107	22	1200,26	199,04	0,0083	7
rel. STABW [%]	7,04	8,15	4,44	4,46	3,83	2,40	1,52	1,53
3	52214	6287	0,2420	503	36675	9954	0,5568	451
C. e.	50347	6008	0,2398	498	39564	11387	0,5924	480
	49320	5799	0,2363	491	30987	8564	0,5675	460
MW	50627,00	6031,33	0,2394	497	35742,00	9968,33	0,5730	465
STABW	1467,18	244,84	0,0029	6	4363,95	1411,55	0,0183	15
rel. STABW [%]	2,90	4,06	1,21	1,22	12,21	14,16	3,19	3,19

Tab. 8.57: Alter des Schalenmaterials von Langeoog

8.4.6. Mellum

	Mellum							
Probe	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
1A	46223	2722	0,1179	360	28657	4485	0,3156	360
M. a.	40232	2603	0,1296	396	29322	4764	0,3278	374
	43554	2778	0,1277	391	30071	4862	0,3262	372
MW	43336,33	2701,00	0,1248	382	29350,00	4703,67	0,3233	369
STABW	3001,43	89,37	0,0063	19	707,42	195,61	0,0067	8
rel. STABW [%]	6,93	3,31	5,03	5,08	2,41	4,16	2,06	2,07

2A	41003	2387	0,1166	356	19967	2698	0,2719	310
M. a.	39320	2255	0,1148	351	20356	3045	0,3014	344
	40894	2372	0,1161	355	26549	3620	0,2744	313
MW	40405,67	2338,00	0,1159	354	22290,67	3121,00	0,2819	321
STABW	941,79	72,27	0,0009	3	3692,95	465,67	0,0164	19
rel. STABW [%]	2,33	3,09	0,78	0,79	16,57	14,92	5,81	5,84
1B	40369	3821	0,1899	394	26514	5522	0,4227	342
C. e.	37825	3385	0,1795	372	29681	5825	0,3977	322
	36473	3540	0,1947	404	27560	5667	0,4172	338
MW	38222,33	3582,00	0,1880	390	27918,33	5671,33	0,4120	334
STABW	1978,16	221,01	0,0078	16	1613,62	151,55	0,0132	11
rel. STABW [%]	5,18	6,17	4,15	4,18	5,78	2,67	3,19	3,20
2B	32154	2854	0,1780	369	17785	3655	0,4170	338
C. e.	33087	2833	0,1717	356	20692	4088	0,4004	324
	35571	2961	0,1669	346	19354	3983	0,4176	338
MW	33604,00	2882,67	0,1720	356	19277,00	3908,67	0,4112	333
STABW	1766,19	68,65	0,0056	12	1455,03	225,87	0,0097	8
rel. STABW [%]	5,26	2,38	3,24	3,27	7,55	5,78	2,37	2,38
3B	123647	7654	0,1240	331	87611	8564	0,1961	281
M. e.	130689	7521	0,1152	307	80616	8622	0,2147	308
	125558	7756	0,1237	330	83657	8698	0,2087	299
MW	126631,33	7643,67	0,1209	322	83961,33	8628,00	0,2063	296
STABW	3641,63	117,84	0,0050	13	3507,42	67,20	0,0095	14
rel. STABW [%]	2,88	1,54	4,11	4,17	4,18	0,78	4,60	4,64
4B	144567	9952	0,1379	368	93656	10244	0,2196	315
M. e.	140235	8613	0,1230	328	99657	11565	0,2331	335
	149062	9565	0,1285	343	90221	9662	0,2150	308
MW	144621,33	9376,67	0,1299	347	94511,33	10490,33	0,2229	320
STABW	4413,75	689,08	0,0075	20	4775,80	975,12	0,0094	14
rel. STABW [%]	3,05	7,35	5,80	5,88	5,05	9,30	4,23	4,26

Tab. 8.58: Alter des Schalenmaterials von Mellum

8.5. Alter der *M. arenaria* L.-Schale

	***M. arenaria* L.-Schale**							
Zone	L-Asp	D-Asp	D/L-Asp-Verhältnis	Alter [J. v.h.]	L-Glu	D-Glu	D/L-Glu-Verhältnis	Alter [J. v.h.]
gesamt	139525	915	0,0131	37	72842	1335	0,0367	40
	147258	1047	0,0142	41	61957	1197	0,0386	43
	126004	1153	0,0183	53	63551	1426	0,0449	50
MW	137595,67	1038,33	0,0151	43	66116,67	1319,33	0,0399	44
STABW	10757,55	119,24	0,0027	8	5878,59	115,30	0,0043	5
rel. STABW [%]	7,82	11,48	18,10	19,52	8,89	8,74	10,75	11,15
1 (innen)	89115	724	0,0162	47	67178	1245	0,0371	41
	72814	601	0,0165	48	54230	1197	0,0442	49
	90442	699	0,0155	44	71057	1149	0,0323	35
MW	84123,67	674,67	0,0160	46	64155,00	1197,00	0,0373	41
STABW	12464,88	69,30	0,0005	2	11898,49	33,94	0,0059	7
rel. STABW [%]	14,82	10,27	3,41	3,66	18,55	2,84	15,93	16,55
2	74359	456	0,0123	35	52863	848	0,0321	35
	70313	402	0,0114	32	46971	823	0,0350	39
	83075	571	0,0137	39	47308	879	0,0372	41
MW	75915,67	476,33	0,0125	35	49047,33	850,00	0,0347	38
STABW	9024,10	119,50	0,0012	4	238,29	39,60	0,0026	3
rel. STABW [%]	11,89	25,09	9,33	10,23	0,49	4,66	7,36	7,67
3	84712	324	0,0076	20	62380	798	0,0256	28
	90547	565	0,0125	35	59079	929	0,0315	34
	86332	553	0,0128	36	67598	835	0,0247	27
MW	87197,00	480,67	0,0110	31	63019,00	854,00	0,0271	29
STABW	2980,46	8,49	0,0029	9	6023,84	66,47	0,0037	4
rel. STABW [%]	3,42	1,77	26,21	29,11	9,56	7,78	13,53	14,27
4	141653	688	0,0097	27	78302	731	0,0187	20
	112786	720	0,0128	36	70549	724	0,0205	22
	157699	532	0,0067	17	72736	809	0,0222	24
MW	137379,33	646,67	0,0094	26	73862,33	754,67	0,0204	22
STABW	31758,29	132,94	0,0030	9	1546,44	60,10	0,0018	2
rel. STABW [%]	23,12	20,56	31,98	36,21	2,09	7,96	8,75	9,39
5	56817	249	0,0088	24	43818	381	0,0174	18
	35221	107	0,0061	15	39645	327	0,0165	17
	43879	168	0,0077	20	40689	369	0,0181	19
MW	45305,67	174,67	0,0077	20	41384,00	359,00	0,0174	18
STABW	6122,13	43,13	0,0014	4	738,22	29,70	0,0008	1
rel. STABW [%]	13,51	24,69	17,53	20,44	1,78	8,27	4,74	5,15
6	68310	204	0,0060	15	57139	360	0,0126	13
	59792	112	0,0037	8	50278	374	0,0149	15
	76673	255	0,0067	17	51396	299	0,0116	12
MW	68258,33	190,33	0,0056	14	52937,67	344,33	0,0130	13
STABW	11936,67	101,12	0,0015	5	790,55	53,03	0,0017	2
rel. STABW [%]	17,49	53,13	27,25	33,95	1,49	15,40	12,80	14,34
7 (außen)	67502	105	0,0031	6	74834	318	0,0085	8
	82469	198	0,0048	11	73598	301	0,0082	8
	73004	204	0,0056	14	71430	328	0,0092	9
MW	74325,00	169,00	0,0045	11	73287,33	315,67	0,0086	8
STABW	6692,77	4,24	0,0013	4	1533,01	19,09	0,0005	1
rel. STABW [%]	9,00	2,51	27,84	36,72	2,09	6,05	5,96	7,11

Tab. 8.59: Alter der *M. arenaria* L.-Schale

8.6. Wärmeabsorptionsversuch von *M. edulis* L.

	Wärmeabsorptionsversuch von *M. edulis* L.																
Abstand	Zeit [min]																
Muschel/Position	Temperatur [°C]																
150 cm Höhe	0	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,7	19,8	19,8	19,8	19,9	20	20,1	20,1	20,2	20,3	20,3
2	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,8	19,9	19,9	20	20	20	20,1	20,1	20,2	20,2
3	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,8	19,8	19,9	20	20,1	20,1	20,2	20,2
4	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,9	19,9	19,9	19,9	20	20	20,1	20,1	20,2	20,3	20,4	20,4
5	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,8	19,8	19,8	19,8	19,9	20	20,1	20,1	20,2
Oberfläche	19,5	19,5	19,5	19,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,7	19,8	19,9	20	20,1	20,2
1 cm Tiefe	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,8	19,8
5 cm Tiefe	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,6	19,6
100 cm Höhe	0	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	19,6	19,7	19,9	20	20,2	20,3	20,5	20,6	20,7	20,8	20,8	21	21,3	21,5	21,9	22,2	22,5
2	19,8	19,9	20	20,1	20,1	20,2	20,5	20,5	20,6	20,7	20,7	20,9	21,2	21,5	21,8	22,1	22,4
3	19,6	19,7	19,8	19,9	20	20,2	20,4	20,4	20,5	20,6	20,7	20,9	21	21,2	21,6	21,8	22,1
4	19,7	19,8	19,9	20,1	20,2	20,3	20,5	20,5	20,6	20,7	20,7	20,9	21,1	21,3	21,6	21,9	22,3
5	19,6	19,7	19,9	20	20,2	20,3	20,6	20,6	20,7	20,7	20,8	21	21,2	21,4	21,8	22	22,2
Oberfläche	19,6	19,6	19,7	19,7	19,8	19,9	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,7	20,9	21,2	21,5	21,7	22
1 cm Tiefe	19,5	19,6	19,6	19,6	19,7	19,7	19,8	19,9	20	20,2	20,3	20,4	20,7	21	21,3	21,6	21,8
5 cm Tiefe	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,6	19,7	19,8	19,9	20	20,2	20,4	20,7	21,1	21,4	21,6
50 cm Höhe	0	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	19,7	20,9	21,4	21,7	22,9	23,8	24,3	25,3	25,7	25,8	26,1	26,6	26,7	26,9	27,1	27,1	27,2
2	19,8	21,1	21,1	21,3	21,8	22,6	22,9	24,1	24,4	25,1	25,2	25,4	25,7	25,8	25,9	26	26,2
3	19,7	20,6	21,3	21,4	23,1	23,8	23,9	24,3	24,9	25,1	25,6	25,7	24,4	26,5	26,6	26,6	26,6
4	19,6	20,6	21,4	21,8	22,6	22,8	22,9	23,9	24,3	24,8	25,1	25,2	25,5	25,7	25,8	25,8	25,8
5	19,7	19,9	20,4	21,1	22,3	22,6	23	24,1	24,3	25,1	25,3	25,4	25,5	25,8	25,9	25,9	25,9
Oberfläche	19,6	20,4	20,7	20,9	21,3	21,8	22,1	22,5	23,2	23,3	23,8	23,9	24,3	25,1	25,1	25,1	25,1
1 cm Tiefe	19,5	19,9	20,2	20,5	21	21,3	21,5	22,1	22,6	22,8	23	23,3	23,5	23,6	23,7	23,9	23,9
5 cm Tiefe	19,4	20	20	20,1	20,3	20,4	20,6	21	21,5	21,7	21,9	22,2	22,5	22,6	22,7	22,8	22,9

Tab. 8.60: Wärmeabsorptionsversuch von *M. edulis* L.

Tagungsbeiträge

ZIEHE, D. & LIEBEZEIT, G.:

Aminosäure-D/L-Verhältnisse in biogenen Carbonaten als Schlüssel zur Datierung holozäner Sedimentationsvorgänge im norddeutschen Küstenraum

Poster

24. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten", Forschungszentrum Terramare, Wilhelmshaven.

27.-29.04.2006

ZIEHE, D. & LIEBEZEIT, G.:

Wie alt sind Wattsedimente? - Aminosäure-D/L-Verhältnisse als Schlüssel

Vortrag

24. ChromForum, FH Münster, Steinfurt.

05.-06.09.2007

ZIEHE, D. & LIEBEZEIT, G.:

Aspartic acid racemization dating of intertidal flat sediments of the East Frisian Wadden Sea, southern North Sea

Poster

International Conference and 97th Annual Meeting of the Geologische Vereinigung e.V., Universität Bremen.

01.-05.10.2007

Lebenslauf

Promotion

01/2008 - bis heute	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) - Terramare in Wilhelmshaven
01/2005 - 12/2007	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungszentrum Terramare in Wilhelmshaven

Hochschulstudium

10/1999 - 01/2005	Chemie an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Abschluss: Diplom
05/2004 - 01/2005	Diplomarbeit: Datierung von biogenen Carbonaten mit Aminosäurenenantiomerenverhältnissen

Studentische Tätigkeiten

07/2004 - 10/2004	Studentische Hilfskraft am Forschungszentrum Terramare in Wilhelmshaven
08/2003	Studentische Hilfskraft an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM)
07/2000 - 08/2000 und 07/2003 - 08/2003	Aushilfe bei der Bahlsen GmbH & Co KG in Varel

Bundeswehr

07/1998 - 04/1999	Grundwehrdienst als Fernmelder bei der Marine in Eckernförde, Flensburg und Wilhelmshaven

Schulausbildung

08/1989 - 06/1998	Wilhelmsgymnasium in Kassel Abschluss: Abitur
08/1985 - 07/1989	Hupfeldschule (Grundschule) in Kassel

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Dissertation hat weder in ihrer Gesamtheit noch in Teilen einer anderen wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorgelegen.

Wilhelmshaven, 17.04.2009