

Abhandlungen  
aus dem  
Westfälischen Museum  
für Naturkunde

64. Jahrgang · 2002 · Heft 2/3

Elke Barth

Vegetations- und Nährstoffentwicklung eines nord-  
westdeutschen Stillgewässers unter dem Einfluss  
von Landschafts- und Siedlungsgeschichte  
- Paläoökologische Untersuchungen an dem  
Erdfallsee „Großes Heiliges Meer“



## Hinweise für Autoren

In der Zeitschrift **Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde** werden naturwissenschaftliche Beiträge veröffentlicht, die den Raum Westfalen betreffen.

Druckfertige Manuskripte sind an die Schriftleitung zu senden.

Aufbau und Form des Manuskriptes

1. Das Manuskript soll folgenden Aufbau haben: Überschrift, darunter Name (ausgeschrieben) und Wohnort des Autors, Inhaltsverzeichnis, kurze Zusammenfassung in deutscher Sprache, klar gegliederter Hauptteil, Literaturverzeichnis (Autoren alphabetisch geordnet), Anschrift des Verfassers.
2. Manuskriptblätter einseitig und weitzeilig in Maschinenschrift; zusätzlich als PC-Diskette (MS-DOS oder MAC; gängiges Programm, etwa WORD).
3. Die Literaturzitate sollen enthalten: Autor, Erscheinungsjahr, Titel der Arbeit, Name der Zeitschrift in den üblichen Kürzeln, Band, Seiten; bei Büchern sind Verlag und Erscheinungsort anzugeben.

Beispiele:

KRAMER H. (1962): Zum Vorkommen des Fischreiher in der Bundesrepublik Deutschland. – J. Orn. **103**: 401-417.

RUNGE, F. (1992): Die Naturschutzgebiete Westfalens und des früheren Regierungsbezirks Osnabrück. 4. Aufl. – Aschendorff, Münster.

Bei mehreren Autoren sind die Namen wie folgt zu nennen:

MEYER, H., A. HUBER & F. BAUER (1984): . . .

4. Schrifttypen im Text:

einfach unterstrichen = **Fettdruck**

unterstrichelt oder *g e s p e r r t* = **S p e r r d r u c k**

wissenschaftliche Art- und Gattungsnamen sowie Namen von Pflanzengesellschaften untersträngeln = *Kursivdruck*

Autorennamen in GROSSBUCHSTABEN / KAPITÄLCHEN

Abschnitte, die in Kleindruck gebracht werden können, an linken Rand mit „petit“ kennzeichnen.

Abbildungsvorlagen

5. Die Abbildungsvorlagen (Fotos, Zeichnungen, grafische Darstellungen) müssen bei Verkleinerung auf Satzspiegelgröße (12,6 x 19,7 cm) gut lesbar sein. Größere Abbildungen (z. B. Vegetationskarten) können nur in Ausnahmefällen nach Rücksprache mit der Schriftleitung gedruckt werden. Farbdrucke gehen zu Lasten der Autoren.
6. Fotos sind in schwarzweißen Hochglanzabzügen vorzulegen.
7. Die Beschriftung der Abbildungsvorlagen muß in Anreibebuchstaben auf dem Original oder sonst auf einem transparenten Deckblatt erfolgen.
8. Die Unterschriften zu den Abbildungen sind nach Nummern geordnet (Abb. 1, Abb. 2 . . .) auf einem separaten Blatt beizufügen.

Korrekturen

9. Korrekturfahnen werden dem Autor einmalig zugestellt. Korrekturen gegen das Manuskript gehen auf Rechnung des Autors.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich.

Jeder/s Autor/Autorenteam erhält 50 Freixemplare/Sonderdrucke seiner Arbeit. Liegen die Herstellungskosten (incl. Mehrwertsteuer) pro Exemplar über 15,- €, so verringert sich die Anzahl der Freixemplare auf 30 Stück, bei Produktionskosten über 25,- € auf 20 Stück.

Schriftleitung Abhandlungen:

Dr. Brunhild Gries

Westfälisches Museum für Naturkunde

Sentruper Straße 285

48161 Münster

Abhandlungen  
aus dem  
Westfälischen Museum  
für Naturkunde

64. Jahrgang · 2002 · Heft 2/3

Elke Barth

Vegetations- und Nährstoffentwicklung eines nord-  
westdeutschen Stillgewässers unter dem Einfluss  
von Landschafts- und Siedlungsgeschichte  
- Paläoökologische Untersuchungen an dem  
Erdfallsee „Großes Heiliges Meer“

Westfälisches Museum für Naturkunde  
Landschaftsverband Westfalen-Lippe  
Münster 2002

## Impressum

Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde

Herausgeber: Dr. Alfred Hendricks  
Landschaftsverband Westfalen-Lippe  
Westfälisches Museum für Naturkunde  
Sentruper Str. 285, 48161 Münster  
Telefon; 02 51 / 5 91-05, Telefax: 02 51 / 5 91 60 98

Druck: LINDEN Print & Media GmbH

Schriftleitung: Dr. Brunhild Gries

© 2002 Landschaftsverband Westfalen-Lippe

ISSN 0175-3495

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

# Vegetations- und Nährstoffentwicklung eines nordwestdeutschen Stillgewässers unter dem Einfluss von Landschafts- und Siedlungsgeschichte - Paläoökologische Untersuchungen an dem Erdfallsee „Großes Heiliges Meer“ (Westfalen) -

Elke Barth, Hannover

Veröffentlichung der geringfügig veränderten Dissertation „Trophie-Entwicklung eines nordwestdeutschen Stillgewässers unter dem Einfluss von Landschafts- und Siedlungsgeschichte - Paläoökologische Untersuchungen zur Vegetations- und Nährstoffentwicklung am Erdfallsee „Großes Heiliges Meer“ (Westfalen)“ am Institut für Geobotanik, Fachbereich Biologie der Universität Hannover.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Einführung	6
2 Untersuchungsgebiet	8
2.1 Geographische Lage, Größe, Grenzen	8
2.2 Naturräumlicher Rahmen	9
2.2.1 Geomorphologie	9
2.2.2 Geologie	10
2.2.3 Klima	13
2.2.4 Grundwasser und Fließgewässer	14
2.2.5 Böden	17
2.2.6 Potentiell natürliche Vegetation	19
2.2.7 Aktuelle Vegetation	21
2.3 Aktuöökologie der Stillgewässer	23
2.3.1 „Heideweier“ und Kolke	24
2.3.2 „Erdfallsee“	26
2.3.3 „Großes Heiliges Meer“	27
3 Untersuchungsmethodik	35
3.1 Profilbergung und Probengewinnung	35
3.2 Sedimentchemische Analyse	37
3.3 Pollenanalyse	39
3.4 Diatomeenanalyse	40
3.5 Altersdatierung	41
4 Stratigraphie und Synchronisation der Profile	42
4.1 Sedimentstratigraphie	42
4.2 Chronologie des „Heiligen Feldes“	46
4.3 Alter des „Großen Heiligen Meeres“	46
4.4 Chronologie des „Großen Heiligen Meeres“	50
4.5 Problematik der Radiokarbon-Datierung	52
5 Skizze der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse	53

5.1	Pollenanalytische Indikation der Absenkungsvorgänge	53
5.2	Subrosions- und Erdfallchronologie des „Heiligen Feldes“	57
5.3	Modell zur Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“	60
5.4	Zusammenfassende Erkenntnisse zur Erdfallgeologie	65
6	Rekonstruktion der regionalen Landschafts- und Siedlungsentwicklung	67
6.1	Entwicklung der Natur- und frühen Kulturlandschaft	67
6.1.1	Grundzüge der spätglazialen und früh-postglazialen Vegetationsentwicklung	67
6.1.2	Regionale Laubwaldentwicklung im Atlantikum	68
6.1.3	Großräumige Umstrukturierung der Wälder vom Subboreal zum Subatlantikum	73
6.1.4	Landschaftswandel im Zuge prä- und frühhistorischer Siedlungsphasen	76
6.2	Entwicklung der historischen Kulturlandschaft	81
6.2.1	Frühhistorische Siedlungsbelegung	81
6.2.2	Extensive Kulturlandschaft des Hoch- und Spätmittelalters	86
6.2.3	Regionale Landschaftsverödung und lokale Waldregeneration während der Wüstungsperiode	97
6.2.4	Systematische Landschaftskultivierung seit der neuzeitlichen Siedlungsexpansion	102
7	Darstellung der Vegetations-, Diatomeen- und Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“	114
7.1	Gewässervegetation und ihre Entwicklung	114
7.1.1	Initiale Vegetation am frühhistorischen Waldsee	114
7.1.2	Pioniervegetation sowie Verlandung des Flachsees im Mittelalter	117
7.1.3	Formierung der nördlichen Röhrlichtzone und Regeneration des Waldgürtels während der Wüstungszeit	122
7.1.4	Eutrophierung und sukzessive Verlandung seit der Neuzeit	124
7.2	Diatomeensukzession	133
7.2.1	Kieselalgenfreies, frühhistorisches Gewässer	134
7.2.2	Initiale Diatomeengesellschaften und sukzessive Expansion im mittelalterlichen Flachsee	134
7.2.3	Folge artenreicher <i>Pennales</i> -Biozönosen während der Wüstungsperiode	143
7.2.4	Entwicklung neuzeitlicher <i>Centrales</i> -Algenblüten	147
7.3	Entwicklung des Mineral- und Nährstoffhaushaltes	152
7.3.1	Sauer-nährstoffarmer, eisenreicher, frühhistorischer See	153
7.3.2	Wechselnde Redoxverhältnisse im nährstoffarmen, eisenreichen Gewässer des Mittelalters	157
7.3.3	Wüstungszeitliche Stabilisation eisenärmerer Bedingungen im mäßig nährstoffreichen See	164
7.3.4	Neuzeitliche Mineral- und Nährstoffakkumulation im circum-pH-neutralen See	166
8	Modellvorstellungen zur natürlichen und anthropogenen Nährstoffentwicklung norddeutscher Stillgewässer	171
8.1	Synthese zur Trophie-Entwicklung im „Großen Heiligen Meer“	171
8.2	Ableitung allgemeiner Mechanismen der Trophie-Entwicklung für die Stillwasser-Ökosysteme Nordwestdeutschlands	176

8.2.1	Natürliche und naturnahe Nährstoffentwicklung	176
8.2.2	Anthropogener Einfluss auf die Nährstoffentwicklung	184
8.2.3	Ausblick	186
9	Literatur- und Kartenverzeichnis	188
9.1	Literatur	188
9.2	Karten	208
9.3	Sonstige Quellen	209
10	Anhang	210
10.1	Chronik der Siedlungsgeschichte des „Großen Heiligen Meeres“	210
10.2	Artenliste der rezenten und fossilen Diatomeen des „Großen Heiligen Meeres“ und der Gewässer des NSG „Heiliges Meer“	214

## Zusammenfassung

Im Rahmen einer paläoökologischen Modellstudie wurden exemplarisch die Prozesse der natürlichen und anthropogen beeinflussten Sukzession von Stillgewässern untersucht, wie sie für Nordwestdeutschland typisch sind. Dazu wurde das „Große Heilige Meer“ im NSG „Heiliges Meer“ als Referenzgewässer ausgewählt. Methodisch wurden neben dem vegetationsgeschichtlichen Verfahren der Pollenanalyse die Diatomeenanalyse sowie paläochemische Sedimentanalysen angewandt, um einen möglichst umfassenden Einblick in die komplexe Entwicklung des Sees und dessen Einzugsgebiet zu erhalten: Zunächst wird die frühhistorische Entstehung und weitere Genese des Erdfalls „Großes Heiliges Meer“ in den Zusammenhang der lokalen Subrosionsprozesse des geologisch äußerst aktiven „Heiligen Feldes“ gestellt. Ferner wird die regionale, postglaziale Landschafts- und Siedlungsgeschichte sowie insbesondere die Entwicklung der historischen Kulturlandschaft rekonstruiert. Vor diesem Hintergrund wird die trophieabhängige Sukzession des Verlandungsgeschehens abgeleitet, d.h. es werden die Vegetationszonen des Gewässers in ihrer raum-zeitlichen Abfolge, die Diatomeensukzession und der Wandel des Nährstoff- und Mineralhaushaltes herausgearbeitet. In einer Synthese wird abschließend eine Modellvorstellung zur mehrdimensionalen Trophie-Entwicklung des limnischen Ökosystems „Großes Heiliges Meer“ dargestellt und die allgemeingültigen Ursachen und Mechanismen der langfristigen, naturnahen und vom Menschen beeinflussten Nährstoffentwicklung nordwestdeutscher Stillgewässer diskutiert.

Bei meinem Lehrer und Doktorvater, Herrn Prof. Dr. R. POTT, möchte ich mich ganz herzlich für die Betreuung meiner Promotionsarbeit bedanken. Für die umfassenden fachlichen Diskussionen und Anregungen danke ich den Herren Prof. Dr. H. Küster, PD Dr. M. Speier und PD Dr. H. Freund und Dr. J. Pust (Institut für Geobotanik Hannover und Biologische Station „Heiliges Meer“). Ein besonderes „Dankeschön“ für die allzeitige Unterstützung der Arbeit geht an Herrn H.-O. Rehage, Leiter der Biologischen Station „Heiliges Meer“ bis 1999.

Frau Dr. A. Kleinmann und den Herren Dr. J. Merkt, Dr. G. Caspers und Dr. H. Müller vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLFb) Hannover, möchte ich meinen Dank für die Erbohrung und Gewinnung der Bodenprofile aussprechen sowie für die stete Bereitschaft zu aufschlussreichen Gesprächen bzgl. paläoökologischer Methoden und Fragestellungen.

Die Deutschen Forschungsgemeinschaft übernahm dankenswerterweise die Finanzierung der Dissertation im Zuge des Projektes „Po 313/13-1,2“.

Schließlich gilt mein Dank den Kollegen des Institutes für Geobotanik Hannover sowie all den Freunden, die mir bei meiner Arbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

# 1 Einführung

**Stillgewässer** durchlaufen in ihrer Entwicklungsgeschichte natürlicherweise verschiedene Phasen der Alterung mit sukzessiver Veränderung ihrer Vegetation und ihres Nährstoffhaushaltes, die letztendlich zu ihrer Verlandung führen. An dieser Genese sind neben endogenen Faktoren exogene Faktoren in einem engen Netz gegenseitiger Beeinflussung beteiligt (SCHWOERBEL 1987, ELLENBERG 1996). So unterliegen die Stillgewässer insbesondere dem wechselnden Einfluss von **Landschafts- und Siedlungsgeschichte** und stellen im allgemeinen das vorläufige Ergebnis eines langwierigen Floren- und Vegetationswandels dar, der von naturräumlichen, soziologischen und historischen Gegebenheiten sowie anthropozogenen Einflussnahmen geleitet wurde: Während die dynamischen Prozesse innerhalb der **Naturlandschaft** noch primär klimatisch gesteuert wurden, griff seit dem Neolithikum der siedelnde und Landwirtschaft betreibende Mensch nachhaltig in die Landschaftsstrukturen ein. Damit nahm er auch einen ersten Einfluss auf die limnischen Ökosysteme, die innerhalb der pleistozänen Sandlandschaft als originär nährstoffarme Lebensräume angesehen werden müssen. Beginn und Ausmaß der anthropogenen Einflussnahme variierte jedoch regional und korrelierte stark mit dem jeweilig lokalen Siedlungs- und Wirtschaftsgeschehen. Die allmählich entstehende **Kulturlandschaft** untergliederte sich nun in ein naturraumabhängiges Mosaik ursprünglicher und synanthroper Lebensräume. Dadurch kam es zunächst zu einer Bereicherung und vielfältigen Differenzierung von Standorten und ihrer Vegetation; nach und nach wurden die natürlichen Vegetationsformationen jedoch auf Refugialgebiete, zu denen die Seen mit ihren angrenzenden Sumpfgebieten gehörten, verdrängt. Die einst als unwirtschaftlich geltenden Landschaftsräume der nordwestdeutschen Sand- und Feuchtgebiete wurden zumeist erst im Zuge der Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft erschlossen, wodurch der Mensch spätestens seit dem 19. Jahrhundert auch dort zum primären Verursacher allgemeiner Umweltbelastung sowie insbesondere der großräumigen Eutrophierung wurde. Abermals verstärkte die Flurbereinigung Mitte des 20. Jahrhunderts die Entdifferenzierung des Standortgefüges, die Zerstörung der Biotope und damit die neuzeitliche Verarmung der Vegetation in der nun **agrarindustriell geprägten Landschaft** (POTT 1992a, LANG 1994, KÜSTER 1998).

Heute stellen die Stillwasser-Ökosysteme der nordwestdeutschen Tiefebene z.T. nach wie vor naturnahe Lebensräume dar. Sie gehören daher zu den gefährdeten Biotopkomplexen, in denen sich die Zunahme anthropogener Belastungsfaktoren besonders drastisch widerspiegelt (HUTTER et al. 1993, POTT 1996). Dabei wird die **Eutrophierung**, d.h. „der hohe Eintrag von Nährstoffen heute als eines der gravierendsten Probleme im Naturschutz angesehen“ (ELLENBERG 1989). Will man die Biodiversität der Kulturlandschaft Nordwestdeutschlands bewahren, so bedürfen insbesondere diese naturnahen Lebensräume eines umfassenden Schutzes (POTT 1996). Dazu ist jedoch ein komplexes Wissen um die Entstehung und Entwicklung bzw. um die Vorgänge innerhalb der Ökosysteme und deren Beziehung zur Umwelt vonnöten. Hier greift die **Ökosystem- und Sukzessionsforschung** als Grundlage für den Natur- und Umweltschutz an (ELLENBERG 1973). Die Akutöökologie befasst sich im wesentlichen mit der Erfassung der heutigen Situation, mit den kurzfristigen Reaktionsabläufen und dem aktuellen Vergleich verschiedener Lebensräume (ODUM 1980).

Die **Paläoökologie** übernimmt dagegen die Erforschung langfristiger Entwicklungen und Reaktionen in der Genese einzelner Lebensräume bzw. Gewässer vor dem Hintergrund der allgemeinen Landschafts- und Siedlungsgeschichte. Dabei wird seit geraumer Zeit einerseits die Fülle punktueller, vegetationsgeschichtlicher Untersuchungen zu einem überregionalen Grundmuster zum Wandel der Geo- und Biosphäre zusammengefügt (BERGLUND 1986, BIRKS 1990). Andererseits wird die detaillierte Darstellung kleinräumiger Entwicklungen, die die vielfältigen topographischen und klimageographischen Landschaftsdifferenzierungen und die unterschiedlichen Kultur- und Wirtschaftskreise des Menschen

berücksichtigt, für die fundierte Grundlagenforschung immer bedeutender (BIRKS & BIRKS 1980, LANG 1994). In diesem Sinne reiht sich die vorliegende Arbeit in die paläoökologischen Ermittlungen zur Genese von Stillgewässern ein, wie sie u.a. für Seen in den USA (LEWIS et al. 1984), Großbritannien (PEGLAR 1979, ANDERSSON & OLSSON 1985, FLOWER et al. 1987, BATTARBEE et al. 1989, PEGLAR et al. 1989, ANDERSON et al. 1995), den Niederlanden (VAN DAM et al. 1981, VAN DAM 1996), Skandinavien (ALHONEN 1967, RENBERG & HELLBERG 1982, ANDERSON 1983, GAILLARD & BERGLUND 1988), Polen (RALSKA-JASIEWICZOWA 1989, BERGLUND et al. 1993), der Schweiz (LOTTER 1988, LOTTER et al. 1997) bzw. dem internationalen Projekt IGCP 158B (BERGLUND 1979) vorliegen. Für Nordwestdeutschland wurden entsprechende Studien für die Altwasser der Weser (CASPER 1993) bzw. im Rahmen der Forschungsreihe „(Limno-) Geologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern“ durchgeführt (GRAHLE et al. 1963, 1964, 1967, MÜLLER 1970, STREIF 1970).

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das „**Große Heilige Meer**“ im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ als Referenzgewässer gewählt: Erstens spiegelt das NSG in einem kleinräumigen Mosaik vielfältiger, naturnaher und synanthroper Vegetationseinheiten nahezu alle typisch nordwestdeutschen Landschaftscharaktere wider (RUNGE 1991a). So garantiert es eine gute regionale Übertragbarkeit der Ergebnisse. Zweitens sind die zahlreichen Gewässertypen des Gebietes hervorzuheben, die auf engem Raum unter ähnlichen Standortbedingungen anzutreffen sind, sich jedoch in Alter, Geologie, Vegetation und Hydrochemie stark unterscheiden (BEYER 1969). Sie sind für die Frage der Trophie-Entwicklung besonders geeignet, bieten überdies hinsichtlich ihrer Ökologie einzigartige Vergleichsmöglichkeiten und können daher als Modell für andere Gewässer in vergleichbaren Regionen des pleistozänen Nordwestdeutschland angesehen werden. Drittens stellt das NSG ein Refugialgebiet für zahlreiche Elemente der einstigen Natur- und extensiven Kulturlandschaft dar, das es nach TERLUTTER (1995) als seltenes Relikt zu schützen und zu erhalten gilt. Über die hohe Biodiversität hinaus hat sich dieses Gebiet die originären Eigenarten der nährstoffarmen, nordwestdeutschen Geestlandschaften erhalten. So hat z.B. nachweislich seit 70 Jahren kein direkter Stickstoffeintrag in das inselhaft gelegene NSG stattgefunden (POTT et al. 1996). Die Große Naturnähe seiner Lebensräume, die sich durch eine beträchtliche Anzahl äußerst seltener Arten und Gesellschaften auszeichnet, erscheint für die Untersuchung der natürlichen und naturnahen Sukzession besonders günstig. Viertens schließlich ist das „Heilige Meer“ ein seit der Jahrhundertwende intensiv erforschtes Gebiet: Den ersten Arbeiten von KLOCKE (1892, 1894) und SCHWAR (1900) über die *Cladoceren*-Fauna bzw. die Flora des „Großen Heiligen Meeres“ folgten u.a. Beschreibungen zur Entstehung des „Erdfallsees“ (WEGNER 1913a-c, TIETZE 1914). Mit der Unterstellung des Gebietes und der Einrichtung einer Biologischen Station setzte dann eine intensivere Forschung ein (GRAEBNER 1930, 1934, KOPPE 1931, 1955, WERLAND 1934, etc.), die sich bis in unsere Tage hinein stets auch sehr intensiv mit dem „Großen Heiligen Meer“ auseinandersetzte (KRIEGSMANN 1938, BUDE 1942a u. b, LOTZE 1956, SCHROEDER 1956, EHLERS 1965, MÜCKE 1978, POTT 1980, 1983a). Umfangreiche hydrologische, physiko-hydrochemische, pflanzensoziologische, pflanzenkartographische und landesplanerische Untersuchungen erfassen seit Mitte der neunziger Jahre in interdisziplinärer Zusammenarbeit und einem langfristig angelegten Monitoring die fluviatilen und atmosphärischen Nährstoffeinträge in das Gebiet und dessen Gewässer sowie deren Auswirkungen auf die Vegetations- und Trophie-Entwicklung der Gewässerökosysteme. Sie sollen Aufschlüsse über die Ursachen und Regulatoren der Sukzession unter Berücksichtigung der Mehrdimensionalität von Ökosystemen geben (POTT et al. 1996, POTT 1998, 2000). In diesem Zusammenhang standen auch die Arbeiten der vorliegenden Dissertation, die von der DFG gefördert wurde. Die Ergebnisse, die im folgenden dargestellt werden, konnten somit auf einer umfangreichen, wissenschaftlichen Grundlage einer intensiven, über 70-jährigen Forschung aufbauen.

In einem interdisziplinären, **paläoökologischen Ansatz** aus pollen-, diatomeen- und sedimentanalytischen Methoden wird versucht, der Komplexität von Ökosystemen gerecht zu werden, um in einer abschließenden Synthese unter dem Aspekt der Trophie-Entwicklung die „Einzelkomponenten des Ökosystems zu einem funktionellen Ganzen“ zusammenzufassen (ELLENBERG 1973).

## 2. Untersuchungsgebiet

### 2.1 Geographische Lage, Größe, Grenzen

Das „Große Heilige Meer“ stellt mit seinen 11 ha Größe und 10,7 m Tiefe den größten natürlichen See Westfalens dar (BEYER 1960). Es befindet sich an der Nordwestgrenze Nordrhein-Westfalens zu Niedersachsen, 30 km westnordwestlich von Osnabrück, zwischen den Orten Obersteinbeck und Hopsten an der Landstraße L 504 Ibbenbüren - Lingen/Ems (TK 25, Blatt 3611 „Hopsten“; Abb. 1). Die geographischen Koordinaten sind  $7^{\circ} 38' O$  und  $52^{\circ} 21' N$  sowie 42,5 m ü.NN. Das Stillgewässer gehört zum nordöstlichen Teil des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ im Nordosten der Gemarkung „Heiliges Feld“ (TK 5, Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“; Abb. 1). Politisch ist das „Heilige Meer“ den Nachbargemeinden Hopsten und Recke im Kreis Steinfurt, Regierungsbezirk Münster/Westfalen zuzuordnen. Das „Große Heilige Meer“ selbst umfasst die Flurstücke 18/2 und 18/37 der Gemeinde Hopsten.

Das NSG besteht seit 1930 und ist aus einem dreiteiligen, 47 ha Großen Kerngebiet hervorgegangen, das die Gewässer „Großes Heiliges Meer“, „Erdfallsee“ und „Heideweiher“ umfasste. Dieses Gelände wurde bis 1992 auf eine Größe von 69 ha erweitert und um die direkt benachbarten Naturschutzgebiete „Heiliges Feld“ und „Erweiterung Heiliges Meer“ mit dem vierten See, dem „Kleinen Heiligen Meer“, ergänzt, so dass heute zusammenhängend 142 ha Land unter Schutz stehen. Davon sind 90 ha in Besitz des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe, der das NSG „Heiliges Meer“ und die dortige Biologische Station als Außenstelle des Westfälischen Museums für Naturkunde/Münster betreut (TERLUTTER 1995, REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER 1930-1992; Abb. 2).

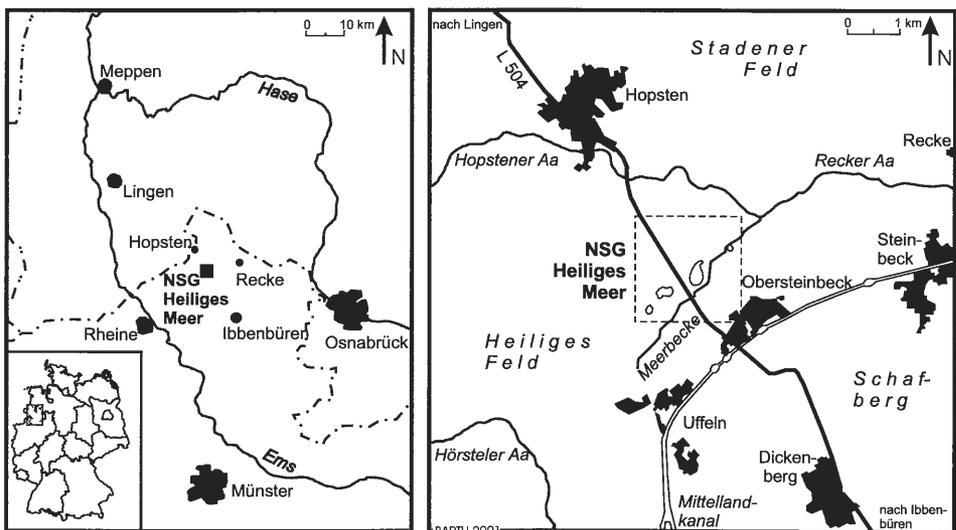


Abb. 1a und b: Lage des NSG „Heiliges Meer“.

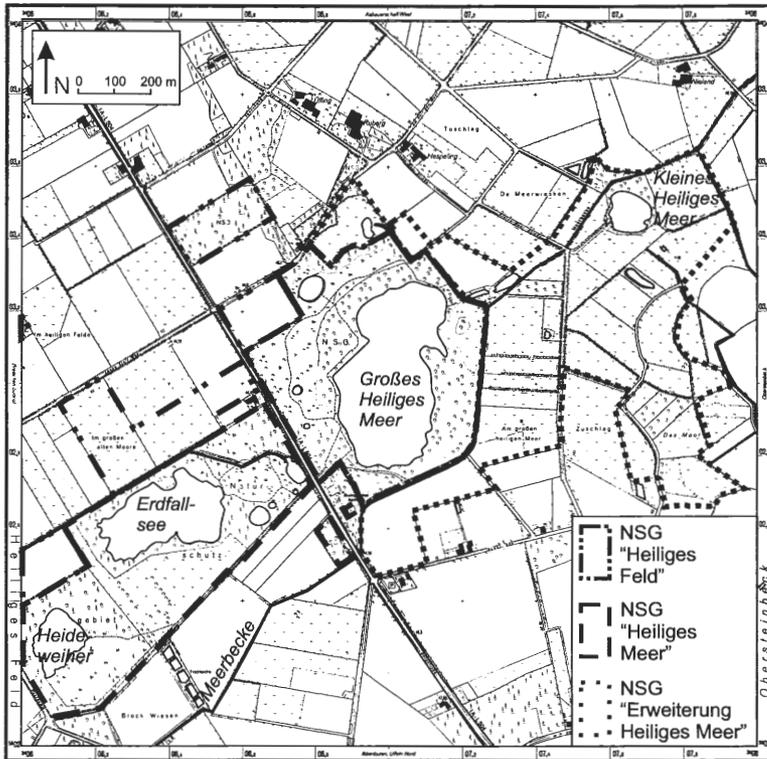


Abb. 2: Lage des „Großen Heiligen Meeres“ in den Grenzen des NSG „Heiliges Meer“ (Basis: TK 5, Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“).

## 2.2 Naturräumlicher Rahmen

### 2.2.1 Geomorphologie

Das Untersuchungsgebiet muss bereits der pleistozänen Sandlandschaft der nordwestdeutschen Tiefebene zugerechnet werden. Es wird jedoch entscheidend von seiner naturräumlichen Randlage nördlich der Westfälischen Bucht an der Schwelle der Westfälisch-Niedersächsischen Mittelgebirge geprägt und stößt unmittelbar an die Nordwestausläufer des unteren Weserberglandes, die nördlich des Münsterlandes keilförmig in das südwestniedersächsische Tiefland vorstoßen. Der südliche Kamm des Teutoburger Waldes (Osnabrücker Osning) wird durch das Ibbenbürener Tal, das in Richtung Untersuchungsgebiet ausläuft, vom Westlichen Wiehengebirge und dem Osnabrücker Hügel-land mit dem Schafberg getrennt (THIERMANN 1975a; Abb. 3). Dessen Plateauscholle (174 m ü.NN) ragt mit ihren westlichsten Anhöhen Dickenberg (124,9 m) und Kälberberg (90,6 m) am weitesten in die Ebene hinein (SERAPHIM 1991). Seine schmale nordwestliche Abdachungszone wird heute durch den Verlauf des Mittellandkanales markiert (Abb. 1b) und gegen das Flachland abgegrenzt.

Der Naturraum am Fuße des Schafberges wird der südöstlichen Plantlünner Sandebene zugerechnet, die mit den Settruper Talsanden und der untergeordneten Hopstener Sandplatte der Emstalebene angehört. Im Norden grenzt sie mit der Frerener Grundmoränen-

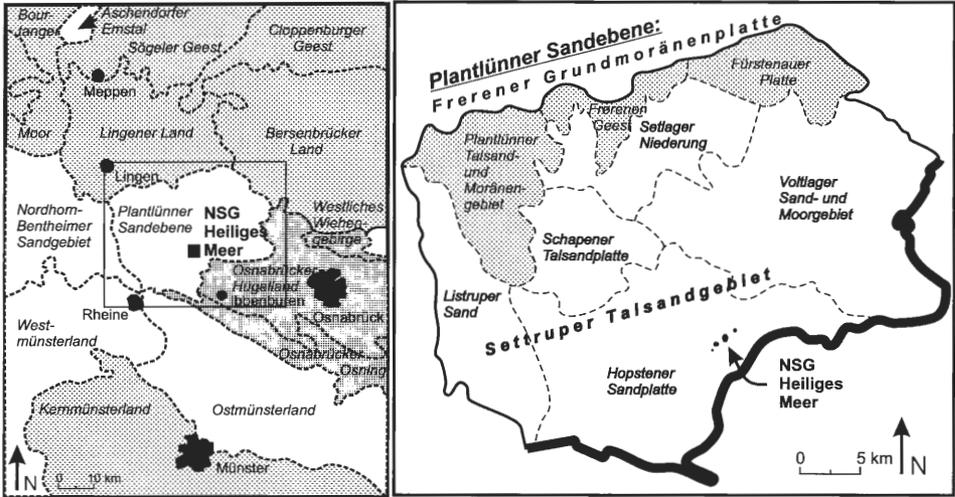


Abb. 3a und b: Karten der naturräumlichen Gliederung des Untersuchungsgebietes (verändert n. MEISEL 1961).

platte an die nordwestdeutsche Geest des Lingener und Bersenbrücker Landes und an die Moränenzüge der Lingener, Fürstenauer und Ankumer Höhen (MEISEL 1961; Abb. 3). Das flachwellige Geländeprofil der Hopstener Sandplatten lässt sich physiognomisch deutlich in die höher gelegenen, trockenen Talsandebenen und die weiten, feuchten Niederungen differenzieren (MÜLLER-WILLE 1960). Hoch- und Niedermoore nehmen gleichermaßen verteilt fünf Flächenprozente der Plantlünner Sandebene ein. Sie konzentrieren sich aber auf einen breiten Niederingürtel entlang der Abdachungszone der Mittelgebirge, in dem auch die großen Hochmoore von Vinte, Halverde, Volllage und Spelle anzutreffen sind und der von zahlreichen Auen regionaler Bäche und kleinster Rinnsale durchzogen wird (MÜLLER-WILLE 1966). Die Senkungszone des „Heiligen Feldes“ selbst hebt sich trotz ihrer geringen Reliefenergie mit Höhen von nur 41 bis 45 m ü.NN landschaftlich von ihrer Umgebung ab: Sie wird zum einen von der ausgedehnten „Meerbecke-Niederung“ östlich des „Großen Heiligen Meeres“ und zum anderen von einer sehr kleinräumig wechselnden Oberflächengestaltung geprägt, in der vor allem die zahlreichen, in ihrer Erscheinung recht variablen Senken und Erdfälle auffallen. Entstehung, Alter und Morphologie dieser zunächst meist wassergefüllten Hohlformen sind primär geologisch bedingt. Ihre Morphogenese, unterschiedliche Trophie-Entwicklung und sukzessive Verlandung haben dann zur kleinräumigen geomorphologischen, bodenkundlichen, vegetationskundlichen und hydrologischen Strukturierung des NSG beigetragen (THIERMANN 1975a, b).

### 2.2.2 Geologie

Die vielfältige landschaftliche Differenzierung des „Heiligen Feldes“ ist primär auf dessen geologische Situation zurückzuführen, die sich aus der beschriebenen Randlage im Bereich des quartär geprägten Flachlandes zur Schwelle der geologisch älteren Mittelgebirge ergibt. Sie bedingt die einzigartige Subrosionsgeologie des Erdfallgebietes, die Entstehung seiner vielfältigen Senken und der so typischen Erdfälle, zu denen auch das „Große Heilige Meer“ zählt (THIERMANN 1975a).

Die oberirdischen Subrosionsmulden sind komplett in die pleistozänen Sande der Region eingebettet. Diese sind durchschnittlich 20 bis 30 m mächtig, erreichen im Bereich des „Heiligen Feldes“, in dem sich an der Quartärbasis eine ausgeprägte Senke abzeichnet,

stellenweise jedoch Mächtigkeiten von über 80 m (THIERMANN 1975b). Der Hauptanteil der glazialen Ablagerungen im Gebiet geht auf das Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit zurück, deren Eisvorstoß auch die Stauchendmoränen des vorangegangenen Rehburger Stadiums (Fürstenaauer und Ankumer Höhen) überfuhr und mit dem Emsland-Gletscher bis in das südliche Münsterland vorstieß (TEMLITZ 1991, HILDEN 1995). Die ausgedehnten Grundmoränendecken und Schüttsande treten allerdings nur an den unteren Hängen des Schafberges sowie in Form vereinzelter Geestrücken (Hörstel-Dreierwalde, Hörstel-Ostenwalde/Hopsten, Langenacker/Recke-Hopsten, Halverde-Schale) zutage. Im wesentlichen sind sie unter den weichselzeitlichen Ablagerungen der Ems und deren Nebenflüsse verborgen. Diese fluviatilen Sedimente überformten die Altmoränenlandschaft periglaziär, nivellierte ihr Relief und prägten so die weiten Talsandebenen und Niederterrassen der Plantlünner Sandebene. Während diese jüngeren Schichten regional bis zu 12 m Mächtigkeit erreichen, sind sie im „Heiligen Feld“ wiederum erheblich mächtiger. Zudem werden sie teilweise von eingeschalteten, interglaziären Torflinsen unterbrochen. Ferner dehnt sich über das Untersuchungsgebiet eine vom Schafberg nasenförmig über das „Große Heilige Meer“ bis zum Stadener Feld vorstoßende, ausgeprägte Einlagerung tonig-schluffiger und mergeliger Schichten aus (THIERMANN 1975a), die auch von WEINERT et al. 1998 an der Basis der weichselzeitlichen Sedimente (19-29 m, Bohrung ML1) wiedergefunden wurde. Weit verbreitet sind spät- und postglaziale Flugdecksande, die den Talsanden z.T. in über zwei Meter Mächtigkeiten aufgelagert sind. Größere zusammenhängende Flächen finden sich sowohl im „Heiligen Feld“ west- und südwestlich des „Großen Heiligen Meeres“ als auch im Stadener Feld östlich von Hopsten. An den Hängen des Schafberges verzahnen sie sich mit Fließerden. Eine solche fluvioglaziale Umlagerung stellt der „Uffelner-Zum Walde-Sandfächer“ dar, der bis Ende der achtziger Jahre abgegraben wurde (RODE & EBLAGE 1994). Periglaziärer Löss fehlt in der näheren Umgebung des „Heiligen Feldes“; seine Grenze verläuft südlich der Linie Ibbenbüren-Bevergern. Schließlich überprägten vereinzelt holozäne Dünen, insbesondere die weichselzeitlichen Uferwälle der Recker/Hopstener Aa, sowie holozäne Niederungsmoore, Bachauen und Hochmoore das Landschaftsbild. Dabei sind die Niedermooere nicht auf periglaziäre Schwemmfächer zurückzuführen, sondern ebenfalls auf die lokalen Subrosionsvorgänge (THIERMANN 1975b, 1987).

Die geologische Senkungszone des „Heiligen Feldes“ erstreckt sich nun innerhalb des naturräumlichen Grenzbereiches parallel zum Nordwestabfall des Ibbenbürener Plateaus (Schafberg) (THIERMANN 1975a). Tektonisch wird diese „Heilig-See-Zone“ von radialstrahlig, von der Karbonscholle ausgehenden Verwerfungslinien eingegrenzt und reicht, entsprechend dem W-O- bis SW-NO-Streichen der mesozoischen Schichten, in einem 2,5 x 5 km breiten Streifen vom Uffelner Moor im Südwesten über das NSG bis hin zum Tal der Recker Aa nordöstlich des „Kleinen Heiligen Meeres“. LOTZE 1956 zählte und klassifizierte in diesem Erdfallgebiet über 61 Subrosionsmulden (Abb. 4).

Die spezifische geologische Konstellation stellt sich dabei folgendermaßen dar: Beim Abtauchen der gebirgsbildenden Schichten des Mittelgebirgsrückens unter die pleistozäne Sandlandschaft der Tiefebene begünstigt die stratigraphische Abfolge von wasserdurchlässigen, quartären Schichten über einem karstgünstigen, mesozoischen Sockel und unlöslichen Gesteinen des basalen Paläozoikum den Salinarkarst im Bereich des relativ oberflächennahen, unter Grundwassereinfluss stehenden Mesozoikum (THIERMANN 1975a). Unterirdische Auslaugungsprozesse führten so zu Dolinenbildung und -einstürzen, deren Auswirkungen sich schließlich in Form von Absenkungs- und Erdfallerscheinungen bis an die Oberfläche fortsetzten (SERAPHIM 1987). Die Stratigraphie des mesozoischen Sockels folgt dem geologischen Grundbau im Bereich des Schafbergs (THIERMANN 1975a, b). Jurassische Schichten des salinarhaltigen Munder Mergels/Ober-Malm lagern über sandig-tonigen Lagen des Kimmeridge und des Oxford/Unter-Malm und den Ton- und Tonmergelsteinen des Dogger und Lias. Darunter kommen die triassischen

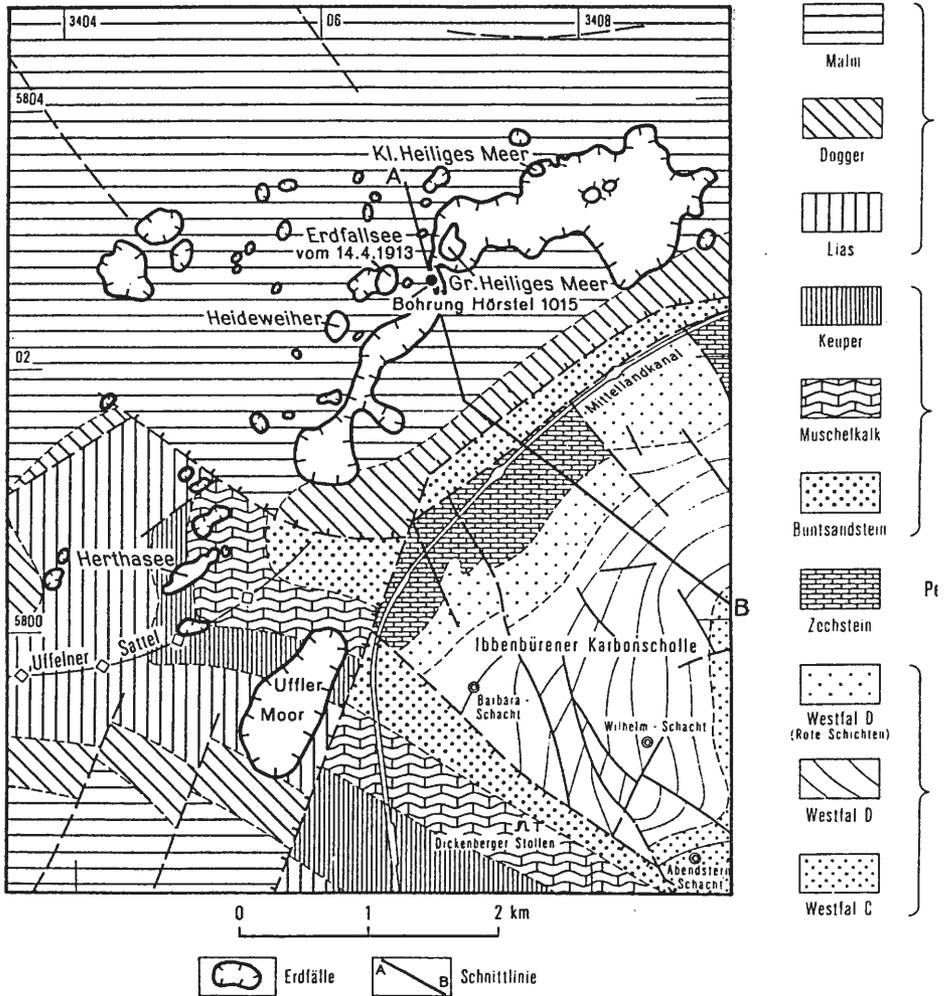


Abb. 4: Geologische Karte des Untersuchungsgebiet (ohne Quartär) (n. THIERMANN 1975b).

Schichten des ton-mergelig bis kalkig-sandigen Keupers, des steinsalzhaltigen Muschelkalkes, der am Kalkberg bei Uffeln ansteht, und der Buntsandsteine mit ihren bis zu 200 m mächtigen Röt-Salzen zu liegen. Im Grundgebirge treten als älteste Elemente die Kalk, Mergelsteine und Dolomite des Zechstein/Perm und die flözführenden und konglomerathaltigen, bis 2000 m mächtigen Sand- und Tonsteine des Westfal B-D /Oberkarbon auf. Zechstein und Oberkarbon treten auf dem markant aufragenden Ibbenbürener Horst zutage und ermöglichen eine Kohle- und Erzgewinnung, die bis ins Mittelalter zurückreicht und seit Mitte des 17. Jh. systematisch betrieben wird (RÖHRS 1985). Noch heute werden die reichhaltigen Steinkohle-Vorräte im Westfal C und D im Westfeld des Ibbenbürener Reviers abgebaut (REINERS 1991).

Die diskordante Lagerung der Schichten, die durch Randstörungen der Karbonscholle hervorgerufen werden, sowie Variationen in der Salttektonik des Deckgebirges sind nach THIERMANN (1975a, b) für die verschiedenen Subrosionsabläufe und -formen des Erdfallgebietes verantwortlich (Abb. 4): So streichen im südlichen „Heiligen Feld“ vor allem die

älteren Schichten aus; im Bereich des Uffelner Sattels sind daher die Steinsalzeinschaltungen im Mittleren Muschelkalk für die Ablaugungen von Bedeutung. Im Umfeld des nördlich gelegenen Naturschutzgebietes sind die Senkungsprozesse dagegen primär auf die karstgünstigen Gesteine des Münder Mergels zurückzuführen. Diese streichen dort unmittelbar an der Quartärbasis aus, wo sie in einem ausgeprägten Becken Mächtigkeiten von 200 bis 500 m entwickeln. In ihren grauen, stellenweise grünlichen, meist fest geschichteten und örtlich dolomitischen Ton- und Mergelsteinen lagern bereits in geringer Tiefe fingerdicke Anhydrit- und Fasergipsschichten sowie mehrere, insgesamt über 130 m mächtige, gelbgraue Steinsalzlager, die von Anhydrit- und Tonsteinlagen durchzogen und von mehreren meter-mächtigen, kompakten bis leicht kavernösen, weißen Anhydrit-Bänken umgeben sind (Bohrung Hörstel 1015 in SCHUSTER 1971). Art, Lage und Mächtigkeit der karstgünstigen Gesteine beeinflussen nun die jeweils spezifische Morphologie, Alter und Genese der einzelnen Subrosionsformen. Dabei sind Sulfat- und Chloridkarst sowie reguläre und irreguläre Salzablaugung jedesmal unterschiedlich kombiniert. Z.B. wird die flächenhafte Grundsenkung des Gebietes um bis zu 60 m durch reguläre Salzablaugung an der Quartärbasis hervorgerufen. Durch Lösung und Auswaschung der geringmächtigen Anhydritbänke ( $\text{CaSO}_4$ ) entstehen über Gipsbildung ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) und erneuter Gipslösung langsam komplizierte Sulfatkarstformen. In deren verzweigte Hohlraumssysteme werden die quartären Sande nach und nach eingeschwemmt, so dass sich allmählich flache, unregelmäßig gestaltete, abflusslose Mulden ausbilden. Diese fungieren zugleich als Niederschlagssammler, verstärken also die Korrosion und treiben dadurch die Entstehung der großflächigen Senken (z.B. „Meerbecke-Niederung“) voran. Die charakteristischen Erdfälle bilden sich dagegen über irregulären Salzablaugungen an hydrologisch wirksamen Angriffspunkten (tektonische Verwerfungslinien und deren Kreuzungspunkte). Diese irreguläre Ablaugung ist häufig mit Chloridkarstprozessen, d.h. der sehr schnell verlaufenden Lösung mächtiger Steinsalzlager ( $\text{NaCl}$ ) verbunden. So führt sie zu großen, zumeist sehr tief gelegenen, unterirdischen Klüften und Dolinen, bei deren Einsturz ausgeprägte kesselförmige Senken- und Trichterformen entstehen. Den tiefsten und größten dieser lokalen Erdfälle stellt mit ursprünglich 18 m Tiefe und einem Durchmesser von 200 m das „Große Heilige Meer“ dar.

Der Beginn der regionalen Senkungsprozesse reicht vermutlich bis ins Tertiär zurück; entsprechende Erdfall-Füllungen wurden bei Dreierswalde gefunden. Weiterhin deuten fragile fluvioglaziale Sedimente auf Erdfälle während der Elster-Zeit hin; sichere Datierungen liegen aber erst für das Holstein-Interglazial vor (THIERMANN 1975b). Eemzeitliche, weichsel-interstadiale (Brörup) und spätglaziale Torflinsen wurden sowohl beim Einbruch des „Erdfallsees“ angeschnitten (WEGNER 1913a-c) als auch durch Bohrungen erfasst (SCHUSTER 1971, WEINERT et al. 1998). Die heute sichtbaren, oberirdischen Senken und Erdfälle schließlich sind hauptsächlich holozänen Ursprungs. So auch die typischen Erdfallgewässer des NSG, die sich entsprechend dem Streichen der Schichten kettenartig und altersgestaffelt von Nordosten nach Südwesten aneinanderreihen (SERAPHIM 1987). Noch bis heute sind die Subrosionsprozesse in lebhafter, exogener Dynamik begriffen, wie der am 14.04.1913 eingebrochene „Erdfallsee“ (WEGENER 1913a-c, TIETZE 1914) sowie weitere, jüngere Senken beweisen (POELMANN 1934, RUNGE 1959, LINDENSCHMIDT & REHAGE 1982).

### 2.2.3 Klima

Klimageographisch befindet sich das Untersuchungsgebiet innerhalb der temperat-humiden Klimazone, die durch ein kühl-gemäßigtes Klima und feuchte Witterung, d.h. durch milde Winter, mäßig warme Sommer sowie ganzjährigen Niederschlagsreichtum gekennzeichnet ist. Auch klimatisch hält das Gebiet, das im Übergangsbereich von der einheitlich atlantisch geprägten nordwestdeutschen Tiefebene zum klimatisch reich strukturierten Mittelgebirge liegt, eine Sonderstellung inne (MÜLLER-TEMME 1986; Abb. 5).

So gehört das „Heilige Feld“ mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9,2°C zu den wärmsten Gebieten Nordwestdeutschlands. Die langjährigen Monatsmittel liegen bei 1,5°C für den kältesten Monat Januar und 16,8°C für den wärmsten Monat Juli. Die Vegetationsperiode mit Tagesmitteln von über 5°C dauert im Schnitt 220-224 Tage, d.h. von Ende März (früher Frühling) bis Mitte September. Frostgefahr besteht von Ende Oktober bis Ende April bei jährlich ca. 90 Frost- und ca. 15 Eistagen (THIERMANN 1975b).

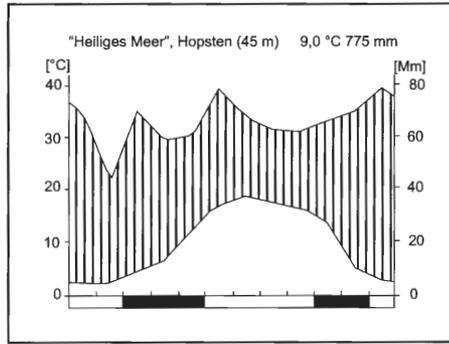


Abb. 5: Klimadiagramm des Untersuchungsgebietes (n. Wetterstation „Heiliges Meer“).

Die relativ hohen Niederschläge gehen hauptsächlich als Stauregen nieder, die aus feucht-ozeanischen, im Luv der Mittelgebirge kondensierenden Luftmassen hervorgehen, die bei überwiegender Westwinddrift und vorherrschenden west- und südwestlichen Winden ins Inland vordringen. Im Jahresmittel 1931-1960 betrug der durchschnittliche regionale Niederschlag 750-800 mm (MÜLLER-TEMME 1986); in den Jahren 1972-1997 waren es 759 mm (Wetterstation „Heiliges Meer“). Die größten Abweichungen brachten die Jahre 1981 und 1993 mit enorm hohen Niederschlagsraten von 980 mm bzw. 982 mm sowie das extrem trockene Jahr 1976 mit lediglich 589 mm Niederschlag. Die Monate Juni und Dezember zählen von jeher zu den niederschlagsreichsten, während im Februar und April die geringsten Niederschläge fallen. Damit ist die Verteilung auf Sommer- und Winterregen (ca. 5 % Schnee) mit durchschnittlich 398 mm bzw. 357 mm relativ ausgeglichen (Wetterstation „Heiliges Meer“): Die sommerlichen Niederschläge kommen der Vegetation zugute und die winterlichen Niederschläge reichen trotz einer Verdunstungsrate von 65% zu einer ausreichenden Grundwasser-Neubildung (THIERMANN 1975b).

## 2.2.4 Grundwasser und Fließgewässer

Der landschaftsprägende, große Wasserreichtum des Untersuchungsgebietes beruht in erster Linie auf seinen ausgedehnten, oberflächennahen Grundwasservorkommen (THIERMANN 1975b). Diese beeinflussen nicht nur das größtenteils grundwasserabhängige Vegetationsbild, sondern speisen auch die zahlreichen Fließgewässer und die Subrosions- und Erdfallgewässer des NSG, auf die in Kapitel 2.3 näher eingegangen wird.

Das **Grundwasser** wird ausschließlich über Niederschläge erneuert, wobei sich die positive Bilanz nicht zuletzt in den lokalen Pegelständen widerspiegelt, die, räumlich und zeitlich nur gering (< 1 m) schwankend, ein bis zwei Meter unter Flur liegen (PUST 1993). Nach THIERMANN 1975b beträgt die Neubildung 225 mm bei Versickerungsraten von 30%. Das entspricht einer Grundwasserspense von 7,1 l/s•km<sup>2</sup>. Dabei befinden sich die Bereiche größter Grundwasserneubildung unter den vegetationsarmen Heiden und Ackerflächen (PUST 1993). Anhand von Tritiummessungen im Anstrom des „Erdfallsees“ ergab sich eine vertikale Altersstruktur des lokalen Aquifers, nach der das seit 1960 gebildete Grundwasser bis in Tiefen von 12-20 m hinabreicht (WEINERT et al. 1998).

Die großen Grundwasservorräte setzen sich überwiegend aus Porengrundwässern der pleistozänen Sande zusammen, die sich über den jurassischen Ton- und Mergelsteinen stauen (LOTZE 1951). Dabei schwankt die Durchlässigkeit des Leiters je nach Korngrößenverhältnissen stark: Im Bereich der weichselzeitlichen Fein- und Mittelsande liegt sie bei  $1,5 \cdot 10^{-5}$  bis  $1,9 \cdot 10^{-4}$  m/s und fällt innerhalb schluffreicher Einschaltungen auf  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s ab. Somit erreicht die nutzbare Porosität durchschnittlich 28 % (bei minimal  $< 5$  %). Ferner errechnet sich aus den hydraulischen Parametern im oberflächennahen Bereich eine Abstandsgeschwindigkeit von 10-20 m/a (WEINERT et al. 1998). Regional ist die Grundwasserdynamik weitgehend ausgeglichen und verläuft in ihrer Tiefenführung entsprechend dem Streichen der mesozoischen Schichten mit einem leichten SO-NW-Gefälle (LOTZE 1951). Innerhalb dieser relativ homogenen Strömungsverhältnisse ist die Dynamik im NSG aufgrund unterschiedlicher Höffigkeiten zwischen dem Bereich des „Großen Heiligen Meeres“ und dem „Heideweiher-Erdfallsee“-Gebiet jedoch wesentlich komplexer (KOCH 1983). So erfassten WEINERT et al. 1998 anhand eines Planes der Grundwassergleichen eine unterirdische, lokale Wasserscheide zwischen dem „Großen Heiligen Meer“ und dem „Erdfallsee“. Sie beruht wohl zudem auf der Vorflutfunktion beider Seen. Infolge dieser Anomalie verläuft der Grundwasserabstrom aus dem NSG zum einen in nordwestlicher Richtung vom „Erdfallsee“ zur Hopstener Aa und zum anderen in einer nordöstlich bis östlichen Strömung vom „Großen Heiligen Meer“ zur Recker Aa. Letzteres steht durchaus in Korrelation zur dortigen WO-Neigung der stauenden, mesozoischen Schichten.

Hydrochemisch zeichnen sich die ursprünglichen Grundwässer pleistozäner Sandlandschaften durch pH-Werte um den Neutralpunkt und geringe Leitfähigkeitswerte (Lf-Werte) aus. Eine solche oligotrophe Grundwasserlinse existiert heute noch unter der Heidefläche westlich des „Großen Heiligen Meeres“ (POTT et al. 1996, 1998). Im übrigen deuten die heutigen, deutlich niedrigeren pH- bzw. höheren Lf-Werte auf anthropogene Überprägung hin. Denn während das Grundwasser im Kern des „Heiligen Meeres“ noch weitgehend unbelastet ist, ist die Grundwasserlandschaft im Umfeld des NSG überwiegend eutroph, dominant durch Landwirtschaft geprägt und ferner von Verkehr und Siedlung / Bergbau beeinflusst (PUST 1993). Im Untersuchungsraum dominiert nach THIERMANN (1975a) Grundwasser vom Ca-K-Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Typ mit Lf-Werten von 246 bis 502  $\mu$ S/cm und einer Härte von 4,4 bis 6,4 °dH. Die Ergebnisse der jüngsten hydrochemischen Untersuchungen in der „Gewässerlandschaft im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“, (POTT 1998) zeigen ebenfalls eine solche Spannweite einzelner Parameterwerte und verweisen somit auf die sowohl horizontal als auch vertikal kleinräumige Differenzierung in Wässer unterschiedlichster Beschaffenheit (Tab. 1).

Die **Fließgewässer** des Erdfallgebietes entwässern das NSG „Heiliges Meer“ hauptsächlich nach Norden zur Recker/Hopstener Aa, während das südliche „Heilige Feld“ nach Südwesten zur Hörsteler/Ibbenbürener Aa entwässert. Diese Bäche fließen aus dem Bergland kommend der Großen/Plantlünner Aa zu, deren 933 km<sup>2</sup> großer Einzugsbereich, das Aabecken, die gesamte Plantlünner Sandebene umfasst und übergeordnet dem der ca. 30 km entfernten Ems zugehört (MÜLLER-WILLE 1966, SERAPHIM 1991). Die lokale Entwässerung erfolgt über ein Grabensystem, das ursprünglich aus einem natürlichen Geflecht zahlreicher, träge fließender, kleiner Rinnsale innerhalb eines breiten Niedergürtels bestand. Dieser besaß aufgrund des geringen Gefälles (z.T.  $< 1$  %) eine äußerst mangelnde Vorflut, so dass sich in den Bächen weiträumig überschüssiges Oberflächenwasser sammelte und sie sich infolge des zusätzlich hohen Grundwasserstandes durch eine ganzjährige gute Wasserführung auszeichneten. Im Zuge der Niedermoorerschließung wurden die Gerinne reguliert und zu begradigten und vertieften Drainagegräben ausgebaut, die einst auch die vier großen Stillgewässer des Gebietes verbanden. Im Zuge der Flurbereinigung wurden die Vorfluter und Verbindungsgräben 1958 beseitigt und Umlaufgräben zum Auffangen und Ableiten der eutrophen, landwirtschaftlichen Abflusswässer

Tab. 1: Hydrochemische Daten ausgewählter Beobachtungsbrunnen (BBR, 2,5 m Tiefe) sowie der Meerbecke im NSG „Heiliges Meer“ (n. PUST 1993).

Daten / BBR		18	14	15	9	11	4	6	2	Meerbecke
Grundwasserstand	m u. Flur	1,131	0,879	0,574	0,361	1,441	1,682	0,535	0,442	—
Sauerstoffsättigung	%	0,6	46,4	0,6	2	34,3	52	0,7	0,6	n.g.
Nitrat	mg/l	0,6	40,4	0,7	0,1	57,8	146	0,4	0,7	4-18,4
Nitrit	µg/l	2,7	1,7	2,3	3,3	25,4	34,8	5,9	5,1	50-103
Ammonium	mg/l	0,52	0,04	0,12	1,14	0,06	0,03	0,32	0,26	n.g.
Phosphat	mg/l	0,08	0,02	1,02	0,46	0,02	0,05	0,61	0,03	<0,01-0,17
Organische Substanz	mg/l	75,2	125,9	49,3	20,9	75,5	134,9	11,4	109,4	22,8-59,1
pH-Wert	.-lg(H <sup>+</sup> )	5,8	5	6,9	7,6	5,6	4,5	7	6,4	n.g.
Leitfähigkeit	µS/cm	133	218	252	382	398	561	667	1285	908->2000
Sulfat	mg/l	7,4	35,2	24	53,1	53,5	67,2	129,6	84,5	n.g.
Chlorid	mg/l	23,8	19,4	18,7	17,2	41,9	59	62,2	291,1	115,6-190,8
Natrium	mg/l	15,2	9,6	13,5	8,1	28,9	30,7	31,6	177,2	n.g.
Kalium	mg/l	0,55	10,2	11,2	26,6	16,4	15,8	44,1	25,3	12,5
Kalzium	mg/l	0,78	1,9	1,9	7	2,7	7,9	6,3	6,1	19-39
Magnesium	mg/l	1,3	1,5	1,8	0,76	3	43,3	2	5,1	n.g.
Gesamthärte	°dH	0,5	2	2,2	5,8	3,3	10,2	7,9	5,7	n.g.
Eisen	mg/l	5,3	0,18	6,8	0,89	0,38	0,08	13,4	3,5	5,3
Mangan	mg/l	0,15	0,04	0,28	0,33	0,05	0,12	0,42	0,42	3,1
Aluminium	mg/l	0,89	1,6	0,11	0,34	0,73	2,9	0,18	0,51	n.g.
Zink	mg/l	0,02	0,03	0,02	0,24	0,16	0,72	0,03	0,4	n.g.
Kupfer	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,24
Blei	mg/l	0,02	<,005	0,01	0,04	<,005	0,02	0,03	0,07	0,10-0,14
Kadmium	mg/l	0,006	0,004	0,003	0,006	0,005	0,006	0,005	0,007	<0,005-0,026

angelegt. Heute führen alle Gräben als Folge der allgemeinen Grundwasserabsenkungen nur noch temporär Wasser, so dass einige in jüngster Zeit im Zuge von Naturschutzmaßnahmen wieder verfüllt wurden (BEYER 1969, THIERMANN 1975b).

Die Meerbecke ist vor dem N-Umlaufgraben um das „Große Heilige Meer“ und dem SW-Umlauf um das „Erdfallsee“-Gebiet das größte und einzig permanente Fließgewässer der „Heilig-See-Zone“. Sie wurde 1842 als künstlicher Vorfluter ausgebaut (BEYER 1969), der das Areal entgegen dem regionalen NW-Gefälle des Geländes und des Oberflächenwassers nach Nordosten zur Recker Aa entwässert. Aus dem südwestlichen Uffelder Raum kommend verläuft die Meerbecke zunächst 150 bis 300 m südlich des „Heideweiher-Erdfallsee“-Gebietes, kreuzt die L 504 und passiert die Biologische Station. Während sie ursprünglich das „Große Heilige Meer“ durchfloss, markiert sie seit ihrer Umlegung 1968 die Süd- und Ostgrenze des Kern-Naturschutzgebietes und fließt dann in Richtung „Kleines Heiliges Meer“ weiter, das sie heute nordöstlich passiert (BEYER 1973; TK5, Bl. 3611/17 „Großes Heiliges Meer“). So war die Meerbecke lange Zeit ein entscheidender Faktor für den Wasser- und Stoffhaushalt des „Großen Heiligen Meeres“. Dabei zeichnet sich das Niedermoorgewässer durch einen natürlichen Nährstoffreichtum und hohe Gehalte an natürlichem Eisen und Huminstoffen aus. Insbesondere die hohen Eisenhydroxidfrachten von bis zu 216 kg/d beeinflussten das Stillgewässer entscheidend und hatten eine z.T. dominante Wirkung auf dessen Ökologie (KRIEGSMANN 1938). Heute hat der Bach, als Vorfluter des Naturschutzgebietes, vor allem aber durch Beeinflus-

sung des lokalen Grundwassers, noch immer einen großen Einfluss auf das „Große Heilige Meer“ und das östliche NSG. Dieser wird durch die episodische Influss des Fließgewässers, die teilweise sogar zu einem Überlaufen in das „Große Heilige Meer“ führt, noch verstärkt (PUST et al. 1997). Zudem eutrophierte der Bach in den letzten Jahrzehnten durch den Eintrag von Nährstoffen aus der Landwirtschaft zunehmend. Schwefelsaure Grubenwässer aus dem Ibbenbüener Revier führten darüber hinaus zu einer verstärkten Salz- (Sulfat-) und Schwermetallbelastung, so dass die mittlere Leitfähigkeit des Meerbeckewassers von durchschnittlich 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1974-1987) nach 1987 auf Werte über 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  anstieg (PUST 1993; Tab. 1).

### 2.2.5 Böden

Im Erdfallgebiet „Heiliges Meer“ hat sich aufgrund der unterschiedlichen bodenbildenden Faktoren ein großer Formenreichtum an Bodentypen entwickelt (Bodenkarte TK 5, Bl. 3611/17 „Hopsten“). Bei einem einheitlich kühl-humiden Klima und einer relativ geringen Reliefenergie sind in erster Linie die unterschiedlichen Ausgangsgesteine und Wasserverhältnisse für die vielfältig ablaufende Bodengese verantwortlich (DAHMARENS 1995).

Im Bereich der Talsandebenen und Niederterrassen der Ems sowie über den aufgelagerten Flugdecksanden, Dünen und Fließerden wird die Bodenbildung primär von fein- bis mittelkörnigen, nährstoff- und basenarmen Quarzsanden bestimmt. Sekundär beeinflussten Grundwasser-Flurabstände die Bodenentwicklung, so dass das engräumige, im dm-Bereich wechselnde Kleinrelief infolge des oberflächennahen Grundwassers eine entscheidende Rolle bei der Bodenbildung spielte und zu einer engen Verzahnung von Podsolen und Gleyen mit all ihren Übergängen geführt hat (THIERMANN 1975b; Abb. 6).

Dabei sind die sauren, pleistozänen Sande in grundwasserfernen Bereichen prädestiniert für die Bildung von Podsolen. Während Podsolranker nach THIERMANN (1975b) nur klein-

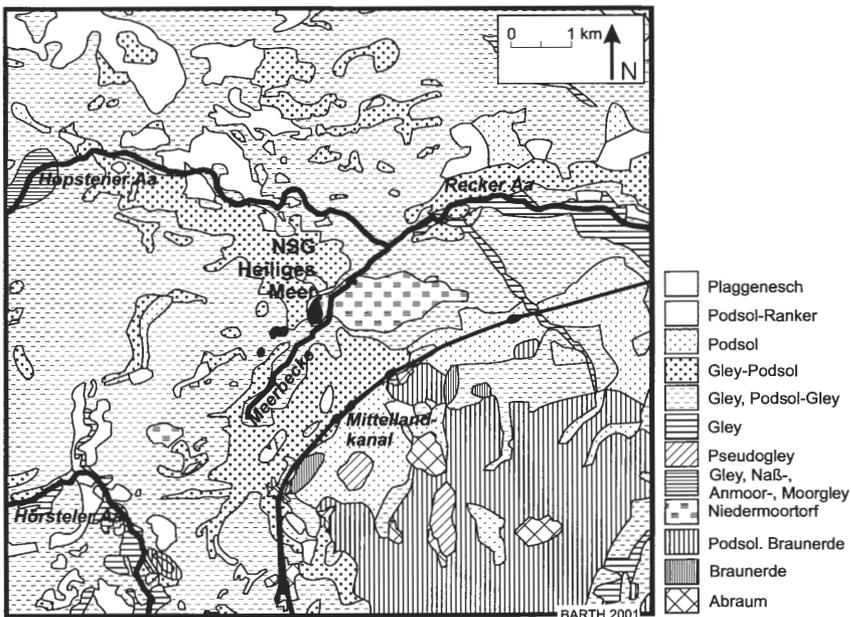


Abb. 6: Bodenkarte des Untersuchungsgebietes (Basis: Geologische Karte 1:25000, Bl. 3611 „Hopsten“ (Bodenkarte), THIERMANN 1975b).

flächig, über die holozänen Dünen und Flugsande verteilt, anzutreffen sind, nehmen echte Podsole große Flächen am Fuß des Schafberges und des südlichen „Heiligen Feldes“ ein. In der Senkungszone überwiegen dabei ausgesprochen starke Eisen-Humus-Podsole, mit mächtigen Bleichhorizonten und verfestigten Ortsteinbänken. Die typischen „Heide-Podsole“, die durch Heidewirtschaft, Plaggennutzung (Nährstoffentzug), aber auch durch Kiefernauaufforstungen (Bodenversauerung) stark gefördert wurden (BURRICHTER 1954), sind im NSG vereinzelt unter den rezenten Heideflächen zu finden (TERLUTTER 1995). Im übrigen dominieren Gleypodsole, bei denen Grundwassereinfluss im Unterboden semiterrestrische Bodenbildungsprozesse förderte. Diese wechselfeuchten Böden bilden den Übergang zu den übrigen Gleyböden. Sie sind mit diesen häufig eng verzahnt und stehen ihnen ökologisch oft näher als den Podsolen, denen sie stratigraphisch zugeordnet werden müssen.

Die grundwassernahen Bereiche der Ebene werden von verschiedenen Gleye-Typen eingenommen. Es sind die typischen Böden der Fluss- bzw. Bachtäler und Niederungen, und auch in der Senkungszone nehmen sie nach THIERMANN (1975b) den größten Flächenanteil ein. Die verschiedenen Subtypen verzahnen sich räumlich sehr eng, so dass sie kartographisch nicht differenziert wurden. Die semiterrestrischen Vorgänge der Vergleyung werden vom Grundwasser beeinflusst, wobei sich in der Oxidationszone des Grundwasser-Schwankungsbereiches mächtige, stellenweise extrem verfestigte Raseneisenstein-Bänke ausbilden können. Die Raseneisenstein-Horizonte der Gleye erreichen örtlich Eisen- und Mangengehalte von bis zu 40 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bzw. 7 %  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ . Dementsprechend wurde das Erz früher auch abgebaut (DAHM-ARENS 1995). Podsolgleye bestimmen den größten Teil des NSG und haben sich vor allem unter den Wäldern entwickelt. Die Vegetation dieser Böden ist dürrunempfindlich, da sie gegebenenfalls ihren Wasserbedarf am Grundwasser deckt; allerdings können die Ortsteine z.T. die Bodendurchwurzelung hemmen. Durch Drainage sind Gleyböden jedoch kulturfähig und können sowohl als Weiden als auch als Äcker genutzt werden. Nass- und Anmoorgleye sind die nassen Varianten der Gleyböden, die sowohl bodentypologisch als auch räumlich bereits zu den Niedermoorböden überleiten.

Niedermooere entwickelten sich während des Holozän, teilweise aus verlandenden Seen hervorgehend, in den Niederungen der pleistozänen Sandlandschaft. Ihre organogenen und daher nährstoffreichen Böden waren ursprünglich durch permanente Grundwasserüberstauung charakterisiert, die eine Reduktion der biologischen Aktivität im Oberboden und folglich die Akkumulation des organischen Materials bedingte. Moorgleye sind in zahlreichen Senken des Untersuchungsgebietes und am Rand der Niedermooere vom Nordosten zum Nordwesten des „Großen Heiligen Meeres“ anzutreffen. Das Niedermoor der „Meerbecke-Niederung“, das das „Große Heilige Meer“ umschließt, sich jedoch hauptsächlich entlang der Meerbecke in Richtung „Kleines Heiliges Meer“ und weiter gegen Osten erstreckt, zählt mit  $2 \times 6 \text{ km}^2$  Fläche und Torfmächtigkeiten, die zwischen 0,5 und 1,5 m (max. 2,5 m) schwanken, zu den größten der Umgebung. Durch systematische Drainierung und Entwässerung wird es heute hauptsächlich als Wirtschaftsgrünland genutzt. Spontanmineralisation und Sandaufschüttungen ermöglichten lokal sogar Weide- und Ackernutzung, überformte die Flächen zugleich jedoch irreversibel.

Plaggensesche sind im Umfeld von Recke und Voltlage, Hopsten, Dreierwalde und Hörstel weit verbreitet, und auch nordöstlich des „Großen Heiligen Meeres“ befindet sich eine Eschflur in der Nähe des Hofes Hespeling. Diese anthropogenen, historischen Böden sind das Ergebnis einer jahrhundertalten, typisch nordwestdeutschen Nutzungsform, die sog. Plaggenwirtschaft, die als Bodenverbesserungsmaßnahme die Ertragsfähigkeit der Böden nährstoffarmer Sandgebiete steigerte. Dabei wurden Soden gestochen, die zunächst als Stallstreu genutzt und dabei mit Dung vermengt wurden, um dann als Dünger auf die Felder gebracht zu werden (ULLRICH 1970). Die schwarzgrauen, humos-san-

digen, schildbuckelartig aufgewölbten Plaggenesche entstanden im wesentlichen über Podsol-, Gleypodsol- und Podsolgleyböden. Sie zeichnen sich durch eine übergroße Mächtigkeit des humosen Oberbodens aus, die über den Düngeeffekt hinaus die Dürreempfindlichkeit trockener Böden minderte bzw. nasse Böden aus dem Vernässungsbereich heraushob. Die Eschauflage beträgt durchschnittlich 10 cm und erreicht lokal bis zu 60 cm (THIERMANN 1975b).

Regional nur kleinflächig verbreitet sind schließlich Böden über Hochmoortorfen und Auensanden sowie Pseudogleye. Größere Hochmoore der Umgebung sind die „Speller Dose“ mit über zwei Meter mächtigen Torfen nordwestlich des Untersuchungsgebietes sowie das „Vinter Moor“ nordöstlich von Recke. Beide, heute unter Naturschutz gestellten Moore sind durch intensiven, randlichen Torfabbau bereits erheblich verkleinert und durch irregulären Torfstich in ihrem zentralen Teil weitgehend im Wachstum gestört worden. Die Überschwemmungsbereiche entlang der Hopstener und der Ibbenbürener Aa wurden bodentypologisch als eigene Einheiten aufgefasst. Hier verzahnen und überlagern sich einerseits verschiedene Gley-, Niedermoor- und Auelehmböden in einen untrennbaren Komplex, andererseits haben sich Gleye über holozänen Auesanden und -lehmen entwickelt. Nördlich von Hörstel finden sich zudem vereinzelte, stauwasserbeeinflusste Pseudogleye. Sie gingen aus pleistozänen Geschiebelehmen, jurassischen Tonsteinen und Braunerden, aus den pleistozänen Nachschüttsanden bei Uffeln, die durch oberflächennahe Zechsteinkalke beeinflusst wurden, oder den zutage tretenden, jurassischen Gesteinen bei Hörstel hervor (THIERMANN 1975b).

Über den anstehenden, meso- und paläozoischen Gesteinen des Schafberges dominieren die Braunerden. Sie sind infolge der vielgestaltigen Geologie sehr verschieden ausgeprägt. In erster Linie handelt es sich jedoch um basenarme Braunerden mit über 85 % Sandanteil, die über den silikatreichen Sand- und Tonsteinen des Jura und des Oberkarbon entstanden (DAHM-ARENS 1995). Besonders im Übergang zur Ebene treten daneben Braunerden mit Podsolierungserscheinungen und Pseudovergleyung auf, die zu Podsolon oder Pseudogleyen vermitteln.

## 2.2.6 Potentiell natürliche Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation (PNV) stellt die „theoretisch, aus syndynamischen Kenntnissen der Vegetationsentwicklung konstruierbaren Schlussgesellschaften dar, die Ausdruck augenblicklicher Standortverhältnisse sind“ (DIERSCHKE 1994). Die PNV hat daher einen hypothetischen Charakter und kann sich verändern in dem natürlich dynamischen Prozess des langfristigen klima- und sukzessionsbedingten Floren- und Vegetationswandels einerseits und unter den z.T. irreversiblen, anthropogenen Einflussnahmen andererseits (BURRICHTER et al. 1988). So beschreibt die heutige PNV die natürliche Vegetation, die sich momentan, nach Beendigung menschlicher Wirtschaftsmaßnahmen einstellen würde. Sie gilt nach POTT & HÜPPE (1991) als Bezugsbasis einer vegetationsräumlichen Landschaftsgliederung und der standortgerechten Beurteilung anthropozogener Effekte. Nach BURRICHTER (1983) ist sie ferner „der zuverlässigste Ausdruck des biotischen Potentials einer Landschaft“. Unter Berücksichtigung des dynamischen Aspektes lässt sich zudem eine zeitbezogene, rekonstruierte PNV aufstellen, die für die Untersuchung der großräumigen Vegetations- und Siedlungsentwicklung in ihrem sich raumzeitlich verändernden Verbreitungsmuster von richtunggebender Bedeutung ist (BURRICHTER 1983).

Die heutige PNV der Untersuchungsregion wird im wesentlichen von einer geschlossenen Laubwaldlandschaft bestimmt, die infolge der naturräumlichen Randlage des „Heiligen Feldes“ von zwei klimazonalen Vegetationsgebieten charakterisiert wird (Abb. 7).

Die potentiell natürliche Vegetation der pleistozänen, nordwestdeutschen Tiefebene wird von bodensauren Eichenmischwäldern aus dem azidophytischen Verband der *Quercion*

*robori-petraeae* gebildet. Dabei dominieren innerhalb der Altmoränenlandschaft der Plantlünner Sandebene die Birken-Eichenwälder vom Typ des *Betulo-Quercetum* (MÜLLER-WILLE 1966). Als charakteristische Waldgesellschaft der Ebene sind die Birken-Eichenwälder hinsichtlich des Nährstoffbedarfs äußerst anspruchslos und daher auf den nährstoff- und basenarmen Quarzsandböden verbreitet, auf denen die Buche nicht mehr wachsen kann. Entsprechend den Feuchtigkeitsansprüchen und dem Nährstoffbedarf ihrer Artenvergesellschaftungen differenzieren sich die *Betulo-Querceten* entlang eines Feuchtigkeitsgradienten in drei Subassoziationen, deren Bestände sich zumeist in kleinräumigem Wechsel durchdringen (POTT 1995). Heute erscheint dieser Naturraum der Birken-Eichenwälder nach BURRICHTER (1973) als „waldreiche Kulissenlandschaft“, in der grausandige Äcker, kleine Heideflächen, Kiefernforste und ausgedehntes Dauergrünland mit Eichen-, Birken- und Erlen-bestockten Wallhecken das Bild prägen.

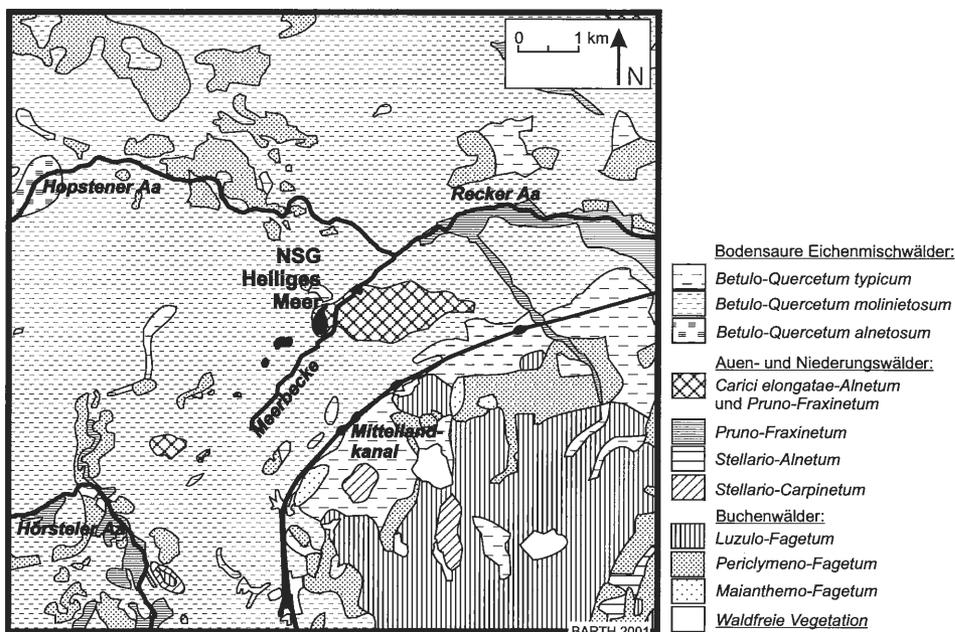


Abb. 7: Karte der potentiell natürlichen Vegetation des Untersuchungsgebietes (Basis: Bodenkarte Abb. 6 und BURRICHTER et al. 1988).

Dagegen herrschen auf den nahen Mittelgebirgsausläufern natürlicherweise klimazonale Buchenwälder des *Fagion sylvaticae*-Verbandes vor (BURRICHTER et al. 1988). Auf der Karbonscholle selbst dominieren artenarme Ausprägungen der montanen Assoziation bodensaurer Hainsimsen-Buchenwälder (*Luzulo-Fagetum*), die ganz vereinzelt mit Flächen artenreicherer Buchenwälder dieses Typs oder über anstehenden Muschel- und Zechsteinkalken mit den anspruchsvolleren Kalkbuchenwäldern des *Maianthemo-Fagetum* durchsetzt sind. An den Hängen des Schafberges treten über Fließenden Drahtschmielen-Buchenwälder vom Typ des *Periclymeno-Fagetum* in engen Kontakt mit den Birken-Eichenwäldern der Ebene, und sie kommen in Verzahnung mit den *Betulo-Querceten* auch in der Ebene nördlich der Hopstener Aa über anlehmigen, nährstoffreicheren Böden vor (THIERMANN 1975a). Früher wurden die *Periclymeno-Fagetum*-Wälder daher als bodensaure Buchen-Eichenwälder dem *Quercion robori-petraeae*-Verband zugerechnet und durch *Quercus petraea*, *Ilex aquifolium* sowie anspruchsvolle krautige Differenzialarten von den Birken-Eichenwäldern differenziert. *Periclymeno-Fagetum* und *Betulo-*

*Quercetum* bildeten eine funktionelle, wirtschaftliche Einheit aus Hof und Ackerland einerseits und gemeiner Mark andererseits. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass jahrhundertelange Extensivwirtschaft zu einer zunehmenden Verschärfung der standörtlichen Unterschiede zwischen Birken- und Buchen-Eichenwäldern geführt hat, die sich in einer deutlichen raum-zeitlichen Verschiebung ihrer Flächenverhältnisse äußern. So begünstigte die Plaggenwirtschaft die reicheren *Periclymeno-Fageten* auf Kosten der ärmeren *Betulo-Querceten*; die Plaggeneschböden sind heute größtenteils als potentielle Buchen-Eichenwaldstandorte einzustufen. Umgekehrt haben Degradation und Flugsandüberwehungen aber auch zur Vernichtung potentieller Buchenstandorte zugunsten der Birken-Eichenwälder geführt. Hier ist also zwischen der heutigen und einer zu rekonstruierenden PNV zu differenzieren (BURRICHTER et al. 1988, POTT & HÜPPE 1991).

Azonale Wälder, die sich kleinräumig untereinander bzw. mit den klimazonalen Waldgesellschaften verzahnen, unterbrechen die weiträumigen Birken-Eichenwald- und Buchenwaldlandschaften und sind insbesondere innerhalb der standörtlich reich strukturierten Senkungszone anzutreffen. In den Niederungen und auf den Niedermooren der Ebene sind Erlenbruchwälder vom Typ des *Carici elongatae-Alnetum glutinosae* weit verbreitet. Sie stellen die PNV für ausgedehnte Bereiche innerhalb der „Meerbecke-Niederung“ dar. *Betuletum pubescentis*-Bruchwälder kommen dagegen nur ganz lokal vor, und auch die PNV der Eichen-Hainbuchenwälder (*Stellario-Carpinetum*) ist lokal auf nährstoffreiche, stauwasserbeeinflusste Böden beschränkt. Beide Waldtypen verzahnen sich eng mit den großflächigeren Birken-Eichen- bzw. Erlenbruchwäldern. Ferner durchziehen natürliche, bachbegleitende Auen- und Niederungswälder, vorwiegend der Gesellschaft des *Pruno padi-Fraxinetum*, die Landschaft entlang der Recker und Hörsteler Aa. Sie werden im collin-montanen Bereich von der Gesellschaft des *Stellario nemorum-Alnetum* abgelöst. Auch im Bereich dieser überwiegend hydrologisch differenzierten, azonalen Wälder ist zwischen der heutigen und einer rekonstruierten PNV zu unterscheiden: Zum einen schufen die lokalen Senkungsprozesse mit der Zeit neue Feucht- und Nassstandorte, zum anderen überformten Kultivierungs- und Entwässerungsmaßnahmen dergleichen irreversibel (BURRICHTER et al. 1988).

Vervollständigt wird das Mosaik der PNV durch die Vegetation natürlich waldfreier Standorte, die die zonale Waldlandschaft unterbrechen. Dies sind zum einen natürliche Trocken- und Halbtrockenrasen über Flugsanden und Dünen der Ebene bzw. auf Felsstandorten der Mittelgebirge. Heute häufen sich diese Felsgrusgesellschaften im Bereich einstiger Buchenwälder in den ca. 30 offenen Steinbrüchen des Ibbenbürener Westfeldes und des Kälberberges. Des weiteren zählen die waldfreien Vegetationskomplexe der Hochmoore dazu, die im großen und ganzen von Gesellschaften der *Oxycocco-Sphagnetea* gebildet werden. Entsprechende Standorte finden sich, wie beschrieben, im „Vinter und Weeser Moor“ und in der „Speller Dose“ sowie in Anflügen auch im NSG selbst. Die streifenförmigen ausgebildeten Fließwassergesellschaften der Bachauen und Grabensysteme müssen ebenfalls hier eingeordnet werden. Für das Untersuchungsgebiet von größerer Bedeutung sind vor allem die Wasser- und Verlandungsgesellschaften der Stillgewässer, die sich in den Subrosionsmulden und Erdfällen der Senkungszone des „Heiligen Feldes“ sehr zahlreich und vielfältig auf kleinstem Raum konzentrieren. Sie decken mit den verschiedensten Stadien sukzessiver Verlandungsprozesse nahezu das gesamte Spektrum der oligo-/ dys- bis eutraphenten Vegetationseinheiten ab (s. Kap. 2.3.1 bis 2.3.3).

## 2.2.7 Aktuelle Vegetation

Die aktuelle Vegetation beschreibt die reale Situation, d.h. das augenblickliche Inventar natürlicher und kulturbedingter Pflanzengesellschaften. Die Erfassung landschaftsgebundener Vegetationskomplexe ermöglicht es anhand reeller floristischer, soziologischer und

ökologischer Eigenheiten sowohl Rückschlüsse auf die naturräumliche Ausstattung der Landschaft zu ziehen (BURRICHTER 1973) als auch die Vegetation der Naturlandschaft präziser zu rekonstruieren (DIERSCHKE 1994). Darüber hinaus spiegelt die aktuelle Vegetation auch die wirtschaftliche Ausnutzung der Landschaft über die Jahrtausende menschlichen Einwirkens wider. So geben kleinräumig verbreitete, mosaikartig miteinander verzahnte De- und Regenerationsstadien natürlicher Wälder und reliktarartige Zeugnisse alter, extensiver Wirtschaftsformen eine Vorstellung von Strukturen innerhalb der prähistorischen und historischen Kulturlandschaft (BURRICHTER et al. 1988)

Die aktuelle Vegetation des „Heiligen Feldes“ wird heute in erster Linie intensiv landwirtschaftlich geprägt (SCHOO 1966). Nur noch kleine Parzellen von Privatwäldern, Wirtschaftswäldern mit bodenständigen Hölzern oder Kiefernforsten durchsetzen die Siedlungs- und Wirtschaftsflächen der Ebene. Die Siedlungskerne auf den Geestrücken lassen zwar noch die alten Strukturen der Drubbel (Haufendörfer) erkennen, die Ortschaften ufern jedoch mehr und mehr aus, reichen bis an die Niederungen heran (z.B. Obersteinbeck) bzw. verschmelzen mit den ehemals weitflächig zerstreuten Einzelgehöften (z.B. Hopsten mit Hof Hespeling im Nordosten des „Großen Heiligen Meeres“). Die mächtigen, jahrhundertealten Eschfluren heben sich kaum mehr von den übrigen Ackerflächen ab. Innerhalb des Agrarlandes differenzieren sich meist nur noch trockenere Ackerflächen mit dominierendem Maisanbau von feuchterem, intensiv genutzten Wirtschaftsgrünland. Die einstigen, naturraum-bedingten Feuchte- und Trophie-Unterschiede sowie die ehemals kleinräumige, anthropozoogene Differenzierung der Landschaft wurde in den letzten Jahrzehnten durch Intensivierung der Landwirtschaft, d.h. durch Gülle- und Mineraldüngung, Herbizid- und Pestizideinsatz sowie systematische Entwässerung der Niederungen zunehmend nivelliert. Extensiv genutzte Heideflächen und Feuchtgrünlandereien sind fast völlig verschwunden, da kulturtechnische Maßnahmen nun auch eine ackerbauliche Nutzung der Heidepodsole bzw. Gleye ermöglichten. Schließlich fand im Zuge der Melioration, der produktionssteigernden Technisierung und der wettbewerbsbedingten Rationalisierung eine Umstrukturierung und Monotypisierung der Landschaft auf Kosten ehemaliger Kleinstrukturen statt (LILLOTTE 1983). Auch die einstigen naturräumlichen Gegensätze sind nahezu aufgehoben, und die Landschaft der Ebene geht fließend in das offene, alte Streusiedlungsgebiet der Abdachungszone des Schafbergs und schließlich das Ibbenbürener Tal in die Flächen des Plateaus über. Auf der Karbonscholle stocken zwar noch etwas großflächigere, naturnahe Wirtschaftswälder sowie Fichtenforste, doch ist auch die Hochfläche agrarisch geprägt und zudem vom Ibbenbürener Steinkohlebergbau und dem einstigen Kalk- und Erzabbau stark industriell überformt (THIERMANN 1975b).

Das strukturreiche Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ ist nun inselartig in diese monotone Agrar- und Kulturlandschaft eingebettet. Nur noch hier treten die zahlreichen, natürlichen und anthropogenen Landschaftsformen und terrestrischen, semiterrestrischen und aquatischen Vegetationseinheiten auf, die ehemals die gesamte Senkungszone charakterisierten (Abb. 8). So spiegelt das NSG auf kleinstem Raum die Vielfalt der natürlichen und extensiv genutzten Landschaftstypen wider, die einst weitenteils das Bild Nordwestdeutschlands prägten (RUNGE 1978). Neu aufgewachsene, naturnahe Gebüsch- und Waldfragmente (*Betulo-Quercetum typicum*, *B.-Q. molinietosum*, *B.-Q. alnetosum*, *Carici elongatae-Alnetum*, *Frangulo-Salicetum cinerae*, *Myricetum gale*) wechseln mit Kieferbeständen, Teilen alter Heide-Kulturlandschaft, Zwergstrauchheiden, Triftrasen und Fragmenten extensiven Grünlandes (mehrschürige Wiesen, Feucht- und Streuwiesen, Brachen und Weiden). Mit der Vegetation der Stillgewässer bietet das NSG daher eine Vielfalt an Biozönosen, unter denen RUNGE (1991a) allein 57 Pflanzenassoziationen und -subassoziationen beschrieb. Die hier noch vorhandenen, ansonsten aber stark gefährdeten Biotoptypen stellen zugleich den Hintergrund für die floristische und faunistische Mannigfaltigkeit sowie das Auftreten seltener, meist gefährdeter Arten, deren Veränderungen in

den letzten Jahrzehnten genauestens verfolgt wurden (GRAEBNER 1930, 1934, RUNGE 1957, 1967a, 1985a, 1991, TERLUTTER 1995).

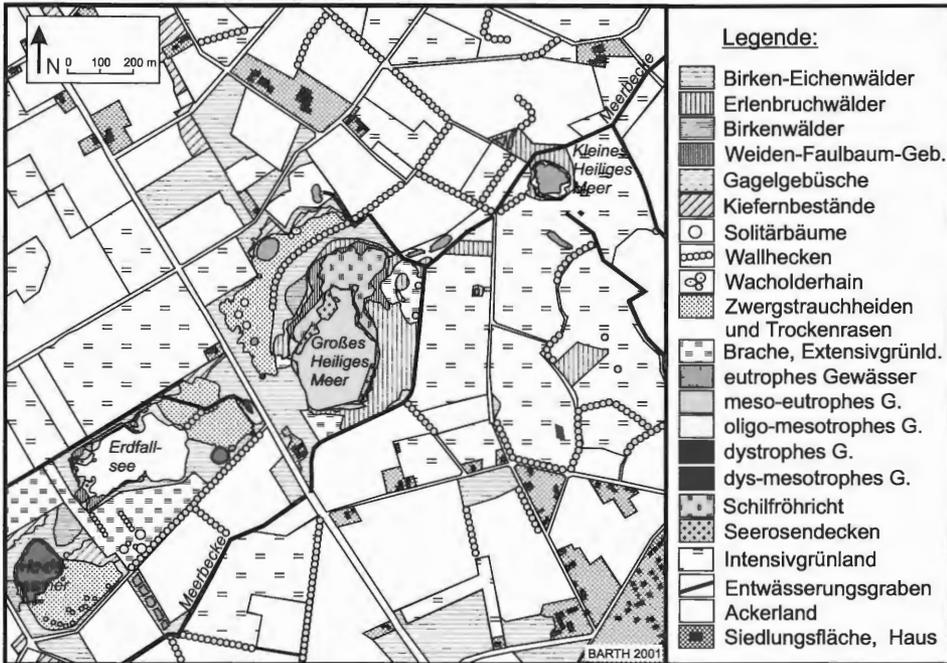


Abb. 8: Karte der aktuellen Vegetation des NSG „Heiliges Meer“ (Basis: TK 5 und DGK 5 L, Bl. 3611/17 „Großes Heiliges Meer“).

### 2.3 Aktuöökologie der Stillgewässer

Vier größere Seen sowie mehrere Heidekolke und -tümpel prägen das Bild der Gewässerlandschaft „Heiliges Meer“. Dabei nehmen Gewässer und Sümpfe nach RUNGE (1991a) ungefähr ein Drittel der Fläche des Naturschutzgebietes ein.

Die tiefen Stillgewässer „Kleines“ und „Großes Heiliges Meer“ und „Erdfallsee“ sowie einige perennierende Kolke sind grundwassergespeist. Dies kommt in den jahreszeitlichen Seespiegelschwankungen zum Ausdruck, die direkt mit dem Jahresgang des Grundwassers korrelieren (KRIEGSMANN 1938, LOTZE 1957). Der geohydrologische Einfluss ist für die Entwicklung dieser Stillgewässer von entscheidender Bedeutung. So wurden die Subrosionsmulden und Erdfalltrichter von dem nährstoffarmen, schwach gepufferten und daher schwach sauren Porengrundwasser der umgebenden Sande gefüllt, so dass am Beginn ihrer Genese zumeist oligotrophe Gewässer standen. Lediglich im Einflussbereich von Mooren waren sie dem dystrophen Typus zuzuordnen. Im Laufe der Zeit reicherten sich dann in natürlicher, biogen gesteuerter und durch anthropogene Einträge beschleunigter Sukzession Nährstoffe an, so dass im Gebiet heute, je nach Alter und subrosionsbedingter Morphogenese, Gewässer unterschiedlichster Trophie existieren (BUDDE 1942b, BEYER 1969, PUST 1993). Zahlreiche limnologische und speziell hydrochemische Untersuchungen erfassten in den letzten Jahrzehnten die Hydrologie dieser Gewässer. Demnach gilt das „Kleine Heilige Meer“ heute als eutroph (TERLUTTER 1995), das „Große Heilige Meer“ als meso-eutroph (POTT 1980), der „Erdfallsee“ als oligo-mesotroph (BUDDE 1942b) und der „Heideweiher“ als dystroph (HASSE 1994). Die Kolke unterschiedli-

cher Trophie wurden von HOFMANN (1995) untersucht. POTT (1983a) stellte anhand der Gewässer des NSG hydrochemische Richtzahlen für verschiedene Trophiestufen zusammen, die in Tab. 2 zusammengefasst sind.

Tab. 2: Hydrochemische Richtzahlen (Amplitude/Mittelwert) verschiedener Trophiestufen (POTT 1983a).

Gewässertyp	pH-Wert		Leitfähigkeit [µS/cm]		Nitrat [mg/l]	
	<b>Oligotroph</b>	4,3-6,3	5,6	<b>110-170</b>	<b>135</b>	<0,01-0,7
<b>Dystroph</b>	4,1-6,1	4,5	<b>50-100</b>	<b>89</b>	0,2-0,29	0,22
<b>Dys-mesotroph</b>	4,7-5,9	5,3	<b>155-256</b>	<b>215</b>	<0,01-0,29	0,12
<b>Mesotroph</b>	5,0-7,4	7,2	<b>190-340</b>	<b>240</b>	1,2-2,2	1,7
<b>Schwach eutroph</b>	7,0-7,8	7,5	<b>306-620</b>	<b>430</b>	<0,01-5,1	2,8
<b>Eutroph</b>	6,0-8,4	7,7	<b>538-817</b>	<b>657</b>	0,75-5,1	3,55
<b>Hypertroph</b>	6,8-8,9	7,9	<b>260-1165</b>	<b>670</b>	<0,01-8,1	3,58
	Ammonium [mg/l]		Phosphat [mg/l]		KMNO <sub>4</sub> - Verbrauch [mg/l]	
<b>Oligotroph</b>	<0,1-1,0	0,14	<0,01-0,2	0,01	15,1-20,0	17,0
<b>Dystroph</b>	<0,01-0,09	0,2	0,19-0,8	0,2	23,7-25,3	24,1
<b>Dys-mesotroph</b>	0,7-0,9	0,8	0,1-0,15	0,13	73,16	73,2
<b>Mesotroph</b>	<0,01-0,2	0,07	0,2-0,8	0,52	23,7-25,3	24,3
<b>Schwach eutroph</b>	0,1-0,75	0,5	0,01-2,3	0,62	30,1-41	34,5
<b>Eutroph</b>	<0,01-2,5	0,52	0,6-3,8	1,47	20,6-46,1	29,3
<b>Hypertroph</b>	<0,01-0,4	0,11	<0,01-6,5	2,29	15,8-31,1	25,9

Über den generellen Trophiestatus hinaus werden insbesondere die Uferbereiche der Gewässer durch kleinräumig wechselnde Milieubedingungen gekennzeichnet. Diese gehen sowohl auf die bereits beschriebene, natürliche und vom Menschen beeinflusste hydrologische Diversität der Grundwasserlandschaft zurück als auch auf die verschiedenen Standort- und Vegetationsverhältnisse im Litoral und Epilitoral selbst, die wiederum in Abhängigkeit von direkten anthropogenen Einflussmaßnahmen stehen können. Diese trophische Vielfalt spiegelt sich in einem großen Reichtum an z.T. seltener Wasser- und Sumpflvegetation innerhalb des Gebietes bzw. an den vier Seen wider, die sich durch ganz unterschiedliche Vegetationszonierungen auszeichnen (BEYER 1969, RUNGE 1969, POTT 1983a, POTT et al. 1996).

### 2.3.1 „Heideweiher“ und Kolke

Der „Heideweiher“ ist ein ca. 2 ha Großes, 0,8-1,4 m tiefes Flachgewässer im südwestlichen Teilgebiet des NSG „Heiliges Meer“. Nach GRAEBNER (1930) ist er, gleich den übrigen Gewässern des Gebietes, durch Subrosion entstanden; er könnte jedoch auch eine nacheiszeitliche Deflationswanne darstellen. Der „Heideweiher“ ist, wie die meisten, periodisch oder episodisch austrocknenden Heidekolke, zum großen Teil regenwassergespeist und durch seine Flachheit sowie infolge unterlagernder und abdichtender Ortsteinbänke vom übrigen Grundwasser-Kommunikationsregime hydrologisch isoliert. Er weist daher eine ganz eigenständige Limnologie auf (LOTZE 1951). In den letzten Jahrzehnten haben anthropogene Maßnahmen sowie klimaabhängige und geogen bedingte, starke Wasserpegelschwankungen eine deutliche Veränderung der trophischen Verhältnisse nach sich gezogen (POTT et al. 1996): Einst zählte der Weiher zu den episodisch austrocknenden Gewässern und wies einen oligotrophen Typus auf. Heute, nach Unterbindung lokaler Drainage, stabilisierte sich sein Wasserhaushalt und entwickelte sich unter zunehmendem Niedermooreinfluss zu einem dystrophen Gewässer. Entsprechend weist der „Heideweiher“ heute eine braune Wasserfarbe und einen braunen Torfschlamm Boden auf. Dieser

sog. Dy wird unter Sauerstoffmangel akkumuliert, wenn das organische Material durch Herabsetzung der biologischen Aktivität nicht zersetzt wird. Daher wachsen diese Böden rasch an und führen zu einer schnellen Verlandung der Gewässer (MERKT et al. 1971). Die Nährstoffkonzentrationen des „Heideweiher“ liegen mit Werten von 1,1-1,9 mg/l Nitrat, 0,053 mg/l Phosphat, 2,18 mg/l Kalzium, 0,94 mg/l Magnesium, 1,73 mg/l Kalium und einer Leitfähigkeit von 46-72  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im nährstoffarmen Bereich. Die Gesamthärte des sehr weichen Wassers beträgt 0,53°dH. Ein hoher Kaliumpermanganat-Verbrauch von 101,51 mg/l und die sehr niedrigen pH-Werte von 4,3-5,2 deuten auf hohe Huminsäuregehalte entsprechend den dystrophen Bedingungen hin. Die Eisenkonzentrationen erreichen, jahreszeitlich schwankend, zwischen 0,7 und 2,3 mg/l (HASSE 1994). Auch die Kolke und Tümpel des „Heiligen Meeres“ zeichnen sich bei pH-Werten von 3,8-4,9, organischer Substanz von 79-258 mg/l bei gleichzeitigen Nitrat- und ortho-Phosphatkonzentrationen von 0,37-1,81 mg/l bzw. 0,05-0,17 mg/l durch dys- bis dys-mesotrophe Verhältnisse aus (HOFMANN 1995).

Die hydrochemischen Veränderungen am „Heideweiher“ zogen auch eine Umstrukturierung der Vegetation nach sich. Noch bis in die siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts waren dort oligotraphente Vegetationseinheiten weit verbreitet. An die Strandlingsgesellschaften (*Lobelietaum dortmannae*, *Litorelletum uniflorae*, *Pilularietaum globuliferae*) schloss sich uferwärts kranzförmig ein *Eleocharietaum multicaulis* an, das im Südwesten in Bestände des mesotraphenten *Carici rostratae-Menyanthetum*, des *Caricetaum rostratae* und von *Equisetum fluviatile* und schließlich in die einstmals angrenzenden feuchten Wiesen übergang (BÜKER 1940, DIERSSEN 1972, LÜBBEN 1973, RUNGE 1960, 1974). Heute zoniert sich eine dys-mesotraphente Vegetation aus *Nymphaetum albo-minoris*, *Sphagnetum cuspidato-obesii* (mit eingestreutem *Sphagno-Juncetum bulbosi* und *Scirpetum fluitantis*), *Eleocharietaum multicaulis* (mit kleinflächigem *Sphagno cuspidato-Eriophoretum angustifolii*), *Carici canescentis-Agrostietum caninae*, *Myricetaum galis* und einem mesotraphenten *Frangulo-Salicetum cinereae* im Nordwesten bzw. einem *Salicetum auritae* im Südwesten (HELLBERG 1979, FRONTZEK 1980, POTT 1980, HASSE 1994, POTT et al. 1996).

Auch die Kolke und Tümpel des Naturschutzgebietes werden von dystrophen bis dysmesotrophen Verlandungsreihen charakterisiert (RUNGE 1967a, 1985a, BRÜGGE 1971, LANGER 1984, KAUSCH & BRÜCK 1985, FUNKE 1992, RUDKE 1994, HOFMANN 1995, POTT et al. 1996): Dabei werden sie in erster Linie von den Gesellschaften des *Sphagno-Juncetum bulbosi* und des *Sphagno cuspidati-Eriophoretum angustifoliae* bzw. des *Sphagnetum cuspidato-obesii* geprägt, an die sich uferwärts die Trittrasen des *Rhynchosporietum fuscii* bzw. *R. albae* bzw. ein *Eleocharietaum multicaulis* und schließlich die feuchten und trockenen Heiden anschließen (RUNGE 1960, 1969). In austrocknenden Kolken breiten sich jeweils die Schlammbodengesellschaften des *Riccio crystallina-Limoselletum aquatica* bzw. verschiedene *Bidention*-Gesellschaften aus. In den Kolken des „Erdfallsee“-Gebietes wurden zudem in den sechziger Jahren Vorkommen eines *Utricularietum minoris* beobachtet, die 1983 verschwunden waren bzw. im tiefen, sog. „*Utricularia*“-Kolk durch ein *Utricularietum neglectae* verdrängt worden sind. Letzteres kennzeichnet auch den „*Beggiatoa*“-Kolk westlich des „Großen Heiligen Meeres“.

Die Vegetation des „Heideweiher“ und der Kolke ist zudem aufgrund vegetationsgeographischer Aspekte floristisch äußerst interessant. So häufen sich hier, wie an vielen nordwestdeutschen Heideweiher, die Vorkommen zahlreicher atlantischer Goelemente, die entsprechend ihrem NW-SO-Gefälle weiter südlich und östlich verschwinden und auch im ozeanisch getönten Tiefland eutrophierungsbedingt selten geworden sind (BURRICHTER 1983, RUNGE 1985c). Dazu zählen die hier vorkommenden Arten *Apium inundatum*, *Cicendia filiformis*, *Deschampsia setacea*, *Eleocharis multicaulis*, *Hypericum elodes* bzw. die mittlerweile verschwundenen Arten *Baldellia ranunculoides*, *Luronium natans* und *Pilularia globulifera*. Ferner zählen dazu auch *Erica tetralix* und *Narthecium ossi-*

*fragum* aus den benachbarten feuchten Zwergstrauchheiden (GRAEBNER 1930, RUNGE 1957, 1967a, 1985c). Gleichfalls häuft sich die Verbreitung einiger boreo-montaner Florenelemente an den regionalen Moor- und Gewässerstandorten, deren Südgrenze sich durch das Gebiet Südniedersachsens/Nordwestfalens zieht. Im NSG sind es *Andromeda polifolia*, *Carex lasiocarpa*, *Cicuta virosa*, *Drosera intermedia*, *Empetrum nigrum*, *Litorea uniflora*, *Lobelia dortmanna*, *Lycopodiella inundata*, *Potamogeton perfoliatus* und *Rhynchospora fusca* (RUNGE 1957, 1967a, 1978, 1985b).

### 2.3.2 „Erdfallsee“

Der ca. 7 ha große, fast 12 m tiefe „Erdfallsee“ ist der jüngste der vier großen Stillgewässer des Untersuchungsgebietes. Der im Durchmesser etwas über 100 m große Erdfalltrichter ist erst am 14.04.1913 eingebrochen (WEGNER 1913a-c, TIETZE 1914). An der Einbruchsstelle soll sich allerdings schon zuvor eine torf- und wassergefüllte Senke befunden haben. Ferner hat der Erdfall nach LOTZE (1956) und LORENZ (1975) einen größeren, westlich gelegenen Tümpel oder Sumpf („Das Moor“) angeschnitten, der den heutigen flachen Seeteil bildet, sowie im Nordosten einen älteren, vertorften Erdfall, der sich heute als kleine Bucht des tiefen Seebeckens abzeichnet.

Das ursprünglich oligotrophe Gewässer ist heute das am stärksten gefährdete Wasser des Naturschutzgebietes, das insbesondere durch hohe Nährstoffeinträge aus den umliegenden landwirtschaftlichen Flächen über den Grundwasserpfad von Eutrophierung bedroht ist. Wies der „Erdfallsee“ bei seiner Entstehung noch rein oligotrophe Bedingungen auf, trägt er mittlerweile bereits mesotrophe Züge (POTT et al. 1998). Entsprechend der trophischen Verhältnisse ist auch der typisch subhydrische Rohboden oligotropher Gewässer, das Protopedon, heute nur noch auf die „Brandungszone“ des Sees beschränkt. Dort sedimentieren über dem Mineralboden keine oder nur sehr geringe Lagen an organischem Material (Humusgehalt <1 %). Im Tiefenbereich dagegen wurde das Sediment bereits von BUDDE (1942b) und von POTT (1983a) als *Dygyttia* charakterisiert. Hydrochemisch entsprechen die mittleren pH-Werte von 6,6-6,8 und die Gesamthärte von 1,8-2,6° dH der Gewässerlage inmitten der schwach sauren, pleistozänen Sande. Die Eisenwerte erreichen 1,186 mg/l im Epilimnion und bis 9,63 mg/l im Hypolimnion (Gesamtmittel 0,15-2,83 mg/l). Die niedrigen Werte von Phosphat (0,005-0,078 mg/l), Kalzium (11,9-15,5 mg/l), Magnesium (1,3-1,7 mg/l), Kalium (0,9-1,8 mg/l) und Natrium (6,99-8,1 mg/l) spiegeln, ebenso wie die Leitfähigkeitswerte von 143,7-166 µS/cm, die geringe Produktionskraft und Nährstoffarmut des Gewässers wider. Dagegen deuten die organischen Gehalte von ca. 30 mg/l, das Auftreten von 0,2-1,62 mg/l Nitrat, die zeitweise schwindenden Sauerstoffkonzentrationen und die geringe Sichttiefe (maximal 2,5 m) die bereits einsetzende Eutrophierung an (MACHARACEK 1996, HÖLTER 1996).

Die Algenflora deutet nach BUDDE (1942b) ebenfalls auf ein kalkarmes, schwach saures, oligotrophes Gewässer hin. Im Gegensatz zum „Großen Heiligen Meer“ wird dabei auf den großen Reichtum an *Cyanophyceae*, *Zygnema* sp. und *Desmidiaceae* hingewiesen. Die pelagischen Diatomeengesellschaften werden von zahlreichen Arten der Gattung *Eunotia* und jahreszeitlichen Massenvorkommen von *Tabellaria flocculosa* und *T. fenestrata* geprägt (wobei *E. formica*, die im „Großen Heiligen Meer“ auftritt, fehlt) und von *Eucocconeis flexella* und *Fragillaria virescens* agg. begleitet. Der Gewässergrund wird von *Pinnularia*- und *Surirella*-Arten gemeinsam mit *Stenopterobia intermedia*, *Neidium* sp. und *Stauroneis* sp. besiedelt; das Litoral wird stellenweise von *Frusulia rhomboides* var. *saxonica* beherrscht. Unter den *Navicula*-Arten treten *N. radiosa*, *N. pupula*, *N. rhynchocephala*, *N. cryptocephala* und *N. pseudoscutiformis* stärker hervor.

In seiner Vegetation zeigt der „Erdfallsee“ heute die typische Verlandungssukzession eines oligo-mesotrophen Gewässers, wobei er gleich dem „Heideweiher“ als charakteri-

stisches Gewässer des nordwestdeutschen Pleistozäns ein großes Inventar an atlantischen Florenelementen aufweist. Die oligotraphenten Strandlingsgesellschaften der östlichen Sandbankufer gehören zu den schützenswertesten Pflanzengesellschaften des NSG „Heiliges Meer“. Als größte Kostbarkeit ist wohl die Wasserlobelie *Lobelia dortmanna* anzusehen, die Anfang der siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts noch regelmäßig und zu Tausenden anzutreffen war (DIERSSEN 1973, LÜBBEN 1973), dann aber infolge des erhöhten Wasserstandes und der Eutrophierung zurückging und heute nahezu verschwunden ist (RUNGE 1985A, MACHARACEK 1997, HÖLTER 1998). Neben der Wasserlobelie ist der Strandling *Litorella uniflora* die wichtigste Art des *Lobelietum dortmannae*. Das gesellschaftscharakterisierende Brachsenkraut *Isoetes lacustris* fehlte den Strandlingsbeständen des NSG von jeher, im Unterschied zu den übrigen nordwestdeutschen Vorkommen (POTT 1981b, 1982a). So ist denn auch eher von einer *Litorella uniflora*-Gesellschaft zu sprechen, die durch das Vorkommen von *Hypericum elodes* heute bereits mesotrophe Züge aufweist und uferwärts in ein *Eleocharitetum multicaulis* in der mesotraphenten Fazies von *Hypericum elodes* übergeht (POTT et al. 1996). Im südwestlichen Teil des Gewässers hat sich die Schwimmblattzone eines *Nymphaetum albo-minoris* ausgebildet, an die sich randlich mesotraphente Kleinseggenrasen des *Carici rostratae-Menyanthetum*, *Caricetum rostratae*, *Caricetum vesicariae*, eines *Carici canescentis-Agrostietum caninae* in der Fazies von *Potentilla palustris* sowie kleinflächig am Nordostufer eines *Caricetum lasiocarpae* anschließen (MACHARACEK 1997, HÖLTER 1998). Ein ebenfalls nur ca. 10 m<sup>2</sup> großes *Cladietum marisci* am Westufer wurde in den letzten Jahren sukzessive verdrängt, beschleunigt durch Bisamverbiss (RUNGE 1985a, 1991a). Das noch kümmerliche Schilfröhricht mit monodominantem *Phragmites australis* und überlagerndem *Riccietum fluitantis* indiziert die fortschreitende Eutrophierung des Sees ebenso wie das Weiden-Faulbaumgebüsch, das den teilweise ausgedehnten Gagelbestand zunehmend durchdringt. Der Gehölzgürtel, der lediglich am Südost- und am steilen Südufer fehlt, wird durch kleinflächige Erlenbruch- und Birkenwälder ergänzt, die sich eng mit den Birken-Eichenwaldbeständen verzahnen, die den See gürtelartig umgeben und auch am Steilufer stocken (POTT et al. 1996, MACHARACEK 1997, HÖLTER 1998).

### 2.3.3 „Großes Heiliges Meer“

#### 2.3.3.1 Morphometrie und Morphogenese

Das „Große Heilige Meer“ zeigt eine ovale, in der Längsachse NS-gerichtete Form, die in ihrer größten NS-Ausdehnung 530 m und WO-Ausdehnung 250 m misst. Die charakteristische Form sowie die eigenwillige Morphometrie des Sees lassen sich primär auf dessen Genese zurückführen, die eng mit den Subrosionsvorgängen im Untersuchungsgebiet verknüpft ist und durch eine Verkopplung mehrerer Senkungsformen im Zuge verschiedener Absenkungsphasen charakterisiert wird. LOTZE (1956) und SCHROEDER (1956) entwickelten in Analogie zur Entwicklung des „Erdfallsees“ eine dreiphasige Modellvorstellung, die anhand der hier vorliegenden Ergebnisse weiter ausgearbeitet wurde (Kap. 5.3). Heute besteht das „Große Heilige Meer“ aus einem nördlichen Weiher von ca. 1 m Tiefe, der eine von ausgedehnten Röhrichten bewachsene Litoralzone bildet, und einem südlichen Erdfallsee, der das tiefe Seebecken des „Großen Heiligen Meeres“ darstellt und in seiner größten Tiefe heute 10,7 m Wassersäule zuzüglich 9,5 m mächtiger Mudden erreicht. Die trapezförmige Schüsselsenke hat eine nahezu kreisrunde Form und misst ca. 200 m im Durchmesser. Ihre Steilufer fallen mit durchschnittlich 20 % Gefälle ab und sind insbesondere im Südwesten der Doline deutlich ausgeprägt; im Süden und Südosten ist ihnen eine 20 bis 50 m schmale, sicherlich durch nachträgliche Abbrüche entstandene Uferbank vorgelagert. Sie erweitert sich nach Osten und Nordosten und geht schließlich in den Flachsee über. Im Tiefenlinienplan des Gewässers ist hier eine Erosionsrinne sichtbar, die von Wassern ausgefurcht wurde, welche aus dem Flachsee in das tiefe Becken

strömten (Abb. 9). Die Berücksichtigung der geologisch bedingten NS-Dimorphie des „Großen Heiligen Meeres“ ist von wesentlicher Bedeutung für dessen ökologische und paläoökologische Betrachtung, da sie eine jeweils spezifische Litoral- und Pelagialsituation schuf und eine Dipolarisierung der Verhältnisse nach sich zog.

Darüber hinaus führte die geographische Lage des Erdfalls im Relief, d.h. seine Entstehung im westlichen Grenzbereich der „Meerbecke-Niederung“ zu einer weiteren OW-Polarisierung der limnologischen Verhältnisse: Während im Nordosten nährstoffreiche, basische Bruchwaldtorfe an der Erdoberfläche anstanden bzw. teilweise auch fossil unter den autochthonen Seemudden gefunden wurden, stieß das Gewässer im Westen unmittelbar an die höherliegenden, nährstoffarmen und bodensauren Flug- und Dünsande des „Heiligen Feldes“. So wird das Gewässer von Beginn an durch Heteropolarität der Gegebenheiten im Uferbereich charakterisiert und in seiner Entwicklung beeinflusst.

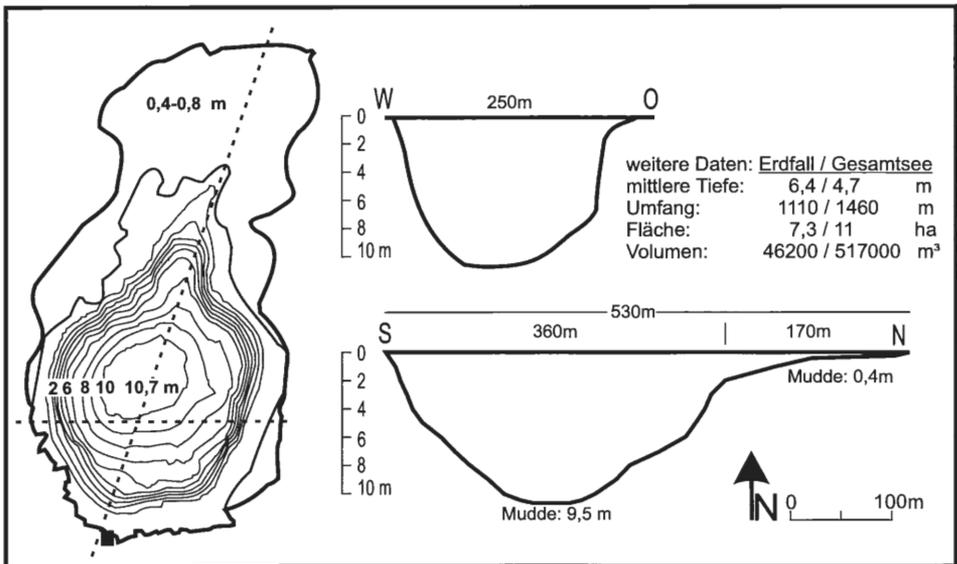


Abb. 9: Morphometrie des „Großen Heiligen Meeres“ (verändert n. LOTZE 1956).

Jüngste aktuoökologische Forschungen haben nun einerseits die gegenwärtigen Differenzen zwischen den pelagischen und litoralen Stoffflüssen aufgezeigt und andererseits die kleinräumige Strukturierung der heutigen Standortverhältnisse unterschiedlicher Uferzonen hervorgehoben, die in der Gewässerverlandung zum Ausdruck kommen und die differenzierte Vegetation des Sees prägen (POTT et al. 1996, 1998). In der vorliegenden Arbeit soll dies nun unter dem genetischen Aspekt untersucht werden, d.h. es soll erarbeitet werden, inwieweit die unterschiedlichen Ausgangssituationen die natürlichen Sukzessionsvorgänge des Gesamtgewässers beeinflussten und wie sie mit anthropogenen Einflussnahmen gekoppelt waren.

### 2.3.3.2 Hydrologie

Als tiefes Stillgewässer der atlantisch geprägten, gemäßigten Zone lässt sich das „Große Heilige Meer“ in seinen thermischen Verhältnissen dem dimiktischen Seetypus mit mehr oder minder regelmäßigem Wechsel von Sommer- und Winterstagnation, Frühjahrs- und Herbst-Vollzirkulation (Holomixis) zuordnen. Dabei überwiegt die Dauer der Stagnationsphasen die der Zirkulationsphasen bei weitem und die Temperaturschichtung in Epi-,

Meta- und Hypolimnion ist vor allem im Sommer, d.h. von Ende März/Anfang April bis Oktober sehr ausgeprägt, wobei die Sprungschicht bei 3-5 m liegt. Durch Windeinwirkungen kommt es in dieser Zeit allenfalls zu epilimnischen Teilzirkulationen. Diese werden durch eine 13x5 m große Windschneise, die sog. „mesotrophe Stelle“ gefördert. Sie wurde 1963 aus eben diesem Grund in den westlichen Bruchwaldgürtel geschlagen, um den bis dato bestehenden Windschutz des geschlossenen Waldgürtels zu unterbrechen. Während der Winterstagnation kommt es in der Regel zu einer Eisbedeckung auf dem See, die jegliche Zirkulation unterbindet. Zudem fällt bei ausgeprägter Winterstagnation und einer schnellen Erwärmung des Gewässers nach dem Abtauen des Eises, wie z.B. in den Jahren 1994/95 und 1995/96, die Frühjahrszirkulation sehr kurz aus. Umgekehrt kann die Stagnation in milden Wintern, wie z.B. 1993/94, auch witterungsbedingt ausfallen, so dass die herbstliche *Holomixis* direkt in die Frühjahrszirkulation übergeht und das Gewässer episodisch monomiktische Züge aufweist (POTT et al. 1998). Im allgemeinen ist das dimiktische Verhalten des Gewässers aber für eine ausgeprägte Jahresperiodik physiko-chemischer Faktoren verantwortlich, die während der Stagnationen über die Temperaturschichtung hinaus zu einer Vertikaldifferenzierung sämtlicher Parameter führt. Diese steuern nicht nur den jahreszeitlichen Lebenszyklus zahlreicher Gewässerbewohner, sondern konzentrieren zudem das pelagische Leben auf die durchlichtete, sauerstoff- und nährstoffreiche trophogene Zone, während die licht- und sauerstoffarme, tropholytische Zone lediglich von wenigen Mikroorganismen besiedelt wird.

Hydrologisch gehört das „Große Heilige Meer“ zu den primär grundwassergespeisten Gewässern des NSG. Aufgrund der natürlichen Nährstoff- und Basenarmut des Porenwassers der regionalen pleistozänen Sande muss daher nach KRIEGSMANN (1938) und BUDE (1942b) von einem primär oligotrophen Status des Stillwassers, vergleichbar der Situation des jungen „Erdfallsees“, sowie einer sukzessiven Nährstoffakkumulation ausgegangen werden. SCHROEDER (1956) verweist dagegen bereits auf den eutrophierenden Einfluss der angeschnittenen Niedermoortorfe im Nordosten des Sees und postuliert daher schon für die initiale Gewässerphase nährstoffreichere Bedingungen. Die Klärung des trophischen Ausgangsstatus und Entwicklungsprozesses soll zentrales Thema dieser Arbeit sein.

Heute wird das „Große Heilige Meer“ als meso-eutrophes Gewässer eingestuft (POTT 1980). Zahlreiche Staatsexamens- und Diplomarbeiten haben in langfristigen Messreihen dessen jüngste hydrochemische Entwicklung verfolgt (WIEMERS 1975, PASTILLE 1978, SCHULER 1982, MÜGGE 1984, STORM 1996, HAGEMANN 1997, SOLLE 1998) und seit Mitte der neunziger Jahre werden die Nährstoffeinträge in das Gebiet und dessen Gewässer sowie deren Auswirkungen auf die Vegetations- und Trophie-Entwicklung im Rahmen eines umfangreichen Projektes eingehend untersucht (POTT et al. 1996, POTT 1998). Danach entsprechen die mittleren Leitfähigkeitswerte von 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ebenso wie die durchschnittlichen Daten von Phosphat (0,05 mg/l) und Nitrat (0,4 mg/l) eher einem mesotrophen Milieu. Bei relativ starken, vermutlich witterungsbedingten Messwertschwankungen indizierten die Maximalwerte von 0,25 mg/l Phosphat und 3,0 mg/l Nitrat jedoch zeitweilig durchaus eutrophe Verhältnisse und auch die pH-Werte, die in einer relativ weiten Amplitude von 6,5 bis 8,4 um den Neutralpunkt schwanken, sprechen für ein eutrophes Milieu. In Korrelation zu den Kalzium- und Magnesiumwerten sowie der Gesamthärte, die bei 3,3-4,8° dH liegt, kennzeichnen sie ein stabilisiertes Hydrogenkarbonat-Puffersystem eines nährstoffreichen Weichwassersees. Bei Betrachtung der Uferzonen ergeben sich noch komplexere Verhältnisse, die die Heterogenität des Gewässers auch von Seiten der Hydrochemie deutlich widerspiegeln. So zeigen sämtliche Parameter nicht nur deutliche Gradienten vom Pelagial zum Litoral, sondern ermöglichen zudem eine klare trophische Differenzierung verschiedener Uferbereiche. Z.B. weisen die Wasser des Ost- und Südufers im Gegensatz zum mesotrophen Westufer regelmäßig eutrophe Züge auf. Insgesamt verweist die hydrochemische Vielfalt im Uferbereich (Tab. 3) dabei

ganz klar auf das Litoral als Ausgangspunkt allochthoner Einflüsse, wobei deren Auswirkungen auf den litoralen Stoffhaushalt entscheidend von der Grund-Sickerwassergrenze ebenso wie von der Grund-Seewasser-Kommunikation bestimmt werden. Während sich Stoffeinträge auf das Litoral nach POTT et al. (1996) also direkt, punktuell und daher massiv auswirken, erreichen sie das Pelagial stets erst nach der Litoralpassage und eventuellen ersten Umsetzungen und werden schließlich im Zuge von Teil- und Vollzirkulationen verteilt und in ihrer Wirkung abgeschwächt.

Tab. 3: Hydrochemische Daten des „Großen Heiligen Meeres“ von 1996 (POTT et al. 1996).

	Lf [µS/cm]	pH [-lg(H <sup>+</sup> )]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]
<b>Pelagial</b>	280	7,2	0,2	0,012	73,2	25,0
<b>Westufer</b>	198	7,5	0,4	0,008	48,8	25,0
<b>Nordufer</b>	274	7,3	0,6	0,09	79,3	25,0
<b>Ostufufer</b>	675	7,1	0,8	0,13	122,0	70,0
<b>Südufer</b>	1100	7,2	2,2	0,7	61,0	153,0
	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Fe <sup>2+</sup> [mg/l]
<b>Pelagial</b>	3,5	1,7	16,3	36,2	29,5	1,416
<b>Westufer</b>	3,4	1,8	20,3	22,7	24,8	0,420
<b>Nordufer</b>	3,6	1,6	16,4	34,8	3,8	0,445
<b>Ostufufer</b>	5,0	1,4	20,8	77,7	105,1	1,862
<b>Südufer</b>	15,0	1,3	27,0	114,2	240,7	0,762

Insgesamt übersteigt der Nährstoffeintrag die Mineralisation deutlich, so dass das „Große Heilige Meer“ unter Ablagerung mächtiger organischer Horizonte allmählich verlandet. Heute lagern im zentralen Seebecken des Sees bereits 9,5 m mächtige, grau bis grauschwarze Fein- und Mitteldetritusmudden, die im obersten Horizont infolge des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion zu einem Sapropel tendieren. Im Uferbereich sedimentieren dagegen hauptsächlich Grobdetritusmudden, die im semiterrestrischen Bereich in Niedermoorböden übergehen. Neben den eigentlichen Eutrophierungsparametern werden die Produktionsbiologie und der Gewässerhaushalt des „Großen Heiligen Meeres“ von einer deutlichen Siderotrophie beeinflusst, an der nach KRIEGSMANN (1938) vor allem die Meerbecke, die das „Große Heilige Meer“ bis 1968 durchfloss, großen Anteil hatte. Wie die vorangegangenen Zu- und Abflüsse im Laufe der Gewässergeschichte, wirkte sie nachhaltig auf den Chemismus und die hydrologische Gesamtsituation des primär abflusslosen Erdfalls ein und belastete insbesondere dessen Eisenhaushalt mit Frachten bis zu 44 mg/l Fe<sup>2+</sup>. Noch heute führen hohe Eisengehalte von teilweise über 4 mg/l und die Ausflockung von Eisenhydroxiden und -phosphaten zu einer Braunfärbung und periodischen Wassertrübung des Sees. Dadurch wird nicht nur das Lichtklima negativ beeinflusst (abnehmende Sichttiefe), sondern vor allem die Mächtigkeit der trophogenen Zone, die die wichtigen Lebensvorgänge im „Großen Heiligen Meer“ entscheidend prägt (KRIEGSMANN 1938, TERLUTTER 1995).

### 2.3.3.3 Diatomeen und anderes Plankton

Die Gesamtbefunde phytoplanktischer Untersuchungen weisen das „Große Heilige Meer“ noch bei BUDDE (1942a und b) als ein oligotrophes Gewässer aus, das allerdings „unter dem Zeichen einer zunehmenden Eutrophierung steht“. EHLERS (1965) spricht, aufbauend auf den vergleichenden Untersuchungen des Planktons von „Erdfallsee“ und „Großem Heiligem Meer“, bereits von einem mesotrophen Gewässer, dessen größerer Nährstoffreichtum weniger qualitativ als viel mehr quantitativ durch die sehr viel größere Planktondichte gekennzeichnet wurde. Diese äußerte sich in Massenentwicklungen phytoplanktischer Arten, vor allem der Flagellaten *Mallomonas caudata*, *M. fastigata*, *Peridi-*

*num bipes* f. *tabulatum* und *Ceratium hirudinella* sowie der Kieselalgen *Asterionella formosa*, *Fragilaria acus*, *F. crotonensis*, *Cyclotella radiosa*, *Tabellaria flocculosa* und *T. fenestrata* (Tab. 4). HOFMEISTER (1978/1979) errechnete anhand der untersuchten Diatomeen einen Saprobienindex der Wassergüteklasse 1,5, entsprechend einem oligo-β-mesosaprobien Gewässer. Den Massenvermehrungen der Phytoplankter folgten jeweils massive Vermehrungen des Zooplanktons, das vor allem sehr artenreich an *Ciliaten* (über 125 nachgewiesene Arten) und *Cladoceren* (über 50 Arten) ist (EHLERS 1965, MÜCKE 1978, HOLLWEDEL 1968).

Tab. 4: Liste der häufigsten Phytoplankter des „Großen Heiligen Meeres“ (n. EHLERS 1965 u. 1966, SCHÜTTOFF 1971).

<b>Cyanophyceae</b>	<i>Gloeotrichia pisum</i> , <i>Microcystis firma</i> , <i>M. flos-aquae</i> , <i>Chroococcus limneticus</i> , <i>C. minutus</i> , <i>Coelosphaerium kützingianum</i> , <i>Gomphosphaeria aponina</i> , <i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>punctata</i> , <i>T. volvocina</i> , <i>T. volvocinopsis</i>
<b>Flagellatae</b>	<i>Dinobryon divergens</i> , <i>Mallomonas caudata</i> , <i>M. fastigata</i> , <i>Ceratium hirudinella</i> , <i>Peridinium bipes</i> f. <i>tabulatum</i> , <i>P. willei</i> , <i>P. tabulatum</i> , <i>Glenodinium</i> sp., <i>Synura uvella</i> , <i>Uroglena americana</i>
<b>Diatomeae</b>	<b><i>Asterionella formosa</i>, <i>Fragilaria acus</i>, <i>F. crotonensis</i>, <i>Rhizosolenia longiseta</i>, <i>Aulacoseira islandica</i> ssp. <i>helvetica</i>, <i>Cyclotella radiosa</i>, <i>Tabellaria flocculosa</i>, <i>T. fenestrata</i></b>
<b>Conjugatae</b>	<i>Closterium acutum</i> , <i>Staurastrum gracile</i>
<b>Chlorophyceae</b>	<i>Scenedesmus quadricaula</i> , <i>Pediastrum boryanum</i>

Die bisherigen phytoplanktischen Untersuchungen am „Großen Heiligen Meer“ konzentrierten sich zumeist auf die jahreszeitliche Entwicklung der Algen in Abhängigkeit von dem physiko-chemischen Gewässerzyklus (BUDE 1942a u. b, EHLERS 1965). Dabei ließ sich, in Korrelation zur Sichttiefe und der Sauerstoffzehrung während der sommerlichen Stagnationsphase, eine Konzentration der Biomasse im Epilimnion bei drei Metern Wassertiefe feststellen, während planktische Organismen im Hypolimnion ab sieben Meter Tiefe völlig fehlten. Darüber hinaus registrierten KRIEGSMANN (1938) und EHLERS (1965) erstens einen ungewöhnlichen Ablauf der jahreszeitlichen Phytoplanktonentwicklung, die sich in einer Verzögerung der frühjährlichen Biomassenproduktion bzw. deren relativ abrupten Ende im Herbst äußerte. Zweitens stellten sie generell eine ganzjährige Hemmung fest, die auch im Sommer die optimale Massenentwicklung der Algen bzw. die Ausbildung echter „Wasserblüten“ verhinderte. Beides führen sie auf die Siderotrophie des Gewässers zurück, derzufolge erstens Eisenhydroxid ausflockungen das Gewässer während der Frühjahrs- und Herbstzirkulation trüben und zweitens ganzjährig hohe Eisengehalte die Phytoplanktonentwicklung ganz allgemein beeinträchtigen. Seit Umlagerung der Meerbecke und folgender Senkung der Eisenkonzentrationen im See dürfte sich diese Hemmwirkung abgeschwächt haben, denn EHLERS (1965) beobachtete bereits, dass witterungsbedingte schlechte Wasserführung bzw. Austrocknen der Meerbecke lawinenartige Massenvermehrungen einiger Algenarten nach sich zog.

Die räumliche Verteilung der Phytoplankter im „Großen Heiligen Meer“ spiegelt schließlich wiederum dessen Vielfalt an Standorten und Lebensräumen wider. So stellte bereits EHLERS (1965) fest, dass das pelagiale Artenspektrum sehr viel ärmer ist als das benthale, das von BUDE (1942a und b) untersucht worden war. Einen deutlichen Eindruck von der sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr heterogenen Einnischung des Phytoplanktons geben die diatomeenanalytischen Untersuchungen von HOFMEISTER (1978/1979) (Tab. 5): Unter 181 im Pelagial nachgewiesenen Diatomeenarten und -varianten befanden sich nur sechs fakultative Plankter und sechs Euplankter, unter denen wiederum *Asterionella formosa* mit Häufigkeiten von 42,8 bis 97,8 % absolut dominierte. Weitere 68 nur vereinzelt gefundene Arten waren Litoral- und Profundalbewohner, die vermutlich im

Zuge der Gewässerzirkulation ins Pelagial gelangt sind. Deutliche Unterschiede gab es auch im Artenspektrum der beiden untersuchten Litoralstandorte. Während am sehr viel artenreicheren Südostufer die eutraphenten Arten *Achnanthes minutissima* und *Cocconeis placentula* mit Häufigkeitsindexzahlen von 166 bzw. 112 dominierten, herrschten am artenärmeren Nordwestufer die anspruchslöseren Arten *Fragilaria construens* und *F. pinnata* mit Häufigkeitsindexzahlen von 276 bzw. 199 vor. Innerhalb der flachen und lichten, nordwestlichen Freiwasserzone überwiegen dabei vor allem Arten mit positiver Phototaxis, während im stark pflanzenbewachsenen und reich strukturierten, südöstlichen Bereich in erster Linie substratspezifische Aufwuchsalgen lebten. Die Struktur dieses Aufwuchses bestimmen im übrigen hauptsächlich fädige und thallose Grünalgen und Zieralgen, überwiegend der Gattungen *Chaetophora*, *Coloeochaete*, *Oedogonium* und *Bulbochaete* bzw. *Staurastrum*, *Closterium*, *Micrasterias* und *Spirogyra* (BUDE 1942a u. b).

Tab. 5: Liste einiger Diatomeen des „Großen Heiligen Meeres“ und ihre Verteilung auf verschiedene Lebensbereiche im See (n. HOFMEISTER 1978/79).

<b>Pelagial</b>	Euplankter	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Cyclotella radiosa</i> , <i>Cymatopleura solea</i> , <i>Fragilaria acus</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>
	fakultative Plankter	<i>Fragilaria capucina</i> , <i>F. construens</i> , <i>F. ulna</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i>
<b>Litoral</b>	häufigste Arten	<i>Achnanthes flexella</i> , <i>A. linearis</i> , <i>A. minutissima</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cyclotella radiosa</i> , <i>Cymbella microcephala</i> , <i>C. ventricosa</i> , <i>Eunotia lunaris</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>F. construens</i> , <i>F. intermedia</i> , <i>F. pinnata</i> , <i>F. ulna</i> , <i>Gomphonema gracile</i> , <i>Navicula radiosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>T. flocculosa</i>
	dominante Arten SO-Ufer	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
	Aufwuchsalgen des SO-Ufers, die am NW-Ufer fehlen	<i>Achnanthes flexella</i> , <i>Fragilaria acus</i> , <i>Gomphonema angustatum</i> , <i>G. constricta</i> var. <i>capitata</i> , <i>Navicula longirostris</i> , <i>Nitzschia fonticola</i> , <i>N. gracilis</i> , <i>N. comutata</i> , <i>N. romana</i> , <i>Pinnularia appendiculata</i> , <i>Surirella moelleriana</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i>
	dominante Arten NW-Ufer	<i>Fragilaria construens</i> , <i>F. pinnata</i>

#### 2.3.3.4 Wasser- und Verlandungsvegetation

Die aktuelle Vegetation des „Großen Heiligen Meeres“ weist nahezu exemplarisch die gesamte Folge der typisch eutrophen Verlandungsserie von der Freiwasserzone über die kleinräumig entwickelten bis gürtelartig ausgebildeten Schwimmblattgesellschaften der aquatischen Zone, die Röhrichte und Seggenriede der amphibischen und semiterrestrischen Zone und den Weidengebüschen bis zu den Schlussformationen des Bruchwaldes auf (POTT 1980). Im Detail ist diese idealtypische Zonierung jedoch vielfältig variiert und je nach Art der Uferbank, der lokalen Nährstoffsituation und der Belichtung unterschiedlich ausgeprägt (TERLUTTER 1995; Abb. 10).

Ein *Myriophyllo-Nupharetum luteae* umgibt als nahezu geschlossene Schwimmblattzone den gesamten See. Es wird hauptsächlich von *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* sowie z.T. von *Potamogeton natans* ausgebildet, die als heliophile Arten zur Seemitte hin bis auf vier Meter Wassertiefe vordringen. Der Schwimmblattgürtel ist im Südwesten, wo *Myriophyllum spicatum* und *M. verticillatum* in teils dichten Beständen vertreten sind, optimal ausgebildet. Im Westen bis Nordwesten ist den Seerosendecken, die größere Anteile der mesotraphenten *Nymphaea alba* var. *minor* enthalten, ein Unterwasserdickicht von *Myriophyllum alterniflorum* vorgelagert. Im übrigen sind nur einzelne Exemplare des

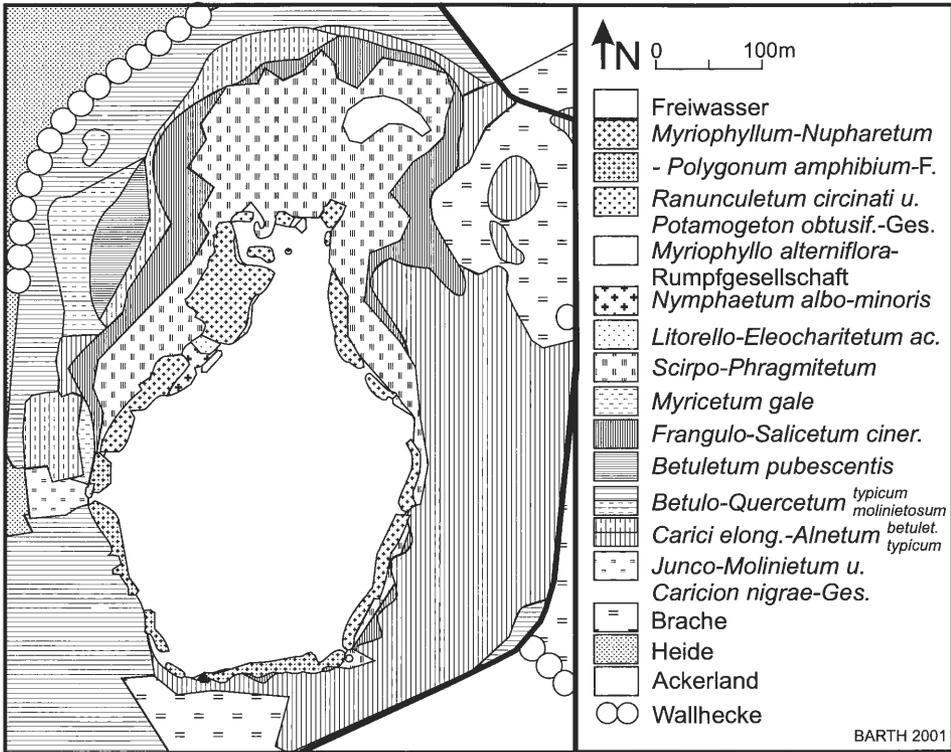


Abb. 10 : Vegetationskarte des „Großen Heiligen Meeres“ (verändert n. STORM 1996).

Tausenblattes innerhalb der Seerosenbestände vertreten. Insgesamt waren die *Myriophyllum*-Bestände in den letzten Jahrzehnten starken Schwankungen unterworfen: In den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts sind sie stark zurückgegangen, waren Anfang der neunziger Jahre fast völlig verschwunden und breiten sich erst Mitte der neunziger Jahre erneut in größeren und vitalen Beständen wieder aus. Zugleich scheint sich auch das zwischenzeitlich verschwundene *Eleocharitetum multicaulis* erneut zu etablieren (POTT et al. 1996). Im Süden der Schwimmdecken differenziert sich eine Fazies von *Polygonum natans* f. *amphibium*, der vereinzelt auch *Elodea canadensis* beigemischt ist, die für das „Großen Heiligen Meer“ erstmalig 1957 beschrieben wurde. Diese phosphatindizierende Ausbildung des knöterichreichen *Myriophyllo-Nupharetum* wurde vermutlich durch lokal erhöhte Phosphateinträge sowie einer Schwächung der lichtliebenden See- und Teichrose in schattiger Lage gefördert. Ferner erscheint im Südwesten zeitweilig ein kleinflächiger Bestand von *Ranunculus aquatilis* (RUNGE 1991a), während sich im Norden kleinflächige Dominanzen von *Potamogeton obtusifolius* und *Ranunculus circinatus* ausgebildet haben (STORM 1996). In den ruhigen Buchten des Nordzipfels finden sich darüber hinaus Exemplare von *Potamogeton perfoliatus* sowie von *P. lucens*, die allerdings nur einem fragmentarischen *Potamogeton lucentis*-Bestand zugeordnet werden können. Das Spiegellaichkraut, eine typisch eutraphente Art, siedelt vorzugsweise in Wassertiefen von ein bis vier Meter, die im „Großen Heiligen Meer“ mit seinem noch flacheren Nordteil und bei den Steilufern des tiefen Südbeckens kaum vorkommen (POTT 1983a). Nicht mehr vorhanden sind das einstige *Potamogeton densae*, aber auch die um die Jahrhundertwende vorhandene und 1966 vereinzelt nachgewiesene, salztolerante Art *Zannichellia palustris* (RUNGE 1967a).

In der Verlandungssukzession folgt ein Röhrichtgürtel, der lediglich an den Steilufern im Süden und Südwesten fehlt und dessen Mächtigkeit stark, in Abhängigkeit von der Ausdehnung des Litorals variiert. Typischerweise bildet *Phragmites australis* in eutrophen Stillgewässern dichte, übermannshohe Röhrichte in Wassertiefen von 30 bis 150 cm aus, deren Vitalität und Artenvergesellschaftung je nach Alter, Wassertiefe, Substratbedingungen und Gewässertrophie variiert. Im Osten und z.T. auch im Westen des „Großen Heiligen Meeres“ haben sich so schmale Gürtel mit monodominanten Schilfbeständen ausgebildet, die der *Phragmites*-Fazies eines *Scirpo-Phragmitetum* zugerechnet werden. Ganz lokal sind zudem eine *Scirpus lacustris*-Fazies im Osten bzw. eine eutraphente *Typha angustifolia*-Fazies im Nordosten ausgebildet (RUNGE 1991a). Zum Ende der sechziger Jahre konnten am Westufer ferner größere *Scirpus tabernaemontanus*-Bestände beobachtet werden, die heute aber verschwunden sind (RUNGE 1967a). Im übrigen nimmt nun eine arten- und krautreiche Röhrichtausprägung den nördlichen Flachsee ein. Der Bestand entspricht einer Optimalphase des *Scirpo-Phragmitetum*, wie er kennzeichnend in einer eutrophen Verlandungsserie zu erwarten ist (POTT 1983a). Neben dem Schilf treten *Scirpus lacustris*, *Typha angustifolia* und *Typha latifolia* als konstituierende Arten hinzu. Die eutraphenten Hochstauden *Lythrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Peucedanum palustre*, *Equisetum fluviatile*, *Iris pseudacorus*, *Sparganium erectum*, *Solanum dulcamara*, *Rumex hydrolapathum* u.v.a. sind begleitende Heliophyten (POTT et al. 1996). Als floristische Besonderheiten dürften *Ranunculus lingua* sowie die boreo-montan verbreitete Art *Lysimachia thysiflora* gelten, die dem Röhricht stellenweise als schmales Band vorgelagert sind. Beide Vorkommen sind starken Schwankungen unterworfen (RUNGE 1985a). Im Bereich des ehemaligen, nordöstlichen Meerbecke-Ausflusses deuten ein *Riccietum fluitantis* sowie sporadische Vorkommen von *Menyanthes trifoliata*, *Potentilla palustris* und *Carex rostrata* auf nährstoffärmere Bedingungen hin. Dagegen weisen ebenfalls im Nordosten kleinflächig im Schilf flottierende *Lemna minor*-Decken, die einstige mesotraphente *Lemna trisulca*-Bestände ablösen (RUNGE 1967a), auf eutrophe Bedingungen hin. Zusammenfassend spiegelt sich also auch im Röhricht die äußerst kleinräumige Vegetations- und Standortdifferenzierung wider (RUNGE 1991a).

Elemente des *Magnocaricion*-Verbandes sind am „Großen Heiligen Meer“ nur fragmentarisch vertreten, so wie sie allgemein an primären Standorten niemals gürtelartig auftreten. Sie wachsen am Ostufer, in der Übergangszone Röhricht - Bruchwald, in Form einiger *Carex elata*-Bulte und eines *Caricetum rostratae*. Weiterhin wurden am östlichen Ufer bisher die Seggenarten *Carex acutiformis*, deren Vorkommen GRAEBNER schon 1930 beschrieb, *Carex diandra*, *C. stellulata*, *C. pallescens*, *C. paniculata*, *C. gracilis*, *C. filiformis* und *C. vesicaria* nachgewiesen (RUNGE 1957, 1967a).

Der Gebüschmantel in Form eines *Frangulo-Salicetum cinereae* tritt am „Großen Heiligen Meer“ als nahezu geschlossener Ring auf. Von Norden her dringen Weide und Faulbaum im Zuge der progressiven Verlandung des „Großen Heiligen Meeres“ langsam in die weitflächige Röhrichtzone des Gewässers vor. Im Süden sind sie dem Erlenbruchwald dagegen nur in einem schmalen Mantel vorgelagert.

Das *Carici elongatae-Alnetum glutinosae* bildet schließlich das Endglied der eutrophen Verlandungsserie auf basen- und nährstoffreichen Niedermoortorfen mit anstehendem Grundwasser. Ein solcher Bruchwaldgürtel umschließt auch nahezu das gesamte „Große Heilige Meer“. Dabei kennzeichnen eine *Carex elongata*- sowie eine *Calamagrostis canescens*-Dominanzgesellschaft die typischen, d.h. mäßig nährstoffreichen Bereiche, die seewärts von *Ribes nigrum*- und *Mentha aquatica*-Dominanzgesellschaften abgelöst werden. Im äußerst nassen Flügel gliedern *Iris pseudacorus* als Differentialart und der regelmäßige Begleiter *Solanum dulcamara* eine nährstoffreichere Subassoziation ab. Dieses *Carici elongatae-Alnetum iridetosum* ist am Südostufer des „Großen Heiligen Meeres“ verbreitet. Das Ostufer weist mit mesotraphenten *Carex rostrata*-Dominanzen etwas

nährstoffärmere Züge auf. Im trockeneren Flügel leiten im Süden des Gewässers die Dominanzgesellschaften von *Lonicera periclymenum* und *Deschampsia cespitosa* bereits zu den Erlen-Birken-Eichenwäldern der *Betulo-Querceten* über. Entsprechendes gilt in einem breiten Randstreifen entlang der südöstlichen bis östlichen Meerbecke für den starken *Sorbus aucuparia*-Unterwuchs, der von dichten *Rubus fruticosus*-Gestrüppen als Störzeiger entwässerter Standorte begleitet wird. Eine erhöhte Beteiligung von *Betula pubescens* und *Rhamnus frangula* charakterisiert schließlich die nährstoffärmste Subassoziation der Erlenbruchwälder, das *Carici elongatae-Alnetum betuletosum*, das in der nassen Ausprägung durch zahlreiche Vorkommen diverser *Sphagnum*-Arten (u.a. *S. palustre*, *S. fimbriatum*) charakterisiert wird. Solche deutlich mesotraphente Züge weisen nicht nur kleinflächige Stellen im östlichen Bruchwald auf, sondern vor allem der Bruchwald des westlichen und nordwestlichen „Großen Heiligen Meeres“, der lokal sogar in ein *Betuletum pubescentis* übergeht (BARTH 1995, TERLUTTER 1995, STORM 1996, HAGEMANN 1997, ROLFES 1998).

Zusammenfassend spiegelt sich also auch in der Ufervegetation die Heterogenität des Gewässers wider: In der deutlichen NS-Differenzierung steht einem nördlichen, ausgedehnten und schilfbestandenen Litoralbereich ein südlicher, ausgeprägter Pelagialbereich gegenüber. In der OW-Differenzierung tritt ein überwiegend nährstoffreiches Ost- bis Südostufer mit eutraphenten Erlenbruchwald-Beständen einem nährstoffärmeren Westufer mit meso-eutraphenten Erlen- und Birkenbruchwäldern entgegen. Dieser OW-Trophiegradient wird nicht zuletzt auch durch die sogenannte „mesotrophe Stelle“ verstärkt. Hier zeigt die Verlandungsvegetation ein von der eutrophen Serie abweichendes Bild und indiziert einen rein mesotrophen Standort. So schließen sich an die dortige Schwimmblattzone mit *Nymphaea alba* var. *minor* und *Myriophyllum alterniflorum* heute meso- bis dystraphente Kleinseggenriede mit *Hypericum elodes* und *Carex lasiocarpa* (RUNGE 1991a) und Kleinröhrichte an, die einer *Potentilla palustris*-Fazies eines *Carici canescens-Agrostietum caninae* zugeordnet werden können. Sie sind kleinflächig mit dem *Drosera intermedia*-Fragment eines *Rhynchosporium albae* und den Resten eines durch *Juncus bulbosus* und *Eriophorum angustifolium* gekennzeichneten *Sphagno cuspidato-Eriophoretum angustifoliae* verzahnt. Landeinwärts gehen sie in Feuchtwiesenbereiche (*Junco-Molinietum*, *Molinia coerulea*-Dominanzbestand) über, die sowohl von den Arten der *Scheuchzerio-Caricetea nigrae* als auch der *Phragmitetea* durchsetzt sind. Am Schneisenrand leitet ein Gagelgebüsch mit *Myrica gale* zum mesotraphenten Bruchwald über (STORM 1996, POTT et al. 1996). Ferner grenzt die „mesotrophe“ Stelle unmittelbar an die extensiv genutzten Heideflächen, während sich in der östlichen Umgebung des Sees das nährstoffreiche Wirtschaftsgrünland der „Meerbecke-Niederung“ anschließt und auch im Norden und Süden die intensiv bewirtschafteten Flächen direkt bis an die NSG-Grenzen heranreichen. Im Süden wirkt darüber hinaus der eutrophierende Einfluss der Meerbecke. Letzten Endes lassen sich die Trophiegegensätze der verschiedenen Uferregionen des „Großen Heiligen Meeres“ also nicht nur in einen engen standörtlichen Zusammenhang stellen, sondern auch in Beziehung zu den unterschiedlichen Nutzungen und Einflüssen der Vegetation des weiteren Umlandes setzen (POTT et al. 1998).

### 3 Untersuchungsmethodik

#### 3.1 Profilbergung und Probengewinnung

Die vegetationsgeschichtlichen und paläoökologischen Untersuchungen basieren auf einem limnischen Sedimentprofil (Profil GHM), das aus dem „Großen Heiligen Meer“ geborgen wurde (TK 5, Bl. 3611/17 „Großes Heiliges Meer“, 3406,95 R - 5802,95 H; Abb. 11). Die Bohrung wurde, unter Berücksichtigung der Sondierungen und morphometrischen Ergebnisse von KRIEGSMANN (1938), LOTZE (1956) und SCHROEDER (1956),

im Bereich der mächtigsten Mudden und zugleich an der mit 10,7 m Wassertiefe tiefsten Stelle des Gewässers, d.h. fünf bzw. sechs Meter SSW der Zentralboje angesetzt. Sie erfolgte am 24. Juni 1995 bei trockener Witterung in dem eigens für limnische Sedimente optimierten Stechrohr-Verfahren nach MERKT & STREIF (1970), unter der Leitung von Frau Dr. Kleinmann und Herrn Dr. Merkt vom Niedersächs. Amt für Bodenforschung, Hannover. Von einer Behelfsplattform, die über zwei Ruderbooten befestigt und mit Leinen am Ufer gesichert war, wurde in einem parallelen Ansatz, unter 0,5 m-Versetzung der Bohrkerne gegeneinander, gebohrt. Eine solche Doppelbohrung garantierte einerseits den Erhalt eines lückenlosen Profils, andererseits ermöglichte sie den Gewinn größerer Probenmengen. Die geborgenen Profile GHM 1 und GHM 2 waren 9,7 m bzw. 8 m mächtig und im Durchmesser 45,5 mm stark. Eine ergänzende Oberflächenschlamm-Probe, deren Analyse die jeweils aktuelle Situation dokumentieren sollte, wurde vor Ort mit Hilfe eines Schlammgreifers gezogen.

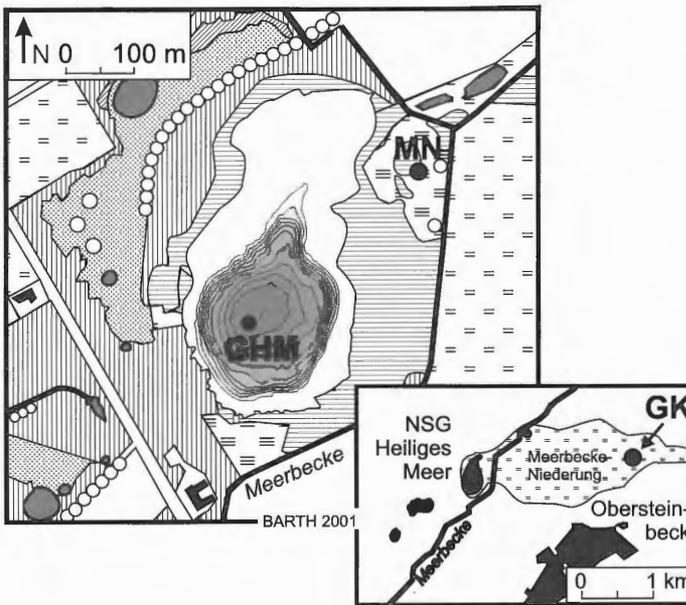


Abb. 11: Lage der Profile „Großes Heiliges Meer“ (GHM), „Meerbecke-Niederung“ (MN) und „Grundlose Kuhle“ (GK).

Ferner wurden zwei semiterrestrische Profile aus der östlich an den See angrenzenden „Meerbecke-Niederung“ hinzugezogen: das unmittelbar benachbarte Profil „Meerbecke-Niederung“ vom nordöstlichen Gewässerufer (TK 5, Bl. 3611/17 „Großes Heiliges Meer“, 3407,22 R - 5803,15 H; BARTH 1995) und das im Rahmen einer Diplomarbeit von SCHLÜTER 1997 bearbeitete Profil aus dem Erdfall „Grundlose Kuhle“ im äußersten Osten der Niederung (TK 5, Bl. 3611/18 „Obersteinbeck“, 3409,35 R - 5803,25 H) (Abb. 11).

Die Aufbereitung der Bohrkerne GHM 1 bzw. GHM 2 erfolgte in den Wochen unmittelbar nach der Bergung. Der Kerngewinn betrug 96 % bzw. 92 %, so dass Sedimentprofile von 9,34 m bzw. 7,4 m Mächtigkeit bearbeitet wurden (MERKT & STREIF 1970).

Für die einleitende, **sedimentstratigraphische Profilaufnahme** wurden als unterstützende Literatur TROELS-SMITH (1955), GROSSE-BRAUCKMANN (1961), MERKT et al. (1971), AABY & BERGLUND (1986) und AG BODEN (1994) herangezogen.

Auch die Ergebnisse der **makrorestanalytischen Untersuchungen**, die im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurden und die paläoökologische Ergebnisse um spezifische Daten der direkten Gewässervegetation des „Großen Heiligen Meeres“ ergänzen sollten, wurden in die sedimentstratigraphische Profilbeschreibung einbezogen: Die mikroskopische Aus-sortierung der Großreste trug zwar wesentlich zur Beschreibung des makrophytischen Detritusanteils bei, Diasporen selbst wurden jedoch nur sehr vereinzelt gefunden - was sicherlich an der Bearbeitung eines pelagialen Profils lag - so dass auf eine separate Darstellung der Methodik und Ergebnisse der Makrorestanalyse verzichtet wurde.

Die Großreste wurden im Zuge der weiteren Analysen (Kap. ff.) in einem jeweils ersten Schritt abgesiebt und bei 8- bis 40-facher Vergrößerung unter einem Binokular der Fa. ZEISS aussortiert (GROSSE-BRAUCKMANN 1986, SCHOCH 1986, WASYLKOWA 1986). Die Bestimmung erfolgte nach der Bestimmungsliteratur von BEIJERINCK (1976), SCHOCH et al. (1988) sowie der umfangreichen, institutseigenen Sammlung rezenten Samenmaterials. Aufbewahrt wurden die Großreste in einem Gemisch aus gleichen Teilen Wasser, Glycerin und Ethanol, konserviert mit wenigen Tropfen Thymol.

In der der sedimentstratigraphischen Profilaufnahme folgenden Beprobung wurden Proben im 1 cm-Abstand nach gängiger Methode gewonnen und in Polyacryl-Tüten verpackt bis zur Durchführung der jeweiligen Analysen (Kap. 3.2-3.5) in der Zeitspanne von Oktober 1995 bis Mai 1999 eingefroren.

### 3.2 Sedimentchemische Analyse

Die Erhebung ausgewählter paläochemischer Parameter erlaubte unter Berücksichtigung des physiko-chemischen und organismischen Transports bzw. der wesentlichen Fällungs- und Rücklösungsvorgänge, d.h. vor dem Hintergrund der Sediment-Wasser-Wechselbeziehung, eine Rekonstruktion der Entwicklung des Wasserchemismus des „Großen Heiligen Meeres“. Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen dokumentieren dabei die Dimension natürlicher und anthropogen beeinflusster Entwicklung. Darüber hinaus ermöglichte ein umfangreicher Datensatz zum aktuellen Wasserhaushalt (POTT et al. 1998) den jeweils direkten Vergleich mit der heutigen Situation.

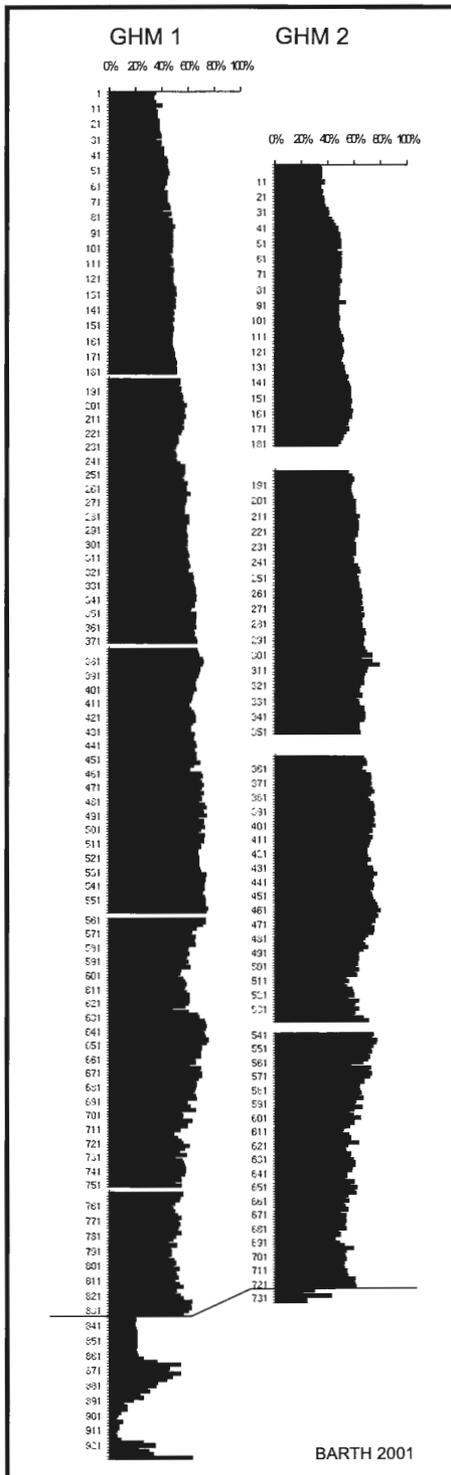
Die **Glühverlustanalyse** (GVA) diente der Ermittlung wichtiger sedimentchemischer Daten, wie dem Trockenrückstand und dem Gehalt an organischem Kohlenstoff bzw. Karbonat. Vor allem wurde die GVA jedoch zur Parallelisierung der gegeneinander versetzten Profile GHM 1 und 2 herangezogen (DEARING 1986). Dabei zeigte sich, dass zwischen den einzelnen Bohrkernen keine nennenswerten Sedimentverluste zu verzeichnen waren (Abb. 12). Das Profil GHM 1 konnte daher als vollständiges und lückenloses Standardprofil GHM dienen, auf das sich alle weiteren Profildaten beziehen und das lediglich bei Bedarf größerer Probenmengen um das Profil GHM 2 ergänzt wurde. Methodisch wurden für die GVA Proben in 2 cm Abständen nach DIN 38414 - S2, DEV 1994 getrocknet (Trockenschrank Typ 250, Fa. MEMMERT) und nach DIN 38414 - S3, DEV 1994 geglüht (Glühofen Typ MR 170, Fa. HERAEUS). Die Erfassung der Karbonate wurde durch ein weiteres Glühen bei 880°C ermöglicht (AG BODEN o.J.).

Die weiteren sedimentchemischen Untersuchungen wurden in 10 cm-Abständen durchgeführt. Dabei wurde

- der **pH-Wert** direkt in der angeteigten Schlammsuspension mit Hilfe eines pH-Meter (Typ 196, WTW) und einer pH-Elektrode (Typ E 56, WTW) elektrometrisch bestimmt (DIN 38414 S5, DEV 1994).

In einem wässrigen Eluat der Sedimentproben wurde

- die **elektrolytische Leitfähigkeit** elektrometrisch mittels eines Lf-Messgerätes (Typ LF 196, WTW) und einer Lf-Elektrode (TetraCon 96A-4) gemessen. Die erzielten Werte



wurde um den pH-abhängigen Dissoziationsgrad korrigiert, gemäß  $Lf_{\text{korr.}} = Lf_{\text{Messw.}} \cdot Lf_{[H^+]}$  (HÜTTER 1994).

- der Gehalt an **Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium** an einem Atomabsorptions-Spektrometer (AAS „SpectrAA 220“, Fa. Varian) ermittelt. Dabei wurde die Atomemission der Alkali-Ionen bei Wellenlängen von  $\lambda_{(Na)} = 589$  nm bzw.  $\lambda_{(K)} = 766,5$  nm gemessen, sowie die Atomabsorption der Erdalkali-Ionen bei  $\lambda_{(Ca)} = 422,7$  nm bzw.  $\lambda_{(Mg)} = 285,2$  nm (HÜTTER 1994).
- der Gehalt der Schwermetalle **Eisen, Mangan, Zink und Kupfer** wurden ebenfalls atomabsorptionsspektrometrisch (AAS „SpectrAA 220“, Fa. Varian) bei  $\lambda_{(Fe)} = 372$  nm,  $\lambda_{(Mn)} = 279,5$  nm,  $\lambda_{(Zn)} = 213,9$  nm und  $\lambda_{(Cu)} = 324$  nm bestimmt (HÜTTER 1994).
- das **Gesamtphosphat** nach Aufschluss mit Schwefelsäure im Verfahren der Phosphormolybdänblau-Methode photometrisch ermittelt ( $\lambda_{(PO_4)} = 690$  nm; Spektralphotometer UVIKON 931, Fa. KONTRON) (DIN 38405 D11, DEV 1994, HÖLL 1986).

Die Eichungen erfolgten jeweils über Standardlösungen der Fa. MERCK.

Die sedimentchemischen Daten wurden mit EXCEL, Microsoft bearbeitet und in Kurvendiagrammen präsentiert. Während Glühverlust-, pH- und Leitfähigkeitswerte absoluter Natur sind, diente den übrigen Parametern die Konzentration im Kubikzentimeter Sediment als Berechnungsgrundlage.

Abb. 12: Parallelisierung der Profile GHM 1 und 2 des „Großen Heiligen Meeres“ mittels ihrer Glühverlustkurven.

### 3.3 Pollenanalyse

Die vorliegenden Untersuchungen stützen sich in erster Linie auf die Pollenanalyse, die in Kombination weiterer Arbeitsmethoden versucht, der zunehmenden Forderung nach einer umfassenden paläoökologischen Forschung gerecht zu werden und zugleich die Möglichkeiten der ökologisch orientierten palynologischen Forschung zu stützen und auszubauen (LANG 1994).

Im Zuge der palynologischen Arbeiten wurde die Absolutpollenanalyse angewandt, bei der durch definierte Zugabe von Indikatorpollen/-sporen absolute Pollenkonzentrationen ermittelt werden können (BERGLUND & RALSKA-JASIEWICZOWA 1986, DEARING 1986). Dazu wurden Tabletten acetolysierter *Lycopodium*-Sporen verwendet: Vertrieb: Department of Quarternary Geology, Lund/Schweden; Produktion n. STOCKMARR (1971, 1973); Batch: 124961, 7/1994. Sie wurden in Wasser gelöst, mit verdünnter Salzsäure behandelt und entsprechend der Volumen-Technik nach DAVIS (1966) jeweils einer Sedimentprobe von 1 cm<sup>3</sup> hinzugegeben (FAEGRI & IVERSEN 1989). Die Isolation der Pollenexinen erfolgte im weiteren nach der kombinierten Kalilauge-Acetolyse-Methode (ERDTMAN 1960, MOORE, WEBB & COLLINSON 1991). In einem Zwischenschritt wurden dabei Makroreste und andere größere Bestandteile abgesiebt. Durch Zentrifugations- und Waschvorgänge (5 min bei 4000 Upm, Labofuge 400 (Function Line), Fa. HERAEUS) wurden pollenreiche Pellets gewonnen, die bei hohen mineralischen Anteilen zusätzlich 48 Stunden mit kalter 40 % Flußsäure behandelt wurden. Abschließend wurden alle Proben maximal drei Minuten im Ultraschallbad (Sonorex Super RK 255, Fa. JÜRGENS, 8 µm-Kunststoffnetz) gereinigt. Die isolierten Pollen wurden mikroskopierbereit und haltbar in Glycerin eingebettet (FAEGRI & IVERSEN 1989, MOORE, WEBB & COLLINSON 1991).

Die Auszählung der Proben erfolgte in 5 cm-Abständen, die an der Muddebasis auf 1 cm verringert wurden, in einer vollständigen, hochaufgelösten Sequenz bei 400-facher Vergrößerung an einem Axiophot-Lichtmikroskop der Firma ZEISS. Es wurden jeweils 2000 Baumpollenkörner (BP) ausgezählt, um auch die seltenen, aber diagnostisch wichtigen Pollentypen der krautigen, hydro- und helophytischen Flora quantitativ besser zu erfassen und damit die Rekonstruktion der Gewässerentwicklung qualitativ zu verbessern. Die Pollenbestimmung ging von Standardwerken und einschlägiger Bestimmungsliteratur aus (PUNT 1976, PUNT et al. 1980-1991, MOORE, WEBB & COLLINSON 1991, REILLE 1992, FAEGRI & IVERSEN 1993) und wurde durch ein umfangreiches Pollenherbar mit acetolytisch behandelten Rezentpräparaten aus dem Institut für Geobotanik, Universität Hannover ergänzt. Bei der Unterscheidung der Kulturgräser (*Cerealia*) von den Wildgräsern (übrige *Poaceae*) wurden Pollenkörner von über 40 µm Größe dem Getreidetyt zugerechnet. Beim Wildgras typ wurden Pollenkörner von unter 26 µm Größe und mit undeutlichen Collumellae zudem als *Phragmites*-Pollen differenziert (FIRBAS 1937, GROHNE 1957, BEUG 1961, ANDERSEN 1979, FAEGRI & IVERSEN 1993). Neben den Mikroresten der Krypto- und Phanerogamen wurden auch Zellaggregate der Algengruppen *Pediastrum* bzw. *Botryococcus* erfasst. Die coccalen Grünalgen aus der Gruppe der *Pediastrum* werden durch sternförmige Aggregate vegetativer Zellen (sog. Zönobien) differenziert, wobei hier die Bestimmungsschlüssel von PARRA-BARRIENTOS (1979) und KOMAREK & FOTT (1983) zu Hilfe gezogen wurden. *Botryococcus* gehört ebenfalls zu den coccalen Grünalgen. Seine oval-länglichen Zellen sitzen koloniebildend in einer Gallerte aus verschleimten Zellwänden (KOMAREK & FOTT 1983). Beide Algengruppen wurden im Zuge der Acetolyse aufgrund ihrer verkieselten, fossilisierten und daher sehr säureresistenten Schalen nicht zerstört, sondern gemeinsam mit den Pollen angereichert.

Die Datenverarbeitung und Darstellung der pollenanalytischen Ergebnisse (konventionelle bzw. absolute Diagramme) erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL / Microsoft (Gesamtdiagramme in BARTH 2001 bzw. BARTH & POTT 2000).

### 3.4 Diatomeenanalyse

Besser als übrige Phytoplankter können Diatomeen für zahlreiche paläoökologisch-hydrobiologische Fragestellungen herangezogen werden, da sie zum einen sowohl in der Artenzahl als auch in der Populationsgröße den meisten anderen Algengruppen überlegen sind und zum anderen kosmopolitisch, marin, limnisch oder gar semiaquatich verbreitet sind. Darüber hinaus bleibt das Untersuchungsobjekt der Diatomeenanalyse, die verkieselte Schale (Frustel), über Jahrtausende fossil in Sedimenten erhalten und ermöglicht anhand seiner Form und Feinstrukturierung eine Artendifferenzierung. Ferner sind Diatomeen in besonderem Maße zur ökologischen Charakterisierung aquatischer Systeme geeignet, da sie als autotrophe Organismen sowohl in direkter Beziehung zur Nährstoffsituation des sie umgebenden Milieus Wasser stehen, als auch als Primärproduzenten die Basis zahlreicher Nahrungsketten bilden. Schließlich reagieren Kieselalgen aufgrund ihrer kurzen Generationswechsel äußerst sensibel auf Veränderungen ihrer Umwelt, wobei ihre Standortansprüche und Valenzen von Art zu Art stark variieren. Die Kenntnis dieser artspezifischen Präferenzen und Toleranzen ermöglicht daher eine detaillierte Gewässercharakterisierung, die von der Qualifizierung und Quantifizierung physiko-chemischer Bedingungen im Wasserkörper, speziell der Elektrolyt- und Nährstoffgehalte, bis hin zu Aussagen über Gewässertrübung, -tiefe und -morphologie reicht (HUBER-PESTALOZZI 1942).

Dementsprechend orientiert sich die Diatomeenforschung heute auch zunehmend an ökologisch orientierten Fragestellungen. Kieselalgen spielen heute eine wichtige Rolle innerhalb von Bioindikationssystemen zur Beurteilung von Gewässern (z.B. Differentialarten-System n. LANGE-BERTALOT 1978, pH-Indikation n. RENBERG & HELLBERG 1982, Saprobien-system n. KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91, Trophie-Indikation n. HOFMANN 1994). Innerhalb der Paläoökologie wurden diatomeenanalytisch überraschend deutliche Parallelen zu Pollenanalysen aus den selben Profilen erbracht. Über die Vegetations- und Siedlungsgeschichte hinaus liefern die Ergebnisse der Kieselalgenanalyse jedoch wertvolle, weiterreichende Information zur limnologischen Entwicklung des komplexen Ökosystems See (BATTARBEE 1986).

Die Isolierung der Diatomeenfrusteln erfolgte in einem ersten Schritt durch Aufschwemmung in 50 ml Aqua dest. (50 ml-Erlenmeyerkolben) und anschließende Sedimentation, wobei zunächst durch ein zweiminütiges Absetzen grobe Bestandteile abgetrennt wurden, dann nach acht Stunden ein diatomeenreiches Sediment gewonnen wurde (KRAMMER 1986). In einem zweiten Schritt folgte in einer chemischen Aufbereitung die Oxidation des Probenmaterials mit heißer, konzentrierter Schwefelsäure (Methode nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91), wodurch zugleich auch die hohen Eisenoxidanteile im Sediment gelöst wurden. Abschließend wurde durch eine einmalige Zentrifugation (5 min, 4000 Upm; Labofuge 400 (Function Line), Fa. HERAEUS) ein Diatomeen-Pellet isoliert, das durch mehrmaliges Spülen mit Aqua dest. und Sedimentieren gereinigt wurde. Die Frusteln wurden in destillierten Wasser, konserviert durch einige Körnchen Thymol, aufbewahrt (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91).

Die Auszählung der Kieselalgen erfolgte anhand luftgetrockneter Präparate, in 10 cm-Abständen, bei 400-facher Vergrößerung im Phasenkontrast (Axiophot-Lichtmikroskop, Fa. ZEISS). Es wurden jeweils 500 Frusteln erfasst und das Präparat anschließend nach Schalen seltenerer Arten durchgesichtet. Die Bestimmung und die Nomenklatur der Diatomeen richtete sich nach der umfangreichen Flora von KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91. Die Kieselalgenforschung ist bis heute intensiv mit taxonomisch-nomenklatorischen und systematischen Fragen beschäftigt, die nach wie vor in vielen Bereichen ungeklärt sind. Dies äußert sich z.B. in einer Fülle von Synonymen oder der Aufspaltung von Sammelarten in Unterarten und Varianten. KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) berücksichtigen bereits die moderne Rasterelektronenmikroskopie (REM), die viele licht-

mikroskopisch sichtbare Strukturen erläuterte bzw. erstmalig auf Strukturen an der Grenze des lichtmikroskopischen Auflösungsvermögens aufmerksam machte und dadurch ganz neue Möglichkeiten der Taxadifferenzierung eröffnete. Insbesondere dem Verständnis und der Zuordnung von Arten der älteren Literatur des Untersuchungsgebietes diente die ergänzende Hinzunahme älterer Bestimmungswerke, wie HUSTEDT (1914), HUSTEDT (1930-1966), HUBER-PESTALOZZI (1942).

Die Datenverarbeitung und Darstellung der diatomeenanalytischen Ergebnisse erfolgte entsprechend denen der palynologischen Untersuchungen in Histogrammen mit vereinzelt Schattenrissdarstellungen (Summen- und Verhältnisparameter), die anhand von EXCEL erstellt wurden (BARTH 2001 bzw. BARTH & POTT 2000). Die Diagramme beruhen auf einer relativen Berechnung, die die Werte einzelner Kieselalgentypen auf die Gesamtschalensumme bezieht ( $\Sigma GS = 100 \%$ ) und damit vergleichbar der konventionellen Methode der Pollenanalyse ist.

### 3.5 Altersdatierung

Die relative und absolute Datierung dient über die Altersbestimmung von Profilhorizonten hinaus der zeitlichen Konnektierung vegetations- und siedlungsgeschichtlicher Leit- und Substrat- und bietet so die Möglichkeit des Herausarbeitens lokaler und regionaler Feinheiten innerhalb einer großräumigen Landschaftsentwicklung (BERGLUND et al. 1986).

Die chronologische Einordnung der hier untersuchten Profile erfolgte primär durch biostratigraphische Korrelation mittels pollenanalytischer Relativdatierung und richtete sich an der nordwestdeutschen, pollenfloristischen Zonierung nach OVERBECK (1975) und POTT (1992a) aus (PZ I-XII<sup>NWD</sup>). Zusätzlich erfolgte die Synchronisation mit einigen räumlich sehr nahestehenden, z.T. <sup>14</sup>C-datierten Profilen: u.a. „Speller Dose“, „Vinter Moor“ (KRAMM 1978), „Im Jiewitt“ (MOHR 1990), „Weeser Moor“ (FREUND 1994). Schließlich wurde die Vegetations- und Siedlungsentwicklung über archäologische Funde und Archivalien mit den regionalen Siedlungs- und Kulturperioden verknüpft sowie anhand wichtiger landschaftshistorischer Lokalereignisse fixiert (archäostratigraphische Gliederung n. LANG 1994; s. Anhang 10.1). Somit wurde durch die archäologisch-historische Korrelation eine präzisere Datierung palynologisch registrierter Landnahmephasen und Kulturepochen ermöglicht. Diese wurde ferner über ein relatives Zeit-Tiefen-Diagramm gestützt. Dessen Steigung wird durch die Sedimentationsrate bestimmt und ergibt nach DEARING (1986) im Idealfall eines linearen Wachstums einen exponentiellen Kurvenverlauf, der durch Interpolation die Altersbestimmung jeglicher Tiefe erlaubt.

Über die Relativdatierung hinaus gehört die absolute Datierung mittels der Radiokarbonmethode heute zum Standard paläoökologischer Arbeiten (GEYH 1983). So konnte auch die Vegetations- und Siedlungsentwicklung des Untersuchungsgebietes durch Radiokarbon-Datierung an dem Profil „Meerbecke-Niederung“ in die absolute Chronologie eingehängt werden. Die Datierung wurde anhand autochthoner Holzreste des Bruchwaldtorfes, die drei definierten, pollenfloristisch markanten Horizonten zurechenbar waren, nach der AMS-Methode (Accelerated Mass Spectroscopy) im <sup>14</sup>C-Labor des Physikalischen Institutes, Universität Erlangen unter der Leitung von Prof. Dr. Kretschmer durchgeführt.

Die direkte Absicherung der Chronologie des „Großen Heiligen Meeres“ (Profil GHM) durch radiokarbongestützte Absolutwerte war jedoch, trotz Anwendung der AMS-Methode und Messwiederholungen, nicht möglich. Die Datierungen lieferten teilweise unscharfe, in weiter Amplitude schwankende Messergebnisse, vor allem aber eindeutig zu alte, z.T. invers geschichtete Daten, die sich nicht mit den pollenanalytischen Untersuchungen in Einklang bringen ließen und eindeutig nicht zur absoluten Datierung der Vegetations- und Siedlungsgeschichte geeignet waren.

## 4 Stratigraphie und Synchronisation der Profile

### 4.1 Sedimentstratigraphie

Die stratigraphische Gliederung von Sedimenten ist die Grundlage aller paläoökologischen Untersuchungen, da sie als Zeitachse betrachtet werden kann, in der die Reihenfolge und Zusammensetzung der Ablagerungen Aufschluss über die regionale Landschaftsentwicklung einerseits und die lokale Gewässer- bzw. Moorgenese andererseits geben.

Die Abb. 13 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Sediment- und Torfstratigraphie der Profile „Großes Heiliges Meer“, „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“.

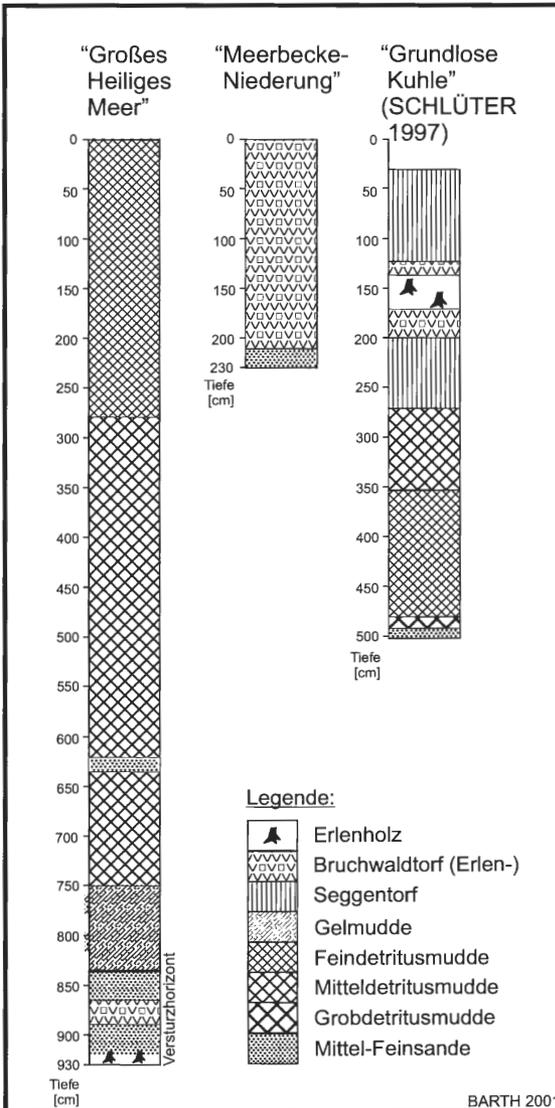


Abb. 13: Sediment- und Torfstratigraphie der Profile „Großes Heiliges Meer“, „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“.

Das geschlossen gelagerte Hauptprofil GHM aus den Sedimenten des „Großen Heiligen Meeres“ weist eine Mächtigkeit von 9,34 m auf. Ein 8,34 m mächtiger Abschnitt organischer Mudden lässt sich von dem darunter lagernden 1 m mächtigen Versturzhorizont aus Fein- bis Mittelsanden und fossilen Erlen-Bruchwaldtorfen differenzieren. Der deutliche Stratenwechsel von der Profilbasis zu den limnischen Sedimenten, der als sedimentologischer Zeitmarker der Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ durch einen Erdfall angesehen werden kann, wird durch die scharf abgegrenzte, 7 cm mächtige, tonige Lehmsandlage des oberen Versturzhorizontes besonders hervorgehoben. Die Mudden des Erdfallgewässers werden von dunklen Limnohumiten mit 50-70 % organischer Substanz und hoher Humidität gebildet und sind nahezu karbonatfrei (HCl-Probe negativ). Sie lassen zunächst keine Feinlaminiierung erkennen, sondern zeigen sich in ihrer Gesamtheit mehr oder minder homogen, wenig strukturiert und schwarzbraun bis tiefschwarz. Dennoch können sie in Übereinstimmung mit SCHROEDER (1956) in diffus abgrenzbare Horizonte mit breitfließenden Übergängen untergliedert werden, die sich in ihrer Konsistenz, im Redox- und chemischen Zustand, in ihrer Körnung sowie in der Zusammensetzung des pflanzlichen Detritus unterscheiden. Im Detail ergibt sich für das Profil des „Großen Heiligen Meeres“ der in Tab. 6 beschriebene stratigraphische Aufbau.

Da die Entstehung von Subrosionssenken und Erdfallgewässern nach BAECKER (1982) grundsätzlich mit einer Tiefenverlagerung von Schichten verbunden ist, mussten subrosionsbedingte Störungen in der Sedimentstratigraphie als nächstes ausgeschlossen oder zumindest taxiert werden, um im Folgenden allochthone Mineral- und Nährstoffeinträge in den See bewerten und die Vegetations-, Landschafts- und Gewässergeschichte chronologisch rekonstruieren zu können:

Entsprechend den o.g. Ergebnissen erwiesen sich die organogenen Mudden und Torfe der drei untersuchten Profile im großen und ganzen als homogen und frei von einem erdfallbedingten, verstärkten, mineralischen Eintrag. Generell konnte daher von einer mehr oder minder **ungestörten Ablagerung autochthoner Sedimente** ausgegangen werden.

Beeinträchtigungen, wie sie durch lokale Subrosions- und Erdfallprozesse hervorgerufen wurden, treten in Form von auffälligen Bodenhorizonten, Stratenwechseln und Interstraten in Erscheinung und ließen sich daher klar abgrenzen:

- So wird der Erdfall, der zur Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ führte, durch einen mächtigen **Versturzhorizont** an der Basis des Seeprofiles reflektiert und zudem durch eine scharfe Horizontgrenze gegenüber den hangenden Detritusmudden abgegrenzt. In diesem Versturzhorizont mischen sich autochthone Ablagerungen aus der Zeit des Erdfalls mit allochthonem, älterem Material. Den bodenanalytischen Befunden zufolge sind zumindest die Erlen-Bruchwaldtorfe bei 864-893 cm zusammenhängend gewachsen. Sie wurden im Zuge des Erdfallprozesses zwar als „Paket“ in die Tiefe verlagert, aber in sich nicht gestört und sind daher weitgehend frei von Kontaminationen. Heftige Turbationen oberflächennaher Ablagerungen sind auch sehr unwahrscheinlich, da die Schichten bei der hohen Geschwindigkeit von Erdstürzen äußerst plötzlich in die Tiefe gehen (BAECKER 1982). Aus schriftlichen Quellen (WEGNER 1913a-c, TIETZE 1914), Zeitungs- und Fotodokumentationen über die Entstehung des „Erdfallsees“ wird ersichtlich, dass dieser Erdsturz ohne größere, oberflächennahen Bodenumschichtungen vor sich ging. Anschaulichstes Beispiel war die weiterhin aufrechte Verwurzelung der Bäume am Grund des Erdfalltrichters. Nichts desto trotz wurde mit dem massiv eindringenden Grund- und Oberflächenwasser sowie durch nachträgliche, kleinere Wandabbrüche unweigerlich Fremdmaterial in den Erdfall eingeschwemmt. Dieses bestand überwiegend aus Sanden, Lehmen und Tonen pleistozänen Ursprungs. Zudem könnten homolog zum Einsturz des „Erdfallsees“ und in Übereinstimmung mit LOTZE (1956) und THIEMANN (1975b) auch inter-, spät- und postglaziale Sedimente und Torfe aus randlich geschnittenen Bodenlinsen bzw. Senken und Flachseen in den

Tab. 6: Sedimentstratigraphie des Profils GHM „Großes Heiliges Meer“.

Tiefe [cm]:	Sedimentbeschreibung:
<b>0-834</b>	<b><u>Mudden des „Großen Heiligen Meeres“</u></b>
<b>0-281</b>	<b>Feindetritusmudde</b>
0-15	<b>schwarzbraun glänzender, Limnopelohumit</b> ; unstrukturiert u. sehr homogen; zähflüssig u. stark naß; humos (h2, Limus humosus-detrituosus); ohne makroskop. erkennbare Pflanzenreste; reduz. Horizont mit leichter H <sub>2</sub> S-Bildung u. randlich oxidierendem Eisenocker; fließender Übergang zu
15-121	<b>grau- bis schwarzbrauner, a. d. Luft schwärzender Limnopelohumit</b> ; unstrukturiert u. sehr homogen; breiig u. naß; humos (h2, Limus humosus-detrituosus); äußerst feiner, pflanzlicher Detritus mit vereinzelt Pflanzenrestfunden (Erlenholz, -wurzel, -samen, <i>Betula pubescens</i> -Samen, <i>Carex rostrata</i> -Utriculus, <i>Phragmites</i> -Rhizomrest); abnehmender H <sub>2</sub> S-Geruch; fließender Übergang zu
121-158	<b>schwarzbrauner Limnopelohumit</b> ; kaum strukturiert u. sehr homogen; breiig, zunehmend fester u. naß (elas. 1-2, sicc. 2); abnehmende Humidität (h1, Limus detrituosus con humo); zunehmender, pflanzlicher Feindetritus; schluffig; fließender Übergang zu
158-281	<b>schwarzbrauner Limnopelohumit im Übergang zu -psammohumit</b> ; kaum strukturiert u. homogen; weich-plastisch, leicht klebrig-bröckelig bis krümelig u. stark feucht; humos (h1, Limus detrituosus c. humo); überwiegend pflanzlicher Feindetritus, vereinzelt ab 241 cm zunehmender, mittelgroßer Detritus aus Bryophyten u. Erlenholz, -würzelchen; schluffig; abgegrenzt gegen
<b>281-629</b>	<b>Mitteldetritusmudde</b>
281-331	<b>dunkelbrauner Limnopsammohumit im Übergang zu -pelohumit</b> ; strukturiert u. homogen; weich-plastisch, leicht klebrig u. stark feucht; humos (h1, Limus detrituosus c. humo); feiner-mittelgroßer, pflanzlicher Detritus aus Erlenholz u. -würzelchen, bei 281-283 cm Grobdetrituslage aus Erlenholz, -wurzeln, Birkenholz u. -rinde, bei 321-331 cm Mitteldetritus aus Erlenblatt- u. Schilfgewebe; schluffig, bei 281-283 cm sandig, bei 321-331 cm lehmig; abgegrenzt gegen
331-461	<b>schwarzbrauner Limnopsammohumit</b> ; strukturiert u. wenig homogen; weich-plastisch, leicht klebrig-bröckelig bis krümelig u. stark feucht; humos (h1, Limus detrituosus c. humo); mittelgroßer, pflanzlicher Detritus aus Bryophyten, Erlenholz, -würzelchen, -samen u. <i>Phragmites australis</i> -Gewebe mit vereinzelt, größeren Erlenholz- u. Schilfrhizomresten bei 331-361 cm, 363-365 cm, 380-381 cm u. bei 459-464 cm; <i>Bryozoen</i> -Flottoblasten von <i>Cristatella mucedo</i> ; sandig-schluffig, bei 441-461 cm lehmig; fließender Übergang zu
461-561	<b>dunkelbrauner Limnopsammohumit</b> ; strukturiert, aber relativ homogen mit fließenden Übergängen; weich-plastisch, kompakt, fest u. stark feucht; humos (h2, Limus humosus-detrituosus); mittelgroßer, ins Liegende abnehmender, pflanzlicher Detritus aus Bryophyten, Erlen- u. Birkenholz bzw. -würzelchen, vereinzelter Grobdetritus aus Erlenholz, <i>Betula pubescens</i> -Borke, Schilfgewebe, <i>Carex sp.</i> -Utriculi; schluffig; fließender Übergang zu
561-624	<b>grau- bis schwarzbrauner Limnopsammohumit</b> ; wenig strukturiert u. homogen, weich-plastisch, kompakt, klebrig u. stark feucht; humos (h2, Limus humosus-detrituosus); mittelgroßer, pflanzlicher Detritus aus Erlen- u. Birkenholz, <i>Sphagnum</i> -Phylloiden, vereinzelt Schilfgewebe; schluffig, ab 601 cm zunehmend lehmig-sandig; abgegrenzt gegen
624-629	<b>grau bis graubrauner, lehm-sandreicher Limnohumit</b> ; fließender Übergang zu
<b>629-752</b>	<b>eisenreiche Mitteldetritusmudde</b>
629-691	<b>grau- bis schwarzbrauner, an der Luft schwärzender Limnopsammohumit im Übergang zu -pelohumit</b> ; kaum strukturiert u. homogen; breiig u. naß; deutlich humos (h3, Limus humosus c. detritu); feiner, pflanzlicher Detritus aus Erlen- u. Birkenholz, <i>Cyperaceae</i> -Radizellen u. <i>Sphagnum</i> -Phylloiden; ab 661 cm mittelgroße Reste (Holz, Borke u. Samen von <i>Betula pubescens</i> , Blattneratur von c.f. <i>Salix sp.</i> , <i>Phragmites australis</i> -Gewebe, <i>Carex sp.</i> -Utriculus); stellenweise leichte Eisenockerbildung; schluffig; fließender Übergang zu

Tab. 6 ff.:

Tiefe [cm]:	Sedimentbeschreibung:
691-752	<b>schwarzer Limnopsammohumit mit hoher Humidität</b> ; kaum strukturiert u. sehr homogen; breiig u. stark naß; deutlich humos, leicht schmierend (h3-4, Limus humosus c. detritu); mittelgroßer pflanzlicher Detritus aus <i>Cyperaceae</i> -Radizellen u. <i>Sphagnen</i> -Phylloiden, vereinzelt Holz, Borke u. Samen v. <i>Betula pubescens</i> , ab 711 cm vereinzelt Grobdetritus aus Blattfragmenten v. <i>Alnus glutinosa</i> , 1 Teilblättchen v. <i>Fraxinus excelsior</i> ; schwach reduz. Horizont mit leichter H <sub>2</sub> S-Bildung u. stellenweiser Eisenockerbildung; schluffig; scharfe, untere Stratengrenze
<b>752-834</b> 752-791	<b>eisenreiche Gelmudde</b> <b>tiefschwarz glänzender Limnohumit mit sehr hoher Humidität</b> ; strukturlos, d.h. absolut homogen; plastisch-gelartig, zunehmend zähflüssig bis flüssig u. stark naß; stark humos u. stark schmierend (h4, Limus humosus mit Humuskolloiden); nahezu ohne pflanzlichen Detritus, nur vereinzelt <i>Cyperaceae</i> -Radizellen, <i>Sphagnen</i> -Phylloide u. –Seten, sehr vereinzelt Holz, 1 <i>Betula pubescens</i> -Same; <i>Bryozoen</i> -Flottoblasten von <i>Cristatella mucedo</i> ; stark reduz. Horizont mit zunehmender H <sub>2</sub> S-Bildung u. einem hohen Anteil reduzierter Eisenverbindungen (Pyrit: Violetstich), die randlich oxidierend eine Ockerkruste bilden; fließender Übergang zu
791-811	<b>schwarzer Limnohumit mit hoher Humidität</b> ; kaum strukturiert u. sehr homogen; abnehmend zähflüssig bis breiig u. stark naß; abnehmend humos u. schmierend (h3-4, Limus humosus c. detritu); nahezu ohne pflanzlichen Detritus, nur vereinzelt <i>Cyperaceae</i> -Radizellen u. <i>Sphagnen</i> -Phylloide; abnehmende H <sub>2</sub> S- u. Ockerbildung; schwach schluffig; fließender Übergang zu
811-834	<b>schwarzgrauer Limnohumit</b> ; wenig strukturiert u. homogen; breiig u. stark naß (; abnehmend humos u. schmierend (h3, Limus humosus c. detritu); vereinzelter pflanzlicher Mitteldetritus aus Blattfragmenten c.f. <i>Alnus glutinosa</i> u. <i>Betula pubescens</i> , <i>Alnus glutinosa</i> - u. <i>Betula pubescens</i> -Samen; oxidiertes Horizont ohne H <sub>2</sub> S- u. Ockerbildung; ins Liegende zunehmend schluffig-sandig; scharfe, untere Stratengrenze;
<b>834-934</b>	<b><u>Versturzhorizont aus Fein- bis Mittelsanden und Erlen-Bruchwaldtorfen</u></b>
<b>834-864</b> 834-841	<b>Feinsande</b> <b>hell- bis grüngraue, tonige Lehmsande</b> ; weich-plastisch u. stark feucht; 5 % organischer Substanz; mit vereinzelt <i>Cyperaceae</i> -Radizellen und <i>Sphagnen</i> -Phylloiden, Blattfragmenten; leicht karbonathaltig (HCl-Probe positiv, c3); beidseitig scharf abgegrenzt;
841-864	<b>hellgraue, im Liegenden zunehmend braune, lehmige Feinsande</b> ; breiig u. stark feucht bis naß; bis 20 % organischer Substanz; mit <i>Cyperaceae</i> -Radizellen und vereinzelt größeren Pflanzenresten wie Erlenholz, -blätter, Schilfgewebe; scharfe, untere Stratengrenze;
<b>864-893</b>	<b>Erlen-Bruchwaldtorf</b> <b>dunkelbrauner, kompakter und schwach bis leicht zersetzter Torf</b> ; relativ homogen; feucht; Torf aus Erlenholz, -wurzeln, Funde von <i>Alnus glutinosa</i> -fruchtstand und –samen; schluffig, ins Liegende zunehmend graubraun, sandig u. in weiter, diffuser Horizontgrenze in Sande übergehend
<b>893-918</b>	<b>Fein- bis Mittelsande</b> <b>graubraune Fein- bis Mittelsande</b> ; feucht; bei 886-897 cm vereinzelt Erlenholz, Einzelfunde von Erlenblattfragment und -samen, <i>Betula pubescens</i> -Samen, <i>Sphagnen</i> -Phylloiden; vom torfigen Hangenden ins Liegende auf <10 % organisch Substanz und bei 913-918 cm in graue, mittelkörnige Sandlage übergehend; ins Liegende relativ scharf begrenzt;
<b>918-934</b>	<b>Erlen-Bruchwaldtorf</b> <b>dunkel- bis schwarzbrauner, kompakter und schwach bis leicht zersetzter Torf</b> ; relativ homogen; feucht; Torf aus Erlenholz, –wurzeln, Einzelfunde von <i>Alnus glutinosa</i> -fruchtstand, -samen, Schilfgewebe; Profil bei 930-934 cm mit Erlenholz im Querschnitt endend

Erdfall abgerutscht sein. Insgesamt lässt sich die Situation vor dem Erdfall daher nur eingeschränkt und durch Heranziehen der Nachbarprofile „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“ interpretieren.

- Erosive Einträge fremden Materials während sekundärer Absenkungsphasen werden durch **minerogene Interstraten** in den organogenen Sedimenten und Torfen indiziert. Sie lassen sich stratigraphisch klar definieren, wie z.B. der lehmig-sandige Horizont 624-629 cm/Profil „Großes Heiliges Meer“ oder die sandigen Einschwemmungen in den Torfen des Profils „Meerbecke-Niederung“ (172-164 cm) und sie werden durch die Ergebnisse der weiterführenden, paläoökologischen Untersuchungen bestätigt.
- Weitere Einschnitte in die Moorentwicklung bzw. Limnogenese werden schließlich durch **regressive Stratenwechsel** markiert, wie sie in der natürlicherweise progressiven Bodenogenese sonst nur bei Klimaveränderungen auftauchen. Sie lassen sich in eindeutige Beziehung zu den Senkungsvorgängen setzen und sind daher ökologisch gut zu interpretieren. Einen solchen Stratenwechsel stellt der Übergang von Erlenbruchwald zu Seggentorfen bei 125 cm im Profil der „Grundlosen Kuhle“ dar, der als deutliches Zeichen von Versumpfung infolge von Subrosion und allmählicher Erdabsenkung gesehen werden kann. Auch die, mit dem Interstratum 624-629 cm/Profil „Großes Heiliges Meer“ verknüpfte Ablösung einer eisenreichen Mittel-Feindetritusmudde durch eisenarme Mitteldetritusmudden spricht für einen Rückschritt in der Gewässerentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“. Die Kombination von Interstratum und Regression spiegelt dabei die ökologische Bedeutsamkeit der Sekundärsackung des Erdfalles wider.

Werden diese sedimentstratigraphischen Indikatoren der Subrosions- und Erdfallprozesse berücksichtigt, lassen sich die weiterführenden Ergebnisse also auf eine sichere Basis stellen. Zusammenfassend berechtigten Reihenfolge und Zusammensetzung der Torfe und Sedimentablagerungen daher sowohl die chronologische Ableitung der geschichtlichen Ereignisse (Kap. 4.2 ff.) als auch die Rekonstruktion der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse (Kap. 5), der Vegetations- und Siedlungsentwicklung im Umfeld des Gewässers (Kap. 6) und der vegetativen, phytoplanktischen und stofflichen Veränderungen und somit zusammenfassend der Nährstoffentwicklung im Gewässer selbst (Kap. 7 und 8).

## 4.2 Chronologie des „Heiligen Feldes“

Die Chronologie des „Heiligen Feldes“ konnte anhand der relativen und absoluten Altersdatierung sowie der palynologischen Synchronisation der Profile „Meerbecke-Niederung“ und „Großes Heiliges Meer“, unter Einbezug des Profils „Grundlose Kuhle“ von SCHLÜTER (1997) vom Atlantikum ( $7580 \pm 101$  B.P., PZ VIIIa<sup>NWD</sup>) bis hinein in die Gegenwart (PZ XII<sup>NWD</sup>) rekonstruiert werden (Tab. 7, Abb. 14). Die korrelierten Profile spiegeln die großräumige Landschafts- und Siedlungsgeschichte im Umfeld des „Großen Heiligen Meeres“ wider, die die wesentlichen Züge der regionalen Geschichte trägt, wie sie sich mehr oder minder ausgeprägt in allen nordwestdeutschen Pollendiagrammen wiederfinden (POTT 1992a). Sie reicht von den mittelwärmeszeitlichen Laubmischwäldern über die Ausbreitung von Buche und Hainbuche und gleichzeitige Entwicklung der prähistorischen und historischen Kulturlandschaft bis in die moderne Industrie- und Wirtschaftslandschaft unseres Jahrhunderts und soll im Kapitel 6 näher diskutiert werden.

## 4.3 Alter des „Großen Heiligen Meeres“

Der Einbruch des „Großen Heiligen Meeres“ wird in dessen Profil durch einen pollenstratigraphisch klar hervortretenden Einschnitt an der Grenze Versturzhorizont / Mudde gekennzeichnet. Das Pollenbild an der Muddebasis spiegelt dementsprechend die Vegeta-

tion zur Erdfallzeit wider. Sie wurde von einer mittelsubatlantischen Laubwaldlandschaft geprägt, in der sich Rotbuche und Hainbuche mit Werten bis 22,7 bzw. 3,3% massiv auszubreiten begannen. Die Hasel war mit Frequenzen unter 10% nur noch schwach vertreten und die Kiefer mit Werten unter 5% nahezu aus den Wäldern verschwunden. Zugleich wurde der Raum bereits von einer frühen, anthropogenen Einflussnahme erfasst, deren

Tab. 7: Radiokarbonaten des Profils „Meerbecke-Niederung“

Probennr. Tiefe Labornr.	30 30 cm Erl-969	128 128 cm Erl-970	210 210 cm Erl-971
<sup>14</sup> C-Jahre	1772 B.P. ± 58	5071 B.P. ± 59	6800 B.P. ± 60
<b>kalibrierte <sup>14</sup>C-Jahre ± 2 σ</b>	<b>1682 B.P. ± 134</b>	<b>5795 B.P. ± 132</b>	<b>7580 B.P. ± 101</b>
kalibrierte Kalenderjahre	268 n.Chr. ± 134	3845 v.Chr. ± 132	5630 v.Chr. ± 101
± 1 σ	217-348 AD	3948-3898 BC	5681-5598 BC
	353-379 AD	3883-3799 BC	
± 2 σ	134-402 AD	3977-3762 BC	5731-5576 BC
		3737-3714 BC	5541-5529 BC

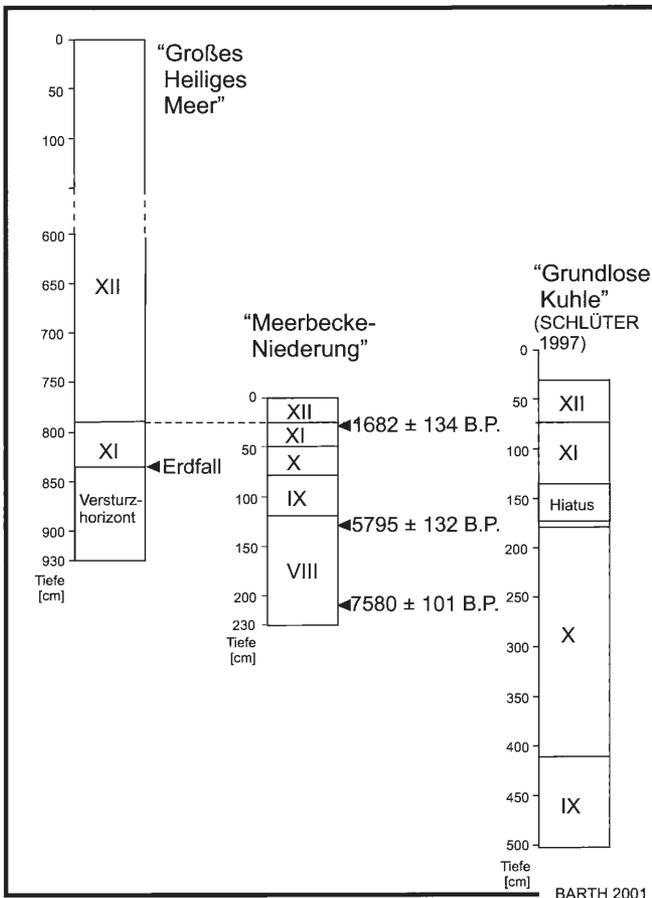


Abb. 14: Synchronisation der Profile „Großes Heiliges Meer“, „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“ (VIII - XII =: PZ<sup>NWD</sup> n. OVERBECK 1975).

noch geringe Ausmaße [SAZ (Siedlungsanzeiger) -Werte unter 5%] eine vormittelalterliche Kultivierungsperiode indizieren. Vereinzelt, aber regelmäßige Roggenpollenfunde ordnen sie einer Siedlungsnahme nach dem 3. Jahrhundert zu, die im Untersuchungsraum mit der altsächsischen Landnahme korreliert werden kann. Die obere Altersgrenze lässt sich anhand der mittelalterlichen Landnahme- und Rodungsprozesse fixieren, die sich palynologisch durch den antagonistischen Verlauf einer markant abfallenden Baum- bzw. Erlenpollenkurve und einer steigenden SAZ- bzw. Roggenkurve auszeichnen und von maximalen *Fagus*- und *Carpinus*-Frequenzen begleitet werden.

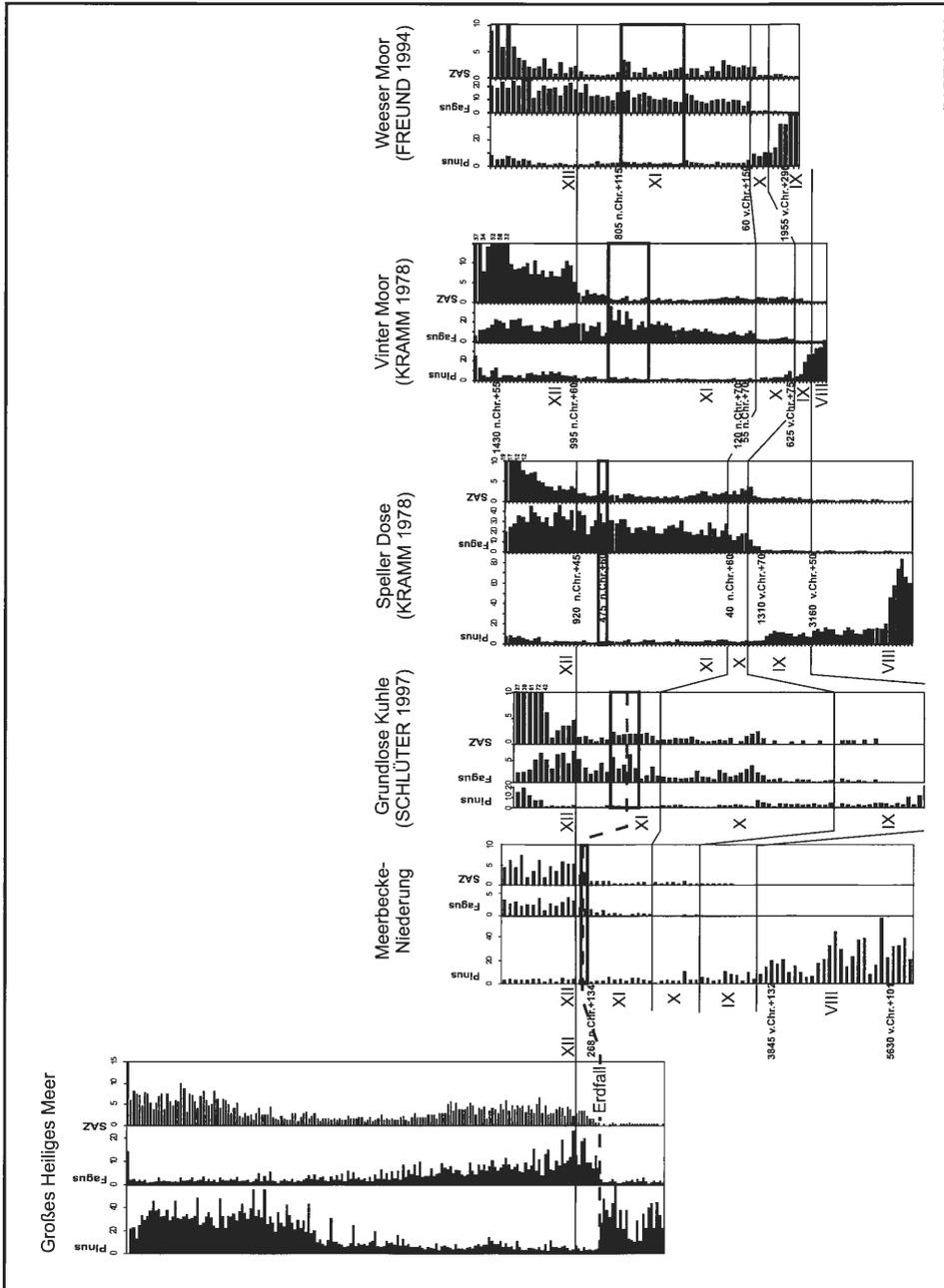
Die Datierung des Erdfalls auf die Sachsenzeit wird durch die vorangegangenen Synchronisation der Pollendiagramme unterstützt (Abb. 14) und durch die Korrelation mit den benachbarten Pollenprofilen der „Speller Dose“, des Vinter und des „Weeser Moores“ verifiziert (KRAMM 1978, FREUND 1994; Abb. 15):

Im unmittelbar benachbarten Profil „Meerbecke-Niederung“ deutet die abfallende Baum-, speziell *Alnus*-Kurve in Verbindung mit dem plötzlichen Auftreten von Wasserpflanzenpollen (*Utricularia*, *Nymphaea*, *Ranunculus batrachium*-Typ) auf die Entstehung des Erdfallgewässers hin. Sein maximales Alter konnte hier anhand einer Radiokarbon-Datierung am darunter liegenden Horizont auf 268 n.Chr.  $\pm$  134 datiert und dem Ende der völkerwanderungszeitlichen Siedlungsdepressionsphase zugeordnet werden. Dies korrespondiert nach KOHL (1986) mit dem großräumigen Befund eines Siedlungsminimum im 2./3. Jahrhundert bzw. einer frühen, sächsischen Siedlungsbelebung bereits seit dem 3./4. Jahrhundert. Am Pollenspektrum der „Grundlosen Kuhle“, das die frühhistorische Zeitspanne im Erdfallgebiet in größerer Auflösung erfasst, bestätigt sich, dass der Raum in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten nie ganz siedlungsleer, sondern bereits vor der eigentlich sächsischen Landnahme besiedelt war (SCHLÜTER 1997). Diese wird dann in beiden Diagrammen durch einen verstärkten SAZ-Anstieg sowie regelmäßige *Secale*-Nachweise indiziert. Innerhalb des sächsischen Pollenspektrums der „Grundlosen Kuhle“ markieren ein regressiver Stratenwechsel von Bruchwald- zu Seggentorf sowie der abrupte Abfall des Erlenpollens verknüpft mit dem Auftreten zahlreicher Nässeindikatoren und Heliophyten deutlich Subrosionsprozesse, die sich eindeutig mit dem sachsenzeitlichen Spektrum des Profils des „Großen Heiligen Meeres“ synchronisieren und daher auf einen kausalen Zusammenhang zu der Entstehung des Gewässers schließen lassen.

In Korrelation zu KRAMM (1978) und FREUND (1994) entstand das „Große Heilige Meer“ demnach in einer Zeit zwischen 475 n.Chr.  $\pm$  60 und 805 n.Chr.  $\pm$  115, also nach dem altsächsischen Siedlungsoptimum, wie es für die „Speller Dose“ datiert wurde, und vor der karolingischen Rodungsphase, die für das „Weeser Moor“ fixiert wurde. In Übereinstimmung der drei Profile des Erdfallgebietes entstand es ferner in einer Zeit vor der ersten optimalen Buchenausbreitung im Zuge der frühhistorischen Waldregeneration. Die entsprechenden *Fagus*-Frequenzen stechen im Pollenprofil des korrelierten „Vinter Moores“ besonders hervor, sind aber auch im Kurvenverlauf des Profils „Speller Dose“ klar ersichtlich und gipfeln jeweils in der ausgehenden Sachsenzeit an der Wende zur frühmittelalterlichen Landnahme. Sicherlich ist diese Wald- und Buchenregeneration in den Zusammenhang des Siedlungseinbruchs während der Sachsenkriege (772-785/804 n.Chr.) zu stellen.

Nicht zuletzt werden die vegetationsgeschichtlichen Altersdatierungen von historischen Befunden gestützt: So überlieferten bereits die Sachsen mit dem alten, germanischen Gewässernamen „Dre-vana-meri“ bzw. „Dre-veno-meri“ ein erstes Zeugnis des landschaftlich bedeutenden Erdfallgewässers (MEYER 1850). Die etymologische Deutung verweist hier sowohl auf eine altsächsische Kultstätte der Wanen-Verehrung, als auch - in einer sehr viel schlüssigeren Ableitung - auf das „Drei-Grenzen-Meer“, eine einstige Landmarke zwischen den Gauen Venki, Threcwiti und Bursibant, deren Grenzen sich noch heute in den Gemarkungslinien Recke, Hörstel/Riesenbeck und Hopsten wiederfin-

den (HUNSCH 1975). Ferner könnte auch der Wall, der das „Große Heilige Meer“ im Nordwesten umgibt, aus der Sachsenzeit stammen und auf die einstigen Gaugrenzen verweisen oder aber eine sächsische Siedlungsparzelle, die das zugängliche Nordwestufer des Gewässers einschloss, gegen die gemeine Mark abgegrenzt haben. Schließlich beur-



BARTH 2001

Abb. 15: Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ in der Sachsenzeit (Altersdatierung anhand einiger korrelierter Pollenprofile).

kunden bereits früheste, schriftliche Quellen von 804 und 965 die Existenz des Sees als bedeutende Land- und Grenzmarke eines Forstbannes über die weiten Wälder des westlichen Osnabrücker Hügellandes (ERHARD 1847, BRANDI 1900, MOHRMANN & PABST 1990).

Zusammenfassend reicht Geschichte des „Großen Heiligen Meeres“ also bis in die Sachsenzeit zurück, und die vorliegenden Untersuchungen bestätigen die bisherige Erdfalldatierung auf einen Zeitraum zwischen 400 und 800 n.Chr. (SCHROEDER 1956) bzw. präzisieren sie auf eine Gewässerentstehung zwischen 475 und ca. 750. Das „Große Heilige Meer“ hat also ein Alter von rund 1250-1500 Jahren.

#### 4.4 Chronologie des „Großen Heiligen Meeres“

Das Gewässer entwickelte sich also während der Phase des Mittleren und Späten Subatlantikums, so dass sich anhand der palynologischen Ergebnisse des Gewässerprofils insbesondere der Wandel der historischen Kulturlandschaft verfolgen ließ. Für die chronologische Untergliederung dienten pollenfloristische Leithorizonte vegetationsgeschichtlicher Entwicklungen, anhand derer zunächst vier siedlungsgeschichtliche Kulturepochen und Hauptphasen der Vegetations- und Gewässerentwicklung herausgestellt werden konnten:

- Die **frühhistorische Siedlungsbelebung** der Sachsenzeit und des Frühmittelalters wurde durch regionale und lokale Siedlungsaktivitäten in einer weiterhin bestehenden Laubwaldlandschaft mit maximalen Buchenanteilen geprägt: geschlossene *Secale*-Kurve, steigende Siedlungsanzeiger- (SAZ-) und *Plantago lanceolata*-Werte; Abfall der *Alnus*-Frequenzen; hohe Baumpollen- (BP-) und *Fagus*-Anteile.
- Das **Hoch- und Spätmittelalter** zeichnete sich durch rege Landnahme- und Ausbauprozesse in einer zunehmend geöffneten und extensiv genutzten Kulturlandschaft aus, die insbesondere auf Kosten der Buchenwälder gingen: allgemeiner Rückgang der BP, speziell von *Alnus*- und *Fagus*, Anstieg der SAZ.
- Die **Wüstungsperiode** wurde von einer Siedlungsdepression charakterisiert, in der die landwirtschaftlichen Flächen brach fielen und sich die Öffnung und Degradierung der Landschaft fortsetzte. Zugleich regenerierte jedoch der Erlenwaldgürtel des „Großen Heiligen Meeres“: Rückgang der SAZ und der meisten BP, „sekundärer Kiefernanstieg“, Anstieg des *Calluna*-Pollens; Zunahme der *Alnus*-Frequenzen.
- Die **neuzeitliche Siedlungsexpansion** setzte mit einer systematischen Landschaftskultivierung ein, die insbesondere durch großflächige Kiefernauaufforstungen auf den devastierten Flächen, einer Besiedlung und Kultivierung der Gemarkungen und einer Erschließung der Niederungswälder, d.h. auch einer Öffnung des lokalen Bruchwaldgürtels am „Großen Heiligen Meer“, gekennzeichnet war: erneuter SAZ-, insbesondere *Fagopyrum*- und *Cannabis*-Anstieg, BP- und *Alnus*-Rückgang, abrupter *Pinus*-Anstieg.

Darüber hinaus boten weitere wirtschafts- und landschaftsgeschichtliche Prozesse, die im einzelnen im Kapitel 6.2 diskutiert werden, die Möglichkeit einer detaillierteren, vegetations- und siedlungsgeschichtlichen Einteilung des Profils in 16 Abschnitte (Abb. 16). In ihrem Zusammenhang wurden auch alle von SCHROEDER (1956) für die Sedimente des „Großen Heiligen Meeres“ beschriebenen Horizonte und Zeitmarken wiedergefunden. Als Indikatoren dieser palynologischen Datierung wurden die regelmäßigen Pollennachweise von *Centaurea cyanus* (ca. 1200) und *Fagopyrum esculentum* (ca. 1350) und der Verlauf der SAZ-, *Secale*- und *Cannabis*-Kurve herangezogen (empirische *Cannabis*-Kurve im 16. Jh., rationale Kurve im 18. Jh., abrupter Anstieg der SAZ- u. *Secale*-Kurve um 1850 und 1965).

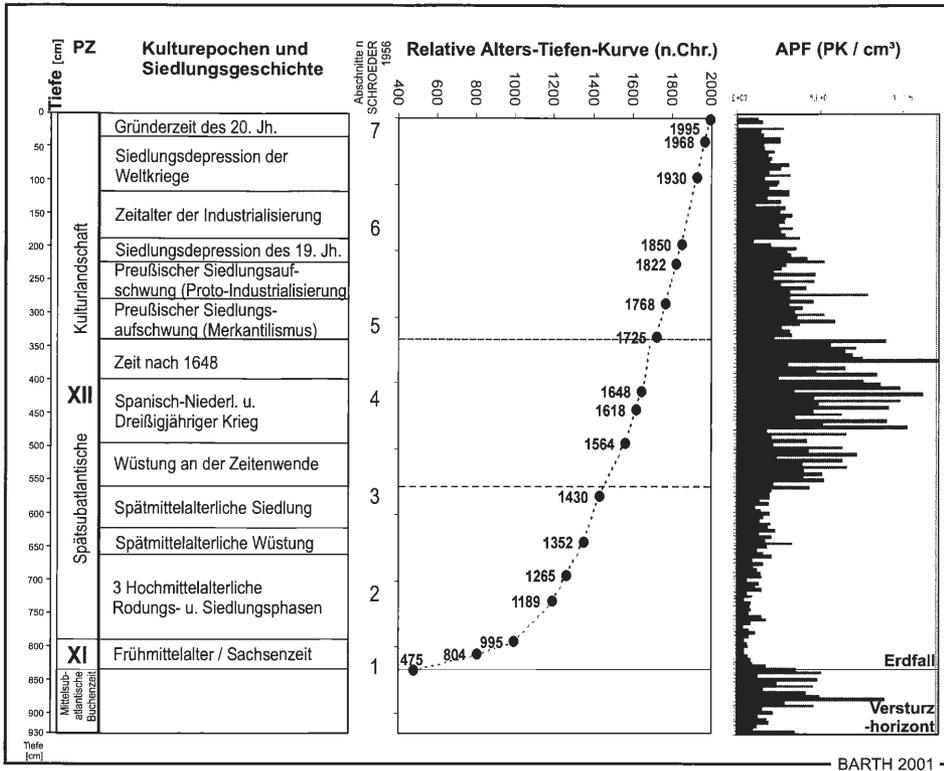


Abb. 16: Chronologie des „Großen Heiligen Meeres“.

Die chronologische Zuordnung konnte schließlich in historischer Korrelation, anhand konkreter Daten regionaler und lokaler Ereignisse erfolgen (Abb. 16). Dazu stehen in dem geschichtsträchtigen, weiteren Raum zwischen Ems und Hase, zwischen Münster und Osnabrück nicht nur zahlreiche archäologische Funde (prä-)historischer Siedlungsphasen zur Verfügung, sondern benennen und beschreiben Urkunden u.a. schriftliche Überlieferungen (PHILIPPI & BÄR 1892-1902 u.a.) seit dem Frühmittelalter das „Große Heilige Meer“. Ferner dokumentieren erste, großmaßstäbige, handgezeichnete historische Karten bereits seit dem 16.-18. Jh. neben Grenzen und bedeutenden Landmarken auch das regionale Landschaftsbild der umstrittenen Grenzregion (historische Grenzkarten 1564, 1616/1747, 1768, 1774-76, Historische Karte HK 1805). Ein Auszug aus dem umfangreichen Datenmaterial zur Siedlungsgeschichte des „Heiligen Meeres“, die im weiteren um vegetations- und landschaftsgeschichtliche Aspekte erweitert werden soll, wurde in einer Chronik im Anhang 10.1 zusammengestellt.

Letzten Endes wurde die Chronologie des „Großen Heiligen Meeres“ in einer relativen Alters-Tiefen-Kurve fixiert, deren alinearer, dreigeteilter Verlauf sich über die Frequenzen absoluter Pollenmengen als weiterer Ausdruck der Sedimentationsgeschwindigkeit verifizieren ließ (Abb. 16): Dabei sind nach Dearing (1986) sedimentationsbeeinflussende Faktoren wie Vegetationsverhältnisse, geogene Prozesse bzw. anthropogene Eingriffe für den Kurvenverlauf verantwortlich. So müssen in vorliegendem Fall also insbesondere der Erdfall, die spätmittelalterliche Sekundärsenkung und die neuzeitliche Anlage von zu- und abführenden Gräben als Tiefen- und Strömungseinflüsse und damit primär wirkende Kräfte berücksichtigt werden. Als sekundäre Regulatoren müssen ferner die lokale Verlandungs- und Bruchwaldentwicklung, d.h. vor allem die frühneuzeitliche Waldgür-

telregeneration und erneute Waldrodung zu Beginn des 18. Jh. einbezogen werden. Vor diesem Hintergrund bestätigt die relative Alters-Tiefen-Kurve zusammenfassend das bio- und archäostratigraphisch ermittelte Alter und die Chronologie des Sees und ermöglicht ferner die Eindatierung weiterer Horizonte.

#### 4.5 Problematik der Radiokarbon-Datierung

Die Radiokarbon-Datierung an dem Profil des „Großen Heiligen Meeres“ konnte die relativ datierte Vegetations- und Siedlungsgeschichte nicht durch Absolutwerte stützen, da sie nicht nur unscharfe, stark Amplitude schwankende Meßergebnisse lieferte, sondern vor allem eindeutig zu alte, z.T. invers geschichtete Daten, die sich weder mit den pollenanalytischen Untersuchungen korrelieren ließen noch zur Datierung geeignet waren.

Da von der Autochthonität der Gewässersedimente ausgegangen und sekundäre Umlagerungen im Bereich der beprobten Horizonte ausgeschlossen werden konnten, wird davon ausgegangen, dass während des Erdsturzes und der nachfolgenden Genese des „Großen Heiligen Meeres“ ein geogener und fluviatiler Eintrag von Karbonaten erfolgt ist. Bereits GEYH (1983) wies auf sekundären Kohlenstoff-Influx als mögliche Ursache künstlicher Datenalterung, z.T. um Jahrtausende, hin. Innerhalb des pleistozänen Untersuchungsgebietes sind entsprechend alte Kohlenstoffquellen sowohl lokal, im geologischen Untergrund als auch regional, in den anstehenden Gesteinen des Meso- und Paläozoikums verbreitet (THIERMANN 1975b). Durch sekundäre Zufuhr dieser Karbonate kann der sogenannte Hartwassereffekt, der ansonsten vor allem als Reservoir-Effekt in Kalklandschaften und Hartwasserseen berücksichtigt werden muss (OLSSON 1986), selbst innerhalb des Pleistozäns zum Tragen kommen. Dabei wird durch Hydrogenkarbonatspaltung in einem biogenen Entkalkungsprozess Kohlendioxid freigesetzt, das über Assimilationsvorgänge in die Biomasse inkorporiert und im Kohlenstoff-Kreislauf des Sees akkumuliert wird (DEEVEY et al. 1954). Der dadurch hervorgerufene Datierungsfehler ist für das „Große Heilige Meer“ jedoch weder quantitativ noch qualitativ fass- und korrigierbar, da die jeweilige Herkunft und Menge des allochthonen Kohlenstoffs unsicher und zeitlich variabel ist:

- Erstens kam der **Zustrom karbonatreichen Tiefengrundwassers** aus dem mesozoischen Sockel des „Heiligen Feldes“ als Eintragungsweg in Frage. Diese Tiefengrundwässer sind regional deutlich mineralisiert bis versalzen. Konkrete Grundwasseranalysen in 37 m Tiefe (Tiefenbrunnen Hof Dräger; 3404,775 R - 5805,000 H) ergaben nach KOCH (1983) eine Leitfähigkeit von  $4271 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ , die nicht nur auf die Lösung von Steinsalzen und Anhydriten, sondern auch auf einen erhöhten Anteil an Kalzium- und Magnesiumkarbonaten zurückzuführen ist. Ferner sind nach KOCH (1983) die meso- und paläozoischen Kluftgrundwasserleiter der Region über hydraulische Verbindungen mit den darüberlagernden quartärzeitlichen Porengrundwasserleitern verbunden bzw. die Wässer des Malm stehen innerhalb der Senkungszone teilweise sogar in direktem Kontakt zu den quartären Grundwassern. Im Zuge der Absenkungsphasen können die karbonatreichen Tiefengrundwässer nun durch Druckwellen innerhalb des Grundwasserkörpers über die Verwerfungsspalten massiv an die Oberfläche und in den See gelangt sein. Solche Druckwellen innerhalb des kommunizierenden Grundwassersystems des NSG wurden auch beim Einsturz des „Erdfallsees“ von WEGENER (1913a-c) und TIETZE (1914) beobachtet. Daher war diese Art des geogenen Kohlenstoffeintrages zu Zeiten der Gewässerentstehung und -nachsackung am größten, insbesondere da später zunehmend mächtige Muddeschichten den limnischen Wasserkörper vom Grundwasserkörper abschotteten (WEINERT et al. 1998).
- Zweitens findet nach KOCH (1983) eine permanente **Infiltration von kalkreichen, paläozoischen Kluftwassern** des Schafberges in das Porengrundwasser der Tiefebene

statt, das in direktem Kontakt zu den dortigen Oberflächenwassern steht. Dieser Kohlenstoff-Influx wird jedoch äußerst gering sein.

- Einen sehr viel stärkeren Einfluss wird drittens der **Zufluss kalkreichen Oberflächenwassers** gehabt haben, das über natürliche Vorfluter und künstliche Entwässerungsgräben aus den Kalkgebieten des Schafberges in den See gelangte. Hohe Hydrogenkarbonatfrachten bis zu 280 mg/l in der Meerbecke (PUST 1993) und kalkzeitende Pflanzen wie *Sium erectum* an ihrer Quelle indizieren heute den Eintrag allochthonen Kohlenstoffs. Dieser fluviatile „C“-Influx spielte vor allem in der jüngeren Gewässergeschichte eine größere Rolle. So sind Zuflüsse zum „Großen Heiligen Meer“ erstens erst seit der Frühen Neuzeit belegt, als man begann, sie als Entwässerungsgräben auszubauen bzw. neu anzulegen (Anhang 10.1). Zweitens erhöhten zudem höchstwahrscheinlich der nach RÖHRS (1985) neuzeitlich einsetzende Kalkabbau am Dickenberg sowie die Uffelner Kalkbrennerei die Kalkfrachten in das „Große Heilige Meer“. Diese fluviatilen Karbonateinträge sind sicherlich die primäre Ursache für die künstliche Alterung der oberen Muddehorizonte sowie ihrer inversen Altersschichtung. Hier spiegelt sich die entscheidende Rolle des anthropogenen Einflusses auf die künstliche Alterung von Gewässersedimenten wider, wie sie in der Literatur bereits umfassend diskutiert worden ist (OLSSON 1986).

Schließlich muss GEYH (1983) und OLSSON (1986) folgend noch der Eintrag **huminstoffreicher Grundwässer** zur Diskussion gestellt werden. Huminstoffe sind als organische Substanzen und Produkte unvollständiger Dissimilationsvorgänge in den natürlichen C-Kreislauf integriert. Wenngleich nur äußerst langsam, so werden sie doch grundsätzlich mineralisiert und ihr Kohlenstoff erneut der Assimilation zugeführt (BESCH et al. 1984). Die basalen, huminstoffreichen Gelmudden des „Großen Heiligen Meeres“ sprechen nun dafür, dass die Entstehung des Sees sowie seine frühe Gewässergenese mit einer starken Fulvo- und Huminsäureinfiltration durch das randlich einströmende Grund- und Moorwasser verbunden war. In diesem Zusammenhang sollte nach DIECKMANN (1998) auch das Tiefenwurzelsystem der Erle bedacht werden, das in Niedermoorgebieten den Zustrom älterer Wässer an die Oberfläche fördert und dadurch zu einer künstlichen Alterung von Radiokarbonaten führt. DIECKMANN'S These stützt sich vor allem auf die im Untersuchungsgebiet durchgeführten Beobachtungen zur Grundwasserdynamik unter Erlenbruchwäldern (PUST et al. 1997) sowie auf lokale Untersuchungen zum Grundwasser- und Nährstofffluss innerhalb von Niedermoor-Ökosystemen (POTT 1998, 2000). Der Transport hydrogenkarbonatreichen Tiefengrundwassers scheint jedoch weniger bedeutend, als vielmehr der Transport huminstoffreicher Wasser innerhalb der Niedermoor-Ökosysteme selbst: So ist das lokale Tiefengrundwasser im Einflussbereich der Erle nach WEINERT et al. (1998) geologisch sehr jung, d.h. bei 20 m Tiefe maximal 30 Jahre alt, während die Torfe vor Ort bis in das Atlantikum zurückdatieren. Unter diesem Aspekt sollte die Rolle der Erle sowohl bei der Datierungsfrage limnischer Sedimente und deren Kontamination durch Huminstoffe als auch bei der Untersuchung von Nährstoffkreisläufen in Niedermoor-Ökosystemen weiter zur Diskussion gestellt werden.

## 5 Skizze der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse

### 5.1 Pollenanalytische Indikation der Absenkungsvorgänge

Die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte des „Großen Heiligen Meeres“ ist in den Zusammenhang der langfristigen Subrosions- und Erdfallvorgänge des geologisch äußerst aktiven „Heiligen Feldes“ zu stellen (LOTZE 1956). Ohne Zweifel haben die Subrosions- und Erdfallprozesse des „Heiligen Feldes“ nicht nur die geomorphologisch-hydrologischen Verhältnisse sondern auch die lokale Vegetationsentwicklung und Limno-

genese des „Großen Heiligen Meeres“ nachhaltig beeinflusst. Da nach DEARING & FOSTER (1986) erst die gründliche Analyse dominanter Regulatoren das Verständnis genetischer Prozesse ermöglicht, ergab sich die dringende Notwendigkeit, die Auswirkung der Absenkungsvorgänge auf die Entwicklung des Gewässers und dessen Einzugsgebiet zu identifizieren und einzuschätzen, bevor die eigentliche vegetationsgeschichtliche und paläolimnologische Auswertung angesetzt wurde. Es war also über die sedimentologischen Befunde hinaus zu klären, wie sich die geogenen Prozesse in den pollenanalytischen Spektren widerspiegeln, um dann sowohl die Auswirkungen auf das Landschaftsbild als auch auf die limnologische und speziell trophische Entwicklung des Erdfall-Ökosystems abzuleiten.

Zunächst sprechen die palynologischen Ergebnisse, d.h. die einheitliche Pollenerhaltung sowie die weitgehend kontinuierlichen und korrelierbaren Kurvenverläufe, für eine überwiegend direkte, endgültige und ungestörte Einbettung sowie für eine bereits sedimentologisch festgestellte Autochthonität der Mudden und Torfe (LANG 1994), die eine weitere Interpretation der Ergebnisse erlaubt.

Bezüglich der Indikation lokaler Absenkungsvorgänge zeigt sich eine deutliche Korrelation der sedimentstratigraphischen und pollenanalytischen Ergebnisse. So ist der Versturzhorizont vegetationsgeschichtlich nicht datierbar und durch massive, palynologische Störungen charakterisiert. Sekundärpollen indizieren hier die erdfallbedingte Störung der Schichten. Dabei verweisen regelmäßige Sporenfunde von *Selaginella selaginelloides* und vereinzelte Pollen von *Helianthemum* sp. auf Einträge spätglazialer Sedimente; extrem hohe *Pinus*-, *Picea*- und *Lemna*-Werte sprechen für höhere Anteile selektiv zersetzten Materials; hohe *Carpinus*- und *Ilex*-Frequenzen sind nach BIRKS (1986) Zeiger für die Umlagerung ehemaliger Waldböden. Ferner wird der deutliche Stratenwechsel vom Versturzhorizont zu den Mudden palynologisch durch einen Hiatus im Profil des Gewässers markiert.

Im übrigen Profil treten dagegen sprunghafte Veränderungen im Pollenspektrum auf, die über die palynologischen Störzeiger und Indikatoren kurzfristiger Erdfall-„Katastrophen“ hinaus, die besondere, ökologische Tragweite der Subrosions- und Erdfallprozesse für die langfristige Moor- und Gewässerentwicklung innerhalb des „Heiligen Feldes“ betonen. In den semiterrestrischen Profilen der „Meerbecke-Niederung“ und der „Grundlosen Kuhle“ treten sie besonders deutlich hervor und werden konkret durch einen ausgeprägten Antagonismus von fallender Baumpollen- (BP-) bzw. *Alnus*-Kurve und steigenden *Betula*- und *Cyperaceae*-Frequenzen indiziert. Das Pollenspektrum wird ferner von erhöhten Nichtbaumpollen-Werten (NBP-) sowie steigenden Anteilen zahlreicher Heliophyten, Nässezeigern und Wasserpflanzen, die sich nahezu durch das gesamte Spektrum ziehen, begleitet (Abb. 17). Diese ökologischen Veränderungen lassen sich nicht nur in Verbindung mit den sedimentstratigraphisch belegten Absenkungsvorgängen nachweisen, sondern sie zeigen in abgeschwächter Form weitere, vermutlich subrosionsbedingte Grundwasserspiegelschwankungen an. Diese deuten unmittelbar auf regressivere Phasen in der ansonsten progressiven Vegetationsentwicklung, die zu Versumpfungen und der Entstehung offener Wasserflächen und Lichtungen geführt haben. Während die basalen Horizonte also z.T. durch minerogene Einträge glazialer Sedimente mit den entsprechenden Sekundärpollen gestört sind, sind die darüber aufgewachsenen Niedermoortorfe bzw. abgelagerten Sedimente allein durch veränderte Pollenspektren als Ausdruck ökologischer Entwicklungen gekennzeichnet, während ihnen die direkten Störzeiger geogener Prozesse fehlen.

Entsprechende Beobachtungen regressiver Vegetations- und Gewässerentwicklungen wurden auch in den palynologischen Untersuchungen anderer Erdfälle gemacht. Von Bedeutung ist hier insbesondere die Untersuchung am „Feldungelsee“ (DIECKMANN 1998) bzw. die Arbeiten am „Darnssee“ (KOCH 1936, GRAHLE & SCHNEEKLOTH 1963), da die beiden Seen im Raum Bramsche in ihrem Entwicklungsprozess den Erdfällen am „Heili-

gen Meer“ homolog sind (SERAPHIM 1991). Weitere, paläoökologisch bearbeitete Erdfälle im nördlichen Wiehengebirgsvorland sind der Erdfall bei Driehausen (DECHEND & MERKT 1970), das Vallenmoor, das „Honigmoor“ und der Erdfall bei Kalkriese (MENGLING 1986). Die Erdfallseen des Harzes sind dagegen auf Ablaugungen im Zechstein zurückzuführen. Doch sind die vegetationskundlichen Folgeerscheinungen, wie sie z.B. CHEN (1988) anhand pollenanalytischer Untersuchungen beschreibt, analog und können als Vergleich herangezogen werden. Ferner publizierte LESEMANN (1969) eine Arbeit über den „Maujahn“ und den „Bruch von Siemen“ im Hannoverschen Wendland, d.h. über Erdfälle außerhalb der Mittelgebirgsscholle. Deren Untersuchungsschwerpunkt lag allerdings auf der waldgeschichtlichen Rekonstruktion ohne Beachtung der besonderen Erdfallsituation.

Schließlich wurden palynologisch ähnliche Auswirkungen auch bei den vegetationsgeschichtlichen Folgen anderer Naturereignisse nachgewiesen: So ziehen Brand- und Windwurf eine natürliche Lichtung der Waldlandschaft nach sich, während klimatisch bedingte Meerestransgressionen (BEHRE 1970, 1983, 1987) und Seespiegelschwankungen (DIGERFELDT 1972, 1986, BERGLUND 1983a, STARKEL 1983, GAILLARD 1985,) eine Veränsung des Einzugsgebietes bewirken. Entsprechende, hydrologische Veränderungen wurden nach MOORE (1984) auch in Mooren zahlreich beobachtet. Die Absenkungen des Erdfallgebietes sind nun, vergleichbar mit den großklimatischen Seespiegelschwankungen, auch mit Veränderungen des Grundwasserspiegels und relativen Seespiegelschwankungen verbunden. Eine Differenzierung wird daher erschwert, zumal auch klimabedingte Ursachen nicht ausgeschlossen werden können, sondern z.T. vielmehr ursächlich an den Subrosionsprozessen beteiligt sind (Kap. 5.4). So muss zur sicheren Diagnose der geogenen Vorgänge das Ausmaß der palynologischen Indikation in den Gesamtrahmen der geologischen und paläoökologischen Gegebenheiten gestellt werden (Vergleich mit weiteren stratigraphischen, makro- und mikrorestanalytischen und sedimentchemischen Indikatoren).

Letztendlich stellt sich die weitere Frage nach der Differenzierung der palynologischen Muster, wie sie die geogenen bzw. anthropogenen Prozesse in der Vegetations- und Landschaftsentwicklung reflektieren (BIRKS 1986). Denn die lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse zogen obigen Ausführungen zufolge ähnliche Auswirkungen, nämlich eine Auflichtung der Landschaft, nach sich wie die anthropogene Einflussnahme. So kommt es teilweise auch zu Überlagerung der Indikationen. Dabei lässt sich die Siedlungsentwicklung des regionalen Siedlungs- und Ackerlandes nach BEHRE (1981) ganz klar anhand der direkten „Siedlungsanzeiger“ (SAZ) verfolgen, d.h. an Arten, die in der Naturlandschaft nicht vorkommen, sondern vom Menschen aktiv eingeführt (Kulturpflanzen) oder durch seine Lebensweisen und Landnutzungsformen gefördert wurden (Kulturbegleiter). Im allgemeinen werden hierunter die Anthropochoren *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosella*, *Artemisia* und *Chenopodium* geführt, z.T. aber auch *Centaurea cyanus*, *Scleranthus* oder *Spergula* (BEHRE 1986, POTT & HÜPPE 1991, POTT 1992b). Dagegen wird der Nachweis lokal-anthropogener Eingriffe in das direkte Vegetationsgefüge der Senkungszone erschwert, da der synanthropen Waldlichtung, Bodendegradation und Drainage die Entstehung natürlicher Offenlandschaften, erdfallbedingter Bodenverlagerungen und Wasserspiegelschwankungen gegenüberstehen. Innerhalb dieser lichten Feuchtbiotope spielen die sogenannten Apophyten eine wichtige Rolle. Als indigene Arten haben sie sich von jeher in Lichtungen, also sicherlich auch am Rande der Subrosionsmulden ausgebreitet, bevor sie sich im Zuge der (prä)historischen Landschaftsöffnung massiv vermehrten. Zu ihnen zählen die heutigen Arten des feuchten Wirtschaftsgrünlandes, die in den natürlichen Vegetationskomplexen aus Verlandungs- und Ufergesellschaften, Hochstaudenfluren und Seggensümpfen zu Hause sind. Selbst die „anthropogenic indicators“ *Artemisia* und *Chenopodium* sind nach CASPERS (1993) natürlicherweise im Arteninventar von Verlandungs- und Ufergesellschaften im Auenbereich vertreten.

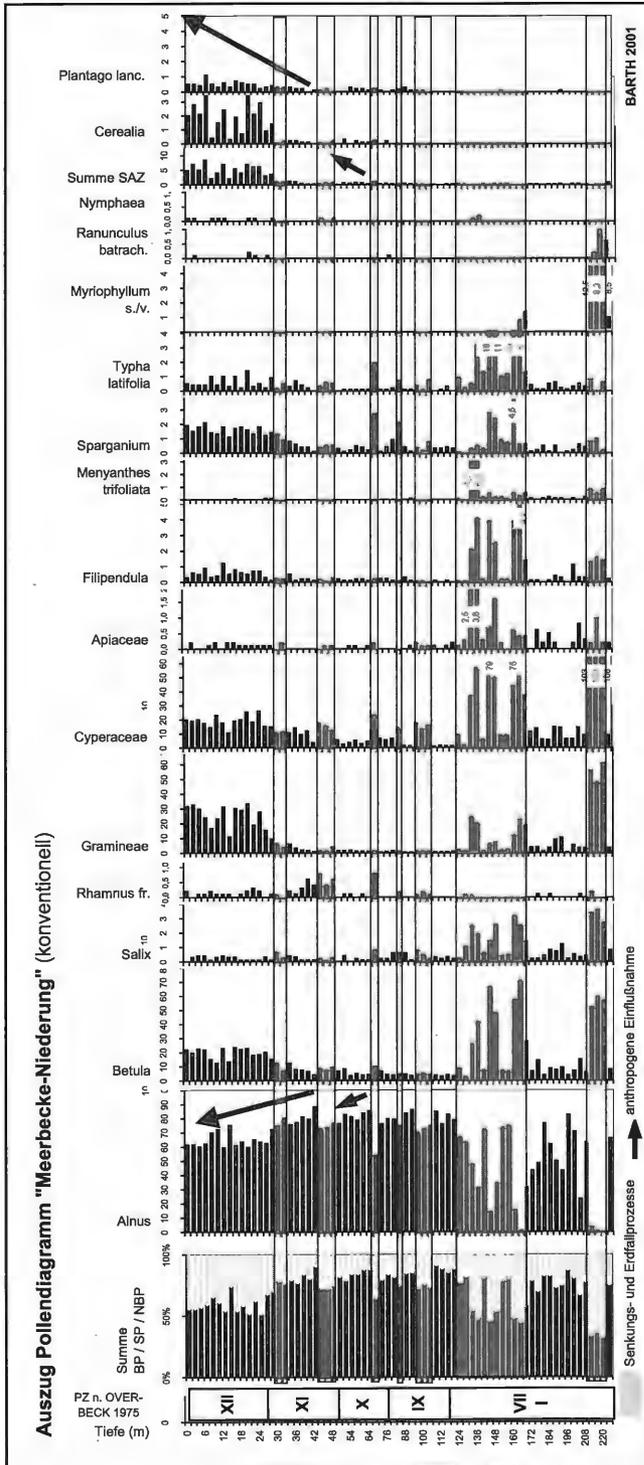


Abb. 17 : Palynologische Indikation geogener und anthropogener Prozesse im Pollenprofil „Meerbecke-Niederung“.

Zusammenfassend erlaubt der Polleninflux regionaler Typen wie *Fagus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Tilia* u.a. ebenso wie der Eintrag der direkten „Siedlungsindikatoren“, die sich weitgehend unabhängig von den geologisch bedingten Schwankungen lokaler Arten präsentieren, eine senkungsunabhängige Rekonstruktion der regionalen Vegetations- und Siedlungsentwicklung. Durch deren Kombination mit der lokalen Geschichte können schließlich die Ursachen der örtlichen Waldlichtung ermittelt werden. Methodisch kann dabei die stellvertretende Gegenüberstellung der *Alnus*-, *Betula*- und *Cyperaceae*-Frequenzen einerseits und der SAZ-, *Plantago*- bzw. *Cerealia*-Kurve andererseits, bzw. vereinfachend auch das BP/NBP-Verhältnis herangezogen werden (Abb. 17). Vergleichbare Verfahrensweisen werden nach FAEGRI & IVERSEN (1989) auch bei der Auswertung und Differenzierung anderer „Naturkatastrophen“ (s.o.) angewandt. Im vorliegenden Fall stellen die siedlungsunabhängigen Oszillationen von Erlen-, Birken- und Seggenkurve die Absenkungsprozesse in den Vordergrund, während siedlungsabhängige Entwicklungen auf menschliche Einflussnahme hindeuten. So kann im Zusammenhang direkter SAZ-Nachweise das verstärkte Auftreten von Apophyten auf anthropozoogene Eingriffe in Siedlungsperioden zurückgeführt und entsprechend bewertet werden.

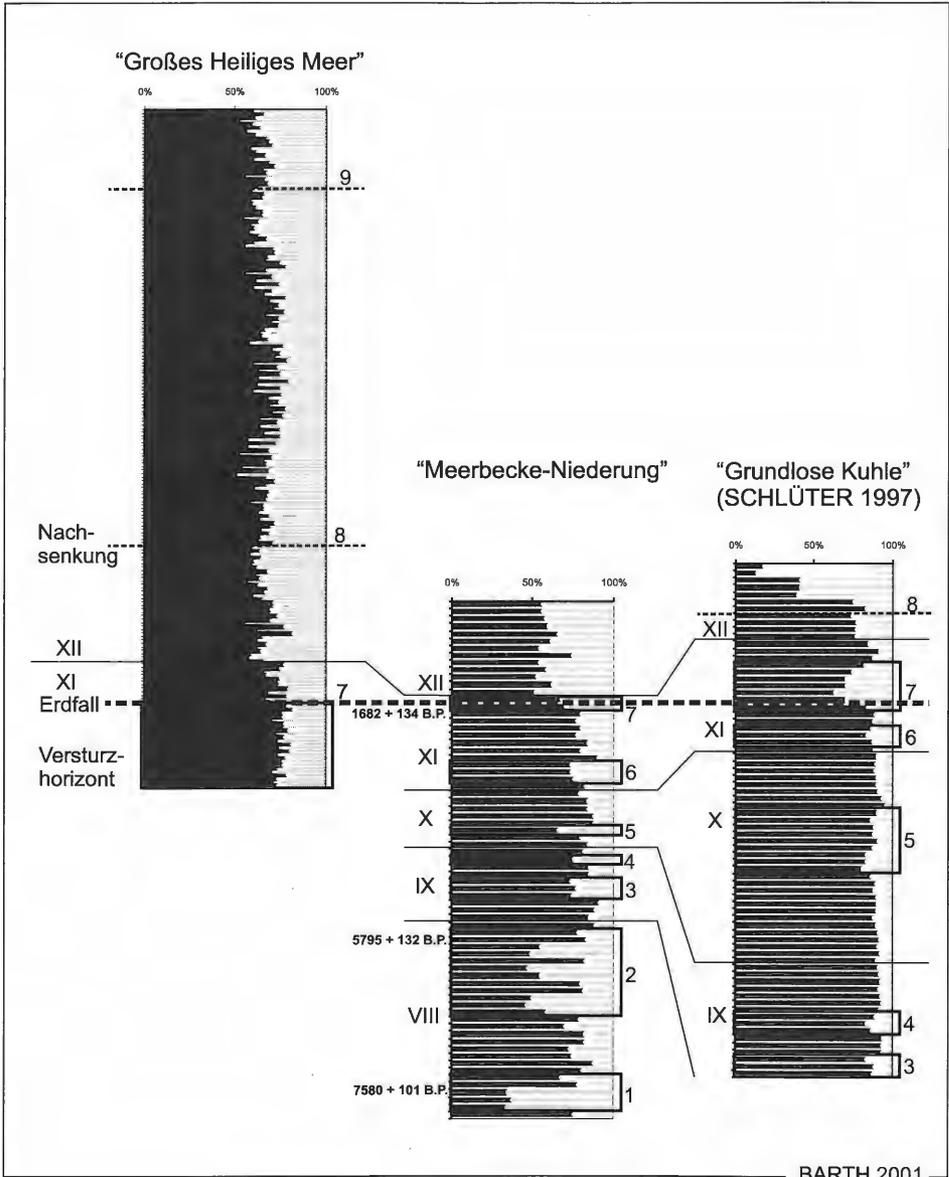
## 5.2 Subrosions- und Erdfallchronologie des „Heiligen Feldes“

Die stratigraphisch-tektonischen Ursachen und geochemischen Abläufe der Subrosions- und Erdfallvorgänge des „Heiligen Feldes“ sind bereits vielfach untersucht worden (THIERMANN 1975a, b, LOTZE 1956), und die Morphogenese eines Erdfallgewässers konnte zudem am Beispiel des „Erdfallsees“ direkt beobachtet werden (WEGNER 1913a-c, TIETZE 1914, Kap. 2.3.2). Über die bislang bekannte geologische Information (Karstgunst der Gesteine, Hydrologie, Relief etc.) hinaus geben die vorliegenden Untersuchungen nun Hinweise auf die Subrosionchronologie in ihrem raum-zeitlichen Ablauf, wobei die palynologischen Ergebnisse nicht nur die Vegetationsentwicklung erfassen, sondern auch Aufschluß über Klimabedingungen und anthropogene Veränderungen geben, so dass nach PRINZ et al. (1973) die wichtigsten Einflussfaktoren für Verkarstungsprozesse erfasst werden.

So konnten die Absenkungsprozesse des „Heiligen Feldes“, auf der vorangegangenen Korrelation der drei lokalen Pollendiagramme aufbauend und von der stratigraphischen Analyse gestützt, verfolgt werden. Dabei wurde bestätigt, dass sich dieser Jahrtausende andauernde Prozess in mehreren Phasen und gestaffelten Schüben vollzog, wie es schon LOTZE (1956) für die Genese des „Erdfallsees“ beschrieb.

Seit dem Atlantikum konnten neun Große Senkungsphasen herausgestellt werden, denen sich auch die bisher datierten Subrosionsmulden und -trichter des Erdfallgebietes zuordnen lassen (Abb. 18):

1. Eine gewaltige, **frühatlantische Senkungsphase** leitete seit 7580 B.P.  $\pm 101$  erneute Subrosions- und Erdfallprozesse im Bereich der „Meerbecke-Niederung“ ein und markiert zugleich den Beginn der Ablaugungsprozesse am „Großen Heiligen Meer“. Auch die basalen Torfe im Umfeld des „Kleinen Heiligen Meeres“ lassen sich in das Atlantikum zurückdatieren, ebenso wie das südöstliche „Uffelner Moor“ nach LOTZE (1956) in der Mittleren Wärmezeit entstanden ist.
2. Eine sehr starke, **mittel-spätatlantische Senkungsphase** kulminierte in drei kräftigen Sackungen und endete gegen 5795 B.P.  $\pm 132$ . Wahrscheinlich sind auch die Mulden „45“ und „46“ im Südosten des NSG in dieser Zeit entstanden. Nach LOTZE (1956) sind sie atlantischen Ursprungs, aber jüngerer Datums als die „Meerbecke-Niederung“.
3. In einer ersten **subborealen Senkungsphase** entstand die „Grundlose Kuhle“ am



BARTH 2001

Abb. 18: Suberosionsphasen des „Heiligen Feldes“ indiziert anhand der Baumpollenprofile „Großes Heiliges Meer“, „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“.

Ostrand des Senkungsgebietes (Senke Nr. 8), ein ursprünglich 9 m tiefes Erdfallgewässer von 15 m Durchmesser (SCHLÜTER 1997). Nur eine spärliche *Potamogeton*-Vegetation vermochte das Gewässer zu besiedeln, das nicht nur zu tief für eine ausgeprägte, hydrophytische Verlandungszone war, sondern für die zumeist lichtliebenden Wasserpflanzen auch zu schattig. Ein weiterer Erdfall bzw. dessen Vorläufer senke brach im „Erweiterungsgebiet Heiliges Meer“ ein (Flur 37, Flurstück 421 / Gemeinde Recke). Zugleich dehnten sich die Erlenbruchwälder der vorhandenen Suberosionsbecken nun bereits über einen Großen Teil der späteren „Meerbecke-Niederung“ aus.

4. Eine **zweite subboreale Senkungsphase** führte zu einer ausgeprägten Sekundärsenkung der „Grundlosen Kuhle“ und schlägt sich als paralleler Subrosionshorizont im Pollenspektrum der „Meerbecke-Niederung“ nieder.
5. Eine **frühsubatlantische, alteisenzeitliche Senkungsphase** weist anhand von hydrophytischen Pollenfunden auf ein Vorläufergewässer des „Großen Heiligen Meeres“ hin, wie es schon LOTZE (1956) und SCHROEDER (1956) postulierten. Zugleich deuten erneute Wasserpflanzen-Nachweise in der „Grundlosen Kuhle“ auf eine Vernässungen während der beginnenden Verlandungsphase des Erdfallgewässers hin.
6. Auch die **mittelsubatlantische, jungeneisenzeitlichen Senkungsphase** wirkte sich auf das gesamte, nördliche „Heilige Feld“ aus. In ihr könnte das von BEYER (1969) auf ein Alter von ca. 2000 Jahren geschätzte „Kleine Heilige Meer“ entstanden sein. Am späteren „Großen Heiligen Meer“ setzten sich die geogenen Vorgänge mit dem Einbruch eines weiteren Flachsees fort (Profile „Meerbecke-Niederung“ u. „Großes Heiliges Meer“).
7. Die Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ ist schließlich mit dem Einbruch des tiefen Seebeckens in einer **altsächsischen Senkungsphase** verbunden (Kap. 4.3). Mit der Entstehung dieses Erdfallgewässers begann die eigentliche Geschichte des Sees, wie sie aus dessen Sedimenten (Profil „Großes Heiliges Meer“) rekonstruiert werden konnte und deren Darstellung zentrales Thema dieser Arbeit ist. In den Profilen „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“ wird das Ereignis von dem zeitgleichen Beginn lokaler, anthropogener Einflussnahme und Landschaftsöffnung überlagert. Doch insbesondere in der „Grundlosen Kuhle“ spricht das Ausmaß der Waldlichtung und Seggenried-Ausbreitung, das zugleich mit einem regressiven Stratenwechsel von Bruch- zu Seggentorfen und den Zeichen einer unmittelbar folgenden Siedlungsdepression verbunden ist, für eine primär geogene Ursache lokaler Landschaftsveränderung.
8. Ferner wurde in Übereinstimmung mit den stratigraphischen Befunden des Seeprofiles eine **spätmittelalterliche Senkungsphase** belegt, die ihren Höhepunkt in einer gewaltigen Sekundärsenkung des „Großen Heiligen Meeres“ im 14. Jahrhundert fand. Im Bereich der „Grundlosen Kuhle“ wird sie durch eine Regeneration des Bruchwaldes und einer Ausbreitung Sumpflutaugen-reicher Seggenriede gekennzeichnet (-55% *Potentilla palustris*, -261 % *Cyperaceae*).
9. Die bisher letzte, **neuzeitliche Senkungsphase** fand ihren Höhepunkt mit der Entstehung des „Erdfallsees“ am 14.04.1913. Sie schlug sich konsequenterweise in der Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ nieder, wenngleich ihre Auswirkungen in der weitgehend entwaldeten Agrarlandschaft weniger offensichtlich als die vorangegangenen Auflichtungen und Versumpfungen waren (Kap. ff.). Die Senkungsperiode setzte bereits gegen Ende des 18. Jahrhunderts ein, als sich der Ablaugungsschwerpunkt in das westliche und südwestliche „Heilige Feld“ zu verlagern begann: der Große Kolk im westlichen „Große Heilige Meer“-Gebiet und der „Heideweiher“ entstanden; das „Hopster Moor“ indizierte eine erste Versumpfung des „Erdfallsee“-Gebietes (Historische Karte: VON LECOQ 1805). Im 19. Jahrhundert entstanden bei zunehmender Versumpfung des „Heiligen Feldes“ die weiteren Kolke des NSG und die Vorläuferseen des „Erdfallsees“ (LOTZE 1956). Um 1842 kennzeichneten bereits um die ca. 20 Senken das Erdfallgebiet. Im Süden des „Großen Heiligen Meeres“ stellte das „Heideweiher-Erdfallsee“-Gebiet ein senkenreiches, mooriges Gelände dar, das größtenteils nicht unter Kultur genommen war; im Nordwesten umgab ein weites, mooriges Gelände den Hof Ekberts. Auch im übrigen „Heiligen Feld“ verweisen zahlreiche Gräben auf die notwendige Entwässerung der lokalen Heiden und Grünländereien (HK 25 UR, Bl. 3611 „Hopsten“ 1842). Bis zur Jahrhundertwende wuchs die Senkenzahl noch weiter an (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895), bevor schließlich der „Erdfallsee“ einbrach.

Über die raum-zeitlichen Abläufe der Senkungsvorgänge im gesamten Erdfallgebiet hinaus erfassen die vorliegenden Untersuchungen jedoch auch die ganz lokale Morphogenese der einzelnen Senken und Gewässer, die sich sowohl im Ausmaß der Senkungen als auch im detaillierten Senkungsverlauf differenzierten. Im folgenden Kapitel soll daher am Beispiel des „Großen Heiligen Meeres“ die Entwicklungsgeschichte in ihren kleinräumigen Zusammenhängen dargestellt werden.

### 5.3 Modell zur Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“

Die Komplexität der Subrosionsvorgänge, die durch eine Kopplung verschiedener Salzablaugungsprozesse an verschiedenen Gesteinen unterschiedlicher Lage und Mächtigkeit bedingt ist, drückt sich auch in der komplizierten Morphogenese der einzelnen Erdfallgewässer des NSG aus. So ist deren geomorphologische Entwicklung ebenfalls zeitlich und räumlich gestaffelt. Bisher gehen alle Theorien und Modelle zur Geologie des USG von der Genese des „Erdfallsees“ aus. So beruht auch das bestehende Modell zur Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“ auf dessen morphometrischen Daten sowie deren Analogie zu denen des „Erdfallsees“. Demnach sind beide Gewässer in einer schrittweisen Absenkung aus mehreren, größen- und formdifferenzierten Senken und Erdfällen, d.h. durch die Verkopplung verschiedener, leicht gegeneinander verlagert Vorläufergewässer entstanden. Die Verschiebung des Absenkungsschwerpunktes deutet dabei auf eine unterschiedliche Ausrichtung der jeweiligen Karstprozesse hin (LOTZE 1956, THIEMANN 1975a). Diese Modelle korrelieren ferner mit neueren Untersuchungen zu Erdfallgenesen aus ganz anderen geologischen Zeiten, wie sie u.a. BAECKER (1982) an jurassischen, tertiären (Mittelmiozän) und pleistozänen Erdfällen bei Nieheim/Westfalen durchführte und durch Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Autoren absicherte. Zusammenfassend unterstreichen sie den generellen Ablauf der Erdfall- und Subrosionsprozesse, der über mehrere Vorläufersenkungen zu einem Erdfallsee führte. Prinzipiell gleiche, plötzliche Einbrüche nahmen stufenförmig an Umfang zu und verlagerten dabei ihr Abaugungszentrum. Dem eigentlichen Erdfall folgten schließlich stets Nachbrüche im Kern, die durch Abaugungen von Resthöhlen entstanden oder sekundären Erdfallbildungen infolge andersartiger Subrosionen in Nebengesteinen oder anderen Lagen darstellten. Palynologisch beobachtete bereits DIECKMANN (1998) diese Mehrphasigkeit der Subrosionen mit zeitlich gestaffelten Absenkungen.

In Übereinstimmung mit diesen Abläufen verifiziert und ergänzt die dargestellte Subrosionschronologie nun das von LOTZE (1956) erarbeitete Modell der Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“. Sie bezieht sich insbesondere auf die palynologisch erarbeitete, senkungsgekoppelte Vegetationsentwicklung, die Sedimentstratigraphie und nimmt ferner auf die topographischen und rezent-bodenkundlichen Daten Bezug (Abb. 19):

1. LOTZE (1956) zufolge entstand das „Große Heilige Meer“ über einer großen, versumpften und vertorfte Flachsenke (Typ IA-5). Diese Senke mit ihren flachen, verschwimmenden und unscharfen Rändern gilt als Ausdruck des langsamen Grundsenkungsvorganges der „Heilig-Meer-Zone“ und ist Teil der heutigen, das Gewässer umschließenden, ausgedehnten Senkungszone der „**Meerbecke-Niederung**“ (Senke Nr. 1). In Übereinstimmung mit LOTZE war die ausdauernde und langsame Grundsenkung dieser größten Subrosionmulde des Erdfallgebietes auch ein Vorbote der Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“. Entsprechend ging auch in der homologen Entwicklung des „Maujahn“ und des „Feldungelsees“ dem eigentlichen Erdfall die Bildung einer Flachsenke voran, in der sich zunächst ein Bruchwaldkomplex entwickelte (LESEMANN 1969, DIECKMANN 1998). Die vorliegenden Untersuchungen untergliedern hier nun mehrere Entwicklungsstufen der „Meerbecke-Niederung“:

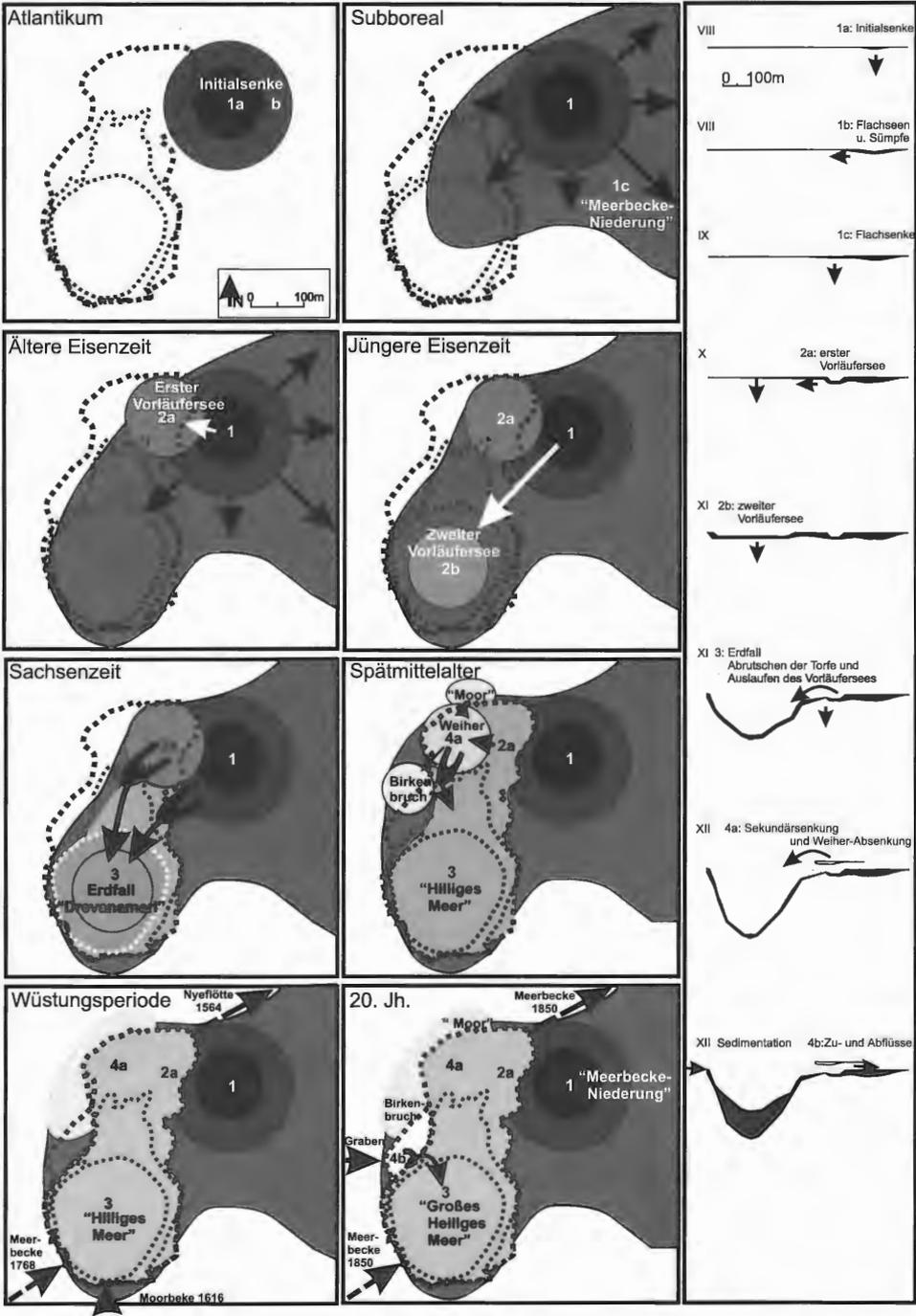


Abb. 19: Modell der Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“.

- a) So grenzen die mächtigsten (> 2 m) und ältesten Ablagerungen der „Meerbecke-Niederung“ im Bereich des „Großen Heiligen Meeres“ unmittelbar an dessen Nordostufer. Sie werden im Profil „Meerbecke-Niederung“ erfasst, so dass der Beginn der lokalen Subrosionsprozesse auf die erste atlantische Absenkungsphase um 7580 B.P. ± 101 datiert werden kann (Tab. 7). Diese **Initialsenke** nimmt in etwa den heutigen Bereich der Brachfläche Flurstück 18/417 (400 x 200 m) ein. Sondierungen zufolge weist sie eine Flachsenkenform auf, deren unscharfe Ränder auf eine mehrphasige Moorentwicklung infolge verschiedener Absenkungen bzw. starker Wasserspiegelschwankungen deuten. Entsprechend den palynologischen Ergebnissen ging die Genese dieser Initialsenke von einem wassergefüllten Becken mit einer reichen *Pediastrum*-Population und *Myriophyllum spicatum/verticillatum*-Dickichten (720 % bzw. 12,5 % des BP, Profilbasis „Meerbecke-Niederung“) aus, das jedoch rasch verlandete und zu einem Bruchwald-bestockten Niedermoorstandort emporwuchs.
- b) Während der weiteren, mittel-spätatlantischen Subrosionsphasen erlitt die progressive Entwicklung der vermoorten Initialsenke mehrmals Rückschläge, wobei infolge einer Senkenvertiefung und -vergrößerung vorübergehend erneute **Flachsen und Sümpfe** entstanden (Profil „Meerbecke-Niederung“): In der ersten Senkungsphase indizieren wiederum *Pediastrum* (66 %) und *Myriophyllum spicatum* die Entstehung eines Gewässers, das tief genug zur Ausbildung eines Pelagialbereiches war. Der See war von den typischen Elementen eines schlenkenreichen Erlenbruchwald-Vegetationskomplexes, von eutraphenten *Sparganium*-, *Typha latifolia*- (30 %) und *Phragmites*-Röhrichten (ca. 23 %), Seggenrieden (76 %) und *Filipendula*-reichen Hochstaudenfluren umgeben. Die zweite Senkungsphase war entsprechend den geringen Hydrophyten-Nachweisen sehr viel schwächer und führte neben der Expansion der Igel- und Rohrkolben-Röhrichte vor allem zu einer großflächigen Ausdehnung von *Equisetum*-Sümpfen (6,9 %). In der dritten Senkungsphase entstand ein Flachgewässer ohne Tiefenbereich (fehlende Algen- und Tausendblatt-Funde), das dem Vorkommen von *Nymphaea* zufolge 0,5-3 m tief war. Die Verbreitung der Seerose und die Existenz von Kleinhöhrichten mit *Menyanthes trifoliata* (6,2 %), *Apiaceae* und *Ranunculaceae* deutet auf meso-eutrophe Bedingungen innerhalb dieses Gewässers.
- c) Die subboreale Entwicklung wurde einerseits durch das Aufwachsen eines Nieder Moores innerhalb der Initialsenke, andererseits durch die Ausdehnung und das Zusammenwachsen verschiedener, vertorfeter und versumpfter Subrosionsmulden zur großen **Flachsenke der „Meerbecke-Niederung“** gekennzeichnet. So entstanden mit den spätwärmezeitlichen Ablagungen nicht nur weitere Erdfälle, sondern die subrosionsbedingte Vernässung der Landschaft begünstigte zudem die minerogene Niedermoorentwicklung in ihrem Umfeld. Bruchwaldtorfe an der Basis des „Großen Heiligen Meeres“ zeigen ferner, dass sich das Niedermoor auch über die einstige Fläche des heutigen Seebeckens erstreckte. Die Ablagungen begannen sich also allmählich von Nordosten nach Südwesten zu verlagern. Der nordwestliche Flachseebereich bzw. dessen Ufermoore weisen dagegen nur jüngere Ablagerungen auf; dementsprechend wurden sie erst später von den Senkungsprozessen und der lokalen Vermoorung erfasst.
2. Als zweite Senkungsform des späteren „Großen Heiligen Meeres“ nennt LOTZE (1956) einen **weiherartigen Flachsee** (Typ IA-4), der - analog zum flachen Westteil des „Erdfallsees“ (Nr. 32) - bereits vor dem tiefen Einbruch existierte. Noch heute bildet er den flachen, nördlichen Teil des Gewässers (Senke Nr. 9). Die vorliegenden stratigraphischen und pollenanalytischen Untersuchungen zeigen nun, dass dem Erdfall des „Großen Heiligen Meeres“ tatsächlich mehrere Flachsenken vorangingen. Sie

besaßen jedoch nicht den bislang beschriebenen, acido-oligotrophen Heideweihercharakter gemäß BUDDÉ (1942a) und SCHROEDER (1956):

- a) Das erste Vorläufergewässer innerhalb der heutigen Seefläche entstand während der frühsubatlantischen Senkungsphase in der Älteren Eisenzeit (ca. 800-600 v.Chr.). Die Stärke des allgemeinen Kurvenausschlages im Profil „Meerbecke-Niederung“ lässt dabei vielmehr einen plötzlichen, dolinenhaften Einbruch zu einem Flachsee (Tellersenke) als eine langsame Absenkung zu einem Weiher vermuten. Das Pollenspektrum (Profil „Meerbecke-Niederung“) aus vereinzelt *Ranunculus batrachium*- und zahlreichen *Sparganium*- und *Typha latifolia*-Pollen verweist auf ein Flachgewässer von 0,5-2 (5) m Tiefe, das sich über humosen Schlamm bildete und von ausgedehnten Großröhrichten umgeben war. Es indiziert somit ein Niedermoorgewässer meso-eutropher Natur. Letzten Endes kann im Unterschied zu LOTZE (1956) und SCHROEDER (1956), aufgrund der großen Einflussnahme auf die Lokation des Profils, eine nordöstliche Lage dieses Sees angenommen werden. So erreicht nicht nur der heutige Flachsee seine größten Tiefen im NO, sondern stocken die rezenten Röhrichte im NO zudem über älteren Torfen. Im nordwestlichen Flachseebereich wächst die Verlandungsvegetation dagegen unmittelbar auf den pleistozänen Sanden, und auch die uferwärtigen Torfe reichen nicht bis in prähistorische Zeiten zurück.
- b) Ein **zweites Vorläufergewässer** existierte während des Mittelsubatlantikums und der Jungeisenzeit. Der relativ geringe Niederschlag geogener Prozesse auf das Profil „Meerbecke-Niederung“ lässt bereits auf eine SO-Verlagerung des Ablauungszentrums schließen. Vermutlich lag dieses zweite Gewässer somit bereits an der Stelle des späteren Erdfallbeckens, vergleichbar mit der Existenz einer tellerförmigen Vorläufersenke des „Erdfallsees“ (Typ IB-8). Der wenigstens 0,5-3 m tiefe Flachsee wurde von einer mesotraphenten Vegetation aus *Nymphaea*-Decken, säumenden *Potentilla palustris*-Kleinröhrichten und einem *Rhamnus*-reichen Gehölzgürtel charakterisiert. Auch die Schichten im basalen Versturzhorizont des „Großen Heiligen Meeres“ können - unter Vorbehalt ihrer Lage und eingeschränkter Datierungsfähigkeit, aber in positiver Ergänzung der bisherigen Ergebnisse - herangezogen werden und die parallele Existenz zweier, mittelsubatlantischer Vorläuferseen bestätigen: So weisen einerseits kontinuierliche Kurvenverläufe regionaler Arten auf eine einheitlich mittelsubatlantische Datierung aller Ablagerungen hin. Es sind alle Laubbäume einschließlich Buche (um 2 %) und Hainbuche vertreten, die *Corylus*-Werte erreichen um 10 % und in dem noch relativ geringwertigen SAZ-Spektrum sind bereits vereinzelt *Secale*-Pollenkörner vorhanden. Andererseits existieren zwei Horizonte *Pediastrum*- und *Botryococcus*-reicher Feinsande, die wie das korrelierte Profil „Meerbecke-Niederung“ ein Pollenspektrum meso-eutropher Gewässer mit Freiwasserzone widerspiegeln. Ausgedehnte Seerosen-Decken wurden von Tausendblatt-, Hahnenfuß-, Laichkraut-Beständen und mesotraphenten Kleinröhrichten (*Potentilla palustris*, *Menyanthes*, *Lysimachia*, *Equisetum*) begleitet. Im Verlandungsbereich gingen sie in einen weiten, eutrophen Niederrungssumpf aus krautreichen Großröhrichten (*Typha latifolia*, *Sparganium*, *Alisma*, *Iris*), Seggenrieden, Weiden-Faulbaumgebüsch und schlenkenreichen (*Lemna trisulca*) Erlenbruchwald über.

Vielleicht ist der alte, germanische Name des „Großen Heiligen Meeres“, „Drevanameri“, bereits auf den größeren, südlichen Vorläufersee zurückzuführen, oder er benannte als „Drei-Grenzen-Meere“ gar beide Vorläufergewässer am Schnittpunkt der Gaugrenzen. Gemeinhin werden in Westfalen und Friesland mit „meri“ = Meer größere Flachgewässer (z.B. Duimeri = Dümmer) bezeichnet, doch werden auch kleinere Wasserbecken in Moor-gegenden, die andernorts namenlos bleiben würden, so genannt. Spätestens trug jedoch das sachsenzeitliche Erdfallgewässer, das in einer ansonsten seenarmen Landschaft zwei-

felsohne von besonderer siedlungsgeographischer Bedeutung war, diesen Namen und hielt ihn bis ins Mittelalter bei.

3. In Fortsetzung und Verstärkung des langwierigen Vorganges gipfeln die Senkungsprozesse schließlich in dem sachsenzeitlichen Einsturz des **Erdfalls** (Typ IB-7), der zur Ausbildung des tiefen, südlichen Seebeckens (Senke Nr. 9) und in Verschmelzung mit dem älteren, nördlichen Flachgewässer zur eigentlichen Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ führte. In dessen Profil wird dieser Erdfall neben dem Stratenwechsel Versturzhorizont / Mudde durch einen pollenanalytischen Einschnitt bei 835/834 cm erfasst. Der Erdfall brach vermutlich sehr plötzlich und schnell ein, vergleichbar mit der Entstehung des „Erdfallsees“, der WEGNER (1913a) zufolge innerhalb von 1,5 Stunden entstand. Dabei veränderte er in Übereinstimmung mit LORENZ (1976) schon im Entstehen seine ursprüngliche, kreisrunde Schüsselform, in dem er die Tellersenzen der Vorläufergewässer in sich aufnahm und den torfgefüllten Trichter der nordöstlichen Niederung anschnitt. Es gingen also zunächst die Torf- und Mudde-Ablagerungen vor Ort nieder bevor die nordöstlich angrenzenden Torfe als „Paket“ in den Trichter rutschten und weitere randliche Böschungsabrutschungen stattfanden. Beim Auslaufen des nordöstlichen Vorläufergewässers wurde die tiefe, noch heute erkennbare Erosionsrinne im Tiefenprofil geformt, und mit dem eindringenden Grundwasser wurden letztendlich die tonigen und lehmigen, pleistozänen Materialien eingeschwemmt, die die äußerst pollenarme Abschlusslage des oberen Versturzhorizontes bilden.

4. Dem Erdfall folgten weitere geogene Prozesse, die über LOTZES Modell hinaus die Morphologie des Gewässers während seiner Genese beeinflussten:

a) So war die spätmittelalterliche Sekundärsenkung, die sich im Profil des Sees bei 629-624 cm durch ein lehmig-sandiges Interstratum niederschlug, mit einer Vertiefung des Sees und der Entstehung einer **nordwestlichen, weiherartigen Flachsenke** verknüpft, die mit der älteren nordöstlichen Flachsenke den heutigen nördlichen Flachsee des „Großen Heiligen Meeres“ bildete. Während bisherige Theorien diesen Flachsee insgesamt als ältere Einheit ansahen, sprechen eine zweite, kleinere Auslaufrinne im Tiefenprofil und fehlende ältere Sedimente im nordwestlichen Seeteil sowie an dessen NW-Ufern für eine zweiphasige Entstehung und ein jüngeres Alter des Nordwesten. Eigenen Sondierungen zufolge lagern über den pleistozänen Sanden im See nur geringmächtige Grobdetritusmudden der rezenten Röhrichtvegetation (< 10 cm), und das Torfwachstum an den NW-Ufern setzte erst im Spätmittelalter ein. Ferner untermauern die palynologischen Ergebnissen am Profil des „Großen Heiligen Meeres“ die spätere Weiherentstehung. Danach ist mit der Sekundärsenkung einerseits eine abrupte und starke Ausbreitung einer Flachwasser-Vegetation aus Seerosen- und Schachtelhalmdecken verknüpft (Kap. 7.1.2.5). Andererseits geht mit ihr die Entwicklung einer oligo-mesotraphenten Verlandungsvegetation aus Gagelgebüsch und Birkenbruchwald einher (Kap. 7.1.3.1), wie sie typischerweise über pleistozänen Sanden an den Ufern einer jungen Senke stockt. So ist die Entstehung des als „Das Moor“ bezeichneten, noch heute gagelreichen Geländes am Nordufer höchstwahrscheinlich auf das 14./15. Jh. zurückzuführen. Eventuell geht auch das heutige Birkenbruch-Areal im Nordwesten, dem LOTZE (1956) eine eigene, im Durchmesser ca. 35 m große Flachsenke zuordnete (Typ 5-IA Nr. 10), auf diese spätmittelalterliche Senkung zurück. Die gewaltigen Ausmaße der erdfallartigen Nachsackung, die nordwestliche Vergrößerung des Sees und Versumpfung seiner Ufer waren sicherlich auch der Hintergrund für die vielfache Entstehung mittelalterlicher Sagen und christlicher Legenden (Ritter- und Klostergeschichten) um das „Große Heilige Meer“ (KAMPMANN 1901, LENCHERICH 1906, DOLLE 1933, BECHSTEIN 1984). Entsprechend ist

auch der Namenswechsel vom altsächsischen „Drevanameri“, das noch in fränkisch-sächsischen Urkunden erscheint, zum „Hillige Meer“ bzw. „Hilgemeer“, wie es in den Grenzkarten der frühen Neuzeit verzeichnet ist, zu verstehen. So leitet sich der Name des „Großen Heiligen Meeres“ nach KLOCKE (1892) von den Wortstämmen „hel“ und „hil“ des niederdeutschen „hillig“, d.h. schlimm, arg, gefährlich; nach HUNSCHKE (1975) bezeichnen die altsächsisch-mittelniederdeutschen Stammworte „hola“ bzw. „hol“ einen Bruch, ein Loch oder eine Tiefe.

- b) Die Auswirkungen der neuzeitlichen Senkungsphase und „Erdfallsee“-Entstehung auf das „Große Heilige Meer“ waren dagegen ungleich schwächer und stratigraphisch nicht erkennbar. Palynologisch lässt sich allerdings eine Ausbreitung der aquatischen Ufervegetation, insbesondere der Strandlings-Rumpfgesellschaften beobachten (Kap. 7.1.4.4). *Myriophyllum alterniflorum* bildet noch heute Unterwasserdickichte am Westufer des Sees aus. Eventuell vernässte die **flache Uferbank des Westufers** erst während dieser Phase durch eine kaum merkliche Senkung. Somit wäre, ausgehend von der weiherartigen Flachschenke (4a), eine erneute NO-SW-Verlagerung des lokalen Ablaugungszentrums gegeben. Sicher ist jedenfalls die seinerzeit beobachtete, gebietsweite Kopplung der hydrologischen Prozesse (WEGNER 1913a-c, TIETZE 1914), wonach auch in das „Große Heilige Meer“ Grundwässer vom Westen, d.h. vom „Erdfallsee“ her eingedrungen sein müssen. Verstärkt wurde der Zustrom nährstoffarmer Heidewässer durch einen Verbindungsgraben vom „Erdfallsee“-Gebiet zum „Großen Heiligen Meer“ (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895).

5. Seit der frühen Neuzeit greifen nachweislich anthropogene Prozesse in die Entwicklung des See-Ökosystems ein, die über die **Schaffung von Zu- und Abflüssen** auch die Ufergestalt des Gewässers veränderten (Historische Grenzkarten 1564, 1616/1747, 1768, VON LECOQ 1805, HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1805 und 1895).

## 5.4 Zusammenfassende Erkenntnisse zur Erdfallgeologie

Zusammenfassend entsprachen den neun gebietsweiten Senkungsphasen zum großen Teil auch lokale Senkungsschübe in der gestaffelten Absenkung der einzelnen Erdfälle. Die differenzierte Vegetationsentwicklung, die einmal nur Versumpfungen, dann wieder die Entstehung von Gewässern indiziert, deutet dabei in Übereinstimmung mit Thiermann (1975a) auf einen parallelen Ablauf des generellen Grundsenkungsfortganges und der punktuellen Erdfallprozesse hin, d.h. auf den synchronen Prozess der verschiedenen Ablaugungsvorgänge. Sie kündigten sich jeweils durch flache Absenkungen und Versumpfungsphasen an, bevor die tieferen Erdstürze entstanden, die wiederum von Sekundärsenkungen gefolgt wurden. So stellen die Subrosions- und Erdfallvorgänge letztendlich einen stetig fortlaufenden Prozess dar, der bis in unsere Tage andauert.

Anhand der chronologischen Korrelation der Absenkungen zeigt sich eine enge räumliche Verknüpfung der geologischen Einzelprozesse innerhalb des Erdfallgebietes. So erfassten die wesentlichen Senkungsphasen, die zeitgleich an verschiedenen Orten auftraten, jeweils Flächen der gesamten „Heilig-Meer-Zone“ und wirkten sich gen Nordosten mindestens bis zur „Grundlosen Kuhle“ am Rand der „Meerbecke-Niederung“ aus. Die Untersuchungen bestätigen daher auch die Kopplung der einzelnen Lokalitäten über ein gebietsweites, hydrologisches Kommunikationsregime. Durch dieses verbindende Grundwassersystem kam es auch bei punktuellen Erdfallprozessen jedesmal zu einem Grundwasserspiegelanstieg in der gesamten Senkungszone und folglich zu weitläufigen Vernässungen. Zwischen den Senkungsphasen stabilisierte sich das hydrologische Gleichgewicht wieder. Diese Grundwasserschwankungen waren in früheren Zeiten, ohne Drainagemaßnahmen, sicherlich noch sehr viel ausgeprägter. Bei der Entstehung des

„Erdfallsees“ registrierten Wegner (1913a-c) und Tietze (1914) diese Verknüpfung des Grundwassersystems.

Ferner bestätigen und ergänzen die Daten die von Lotze (1956) und Thiermann (1975a) konstatierte Verlagerung der Subrosionsprozesse innerhalb der „Heilig-Meer-Zone“. So begannen die Ablaugungen zunächst im Südosten und Osten mit der Entstehung der großflächigen Senken „Meerbecke-Niederung“ und Uffelner Moor, denen dann ebenfalls im Osten der punktuellen Einsturz erster Erdfälle, wie der „Grundlosen Kuhle“, folgte. In subatlantischer Zeit setzte sich der Prozess der Verkarstung mit dem grundsätzlichen Fallen der Schichten nach Nordwesten fort, wo sich die jüngeren Erdfälle kettenartig aneinanderreihen und, entsprechend dem Ausstreichen der karstgünstigen Schichten, dem Alter nach von Nordosten nach Südwesten staffeln: Der palynologischen Datierung von SCHLÜTER (1997) zufolge hat die „Grundlose Kuhle“ im äußersten Nordosten ein Alter von etwa 4000 Jahren. Für das „Kleine Heilige Meer“ kann das geschätzte Alter von 2000 Jahren durch den Nachweis einer lokalen Senkungsphase bestätigt werden. Das „Große Heilige Meer“ wurde auf ein Alter von 1250-1500 Jahren datiert und der „Erdfallsee“ ist knapp 100 Jahre alt. Gleichermäßen wurde für das „Große Heilige Meer“ die Verlagerung der lokalen Ablaugungszentren bestätigt und am Modell dargestellt (Abb. 19).

Ursächlich lassen sich die Schwerpunkte des fortdauernden Ablaugungsprozesses in einen klimatischen Zusammenhang setzen, d.h. jeweils mit Perioden eines feuchten Klimas verknüpfen. So ist die um  $5630 \pm 101$  einsetzende Niedermoorentwicklung der „Meerbecke-Niederung“ sicherlich vor den großklimatischen Hintergrund der Mittleren Wärmezeit zu stellen. Die Flandrische Transgression und der einsetzende Einfluss des warmen Golfstromes bedingten damals ein thermisch-ozeanisches Klima feuchtwarmen Charakters, das nicht nur zur Entwicklung der Laubmischwälder führte, sondern durch eine Zunahme des Niederschlagsnettos und einer relativen Erhöhung des Grundwasserspiegels auch zur Hauptphase der nordwesdeutschen Hoch- und Niedermoorbildungen (OVERBECK 1975). So entstand u.a. das Recker Hochmoor (KRAMM 1978) und entwickelte sich sukzessive ein *Myrica gale*-reiches Zwischenmoor im benachbarten „Im Jiewitt“ (6075 v.Chr.  $\pm$  210; MOHR 1990). Im Erdfallgebiet beschleunigte die primär großklimatisch bedingte Vermoorung nun sicherlich sekundär die lokalen Vorgänge der Salzablaugung und Subrosion, wobei Rückkopplungen das Senkungsausmaß verstärkten. Vergleichbar mit der atlantischen Hauptsenkungsphase im „Heiligen Feld“ sind auch die Senke des „Darnssees“ und die Erdfälle „Feldungelsee“, „Kalkriese“ sowie „Honigmoor“ bei Epe in einer atlantischen Senkungsperiode entstanden (KOCH 1936, MENGELING 1986, DIECKMANN 1998) und setzte das Moorwachstum im spätglazialen „Siemer Bruch“ nach einer Stagnationsphase durch erneute Senkungs- und Vernässungsvorgänge wieder ein (LESEMANN 1969).

Auch die weiteren Erdfallphasen können mit Klimaveränderungen korreliert werden. So entstanden die „Grundlose Kuhle“ ebenso wie die erste Senkung des „Maujahn“ im beginnenden Subboreal, d.h. in der hygroklinen Phase der Mittellitorina/Piora-Kaltphase (LESEMANN 1969, SCHLÜTER 1997). Die frühsubatlantische Subrosionsphase und Weiherentstehung am „Heiligen Meer“ lässt sich mit der feuchten, eisenzeitlichen Klimaperiode verknüpfen und die Erdfallprozesse der Zeitenwende bis hin zur sächsischen Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ fallen in die Feuchtphase der Postlitorina I/Göschener Kaltzeit. Schließlich kann auch für die spätmittelalterliche Senkungsphase des „Großen Heiligen Meeres“ und die Einbrüche des „Darnssees“ um 1300 und 1526 (GRAHLE & SCHNEEKLOTH 1963) ein klimatischer Einfluss im Zusammenhang des Postlitorina II bzw. der sog. „Kleinen Eiszeit“ (BIRKS 1986, LANG 1994) diskutiert werden.

## 6 Rekonstruktion der regionalen Landschafts- und Siedlungsentwicklung

Die Grundzüge der postglazialen Landschaftsentwicklung Nordwestdeutschlands wurden u.a. bei KUBITZKI (1961), OVERBECK (1975), POTT (1992a, 1997) beschrieben. In Abwandlung des generellen Entwicklungsprozesses kommt der regionalen Vegetationsgeschichte Westfalens aufgrund der Vielfalt seiner Standorte eine gewisse Sonderstellung zu (KRAMM 1980, 1981): KOCH (1929, 1930), BUDDE (1931), REHAGEN (1964), BURRICHTER (1969, 1976), POTT (1984) sowie BURRICHTER & POTT (1987) dokumentierten diese holozäne Wiederbewaldung und Entwicklung der Kulturlandschaft für das Münsterland, während KOCH (1934a-c), VAN ZEIST (1955, 1959), MÜLLER (1956), SELLE (1958), PLESCHER (1966), ISENBERG (1979) und SCHWAAR (1979) die spät- und nacheiszeitliche Landschaftsgeschichte der nordwestdeutschen Tiefebene darstellten. KRAMM (1972, 1978), MOHR (1990), FREUND (1994) und DIECKMANN (1998) befassten sich schließlich mit dem Raum des nördlichen Weserberglandes und dessen nord- bis nordwestlichen Vorlandes und untersuchten u.a. die Moore „Speller Dose“, „Vinter Moor“, „Im Jiewitt“ und „Weeser Moor“, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft des NSG „Heiliges Meer“ befinden. Im folgenden soll anhand der vorliegenden Pollendiagramme des „Heiligen Feldes“ die regionale, postglaziale Landschaftsentwicklung sowohl vor dem Einbruch des „Großen Heiligen Meeres“ (Kap. 6.1) als auch seit dem Erdfall (Kap. 6.2) beschrieben und ihre Stellung innerhalb des großräumigen Werdeganges diskutiert werden.

### 6.1 Entwicklung der Natur- und frühen Kulturlandschaft

#### 6.1.1 Grundzüge der spätglazialen und früh-postglazialen Vegetationsentwicklung

Nach KRAMM (1980) befand sich das Untersuchungsgebiet während des letzten weichselzeitlichen Pleniglazials und der ältesten Tundrenzeit (ca. 18000-11000 v.Chr.) im Periglazialgebiet, das von einem arktischen, kalt-kontinentalen Tundrenklima beherrscht war. Die baumlose Tundrenvegetation dieser Zeit wurde von einer ausgesprochenen Glazialflora geprägt und bildete ein Mosaik aus Zwergstrauchheiden, gras- und krautreichen Matten sowie Moos- und Flechtentundren. Letztere gingen an trockeneren Standorten in offene bewegliche Flug- und Dünensande über, die weite Flächen der Westfälischen Bucht und des südlichen Niedersachsens eingenommen haben (FRENZEL 1990). In den Senken leiteten bärlapp- und moosfarnreiche Pionier- und Sumpfgesellschaften zu Wasserpflanzengesellschaften über. Eine leichte Klimaerwärmung führte in der älteren Tundrenzeit (11000-10500 v.Chr., PZ I<sup>NWD</sup>) zu ersten Bodenbildungsprozessen und der Ausbreitung warmkontinentaler, basiphiler Steppen mit *Hippophaë*- und *Juniperus*-Gebüsch; an Gewässern bildeten sich währenddessen erste Strauchweidengebüsche aus. Mit der sukzessiven Erwärmung entstanden schließlich im Bölling (10500-10000 v.Chr., PZ II<sup>NWD</sup>) lichte Birkenwälder, die während des spätglazialen Klimaoptimum des Alleröd (10000-8800 v.Chr., PZ III<sup>NWD</sup>) von offenen und krautreichen Kiefern-Birkenwäldern abgelöst wurden. Ein Klimarückschlag während der jüngeren Tundrenzeit (8800-8100 v.Chr., PZ IV<sup>NWD</sup>) drängte nach KRAMM (1980) diese ersten Wälder weitgehend zurück, so dass sich in der Ebene eine aufgelockerte, subarktische Parktundra mit einzelnen *Betula*-Gehölzen ausbreitete.

Zwar wurde die Zeit des Spätglazials in den vorliegenden Hauptprofilen nicht erfasst, doch weisen spätglaziale Zeigerarten, die in den subrosionsbedingten Störzonen der Pollenprofile auftauchen, bereits auf den so charakteristischen Gegensatz von feucht-nassen Senken- und trockenen Sandstandorten innerhalb des Erdfallgebietes: *Helianthemum nummularium* blieb als Stellvertreter der warm-kontinentalen Steppenvegetation über Flug- und Dünensanden erhalten, während gut erhaltene Pollen von *Selaginella selagi-*

*noides* eine arktisch-alpine Pioniervegetation indizieren, wie sie in Senken wuchs. Auch das Pollenspektrum einer Basisprobe aus einem pedologischen Transekt der „Meerbecke-Niederung“ entstammt einer solchen spätglazialen, wasserführenden Senke. Der hohe Baumpollenanteil an Kiefern und Birken datiert sie auf das Alleröd, wobei sich zeigt, dass *Betula* der dominierende Baum im Untersuchungsgebiet war. Damit reiht sich die Probe in die Spektren regionaler Pollendiagramme ein, in denen sich der zunehmende ozeanische Einfluss des nordwestlichen Westfalen in einer Abnahme der Kiefernpollenwerte bei gleichzeitig antagonistischem Anstieg der *Betula*- und *Empetrum*-Werte widerspiegelt (VON DER HAMMEN 1951, AVERDIECK & DÖBLING 1959, REHAGEN 1964).

Mit der kontinuierlichen Klimaerwärmung, die zum Rückzug des Eises aus Mittelschweden und Südfinnland (Salpausselkä II) führte, setzte das Postglazial und die endgültige Wiederbewaldung Mitteleuropas ein. Während des Präboreals (8100-7000 v.Chr., PZ V<sup>NWD</sup>) breiteten sich in ganz Nordwestdeutschland synchron Kiefern-Birkenwälder aus (KUBITZKI 1961). In ihnen zeigte sich nach wie vor ein deutliches SO-NW-Gefälle der Kiefer, die zudem am Niederrhein ihren Schwerpunkt fand (REHAGEN 1964), während sie in weiten Teilen des vorwärmzeitlichen Westfalen ebenso wie im Untersuchungsgebiet noch hinter der Birke zurückstand. *Pinus* expandierte hier erst im Boreal (7000-6000 v.Chr., PZ VI/VII<sup>NWD</sup>), das vor allem durch eine massive Ausbreitung der Hasel charakterisiert wird. Diese erreichte während der Frühen Wärmezeit als erstes wärmebedürftiges und edaphisch anspruchsvolles Gehölz Westfalen. Der Haselreichtum der borealen Kiefernwälder Westfalens, insbesondere des Münsterlandes, erstreckte sich, edaphisch differenziert, auch auf die Altmoränengebiete des westfälischen Flachlandes und unterschied nach KRAMM (1980) das ozeanisch geprägte, nordwestliche Westfalen vom übrigen Nordwestdeutschland.

### 6.1.2 Regionale Laubwaldentwicklung im Atlantikum

Während sich das Waldbild Mitteleuropas infolge rascher Klimaänderungen im frühen Postglazial also mehrmals änderte, pendelte sich unter den zeitweilig relativ konstanten Klimabedingungen im Atlantikum (6000-3100 v.Chr., PZ VIII<sup>NWD</sup>) ein natürliches Gleichgewicht ein, das zu einer nahezu 3000 Jahre währenden Periode eines stabilen Vegetationsbildes in Mitteleuropa führte. Klimabegünstigt verdrängten anspruchsvolle, langlebige Edellaubhölzer die vormals dominante Kiefer, die sich sukzessive auf Refugialgebiete mit extremen Standortbedingungen zurückzog. Anstelle der borealen Kiefernwälder traten nun in einer - mit Ausnahme von Gewässern, Hochmooren und einigen Felsstandorten - geschlossenen Waldlandschaft atlantische Laubmischwälder aus *Alnus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Fraxinus* und *Acer*.

Auch die Niedermoorentwicklung der „Meerbecke-Niederung“ setzte im Atlantikum ein. Der Steilanstieg der Erlenkurve, der mit dem entgegengesetzten Abfall der Kiefern- und Haselkurve den Beginn des Atlantikums markiert, ist im Diagramm allerdings noch nicht erfasst; das Baumpollenspektrum der untersten Probe weist schon einen 66 %-Anteil an *Alnus*-Pollen auf und umfasst bereits alle weiteren Edellaubhölzer mit Ausnahme der Späteinwanderer Buche und Hainbuche. Das lokale Moorwachstum begann daher erst in einer Zeit, in der die Niederungen längst zu großen Teilen von erlenreichen Wäldern eingenommen waren, die atlantischen Laubmischwälder sich bereits etabliert und Kiefer und Hasel aus ihrer Vorherrschaft verdrängt haben. Dass die *Pinus*-Kurve dennoch hohe Werte bis maximal 56 % erreicht, spricht für eine Entstehung des Moores noch während des älteren, kiefernreichen Atlantikum (PZ VIIIa<sup>NWD</sup>), was durch Radiokarbon-Datierung der basalen Torfe auf ein Alter von 7580 B.P.  $\pm$  101 bestätigt wurde. Insgesamt wird die Mittlere Wärmezeit von dem Tiefenbereich 228-120 cm des Profils „Meerbecke-Niederung“ umspannt. Die charakteristische Beständigkeit der Kurven in den wärmezeitlichen Pollenspektren, wie sie für ganz Mitteleuropa im Atlantikum die Regel ist (KRAMM 1980,

POTT 1992a), wird stark durch die Folgen der lokalen Senkungsprozesse überlagert (Kap. 5). Zudem ist das Pollenspektrum der regionalen Wälder stark unterrepräsentiert, da die erlenreiche Vegetation des Standortes in Übereinstimmung mit CASPERS (1993) den regionalen und überregionalen Pollenflug wirksam abschirmte. Nichtsdestotrotz lassen sich nach Ausschluss der lokalen Eigenheiten die wesentlichen Aspekte, ebenso wie einige Details der atlantischen Landschaftsentwicklung herausarbeiten, die sich in den großräumigen, mittelwärmezeitlichen Werdegang Nordwestdeutschlands einreihen, wie er bei GROHNE (1957), KRAMM (1978), ISENBERG (1979) und FREUND (1994) dargestellt wurde.

So gelten die drei immergrünen, wärmeliebenden Arten *Viscum*, *Ilex* und *Hedera* nach Iversen (1944) und ZAGWIJN (1994) als floristische Klimaindikatoren der Mittleren Wärmezeit. Entsprechend ihrer heutigen Autökologie charakterisieren sie das mittelwärmezeitliche Klima als wärmegemäßigt, thermisch-ozeanisch. Darüber hinaus entsprechen Vorkommen und Häufigkeit von *Viscum*, *Ilex* und *Hedera* im Untersuchungsgebiet ihrer generellen Verteilung innerhalb Nordwestdeutschlands, wie sie in anderen regionalen Pollendiagrammen registriert wurde (POTT 1982b, CASPERS 1993, DIECKMANN 1998). So ist die kontinentale Art *Viscum album* nur zerstreut nachgewiesen und die vereinzelt Pollenfunde wurden auch ausschließlich innerhalb des atlantischen Diagrammabschnittes des Meerbecke-Profiles gemacht. Dagegen sprechen das relativ häufige Vorkommen der atlantisch-subatlantischen Elemente *Ilex* und vor allem *Hedera* für die vergleichsweise starke Maritimität und ein luftfeuchtes Regenklimate. Die Pollenfunde der Stechpalme häufen sich im Atlantikum, sind aber auch für spätere Zeiten belegt. Nach POTT (1990) sind sie dann bei überwiegend siedlungskorrelierendem Verhalten vor allem ein Zeichen positiver anthropozogener Selektion. Der Efeu ist schließlich mit einer nahezu geschlossenen Kurve im Gebiet vertreten, die erst im Subboreal mit 1,2 % kulminiert. Gewöhnlich liegt das klimatische Optimum von *Hedera helix* im Atlantikum. Offensichtlich ist der Efeu, als Element der Feucht- und Bruchwälder, lokal direkt von den Vernässungen zurückgedrängt worden, so dass er erst nach Abflauen der Senkungsprozesse an der Wende zum Subboreal zur Ausbreitung gelangt.

Nach KÜSTER (1990) variierte die Artenkombination der Baumarten innerhalb der mesokratischen Laubmischwälder in Abhängigkeit von regionalen und lokalen, orographisch-edaphischen Standortfaktoren, so dass sich schon im Atlantikum verschiedene Laubwaldformationen innerhalb der unterschiedlichen, naturräumlichen Einheiten differenzierten. Für das Untersuchungsgebiet konnten hier vier Waldtypen herausgestellt werden:

#### 6.1.2.1 Eichendominierte Wälder der pleistozänen Talsandebenen

Zunächst lassen sich von Eichen dominierte Laubmischwälder herausstellen, die als regional vorherrschende Wälder die natürlicherweise nährstoffarmen, bodensaurigen, pleistozänen Talsande der Plantlünner Ebene einnahmen. Die Eiche war mit 10 % BP-Anteil der wichtigste Baum dieser Wälder, in denen die Birke steter Begleiter war, während Linde, Ulme, Esche und Ahorn nur eine untergeordnete Rolle spielten. Dies korreliert allgemein mit den Ergebnissen der nordwestdeutschen Geest, speziell mit dem „Belmer Bruch“ oder Campemoor, wo *Quercus* mit 10 % bzw. sogar bis zu 30 % als Hauptkonstituent der Laubmischwälder hervortritt (FREUND 1994, DIECKMANN 1998). Im Detail war die Verteilung der Baumarten innerhalb dieser Wälder sowie die Artenzusammensetzung ihrer Krautschicht sicherlich ähnlich kleinräumig differenziert wie in den heutigen *Betulo-Querceten*, d.h. je nach Relief und Böden in unterschiedliche, feuchte- oder trophiebedingte Ausprägungen gegliedert (POTT 1995, FREUND 1994). So wird *Quercus robur* mit *Betula pubescens* vergesellschaftet, die anlehmigen Böden der Talauen von Recker und Ibbenbürener Aa eingenommen haben bzw. auf den feuchten Talsanden und anmoorigen Böden der Niederungsränder („Meerbecke-Niederung“) gestanden haben und sicherlich die größten Flächen des Raumes eingenommen haben. Im trockenen Flügel dieser bir-

kenreichen Eichenwälder auf den nährstoffärmsten und trockenen Sandböden der Dünen waren dagegen vorwiegend *Quercus petraea* und *Betula pendula* vertreten (POTT 1993a). Diese Wälder formierten sich, entsprechend den niedrigen NBP-Werten von durchschnittlich 19 % zu einer geschlossenen Waldlandschaft, in der die krautigen Arten zurücktraten und in der menschlicher Einfluss noch fehlte.

Die schwache Repräsentation der anspruchsvolleren Gehölze *Tilia*, *Ulmus* und *Acer* ist nach FREUND (1994) in erster Linie auf das Fehlen besserer Böden im nordwestdeutschen Pleistozän zurückzuführen. Dort waren diese Arten der konkurrenzstarken Eiche unterlegen, die selbst über den basenarmen Braunerden aus silikatischen Gesteinen am Schafberg dominiert haben wird. So erreichen die Pollenfrequenzen der Linde durchschnittlich 3 %, maximal 8,8 % und liegen damit stets geringfügig über den Ulmenwerten. *Tilia*, d.h. ihr Vertreter *T. cordata* wird daher den lokalen Eichenwäldern stets ein wenig stärker beigemischt gewesen sein als *Ulmus*, was auch ihren vergleichsweise geringeren Nährstoffansprüchen entspricht. Dennoch spielte *Tilia* selbst im collinen Bereich des Osnabrücker Hügellandes über den vorherrschenden basenarmen Ton- und Sandsteinböden nur eine untergeordnete Rolle. Ein entsprechendes Verhalten beobachtete FREUND (1994) im „Belmer Bruch“, wo die Linde zwar insgesamt untergeordnet blieb, aber über die ebenfalls untergeordnete Ulme dominierte. Die Hauptverbreitung der Linde hat sich dagegen auf das Lößvorland der Mittelgebirge, z.B. nördlich des Wiehengebirges (Campemoor, DIECKMANN 1998), wie auch auf die intramontanen Börden z.B. des Ravensberger Hügellandes (FREUND 1994) erstreckt. Z.T. mit höheren Eschen- und Ahornanteilen gemischt wuchs *Tilia* schließlich auch in den Mittelgebirgen selbst (PFAFFENBERG 1933, BUDDE 1938). Die Ulme erreicht im Untersuchungsgebiet keine 5 % des BP-Wertes, was mit anderen Befunden aus dem nordwestdeutschen Flachland übereinstimmt (KRAMM 1978), die selten die 5 %-Grenze überschreiten. Mit den Arten *Ulmus campestris* und *U. laevis* war sie nur als vereinzelt Mischholz in den nährstoffreichsten, feuchten Eichenwäldern des „Heiligen Feldes“ und der Hänge des Schafberges vertreten. Lediglich östlich Uffelns, im Bereich der basenreicheren Braunerdeböden, mag es größere Ulmenvorkommen gegeben haben. Die Hauptverbreitung von *Ulmus* lag nach KRAMM (1980) in dem heutigen, potentiellen *Alno-Ulmion*-Wuchsgebiet der gebietsfernen Flussauen von Ems und Hase sowie in den *Quercus-Fagetea*-Bereichen der Lößböden und Mittelgebirge (WIERMANN & SCHULZE 1986, POTT 1982b). Die sehr niedrigen Pollenfrequenzen und der unterbrochene Kurvenverlauf des Ahorns lassen darauf schließen, dass er im Gebiet völlig fehlte und lediglich durch Ferneintrag im Pollenspektrum vertreten ist. *Acer pseudo-platanus* und *A. platanoides* haben seit der Mittleren Wärmezeit auf den späteren Buchenstandorten in den Laubwäldern der Mittelgebirge und zusammen mit *A. campestre* in den Auwäldern über stau- und grundwassernahen Böden gestockt (FREUND 1994).

Schließlich weist die Hasel-Kurve mit Werten unter 30 % auf das atlantische Vegetationsbild hin. Danach wurde das frühwärmezeitliche Pionierholz von den langlebigeren, wärmeliebenden Laubgehölzen sukzessionsbiologisch erheblich zurückgedrängt. So überschreitet *Corylus avellana*, der einzige mitteleuropäische Vertreter der Gattung, nach seiner Maximalausbreitung, dem um ca. 6500 v.Chr. erreichten Co<sub>1</sub>-Maximum nach OVERBECK (1975), nie mehr die 20%-Marke des Gesamtpollens. Zudem deuten die sehr niedrigen Werte erneut auf die Nährstoffarmut der Altmoränenlandschaft und ihrer eichendominierten Wälder hin. So ist das Haselvorkommen von Beginn seiner borealen Verbreitung an landschaftlich und edaphisch sehr differenziert. Zwar ist die Art im atlantischen Klima weiterhin begünstigt und erreicht in der Eifel und im feucht-ozeanischen Klima von Westholland und England auch neue Maximalwerte, doch bevorzugt sie gleichzeitig nährstoffreiche, besonders auch kalkreiche, frische Böden. So wird *Corylus* zwar in weiten Teilen des südlichen Westdeutschland zur dominanten Art des Unterholzes linden- und ulmenreicher Wälder, erreicht im Norden und Nordwesten dagegen weder in den lichten Birken-Eichenwäldern der trockenen Sandböden noch in den Bruchwäldern

über anmoorigen Böden größere Bedeutung. Pollenanalytisch korrespondiert die Haselkurve im Süden weitgehend mit der der Eiche und erreicht z.B. in der Münsterländer Bucht 245 % (KOCH 1929). Im Norden überschreiten ihre Werte dagegen selten 45 % und erreichen z.B. in Emmen/Bourtanger Moor maximal 10 % (VAN ZEIST 1956). Nach FIRBAS (1949/52) gilt die Hasel nicht nur als Indikator lichter Waldformen, die, bedingt durch eine vergrößerte Blühfähigkeit bei verstärktem Lichtgenuss (BURRICHTER 1969), das Mosaik natürlicher Wälder mit zyklischen Regenerationsstadien nach Alter-, Brand und Windwurflicken anzeigt, sondern vor allem als ein Maß des großen Artenreichtums der atlantischen Mischwälder. Werte unter 10% des Gesamtpollens bestätigen damit schon für das Atlantikum die verhältnismäßige Artenarmut der regionalen, nordwestdeutschen Eichenwälder.

Zusammenfassend entspricht das regionale Waldbild, das sich aus dem Diagramm der „Meerbecke-Niederung“ herleiten lässt, dem „Geest-Typ“ atlantischer Laubmischwälder, wie er von FREUND (1994) beschrieben wurde. Eichendominierte Wälder bestimmten den Landschaftscharakter der pleistozänen Talsandebene mit ihren Flug- und Dünenanden. Obwohl das Untersuchungsgebiet unmittelbar an der Schwelle der Mittelgebirge liegt, konnte es nicht dem von DIECKMANN (1998) für den Übergangsbereich Geest/Hügelland differenzierten Typus mit höheren Linden- und Ulmenanteilen sowie früher Bucheneinwanderung zugeordnet werden. Anders als in den collinen und submontanen Regionen des Weserberglandes, Teutoburger Waldes, Wichengebirges und anderen Regionen, wo nährstoff- und basenreiche Lößlehm- und Kalkverwitterungsböden die Verbreitung linden- und ulmenreicher Wälder begünstigten (STECKHAN 1961, POTT 1982b, 1985a, 1993b STALLING 1983, WIERMANN & SCHULZE 1986, CHEN 1988, FREUND 1994, DIECKMANN 1998), spielten Linde und Ulme im Osnabrücker Hügelland über den vorherrschenden, nährstoff- und basenarmen Ton- und Sandsteinböden sowie bei weiträumig fehlenden Lößdecken nur eine untergeordnete Rolle. Eine ähnliche Situation zeigt sich auch im Eggegebirge (TRAUTMANN 1957) und im Solling (SCHNEEKLOTH 1967). Es zeigt sich hier also einmal mehr das feindifferenzierte Dominanzverhältnis der Arten und die Vielfalt an Ausprägungen atlantischer Mischwälder in Abhängigkeit von der jeweils ganz unterschiedlichen naturräumlichen Gesamtsituation (KÜSTER 1988).

#### 6.1.2.2 Niederungswälder in den Subrosionsmulden des „Heiligen Feldes“

Für die bodenfeuchten bis „nassen Standorte, d.h. lokal vor allem in den Subrosionsmulden des „Heiligen Feldes“ können primär **erlendominierte Niederungswälder** beschrieben werden. Mit Prozentanteilen von über 75 % ist *Alnus* der deutlich dominante Vertreter im Pollenspektrum der „Meerbecke-Niederung“. Die Erle stellt vor Ort die Bruchwald-konstituierende und torfbildende Art dar, deren sukzessive Entfaltung sich relativ schnell vollzog, wie aus dem Fehlen von basalen Schilf- und Seggentorfen hervorgeht. Eine vergleichbare Massenentfaltung der Erle mit entsprechend hohen *Alnus* -Werten wurde regional auch in anderen Niedermooren registriert (KOCH 1929, BURRICHTER 1969, FREUND 1994). Sie steht im großräumigen Zusammenhang des flandrischen Meereseinbruchs und der atlantischen Klimaänderung mit verstärktem Niederschlagsreichtum, in deren Folge die Grundwasserspiegel anstiegen, die Oberflächenwasser rückgestaut wurden und entlang der Flüsse sowie in den Senken des Flachlandes zahlreiche klein- und großflächige Niedermoore entstanden (GÖTTLICH 1990). KRAMM (1980) und OVERBECK (1975) zufolge zeigte die Erle seit ihrer atlantischen Expansion insbesondere in Nordwestdeutschland mit seinen ausgedehnten, nassen, zeitweilig überschwemmten Niederungen ihre stärkste Verbreitung.

Das Krautpollenspektrum im Profil „Meerbecke-Niederung“, in dem insbesondere die Feuchte- und Nässezeiger stark repräsentiert sind, spiegelt in seiner Kombination die Vegetation der lokalen Erlenbruchwälder wider, die vergleichbar mit den rezenten, basen-

reichen, meso- bis eutraphenten Komplexen aus Hochstaudenfluren und Verlandungsformationen einschließlich Weidengebüsche erscheint (POTT 1985c). Dabei sind neben den Hochstauden aus der Gruppe *Filipendula* und *Apiaceae* vor allem die Arten des Röhrichts und der Seggenriede (*Poaceae*, *Cyperaceae*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, *Sparganium* sp.) sowie nässezeigende Arten (*Ranunculaceae*, *Brassicaceae*, *Rubiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Fabaceae*, *Lysimachia*, *Hydrocotyle vulgaris*, *Epilobium*, *Sanguisorba officinalis*) vertreten. Erhöhte *Betula*- und *Sphagnen*-Werte weisen auf die weite Verbreitung nährstoffärmerer, erlenreicher Birken-Eichenwälder bzw. birken- und torfmoosreicher Bruchwälder hin, wie sie auch FREUND (1994) nachwies.

Die Esche wird mit Eiche und Erle, evtl. mit geringen Anteilen von Ulme und Linde, auf den frischen, anlehmigen Böden der Bachauen sowie auf Feuchtböden im Übergang zu den Erlenbruchwäldern gestanden haben. Solche **Eschen-Eichen-Erlen-Niederungswälder** und ulmen- und lindenreiche Eschen-Auen werden von FREUND (1994) und MOHR (1990) beschrieben. Die zunächst sehr niedrigen Pollenwerte von *Fraxinus* (0,5 %) stimmen mit der Literatur überein, wonach die Esche schon seit dem Boreal im nordwestdeutschen Flachland auftaucht, aber bis hinein in das Atlantikum nur sporadisch erscheint (KUBITZKI 1961). Auch im Untersuchungsgebiet breitete sie sich dann aus, gefördert durch Absenkungen und Bodenvernässung, und überschritt gegen Ende des Atlantikum mit 3,2 % die rationelle Pollengrenze.

Eine Besonderheit des Erdfallgebietes sind die kurzfristig auftretenden **Birken-Pionierwälder**, die sich infolge der lokalen Ereignisse von Subrosionsprozessen, Vernässungen und Erdabsenkungen immer wieder kleinflächig ausbreiteten. Entsprechend charakterisieren starke Frequenzschwankungen und insbesondere der hervorstechende Antagonismus zwischen *Alnus* und *Betula* das Diagramm der „Meerbecke-Niederung“ (Kap. 5.1, Abb. 17). Während *Betula* mit regulären Pollenfrequenzen um die 10 % in den atlantischen erlen- und eichendominierten Wäldern eher die Rolle eines Begleiters übernahm, gelangte sie in den Senkungsphasen entsprechend den Pollenwerten bis 80 % jeweils rasch zur Dominanz. Die Birken-Peaks verdeutlichen somit exemplarisch die vorübergehende, natürliche Expansion heliophytischer Pioniere nach Lichtung des Waldes. Sie sind ein Ausdruck der kleinräumigen Strukturierung der natürlichen Wälder, die sich durch eine Folge zyklischer De- und Regeneration und eine vielfältige Altersstruktur auszeichneten. Diese schlug sich in einem räumlichen Mosaik aus Lichtungs- und Pionier-, Optimal- und Alterungsphasen nieder, das in der „Heilig-See-Zone“ mit ihren sich ständig verändernden geomorphologischen Strukturen besonders deutlich hervortritt.

Die Birken-Pionierwälder dürften den Charakter von Bruchwäldern gehabt haben, in denen *Betula pubescens* dominierte. Ihr Verbreitungsmuster wird vergleichbar dem heutigen gewesen sein, d.h. sie kamen nach WITTIG (1980) vor allem auf nährstoffarmen, minero- und ombrotrophen Standorten an der Nässegrenze des Waldes, d.h. im Übergang zu Hochmooren bzw. hier im Verlandungsbereich oligo- und dystropher Erdfallgewässer und Kolke vor. Nach RUNGE (1991a) sind diese Wälder auch heute stets kleinräumig und pionierhaft entwickelt und stellen kurzfristige Vor- und Übergangsstadien zu den konkurrenzstärkeren, oligotraphenten Birken-Eichenwäldern und eutraphenten Erlenwäldern dar. Die jeweilige Expansion der Birke geht mit der korrelierenden Ausbreitung zahlreicher Helophyten einher. Die Pollenspektren der Senkungsphasen spiegeln so die parallele Ausbreitung wassergefüllter Senken, Klein- und Großseggenriede sowie Röhricht- und Gebüschgesellschaften wider. In ihrer weiteren Artenkombination mit Elementen der *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Ericaceae* und *Sphagnen* stellen sie, korrelierend mit den von REHAGEN (1964) und KRAMM (1978) beschriebenen Moore, den initialen Vegetationskomplex eines oligotraphenten Verlandungsmoores dar, aus dem sich das spätere Niedermoor entwickelt hat. Entsprechende, lichte Birkenbruchwälder haben auch nach FIRBAS (1949/52) einen torfmoos-, gras-, kraut- und zwergstrauchreichen Unterwuchs gehabt und waren eng mit Feuchtheiden verzahnt.

Die Kiefer, die im Boreal ihr Ausbreitungsoptimum hatte, spielte in den atlantischen Wäldern noch eine große Rolle, und auch am „Heiligen Meer“ erreichen ihre Pollenfrequenzen noch bis zu 56 % der BP-Summe. Nach POTT (1997) wurde das anspruchslöse Licht- und Pionierholz jedoch zunehmend durch die konkurrenzstärkeren Laubbölzer auf nasse und trockene Extremstandorte verdrängt. Während *Pinus* in den nährstoffreichen Bereichen daher schnell von der konkurrenzstarken Erle verdrängt worden sein wird, wird die gemeinsam mit der Moorbirke vor allem die nass-oligotrophen Standorte eingenommen haben. Atlantische Kiefern-Moorwälder werden ebenso durch ältere Analysen und Stomata- bzw. Kiefern-Stubben-Nachweise (PFAFFENBERG 1936) wie auch durch neuere Datierungen von Kiefern-Bohlenwegen belegt (DIECKMANN 1998). Einerseits standen die Kiefern- und Kiefern-Birken-Bruchmoore im Einklang mit REHAGEN (1964) und BURRICHTER (1982) über nährstoffarmen Mineralböden am Anfang der atlantischen Moorgenese. Andererseits befanden sich **nasse, kiefernreiche Ökotongrenz-Wälder** am Rand von Hochmooren, oligo- und dystrophen Gewässern sowie im Übergangsbereich von Erlenbruchwäldern zu feuchten, eichendominierten Laubmischwäldern, wo sie auch im Erdfallgebiet ihren Schwerpunkt gehabt haben werden. JAHN (1985) beschreibt die Kiefer zudem als Mischbaum in Laubwälder und als Pionier in deren Juvenil-, Übergangs- und Zerfallphasen. Schon KRAMM (1978), BURRICHTER (1986) und BURRICHTER et al. (1988) betonten ferner die Verbreitung der Kiefer am Rand der Niederungen in kiefernreichen Beständen des feuchten, in die Erlenbruchwälder überleitenden Birken-Eichenwaldes. Neben den Moorstandorten müssen auch die trockenen, nährstoffarmen, acidophilen Flugdeck- und Dünsande im „Heiligen Feld“ als Extremstandorte betrachtet werden. Hier kam *Pinus* in Kiefern-durchsetzten Eichenwäldern bzw. trockenen, moosreichen Kiefernwäldern vor. Sowohl die feuchten als auch die trockenen Kiefernwälder waren arten- und individuenreiche Lichtholzwälder, deren Unterholz und Krautschicht aus den Elementen der umgebenden Gebüsch- und Saumgesellschaften, Sümpfen, Rasen und Heiden gebildet wurde.

Im Zuge sukzessionsbiologischer Prozesse wurden die Kiefernwälder, zumeist noch im Laufe des Atlantikums, mehr und mehr von Erlenbruch- bzw. trockenen Laubwäldern verdrängt. Dieser Rückzug von *Pinus* geht auch aus den Diagrammen des Untersuchungsgebietes hervor, wobei *Pinus* im ausgehenden Atlantikum und im Subboreal noch einmal das Potential besaß, sich kleinräumig, innerhalb neu entstehender Senken auszubreiten. Solche Ausbreitungsphasen innerhalb der azonalen Moorwälder und während günstiger Zeiten, d.h. insbesondere Nässeperioden, beobachtete auch DIECKMANN (1998). Schon SCHROEDER (1956) vermutete daher, dass die Kiefer im Untersuchungsgebiet autochthon ist. Solche Reliktstandorte und extrazonalen Vorposten außerhalb des heutigen, ostelbischen Kiefernareals, wurden im Hiddeser Bent (POTT 1982b), der Westfälischen Bucht (BURRICHTER 1969, 1982) und den Borkenbergen (POTT 1984) nachgewiesen. Ein weiterer Abfall der *Pinus*-Frequenzen auf < 10 % bereits im Subboreal und < 5 % im Subatlantikum (Profile „Meerbecke-Niederung“ und „Grundlose Kuhle“) lässt ein autochthones Vorkommen allerdings fraglich erscheinen. DÖRFLER (1989) zufolge rekrutieren *Pinus*-Pollenprozent unter 10 % allein aus der Fernflugkomponente des Pollen-Influx.

### 6.1.3 Großräumige Umstrukturierung der Wälder vom Subboreal zum Subatlantikum

Die großräumige Landschaftsentwicklung im Subboreal (3100-1100 v.Chr., PZ IX<sup>NWD</sup>) und der ersten Hälfte des Subatlantikums (1100 v.Chr.-200 v.Chr./Chr. Geb., PZ X-XI<sup>NWD</sup>) wurde von einem auffälligen Rückzug der Ulme aus dem Waldbild des gesamten Mitteleuropa eingeleitet, dem die Ausbreitung der Rotbuche folgte, die in weiten Naturräumen zur dominanten Art wurde. Diese Entwicklung führte zu gewaltigen

Umstrukturierungen im regionalen Waldbild, in dem sich zunächst spätwärmezeitliche Eichen-Hasel-Wälder und schließlich subatlantische Buchen- und Buchenmischwälder formierten, die vor allem die mesokratischen Wälder der Mittelgebirge, der Lößlandschaften und der „reichen“ Geest ersetzten. Während sich die Entwicklung der früh-postglazialen Wälder noch in natürlicher Dynamik vollzogen hatte, wurden die Umwandlungen nun sowohl von natürlichen als auch von anthropogenen Prozessen verursacht und gesteuert, die sich in Nordwestdeutschland seit dem dritten vorchristlichen Jahrtausend eng miteinander verzahnen. Dabei variierte dieses hochdynamische Geschehen in einem naturraum- und standortabhängigen Mosaik und vollzog sich im pleistozänen Tiefland zeitlich deutlich versetzt sowie in seiner Ausprägung merklich geschwächt gegenüber den Lößlandschaften und Mittelgebirgen.

Der sogenannte „**Ulmenfall**“ gilt nach OVERBECK (1975) als palynologischer Leithorizont, der die Grenze vom Atlantikum zum Subboreal markiert und wird für Nordwestdeutschland auf ca. 3100 v.Chr. festgelegt. Diese großräumige Zuordnung korreliert sehr gut mit der Radiokarbon-Datierung von 3160 v. Chr.  $\pm$  50 aus der nahen „Speller Dose“. IVERSEN (1949) und POTT (1989) zufolge sind die Ursachen des Phänomens „Ulmenfall“, dem zumeist ein allmählicher Rückgang der Linde folgte, vielfältig und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten des Wirkungskomplexes variiert räumlich und zeitlich.

Im Pollenspektrum der „Meerbecke-Niederung“ wird der typischerweise unverkennbare „Ulmenfall“ zum einen wiederum von den subrosionsbedingten Frequenzschwankungen überlagert. Zum anderen tritt er in Übereinstimmung mit ISENBERG (1979), DÖRFLER (1989), MOHR (1990) und FREUND (1994) naturraumabhängig, d.h. aufgrund der nur begrenzt ulmenfähigen Standorte der Geest, ohnehin zurück. Der erfasste, schwache Kurvenabfall spiegelt daher hauptsächlich das großräumige Geschehen wider, d.h. den Rückzug der Ulme aus den weiter entfernt gelegenen, flussbegleitenden bzw. montanen Wäldern.

Die regionale Einwanderung, Etablierung und **Ausbreitung der Rotbuche** und Hainbuche vollzieht sich in mehreren Schritten, deren Dynamik den generellen Ursachen der postglazialen Waldentwicklung analog ist und durch ein komplexes System klimatogener, arealgeographischer, wanderungsgeschichtlicher und sukzessionsbiologischer Faktoren in ihrem raum-zeitlich differenzierten Zusammenspiel dirigiert und schließlich mit siedlungsgeschichtlichen Faktoren vernetzt wird (POTT 1989c).

Allererste Einzelpollenfunde von *Fagus* kündigen bereits gegen Ende des Atlantikum von dem Erscheinen der Rotbuche im regionalen Waldbild. Sie indizieren die frühe Einwanderung der Buche auf die Kalk- und Lößstandorte der nördlichen Mittelgebirge, die von POTT (1982b, 1985a, 1989c) auf 4500-4000 v.Chr. datiert wurde. Spätestens seit dem Subboreal ist *Fagus* auch in den vorliegenden Pollenspektren regelmäßig vertreten. Dabei deuten nach LANG (1994) schon die geringen Pollenkonzentrationen unter 1 % auf die Anwesenheit der Buche im Gebiet, zumal die regional verbreitete Buche nur ein mittelmäßiger Pollenproduzent ist, während die lokale Erle hohe Pollenkonzentrationen streut. Allerdings wird *Fagus* nicht auf den nährstoffarmen Quarzsandböden Fuß gefasst, sondern primär die nährstoff- und basenreicheren Sandmisch- und Lehmböden, d.h. die einstigen Wuchsgebiete der Linde eingenommen haben (KRAMM 1980). Die empirische Pollengrenze erreicht *Fagus* in der zweiten Hälfte des Subboreal (Profil „Meerbecke-Niederung“). Für die Plantlünner Sandebene datiert das regelmäßige Erscheinen der Buche zwischen 2950 v.Chr. in der „Speller Dose“ (KRAMM 1978) und 1905 v.Chr. im „Weeser Moor“ (FREUND 1994). Parallel wiesen FREUND (1994) und DIECKMANN (1998) für den Naturraum des Weserberglandes und den Nordrand des Wiehengebirges bereits eine zunehmende Bedeutung der Buche als Waldbildner nach. Das reguläre Auftreten von *Carpinus*-Pollen gegen Ende des Subboreals kann nach OVERBECK (1975) schließlich mit dem letzten Drittel der bronzezeitlichen Epoche um 1800 v.Chr. verknüpft werden. Buchen- und

Hainbuchen-Pollen ermöglichen nach SCHLÜTER (1997) somit auch die Eindatierung der Profilbasis der „Grundlosen Kuhle“, die den „Ulmenfall“ nicht mehr erfasst, aber mit einem typisch subborealen Pollenspektrum vor der geschlossenen Pollenkurve von *Fagus* einsetzt.

An der Wende zum Subatlantikum belegt die rationale Pollengrenze (Profil „Meerbecke-Niederung“) und relative Zunahme der Buche deren konstante, regionale Vertretung im Gebiet. Diese kann in Übereinstimmung mit KRAMM (1978) zwischen  $1310 \pm 70$  v.Chr. („Speller Dose“) und ca. 800 v.Chr. (vor  $625 \pm 75$  v.Chr., „Vinter Moor“) datiert werden. Darüber hinaus korreliert das regelmäßige Erscheinen von *Carpinus*-Pollen mit der empirischen Pollengrenze regionaler Diagramme, die um 1100 v.Chr. zu ziehen ist (OVERBECK 1975). Dem gegenüber beginnt *Corylus* sich nach dem  $CO_4$ -Maximum, das für Nordwestdeutschland auf ca. 1000 v.Chr. datiert wird (OVERBECK 1975, SCHWAAR 1977), zurückzuziehen. Dieser Rückzug ist nach LANG (1994) einerseits klimatisch bedingt, andererseits wird die heliophile Hasel mit der Formierung der Buchenwälder zunehmend durch Ausschattung verdrängt.

Das mittelsubatlantische Vegetationsbild wird dann insbesondere durch die Massenausbreitung der Buche und der parallelen Formierung der Hainbuchenwälder charakterisiert, die an der Muddebasis des „Großen Heiligen Meeres“ gerade noch erfasst werden. Dabei breitete sich *Carpinus* auf den feuchten bis (stau)nassen, zumeist lehmigen Standorten aus, die von *Fagus* nicht besiedelt werden können. Regional ist diese Entwicklung in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten bis zu einem sächsisch-frühmittelalterlichen Optimum anzusetzen. So wurde die beginnende Massenausbreitung in der nahen „Speller Dose“ auf  $40$  n.Chr.  $\pm 60$ , die Buchenkulmination auf den Beginn der Sachsenzeit  $475 \pm 60$  datiert (KRAMM 1978).

So stützen vorliegende Ergebnisse die Bedeutung des Menschen für das dynamischen Geschehen der Buchenausbreitung und die Entwicklung buchenreicher Wälder (BURRICHTER 1976, KRAMM 1978, 1980, POTT 1989c, 1992c, LANG 1994). Während der Mensch einerseits potentielle Buchenstandorte bereits seit dem Neolithikum besiedelte und die Ausbreitung von *Fagus* damit verzögerte bzw. die Einnahme seines potentiellen Areals bis heute verhinderte, schuf er andererseits eventuell Lücken in den geschlossenen, subborealen bis mittelsubatlantischen Wäldern, die eine Ansiedlung von *Fagus*-Populationen überhaupt erst ermöglichte und die Formierung zu Buchenwäldern auf Kosten von konkurrenzstarken Eichen- und lindenreichen Wäldern förderte (VAN ZEIST 1959, BIRKS 1986, BURRICHTER et al. 1982, BEHRE 1986, BURRICHTER 1989, FREUND 1994). So fiel die lokale Einwanderung von Buche und Hainbuche in die jungsteinzeitlich-bronzezeitliche Siedlungsperiode. Die Buchenausbreitung folgte dann parallel zur Fichtenausbreitung und Hainbucheinwanderung während der nachfolgenden Siedlungsdepression (Profil „Meerbecke-Niederung“), was mit den Beobachtungen von SELLE (1958), KUBITZKI (1961) und ISENBERG (1979) konform läuft. Nach einem weiteren siedlungskorrelierten *Fagus*-Gipfel während der jungeneisenzeitlichen Periode, kulminieren Buchen- und Hainbuchenkurve in Übereinstimmung mit den regionalen Ergebnissen erst in den nachchristlichen Jahrhunderten während der späten Besiedlung des Untersuchungsgebietes im Zuge der sächsisch-frühmittelalterlichen Landnahmen. KRAMM (1980) sieht in diesem anthropogenen Faktor übrigens eine Ursache für die typischen Ausbreitungssprünge von *Fagus* im Flachland.

Zusammenfassend ist die **lokale Waldentwicklung** der Plantlünner Talsandebene und des unmittelbaren Erdfallgebietes von den großräumigen Veränderungen im Subboreal und der ersten Hälfte des Subatlantikum nur randlich, d.h. durch die Entwicklung in den nahen Mittelgebirgen betroffen. Die entscheidenden Arten des Umstrukturierungsprozesses, Ulme und Rotbuche, spielten in der Landschaft des „Heiligen Feldes“ nur eine unterge-

ordnete Rolle. So veränderte sich auch das lokale Waldbild gegenüber dem Atlantikum nur geringfügig:

- Die Eiche bleibt die konstituierende Art der Wälder auf den armen Sandböden und baut im Gegenzug zur Ulme und Linde ihre regionale Position auch auf den nährstoffreicheren Böden weiter aus. Kurzfristig bilden sich reine Eichenwälder aus, in denen auch die Hasel z.B. bei Pollenwerten bis zu 15 % in der „Grundlosen Kuhle“ wieder stärker vertreten war (SCHLÜTER 1997). Noch deutlichere *Corylus-Maxima* werden parallel in den benachbarten Hochmoorprofilen erreicht (25-40 %, KRAMM 1978, FREUND 1994, DIECKMANN 1998). Aufgrund dieser Werte kann man in der Region von einer **subborealen Eichen-Hasel-Zeit** sprechen, die aufgrund ihrer engen Korrelation zur neolithisch-bronzezeitlichen Siedlungsphase, im Einklang mit IVERSEN (1949), sicherlich auch anthropogen bedingt ist. Allgemein werden für die erneute Haselausbreitung natürliche, klimatogene und sukzessionsbiologische aber auch anthropogene Ursachen diskutiert, die analog zum Ulmenrückgang stehen (KRAMM 1980). Bei der Formierung und Ausbreitung der Buchen- und Buchenmischwälder spiegelt sich erneut das, bereits für die Bucheneinwanderung beschriebene, SO-NW-Gefälle wider, das sich diesmal in einer Abnahme des Buchenanteils am großräumigen Waldbild gen NW äußerte. In Anbetracht der sehr niedrigen *Fagus*-Werte in den untersuchten semiterrestrischen Pollendiagrammen kann, abgesehen von der Unterlegenheit der Buche in einem von pollenstarken, lokalen Arten dominierten Spektrum, kaum von einer subatlantischen Buchenzeit gesprochen werden. Dies steht im Konsens mit KRAMM (1980), der die Buchenarmut Westfalens und des Flachlandes im besonderen betonte. So wuchsen in der westlichen und nordwestlichen Ebene höchstens **subatlantische Buchen-Eichen-Mischwälder**. Dabei muss die Frage gestellt werden, inwiefern die nährstoffarmen Geestflächen Nordwestdeutschlands überhaupt als potentielle Buchenstandorte zur Disposition stehen. Lokal waren sicherlich die Standorte entlang der Ibbenbürener und Recker Aa von jeher buchenfähig. In diesem Zusammenhang steht die Frage, inwieweit sich *Fagus* innerhalb der nährstoffreicheren Eichenwälder etablieren konnte, d.h. mit der langlebigen Eiche konkurrieren und sie im natürlichen Zyklus der Waldverjüngung als konkurrenzstarkes Schattholz ausschatten und verdrängen konnte.
- In den nassen, nährstoffreichen **Niederungswäldern** dominierte weiterhin *Alnus*, die in den großflächigen Subrosionsmulden der „Meerbecke-Niederung“ bis zu den historischen Landnahme- und Rodungsprozessen optimale Bedingungen fand. Neben den steten *Alnus*-Frequenzen von 70-80 % belegt ein kontinuierliches Spektrum von Erlenbruchwaldarten die andauernde Moorentwicklung und Torfablagerung. *Fraxinus* erreicht im Gebiet sein postglaziales Optimum und breitet sich in den lokalen Bachauen- und Niederungswäldern weiter aus. Im Zuge der sich fortsetzenden Senkungsphasen wird das lokale Vegetationsgeschehen jeweils vorübergehend von oligotraphenten Birken-Pionierwäldern bestimmt, die wiederum sukzessive von meso-eutraphenten Erlenbruchwäldern verdrängt wurden. Die Kiefer ist dagegen weiter auf dem Rückzug.

#### 6.1.4 Landschaftswandel im Zuge prä- und frühhistorischer Siedlungsphasen

Im Subboreal erreichte die von Mesopotamien ausgehende, sogenannte Neolithische Kulturrevolution Nordwestdeutschland. Mit ihr vollzog sich der wahrscheinlich tiefgreifendste, wirtschaftliche und soziale Umbruch in der Menschheitsgeschichte, der Übergang vom nomadisierenden Jäger, Fischer und Sammler des Mesolithikum (8000-4500 v.Chr.) zum sesshaften, viehwirtschaft- oder ackerbautreibenden Bauern des Neolithikums (4500/3100-1800 v.Chr.). Während der Mesolithiker das umgebende Ökosystem noch kaum verändert hatte, begann der neolithische Mensch nachhaltig in den bis dato natürlichen, aut- und synökologischen Entwicklungsprozess der Vegetation einzugreifen und allmählich sowohl das Gefüge des Waldes als auch die Naturlandschaft im allgemeinen zu verändern (BURRICHTER 1969, POTT 1992d, LANG 1994, SPEIER 1997a).

#### 6.1.4.1 Neolithisch-bronzezeitliche Eingriffe in die Naturlandschaft

Die neolithische Besiedlung des nordwestdeutschen Pleistozäns ist KRAMM (1981) zufolge mit den nordischen Megalithkulturen verbunden, die in den Geest- und Talsandgebieten erstmals um 3500 v.Chr. auftraten und nach ihrer Keramik in die frühe Gruppe der Trichterbecherleute (2700-2200 v.Chr.) und die nachfolgende Glockenbecherkultur (2200-1700 v.Chr.) unterteilt werden (VAN ZEIST 1959, VAN GEEL 1972).

In Übereinstimmung mit der archäologischen Fundsituation des Untersuchungsgebietes und den palynologischen Arbeiten der Region (KRAMM 1978, MOHR 1990, FREUND 1994) konnten auch die vorliegenden Ergebnisse keine Eingriffe vor- und frühneolithischer Kulturen in die Landschaftsentwicklung der „Heilig-Meer-Zone“ nachweisen. Erst im beginnenden Subboreal wurden in Korrelation zu den regionalen Befunden regelmäßig Pollenkörner von *Plantago lanceolata* registriert, die eine regionale Siedlungsnahme für das späte Neolithikum im Übergang zur Bronzezeit, d.h. für die Glockenbecherkultur, markieren (Profil „Meerbecke-Niederung“). *Plantago lanceolata* stellt nach BEHRE (1981) neben den Kulturpflanzen den einzig sicheren, siedlungszeigenden Hinweis dar und wird in den pleistozänen Sandlandschaften Nordwestdeutschlands als „Brachezeiger“ auf aufgelassenen Äckern gewertet, die einer Nachweidenutzung unterliegen (Wechsellandbau). In der „Grundlosen Kuhle“ konnten darüber hinaus erste *Cerealia*-Pollenfunde nachgewiesen werden, die in Koinkidenz mit ersten Nachweisen neolithischen Ackerbaus in der „Speller Dose“ auf eine Zeit nach 3160 v.Chr. datiert werden können (SCHLÜTER 1997, KRAMM 1978). Es handelte sich dabei um Pollen des *Triticum*-Typs, die sicherlich von den anspruchlosen Spelzweizenarten *Triticum monococcum* und *T. dicoccon* stammen dürften (LANG 1994, WILLERDING 1969).

Die geringen SAZ-Frequenzen sowie eine nicht vollständig geschlossene *Plantago*-Kurve deuten im übrigen nicht nur auf eine starke Pollenabschirmung durch die standortei-gene Erlenbruchwald-Vegetation, sondern auch auf eine große Entfernung der prähistorischen Siedlungszellen hin (JANSSEN 1986, BEHRE & KUCAN 1986, DÖRFLER 1989). So vollzog sich die Besiedlung nicht nur großräumig, sondern auch regional in einem raumzeitlich differenzierten, an den standörtlichen Gegebenheiten orientierten Prozess. Demzufolge war das Untersuchungsgebiet äußerst schwach besiedelt bzw. wurden die moor- und niederungsreiche Westabdachung der Mittelgebirge sowie die Emstalsande der Plantlünner Sandebene lange Zeit gemieden. Die Neolithiker ließen sich zunächst vielmehr auf den hydrologisch und edaphisch begünstigten Standorten auf den entfernteren Endmoränenzügen und Hangsanden der Mittelgebirgsschwelle nieder. In diesen trockenen und nährstoffreicheren Landschaften spielte die Linde damals eine größere Rolle (VAN ZEIST 1959, KRAMM 1978, MOHR 1990, FREUND 1994, DIECKMANN 1998). Die archäologische Fundsituation bestätigt diese größere Entfernung jungsteinzeitlicher Siedlungstätigkeit. So fehlen siedlungsgeschichtliche Quellen aus der unmittelbaren „Heilig-Meer-Zone“ und lediglich im Osterholz/Aabauernschaft Hopsten wurden Feuersteinsplitter und -Kleinwerkzeuge einer unbestimmten, vermutlich neolithischen Zeitstellung gefunden (Archiv Landesmus. Vor- u. Frühgesch. Münster). Dem stehen auf den trockenen Standorten innerhalb des Tecklenburger Kreises zahlreiche prähistorische Bodenfunde gegenüber (KÖLKER 1936) und auch im Raum zwischen Ems und Hase zeugen zahlreiche Megalithgräber von der Existenz neolithischer Kulturen (KRAMM 1980).

In der **Bronzezeit** (1700-700 v.Chr.) führte die schrittweise, technische Verbesserung der Lebens- und Wirtschaftsformen nicht zuletzt zu einer Vermehrung der Bevölkerung, einer Siedlungsbelebung und der Intensivierung anthropogener Einflussnahmen auf die Landschaft (BURRICHTER 1969, OVERBECK 1975, KRAMM 1978, POTT 1985b, 1992b). Der Übergang erfolgte jedoch allmählich. Einerseits war er durch eine große Kontinuität im Siedlungsablauf gekennzeichnet, die sich insbesondere in der Ortsfestigkeit der Siedlungen über die Jahrtausende widerspiegelte. Davon zeugen nicht nur die zahlreichen Grab- und

Hortfunde aus dem Bersenbrücker Land und dem Osnabrücker Berg- und Hügelland (SCHLÜTER 1979), sondern auch die kontinuierlichen SAZ-Spektren regionaler Pollendigramme (SUDHOLZ 1964, SCHWAAR 1976, KRAMM 1978, WIERMANN & SCHULZE 1986, MOHR 1990, FREUND 1994, DIECKMANN 1998).

Die ersten Getreidepollen im Diagramm der „Meerbecke-Niederung“ weisen auf ein Ausdehnen der bronzezeitlichen Siedlungsflächen und ihr Heranrücken an die weiterhin geschlossene Wald- und Niederungslandschaft des Untersuchungsgebietes hin. So war der Epochenwechsel laut KRAMM (1972) bei zunehmender Besiedlungsdichte mit zahlreichen Siedlungsneugründungen verbunden, die zu einer Ausweitung des Altsiedellandes nun auch auf die trockeneren, nährstoffärmeren Geestinseln im Bereich der Talsande und Niederungen führten. Gemäß BURRICHTER (1969) ging die Siedlungsexpansion eventuell sogar mit einem ersten Vorstoß in die nährstoffreichen, frischen Talauen und späteren Eichen-Hainbuchen-Wälder einher. Archäologisch wird dies anhand der Urnengräberfelder bei Hopsten/Osterholz bzw. entlang der Hopstener Aa belegt (Archiv Landesmus. Vor- u. Frühgesch. Münster). Eine dreiteilige Siedlungsphase, wie sie KRAMM (1978) für das „Vinter Moor“ nachwies, ist in den lokalen Diagrammen nicht ausgeprägt, doch fällt das Siedlungsmaximum, in Korrelation mit KRAMM (1978), MOHR (1990) und FREUND (1994), wohl auf eine Zeit zwischen 1000 und 900 v.Chr. Unter den *Cerealia*-Pollen wurde neben dem *Triticum*-Typ auch Pollen des *Avena*-Typs gefunden. Nach WILLERDING (1969) ging der Anbau von Einkorn zugunsten von Emmer und Dinkel zurück und wurde eine beginnende Gerstenkultivierung seit der Frühbronzezeit bestätigt.

Abgesehen von der *Cerealia*- und *Plantago lanceolata*-Kurve weist vor allem ein Maximum der *Pteridium*-Kurve auf bronzezeitliche Brandrodungen zur Landgewinnung hin. Überhaupt gingen die prähistorischen Wirtschaftsweisen auf Kosten des Waldes. So wurden hofnahe Waldparzellen nicht nur als Bau- und Brennholzreservoir genutzt, sondern dienten darüber hinaus seit dem Neolithikum der Waldweide. Aufgrund einer lokalen Dominanz der Weide- und Trittszeiger (*Plantago*, *Rumex*, *Chenopodium*, *Calluna*, *Poaceae*) gegenüber den Kulturfrüchten kann in Übereinstimmung mit KRAMM (1978, 1980, 1981) und FREUND (1994) auch für das Untersuchungsgebiet auf eine beginnende, anthropozogene Durchlichtung der Wälder infolge extensiver Waldnutzung und bevorzugter Vieh- und Hudewirtschaft (Ziegen, Schafe, später Schweine und Rinder) geschlossen werden. Das *Poaceae/Cerealia*-Verhältnis von 10:1 bestätigt gemäß BURRICHTER (1969) die dominierende Viehwirtschaft im Umfeld des „Vinter Moores“ (KRAMM 1978). Im Pollenspektrum der „Meerbecke-Niederung“ weisen ferner *Corylus*, *Hedera* und *Rhamnus*, in der „Grundlosen Kuhle“ nach SCHLÜTER (1997) überdies auch von *Ilex* auf eine erste anthropozogene Auflichtung der regionalen Wälder hin. Auch das Krautpollenspektrum kennzeichnet eine Auflichtung der trockenen Wälder (*Asteraceae*, *Polypodium*, *Calluna*). Diese führte regional zu ersten kleinräumigen Verheidungen und Trifflflächen mit kurzrasigen Artenvergesellschaftungen (WATERBOLK 1954, KNÖRZER 1975, BEHRE 1981, BEHRE & KUCAN 1986, HÜPPE 1993, 1996).

#### 6.1.4.2 Lokale Besiedlung während der älteren Eisenzeit

Der Übergang zur älteren Eisenzeit (800-100 v.Chr.) im beginnenden Subatlantikum ist nach KRAMM (1978, 1981) lokal im „Vinter Moor“ sowie auch regional mit einer Siedlungsdepression verbunden, die in eine Zeit der erneuten Klimaverschlechterung fällt. Sie korreliert mit einer Zeit nahezu ohne archäologische Funde. Im weiteren Verlauf der eisenzeitlichen Epoche, die mit der Einführung einer neuen Metalltechnologie einen erneuten Einschnitt in der kulturgeschichtlichen Entwicklung brachte, kommt es während der Hallstatt-Periode im 7. und 6. vorchristlichen Jahrhundert zu einer erheblichen Siedlungsausweitung und Neulandgewinnung und schließlich mit dem Latène zu einer Siedlungsbefestigung durch ersten Wallanlagen.

War der Naturraum des „Heiligen Feldes“ bisher nur randlich von den Einflüssen des Menschen berührt, beginnt spätestens mit der älteren Eisenzeit auch im unmittelbaren Untersuchungsgebiet der Wandel von der Natur zur Kulturlandschaft. Korrelierend werden in dem Profil „Meerbecke-Niederung“ Indikatoren anthropogener Eingriffe registriert, die in ihrer Kombination auf eine eisenzeitliche Siedlungsphase hinweisen, wie sie auch in der „Grundlosen Kuhle“, im „Vinter Moor“ und der „Speller Dose“ pollenanalytisch nachgewiesen und auf 625 v.Chr. bzw. 400-200 v.Chr. datiert wurden (KRAMM 1978, SCHLÜTER 1997). Auch archäologisch ist die regionale, eisenzeitliche Besiedlung mehrfach belegt. Urnenfunde in der Mark Uffeln/Hof Berghaus, südöstlich des Untersuchungsgebietes, sowie Urnenfelder bei Schale, 10 km im Nordwesten (Archiv Landesmus. Vor- u. Frühgesch.), zeugen davon, dass die Menschen sich nun zu Dorfgemeinschaften zusammenschlossen. Diese hatten nach FREUND (1994) die Form lockerer, agrarischer Streusiedlungen, deren landwirtschaftlicher Schwerpunkt weiterhin auf Viehzucht mit Waldweide beruhte. In den untersuchten Diagrammen zeigt ein Pollenspektrum aus *Pteridium*, *Ilex* und andere Strauchpollen (*Hedera*, *Viburnum*, *Cornus*, *Sambucus ebulus*), *Ligulifloren*, *Fabaceae*, *Campanulaceae*, *Poaceae* und *Calluna* von der Fortsetzung der Hudetätigkeit innerhalb der regionalen Wälder.

Daneben ist nun auch die rückläufige Tendenz der *Alnus*- und *Fraxinus*-Kurve und der antagonistische Anstieg der *Betula*-Frequenzen als anthropogen zu bewerten („Meerbecke-Niederung“ u. „Grundlose Kuhle“). In Kombination mit einem steigenden Krautpollenspektrum aus lichtliebenden Arten feucht-nasser Standorte (*Apiaceae*, *Ranunculaceae*, *Rubiaceae*, *Filipendula* u.a. *Rosaceae*, *Scrophulariaceae*, *Hypericum*, *Lythrum*, *Epilobium*) weisen sie auf die Nutzung und Auflichtung der lokalen Niederungswälder hin. *Lythrum* erreicht in dieser Siedlungsphase ein absolutes Maximum von 1,5 % (Profil „Meerbecke-Niederung“). Sicherlich stammen diese Pollen von der Röhricht- und Feuchtwiesenart *Lythrum salicaria*, deren Auftreten nach CASPERS (1993) ein Indiz für eisenzeitliche Bruchwaldrodungen sind. Demnach galt das eisenzeitliche Interesse nicht nur der Waldweide-, Brenn- und Bauholz-Nutzung, sondern wohlmöglich auch einer ersten Raseneisenerz-Gewinnung. Zugleich belegen die Pollen eine Existenz erster Streuwiesen, die neben die Laubhain-Lohwiesen als Vorläufer der Mähwiesen traten. Als extensiv bewirtschaftete, ungedüngte Magerwiesen dienten sie zunächst weniger der Grasheu- als vielmehr der Streu-Gewinnung für die Viehställe. In der heutigen Vegetation würden sie nach LANG (1994) wohl den Gesellschaften des *Molinion* am nächsten kommen. Die Ausbreitung von *Rhamnus frangula* in der folgenden Siedlungsdepressionsphase kann demnach als Zeichen der sukzessiven Regeneration des Erlbruchwaldes innerhalb dieser Lichtungen gewertet werden. Das Eindringen in die Wälder der „Meerbecke-Niederung“ belegt schließlich die relative Siedlungsnähe und stimmt daher mit der allgemeinen Ausdehnung der eisenzeitlichen Siedelflächen an den Rand der Geestplatten, auf die nährstoffärmeren, pleistozänen Talsandplatten und schließlich mit den generell ersten Eingriffen in die Niederungen überein. Es korreliert ferner mit dem Fund eines Grabhügels auf der Flur des Bauern Hespeling, d.h. vermutlich der Existenz eines verstreuten Einzelgehöfts am Senkenrand des „Heiligen Feldes“ (Archiv Landesmus. Vor- u. Frühgesch. Münster). Demnach zählt der von Flugsanden bedeckte Geestkern nordöstlich bis nordwestlich des „Großen Heiligen Meeres“ zum alten, prähistorischen Siedelland, wobei die vorangegangene Entstehung des ersten Vorläufersees des „Großen Heiligen Meeres“ als Anziehungspunkt und Niederlassungsgrund womöglich eine wesentliche Rolle gespielt hat.

#### 6.1.4.3 Siedlungsperiode der jüngeren Eisenzeit

Nach einer jungeneisenzeitlichen Siedlungsdepression im zweiten und ersten Jahrhundert v. Chr. führte das Bevölkerungswachstum um die Zeitenwende zu einer jungeneisenzeitlichen Siedlungsexpansion, die in der „Germania occupata“ mit dem Wirtschafts- und Sied-

lungsaufschwung der Römischen Kaiserzeit (Chr. Geb.-375 n.Chr.) einherging. Im Untersuchungsgebiet, das innerhalb des Gebietes der „Germania libera“ lag und über zahlreiche Kontakte und Handelsbeziehungen zumindest indirekt am römischen Aufschwung teilhatte, änderten sich nach HILDEN (1995) zeitgleich, jedoch aus noch ungeklärter Ursache die Siedlungsstrukturen. Vermutlich ging das Ende der Urnenfriedhöfe, die Aufgabe der jahrtausendealten Siedelplätze und die Neugründung anderwärtig gelegener Siedlungen bereits mit den ersten Stammesbewegungen der beginnenden Völkerwanderung einher.

Auch für das Untersuchungsgebiet lässt sich im Bereich der „Grundlosen Kuhle“ eine solche Siedlungsneugründung belegen. Die Intensität des dortigen, jungeneisenzeitlichen Siedlungsmaximum erreicht, in Übereinstimmung mit der des „Vinter Moores“, bereits mittelalterliche Ausmaße. Sie ist mit einem Anstieg der *Plantago lanceolata*- und *Rumex*-Kurve auf 1 % und einer parallelen Zunahme der weiteren direkten und indirekten SAZ verknüpft (*Cerealia*, *Artemisia*, *Chenopodium*, *Pteridium*, *Urtica*, *Calluna*; SCHLÜTER 1997). Ferner fällt in diese Zeit der erste Nachweis von *Secale*-Pollenkörnern, sowohl für das „Heilige Feld“ (Profil „Meerbecke-Niederung“) als auch für die weitere Region. Diese absolute Pollengrenze des Roggens wurde regional mehrfach <sup>14</sup>C-datiert, so dass eine Fixierung der lokalen Besiedlung im Rahmen der regionalen, jungeneisenzeitlichen Siedlungsperiode am Nordwestabhang des Osnabrücker Hügellandes um die Zeitenwende möglich ist. Die Daten streuen von 60 v.Chr. ± 150 im „Weeser Moor“ bis 40 n.Chr. ± 60 und 120 n.Chr. ± 70 in der nahen „Speller Dose“ bzw. im „Vinter Moor“, während die kontinuierliche Besiedlung, entsprechend der empirischen Pollengrenze des Roggens auf ca. 200-250 n.Chr. datiert (KRAMM 1978, FREUND 1994). Allerdings fand noch kein ausgeprägter Roggenanbau statt, da u.a. die entsprechende Ackerbegleitflora (*Centaurea cyanus*) noch fehlte; doch ging mit der jungeneisenzeitlichen Siedlungsphase ein ackerbaulicher Wechsel von der Hackfrucht- zur Getreidekultur und der bodenfernen zur bodennahen Ernte einher. Ferner wurde nun vermutlich Feldgraswirtschaft betrieben.

#### 6.1.4.4 Waldregeneration während der Völkerwanderung

Die Epoche der Völkerwanderung während der ersten nachchristlichen Jahrhunderte war europaweit durch eine Fernwanderung der Völker und eine Umstrukturierung der Stämme gekennzeichnet. Während sie in großen Teilen Nordwestdeutschlands erst im 3./4. Jahrhundert begann und bis in das 6./7. Jh. währte, setzte sie im Untersuchungsgebiet nach dem sehr kurzphasigen, jungeneisenzeitlichen Siedlungsmaximum schon sehr früh ein und führte bereits im 2./3. Jahrhundert zu einem Bevölkerungsminimum. Siedlungsgeschichtlich ging die Völkerwanderung daher mit der Aufgabe zahlreicher, über jahrhundertlang konstanter Siedlungszellen einher. Während die dazu gehörigen Kulturländereien brachfielen, konnte sich im Gegenzug der Wald erneut ausbreiten und konnten sich im Zuge der allgemeinen Waldregeneration Buche und Hainbuche letztlich auch in der Ebene etablieren (KRAMM 1980).

Auch am „Großen Heiligen Meer“ zeigt sich, dass der Raum nie ganz siedlungsleer war, jedoch eine vergleichsweise siedlungsarme Periode aufwies, in der sich die Buchenmischwälder der Ebene formierten und auszubreiten begannen und den anthropogen geförderten Heliophyten *Corylus* erneut verdrängten. Dies stimmt mit den Ergebnissen aus dem „Weeser Moor“ überein, wo sich die Siedlungsentwicklung seit dem jungeneisenzeitlichen Maximum um 60 v.Chr. mehr oder weniger kontinuierlich fortsetzte, während zugleich der Wald regenerierte bzw. die Buche und Hainbuche eine maximale Ausbreitung erlangten (FREUND 1994). Parallel breiteten sich die lokalen Erlenbruchwälder auf Kosten lichter, birkenreicher Bruchwälder erneut aus. Siedlungsgeschichtlich ist nicht nur ein Rückgang der Siedlungs- und Kulturlflächen zu verzeichnen (*Plantago lanceolata*-Lücke und *Cerealia*-Minimum), sondern zugleich bei steigenden *Rumex*-Werten eine Zunahme

der Brachflächen. Dem Profil „Meerbecke-Niederung“ zufolge wird das Ende der sehr frühen, siedlungsarmen Zeit bereits gegen 268 n.Chr. datiert, als im nördlicheren Hahnenmoor der Aufbruch der Völker erst begann (255 n.Chr. ± 60; KRAMM 1978).

## 6.2 Entwicklung der historischen Kulturlandschaft

Das späte Subatlantikum (ca. 800/1200 bis heute, PZ XII<sup>NWD</sup>) begann mit den historischen Landnahmen, die sich mehr oder minder ausgeprägt in allen mitteleuropäischen und nordwestdeutschen Pollenspektren als deutlicher Einschnitt in den Kurvenverläufen widerspiegeln, wobei sich als Zeichen der anthropogenen Landschaftsöffnung insbesondere eine Verschiebung des BP/NBP-verhältnisses zugunsten der Nichtbaumpollen manifestiert (POTT 1997). Der Landnahmeprozess vollzog sich in mehreren Rodungsphasen, die landschaftlich je nach Siedlungsgeschehen und -intensität variierten. Seit der mittelalterlichen Siedlungsbelegung hielt der stetige Siedlungsausbau, lediglich von einer Stagnation während der spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Wüstungsphase unterbrochen, bis in die Gegenwart an (Anhang 10.1). Siedlungsneugründungen, erweiterte Kulturlandgewinnung und Extensivwirtschaft führten dabei zu einer zunehmenden Öffnung der Landschaft und trugen schließlich zur weitgehenden Zerstörung und Vernichtung der Waldökosysteme bei. Zugleich wurde die natürliche Vegetation nach und nach von anthropozoogenen Ersatzgesellschaften verdrängt, die sich vor allem in den Siedlungs- und Wirtschaftslandereien ausbreiteten. Nach POTT & HÜPPE (1991) folgte der anfänglichen Vegetationsbereicherung im Zuge der Extensivwirtschaft eine zunehmende, durch die neuzeitliche Intensivwirtschaft verstärkte Artenverarmung. Zusammenfassend tritt die anthropogen gesteuerte Entwicklung der historischen Kulturlandschaft, in Abhängigkeit von Kulturepochen und den sich wandelnden Wirtschaftsweisen, daher spätestens seit historischer Zeit gegenüber der natürlichen Landschaftsentwicklung in den absoluten Vordergrund (KRAMM 1980).

Lokal fällt dieser Schritt von der Natur- und prähistorischen Landschaft zur historischen Kulturlandschaft in etwa mit dem Erdfall des „Großen Heiligen Meeres“ während der Sachsenzeit zusammen (Kap. 4.3), so dass dessen Gewässerentwicklung chronologisch mit der Entwicklung der historischen Kulturlandschaft einhergeht (Profil „Großes Heiliges Meer“)

### 6.2.1 Frühhistorische Siedlungsbelegung

#### 6.2.1.1 Sächsische Landnahme (seit 450 n.Chr.)

In weiten Teilen der nordwestdeutschen Geest und des westlichen Weserberglandes lässt sich eine weitere Belegung des historischen Siedlungsgeschehens im Anschluss an die jungeneolithischen Siedlungsdepressionen mit der sächsischen Landnahme korrelieren (MÜLLER-WILLE 1960): So erreichte die Wanderbewegung der germanischen Stämme der chaci (Sachsen), die entlang der alten Fernwanderwege west- und südwestwärts vordrangen und die Stämme der Brukerer a.d. Ems, Sigamber a.d. Lippe und Cherusker a.d. Weser vertrieben, während des 5. Jh. die nordwestlichen Mittelgebirgsausläufer und die südliche Geest zwischen Hase und Ems. Zahlreiche auf „-trup“, „-trop“, „-drup“, „-dorf“ u.ä. endende Ortsnamen gehen auf sächsische Wehrhöfe zurück und zeugen von der Erschließung der Landschaft in einer Zeit, in der weite Regionen Nordwestdeutschlands und Westfalens noch als siedlungsleer galten (Anhang 10.1). In der folgenden friedlichen Siedlungsphase wurden Bauernschaften gegründet, die sich insbesondere auf die löß- und mergelreichen Böden des nördlichen bzw. südlichen Gebirgsrandes konzentrierten und deren Existenz siedlungsgeographisch durch die heutigen Ortschaften mit Endung „-hau-

sen“ belegt wird (NORDHOFF 1889, MÜLLER-WILLE & BERTELSMEIER 1983). Palynologischen Befunde innerhalb regionaler, frühhistorischer Pollenspektren bestätigen anhand der allmählich ansteigenden Kurven der Getreide- und siedlungsanzeigenden Pollen diese vormittelalterliche Landnahme und die bereits relativ dichte, altsächsische Besiedlung (KRAMM 1978, MOHR 1990, FREUND 1994).

In Übereinstimmung mit diesem regionalen Geschehen hebt sich auch in den Pollendiagrammen der „Meerbecke-Niederung“, der „Grundlosen Kuhle“ und des in dieser Zeit einbrechenden „Großen Heiligen Meeres“ eine frühhistorische Landnahmephase ab, die der sächsischen Siedlungsbelegung zugeordnet werden kann (Kap. 4.3). Vegetationsgeschichtlich wird das Untersuchungsgebiet allerdings nach wie vor durch den Fortbestand einer mehr oder minder geschlossenen **Laubwaldlandschaft** aus erlenreichen Niederungswäldern sowie eichendominierten Wäldern der Talsande und Geestkerne charakterisiert, in denen Hainbuche und Buche beginnen, sich massiv auszubreiten. Somit wird die siedlungsgeographische Grenzsituation der „Heilig-Meer-Zone“ zwischen den altsächsischen Gauen Venki, Threcviti und Bursibant bestätigt.

Lokal muss der Einbruch des „Großen Heiligen Meeres“ in das bereits vorhandene Flachwasser „Drevanameri“ demnach in einer ebenfalls zum großen Teil geschlossenen Waldlandschaft stattgefunden haben, deren **Erlenwälder** die ausgedehnten Niederungen und insbesondere die weite „Meerbecke-Niederung“ einnahmen. Darauf weisen sowohl die geologische Senkenlage und -morphologie der „Meerbecke-Niederung“ als auch das höhere, atlantische Alter der ufernahen Torfe, die Torfe an der Sedimentbasis des „Großen Heiligen Meeres“ sowie schließlich die hohen BP-Anteile von über 70 % in einem erlendominierten, helophytenreichen Pollenspektrum aus Röhrcharten, Nässezeigern und Hochstauden hin. Eine weitere Deutung des Namens „Drevanameri“ spricht nach LENGERICH (1906) gleichfalls für einen See („meri“) im Wald („drevana“).

Trotz allem zeugt der vormittelalterliche Anstieg der Siedlungsindikatoren in den drei Diagrammen von bereits sichtbaren Eingriffen der sächsischen Siedler in die Waldlandschaft: So muss der regionale Ackerbau der Sachsen eine gegenüber der Eisenzeit verstärkte Rolle gespielt haben: Entsprechend zeichnen sich leicht steigende *Cerealia*-Werte bis 0,45 % ab. Den pollenanalytischen Funden zufolge wurden vor allem Weizen (*Triticum*-Typ) und Hafer (*Avena*-Typ) angebaut. Die äquivalenten Anteile von Getreide- zu *Plantago lanceolata*- und *Rumex*-Pollen sprechen dabei nach FREUND (1994) für ein Fortbestehen des seit prähistorischen Zeiten existierenden **Wechsellandsystems** und der weiterhin vorrangigen Bedeutung der Viehzucht. Steigende Frequenzen des Weidezeigers *Calluna* sowie die relativ hohen Anteile der Brachezeiger *Pteridium*, *Artemisia*, *Chenopodium* und *Urtica* sind nach BEHRE (1961, 1969) weitere Indikatoren dieser dominierenden Feldgraswirtschaft, bei der kurzfristiger Ackerbau mit Halm- und Hackfrüchten und langfristiger Brache wechselten.

Aber auch **erster Roggenanbau** auf regionalen Eschfluren war bereits sehr wahrscheinlich, wenngleich er bei *Secale*-Werten unter 1 % wohl noch von untergeordneter Bedeutung war (KRAMM 1978, FREUND 1994). Doch erreicht die Roggenkurve im Pollenspektrum der „Meerbecke-Niederung“ bereits ihre rationelle Pollengrenze und das regelmäßige Auftreten von *Secale* in den beiden anderen Spektren, verbunden mit ersten *Centaurea cyanus*-Nachweisen, verweist nach KRAMM (1978) ebenfalls auf den ersten Roggenbau. Übereinstimmend datierte er denselben in der „Speller Dose“ anhand von Kornblumen-Pollenfunden auf eine Zeit nach 400 n.Chr. Zwar überdauerte das ursprünglich spätglaziale Florelement *Centaurea cyanus* nach IVERSEN (1947) und VAN DER HAMMEN (1951) lokal, doch entspricht ihr erneutes Auftauchen in der historischen Agrarlandschaft und synchron zum Roggenbau in Übereinstimmung mit FREUND (1994) ihrer Stellung als Kulturbegleiter. Für die Siedlungs- und Ackerstandorte der Sachsenzeit war der hydrologi-

sche Faktor ausschlaggebend, d.h. die Siedler ließen sich in Abhängigkeit von der Acker-  
gunst auf den trockeneren Standorten der Umgebung nieder, während sie die erlen- und  
eschenreichen Niederungen und Bachauen des Untersuchungsgebietes offensichtlich  
noch weitgehend mieden. Nach BURRICHTER (1969) und KRAMM (1978) konzentrierten  
sich ihre Siedlungen vor allem auf die besseren Böden und buchenfähigen Standorte, wie  
sie z.B. nördlich der Recker und Hopstener Aa zu finden waren. Übereinstimmend finden  
sich dort die Ursprünge der ältesten Bauernschaften der Region, deren urkundliche Nach-  
weise bis in das Frühmittelalter zurückgehen (PHILIPPI & BÄR 1892-1902).

Ein vielfältiges Spektrum einer heliophytischen, gras-, kraut- und strauchreichen Flora  
mit sich ausbreitender Besenheide und Birke bzw. Hasel und Stechpalme indiziert die  
zunehmende Bedeutung der **Hudewirtschaft** (Waldweide und Streunutzung), die im  
waldreichen Umfeld des „Großen Heiligen Meeres“ schon zu einer Lichtung und Über-  
formung der Eichen- bzw. Buchenwälder geführt haben muss. Sie bestätigt die nach wie  
vor dominierende Stellung der Viehzucht (Rinder, Schweine, Schafe, Pferde) und des sog.  
germanischen „Waldviehbauertums“ (MÜLLER-WILLE 1960) im Untersuchungsgebiet.  
Selbst in die Niederungswälder drangen Mensch und Tier hier ein und bewirkten deren  
zunehmende Lichtung und Verkrautung. Während dieser anthropogene Einfluss im Spek-  
trum des „Großen Heiligen Meeres“ noch von den gleichgerichteten Auswirkungen des  
Erdfallprozesses überlagert wird, zeichnet er sich in der „Meerbecke-Niederung“ und  
„Grundlosen Kuhle“ deutlich in einem Rückgang der Erle, Esche und Hainbuche sowie  
einer siedlungsparellen Ausbreitung von *Salix* sp., *Rhamnus frangula*, *Myrica gale*  
sowie von *Cyperaceae*, *Poaceae*, Hochstauden (*Apiaceae*, *Filipendula*) und Kräutern  
(*Achillea*, *Solidago*, *Ligulifloren*, *Ranunculaceae*, *Potentilla palustris*, *Rubiaceae*) feucht-  
nasser Niederungsstandorte ab. Korrelierend spiegeln sich auch im „Vinter Moor“ Aus-  
wirkungen einer anthropogenen Beeinflussung wider, die über die stark genutzten Sied-  
lungsgebiete potentieller Buchenstandorte hinaus die Feuchtgebiete erfasste. Die palyno-  
logischen Ergebnisse, insbesondere die absoluten Pollenfrequenzen der SAZ, untermau-  
ern daher einmal mehr den direkten Eingriff sächsischer Siedler nicht nur an der nordöst-  
lichen Grenze des Erdfallgebietes, sondern auch in das unmittelbare Umfeld des „Großen  
Heiligen Meeres“. Denn nach MÜLLER-WILLE (1960) befanden sich sowohl die Hude-  
wälder, in die das Vieh zur Sommerweide getrieben wurde, als auch die Laubhain-Loh-  
wiesen, auf denen das Winterfutter gewonnen wurde, in der Regel im unmittelbaren  
Umfeld der Siedlungen und hofnahen Kämpen. Möglicherweise haben sich die Einwir-  
kungen auf einen Einödhof im Bereich der Flur Hespeling zwischen „Großem“ und „Klei-  
nem Heiligen Meer“ konzentriert, die schon von prähistorischen Siedlern genutzt wurde  
(Kap. 6.1.4.2). Vom Grund Hespelings zieht sich eine vermutlich frühhistorische Wallan-  
lage (Rehage mdl.) entlang des sandigen Nordwestufers des „Großen Heiligen Meeres“,  
die sowohl als Landwehr an den dortigen Gaugrenzen fungiert haben mag als auch als  
Umfriedung der Hofkämpen mit Zugang zum Wasser, dieselben von der Gaumark abgren-  
zend, gedient haben könnte.

#### 6.2.1.2 Frühfränkische Landnahme (um 800 n.Chr.)

Das Mittelalter beginnt regional mit den frühfränkischen Landnahmen, die im Anschluß an  
die fränkisch-sächsischen Kriege nach der Niederlage der Sachsen unter der Führung von  
Widukind im 8./9. Jh. einsetzten. Diese Zeit der Christianisierung und Eingliederung der  
Sachsen in das Römisch-Deutsche Reich Karls d. Gr. ist historisch durch die Gründung  
zahlreicher regionaler Urfarren belegt, die um 800-814 n.Chr. entstanden und zugleich die  
Keimzellen frühmittelalterlicher Siedlungsneugründungen darstellten. Das dichte Netz  
dieser Ortschaften innerhalb der expandierenden Diözesen Münster und Osnabrück wird  
heute noch von Ortschaften mit der Endung „-büren“, „-brock“, „-beck“, „-loh“, „-lage“,  
„-horst“ und „-rode“ nachgezeichnet (DOLLE 1933, KÖLKER 1936; Anhang 10.1).

In Übereinstimmung mit den Pollenspektren der regionalen Diagramme kann der markante Abfall der BP- bzw. *Alnus*-Kurve und parallele Anstieg der SAZ, der *Secale*- und *Plantago lanceolata*-Kurve in beiden Spektren des „Großen Heiligen Meeres“ (811 cm) in den Zusammenhang der frühmittelalterlichen Landnahme und ersten mittelalterlichen Rodungsphase gestellt werden. Für das nahe „Weeser Moor“ datierte FREUND (1994) dieselbe, in Korrelation zu den historischen Befunden, auf 805 n.Chr. ± 115. Ihren Niederschlag fand die Landnahme dort ebenfalls in einem starken Rückgang der Erlenwerte sowie ferner einem markanten *Cerealia*-Peak, der sich gleichermaßen auch in der „Grundlosen Kuhle“ (SCHÜTER 1997) widerspiegelt. Palynologische Untersuchungen bestätigen, dass diese karolingische Landnahme nicht lokal begrenzt war, sondern Nordwestdeutschland zu Beginn des 9. Jahrhunderts weiträumig erfasste (SCHWAAR 1979, WIERMANN & SCHULZE 1986, FREUND 1994).

Landschaftlich charakterisieren die Pollenspektren jedoch den Fortbestand einer von Wäldern dominierten frühmittelalterlichen Region. Diese *Kontinuität des Waldbestandes* kommt palynologisch einerseits in der Beständigkeit eines hohen BP/NBP-Verhältnisses (um 70/30) mit hohen Buchen-, konstant hohen Eichenwerten und einem vergleichsweise geringen Anteil siedlungs- und ackerbauzeigender Pollen zum Ausdruck. So bestätigen die Untersuchungen die archivarische Überlieferung eines regionalen Forstbannes, d.h. die Lage des „Drevanameri“ an der Nord-/Nordwest-Grenze eines sich ostwärts über das westliche Osnabrücker Hügelland erstreckenden, von Siedlungsgründungen weitgehend ausgenommenen Bannwaldes, der unter Karl dem Großen und Bischof Wiho von Osnabrück 804 erstmals beurkundet ist. Während diese erste Urkunde wohl gefälscht ist, wird ihr Inhalt, der bischöfliche und landesherrliche Waldbesitz, durch weitere Belege der Bannerneuerung unter Otto I. 965 und verschiedenen Habsburgern im 11. Jahrhundert (letztmalig 1057) verifiziert (ERHARD 1847, PHILIPPI 1892-1902, BRANDI 1900, MOHRMANN & PABST 1990).

Waldgeschichtlich wurde das Untersuchungsgebiet von der **Buche** charakterisiert, die im Verlauf der frühmittelalterlichen Siedlungsphase ihre optimale Ausbreitung erreichte. So erlangen die korrelierten *Fagus*-Maxima der untersuchten Pollendiagramme ihre höchsten Pollenwerte von bis zu 22,7 %, Profil „Großes Heiliges Meer“ (18 % „Grundlose Kuhle“, 4 % „Meerbecke-Niederung“). Nachweislich fand die Buchenausbreitung auch im übrigen nordwestdeutschen Flachland zumeist erst in den nachchristlichen Jahrhunderten, d.h. während der Völkerwanderung bis hinein in die Zeit der frühmittelalterlichen Landnahme, ihren Höhepunkt. Das Optimum innerhalb der „Heilig-Meer-Zone“ lässt sich in den Zeitraum der Buchenkulmination in den benachbarten Mooren „Speller Dose“ und „Vinter Moor“ einreihen, die auf die Wende Sachsenzeit zu Frühmittelalter datiert wurde (KRAMM 1978; Kap. 4.3). Generell nahm *Fagus* dabei in Zeiten der Siedlungsdepression spontan brach liegende Flächen ein oder die Ausbreitung wurde im Rahmen der historischen Landschaftsöffnung kurzfristig anthropogen gefördert, bevor die Buche dann dem wachsenden Bevölkerungsdruck, d.h. der weiträumigen Siedlungsexpansion zum Opfer fiel. Im Untersuchungsgebiet lässt sich dabei sowohl eine Verknüpfung zur allgemeinen Waldregeneration während der Sachsenkriege herstellen als auch eine erneute Verbindung zur regionalen Forstbann-Situation schlagen, die der Buche in Zeiten der großräumigen Siedlungsnahme eine optimale Ausbreitung ermöglichte. Noch heute erstreckt sich das potentielle Wuchsgebiet von Buchenwäldern über das einstige Banngebiet des westlichen Osnabrücker Hügellandes. Bei Frequenzen von weit über 10 % war *Fagus* nach FAEGRI & IVERSEN (1989) aber auch stark am lokalen Waldbild beteiligt; dass sie im Pollenspektrum des „Großen Heiligen Meeres“ trotz ihrer relativ schwachen Pollenproduktion kurzfristig sogar über den zurückweichenden *Quercus* dominierte, zeigt, dass die Buche über die Mittelgebirge hinaus auch die Wälder der Ebene mit aufgebaut haben muss. Auch die Ausbreitung von Fingerhut- und Weidenröschen-reichen Schlagfluren (Einzelpollennachweise) spricht für eine einstmals größere Fläche der Buchenwaldbereiche und damit eine

stärkere Konzentration siedlungsattraktiver Standorte auch innerhalb der Ebene. So setzte sich im Untersuchungsgebiet jenseits der Banngrenze, d.h. nördlich und westlich des Erdfallgebietes, die in der Sachsenzeit begonnene Siedlungsexpansion und hudebedingte Landschaftsöffnung fort. Ackerbaulich trat neben die Feldgraswirtschaft, entsprechend den steigenden *Secale*-Frequenzen (1,6 %, Profil „Großes Heiliges Meer“), mehr und mehr die Bewirtschaftung von Dauerland mit Roggenbau.

Der palynologisch markante Abfall der Erlenfrequenzen wurde auch in den benachbarten Naturräumen registriert und kann nach FREUND (1994) wohl als überregionaler Einschnitt in der Kulturlandschaftsentwicklung gewertet werden. Er belegt die erstmalige Ausweitung der anthropogenen **Übergriffe auf die lokalen Feucht- und Bruchwälder** der Niederungen. Zeitlich lassen sich die Eingriffe jedoch kaum fassen, da Rodungszeitpunkt, Dauer und Intensität der Erlenwald-Nutzung sehr stark variieren und sich wohl am ehesten mit der ganz lokalen Siedlungsentwicklung und der naturraumabhängigen Dominanz von Ackerbau bzw. Viehzucht korrelieren lassen. Für das westliche Weserbergland und das Nettelstedter Moor/Wiehengebirge datierten WIERMANN & SCHULZE (1986), FREUND (1994) bzw. DIECKMANN (1998) sie dennoch übereinstimmend auf die Karolingerzeit. Und auch am „Großen Heiligen Meer“ gewinnt der Eingriff in die Erlenwälder und vor allem das Vordringen des Menschen bis an das Gewässer im Frühmittelalter an Bedeutung. Wurden die ganz lokalen Ereignisse in der Sachsenzeit noch von den Auswirkungen des Erdfalls dominiert, so sprechen Koinzidenz von Siedlungsgeschehen und Bruchwaldlichtung während der frühmittelalterlichen Rodungsphase eindeutig für eine menschliche Einflussnahme. Die Rodung der örtlichen Erlenwälder, die mit dem Absinken der Erlenkurve von 70 auf 40-50 % (limnisches Profil „Großes Heiliges Meer“) bzw. 60 % (semiterrestrisches Profil „Meerbecke-Niederung“) verbunden ist, führte dabei bereits zu einer Öffnung der Uferwälder des Sees, wie sie bis hinein in das Hochmittelalter beibehalten wird.

Die mosaikartig in die Wälder eingestreuten Lichtungen wurden jetzt von eutraphenten Hochstaudenfluren mit *Filipendula ulmaria* (absolutes Maximum von 0,8 %), *Apiaceae*, wie z.B. *Heracleum sphondylium*, *Angelica sylvestris* oder *Anthriscus sylvestris*, *Cirsium* sp., *Valeriana officinalis* und *Lythrum salicaria* geprägt. Zudem kennzeichneten erste, krautreiche Streuwiesen das Wirken des Menschen (*Achillea*, *Ranunculus flammula*, *Potentilla palustris*, *Scrophulariaceae*, *Rubiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Scabiosa*, *Plantago major/media* u.a.m.). Diese Streuwiesen traten in Übereinstimmung mit SPEIER (1996) als erste Formen einer extensiven Wiesen- und Grünlandwirtschaft verstärkt neben die traditionellen Formen der Viehzucht, die auf der Hude- und Scheitelwirtschaft (Laubheufütterung) basierten. Die Ausbreitung von *Salix* sp., die in der Regel mit anthropozoogenen Standortveränderungen infolge von Weidewirtschaft (FREUND 1994) oder mit der Kopf- und Stockholznutzung verbunden (POTT 1989b) wird, ist hier allerdings wohl primär auf die natürliche Verlandungssukzession des jungen Erdfallgewässers zurückzuführen. Gleichmaßen breiteten sich auch faulbaum- und gabelreiche Bestände bzw. *Sphagnen*-reiche Birkenwälder in sukzessiver Regeneration am Erdfallufer aus (Kap. 7.1.2ff.).

Zusammenfassend sprechen Erlen- und SAZ-Frequenz für eine fortgeschrittene Landschaftsöffnung und menschliche Aktivität im Umfeld des Gewässers, die bereits den Ausmaßen glich, wie sie nach der Wüstungsperiode im 17./18. Jh. erreicht wurden. So könnten diese Untersuchungen die Existenz des Hofes „Thanculashuthi“ bzw. „Thancolsbes-huth“ im 9./10. Jh. untermauern und die Ausführungen DOLLES (1933) bestätigen, der den abgabepflichtigen Hof des Patronatsklosters Werden in die „Heilig-Meer-Zone“ und unmittelbare südöstliche Seeumgebung (heutiges „Erdfallsee“-Gebiet) verlegt. Siedlungsplatz könnte in Fortsetzung prähistorischer und sächsischer Siedlung aber auch das Gelände des heutigen Hofes Hespeling gewesen sein, das auch ackergünstige Fluren

umfasst. Jedenfalls ging die nach dem Heberegister zu urteilende, große Leistungsfähigkeit des Hofes „Thanculashuthi“ auf den hier nachgewiesenen, frühesten Roggenbau auf Dauerland zurück, das sicherlich über den trockenen Flugsandböden des „Heiligen Feldes“ lokalisiert war. Im übrigen decken sich die vorliegenden Ergebnissen mit den zunehmenden regionalen Archivalien karolingischer Siedlungen, u.a. der nahen Bauernschaft Staden im Raum Hopsten (PHILIPPI & BÄR 1892-1902).

## 6.2.2 Extensive Kulturlandschaft des Hoch- und Spätmittelalters

### 6.2.2.1 Hochmittelalterliche Rodungsphase (10./11. Jh.)

Mit der Herrschaft der Ottonen bzw. Sachsen im 10./11. Jahrhundert, die mit der Entwicklung des Adels und Lehnswesens und der Ausbildung der Stammeshertzogtümer und Grafschaften, d.h. regional dem Herzogtum Sachsen und der Grafschaft Tecklenburg, verbunden ist, setzt erneut eine großräumige Siedlungsnahme ein, auf die nicht nur die Ortschaften Mettingen, Riesenbeck und Halverde zurückgehen, sondern die gegen Ende des 11. Jh. auch mit dem Zusammenschluss einer regionalen, bäuerlichen Markgenossenschaft verbunden ist (HOPSTER 1974, RODE & EBLAGE 1994; Anhang 10.1). Palynologisch ist diese hochmittelalterliche Rodungsphase mehrfach erfasst und datiert worden, unter anderem in der „Speller Dose“ (920±45, KRAMM 1978), im „Belmer Bruch“ (930±60, FREUND 1994), im „Moor am Furlbach“ (950±55, HÜPPE et al. 1989) und im „Vinter Moor“ (995±60, KRAMM 1978). Den rapiden Veränderungen in diesen regionalen Pollenspektren zufolge, muss die Besiedlung im Untersuchungsgebiet und in weiten Teilen der Plantlünner Sandebene und des Wiehengebirges bereits eine große Intensität und Dichte angenommen haben.

Synchron zu diesen regionalen Pollendiagrammen wurde diese ottonische Landnahme und Rodungsphase zwischen 900 und 1000 n.Chr. an einem deutlichen Einschnitt im gesamten Pollenspektrum des „Großen Heiligen Meeres“ wie auch der „Meerbecke-Niederung“ und nach SCHLÜTER (1997) der „Grundlosen Kuhle“ fixiert (Abb. 15). Hinter dem markanten Abfall der BP-Anteile von 75 % auf 53 % (Ø 61 %, „Großes Heiliges Meer“) und einer verstärkten Siedlungsindikation verbirgt sich nunmehr die endgültige Öffnung zur historischen Kulturlandschaft, an der nach HESMER & SCHRÖDER (1963) die Grenze von der natürlichen „Urwaldzeit“ zur anthropogenen „Waldverwüstungszeit“ zu ziehen ist und nach Overbeck (1975) die vegetationsgeschichtliche Grenze zum Späten Subatlantikum (1000 bis heute, PZ XII<sup>NWD</sup>) angesetzt wird.

Obwohl der fortgesetzte Roggenbau nun durch das roggengleitende Ackerkraut *Scleranthus* indiziert wird, dominierte bei vorrangig steigenden *Plantago*- und *Rumex*-, *Artemisia*- und *Chenopodium*- sowie *Pteridium*-Frequenzen weiterhin die Wechselwirtschaft, d.h. die Viehzucht behielt ihren primären, landwirtschaftlichen Rang. Gleichermaßen zeichnen sich, abgesehen von allgemeinen, zunehmend vegetationsdynamische Prozesse im lokalen Grenz-, Bann- und Markenwaldgebiet ab, die auf eine Überformung der Buchenmisch-, Eichen- und Erlenwälder durch **Schneitel- und Hudewirtschaft** verweisen (BURRICHTER et al 1980, POTT 1983b, POTT & HÜPPE 1991; Abb. 20): Indikatoren der Schneitelwirtschaft sind insbesondere *Carpinus* und *Fraxinus*. Im Gegensatz zur stark abfallenden Erlen-, stetig fallenden Buchenkurve und dem allgemeinen Rückgang der meisten BP können sowohl die Hainbuchen- als auch die Eschenkurve ihre Werte mehr oder minder durch den Verlauf des Mittelalters halten. Beide Arten, die der Holz- und Laubstregengewinnung dienen, sind sehr regenerationsstark, wurden nach BURRICHTER & POTT (1983), POTT (1984) insbesondere durch die Schneitelung gefördert. Dem hudebedingten Rückgang der Waldbildner (insbesondere *Alnus*, *Quercus* und *Fagus*) steht die Ausbreitung der jeweils bodenständigen Pionier- und Lichtgehölze *Betula* (-25 %),

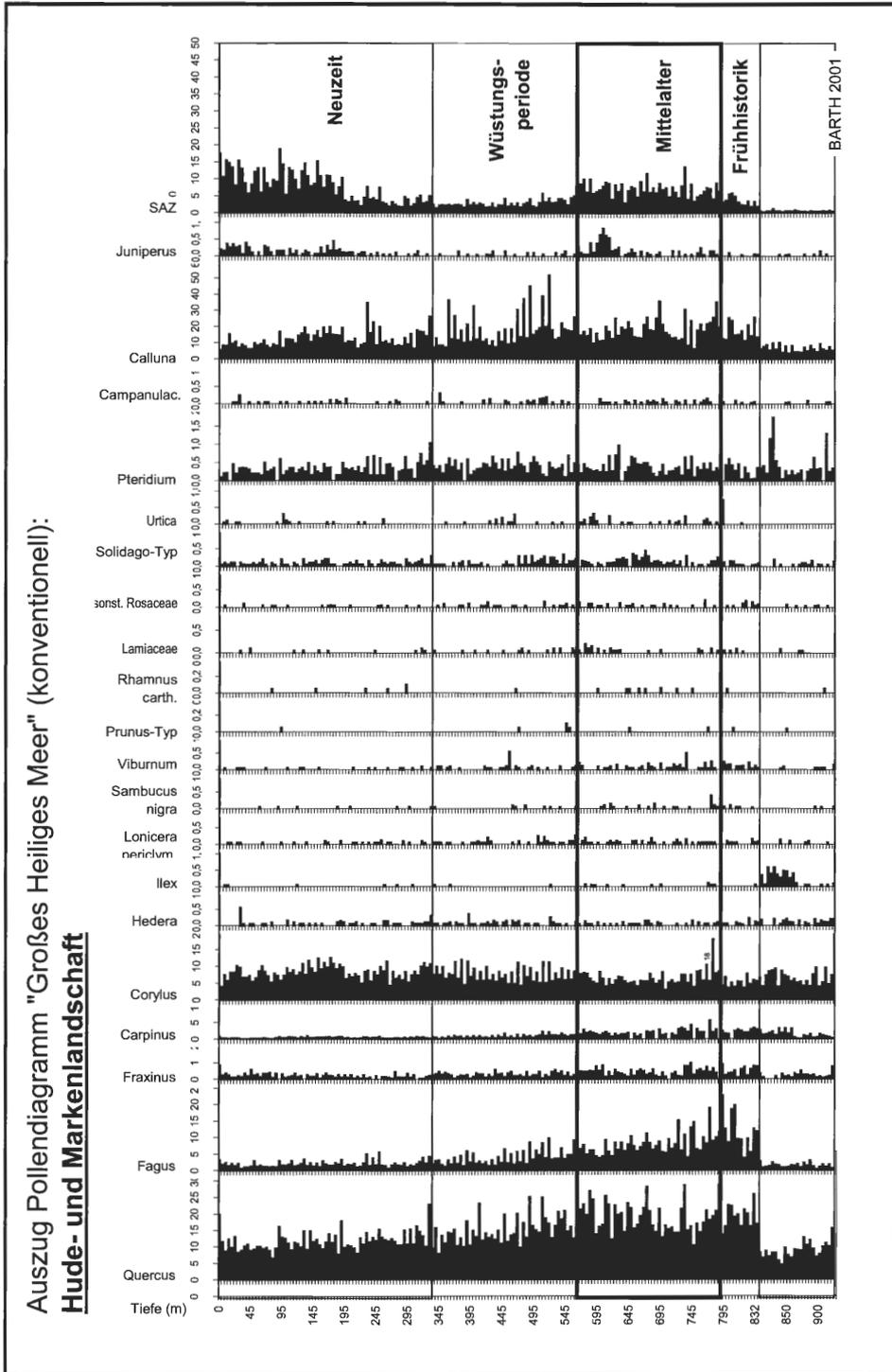


Abb. 20: Mittelalterliche Hudelandschaft des USG (Pollenteildiagramm „Großes Heiliges Meer“).

*Rhamnus frangula*, *Myrica gale*, *Humulus lupulus* und *Corylus avellana* gegenüber. Die Nachweise von *Lonicera*, *Juniperus*, *Rhamnus carthaticus*, *Hedera*, *Viburnum*, *Sambucus*, *Cornus*, *Prunus* und *Ilex* spiegeln zugleich die Ausbreitung verbissresistenter, d.h. stachelig, pelzig oder bitterer Straucharten wider, und auch *Solidago*, *Urtica* und die Farne *Polypodium* und *Pteridium aquilinum* gelten als typische Hudezeiger. Der zunehmenden Landschaftsöffnung entspricht darüber hinaus die erste, geringfügige Zunahme des *Pinus*-Pollen („Sekundäranstieg“ mit bis zu 10 %) sowie die parallel steigenden *Filices*-Sporenwerte. Den hohen *Calluna*-Frequenzen (-32 %) und den *Campanula*- bzw. sonstigen *Ericaceae*-Nachweisen zufolge prägten bereits ausgedehnte trockene und feuchte Heidedriften, die zur Schafweide genutzt wurden, die regionale Landschaft. Eine großräumigen Walddegradation mit massiven Flugstaub-Einwehungen, wie sie in den regionalen Hochmooren beobachtet wurden (KRAMM 1978) und gleichfalls auf offene Böden innerhalb der mittelalterlichen Kulturlandschaft hindeuten, konnten in den limnischen Sedimenten und semiterrestrischen Bruchwaldtorfen des Untersuchungsgebietes nicht registriert werden. Zusammenfassend verweist die Verschiebung des BP/NBP-Verhältnis jedoch darauf, dass das „Große Heilige Meer“ und seine Wälder am Rande des landesherrlichen Bannwaldes bereits stark gelichtet und dezimiert waren. Auch wenn regionale Pollenanalysen parallel den Fortbestand des Bannwaldes als landesherrliches Jagdrevier und Rohstoffreservoir bestätigen und belegen, dass weite Bereiche der regionalen Abdachungszone und des Schafbergplateaus durch das gesamte Mittelalter hindurch von einer Mischwaldvegetation geprägt blieben, so charakterisieren sie doch zugleich das Bild einer waldreichen, anthropozoogen überformten Hudelandschaft, die der Bevölkerung über eine durch das Bannrecht geregelte Nutzung zugänglich war (KRAMM 1978, FREUND 1994). Neben den landesherrlichen Wäldern wurden die weitaus größten Flächen des Untersuchungsgebietes bereits von der sogenannten Mark eingenommen, die einer weiten mosaikartigen Parklandschaft aus Wäldern glich, die sich über Mäntel und Säume zu Triften öffneten und zunehmend von Heiden, aber auch Grünland und sumpfigem Ödland durchsetzt waren. Diese Mark unterlag nach POTT & HÜPPE (1991) der gemeinschaftlichen Nutzung durch die Mitglieder einer Bauernschaft, wobei das Gewohnheitsrecht der Markennutzung RODE & EBLAGE (1994) zufolge auch im Untersuchungsgebiet seit dem 11. Jahrhundert durch eine geregelte Wald- und Heidenutzung im Rahmen der Markgenossenschaft abgelöst wurde. Dieser Hölting bestimmte bis hinein ins Spätmittelalter Mengen und Zeiten der Markennutzung, die neben Bau- und Brennholzwirtschaft (Niederwaldwirtschaft), Jagd und Hudewirtschaft (Schweinemast, Rinderweide), Streunutzung und Plaggenhieb auch Schafweide, Torf-/Suddenstich und Raseneisenerz-Gewinnung umfasste. Hinzu kam die Nutzung des sonstigen Gemeinbesitzes, d.h. unter anderem das Fischen und die Entenjagd in den gemeinschaftlichen Gewässern oder die Nutzung der regionalen Bodenschätze.

Die erhöhten Haselwerte, die im Zuge dieser hochmittelalterlichen Landnahme ihr absolutes, historisches Maximum von 19 % erreichen, sind dabei nicht nur als Zeiger regionaler Waldweidewirtschaft zu deuten, sondern unterstützten darüber hinaus die Annahme der einstigen sehr viel großräumigeren Ausdehnung anspruchsvollerer Vegetation im Untersuchungsgebiet. Entsprechendes gilt auch für die mittelalterlichen Frequenzen von *Ilex*, *Viburnum*, *Cornus*, *Prunus* und *Sambucus ebulus*, die in Verbindung mit den relativ hohen *Fagus*- und *Carpinus*-Werten von einer einst sehr viel weiteren Verbreitung der Buchenmischwälder zeugen, als es die heutigen potentiellen Standorte vermuten lassen. Nach POTT (1990) kann *Ilex*, von dem bereits Einzelpollennachweise von einer lokalen Präsenz zeugen, als arealgeographischer Indikator potentieller *Fagion*-Regionen gewertet werden. Dies spricht wiederum für eine einstmals sehr viel wirtlichere und fruchtbarere Region, die erst im Laufe der Zeit durch extensive Nutzung zu der heutigen, potentiellen Birken-Eichenwald-Landschaft degradierte. Einerseits haben dabei standortverändernde Podsolierung und Bodenverschlechterung zu einem Rückgang der Buche und anderer

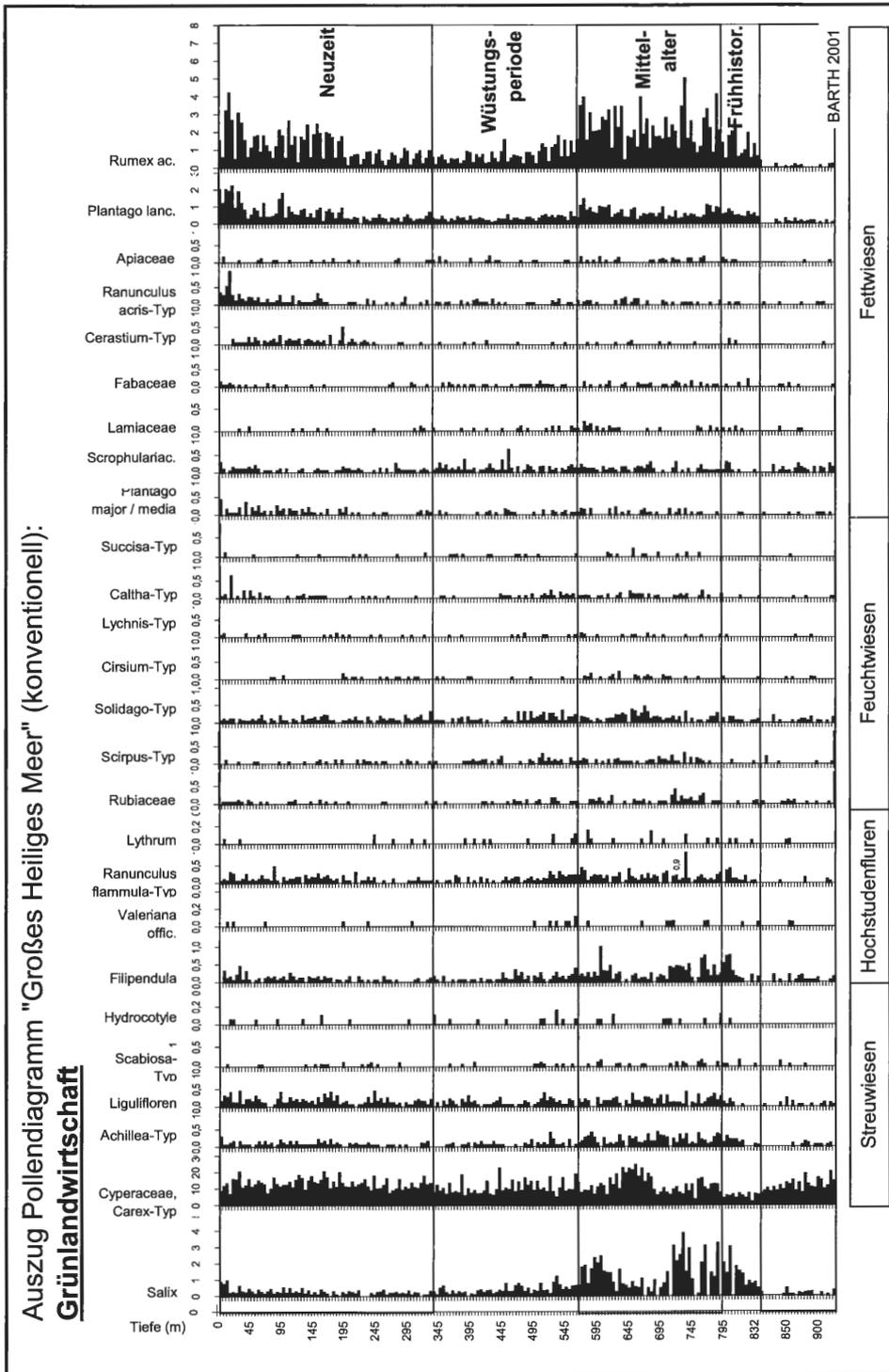


Abb. 21: Grünlandwirtschaft des USG (Pollenteildiagramm „Großes Heiliges Meer“).

anspruchsvollen Arten geführt, andererseits haben lokal sicherlich auch geogen bedingte Versumpfung einen Standortwandel herbeigeführt (Kap. 5). Reine Eichen-Hainbuchenwälder, entsprechend dem heutigen *Stellario-Carpinetum*, dürften anders als in der Münsterländer Bucht (BURRICHTER & HAMBLOCH 1958) allerdings recht selten und kleinräumig gewesen sein. Nach SCHWAAR (1977) entstanden sie primär anthropogen gefördert; die natürlichen Niederungen waren dagegen - wie auch die Senkungzone des „Heiligen Feldes“ - von Wäldern eines *Fraxino-Alnetum*-Typs bestockt, in denen *Carpinus* ebenso wie in den Buchenwäldern ein steter und häufiger Begleiter war.

In den Niederungen und am „Großen Heiligen Meer“ lichteten die Wälder zu einem kleinstrukturierten Mosaik aus Erlenwäldern und deren Ersatzgesellschaften (Abb. 21). Die hochstauden- und krautreichen Lichtungen weiteten sich je nach Standort zu seggen- und krautreichen Streu- oder Naßwiesen aus, in denen einerseits verstärkt *Achillea*, *Solidago*, *Ligulifloren*, *Lychnis*, *Scabiosa* und *Lamiaceae*, andererseits vor allem *Ranunculus flammula*, *Rubiaceae*, *Fabaceae* und *Scrophulariaceae* vertreten waren. Auch WILLERDING (1977, 1979b) und RYBNICEK & RYBNICKOVA (1979) verweisen anhand paläobotanischer Untersuchungen mit Samenfunden von *Angelica sylvestris*, *Betonica officinalis*, *Caltha palustris*, *Juncus conglomeratus*, *Lotus uliginosus*, *Scirpus sylvaticus* auf die Existenz solcher mittelalterlicher Wiesen und Weiden im Bereich von Feuchtstandorten. Hohe *Cyperaceae*-, *Filices*- sowie niedrige *Poaceae*-Frequenzen und das Artenspektrum aus perennierenden, hochwüchsigen Kräutern deuten dabei auf den relativ niedrigen Mäh- und Weidedruck dieser extensiven Grünlandwirtschaft des mittelalterlichen Untersuchungsgebietes. Übereinstimmend handelte es sich bei diesen mittelalterlichen, ein- bis wenigshürigen Streu- und Feuchtwiesen zunächst um kleine holzfrei gehaltene Bereiche, die in erster Linie der Stallstreu- und Heugewinnung dienten und höchstens in grundwasserferneren, trittfesteren Bereichen zur extensiven Vor- und Nachweide mitgenutzt wurden. Neben der Grünlandnutzung wurde die Öffnung der Niederungswälder durch einen Aufschwung der regionalen Raseneisenerzgewinnung und parallelen Holzköhlerei vorangetrieben, die seit dem 11. Jh. vom Kloster Corvey gefördert wurden.

#### 6.2.2.2 Hochmittelalterliche Siedlungsausweitung (12. Jh.)

Die weitere hochmittelalterliche Siedlungsentwicklung unter den Hohenstafern fällt zugleich in die Herrschaftsphase und Zeit der größten Machtentfaltung der Grafen von Tecklenburg. Infolge des mehr oder weniger kontinuierlichen Bevölkerungswachstums ist sie mit einer steten Siedlungsausweitung verknüpft, deren historische und siedlungsgeographische Fixpunkte in den zahlreichen romanischen Kirchenbauten und Dorfgründungen des 12. Jahrhunderts zu suchen sind. Ferner wurde der regionale Forstbann den historischen Quellen zufolge 1057 letztmalig als Ganzes erneuert, während das Gebiet im 12. Jh. aufgespalten und z.T. als Schenkungen und Lehngaben an die Vögte, d.h. die Grafen von Tecklenburg weitergegeben wurde, so dass die Siedlungsexpansion und der weitere landwirtschaftliche Aufschwung auch von landesherrlicher Seite gefördert wurde (PHILIPPI & BÄR 1892-1902; Anhang 10.1).

Am „Großen Heiligen Meer“ wird diese Siedlungsphase pollenanalytisch und in Korrelation zur Phase 2 von SCHROEDER (1956) durch ein weiteres Abfallen der Buchen- und Hainbuchen-, der Erlen- und Eichenkurve, einem antagonistischen Anstieg der Birkenkurve sowie vor allem dem erneuten Anstieg der Siedlungsindikatoren, der Roggenfrequenz und dem Einsetzen der *Centaurea cyanus*-Kurve charakterisiert. *Centaurea cyanus*, die im Untersuchungsgebiet bereits vereinzelt in der Sachsenzeit nachgewiesen wurde („Meerbecke-Niederung“ u. „Grundlose Kuhle“), gilt bei regelmäßigem Auftreten als palynologischer Zeitmarker des hochmittelalterlichen Siedlungsausbaus um 1200 n.Chr. (BEHRE 1980).

Im Agrarbereich indiziert das reguläre Erscheinen der Kornblume, verknüpft mit hohen *Secale*-Werten, den Beginn des großräumigen, sogenannten „Ewigen Roggenbaus“ (Abb. 22). Während erster Roggenbau im Untersuchungsgebiet, wie beschrieben, bereits seit der Sachsenzeit auftrat, erforderte erst die steigende Bevölkerungszahl des Hochmittelalters einen Wechsel von der bislang vorherrschenden Viehwirtschaft zur Dominanz des Getreidebaus. Fallende *Plantago*- und *Artemisia*-Frequenzen und steigende *Cerealia*-Werte unterstreichen den weitgehenden Fortfall der Brache und die weitgehende Ablösung der Wechsellandwirtschaft von der Dauerkultur des Roggens, die zur großräumig vorherrschenden Wirtschaftsform wurde. Zur Ertragssicherung wurden die verhältnismäßig armen Sandböden durch regelmäßige Plaggen düngung aufgewertet, so dass z.T. regelrecht uhrglasförmig aufgewölbte Ackerkomplexe, die sog. Eschfluren entstanden (BEHRE 1976. 1980). Die typischen Strukturen des Eschs und des Drubbels, unter dem nach MÜLLER-WILLE (1966) die charakteristische Siedlungsform der Geest zu verstehen ist, gaben der pleistozänen Sandlandschaft Nordwestdeutschlands seitdem ein ganz eigenes Gepräge. Die Höfe der anteiligen Bauern gruppierten sich unmittelbar um den in Langstreifenfluren untergliederten, jedoch unter Flurzwang in gemeinsamer Arbeit kultivierten

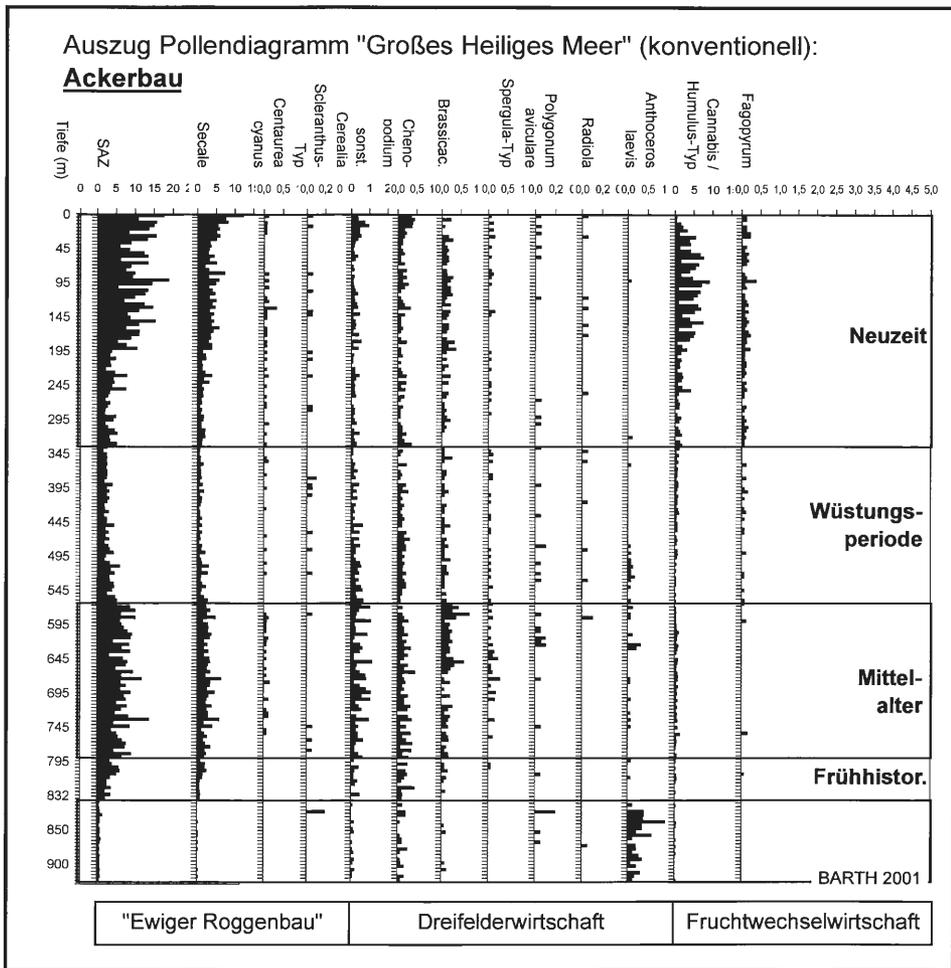


Abb. 22: Ackerbau im USG (Pollenteildiagramm „Großes Heiliges Meer“).

vierten Esch. Am „Großen Heiligen Meeres“ zeigen die im regionalen Vergleich relativ geringen Pollenfrequenzen von 5,7 bis 6,2 % *Secale cereale* während dieser hochmittelalterlichen Optimalphase des „Ewigen Roggenbaus“, dass die Eschfluren niemals in die unmittelbare Seeumgebung heranrückten. Dies korreliert mit der lokalen Bodenkarte (TK 25 3611/12 „Hopsten“ und „Ibbenbüren“), nach der die überhöhte Eschfluren in einiger Entfernung, auf den höher gelegenen Geestrücken bzw. Grundmoränen, d.h. in den Bereichen des Altsiedellandes und in Dorfnähe liegen. Noch heute heben sich die Reste des Rüschedorfer, Stadener und Stäert/Steier Esch aus der Landschaft hervor und die Kerne der ursprünglichen Bauernschaften Hopstens lassen nach HOPSTER (1974) noch die Anordnung typischer Drubbel erkennen. Auch bei Recke orientierte sich der mittelalterliche Ackerbau zunächst in südöstlicher Richtung an den Fuß des Schafberges, wo 1189 im Zusammenhang mit dem Pfarrgut „ecclesia rike“ erstmalig die Kornmühle „Königliche Ruwemühle“ urkundlich erwähnt wird (Gemeinde Recke 1989).

Entgegen der allgemeinen Siedlungsexpansion ist der Hof der „Heilig-Meer-Zone“, „Thancolsbeshuth“, in den Quellen des 12. Jh. (Heberegister Kloster Werden 1150) nicht mehr belegt. Die Aufgabe bzw. dessen eventuelle Verlagerung auf den Geestkern des heutigen Hopsten wurde vielfach mit dem Einbruch des „Großen Heiligen Meeres“ verknüpft (DOLLE 1933, SCHÜTTOFF 1971), kann im Rahmen der vorliegenden Ergebnisse jedoch höchstens in den Zusammenhang einer **Vernässung der Landschaft** und ersten Versumpfung der Nutzungsflächen im „Erdfallsee“-Gebiet gestellt werden. Nachweislich kam es jedenfalls zu einer Versumpfung der seggenreichen Streuwiesen (Rückgang der *Cyperaceae*, Ausbreitung der *Apiaceae*, *Rubiaceae*, i.e. *Galium palustre* und *G. uliginosum*) und ihrer Einengung durch *Scirpus sylvatica*-Fluren (*Scirpus*-Pollentyp), *Salix*-Gebüsch und lokal regenerierenden Erlenwäldern sowie zu einer Verdrängung von *Calluna*-Heiden bei gleichzeitiger Ausdehnung der *Erica*-Heiden (alle drei lokalen Profile).

### 6.2.2.3 Hochmittelalterlicher Siedlungsausbau (13. Jh.)

Der hochmittelalterliche Siedlungsausbau des 13. Jahrhunderts ist erneut mit der Gründung zahlreicher Ortschaften und Klöster in der Plantlünner Sandebene verbunden (Anhang 10.1). Diese abermalige Siedlungsexpansion unter den Hohenstaufnern basierte zum einen auf der Immunität der Kirche und den Ordensgründungen, zum anderen auf der zunehmenden Stärkung des Feudalismus und der Entstehung des Niederen Adels, d.h. des Ritter- und Vasallentums. So entstanden die neuen Bauernschaften wie zuvor z.B. „ecclesia rike“ und „ecclesia stenbeke“ primär im Umfeld von Kirchen und Klöstern (z.B. Zisterzienserkloster Gravenhorst). Sie gingen aber auch, wie z.B. Hopsten, aus größeren Lehnshöfen der Dienstmänner und Ministerialen hervor, die aufgrund der Befreiung von Abgaben prosperieren und dem gemeinen Landvolk sowohl Arbeit geben als auch Schutz gewähren konnten (KÖLKER 1936, HOPSTER 1974).

Auch im „Heiligen Feld“ verstärkte sich die Intensität anthropogener Übergriffe abermals, d.h. das BP/NBP-Verhältnis verschiebt sich nach vorübergehendem, lokal bedingtem BP-Maximum erneut zu Gunsten der NBP. Der fortgesetzten Landschaftsöffnung in der Region, d.h. dem weiteren Rückgang des Wald- und Baumbestandes sowie der verstärkten Ausbreitung der Heiden (BP-Abfall, *Calluna*-Anstieg), entspricht dabei die erneute Überführung der Erlenwälder innerhalb der „Meerbecke-Niederung“ und an den Ufern des „Großen Heiligen Meeres“ (*Alnus*-Rückgang Profil „Großes Heiliges Meer“). Diese führten letztendlich auch zum Abbruch des Moorwachstums an der Lokation des Profils „Meerbecke-Niederung“. So schritt die Auflockerung des ehemaligen Bannforstes mit der Zahl von Siedlungs- und Rodunginseln, deren Existenz mit den Ortsnamen überliefert wurde (Bockraden = Buchenrodung, Hörstel = Insel „horst“ im Wald „lo“, Gravenhorst, Dreyerwalde, Ostenwalde), mehr und mehr voran, während Altsiedelgebiete bereits weitflächig waldfrei waren (Recke = langer Landstrich; LENGERICH 1906). Neben

der historischen Korrelation kann auch die Walnuss als palynologischer Indikator dieses Pollenhorizontes dienen. Als Kultursorte gelangte sie bereits mit den Römern nach Deutschland und ist seitdem in Form von Pollen- und Makrorestfunden insbesondere aus den römisch besetzten Gebieten (WILLERDING 1979a), aber auch aus Nordwestdeutschland (KUBITZKI 1961, KRAMM 1978, ISENBERG 1986, DIECKMANN 1998) belegt. Verstärkt wurde sie der Literatur zufolge jedoch erst seit 1250 angepflanzt (WILLERDING 1979a). Entsprechend stützten die hier gehäuften *Juglans regia*-Pollenfunde die chronologische Zuordnung zur späten hochmittelalterlichen Ausbauphase des 13. Jh.

Die mittelalterliche Agrarwirtschaft Nordwestdeutschlands kannte drei Formen der extensiven Ackerbestellung, die den vorliegenden Untersuchungen zufolge alle auch im Untersuchungsgebiet existierten (Abb. 22). Parallel zu dem weiterhin dominierenden „Ewigen Roggenanbau“ der Eschfluren (Optimum *Secale*- und *Centaurea cyanus*-Kurve) entwickelte sich auf günstigen Böden am Rande des Esches seit der Frankenzeit die **Dreifelderwirtschaft**, bei der ein Anbau von Wintergetreide, Sommergetreide oder Hackfrucht und Brache einander in regelmäßigem Rhythmus ablösten. Auch im Untersuchungsgebiet wurde die Feldgraswirtschaft auf Wechselland im späten Hochmittelalter zunehmend durch die Dreifelderwirtschaft abgelöst, wie die erhöhten *Cerealia*-Werte in Kombination mit regelmäßigen Nachweisen der Hackfrüchte Hopfen und Hanf zeigen. Während als Wintergetreide wiederum Roggen angebaut wurde, geben die übrigen *Cerealia* ein Bild von der Sommerfrucht: Es wurden hauptsächlich Pollen des *Triticum*-Typs gezählt, die zunächst wohl einen dominierenden Spelz-, später auch einen Weizenanbau erfassen. Zudem kam vereinzelt der Anbau von Hafer und seit dem 14. Jahrhundert verstärkt von Gerste hinzu, deren Kultivierung im Spätmittelalter einen Höhepunkt erreichte.

Hopfen und Hanf stehen im mittelalterlichen Pollenspektrum in einem Verhältnis von 1:1. Bei der Differenzierung wurden Größenmessungen und Mikroskulpturen berücksichtigt, die mit FREUND (1994) *Cannabis*-Pollen von  $> 20 \mu\text{m}$  Größe und einer punktierten Mikroskulptur von  $< 20 \mu\text{m}$  kleinen, psilaten *Humulus*-Pollen differenzieren. Die Hopfenpollen müssen von wilden Pflanzen stammen, da lediglich weibliche Pflanzen kultiviert werden, dennoch ist nach NORDHOFF (1889) der Hopfen im Gebiet auch als Kulturfrucht seit der Völkerwanderung belegt. Im Hochmittelalter muss er bereits eine größere Bedeutung gehabt haben, denn er wird im Herforder Abgabenverzeichnis von 1147 als abgabepflichtige Naturalie aufgeführt (HOPSTER 1974). Die regional hervorzuhebende Bedeutung des Hanfs (vgl. Kap. 6.2.4.2) zeigt sich schon im mittelalterlichen Spektrum des „Großen Heiligen Meeres“ sowie der „Grundlosen Kuhle“ und korreliert damit mit Nachweisen einer mittelalterlichen *Cannabis*-Kultivierung aus der „Speller Dose“ (KRAMM 1978, SCHLÜTER 1997). Auch nach ISENBERG (1979) wurde Hanf als Hackfrucht im regelmäßigen Rhythmus der mittelalterlichen Dreifelderwirtschaft kultiviert. In der „Grundlosen Kuhle“ erreichte der *Cannabis/Humulus*-Pollentyp, vertreten überwiegend durch die großen Pollenkörner des Hanfs, bereits sehr hohe Frequenzen von 5 % des BP im Hochmittelalter und 10 % im Spätmittelalter.

Pollen vom Typ *Spergula* erfassen u.a. das hackfruchtbegleitende Ackerkraut *Spergula arvensis*, die das Bild der Dreifelderwirtschaft ergänzt (BEHRE 1981). Über den mittelalterlichen Anbau des Sparks, *Spergula arvensis* ssp. *sativa*, der in jüngerer Zeit als Grünfutter und Zwischenfrucht verwendet wurde, ist dagegen noch wenig bekannt. Die relativ hohen Pollenwerte von 0,3 % könnten sich jedoch in die Liste gehäufter Pollen- und Samenfunde einreihen, die nach WILLERDING (1986) schon seit der jüngeren vorrömischen Eisenzeit, verstärkt in der Römischen Kaiserzeit und bis hinein ins Mittelalter auf eine Kultivierung von *Spergula arvensis* in Dänemark und vereinzelt in Deutschland hindeuten. Die Frequenzen der *Brassicaceae*, die an der Wende zum Spätmittelalter hohe Werte bis zu 0,7 % im „Großen Heiligen Meer“ bzw. bis 4 % im korrelierten Profil der „Grundlosen Kuhle“ (SCHLÜTER 1997) erreichen, unterstreicht schließlich die zunehmen-

de Bedeutung des Hackbaus innerhalb der Dreifelderwirtschaft. Die Familie der Kreuzblütler umfasst sowohl typische kulturbegleitende Arten als auch Feldfrüchte wie z.B. den Kohl, Rüben und Raps wurden dagegen erst in der Neuzeit eingeführt. Schließlich verbergen sich hinter deren Pollenkurve jedoch auch Arten des Grünlandes und der Sumpflvegetation (s.u.). Weitere Kulturfrüchte des Mittelalters, wie Lein, Bohnen und Erbsen konnten pollenanalytisch nicht nachgewiesen werden. *Linum usitatissimum*, der am „Heiligen Meer“ erst in den neuzeitlichen Horizonten des Profils auftaucht, wurde für das nahe „Vinter Moor“ allerdings schon seit der Sachsenzeit registriert und auch den historischen Quellen zufolge bereits im Mittelalter weiträumig angebaut (KRAMM 1978).

Das erneute Eingreifen des Menschen in die Niederungswälder des Erdfallgebietes äußert sich nicht nur in einer Einstellung des lokalen Moorbewuchses (Profil „Meerbecke-Niederung“), sondern auch in einem Rückgang der *Alnus*- und *Betula*-Frequenzen, Anstieg der *Salix*- und Vorschnellen der *Cyperaceae*-Werte im Seeprofil, die vor dem Hintergrund der Siedlungsindikation einen historischen Zusammenhang bestätigen und die spätere Dekapitierung des Profils als Abbruchursache ausschließen. Die erneute Zerstörung des Waldgürtels und die nunmehr ufernahe Bewirtschaftung gehen mit einem floristischen Wandel innerhalb der **Grünlandgesellschaften** einher, der in Übereinstimmung mit den Beobachtungen FREUNDS (1994) einerseits mit einem vermehrten Artenreichtum der Nasswiesen (*Caryophyllaceae*, *Brassicaceae* [z.B. *Rorippa* od. *Cardamine*], *Thalictrum*, *Succisa*, *Vicia*, *Potentilla palustris*) und andererseits mit dem Aufkommen tritt- und verbissresistenter Arten innerhalb der Feuchtwiesen verbunden ist (*Tubulifloren*, *Solidago*, *Cirsium*, *Caltha palustris*, *Ranunculus acris*-Typ, *Trifolium pratense*, *Plantago maior/media*). Letzteres ist nach KÖRBER-GROHNE (1991) und SPEIER (1996) als Indikation einer frühen Nachweide-Nutzung zu werten.

#### 6.2.2.4 Spätmittelalterliche Wüstungsperiode (13./14. Jh.)

Die spätmittelalterliche Wüstungsperiode begann bereits mit den Unruhen des Interregnums, wurde insbesondere aber durch den Fortgang der Tecklenburger Fehden zwischen den Grafen von Tecklenburg und den zunehmend erstarkenden Fürstbistümern Münster und Osnabrück während des 14. Jh. geprägt. Ihren Höhepunkt fand diese spätmittelalterliche Wüstungsperiode spätestens jedoch mit der verheerenden Großen Pest von 1348-1352, an der 1/5 der Bevölkerung zugrunde ging und in Folge zahlreiche Höfe verwahrlosten und weite Ländereien brach fielen.

Ein kurzfristiger Rückgang der Siedlungstätigkeit und eine Regeneration der Erlenwälder spiegelt diese spätmittelalterliche Wüstungszeit auch für das Gebiet des „Großen Heiligen Meeres“ wider. Während die *Secale*-Frequenzen relativ konstant blieben, fielen vor allem die *Cerealia*- und *Spergula*-Werte, als Zeichen, dass die Fluren randlich und außerhalb des Eschs und der Dörfer, die primär in Dreifelderwirtschaft bestellt wurden, als erstes brach fielen. Auch eine Einengung der *Calluna*-Heiden und Verdrängung der Wiesen durch aufkommende Wälder bestätigt, dass die siedlungsferneren Ländereien als erstes aufgegeben wurden. Insgesamt zeigt der im Vergleich zur Frühen Neuzeit nur geringfügige SAZ-Einbruch jedoch, dass im Zuge der spätmittelalterlichen Unruhen zwar eine deutliche Siedlungsdepression und erste Landflucht stattfand, es jedoch hier, wie den historischen Quellen nach auch im übrigen Westfalen, keine totalen Wüstungen gab.

#### 6.2.2.5 Spätmittelalterlicher Siedlungs- und Wirtschaftsaufschwung (14./15. Jh.)

Trotz der fortwährenden Unruhen wurde das weitere Spätmittelalter infolge des steten Bevölkerungswachstums von einem Ausbau der Siedlungen geprägt. In den permanent wachsenden Städten bildete sich nach und nach eine Bürgerschaft heraus, deren Inautarkie den zunehmenden Aufschwung des Handels und der Geldwirtschaft förderte, die durch den Orienthandel im Geleit der Kreuzzüge weiteren Vorschub erfuhren. So entstand

die reiche Gilde der Kaufleute, das Marktrecht der Städte, deren Zusammenschluss zu Städtebünden und der Hanse. Die Fernhandelswege wurden ausgebaut und regten nicht nur den Warenverkehr von Stadt zu Stadt, sondern auch den Austausch zwischen Stadt und Land an. So verzeichnete die Landwirtschaft einen erneuten Aufschwung und mit dem anhaltenden Wachstum der Landbevölkerung ging auch ein ländlicher Siedlungsausbau einher: Einerseits begann der Ausbau von Einzelhöfen zu Bauernschaften und im Zuge der unruhigen Zeit eine zunehmende Befestigung der Ortschaften und Höfe zu „Schutzburgen“ (mit Wällen und Palisadenzäunen), wie es auch für Hopsten überliefert ist (HOPSTER 1974). Diese „Burgen“ und „Festungen“ wuchsen zum Fundament und Mittelpunkt der öffentlichen, mittelalterlichen Ordnung heran. Andererseits bildeten sie einen Schutzkreis, aus dem auch zahlreiche Neuansiedlungen beurkundet sind. So entstand nach RODE & EBLAGE (1994) im Jahre 1350 auch die Neu- und Reihensiedlung Uffeln, die als jüngere Bauernschaft Ibbenbürens und Teil Püßelbürens aus Halberbenhöfen auf bischöflichem Grundherrensitz hervorging.

Das obere Pollenspektrum der „Grundlosen Kuhle“ zeugt nach SCHLÜTER (1997) ebenfalls von einem solchen spätmittelalterlichen Siedlungsausbau für die nordöstliche „Meerbecke-Niederung“: Entsprechend den hervorschießenden SAZ-Werten bis 72 % und *Secale*-Frequenzen bis 33 % rückten die Ackerflächen bis an den Niederungsrand vor, wobei sie sicherlich entlang der Uferwälle der Recker Aa lokalisiert waren, wo die mächtigen Eschfluren des Langenackers noch heute zu finden sind. Auch das weiterhin hohe Siedlungsspektrum (um 8 % SAZ, Profil „Großes Heiliges Meer“) verweist auf die fortgesetzte Bedeutung des „Ewigen Roggenbaus“ (*Secale*-Maximum, nahezu geschlossene *Centaurea cyanus*-Kurve) und auf die wachsende Stellung der „Dreifelderwirtschaft“ mit einem Wechsel von dominierenden Weizenanbau (steigende *Cerealialia*-Werte mit *Triticum*-Maximum, *Cannabis*-Maximum, *Papaver rhoeas*-Nachweis) und Hackbau (*Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Polygonum aviculare*) in einer geöffneten, extensiv genutzten Kulturlandschaft.

Daneben findet der spätmittelalterliche Landausbau seinen Niederschlag nicht zuletzt in der **Kultivierung des Buchweizens**, der mit einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen und einer ersten Urbarmachung der lokalen und regionalen Hoch- und Nieder-moorböden für den Ackerbau einhergeht. Nach KRAMM (1978) wurde *Fagopyrum esculentum* auch auf den Plaggeneschen, in einer Erweiterung der Dreifelderwirtschaft auf einen Sieben-Jahres-Wechsel, gesät. *Fagopyrum*-Werte von 2 % deuten jedoch auf eine Buchweizen-Kultivierung in unmittelbarer Nähe der „Grundlosen Kuhle“, d.h. außerhalb der Eschfluren und der Bauernschaft Recke hin. Dem entspricht auch ein *Pteridium*-Maximum (47 cm Profil der „Grundlosen Kuhle“), das auf eine Ausweitung des Siedlungslandes und Kultivierung über Brandrodung deutet. Schließlich spricht eine gleichzeitige Häufung von Ackerkräutern feuchter Standorte, *Radiola linoides* und *Anthoceros lanceolata* (Profil „Großes Heiliges Meer“), für einen entsprechenden Anbau der anspruchslosen Art in Hackfrucht- bzw. Brandkultur auf den lokalen Niedermoorböden. Als palynologischer Zeitmarker indiziert das regelmäßige Erscheinen von *Fagopyrum esculentum* eine Zeit um 1350-1450 n.Chr. Seit dieser Zeit ist der Anbau der *Polygonaceae*, die im 13.-14. Jahrhundert aus den Steppen- und Gebirgen Mittel- und Ostasiens über Venedig und schließlich Antwerpen und Amsterdam nach Nordwestdeutschland gelangt ist, vielfach pollen- und makrorestanalytisch, z.T. radiokarbonegestützt belegt (LOSERT 1953, BEHRE 1976a, b, KNÖRZER 1979, KÖRBER-GROHNE 1987, WILLERDING 1987, HOMANN et al.1995). Regional lässt sich die *Fagopyrum*-Kultivierung westlich Reckes mit dem Buchweizenanbau im „Vinter Moor“ östlich von Recke synchronisieren, wo KRAMM (1978) den Beginn der geschlossenen Buchweizenkurve auf 1430 ± 55 datierte. Die Siedlungsentwicklung im Umfeld der „Grundlosen Kuhle“ steht daher wohl im Zusammenhang mit der Siedlungsexpansion Reckes im 15. Jh., d.h. mit der Gründung der

Siedlung Recke-Twenhusen und dem Bau der Königlichen Hammermühle an der Recker Aa (Gemeinde Recke 1989).

Wenngleich sich die spätmittelalterliche Landschaft gegenüber der frühhistorischen Zeit bereits als deutlich geöffnet erweist, so ist sie im Vergleich zur wüstungs- und neuzeitlichen Gemarkung nach wie vor als walddreich zu bezeichnen. Dabei sind Buche und Hainbuche jedoch weiterhin deutlich im Rückgang begriffen und Buchenwälder (10 Pollen-%, Profil „Großes Heiliges Meer“) prägen wohl vor allem noch auf dem Schafbergplateau das Vegetationsbild. Die vielfältige (Aus)Nutzung bewirkte eine zunehmende, strukturelle und floristische Über- und Umformung der Wälder zugunsten von *Quercus*: So ist der Eichenanteil am „Großen Heiligen Meer“ gegenüber dem 10/11. Jh. sogar erhöht, denn bereits seit dem 12. Jh. wurde die Eiche der Pollenkurve nach regional gefördert, d.h. in erster Linie als Masteihe und Futterlieferant für die Schweinehaltung gepflanzt und gehegt. Auch im spätmittelalterlichen Profil der „Grundlosen Kuhle“ korreliert mit dem Rückgang der Buchenmischwälder (zurückgehende *Fagus*-Werte, vereinzelter Nachweis des Schlagflurindikators *Epilobium*) zunächst nicht nur eine lokale Ausbreitung der lichtliebenden Birke, sondern - entsprechend den kurzfristig enorm, von 15 auf 50 % steigenden *Quercus*-Frequenzen - auch eine vorübergehende Förderung der Eiche. Durch starke Ausholzung und Lohgewinnung wurden die Wälder hier in Eichen-Niederwälder überführt, die - den steigenden *Corylus*-Frequenzen bis 37 % zufolge - durch zunehmend verkürzte Umtriebszeiten wiederum zu Haselhainen degradierten. In Übereinstimmung mit diesen palynologischen Ergebnissen des Waldreichtums und der zunehmenden Niederwaldwirtschaft stehen erneut die siedlungsgeographischen Befunde: So entstand z.B. Uffeln in dieser Zeit, dessen Name „Siedlung am Wald“ bedeutet und nach versch. Autoren zit. n. RODE & EBLAGE (1994) sowohl „über einer walddreichen Niederung“ als auch „am Bergfuß, unterhalb des walddreichen Schafbergplateaus“ interpretiert werden kann. Die etymologische Deutung des Namens Dickenberg von althochdeutsch „dichi“, d.h. dicht, beschreibt das dortige undurchdringliche, durch dichten Wald unwegsame Gelände (vgl. den heutigen Begriff „Dickicht“; RODE & EBLAGE 1994).

Diese Formen erster walddwirtschaftlicher Maßnahmen verzögerten die Devastierung der Landschaft zwar noch ein wenig, trotz allem zeichnen sich in den palynologischen Ergebnissen doch zunehmend Indikatoren der unaufhaltsamen Landschaftsöffnung ab: Als Vertreter der sich ausweitenden anthropogenen Ersatzgesellschaften spiegelt ein markanter *Juniperus*-Peak die vorübergehende Ausbreitung eines lokalen Wacholderhains wider, der auf die nach wie vor relativ weite Ausbreitung potentieller *Lonicero-Fagetum*-Flächen innerhalb der mittelalterlichen Hudelandschaft hinweist, die erst im Laufe der Wüstungsperiode und Neuzeit zu *Betulo-Quercetum*-Standorten und der Ersatzgesellschaft der Trittweiden (*Poaceae*-Maximum) und *Calluna*-Heiden degradierte. Die Ausbreitung dieser spätmittelalterlichen Heiden korreliert mit der wachsenden, regionalen Bedeutung der Schafhaltung und Wollverarbeitung zu Tuchen, die Hopstens Einwohner bereits im Mittelalter zu wohlhabenden Tuchhändlern werden ließ (HOPSTER 1974)

Weiterhin ist die Siedlungsaktivität im Niederungsbereich der „Grundlosen Kuhle und der Recker Aa mit einer großflächigen Rodung der Bruchwälder verbunden (BP-Abfall von 80 auf 40 und schließlich 20-10 %, Erlen-Abfall auf unter 30 %, Seggenanstieg auf 234 %; SCHLÜTER 1997). Allerdings fielen die Flächen nach kurzfristiger Nutzung wieder brach. Wahrscheinlich wurden sie infolge der wüstungszeitlichen Unruhen sehr schnell wieder vernachlässigt; es kann aber anstelle der reinen Grünlandnutzung auch eine lokale Niedermoorerschließung zur Raseneisenerz-Gewinnung angenommen werden, nach deren Abgrabung sich sukzessiv weitflächige Gagelgebüsche ausbreiteten (Strauchpollen-Anstieg auf 70-80 % Ges.P bei 608 BP% *Myrica*) und das Gebiet von einer sumpfig-moorigen Ödlandschaft eingenommen wurde. Die lokale Nutzung von Raseneisenerzen konnte zwar erst für spätere Zeiten historisch konkretisiert werden, aber die Ausbeutung von

Bodenschätzen im Untersuchungsgebiet begann ganz allgemein in dieser Zeit, in der die anderen, lokal bedeutenden Rohstoffe erstmalig urkundlich erwähnt werden (RÖHRS 1985, RODE & EBLAGE 1994).

Unmittelbar am „Großen Heiligen Meeres“ wird der spätmittelalterliche Wirtschaftsaufschwung jedoch von den **Auswirkungen der Sekundärsenkung** überlagert (Kap. 5.3). Neben der geogen bedingten Verschiebung des *Alnus/Betula*-Verhältnisses mit niedrigen Erlenfrequenzen von 30 bis 40 % und dem senkungsbedingten Abfall der *Cyperaceae*-Kurve, sprechen fallende *Caltha*-, *Caryophyllaceae*-, *Fabaceae*-, *Ranunculus acris*-, *Solidago*- und *Succisa*-Frequenzen für eine Nutzungsaufgabe der lokalen Wiesen, die zu einer sukzessiven Ausbreitung der Sumpfelemente und Hochstaudenfluren führte (*Ranunculus flammula*, *Achillea*, *Potentilla palustris*, *Lamiaceae*, *Rubiaceae*, *Apiaceae*, *Filipendula*, *Scirpus*, *Valeriana officinalis*, *Urtica*; Abb. 21). Das fortgesetzte Ansteigen der Birkenkurve spiegelt im Zusammenhang mit den schwach zunehmenden Kurven der Heidearten *Erica*, *Empetrum* und *Vaccinium* die erneute Ausdehnung des Birkenmoorwaldes und die Ausbildung nasser, saurer Heidemoorgesellschaften (i.e. *Ericetum tetralicis*) wider (Profil GHM, MN vor Abbruch). Dem entspricht auch die Zunahme der *Sphagnum*-Sporen auf ihr absolutes Maximum. Als Indikatoren von Nährstoffarmut und Bodenversauerung deuten diese Arten bzw. Pflanzengesellschaften auf zunehmend ombrotrophe Bedingungen und eine initiale Übergangsmoorsituation hin, wie sie sich infolge langfristiger, anthropogener Lichtung und kurzfristig, geogener Vernässung ergab.

Trotz allem markieren steigende SAZ-Frequenzen und vor allem hohe *Plantago lanceolata*-Werte (-1,4 %) in Kombination mit Trittzeigern feuchter Standorte *Rhynchospora* und *Radiola* die fortdauernde Präsenz des Menschen am „Großen Heiligen Meer“. So ist aus dem 14. Jahrhundert erstmals ein Besitz am „Hagen in den Helligen Horst to Hopsten“ verbürgt, dessen Existenz sicherlich auf die zuvor beschriebenen, lokalen Eingriffe des 13. Jh. zurückgeht und neben der Bewirtschaftung zugleich von den Waldbeständen in unmittelbarer Nähe des „Großen Heiligen Meeres“ zeugt. Zweitens sind die spätmittelalterlichen Aktivitäten am „Heiligen Meer“ wohl auch in den Zusammenhang der Entstehung der landesherrlichen Domäne Uffeln zu stellen. Dessen Bauern übten nicht nur zunehmenden Einfluss auf das „Heilige Feld“ an der Gemarkungsgrenze zu Hopsten aus, sondern wirtschafteten vermutlich auch am „Großen Heiligen Meer“, als dessen Nutzer sie in späteren Zeiten mehrfach dokumentiert sind (SCHO 1966).

### 6.2.3 Regionale Landschaftsverödung und lokale Waldregeneration während der Wüstungsperiode

#### 6.2.3.1 Wüstung an der Zeitenwende (15./16.Jh.)

Mit dem erneuten Erstarken der Habsburger seit 1438 und der sinkenden Macht der Tecklenburger, die zunehmend als Raubgrafen danach strebten, ihren verstreuten Besitz zu einem geschlossenen Territorium zu vereinigen, wurde das Untersuchungsgebiet im 15. Jahrhundert erneut zu einem heftig umstrittenen und von allgemein anschwellender Gewalt heimgesuchten Land. Während der Reformationszeit, als das Kirchspiel Schapen mit den Tecklenburgern protestantisch wird (1525), Hopsten aber mit Münster und Osnabrück katholisch bleibt (1541), setzten sich diese Tecklenburger Fehden als Religionsstreit und Glaubenskriege fort. Abgesehen von den fürstlichen Machtkämpfen setzten gegen die Zeitenwende zudem Bürger- und Bauernaufstände ein, die allmählich zu einer nachhaltigen Bevölkerungsumschichtung, d.h. ganz generell zum Aufschwung des Bürger- und Niedergang des Bauerntums führten. So verfiel die Landwirtschaft infolge fortwährender Aufstände, Raub- und Brandschatzungen, wegen Landflucht der Edelleute - unter anderem auch der von Hopsten - und Verödung der herrschaftlichen Höfe mehr und

mehr. Ferner steuerte die ländliche Entwicklung durch die zunehmende, von einem allgemeinen Preisverfall vorangetriebene Verschuldung der Bauern, die eigenhändig und abgabepflichtig von der Landes- und Grundherrschaft ausgebeutet wurden (Sonderabgaben; Ende der bäuerlichen Selbstverwaltung und Gerichtsbarkeit), auf eine regelrechte Verelendung des Bauerntums zu (KINDER & HILGEMANN 1986; Anhang 10.1).

Palynologisch trennt ein markanter Wechsel bei 561 cm im Pollenbild des „Großen Heiligen Meeres“ die mittelalterliche Siedlungs- von der spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Wüstungsperiode: Stark fallende SAZ-, *Secale*-, *Plantago lanceolata*- und *Rumex*-Frequenzen sowie eine Unterbrechung der *Cannabis*-Kurve als Ausdruck des siedlungs- und landwirtschaftlichen Niedergangs, zurückgehende Kurven der meisten BP, antagonistisch steigende *Calluna*-Frequenzen und der Sekundäranstieg der Fernflugkomponente *Pinus* als Zeichen der massiv fortschreitenden Landschaftsöffnung sowie eine Zunahme der *Alnus*-Pollen als Kriterium der lokalen Erlenwald-Regeneration charakterisieren diesen vegetations- und siedlungsgeschichtlichen Horizont. Sie korrespondieren mit dem Abschnitt 3 nach SCHROEDER (1956) sowie der Siedlungsdepressionsphase, wie sie sich in zahlreichen, regionalen Pollendiagrammen während der Wüstungsperiode wiederfindet (KRAMM 1978, BEHRE 1980, HÜPPE et al. 1989).

War das Mittelalter trotz Landnahme- und Rodungsphasen noch als waldreiche Hude-landschaft anzusehen, so begannen nun zunehmend **Ödlandschaften**, insbesondere Buschstadien, Heiden und Sümpfe die Region zu prägen: Extensive Hude- und Plaggenwirtschaft, Notzeit-bedingter Raubbau an der Natur, aber auch ein verstärkter Holzbedarf durch den im Zuge der Zeitenwende einsetzenden Bergbau (Kohle, Erze, Kalk) und die dazugehörigen Hütten und Brennereien förderten die fortschreitende Vernichtung der regionalen, aus *Betula*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Fagus* und *Carpinus* aufgebauten Wälder. Sowohl der regionale Eichen- als auch der Buchenbestand reduzierte sich gegenüber dem Mittelalter um ein Drittel, d.h. die Pollenwerte fielen von 22 auf 12 bzw. von 9,1 auf 4,7%, und erreichten nie wieder die einstigen Ausmaße. Im Gegenzug nahm der Anteil der heliophilen Straucharten im Landschaftsbild zu und vor allem *Corylus*-Gebüsche gewannen, wie schon vom spätmittelalterlichen Spektrum der „Grundlosen Kuhle“ beschrieben, als Degradationsstadien der Buchen-Eichen-Wälder an Bedeutung (Profil „Großes Heiliges Meer“). Mit der Degradation der Landschaft wurde die Umwandlung zahlreicher, einstiger *Lonicero-Fagetum*- in *Betulo-Quercetum*-Standorte eingeleitet. Dementsprechend findet auch ein Wechsel der Ersatzgesellschaften im Umfeld des „Großen Heiligen Meeres“ statt, wo nun anstelle der *Juniperus*- zunehmend *Calluna*-Heiden das Landschaftsbild prägten. Dabei trieben nach POTT & HÜPPE (1991) nicht nur Allmendweide, sondern auch Plaggenstich und Streuentnahme die Verheidung voran. Parallel zur Ausdehnung des trockenen Ödlands fand auch die Ausbreitung des Sumpflandes, d.h. vor allem einer moorartigen Vegetation aus *Myrica*, *Ericaceae* und *Sphagnen* ihren Höhepunkt. Dieses charakterisierte wohl vor allem das siedlungsleere Grenzland der Senkungszone. Im Bereich der „Grundlosen Kuhle“ bewirkten sie eine Ausbreitung von Gagelsümpfen mit *Myrica*-Pollenwerten von bis zu 608 % (SCHLÜTER 1997).

Trotz der regionalen Wald-Degradierung und Ausdehnung der Heidelandschaft bleibt die BP-Kurve im Pollendiagramm des „Großen Heiligen Meeres“ nahezu konstant, was aufgrund der ansteigenden Erlenpollenkurve eindeutig an der sukzessiven **Regeneration des Erlenbruchwaldes am „Großen Heiligen Meer“** liegt. Das Gewässer selbst war also einerseits unmittelbar von den spätmittelalterlich-neuzeitlichen Wüstungen bzw. den damaligen Grenzstreitigkeiten betroffen, so dass die dortigen Grünländereien brachfielen (abfallende *Cyperaceae*- und Krautpollensummen-Kurve). Andererseits blieb der See, nunmehr durch einen geschlossenen Waldgürtel geschützt, von der regionalen Landschaftsdegradation und Siedlungsausweitung und einem eventuell damit verbundenen erosiven Bodeneintrag nahezu unbeeinflusst. In einer ansonsten weitläufigen Heideland-

schaft stellte der Waldgürtel um den See, der sich vermutlich erstmalig seit dem Frühmittelalter wieder schloss, einen für die Wüstungszeit zunehmend selten werdenden Baumbestand dar.

#### 6.2.3.2 Frühneuzeitlicher Höhepunkt der Wüstungsperiode (16./17. Jh.)

Auch nach der Neuordnung des Heiligen Römischen Reiches an der Zeitenwende stand die Region, wie ganz Westfalen, im 16./17. Jh. mehr als andere Gebiete Deutschlands unter ständigen politischen und konfessionellen Spannungen, die unter dem zunehmenden Militärregime der Fürsten und durch Überfremdung durch auswärtige Mächte zu einem weitreichenden Ordnungszersfall führten. So erreichte die frühneuzeitliche Wüstungsperiode ihren Höhepunkt unter der wechselnden Herrschaft der Spanier und Oranier im Spanisch-Niederländischen und Dreißigjährigen Krieg (1564-1648). In dieser Zeit wurde die Region des Ems- und Münsterlandes zusätzlich zum Durchzugsgebiet internationaler, raub- und brandschatzender Söldnerheere (Franzosen, Spanier, Niederländer, Schweden; KOHL 1983; Anhang 10.1).

Dass das Untersuchungsgebiet von den geschichtlichen Ereignissen unmittelbar betroffen wurde, verdeutlichen auch die palynologischen Ergebnisse: Ein weiterer Rückgang der SAZ-, *Secale*-, *Plantago*- und *Rumex*-Werte auf ihr historisches Minimum, Unterbrechungen der *Cerealia*-Kurve und Unregelmäßigkeiten in den *Fagopyrum*-Nachweisen sowie der parallele Anstieg der *Pinus*- und *Calluna*-Kurve kennzeichnen auch diese lang andauernde, kriegerische Zeit und frühneuzeitliche Wüstungsperiode (503-400 cm, konventionelles und absolutes Pollenprofil „Großes Heiliges Meer“), die dem Abschnitt 4 nach SCHROEDER (1956) entspricht. Der deutliche Rückgang der Landwirtschaft und das Brachfallen und Veröden der Ländereien erscheint für norddeutsche Verhältnisse ziemlich ausgeprägt und spiegelt daher die ausgeprägte Landflucht und gewaltige Dezimierung der lokalen Bevölkerung wider, wie sie sich gleichermaßen auch im Pollenprofil des „Vinter Moores“ niederschlug (KRAMM 1978). KÖLKER (1936) zufolge lag 1/3 der bebauten Flächen brach und auch die Viehbestände waren erheblich dezimiert. Nach HOPSTER (1974) kam es zu einer Verarmung, z.T. sogar Vernichtung des Bauerntums, wobei zum Ende bis zu 40 % der regionalen Landbevölkerung umgekommen oder in die schützenden Städte und Restwälder (z.B. Rheiner Wald) geflohen war. Auch RODE & EBLAGE (1994) betonen, dass sich die Verschuldung der Bauern unter der Herrschaft der Oranier im 16. Jh. zunächst noch in Grenzen hielt, es in den Kriegen des 16./17. Jh. jedoch dazu kam, „dass ein Hof innerhalb weniger Jahre mehrmals „verstarb“ und schließlich durch zahlreiche weitere Belastungen in Notzeiten bis an den Rande des Ruins geriet“.

Entgegen dem allgemeinen SAZ-Rückgang setzt während der frühneuzeitlichen Wüstungsperiode jedoch die *Cannabis*-Kurve wieder ein. Nach einer vorübergehenden Vernachlässigung gewann der Hanfanbau also erneut an Bedeutung. Er korreliert dabei mit der historisch belegten, frühneuzeitlichen Siedlungsentwicklung, die in Fortsetzung der spätmittelalterlichen Ausweitung der Dorfschaften die Besiedlung und Kultivierung der Gemarkungen durch die Kötter bis an die Niederungsränder fortsetzte. Zugleich steht er als Indikator einer neuen Form der Markenwirtschaft und eines Kleinbauerntums, das primär von der **Heidewirtschaft** lebte. So erreichte auch die Heideausdehnung einen ersten Höhepunkt. Neben den kärglichen Feldern der Mark, die zunächst der Subsistenzwirtschaft dienten, lebten die Heidebauern in erster Linie von der Schafzucht. So gelangt die Wollverarbeitung nach KÖLKER (1936) seit dem 16. Jh. an Bedeutung und wird neben der Leinwand zum Hauptexportartikel Osnabrücks. Die Schafzucht war nun einerseits durch die Heideausdehnung begünstigt, andererseits bewirkte sie eine weitere Degradation des Markenlandes. So werden in Fortsetzung der zuvor beschriebenen Landschaftsverödung die regionalen Wälder (*Betula*, *Quercus*, *Fagus*) auf ein Minimum reduziert. Dieses Vegetationsbild bestätigen auch die historischen Grenzkarten von 1564 und 1616,

nach denen die Landschaft des strittigen, münsterisch-lingenschen Grenzgebietes weitgehend von ausgedehnten, baumlosen Heideflächen, Triftgrünland und Ödländereien bestimmt war.

Ferner belegen abrupte Veränderungen im Hydrophyten-, Diatomeen-, Mineral- und Nährstoffspektrum des Sees, auf deren ökologische Bedeutung in den Kap. 7.1.2.2, 7.2.2.2, 7.3.2.2 und 7.4.2.2 eingegangen wird, erste **Zuflüsse und Vorfluter** für das bis dahin abflusslose „Große Heilige Meer“. Ihre Anlage steht ganz klar im Zusammenhang der frühnezeitlichen Markenbesiedlung. Chronologisch korrelieren die, stellvertretend für die lokalen Veränderungen herangezogenen, geschlossenen Kurven von *Myriophyllum alterniflorum* und der *Pediastrum* mit der Siedlungsdepression der frühnezeitlichen Wüstungsphase zu Beginn des Spanisch-Niederländischen Krieges. Sie ergänzen also die historischen Belege, nach der die allgemeine Anlage von Gräben bzw. der Ausbau von Gerinnen im frühnezeitlichen „Zeitalter der Mühlen“ (FINKE 1995), in dem auch die „Alte Ruthemühle“ von Recke und die „Reinigungsmühle“ von Hopsten erstmals genannt werden, ausgeweitet wurde. Insbesondere bestätigen sie jedoch das Bild der historischen Grenzkarte von 1564 und bekräftigen, dass die eingezeichneten Gräben der „Moorbeke“ und „Nyeflötte“ tatsächlich erst aus dieser Zeit stammen. Zusammenfassend zeichnen sich paläoökologisch ganz lokale Vorgänge am „Großen Heiligen Meer“ ab, die - wie schon die lokale Regeneration des Bruchwaldes seit der Zeitenwende - für die Geschichte des Sees von wesentlicherer Bedeutung sind, als die regionalen Geschehnisse der Wüstungsperiode.

Lokal setzt sich die **Waldregeneration** des Erlengürtels in Übereinstimmung mit den Grenzkarten fort: Lediglich am Nord- und Südufer des „Großen Heiligen Meeres“, das als Entenjagdrevier diente (historische Grenzkarte 1616), in der östlichen „Meerbecke-Niederung“ sowie langgestreckt in der Niederung südwestlich des Gewässers, d.h. im Uffeler Grenzgebiet zu Hopsten (ehemalige Brockwiesen, Pötters Wiesen, Senke des späteren Herthasees), stockten noch Restlaubwälder, die überwiegend als „elsholt“ (Erlenbruchwälder) bezeichnet werden. Sicherlich hatten sie niederwaldartige Strukturen, denn sie wurden von den Bauern genutzt, wozu laut Karte „Uffeler Bauern und lingischen Untertanen berechtigt“ waren. Der Auszug aus dem „Episcopatus Monasteriensi 1597“ zeigt darüber hinaus, dass sich diese Waldregeneration auch auf andere Grenzländereien erstreckte. So zeigt sich hier auch der Dickenberg und das Ibbenbürener Plateau mit geschlossenen Wäldern bedeckt, während der Bewuchs des Tieflandes offen bleibt bzw. lediglich zwischen „Grawenhorst“ und „Ryeßenbeck“ als Offenlandschaft dargestellt wird.

### 6.2.3.3 Entwicklung nach dem Dreißigjährigen Krieg (Ende 17. Jh.)

Nach den Wüstungen und Kriegen des 16. und frühen 17. Jh. folgte dem Westfälischen Frieden von 1648 eine friedlichere Zeit, in der sich das Gebiet jedoch weiterhin geteilt unter verschiedenen Landesherren entwickelte. Während die freie Bauernschaft Hopsten der Jurisdiktion von Münster unterstellt war, wurden Recke, Steinbeck, Uffeln und Ibbenbüren zunächst dem Hause Oranien zugeordnet. Sowohl der Fürstbischof von Münster, Bernhard von Galen als auch Graf Moritz von Tecklenburg sorgten für eine Räumung des Gebietes von Kriegsheeren und die Beseitigung der Hungersnot. So kam es zu einer leichten Siedlungsbelebung und einem Anstieg der Landbevölkerung, während die Gründung des Kohlebergwerkes Buchholz unter den Oraniern und die Gründung der Tecklenburger Legge als Grundlage des Hausgewerbes und zur Überwachung der Leinwandbereitung auch einen beginnenden wirtschaftlichen Aufschwung der Region förderte.

Regional zeichnet sich diese Siedlungsbelebung unmittelbar nach dem Dreißigjährigen Krieg in vorübergehend leicht steigenden *Cerealia*-Frequenzen ab und auch die *Canna-*

bis- und *Fagopyrum*-Kurve erreichen Werte, die gegenüber der Zeitenwende leicht erhöht sind. *Calluna* indiziert eine erneute siedlungsparallele Ausdehnung der Heideflächen. So ist die Wiederaufnahme von Ackerländereien bzw. die Neuanlage auf noch brauchbaren Böden und Brachflächen in erster Linie mit der Wiederaufnahme der Dreifelderwirtschaft, vor allem aber der Buchweizenkultivierung und dem Anbau von Hanf verbunden. In diesem Zusammenhang sei nun auf die regionale Bedeutsamkeit des **Hanfanbaus** gegenüber der Leinkultivierung verwiesen, wie sie sich auch im weiteren Verlauf der *Cannabis*-Kurve abzeichnet. *Linum*, eine anspruchsvolle Art, die einer regelmäßigen Düngung bedarf und vor allem in den lößreichen Landschaften kultiviert wurde (Leinangebiet Mettingen, „Hücker Moor“, FREUND 1994), ist im Untersuchungsgebiet von untergeordneter Bedeutung und wurde palynologisch nur ganz vereinzelt nachgewiesen. Dagegen wurde *Cannabis*, die als anspruchslose Öl- und Faserpflanze der nährstoffarmen Sand- und Geestgebiete gilt, lokal bereits seit dem Mittelalter angebaut und erweist sich nun als eine Hauptfrucht der Markenkultivierung. In ihrem weiteren Verlauf korrelieren die Hanf-Werte dabei mit der steigenden Kurve der *Caryophyllaceae*, unter denen insbesondere die großen Pollentypen (*Cerastium*-Typ) dominieren, deren Arten wesentlich an der Begleitflora der Hanfkulturen beteiligt sind. Darüber hinaus sprechen die *Cannabis*-Frequenzen insgesamt für eine ganz lokale Kultivierung des Hanfs im Untersuchungsgebiet selbst. Ein Zusammenhang zu den Indikatoren der schubweisen Niedermoorerschließung bestätigt pollenanalytische Ergebnisse, nach denen innerhalb der armen Sandlandschaften vor allem die nährstoffreicheren Flusstäler, Auen-, Feucht- und Niedermoorböden für den Hanfanbau geeignet waren. So wiesen KUBITZKI (1961) eine *Cannabis*-Kultivierung für das Leinetal, DÖRFLER (1989) für die obere Weser, BRANDE (1985) für Berlin und FREUND (1994) für das Sinninger Venn/Ems aus.

Die zunehmende Bedeutung der Hanfkultivierung unterstreicht die Bedeutung der neuen Bevölkerungsschichten, die aus dem sozialen Umwandlungsprozess der Zeitenwende hervorgegangen sind und sich nunmehr etablierten. So ist vor allem die Gilde der wandernden Leinen- und Tuchhändler (sowie Eisen-), das sogenannte Töddentum, zu nennen, das seinen Ausgang von der Grafschaft Lingen und dem Kirchspiel Hopsten nahm. Hopsten und Recke zählten neben Mettingen zu den wichtigsten Töddendörfern. Die Tödden („Leinen-, Packen-, Messerträger“) wurden zu ihrer Zeit gar als „Hopster“ oder „Höpster“ bezeichnet. Sie galten nicht nur als wohlhabendste Händler ihrer Zeit, deren Handelsimperium in der Blütezeit von Nordfrankreich bis ins Baltikum reichte, sondern standen auch am Anfang der großen holländischen Kaufmannsgeschlechter (z.B. Pogge, Breninkmeyer) und heutigen Textilkaufhäuser (z.B. C & A, Peek & Cloppenburg, Hettlage u.a.). Ebenso wichtig waren die Heuerlinge und Kötter. Der Aufschwung dieser schnell wachsenden Bevölkerungsschicht ging mit der Bauernbefreiung im 18. Jahrhundert einher. Diese ermöglichte den Bauern und Gemeinden Schulden an Pächter weiterzugeben bzw. Teile ihres Grundes zu verkaufen, um den neu aufkommenden Steuerlasten nachzukommen. So wurde insbesondere der vormals siedlungsarme bis -leere Raum der Marken besiedelt. Die Heuerlinge verdingten sich einerseits als Wanderarbeiter auf Nachbarhöfen des Vaters und nahmen so eine Mittelstellung zwischen Bauern und Besitzlosen bzw. dem Gesinde ein. Andererseits gründeten sie einen eigenen Hausstand und bildeten mit ihren Großfamilien die Basis der aufkommenden Hausindustrie, die wesentlich an der Blüte des westfälischen Handels beteiligt war. Waren Hanf und Lein seit dem Mittelalter lediglich zur Deckung des häuslichen Bedarfs, insbesondere der eigenen Kleiderherstellung, angebaut worden, so förderte der Graf von Tecklenburg mit dem verstärkten Anbau der Faserpflanzen und dem Bau von Bockmühlen erstmals das Gewerbe und die Existenzgrundlage der Heuerleute, die in Heimarbeit den Flachs verarbeiteten, die Tuche webten bzw. aus den Gespinnstfasern des Hanfes Stricke, Seile und grobe Leinwand herstellten.

Lokal wird das Grenzgebiet des „Großen Heiligen Meeres“ selber von der regionalen Siedlungsbelebung jedoch kaum erreicht: Das Pollenspektrum der Siedlungsindikatoren

steigt kaum merklich an und bereits in dem Horizont 380-340 cm fallen die SAZ auf hochwüchsigzeitliche Minimalfrequenzen zurück. Im Gegenzug erreicht die *Alnus*-Kurve Optimalwerte, die entsprechend den frühhistorischen von einem nach wie vor geschlossenen Waldgürtel im Verlandungsbereich des „Großen Heiligen Meeres“ zeugen. Schließlich deuten parallel auch die BP-Frequenzen auf eine allgemeine **Regeneration der Wälder** im Untersuchungsgebiet. So erholen sich auch die Buchenwälder leicht und der Anteil der Haselgebüsche und *Ilex*-Vorkommen nimmt zu. Dies bestätigt, dass die regionalen Wälder nach wie vor anspruchsvoll waren und ergänzt HESMER & SCHROEDER (1963), denen zufolge der Buchenanteil der Hörsteler Mark im 16.-18. Jh. noch 1/3 des Baumbestandes betrug. Auch FREUND (1994) beobachtete eine neuzeitliche Erholung von Buche und Linde sowie eine synchrone *Ilex*-Ausbreitung innerhalb permanent besiedelter bzw. bewirtschafteter, potentieller Buchenwuchsgebiete. Er führte sie auf die zunehmende Schonung und Hege hofnaher Waldbestände zurück. Zusammenfassend war das Untersuchungsgebiet in der zweiten Hälfte des 17. Jh. also weiterhin durch eine extreme Siedlungsarmut gekennzeichnet und trotz aller landesherrlichen Bemühungen verzögerte sich die lokale Regeneration von den Folgen des Krieges noch bis ins 18. Jh. hinein (Kap. ff.). Diese schleppende Entwicklung war wohl einerseits auf den zunächst, d.h. im Anschluss an die Kriegswirren weithin bestehenden Mangel an Geräten, Tieren und Saatgut, aber auch an Organisationskraft und menschlicher Arbeitskraft in einer so stark dezimierten Bevölkerung zurückzuführen. Andererseits geriet das landesherrschaftlich zerstückelte Gebiet durch die ständig wechselnden, z.T. entgegengesetzten Allianzen seiner Fürsten schon während der europäischen Hegemoniekriege des ausgehenden 17. Jh., die auch den Niedergang des Hauses Oranien zur Folge hatten, erneut in Kriegskonflikte. Somit verweist das Pollenspektrum einmal mehr auf die politische und wirtschaftliche Grenzlage des „Großen Heiligen Meeres“ und des landwirtschaftlich ohnehin äußerst ungünstigen „Erdfallgebietes“.

## 6.2.4 Systematische Landschaftskultivierung seit der neuzeitlichen Siedlungsexpansion

### 6.2.4.1 Preußischer Siedlungsaufschwung in der Epoche des Absolutismus und Merkantilismus (18. Jh.)

Erst mit dem Übergang der Obergrafschaft Lingen, der Grafschaft Tecklenburg und schließlich auch des Dorfes Hopsten an die preußische Krone zu Beginn des 18. Jh. förderte die einheitliche, absolutistische Organisations-, Kultur- und Steuerpolitik Preußens einen deutlichen Siedlungsaufschwung und wirtschaftlichen Entwicklungsschub. Im Zeitalter des Bergbaus und der Moorkolonisation wurden regional der Ibbenbürener Bergbau und die Raseneisenerz-Gewinnung intensiviert und bildeten die Grundlage des lokalen Kohlebau- und Wirtschaftszentrums sowie die Basis für die Entstehung des westfälischen Eisenhandels und der späteren Eisenindustrie. Schließlich begann unter königlich-preussischer Direktion die systematische Erschließung und Kultivierung der weitflächig zu Ödland degradierten bzw. nach wie vor von Sümpfen geprägten, regionalen Landschaft (KINDER & HILGEMANN 1986; Anhang 10.1).

Im Pollendiagramm des „Großen Heiligen Meeres“ spiegelt sich dieser preußische Siedlungsaufschwung in einem Abfall der BP-Summe, vor allem der Erlen-Kurve, einem schlagartigen Anstieg der *Pinus*-Werte auf über 20 % (330 cm) sowie einer weiteren Frequenzzunahme auf über 40 % der BP-Summe (320, 280 cm) im anschließenden Kurvenverlauf wider. Übereinstimmend erreicht die Kiefernkurve auch im APF-Diagramm ihre Absolutwerte und verläuft somit als eine von wenigen Kurven entgegen den allgemeinen Trend eines wüchsigzeitlichen Optimum. Die Siedlungsindikatoren steigen schließlich

schwach auf 5 %. So ist diese Phase, die mit dem Abschnitt 5b von SCHROEDER (1956) korreliert, erstens mit der Erschließung der Niedermoore und einem erneuten Eingriff in die lokalen erlen- und birkenreichen Wälder verbunden. Zweitens wird sie von systematischen Aufforstungen von Kiefer bzw. Fichte charakterisiert, die auf preußische Anordnung im 18. Jh. einsetzten und somit die palynologische Datierung begründen.

Diese **großräumigen Kiefernauaufforstungen** der sog. „Waldbauzeit“, die das Ziel hatten, der teilweise verheerenden Landschaftsdegradierung und dem akuten Holzmangel zu begegnen und die z.T. weitflächig offenen Binnensande zu befestigen, setzten nach HESMER & SCHRÖDER (1963) in Norddeutschland erst in den 1760er Jahren ein. Die vorliegenden Ergebnisse konstatieren allerdings eine frühere, lokale Anpflanzung der Kiefer und korrelieren vielmehr mit RENNE (1903) nach dem die Einführung der Kiefer in Westfalen bis in die Zeit um 1725 zurückgeht. Übereinstimmend sind auch nach KLEINERT (1988) erste Kiefernauaufforstungen aus dem Tecklenburg-Lingeschens bereits für das Jahr 1738 belegt. Einen solchen frühen Kiefernforst stellte wohl auch der „Königliche Danner Campff“ bei Tegelmans Wiesen im unmittelbaren „Heiligen Feld“ (historische Grenzkarte 1768) dar, dessen Pollenstreuung sich bereits im lokalen Pollenspektrum des 18. Jh. niederschlug. In diesem Zusammenhang war dann auch eine frühe, natürliche Ausbreitung der Kiefer über Anflug und Aufkommen auf den nicht genutzten Heiden möglich, wie von SCHROEDER (1956) postuliert, während seine Reliktstandort-Theorie vor diesem Hintergrund ein Argument verliert. Insgesamt begann mit diesen Aufforstungen also eine staatlich geförderte Waldwirtschaft und Waldpflege, die den Gemeinden und Privatbesitzern als Beispiel dienen sowie der hemmunglosen Ausbeutung der Landschaft entgegenwirken sollte und der originären Laubwaldlandschaft langfristig ein ganz neues Gepräge gab.

Vermutlich steht auch die leichte Zunahme der *Ulmus*-Kurve auf 2 % und der noch deutlichere Anstieg der *Tilia*-Frequenzen auf 2,5 % (330 cm) im Zusammenhang weiterer, königlich-preußisch verordneter Pflanzmaßnahmen, unter denen die Anlage von Laubbaum-Alleen gefördert wurde bzw. nach der „alle Untertanen jeden Herbst [und alle Neuvermählten] jeweils sechs Eichen und Buchen anpflanzen sollten“ (HOPSTER 1974). BEHRE (1976a, 1980) wies allerdings auch auf die gezielte Pflanzung von Linden zur Bastnutzung und als Bienenweide hin.

Antagonistisch zum *Pinus*-Anstieg macht sich im Pollenspektrum des „Großen Heiligen Meeres“ ein weiteres Fallen der *Fagus*-, *Carpinus*-, *Fraxinus*-, *Quercus*-, *Betula*-Kurve und der deutliche Rückgang der *Alnus*-Kurve bemerkbar, die sich allesamt in dem schon erwähnten Abfall der BP-Frequenzen als Zeichen fortschreitender Waldvernichtung summieren. Zudem korreliert auch der nochmalige, leichte *Calluna*-Anstieg auf 28 % (330 cm) mit der Verheidung trockener Standorte. Waren bereits in der Wüstungsperiode weite Flächen infolge der Extensivwirtschaft und insbesondere des Heidebauerntums verheidet, so führte die Ausweitung der Siedlungsflächen und die Erschließung der Hoch- und Niedermoore dazu, dass das Gebiet zunehmend zur **Heide- und Ödlandschaft** degradierte. Daran waren nicht zuletzt auch der steigende Holz- und Brenntorfbedarf durch den Bergbau, die Erzverhüttung bzw. die Kalköfen und regionalen Salinen beteiligt. Somit korreliert die lokale Entwicklung einerseits mit der vegetationsgeschichtlichen Literatur, derzufolge das 18. Jh. als Zeit der größten Landschaftsöffnung gilt, in der die regionale Waldvernichtung und Heideausdehnung ihren Höhepunkt erreichte (KRAMM 1978, MOHR 1990, FREUND 1994).

Andererseits bleiben die Werte der Besenheide im regionalen Vergleich ebenso wie gegenüber den mittelalterlich-wüstungszeitlichen Frequenzen jedoch relativ niedrig. Dies spricht für ein sehr viel geringeres Ausmaß der lokalen Verheidung als andernorten, was sich erstens wohl in einem „Verstecken“ hinter dem dominierenden Lokalspektrum einer pollenfilternden Gebüsch- und Bruchwaldvegetation, zweitens in dem größeren Anteil

einer *Calluna*-freien, feucht-nassen Ödlandschaft begründen lässt. Entsprechend den weitflächigen Feucht- und Nassstandorten des „Heiligen Feldes“ und der „Meerbecke-Niederung“, wurde das Gebiet zum großen Teil wohl von einer Feucht- und Sumpflandschaft geprägt, in denen die Besenheide eine untergeordnete Rolle spielte. Mit der neuzeitlichen Entwässerung der Hoch- und Niedermoore müssen sich den palynologischen Ergebnissen zufolge vielmehr grasreiche Heiden, *Erica tetralix*-, *Empetrum nigrum*- und *Rhynchospora* sp.-reiche Nassheiden sowie kleinseggenreiche Sümpfe ausgebreitet haben. Zum andern deutet das geringere Ausmaß der Verheidung gegenüber früheren Zeiten auch auf eine zunehmende Versumpfung des „Heiligen Feldes“ durch eine fortgesetzte Grundsenkung hin.

Der starke Abfall der *Alnus*-Frequenzen, der von fallenden *Fraxinus*-, *Betula*- und *Myrica*-Kurven begleitet wird, indiziert die erneuten Übergriffe des Menschen auf die ganz lokale Situation. Sie korrelieren mit der Bevölkerungsexplosion des 18. Jh., die mit einer Siedlungsexpansion in die gemeine Mark einherging und nun auch eine **systematische Erschließung der Nieder- und Hochmoore** erforderte. So griff die endgültige Waldvernichtung auch auf die letzten unberührten Flächen und bisher für die Landwirtschaft ungünstigen Standorte über, entwässerte sie und nahm sie unter Kultur (KRAMM 1978, FREUND 1994). Dabei wurden im Zuge der Kultivierung der „Meerbecke-Niederung“ nicht nur deren Feucht- und Erlenbruchwälder flächenhaft gerodet, sondern entsprechend dem starken Kurveneinbruch im Absolutpollendiagramm auch der Waldgürtel um das „Große Heilige Meer“ erneut zerstört. Wurde das Gewässer zwischenzeitlich lediglich als Entenfang und Fischgrund genutzt, so wurden seine Ufer nun erschlossen und unmittelbar von Mensch und Tier beeinflusst. Dabei zeigt das Pollendiagramm ein Artenspektrum, das zwar qualitativ mit dem der mittelalterlichen, hochstaudenreichen Streuwiesen und seggenreichen Feucht- und Nasswiesen übereinstimmt, quantitativ dessen Ausmaße jedoch nicht erreicht.

Die preußische Siedlungsexpansion ist regional selbstverständlich auch mit einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Tätigkeit verknüpft, die sich in den vorliegenden Ergebnissen sowohl in der auf 5 % steigende Summe der SAZ als auch den ansteigenden Kurven der einzelnen Typen (*Secale*, *Fagopyrum*, *Cannabis*, *Plantago lanceolata*) niederschlägt. Dabei weisen die relativ niedrigen Frequenzen dieser SAZ-Indikatoren darauf hin, dass die ganz lokale Siedlungsdichte und der Kultivierungsgrad selbst unter der Herrschaft Preußens zunächst nicht an die mittelalterliche Situation heranreichte bzw. das kultivierte Land zunächst noch nicht, wie einst im Mittelalter, bis in die unmittelbare Umgebung des „Großen Heiligen Meeres“ vorrückte. Vielmehr wurden die Felder auf den einstigen, dann brachgelassenen und verheideten Äckern wieder angelegt. Die Hauptfrüchte des 18. Jh. waren regional neben Hanf und Lein, die dem Textilgewerbe dienten, Roggen und Buchweizen als Nahrungsfrüchte. D.h. der Roggenbau (*Secale*, *Centaurea*) stand nun wiederum im Vordergrund ackerbaulicher Tätigkeit und die übrigen Getreidearten spielen nicht mehr die Rolle, die sie noch in der mittelalterlichen Dreifelderwirtschaft innehatten.

Auffälligstes Merkmal des ackerbauindizierenden Pollenspektrums ist jedoch die nunmehr fast geschlossene Buchweizen-Kurve. Dementsprechend ging im Zuge der Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen in die Niedermoor- und peripheren Hochmoorbereiche hinein auch deren Kultivierung, primär durch Buchweizenanbau, einher. Überdies lässt sich dieser Diagrammabschnitt gut mit den Pollendiagrammen des nahen „Vinter Moores“ (KRAMM 1978), „Im Jiewitt“ (MOHR 1990) und „Weeser Moor“ (FREUND 1994) korrelieren. Auch der weiteren, palynologischen Literatur zufolge erreicht die Buchweizen-Kultivierung ihren Höhepunkt mit der neuzeitlichen Siedlungsexpansion und Moorkolonisation (LEHMANN 1940, OVERBECK 1975, KRÖBER-GROHNE 1987, FREUND 1994). Im Großen Moor von Kalkriese wird der Buchweizen mit der einsetzenden, systematischen und vom Landesherren angeordneten Nutzung und Besiedlung der Moore zur Haupt-

frucht der Moorkultivierung (DIECKMANN 1998) und im Hahnenmoor erreicht der *Fagopyrum*-Anteil am Pollenspektrum des 18. und 19. Jh. bis zu 9 % (KRAMM 1978). Dabei weist KRAMM (1978) über die direkten Moorkulturen hinweg auf die steigende Bedeutung des Hackbaus im Umfeld des Moores hin, wie er sich hinter einem Anstieg der *Cerealia* auf 19 % bei parallelem *Chenopodiaceae* und *Brassicaceae*-Maximum verbirgt. POTT (1992b) und auch FREUND (1994) erwähnen den gelegentlichen Anbau des Buchweizens im 7-10-Jahreswechsel u.a. mit *Avena strigosa*, *Secale cereale* und *Spergula arvensis*. Ferner ziehen BEHRE (1976) und FREUND (1994) in Erwägung, dass auch ein Buchweizen-Anbau auf benachbarten Eschkulturen in Betracht gezogen werden muss.

#### 6.2.4.2 Preußische und napoleonische Siedlungsentwicklung im Zeitalter der Protoindustrialisierung (Wende 18./19. Jh.)

Unter Friedrich dem Großen, der das väterliche Reformwerk fortsetzt, erreicht die preußische Siedlungs- und Wirtschaftsexpansion einen Höhepunkt, und auch im französischen Königreich Westfalen unter Napoleons Bruder Jerome (1807-1813) hält der absolutistisch geförderte Aufschwung zunächst an: Nach KINDER & HILGEMANN (1986) charakterisieren rege Bautätigkeiten und Landerschließung (Neuansiedlungen, Straßenbau, Bruchentwässerungen), Förderung der Wald- und Landwirtschaft, Unterstützung von Handel und Gewerbe durch Aufhebung des Binnenzolls, Wechsel von Zeit- zu Erbpacht, Aufbau eines Rechtsstaates usw. diese Epoche an der Wende vom Agrar- zum Industriezeitalter und vom Feudalismus zum Kapitalismus. Ferner kennzeichnete auch die Verknüpfung von Landwirtschaft, ländlichem, massenproduzierendem Gewerbe und Wanderhandel sowie deren Einbindung in den komplexen, ökonomischen Zusammenhang der frühkapitalistischen Gesellschaft diese Zeit der sog. „Proto-Industrialisierung“ (OBERPENNING 1996). Regional erfuhr einerseits der Kohlebergbau einen weiteren Aufschwung, da FINKE (1995) zufolge zunächst das Gewerbe und nach und nach auch die Bevölkerung aufgrund der Rohstoffknappheit und der steigenden Holz- und Torfpreise zur Kohlefeuerung überging. Andererseits setzte sich auch die Blüte des westfälischen Lein- und Tuchhandels fort und brachte den Töddendörfern Hopsten und Recke großen Wohlstand. Historischen Quellen zufolge war im ausgehenden 18. Jh. die Hälfte der Bevölkerung Westfalens in den Flachs- und Hanfanbau, die Tuchindustrie und den Leinenhandel eingespannt. Insgesamt profitierte daher nicht nur die regionale Infrastruktur (Anschluss an den Fernverkehr) sondern wuchs vor allem auch die Bevölkerung stetig an. Nach KÖLKER (1936) steigt die Einwohnerzahl der Grafschaft Tecklenburg von knapp 10 000 (1702) auf 18 000 (1787).

Im Untersuchungsgebiet erhält die preußische Siedlungsbelegung, die sich entsprechend den wirtschaftlichen Fortschritten bzw. Rückschlägen mehr oder weniger kontinuierlich bis in die Gegenwart fortsetzt, gegen Ende des 18. Jh. einen weiteren Schub. Neben einem erneuten Anstieg der Siedlungsindikatoren (SAZ, *Secale*, *Plantago lanceolata*), speziell auch der *Cannabis*-Kurve, die eine regionale Ausweitung der Siedlungsflächen indizieren, werden lokale Eingriffe registriert (Abfall der BP-, *Alnus*-Frequenzen, Anstieg der *Cyperaceae*-Kurve), die sich mit der Erschließung des sumpfigen Gewässerumfeldes und dem Bau der Meerbecke, wie sie erstmalig 1768 der historischen Grenzkarte verzeichnet ist, korrelieren lassen. Die Meerbecke entsprang im südlichen Wiesengelände, durchfloss das „Große Heilige Meer“ und wurde noch in den 1770er Jahren in Richtung „Kleines Heiliges Meer“ und Hopstener Aa verlängert (HOPSTER 1974).

Trotz staatlicher Aufforstungen schritt die **regionale Waldvernichtung** an der Wende zum 19. Jh. aufgrund des wachsenden Bevölkerungsdrucks also weiterhin großflächig voran. Der BP-Anteil am „Großen Heiligen Meer“ fällt insbesondere durch die Bruchwaldrodungen auf durchschnittlich 40 %. Lediglich am Ostufer des Sees blieben Waldreste bestehen. Im „Vinter Moor“ betrug der BP-Anteil nach KRAMM (1978) nurmehr 20 %, wobei der Anteil der Laub-Restwälder unter 5 % fiel. Auch das Interesse der Bauern an

den Aufforstungsmaßnahmen muss zunächst äußerst gering gewesen sein, denn selbst die *Pinus*-Frequenzen erleiden zwischenzeitlich erneut Einbuße. Auch nach HOLSCHKE (1788 zit. n. RODE & EBLAGE 1994) blieb es über lange Zeit bei vereinzelt, staatlichen Forsten. Lokal stellten der „Königliche Dannen Campff“ neben dem Dickenberg („Dickenbusch“) und dem „Gravenhorst“ um 1768 weiträumig die einzige Bewaldung dar (historische Grenzkarte 1768, FÖRSTEMANN 1967 zit. n. RODE & EBLAGE 1994). Im übrigen blieb das Allmend- und Ödland des südwestlichen und südöstlichen „Heiligen Feldes“ jedoch weiterhin bestehen und wurde nur nach und nach als Ergänzungsland von Privatbesitzern in Kultur genommen (Pötters Wiesen, Tegelmans Wiesen etc.). Erst um 1800 erreicht die lokale Kiefernverbreitung ihr historisches Optimum (*Pinus*-Maximum 240 u. 220 cm), was nun wohl auch auf bäuerliche Pflanzungen zurückgeht, die nach HESMER & SCHROEDER (1963) eben verstärkt um 1800 einsetzten. VON LECOQ (1805) verweist in seiner historischen Karte auf eine solche Pflanzung innerhalb der Bauernschaft Hopsten, unweit nördlich des „Großen Heiligen Meeres“, und auch die frühen Katasterkarten des 19. Jh. stellen dort mehrere Holzungen dar.

An der Wende vom 18. zum 19. Jh. erhielt die extensive Hanfkultivierung, die mit der Markenbesiedlung im 16. Jh. begonnen, seit dem 17. Jh. den Aufschwung der Tödden gefördert hatte und seit dem 18. Jh. die Blütezeit des Merkantilismus und des Töddentums prägte, einen erneuten Schub (*Cannabis*-Anstieg 240 cm). Einerseits dokumentiert dies das Greifen staatlicher Fördermaßnahmen zur systematischen Landschaftskultivierung, das auch mit dem urkundlich bestätigten Bau von regionalen Öl- und Bockmühlen einhergeht (Bockemühle, Visse-Mühle; FINKE 1995). Andererseits steht diese Entwicklung im Zeichen des Übergangs zur Erbpachtbewirtschaftung, mit der die landwirtschaftliche Spezialproduktion beginnt, die regional neben Roggen, Weizen und Milch vor allem Wolle und Hanf umfasst. Sie ist zugleich mit der Etablierung einer weiteren Bevölkerungsschicht, der Neubauern und Brinksitzer, verbunden, die seit der Erlaubnis zur Kultivierung des Markengrundes 1790, eigene, in der Gemarkung verstreute Höfe und Kämpen besaßen und ihrerseits wiederum Kötter anheuerten (HOPSTER 1970, RODE & EBLAGE 1994, OBERPENNING 1996). In diesem Sinne sprechen die *Cannabis*-Frequenzen gemeinsam mit den *Fagopyrum*-Werten auch für eine Zunahme der siedlungsparallelen Ausweitung des Ackerbaus in die Mark hinein und für ein Vorrücken der Felder ans „Große Heilige Meer“. Nach PRUB (1934) lagen die ersten Kämpen der Markensiedler innerhalb der „Heilig-Seeer-Zone“ im erhöhten Gelände der heutigen Höfe Busmann im Westen, Lampe (= Berghaus) und Landwers (= Feldmann) im Südosten und Brockmüller im Nordosten.

Dieser Agraraufschwung kann somit auch als Zeichen der beginnenden **Fruchtwechselwirtschaft** betrachtet werden, die sich insbesondere auf den neu erschlossenen Ackerflächen durchsetzte (Abb. 22). Auf den Eschfluren, wo die anspruchsvolleren Fürchte angebaut wurden, existierten die seit den Franken bestehende Dreifelderwirtschaft und die Fruchtwechselwirtschaft, die seit Mitte des 18. Jh. und unter Friedrich d. Gr. eingeführt wurde, dagegen lange nebeneinander her. Dies geht auch aus den historischen Grenzkarten von 1616/1747 und 1768 hervor, in denen der streifigen Gewannflur (Dreifelderwirtschaft) des Uffelner Esches das sogenannte „Driesch“-Land, d.h. ein an der Peripherie gelegener Flurkomplex extensiven Wechselwirtschafts- und Weidelandes, an der Gemeindegrenze Uffeln / Hopsten im „Heiligen Feld“ gegenübersteht (MÜLLER 1993 zit. n. RODE & EBLAGE 1994). In der Fruchtfolge wechselten sich bei der Fruchtwechselwirtschaft Halm-, Blatt- und Knollenfrucht ab; die Brache fiel also endgültig fort. Palynologisch unterstreichen steigende *Secale*-Werte und erneut regelmäßige *Centaurea cyanus*-Nachweise den fortbestehenden Vorrang des Roggens als Hauptgetreide und Hauptfrucht der Esche. Der Literatur zufolge wurden zudem einige neue, rationellere, bodenangepasste Getreidesorten eingeführt, doch ist die Tendenz des *Cerealia*-Anbaus (Weizen, Gerste, Hafer) dem Pollenspektrum zufolge eher leicht rückläufig. Seit den Getreidemissernten 1770-1772 wurde nach KÖLKER (1936) auch vermehrt Kartoffelanbau betrieben,

der sich regional jedoch nie wirklich durchsetzte, und auch im vorliegenden Diagramm keinen Niederschlag erfährt. Allerdings steigt mit der Fruchtwechselwirtschaft die Bedeutung des reinen Hackbaus, wobei über die Hanf- und Buchweizenkultivierung hinaus vor allem von Melden-Fluren begleitete Rübenkulturen angebaut wurden (*Brassicaceae*, *Chenopodium*). Zudem fand ein verstärkter Anbau von Futterpflanzen statt, unter anderem von Futterrüben und Spark (*Brassicaceae*, *Spergula*), der mit der staatlichen Förderung der Viehzucht und einem allmählichen Wechsel von der Weide- zur Stall- und erneuten Großviehwirtschaft (Rinder, Schweine, Pferde) einherging. Schließlich spiegelt sich die parallele Existenz verschiedener, standortgebundener, extensiver Wirtschaftsformen nicht nur in der Vielfalt an Kultursorten, sondern auch in der steigenden Mannigfaltigkeit der Ackerbegleitflora wider (*Chenopodium*, *Rumex acetosella*, *Scleranthus*, *Polygonum aviculare*, *Papaver*, *Radiola*, *Lychnis*, *Centaurea cyanus*). Auch unter den Pollentypen der *Ligulifloren* und *Tubulifloren*, *Campanulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Dipsacaceae* und *Lamiaceae* finden sich zahlreiche Kräuter der Feldflora, die HÜPPE (1986, 1987) zufolge nun ihre größte Diversität erreicht.

Am „Großen Heiligen Meer“ ist eine **Ausweitung der Niedermoorerschließung**, die sich in einem weiteren Abfall der Erlenkurve und dem antagonistischen Anstieg der *Cyperaceae*- und *Plantago*-Werte äußert, mit dem Bau des Entwässerungsgrabens der Meerbecke verbunden. Im Artenspektrum der Wiesenkräuter zeigen sich jedoch keine wesentlichen Veränderungen. Nach wie vor dominieren *Cyperaceae*-reiche Wiesen mit hohen Anteilen des Flutrasen-Indikators *Ranunculus flammula*. Noch hatte die Entwässerung nur begrenzte Ausmaße und häufige Hochwasser machten eine verstärkte Wiesenutzung oder gar Weidewirtschaft weitenteils unmöglich. Im regionalen Rahmen fällt der Ausbau der Meerbecke in eine Zeit, in der unter der staatlich-preußischen Bergrverwaltung mit Amtssitz in Ibbenbüren seit 1770 eine systematische und großflächige Gewinnung von Raseneisenerzen einsetzte. FINKE (1995) zufolge betrug die Schürffläche am südlichen Schafberg über 39 000 ha. Zahlreiche neue Gräben zur Entwässerung der eisenreichen Niedermoore entstanden, an denen wiederum Mühlen gebaut wurden, die gleichfalls vom Wirtschaftsaufschwung zeugten: Bockmühlen zum Faserbrechen, Korn- und Ölmühlen und Isermühlen zur Stahlschmiede (z.B. Hammermühle). Im Verhältnis 2:1 entstand aus den Raseneisenerzen und den regionalen Bergerzen in zahlreichen Rennfeuern das westfälische Gusseisen. So nahm die frühe Industrialisierung Westfalens neben dem Textilgewerbe auch durch die Eisenverhüttung und -verarbeitung zur typisch westfälischen Eisenware ihren Ausgang unmittelbar aus dem Untersuchungsgebiet (HOPSTER 1974).

Diese kultivierte Niedermoorlandschaft trug zugleich die charakteristischen Züge einer Wallhecken- und Baumreihenlandschaft, wie sie ebenfalls in dieser Zeit und gleichfalls unter königlich-preußischer Verordnung und Prämierung entstand. Palynologisch lässt sie sich nur schwer nachweisen, da sie sich hauptsächlich aus bodenständigen Gehölzen zusammensetzte, deren Pollenkurven zugleich im Zuge der Waldrodung zurückgingen. So bauten sich diese Hecken im potentiellen *Carici elongatae-Alnetum*- und *Pruno-Fraxinetum*-Gebiet aus Erlen und Eschen, im Bereich des *Lonicero-Fagetum* und *Betulo-Quercetum*, waren überdies Eiche, Birke, Eberesche, Pappel, auf anspruchsvolleren Böden auch Hainbuche und vereinzelt Buche vertreten. Überdies wuchsen in den Hecken spontan aufkommende Gebüsch- und Krautarten, die einst als Mantel- und Saumarten verbreitet waren (WITTIG 1976) und ihre Standorte nun, im Zuge der zunehmenden Landschaftsöffnung und Waldarmut, innerhalb der Wallhecken und Baumreihen fanden. Entsprechend dem Pollenspektrum sind dies vor allem Gagel, Faulbaum, Weide, Traubenkirsche im Nieder- und Anmoorbereich, Holunder auf nitrophilen Standorten, Hopfen, Geißblatt, Eberesche, Kreuzdorn, Kratzbeere u.a. *Rubus*-Arten auf Sanden, Hasel, Schneeball, Blut-Hartriegel und die *Rosaceae* Himbeere, Heckenrose, Weißdorn und

Schlehe auf anspruchsvolleren, anlehmigen Böden und schließlich im Mittelgebirgsbereich noch die Stechpalme und auf Kalk der Traubenholunder.

#### 6.2.4.3 Siedlungsdepression und Agrarreformen in der Ära der Restauration und Revolution (frühes 19. Jh.)

Bereits während des kurzen Intermezzos des französischen Königreiches Westfalen ließen durchziehende Truppen und die Ausrüstung der Landwehr das Land verarmen (KOHL 1986). Zudem zog die Kontinentalsperre und deren Handelsbeschränkungen den allmählichen Niedergang des Leinen- und Tuchgewerbes sowie des Töddenhandels nach sich und löste eine Zeit der Wanderarbeit („Hollandgängerei“) und ersten Auswanderungswelle nach Amerika aus. Das Aufkommen der Baumwollindustrie aus England versetzte dem Töddentum und der Hausindustrie einen weiteren Todesstoß. So dauerte die Armut- und Siedlungsdepressionsphase bis hinein in die revolutionären 1840er Jahre, als wiederum eine Große Auswanderungswelle die Region erfasste.

Ein kurzfristiges Siedlungsminimum bei 240-200 cm mit fallenden *Secale*- und *Cerealia*-Frequenzen sowie eine Unterbrechung der *Plantago lanceolata*-Kurve entspricht dieser Siedlungsdepressionsphase des frühen 19. Jh. Zugleich ist diese Phase mit einer Zunahme des Baum- und Waldanteils innerhalb der Landschaft verbunden, während die *Calluna*-Heiden stark eingeschränkt werden. Diese Entwicklung steht allerdings weniger im Zusammenhang einer Eichenwald-Regeneration in siedlungsarmen Zeiten, sondern ist vielmehr durch fortgesetzte Kiefernaufforstungen bedingt. So begannen seit den 1820er Jahren nachhaltige Veränderungen in der Landwirtschaft einzusetzen, die mit der Bauernbefreiung und den Reformgesetzen von Karl Freiherr von Stein einhergingen. Sie führten zur Markenteilung (1820-1884) und Überführung des allgemeinen Landes in Privatbesitz. D.h sie trieben einerseits den Ausbau von Einzelsiedlungen in der Feldmark erneut voran; andererseits bereiteten sie der hemmungslosen Holznutzung und Überweidung ein Ende und werteten das Heide- und Ödland durch Aufforstung oder Kultivierung auf. Im Urkataster von 1820 ist selbst der Schafberg weitenteils noch als Heideland verzeichnet, das nur von wenigen Holzkämpen unterbrochen wird. Bis 1842 können anhand der HK 25 UR, Bl. 3611 „Hopsten“ zahlreiche neue Forsten registriert werden. Auch am Ostufer des „Großen Heiligen Meeres“ befanden sich noch Waldreste, während im übrigen die Wiesen bis an den See heranreichten, die durch hohe Anteile von *Ranunculus flammula* im Krautpollenspektrum als nasse Flutwiesen charakterisiert werden. Auch dies korreliert mit den Angaben der HK 25 UR 1842, wonach das nordwestliche, moorige und zum Torfstich genutzte Gelände weitenteils überflutet war (Brockwiesen, Hörsteler Brook, Flüddert). Erst weiter im Osten zeichnen sich durch breitere Wege erschlossene Kulturflächen ab (Meerwiesen, Kuhwiesen, Wiesen am Kleinen Heiligen Meere, Baaren Wiese, Landwers Wiese, Gras Wiesen, Büttengewiesen, Steinkämper Wiesen), die nur noch von ganz vereinzelt Waldbeständen am „Kleinen Heiligen Meer“ und im Bereich Horstmann im Norden unterbrochen wurden.

#### 6.2.4.4 Industrielle und landwirtschaftliche Revolution der Gründerzeit (seit 1850)

Bereits um 1830 begann die vom Emsland ausgehende Industrialisierung, doch erst in den 1850er Jahren setzte eine Gründerzeit ein, die der regionalen Wirtschaft bis 1880 zu neuem Aufschwung verhalf. In Fortsetzung der Tradition entstanden die westfälische Textil- und Eisenindustrie. Auch der Schafberg kristallisierte sich als starkes Wirtschaftszentrum heraus, nachdem die Technisierung hier Einzug in Steinkohlebergbau, Kalkbrennerei und Salinen gehalten hatte. Gegen 1900 vollzog sich ein nochmaliger Wirtschaftsaufschwung, der nach den Eisenerzhütten von Gravenhorst und Georgsmarien nun auch weitere Industriezweige im Raum Ibbenbüren, Gravenhorst und Laggenbeck ansiedeln und in deren

Sog die Bevölkerungszahlen gewaltig ansteigen ließ (KÖLKER 1936). Dem gegenüber blieb die Ebene nach dem Niedergang des Leinengewerbes zunächst benachteiligt. Sie wurde allerdings ebenfalls vom Bau eines dichten Verkehrsnetzes erfasst, der mit dem verstärkten Ausbau der Infrastruktur zur Erschließung entfernter Absatzmärkte im Zuge der Liberalisierung des Handels einherging. So hatte das „Heilige Feld“ u.a. durch den Bau der Tecklenburger Nordbahn Anteil an der Konjunkturphase zur Jahrhundertwende. Im übrigen dominierte im Untersuchungsgebiet jedoch weiterhin die Landwirtschaft, die nach und nach intensiviert, zur tragenden Basis des Wirtschaftslebens wurde und die Städte, Reviere und entstehenden Industriezentren mit Nahrungsmitteln versorgte (MÜLLER-WILLE 1960). Im Zuge der Markenteilung wurde mit den einsetzenden Meliorationsmaßnahmen der endgültige Wendepunkt zur Intensivwirtschaft gezogen. Flächenverkopplung, sowie gezielte Erschließung und Bewirtschaftung durch Ausbau und Regulierung der Verbindungs- und Feldwege, schließlich auch der Ausbau des Entwässerungsnetzes und der zunehmende Einsatz des Mineraldüngers förderten die Landwirtschaft. Zudem hielt auch die Technisierung und Industrialisierung Einzug in den Agrarbereich: Zuckerrübenfabriken und Rübenburgen, Große Viehställe und Molkereien entstanden.

Ein Einschnitt im konventionellen und absoluten Pollenspektrum bei 191 cm korreliert mit dem Entwicklungsabschnitt 6 nach SCHROEDER (1956). Der folgende, deutliche SAZ-Anstieg, der von stark steigenden *Plantago lanceolata*- und *Rumex*-Werten begleitet wird, indiziert den kontinuierlichen Siedlungs- und Wirtschaftsaufschwung dieses Zeitalters der Industrialisierung und Wirtschaftsintensivierung. Trotz starker Veränderungen im Landschaftsbild blieb das „Heilige Feld“ bei einem SAZ-Maximum von nur gut 15 % und *Plantago*-Frequenzen von unter 2 % jedoch weiterhin so siedlungsarm, wie es sich bis heute darstellt. Während in Fortsetzung der Markenbesiedlung 1842 die Anwesen Horstmann, Becker, Buschmann, Graeve, Ekberts, Pelle, Düricke und vier weitere südwestliche Höfe, sowie im Nordosten die Anwesen Hesping, Grothus und Borgelmann neu verzeichnet sind, beschränkte sich die Siedlungszunahme von bis 1895 auf drei Höfe im Westen und zwei Neuansiedlungen im Osten (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1842 u. 1895).

Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen führte zur weiteren Einengung der Waldbestände im Untersuchungsgebiet. Mit einem BP-Abfall auf 55 % scheint der **Höhepunkt der Landschaftsöffnung** lokal erst in dieser zweiten Hälfte des 19. Jh. erreicht. Auch die Ausbreitung der Hasel geht mit dieser Entwicklung einher, in der die Restwälder infolge einer unregelmäßigen, bäuerlichen Bewirtschaftung und exzessiven Holzentnahme vermutlich nurmehr degenerierten Kratts glichen. Lediglich die Bedeutung der Eiche scheint im Landschaftsbild wieder leicht zu steigen, wohl auch als Komponente der zahlreichen Wallhecken. Neben den Wallhecken und Baumreihen in den östlichen Wiesengebieten fanden sich geschlossene, zumeist kieferndurchsetzte Laubwaldbestände nur noch als Birken-Kiefernwald im NW des Gebietes bzw. als Mischwaldreste im SW und Birken-Eichenrestwälder auf dem Schafberg (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895).

Selbst die Ausdehnung der Kiefernforste erleidet zunächst einen leichten Rückschlag (*Pinus*-Abfall auf 20%, Ø 30 %), während im Gegenzug der Anteil der Heideflächen noch ein letztes Mal leicht steigt (20 % *Calluna*-Anteil). Nach FELDMANN (1964 in RODE & EBLAGE 1994) führte die Dominanz der über Jahrhunderte von Heide geprägten Offenlandschaften Nordwestdeutschlands in diesem 19. Jh. zu der Einführung des Gemarkungsnamen „Feld“, wie er seitdem auf den historischen Vermessungskarten verzeichnet ist. Dieser lokal und regional weit verbreitete Begriff bezeichnete, unter Bezug zum niederländischen „veld“ (= Heide), einen von der Siedlung und ihrer ackerbaulichen Kernflur abgelegenen Gemarkungsbereich in ebenem, z.T. auch in unbewaldetem, baumarmen Gelände. Entsprechend zeichneten sich also auch das „Heilige Feld“, Uffelder Feld, Hörsteler Feld und Stadener Feld aus: ausgedehnte Heideflächen, von schmalen Wegen und Pfaden durchzogen und lediglich von vereinzelt eingestreuten Wirtschaftsflächen unter-

brochen, prägten diese Gemarkungen, in denen zahlreiche eingezeichnete Schafställe weiterhin auf starke Heidewirtschaftsnutzung deuteten (HK 25 UR, Bl. 3611 „Hopsten“ 1842). Dabei ist die Verzögerung in der Kultivierung des „Heiligen Feldes“ sicherlich nicht zuletzt auch auf die im 19. Jh. erneut einsetzenden Versumpfungs- und Erdfallprozesse im heutigen „Heideweiher-Erdfallsee“-Gebiet zurückzuführen.

Erst gegen Ende der Markenteilung beginnt die Zahl der Kiefernforste wieder zu steigen, deren Fläche gegen Ende des 19. Jh. ihre großflächigsten Ausmaße erreicht (45%, 120 cm). Dies ist sicherlich als ein Zeichen der Wirtschaftsintensivierung zu verstehen, die in dieser Zeit einen vorläufigen Höhepunkt erreicht. RODE & EBLAGE (1994) sieht die Konzentration der Aufforstungen im „Heiligen Feld“ zudem erstens als Indikator der Unfruchtbarkeit dortiger Böden und zweitens als Zeichen der rückgängigen Bedeutung der Schafhaltung und Heiden: Nicht zuletzt wurde den Schafherden mit dem Fortfall des Markengrundes im Zuge der Markenteilung die Weidegrundlage entzogen. Im Amt Ibbenbüren ging die Tierzahl von 1527 im Jahre 1800 auf 12 Schafe im Jahr 1900 zurück (ROSEN zit. n. RODE & EBLAGE 1994). Korrelierend fällt auch die *Calluna*-Kurve im Pollendiagramm; die Heideflächen werden merklich verdrängt bzw. bis auf wenige Flächen im späteren NSG eingegrenzt (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895). Die Kultivierung greift nun endgültig auch auf das „Heilige Feld“ über.

Steigende Pollenwerte aller Kulturfrüchte spiegeln auch im Untersuchungsgebiet die Explosion der Erträge wider, die sich mit der Einführung des Mineraldüngers verknüpfen lassen. Hatte die Landwirtschaft des 19. Jh. trotz Technisierung und Änderung der Wirtschaftsformen im Rahmen der Markenteilung zunächst kaum Steigerungen verzeichnet - die Erträge nahmen auf den ausgelaugten Böden gegenteilig sogar ab - so waren mit der Einführung des Kunstdüngers durch Justus von Liebig (1803-1873) Erntesteigerungen und lohnbringende Erträge nun auch auf den einstigen Ödländereien möglich. Hatten Besiedlung und Kultivierung des wüsten bzw. moorigen Markengrundes bereits die breite Basis für eine **intensive Agrarwirtschaft** geschaffen, so wurde diese nun durch Meliorationsmaßnahmen weiter gefördert (Abb. 22). Nach wie vor wurde in der Region an erster Stelle Roggen angebaut. Die Pollenkurve von *Secale* erreichte in einem deutlichen Anstieg auf Werte von 4-5 % erneut die mittelalterlichen Frequenzen bzw. überragte sie mit bis zu 8 % (135 cm) erstmals. Demnach rückten die Wirtschaftsflächen erstmals seit dem Mittelalter wieder bis an die Ufer des „Großen Heiligen Meeres“ heran, wie es auch der Literatur und den Karten zu entnehmen ist, wonach das westliche Ufer um die Jahrhundertwende von Feldern gesäumt war (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895, RUNGE 1987).

Neben Roggen wurden als weitere Getreide Gerste und Hafer, als Zwischenfrucht vereinzelt Lein, vor allem aber Kohl und Raps (*Brassicaceae*) kultiviert. Auf den Böden der einstigen Mark wurden dem Pollenspektrum zufolge nach wie vor primär Buchweizen und Hanf gepflanzt. Während *Cannabis* zur Blütezeit des westfälischen Handels und Textilgewerbes bereits seit dem 18. Jh. Große Bedeutung erlangt hatte, erreichten die kontinuierlich steigenden Erträge erst in der zweiten Hälfte des 19. Jh. ihr Optimum (8-9 %, 155, 110 cm). Das endgültige Ende des Töddentums und des Gewerbes der Heuerlinge um 1880-90 gründete daher weder auf Mangel an Rohstoffen oder Arbeitskraft, sondern allein auf der Selbständigkeit der einstigen Absatzmärkte nach Einführung der Baumwolle (KINDER & HILGEMANN 1986). Dabei deuten die hohen *Cannabis*-Werte von knapp 10 % im „Großen Heiligen Meer“ nach DÖRFLER (1989, 1990) auf eine lokale Hanfröste zur Gewinnung der Langfasern am „Großen Heiligen Meer“ oder dessen Vorflutern hin, die archivarisch jedoch nicht nachgewiesen werden konnte. Zumindest aber sprechen die *Cannabis*-Frequenzen für eine ganz lokale Hanfkultivierung innerhalb der „Meerbecke-Niederung“. Systematische Drainage, aber auch die Einführung des Tiefpflügens erleichterte seit Mitte des 19. Jh. die Überführung der Niedermoore zu Ackerland erheblich und begründet den späten Höhepunkt der Hanfkultivierung. So korrelieren die Ergebnisse aus

dem Untersuchungsgebiet insgesamt mit denen von KUBITZKI (1961), DÖRFLER (1989), BRANDE (1985) und FREUND (1994) die gleichfalls einen kontinuierlichen Hanfanbau vom Mittelalter bis hinein in das frühe 20. Jh. nachwiesen.

Parallel zum Anstieg aller Kulturarten und Arten der begleitenden Ackerflora, weist auch ein Einschnitt bzw. Anstieg im Pollenspektrum aller Grünlandarten auf den **Intensivierungsschritt innerhalb der Grünlandwirtschaft** hin (Abb. 21). Dabei ist aufgrund deutlich höherer *Cyperaceae*- (incl. *Scirpus sylvaticus*) als *Poaceae*-Werten und wegen eines nach wie vor breiten Spektrums helophytischer Wiesenelemente weiterhin von tiefgründigen, riedreichen Feucht- und Nasswiesen im unmittelbaren Umfeld des „Großen Heiligen Meeres“ auszugehen. Dieses wurde, ringsum von einem Weidengebüsch-Saum geschützt, auch gegen Ende des 19. Jh. wie in den Jh. zuvor als Entenfang genutzt (o.A. 1885, KLOCKE 1892).

Regional zeigt sich jedoch ein deutlich verändertes Artenspektrum, das u.a. auf eine regionale Grundwasserabsenkung als Auswirkungen der systematischen Entwässerung zurückgeführt werden kann. So wurde im Untersuchungsgebiet im Rahmen der Markenteilung und Wirtschaftsintensivierung nicht nur die Erschließung der trockeneren „Heilig- Meer-Zone“ über Wege- und Grabennetze weiter vorangetrieben, sondern insbesondere auch die Entwässerung und Kultivierung der feuchteren „Meerbecke-Niederung“ und des nordwestlichen Moorgeländes über ein systematisches Drainagesystem forciert (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1842 und 1895). In diesem Zusammenhang wurde bereits um 1842 der Entwässerungsgraben der Meerbecke weiter ausgebaut (TEBBE 1970, RODE & EBLAGE 1994). Die „Moorwiesen“ im nordöstlichen Erdfallgebiet sowie der daran anschließende „Höpenbruch“ nahmen den größten Teil der einstigen, insgesamt 139 ha Niederungsmoor der Gemeinden Hopsten und Recke ein (BÖMER 1895). Im Südosten wurde 1906 schließlich auch das Uffler Moor entwässert (SCHOTTE, A. 1956). Auch der Ausbau des Wasserlösungsstollen im Bockradener Kohlewerk förderte die Grundwassersenkung, indem er nach FINKE (1995) zahlreiche Quellen im Recker Raum trockenlegte: Im Vergleich zu den Feuchtgrünlandereien des Mittelalters sind die Hochstaudenelemente (*Filipendula*, *Valeriana*, *Cirsium*, *Apiaceae* incl. *Heracleum*, *Rumex*) und Sumpfpflanzen (z.B. *Ranunculus flammula*, *Rubiaceae*, d.h. *Galium uliginosum* und *G. palustre*) innerhalb des Wirtschaftsgrünlandes des 19. Jh. deutlich zurückgegangen. Im Gegenzug nahmen die Vertreter mehrschüriger und gedüngter Wiesen (*Caltha*-, *Lactuca*- und *Cerastium*-Typ) und intensiv genutzter Weiden (*Ranunculaceae*, *Plantago*) weiter zu. Die seit dieser Zeit verstärkt im Spektrum auftretenden *Ranunculus acris*- und *Plantago lanceolata* (Maximum 100 cm) bzw. *maior/media*-Pollentypen, aber auch die *Brassicaceae* (d.h. vor allem *Cardamine*) und die leicht steigenden *Poaceae*-Werte indizieren zudem die wachsende Bedeutung ertragreicher Futterwiesen und Rinderweiden seit dem Aufkommen der industriellen Großviehzucht und Molkereiwirtschaft, d.h. dem erneuten Wechsel vom Kleinvieh- (Schaf-) und Heidebauern zum Großvieh- und intensiv wirtschaftenden Grünlandbauern (HOPSTER 1974). Insgesamt korrelieren die Ergebnisse daher mit den Beobachtungen FREUNDS (1994), der das Aufkommen erster, echter Wiesen- und riedartiger Vegetationseinheiten seit dem 19. Jh. beschrieb. Auch bei MOHR (1990) lässt sich ein explosionsartiger Anstieg der *Poaceae*, begleitet von *Ranunculaceae*, *Ligulifloren* u.a. *Asteraceae* sowie *Brassicaceae* im Zuge der einsetzenden Grünlandwirtschaft in der Fuchtelmörte beobachten. Nach MEISEL (1969) und ELLENBERG (1996) modifizierte vor allem der Mähweidebetrieb mit seiner 2-3-schürigen Nutzung plus Nachweide das Standortgefüge und die Konkurrenzsituation der Grünlandvegetation. Er führte letztendlich zu einer Umstrukturierung des Artengefüges, einer floristischen Verarmung zugunsten der konkurrenzkräftigen *Ranunculaceae* und einer starken Vergrasung.

#### 6.2.4.5 Siedlungsdepression während der Weltkriege (Anfang 20. Jh.)

Das 20. Jh. begann mit den Schrecken der Weltkriege, die abermals eine Dezimierung der Bevölkerung nach sich zogen. Der Wiederaufbau und Wirtschaftsaufschwung in der Zeit zwischen den Kriegen, der unter anderem mit dem Ausbau der Dörfer (zentralen Einrichtungen) begann, wurde regional von dem Ende des Erzabbaus überschattet, der aufgrund einer Konkurrenzschwäche auf dem internationalen Markt, aber auch wegen teilweiser Erschöpfung der Reserven zum Erliegen kam. Zugleich beginnen regional relativ früh Maßnahmen zum Landschaftsschutz und zur Schaffung von Erholungsraum und Tourismus. So entsteht ca. 1900 der Herthasee, der ursprgl. zur Aufnahme der Ibbenbürener Grubenwässer gedacht war (SCHOTTE, A. 1956, TK 25 3611 „Hopsten“ 1925), und 1927 wird das NSG „Heiliges Meer“ ausgewiesen (TERLUTTER 1995).

Wie in früheren Zeiten, so schlägt sich auch die Siedlungsdepression des beginnenden 20. Jh. in einem Nachlassen anthropogener Indikatoren im Pollendiagramm nieder (Abfall SAZ < 10 %, *Plantago lanceolata* < 1 %, *Rumex* < 1 %). Das Landschaftsbild in der ersten Hälfte des 20. Jh. zeichnete sich durch eine weitere Verschiebung des Laubbaum-/Nadelbaumverhältnisses aus. Während sich die Eichenwälder, die sich zumeist kleinparzelliert, in bäuerlichem Privatbesitz befanden, zunächst kurzfristig erholten, gingen sie langfristig mit dem generellen Rückgang der restlichen Laubwälder zurück (BP-Minimum von 50 %, Eichenabfall von 18 % auf 8 %). Demgegenüber nahm die Ausdehnung der Nadelwälder - entsprechend der steigenden Kiefernpollenkurve - wieder leicht zu. Während KÖLKER (1936) zufolge 1936 noch 80 % des Ibbenbürener Plateaus von staatlichen Fichtenforsten bedeckt waren, wurden die kleinflächigen Wälder der Ebene zum größten Teil von Kiefern-Staatsforsten gebildet, die sich besonders im „Heiligen Feld“ ausdehnten. In der Gemeinde Hopsten bedeckten sie zwar nur 124 von 4892 ha, befanden sich allerdings in unmittelbarer Umgebung des Sees. Die Kiefernforste, aber auch spontan, während der Wirtschaftsdepression aufkommende Baumgruppen, engten die Heiden des Untersuchungsgebietes weiter ein (*Calluna*-Abfall). In einem letzten *Pinus*-Maximum (40%, 40 cm) spiegeln sich dann bereits die kurzfristigen Aufforstungen der Nachkriegszeit wieder, die der erneuten Kultivierung und dem vorerst endgültigen Kiefernrückzug im Rahmen der Flurbereinigung vorangehen.

Deutlich wirkten sich die Kriege insbesondere auf die Landwirtschaft aus, wobei vor allem der Ackerbau einen deutlichen Rückgang erfuhr. Sowohl der Roggen- und generelle Getreideanbau als auch die Hanfkultivierung gingen stark zurück bzw. wurden gar für einige Jahre unterbrochen, wie die Fundlücken innerhalb der *Cerealia*-, *Centaurea cyanus*- und *Fagopyrum*-Pollenkurve andeuten. Nach KÖLKER (1936) erstreckte sich das Hauptagrargebiet, das in seiner Struktur durch Klein- und Mittelbetriebe bestimmt wurde, nach wie vor entlang der Mittelgebirgsschwelle. Hauptfrucht blieb der Roggen, der im intensiven Anbau nun auch auf dem Plateau und in der Niederung kultiviert wurde. Daneben wurden hier weiterhin vereinzelt Buchweizen und Kartoffel gepflanzt, während die Felder des alten Kulturlandes des weiteren mit Weizen und Hafer, letzterer primär als Pferdefutter, sowie Runkel- und Steckrüben als Hornviehfutter bestellt wurden. Entlang des südlichen Ibbenbürener Tales zogen sich schließlich Obst- und Gemüsegelder sowie vereinzelt Weinäcker. Demgegenüber konzentrierten sich die Grünländereien auf die Täler im Mittelgebirgsbereich, insbesondere auf das Haupttal der Ibbenbürener Aa, und wurde auch das „Erdfallgebiet“ größtenteils von Wirtschaftsgrünland geprägt, das von einem dichten Netz von Entwässerungsgräben, Baumreihen, Wallhecken und Gebüschinseln durchzogen war (KÖLKER 1936).

Während die Regeneration der Erlenwälder (steigende *Alnus*- und *Scrophulariaceae*-Kurve) zunächst als weiterer Ausdruck der Siedlungsdepression während der Weltkriege gesehen werden kann, spricht die gleichzeitige Ausbreitung der Helo- und Hydrophyten für eine Dominanz natürlicher, subrosiver Vernässungs- und Versumpfungsvorgänge im

unmittelbaren Umfeld des 1913 entstehenden „Erdfallsees“ und benachbarten „Großen Heiligen Meeres“. Dem steht eine gegensätzliche Entwicklung im weiteren Umfeld der Gewässer gegenüber, die den enormen Eingriff des Mittellandkanal-Baus in das Hydroregime des Untersuchungsgebietes unterstreicht. So geht der Rückgang der Wiesenelemente (*Cyperaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*, *Ligulifloren*, *Caltha*) nicht mit der Entwicklung von Hochstaudenfluren (z.B. des *Filipenduletum*) und Weidengebüschen einher, die erwartungsgemäß eine sukzessive Entwicklung auf feuchten Grünlandbrachen widerspiegeln. Hier scheinen sich also die Standortveränderungen im Zuge der gewaltigen Grundwasserspiegelsenkungen durch den Kanalbau widerzuspiegeln, die nach BEYER (1973) zur endgültigen Entwässerung und Zerstörung des Uffler Moores führte. Der Kanal wurde 1915 als Ems-Weser-Elbe-Kanal gebaut und schloss den Ibbenbürener Bergbau an das internationale Transportwege- und Versorgungsnetz an.

#### 6.2.4.6 Entstehung der heutigen Agrarlandschaft (seit 1965)

Nach Unterbrechung durch die Kriegsjahre und einem ersten Wiederaufbau in den fünfziger Jahren setzte in den sechziger Jahren eine zweite Gründerzeit und ein erneuter Wirtschaftsaufschwung ein. Dieser führte zwar zu einem Niedergang der Landwirtschaft als Haupterwerbszweig; zunehmende Intensivierung und Industrialisierung (Technisierung, Dünger- und Chemieeinsatz, Rationalisierung) ließen jedoch die heutige, moderne und intensiv genutzte Agrarlandschaft entstehen. Meliorationsmaßnahmen und landwirtschaftliche Umnutzung und Wegeausbau im Rahmen der Flurbereinigung führten eine zunehmende Enttypisierung, Nivellierung und Eutrophierung der Standorte herbei. Daneben setzte in den letzten 25 Jahren eine ökologische Umorientierung ein, die der Uniformität der Landschaft entgegensteuernd den aktiven Naturschutz zum Ziel erklärte, d.h. die Erhaltung naturnaher Ökosysteme und historischer Kulturlandschafts-Elemente.

Ein weiterer BP-Abfall auf ein Minimum von 50 %, korrelierend mit einem deutlichen Anstieg aller SAZ, speziell des Wegerichs auf zwei und mehr Prozente kennzeichnet den Siedlungs- und Wirtschaftsaufschwung der Nachkriegszeit (Abschnitt 8 nach SCHROEDER 1956). Er zeichnet einerseits die Ausweitung der Besiedlung innerhalb des „Heiligen Feldes“ und der „Meerbecke-Niederung“ (z.B. Forsthaus) im Zuge der Flurbereinigung nach, andererseits spiegelt er die Rodung der regionalen Mischwälder und Nadelforste wider. Bis auf die Bestände im NSG und einen Kiefernwald im NSG Uffler Moor wurden die Wälder in Wirtschaftsland überführt (TK 25 3611 „Hopsten“ 1939, Ausgabe 1950). Ein deutlicher *Pinus*-Abfall auf 20 % und 10 % (15, 10 cm), kann mit der Abholzung der lokalen Kiefernbestände in den sechziger Jahren verknüpft werden (BEYER 1969).

Das palynologische Spektrum verdeutlicht durch *Secale*-Werte, die über 10 % steigen, und vereinzelte *Zea mays*-Pollenfunde die deutliche Intensivierung der Agrarwirtschaft, die insbesondere durch den zunehmenden Umbruch des Heide- und Wirtschaftsgrünlandes zu tiefdrainierten, stark gedüngten Ackerlandes gekennzeichnet war. Selbst Feuchtwiesenbereiche wie „Pötters Wiesen“, „Brooks Wiesen“ sind größtenteils in Ackerland oder zumindest Weidegrünland überführt worden (TK 25 3611 „Hopsten“ 1956, Ausgabe 1959). Nach wie vor dominierte der Roggenanbau (neben Hackfrüchten, Kartoffeln und Hafer) während Hanf- und Buchweizenkultivierung fast vollständig verschwinden. Mit den Meliorationsmaßnahmen der Flurbereinigung rückte der Roggen dann auch bis an den Senkenrand und bis an die Grenzen des NSG „Heiliges Meer“ (TK 25 3611 „Hopsten“ (Luftbild) 1960) heran. Während noch in den 70er Jahren der sogenannte Grünland-Getreide-Hackfrucht-Landbautyp vorherrschte, bei dem auf den Eschfluren Sommergerste, Sommermengegetreide und Hafer, untergeordnet Roggen und Hackfrüchte angebaut bzw. auf den Markflächen Roggen, Sommermengegetreide, Kartoffeln und Runkelrüben kultiviert wurden (GEERS 1971 und RÖMHILD 1971 zit. n. RODE & EBLAGE 1994), ist heute überwiegend der Mais-Landbautyp verbreitet. In ihm dominierte Mais auf den Esch-

fluren (daneben Winterroggen und *Triticale*, ausnahmsweise Sommergerste und Raps). Mais und *Triticale* waren auf einstigen Grünlandflächen in der Mark verbreitet. Zu dieser Entwicklung hat nicht zuletzt auch die Verlagerung von der Milchwirtschaft auf die Fleischproduktion geführt, die eine anspruchsvolle Futterproduktion als Grundlage für die Massentierhaltung benötigte.

Im Bereich des Grünlandes steht, beginnend mit dem Wirtschaftsaufschwung der Nachkriegszeit, vor allem aber in Korrelation mit der Flurbereinigung der 1960er Jahre, eine Verschiebung des *Cyperaceae-/Poaceae*-Verhältnisses und ein massives Auftreten sämtlicher Weidezeiger. Beides unterstreicht die allmähliche Verdrängung der extensiven Wiesenwirtschaft zugunsten der sich ausbreitenden intensiven Grünlandwirtschaft mit ertragreichen, „vergrasteten“, krautarmen Wiesen und vorherrschenden Mäh- und Standweiden (MEISEL 1960, ELLENBERG 1989). Hinter dem allgemeinen BP-Abfall steht schließlich auch, dass die Baumreihen und Wallhecken verschwinden, die die Wiesen- und Weidenlandschaft bis vor der Flurbereinigung charakterisierten (TK 25 3611 „Hopsten“ (Luftbild) 1960, 1989).

Die Auswirkungen des Naturschutzes schlagen sich unter anderem in der Regeneration der NSG-eigenen Waldbestände (*Pinus*-Anstieg) und der erneuten Ausbildung eines Waldgürtels um das „Große Heilige Meer“ nieder (*Alnus*-Anstieg). Bereits 1964/68 wurde zum Schutze des „Großen Heiligen Meeres“ eine Schneise in den sich regenerierenden Uferwaldgürtel geschlagen und die Meerbecke, die den See bis dahin durchfloss, an die SO-Grenze des NSG verlegt. Zugleich wurden Pufferzonen um das „Heilige Meer“ angekauft und das Grünland der „Meerbecke-Niederung“ im Rahmen des nordrheinwestfälischen Feuchtwiesen-Schutzprogrammes unter Schutz gestellt, die Wiesen z.T. wiedervernässt (AGF 1994). Die Folgen dieser Maßnahmen für die unmittelbare Ökologie des „Großen Heiligen Meeres“ werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

## 7 Darstellung der Vegetations-, Diatomeen- und Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“

### 7.1 Gewässervegetation und ihre Entwicklung

Die Vegetationsentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ ist in Abhängigkeit von den wechselnden geologisch-morphologischen und pedologischen Bedingungen sehr vielfältig. Ihre Rekonstruktion erfordert eine differenzierte Betrachtung der Verlandungsprozesse, da die bereits beschriebene, polymorphe Struktur des Gewässers das parallele Vorhandensein von Arten unterschiedlichster ökologischer Ansprüche ermöglicht. Des Weiteren tragen die anthropogenen Eingriffe in das Ökosystem zur Komplexität der sukzessiven Vorgänge bei. Diese sollen nun in ihren einzelnen Phasen näher beleuchtet werden (Profil „Großes Heiliges Meer“).

#### 7.1.1 Initiale Vegetation am frühhistorischen Waldsee

Die Vegetation des in frühhistorischer Zeit entstandenen Erdfallgewässers war zunächst, entsprechend den geringen, palynologischen und makrorestanalytischen Nachweisen hydro- und helophytischer Arten, sehr spärlich und charakterisierte ein nährstoffarmes Milieu, wie es von einem natürlichen Gewässer innerhalb der pleistozänen Sandlandschaften zu erwarten war:

Das Pelagial war zunächst vegetationslos und daher äußerst trophiearm. Es wurden weder *Pediastrum* noch Pollen einer Schwimmblattvegetation gefunden. Auch das Litoral war zunächst kaum bewachsen, wobei neben der Nährstoffarmut sicherlich auch Ausschattung

eine üppige Vegetationsentwicklung am Waldsee hemmte. Mit den vereinzelt nachgewiesenen von *Myriophyllum alterniflorum*, *Littorella uniflora* und *Hydrocotyle vulgaris* differenzierten sich einige wenige Elemente des heutigen *Littorellion*-Verbandes (**Strandlings-Basalgesellschaften**). Beruft man sich auf die rezent-ökologischen Ansprüche der Arten und geht davon aus, dass sich diese seit prähistorischen Zeiten nicht wesentlich verändert haben, indizieren sie die sehr zerstreute Pionierflora einer offenen Uferbank. Entsprechendes gilt für die Sporenfunde der Lebermoose *Anthoceros laevigata* und *A. punctatus*, die natürlicherweise auf kalkfreien Standorten, trockengefallenen Teichböden und offenen Uferbänken anzutreffen sind (FRAHM & FREY 1992). Diese Pioniervegetation war vermutlich nur entlang eines flachen, schmalen Ufersaums am Westufer, im Kontakt zu den holozänen Flug- und Dünenansanden, zu finden. Weder das Südufer mit seinen Steilabbrüchen noch die flachen, aber an Torfe grenzenden Nord- und Ostufer boten einen entsprechenden Standort. *Lobelia dortmanna*, die früher am „Erdfallsee“ und „Heideweiher“ die oligotraphenten Strandlingsrasen dominierte (BÜKER 1940, DIERSSEN 1972, 1973, LÜBBEN 1973, RUNGE 1974), wurde lediglich in den beiden untersten Proben der Gewässermudden gefunden (833 u. 832 cm Sedimenttiefe). *Pilularia* und *Baldellia* konnten palynologisch dagegen ebenso wenig nachgewiesen werden wie *Isoetes*, die im NSG rezent-floristischen Untersuchungen zufolge von jeher fehlte (POTT 1982a). Eine typisch oligotraphente Verlandungsreihe, wie sie POTT (1982a) modellhaft aufstellte, scheint am „Großen Heiligen Meer“ daher nie existiert zu haben. Sicherlich ist dies auf das stenöke Verhalten der Strandlingsgesellschaften gegenüber Eutrophierung, Versauerung, Beschattung und Konkurrenz zurückzuführen (PREISING et al. 1990, ELLENBERG 1996). So wie die Bestände nach WITTIG & POTT (1981) und KAPLAN (1993) heute durch anthropogene Einflüsse stark gefährdet sind, haben diese Faktoren, ausgehend vom umgebenden Weidenbüsch und Bruchwald, bereits die Litoralbereiche des initialen „Großen Heiligen Meeres“ beeinflusst. Daher fehlten optimale Standorte, die nach HAGEMANN et al. (2000) sowohl im Frei- als auch im Interstitialwasser durch oligotrophe Verhältnisse charakterisiert werden, nahezu ganz.

So wurden die waldbestockten Gewässerufer vor allem durch die rasche Ausbildung eines Gebüschmantels aus Weiden charakterisiert (Abb. 23). Dieses Weidengebüsch erreichte schnell seine größte Ausdehnung, bevor es sowohl sukzessive von Erlenbruchwäldern als auch anthropogen durch Rodung eingeengt wurde. Es umgab in dieser frühen Gewässerphase als mehr oder weniger geschlossener Gürtel wohl den gesamten See, war vermutlich aber an den flachen Ost- und Norduferrändern, d.h. im Kontakt zu den Erlenbruchwäldern der „Meerbecke-Niederung“, am stärksten ausgeprägt. Das Gebüsch, an dem auch *Rhamnus frangula* beteiligt war, wurde sicherlich von *Salix cinerea* dominiert und glich dem heutigen **Weiden-Faulbaum-Gebüsch** (*Frangulo-Salicetum*) an den Ufern dys-mesotropher Gewässer, wie es vom heutigen „Heideweiher“ und „Erdfallsee“ beschrieben wird (HASSE 1994, MACHARACEK 1996). Dort schließt es landwärts an *Potentilla palustris*-Schwingrasen an, die auch am frühen „Großen Heiligen Meer“ ausgeprägt waren (Kap. ff.). Entsprechend prägten mesotrophe Arten wie *Potentilla palustris*, *Hydrocotyle vulgaris* sowie *Scheuchzeria-Caricetea*-Arten das Krautspektrum.

Dieses Weidengebüsch bildete nun den Vorwald zu den autochthonen Erlenwäldern, wie sie auch vor der Entstehung des Erdfallgewässers am Standort stockten und nun sukzessive regenerierten. Das Pollenspektrum unterstützt hier in Korrelation zur heutigen Gliederung der Feuchtwälder (DÖRING-MEDERAKE 1991, MAST 1999) die Differenzierung zweier Waldtypen (Abb. 23): Über den Gleyen am Süd- und Südostufer wuchsen minerotrophe Erlenbestände, in denen *Fraxinus excelsior* einen hohen Anteil an der Baumschicht besaß. Der Nachweis eines Teilblättchens der Esche in den basalen Mudden verweist auf ihre unmittelbare Präsenz an den Ufern des jungen Waldsees. Ferner deuten auch die *Fraxinus*-Frequenzen im Pollenspektrum auf die einstmalige weitere, lokale Verbreitung der Esche, die nach MAST (1999) in Erlenbruchwäldern nahezu vollständig fehlt.

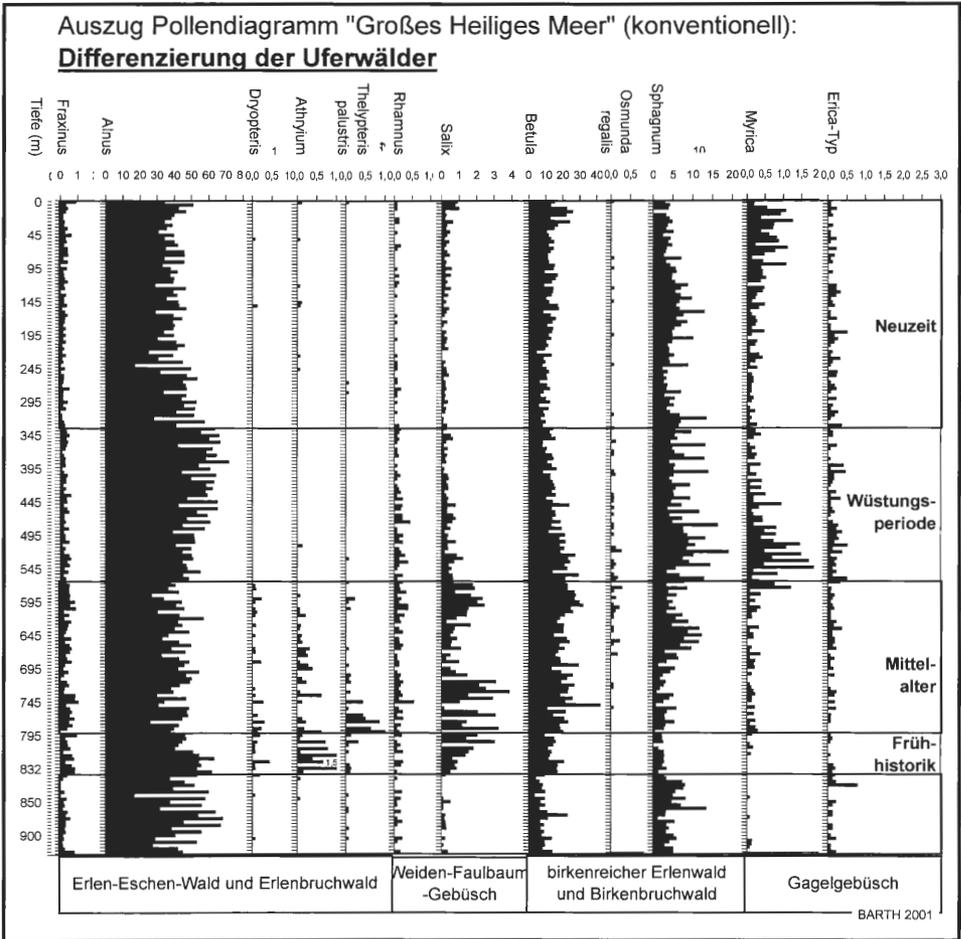


Abb. 23: Differenzierung der Uferwälder am „Großen Heiligen Meer“ (Pollenteildiagramm „Großes Heiliges Meer“).

Soziologisch standen die Uferwälder des „Großen Heiligen Meeres“ daher z.T. den heutigen **Erlen-Eschen-Wäldern** (*Pruno-Fraxineten*) nahe. Die Krautschicht dieser Wälder wurde durch starke Vorkommen des Frauenfarns, *Athyrium filix-femina*, gekennzeichnet, eine Art, die jedoch auch in den angrenzenden Bruchwäldern verbreitet war. **Erlenbruchwälder** stockten primär über den Niedermoororten der „Meerbecke-Niederung“ am Nordost- und Nordufer des Sees. Im Unterschied zu heute waren im Unterwuchs dieser Erlenbruchwälder deutlich mehr Farne vertreten. Vor allem reichliche Nachweise des Sumpffarns *Thelypteris palustris*, den RUNGE (1957) noch am Ostufer des Sees registrierte, charakterisierten diese Wälder als nährstoffreich und nass. Ferner prägten Röhrichte und Seggenriede den Unterwuchs der lichten Wälder und bildeten vermutlich bereits einen schmalen Saum um das nördöstliche Flachgewässer. Insgesamt glichen diese Bruchwälder daher weitgehend der typischen, schlenkenreichen Ausbildung des *Cari-ci elongatae-Alnetum* in der heutigen pflanzensoziologischen Stellung.

## 7.1.2 Pioniervegetation sowie Verlandung des Flachsees im Mittelalter

### 7.1.2.1 Torfmoos- und seggenreiche Pioniervegetation

Das mittelalterliche Gewässer war weiterhin äußerst trophiearm, d.h. das Pelagial war bei einem Hydrophytenanteil von 0,5 % im Pollenspektrum kaum besiedelt; *Pediastrum* wurden erst gegen Ende der hochmittelalterlichen Landnahmephase sporadisch gefunden. Anhand der Rekonstruktion der Litoralvegetation-Entwicklung festigt sich die These, dass eine typisch oligotrophente Vegetation am frühen „Großen Heiligen Meer“ nie existiert hat, sondern dass vielmehr von dystrophen Verhältnissen am Beginn der Gewässerentwicklung ausgegangen werden muss: Die Vegetation aktueller, dystropher Gewässer, die neben Schwimmdecken aus Torfmoosen vor allem Flutrasen aus Binsen (z.B. *Juncus bulbosus*) und *Cyperaceae* (z.B. *Eriophorum angustifolium*, *Scirpus fluitans*, *Rhynchospora fusca*) umfasst (POTT 1980, POTT et al. 1996) ist pollenanalytisch schwer fassbar. Sie wird einerseits durch die grundsätzlich hohen Frequenzen der *Cyperaceae* und *Sphagnum* erfasst, kann aber durch deren Kurvenverlauf, der primär von den Faktoren der Landschaftsöffnung und Hydrologie abhängt, nur ungenügend nachgezeichnet werden. Andererseits stützen die sedimentanalytischen Untersuchungen das Ergebnis: Die äußerst spärlichen bis fehlenden Makrorest-Funde sind nicht allein typisch für profundale Profile, sondern kennzeichnen zudem auch vegetationsarme, dystrophe Gewässersedimente. Im gleichen Sinne bestätigt der nahezu fehlende, pflanzliche Detritus in der basalen Gelmudde bzw. der lediglich vereinzelt von *Sphagnum*-Phylloiden und *Cyperaceae*-Radizellen, sowie allochthoner, gering zersetzter Blattfragmente (811-751 cm, Profil „Großes Heiliges Meer“) die Entwicklung einer torfmoos- und seggenreichen Pioniervegetation eines nährstoffarmen und vegetationsarmen, huminsauen Waldsees. An dessen Ufern, die abgesehen von den direkten Abbruchkanten von Beginn an allseits bewachsen waren, förderte die erdfallbedingte Vernässung und Lichtung, ebenso wie das äußerst nährstoffarme Seewassermilieu das Wachstum der Torfmoose, die z.T. auch als Schwimmdecken in das Gewässer vordrifteten. Ein Einzelpollenfund von *Utricularia* reiht sich in dieses Bild ein. Auch der Nachweis des Gallert-Moostierchen *Cristatella mucedo*, das typischerweise aus Moorwassern beschrieben wird (STREBLE & KRAUTER 1988), bestätigt diese ökologische Klassifizierung.

Diasporenfunde von *Potentilla palustris*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Ranunculus lingua*, *Menyanthes trifoliata* und *Equisetum* sp. umfassen schließlich mesotrophente Arten, die auch in den dystrophen Bereich vordringen können, und runden das Modell dystropher Verhältnissen am mittelalterlichen „Großen Heiligen Meer“ ab. *Potentilla palustris* gilt nach POTT (1995) als schwache Charakterart der *Caricion lasiocarpae*-Gesellschaften, die Schwingrasen an dys- bis mesotrophen Niedermoorgewässern ausbildet. Nach OBERDORFER (1990) besiedelt sie nasse bis überschwemmte Torf- und Schlammböden, die nach HAGEMANN et al. (2000) anaerobe Bedingungen mit starker Nitrat- und Sulfatzehrung ( $H_2S$ -Nachweis) aufweisen. Dabei stehen den hohen Elektrolytwerten des basischen Sedimentes (*Dygyttia*) Leitfähigkeitswerte von nur 50-80  $\mu S/cm^3$  im Freiwasser gegenüber. Zusammenfassend spiegeln die Gesellschaften aus Sumpfblytaugen, Strauß-Gilbweiderich, Fieberklee u.a. niedrigwüchsige Kleinröhricht-Formationen wider, die kleinflächig an die vereinzelt Strandlings-Basalgesellschaften angeschlossen, vor allem aber mosaikartig mit den torfmoos- und seggendominierten Gesellschaften verzahnt waren. In diesem Verbund ähnelte ihre soziologische und ökologische Stellung bereits den rezenten, den *Magnocaricion*- und *Caricion nigrae*-Gesellschaften zugeordneten Beständen. Ferner ordneten sie sich in das Bild einer dys-mesotrophen Verlandungsvegetation ein, die sich allmählich aus kleinblättrigen *Potamogeton*-Gesellschaften mit *Ranunculus batrachium* und *Potamogeton* sp. sowie ersten *Nymphaea alba*-Beständen aufbaute und somit zur nächsten Phase der Vegetationsentwicklung überleitete.

### 7.1.2.2 Ausbreitung von Schwimmblattdecken

Parallel zu der Entwicklung einer dystraphenten Pioniervegetation eroberten von Beginn des Mittelalters an vereinzelte höhere Pflanzen das offene Wasser, um sich während des 12. Jh. erstmals optimal auszubreiten (Abb. 24). Die Zunahme des Hydrophytenanteils im Pollenspektrum spiegelt die Ausbildung einer Schwimmblattvegetation und die autochthone Nährstoffakkumulation im Gewässer wider. Die dominanten mittelalterlichen Pollenfrequenzen von *Nymphaea*, welche auch die rezenten Werte deutlich überschreiten, die ökologische Einnischung der Seerose in Flachgewässer von 0,5 bis zu 3 m Tiefe (OBERDORFER 1990) und schließlich die Dimorphie des „Großen Heiligen Meeres“ lassen darauf schließen, dass zunächst die Verlandung des nördlichen Flachsees eingeleitet wurde. Dem südlichen Gewässerteil fehlte eine entsprechend emerse Wasservegetation noch, doch auch hier deutet der Stratenwechsel im Sediment die einsetzende Eutrophierung bereits an.

Bzgl. des konkreten Artnachweises sind die frühen Pollenfunde des Typs *Ranunculus batrachium* und *Sparganium* sowie die ersten *Nymphaea*- bzw. deren Epidermiszellen-Nachweise unspezifisch: In Anbetracht der Nährstoffarmut könnten sie auf das Vorkommen der anspruchslosen, säuretoleranten Arten *Ranunculus tripartitus*, *R. peltatus* oder *R. ololeucos*, auf *Sparganium angustifolium* sowie *Nymphaea alba* var. *minor* deuten. Schwimmblattdecken der Kleinen Seerose werden heute vom „Heideweiher“ u.a. dysmesotrophen Stillgewässern Nordwestdeutschlands beschrieben (HELLBERG 1979, FRONTZEK 1980, WITTIG 1980, POTT 1980, HASSE 1994). Kleinflächig existieren sie auch am westlichen „Großen Heiligen Meer“ in 0,5-0,8 m Tiefe über Dygyttien (STORM 1996, HAGEMANN et al. 2000). Sie würden sich daher gut in die bislang beschriebene dys- bis mesotraphente Verlandungsserie aus *Sphagnen*- und *Cyperaceae*-dominierten Pioniergesellschaften und Kleinröhrichten im Vorfeld von Weidengebüschen einordnen.

Zugleich könnten in Anbetracht der natürlichen Standortdifferenzierung aber auch die anspruchsvolleren Arten der Pollentypgruppen *Ranunculus circinatus* oder *R. aquaticus*, *Sparganium erectum* und *Nymphaea alba* var. *typicum* erfasst worden sein. Sie bestimmen noch heute die Vegetation des „Großen Heiligen Meeres“ und könnten bereits damals die Vegetation eines nährstoffreicheren, nordöstlichen Gewässerteils repräsentiert haben. Schon SCHROEDER (1956) verwies in diesem Zusammenhang auf die eutrophierenden Einflüsse der am Nordostufer angrenzenden Niedermoortorfe. Sie verliehen dem „Großen Heiligen Meer“ einen Sonderstatus unter den pleistozänen Gewässern und betonten von Beginn seiner Genese an die polaren Verhältnisse und die Vegetationsdifferenzierung an den verschiedenen Seeufern. HAGEMANN et al. (2000) weisen in diesem Zusammenhang auf die Nährstoffversorgung der Schwimmblattdecken über das reduzierte, phosphatreiche Interstitialwasser hin, das in ihren Untersuchungen bis zur 5-fachen Nährstoffkonzentration des Freiwassers, einen erhöhten Basengehalt und pH-Werten um den Neutralpunkt enthielt. Pollenfunde von *Myriophyllum spicatum* und weiteren Begleitarten bestätigen schließlich die einstige Existenz einer meso-eutraphenten Schwimmblattzone, wie sie heute in etwa das *Myriophyllo-Nupharetum* darstellt (POTT 1983a, 1995). Dabei lässt sich eine Vegetationsentwicklung verfolgen, bei der mit Zunahme des Nährstoffangebotes die dominierenden Begleitarten wechselten: Dem frühen Auftreten von *Ranunculus* sp. folgte eine Ausbreitung von *Potamogeton* sp., dessen Pollen vermutlich der noch heute existenten Art *P. natans* zuzuordnen sind. Schließlich breiteten sich *Polygonum natans* f. *aquatica* und bei zunehmender Verlandung der Litoralbereiche auch *Nuphar lutea* aus. Der Fortgang dieser Sukzession, d.h. die Einbindung des Schwimmblattgürtels in einen anspruchsvollen Verlandungskomplex aus landwärts anschließenden Großröhrichten, Seggenrieden, Weidengebüschen und Bruchwald (Kap. ff.), untermauert die meso-eutraphente Verlandungsserie des Flachgewässers, die sich in vereinzelten *Nymphaea*-, *Ranunculus batrachium*- und *Potentilla palustris*-Nachweisen auch im semiterrestrischen, obe-



ren Horizont des „Meerbecke-Niederung“-Profils wiederfindet. Im übrigen steuerten neben der trophiebedingten Entwicklung offensichtlich auch Lichtverhältnisse die Vegetationsfolge. So existieren Nachweise von *Nymphaea*-Epidermiszellen schon lange vor den Pollenfunden der Seerose. Letztere tauchen erst parallel zum hochmittelalterlichen Siedlungsausbau und der lokalen Bruchwaldrodung auf, was auf das frühe Vorhandensein der Seerose deutet, die jedoch erst in einer Lichtphase optimale, zur Blüte führende Bedingungen erhält.

#### 7.1.2.3 Entwicklung von Röhrichten und Seggenrieden

Hohe Werte von *Phragmites communis* sowie maximale *Cyperaceae*-Werte zeugen von der subrosionsbedingten Versumpfung ausgedehnter Flächen im Zuge der Erdfallsee-Entstehung. Im 13. Jh. erreichten Röhrichte und Seggenriede einerseits in natürlicher Sukzession, andererseits auch durch den Vorstoß des Menschen an die Ufer des „Großen Heiligen Meeres“, d.h. durch Rodung der ausgedehnten Weidengebüsche und Überführung des Landes in Streu- und Feuchtwiesen eine maximale Ausdehnung (Abb. 24).

Nach POTT (1985) besitzt das Schilfröhricht des heutigen *Scirpo-Phragmitetum* in seinen vielfältigen Ausbildungen eine breite ökologische Amplitude hinsichtlich der Trophie, die von oligo-/dys- über meso- bis eutroph reicht. Maximale Pollenwerte von *Typha angustifolium/Sparganium*-Typ und *Typha latifolia* sowie regelmäßige Nachweise von *Iris*, *Alisma* und *Lysimachia* sp. weisen die Röhrichtbereiche als artenreiche, eutrophe Gesellschaften aus, wie sie heute noch mit einer mittleren Artenzahl von 15-20 am „Großen Heiligen Meer“ existieren. Zugleich waren früher jedoch auch ausgedehnte Wasserlinsen-Decken verbreitet, die zumindest stellenweise noch relativ lichte Röhrichtbereiche bzw. windstille Buchten indizierten. Die hohen *Lemna*-Werte sind nach der Pollenbeschreibung von HEGI (1965) auf die Art *L. trisulca* zurückzuführen, deren Verbreitung sich natürlicherweise auf Gewässer von Erlenbruchwald-Landschaften konzentriert.

#### 7.1.2.4 Aufbau des Gehölzgürtels

Die Nutzungsaufgabe der hochmittelalterlichen Streuwiesen während des Interregnums führte Ende des 13. Jahrhunderts zu einer kurzfristigen Regeneration der Weiden-Faulbaum-Gebüsche und Erlenwälder. Steigende *Alnus*- und *Fraxinus*-Frequenzen stehen für die Ausbreitung der standorteigenen Erlen-Eschen- und Erlenbruchwälder.

Darüber hinaus entwickelten sich in dieser Zeit erste organotrophe Wälder, die aus der sukzessiven Verlandung des Gewässers hervorgingen (Abb. 23). Dabei kommt in diesen Schlussgesellschaften der Verlandungssukzession erneut die Vegetationsdifferenzierung an den verschiedenen Ufern des mittelalterlichen Gewässers zum Tragen, d.h. die parallele Verbreitung von Arten unterschiedlicher Nährstoffansprüche: Einerseits etablierten sich meso-eutraphente Erlenbruchwälder, die den bereits existierenden nordöstlichen Wäldern der „Meerbecke-Niederung“ glichen (Kap. 7.1.1). Andererseits entwickelten sich im Kontakt zu den minerotrophen Erlen-Eschen- und den feuchten Birken-Eichenwäldern nährstoffärmere Bruchwälder mit hohem Birken- und *Sphagnum*-Anteil. Daneben verweisen die nachlassenden *Thelypteris palustris*- sowie im Gegenzug ansteigende *Osmunda regalis*-Werte auf einen lokalen Trophiewechsel. Beide Farne sind atlantisch, in halbschattigen Bruchwäldern verbreitet; während der Sumpffarn jedoch nährstoffreiche, torfige Standorte charakterisiert, indiziert der Königsfarn nach POTT (1995) anmoorige, z.T. auch wasserzügige Standorte mesotropher Bedingungen. Den Kennarten OBERDORFERS (1990) folgend, kommt die Entwicklung nach MAST (1999) somit einem Assoziationswechsel vom *Carici elongatae-Alnetum* zum *Sphagno-Alnetum* nahe. Lokal werden sich zudem Birkenbruchwälder, entsprechend einem *Betuletum pubescentis*, ausgebildet haben, die im Gebiet bereits seit dem Atlantikum pionierhaft verbreitet waren (Kap. 6.1.2.2). Die heutigen Bestände am „Großen Heiligen Meer“ zeichnen sich nach HAGE-

MANN et al. (2000) durch extrem saure (pH 4,7), extrem elektrolyt- und nährstoffarme Standorte (Lf:  $63\mu\text{S/cm}$ ,  $\text{NH}_4^+$ : 1,0 mg/l,  $\text{PO}_4^{3-}$ : 0,042 mg/l) mit einem erhöhten Anteil an organischen Säuren aus.

#### 7.1.2.5 Regressive Vegetationsentwicklung und Expansion von Seerosen und Schachtelhalmdecken

Ein markanter Einschnitt im Pollenspektrum prägt die bis dato sukzessive Vegetations- und Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ zu Beginn des spätmittelalterlichen Siedlungsausbaus (Abb. 24). Vor dem Hintergrund der Sedimentstratigraphie, d.h. des lehmig-sandigen Interstratums bei 629-621 cm kennzeichnet er die gewaltige, spätmittelalterliche Sekundärsenkung. Diese ist mit einer regressiven Vegetationsentwicklung verbunden, die ihren Ausdruck zunächst in einer seewärtigen Verlagerung der Vegetationszonen des Litorals findet. Die palynologischen Ergebnisse verweisen auf einen extremen Rückgang der Seggenriede sowie eine hervorstechende Massenausbreitung der Hydrophyten. Ganz offensichtlich hat die spätmittelalterliche Nachsackung des Erdfalls also nicht nur eine Gewässervertiefung, sondern auch eine Vergrößerung des Litoralbereiches des „Großen Heiligen Meeres“ bewirkt. Somit lassen sich die maximalen Diasporenwerte der Verlandungspioniere *Nymphaea* und *Equisetum* mit einem erneuten Ausbreitungsschub von Seerosendecken und Schachtelhalmstümpfen auf Kosten der zuvor verbreiteten Seggenriede und der Eroberung des Flachwassers in seiner vollständigen Ausdehnung korrelieren. Die These von der Absenkung des nordwestlichen Flachgewässers wird insbesondere durch die hohen Sporenfrequenzen von *Equisetum* getragen, deren größte Anteile vermutlich *Equisetum fluviatile* zuzurechnen sind. *E. fluviatile* wird nach POTT (1992e) als Störzeiger und *Phragmitetum*-Initial angesehen, dementsprechend heute soziologisch ranglos dem *Phragmitetum*-Verband zugeordnet (POTT 1995), und kann somit als weiterer paläobotanischer Beleg für die regressive Vegetationsentwicklung herangezogen werden. Die mesotraphente Art wächst über Torfschlammböden leicht beschatteter Standorte und ist in der Lage Schwimmdecken auszubilden. Eine Absenkung des anmoorigen, nordwestlichen Uferbereiches ermöglichte daher eine optimale Ausbreitung des Pioniers auf der neu entstandenen Uferbank und Weiherfläche.

Günstige Lichtverhältnisse, Nährstoffregression und tiefere Wasserstände förderten zudem eine erneute Ausbreitung von Strandling, Wassernabel, Zungen-Hahnenfuß und Strauß-Gilbweiderich sowie insbesondere eine Ausdehnung des Sumpfbblutauges auf Kosten des Fieberklee. Das Optimum dieser krautigen Arten oligo-mesotropher Standorte qualifiziert die Trophieverhältnisse des „Großen Heiligen Meeres“ und charakterisiert insbesondere die geogene Standortdifferenzierung, d.h. die Entstehung eines nährstoffarmen, heideweiherartigen NW-Ufers. Kleinflächig waren diese Arten auch weiterhin am nährstoffarmen Westufer vertreten, wobei ihre Verbreitung insgesamt sowohl in den lockeren Schilfbeständen als auch in vorgelagerten Kleinröhrichten denkbar wäre. Ferner zeichnet sich im Artenspektrum der Röhrichte eine kurzfristige „Oligotrophierung“ des Gewässers ab, die ebenfalls in den Zusammenhang der subrosionsbedingten Gewässervertiefung und „Wasserverdünnung“ durch eindringende Grundwässer gestellt werden kann. Neben der regressiven Verschiebung der Verlandungsformationen kam es somit zu einer Regression in der Nährstoffentwicklung des Gewässers sowie in dessen trophieindizierender Vegetation: So erlitt die Verbreitung der eutraphenten Röhrichtelemente *Typha latifolia*, *T. angustifolia* und *Sparganium* sp. und der Wasserlinsendecken große Einbußen und die hochwüchsigen Röhrichte wurden nunmehr nur noch von *Phragmites communis* dominiert. Letztendlich ist auch die Lichtung der Erlenbruchwälder, die mit dem Rückgang der Erle und Anstieg der Birke, der Ausdehnung von Weiden-Faulbaum- und Gagel-Gebüsch und der Ausbreitung zahlreicher heliophiler Elemente einherging, primär auf subrosionsbedingte Standortvernässungen und eine regressive Vegetationsentwicklung zurückzuführen. In ihrem Zusammenhang begann sich am Nordwest-

ufer des „Großen Heiligen Meeres“ der Birkenbruchwald und das sogenannte „Moor“ auszubilden, ein kleinflächiger Bruchwaldbereich mit einem zwischenmoorartigen Unterwuchs aus *Myrica gale*, *Ericaceae* und *Sphagnen*.

Dennoch zeichnet sich langfristig eine Fortsetzung der sukzessiven Eutrophierung ab. Für das Pelagial fehlen zwar weiterhin die Hinweise für die Ausbildung einer submersen Hydrophytenzone. Doch weisen erste, regelmäßige *Pediastrum*-Funde, insbesondere von *P. angulosum*, auf die fortschreitende Nährstoffakkumulation hin. Die kosmopolitische Art *Pediastrum angulosum* (var. *angulosum*) war nach JANKOVSKA & KOMAREK (1982) im gesamten Holozän verbreitet, schwerpunktmäßig jedoch in den Gewässern der Waldlandschaften des Boreal bis hinein ins Frühe Subatlantikum. Das ökologische Umfeld des lokalen Vorkommens korreliert dabei mit dem der Nachweise bei FOTT (1972), JANKOVSKA & KOMAREK (1982) und KOMAREK & FOTT (1983). Danach war die planktisch und epi-phytisch, in kleinen Populationen lebende Art überwiegend in reinen, eutrophen Gewässern „moorartigen“ Charakters anzutreffen, in denen die höhere Vegetation von *Myriophyllum spicatum*, *M. verticillatum*, *Potamogeton*, *Nymphaea* und *Nuphar* gebildet wurde.

Laichkräuter (*Potamogeton*) und Wasserhahnenfuß (*Ranunculus batrachium*) leiteten auch am „Großen Heiligen Meer“ die großflächige Ausbreitung einer ausgedehnten Schwimmblattzone im Anschluss an die Senkung ein. Die Schwimmdecken wurden von der Seerose dominiert, und an ihrem Aufbau waren neben dem begleitendem Wasserknöterich in geringen Mengen *Nuphar*, *Myriophyllum spicatum* und *Lemna* beteiligt. Diese Artenkombination sowie die gemeinsame Kulmination der Kurven von *Nymphaea*-Pollen bzw. -Epidermiszellen und *Polygonum amphibium* in absoluten Maximalwerten deuten auf eine Artenvergesellschaftung hin, die vergleichbar der heutigen anspruchsvollen *Polygonum amphibium*-Fazies eines *Myriophyllo-Nupharetum* war. So findet die sukzessive Entwicklung ihren Ausdruck in der nunmehr beschleunigten Verlandung des Gewässer-Nordens. Im Anschluss an die aquatische Zone breiteten sich in der amphibischen Zone ausgedehnte Schachtelhalmsümpfe aus, wie sie heute aus dem NSG nicht mehr bekannt sind. Dabei könnte es sich neben den oben erwähnten *Equisetum fluviatile*-Beständen um *Equisetum hiemale* oder *E. telmateia*-Populationen gehandelt haben, die sich als Elemente des Erlenbruchwaldes an lichten Stellen des Ostufers ausdehnten. *Equisetum hiemale* wurde noch 1957 am Südostufer des Gewässers gefunden (RUNGE 1957). Im übrigen spiegelt sich für das nördliche und östliche Litoral weiterhin die typische Abfolge einer mesotraphenten Verlandungsserie von der Schwimmblattzone über Röhricht und Riedzone bis zum Gebüsch- und Waldgürtel wider.

### 7.1.3 Formierung der nördlichen Röhrichtzone und Regeneration des Waldgürtels während der Wüstungszeit

#### 7.1.3.1 Ausbreitung einer zwischenmoorartigen Vegetation mit Gagelgebüsch

Während der Wüstungsperiode spricht eine lange Phase einer mehr oder weniger kontinuierlichen Vegetationsentwicklung für das vorläufige Ende der Subrosionsprozesse, einer Stabilisation der hydrologischen Verhältnisse und ein langsames, naturnahes Fortschreiten der trophischen Sukzession. Während die Seerosendecken allmählich zu Schilfröhrichten verlandeten und das Gagelgebüsch sich am Nordwestufer expansiv ausbreitete, wurden Röhricht, Ried und Weidengebüsch im übrigen von einem sich schließenden Waldgürtel eingeengt.

Die sedimentstratigraphischen Untersuchungen bestätigen anhand zahlreicher Halm- und Rhizomfunde die wüstungszeitliche Ausbreitung des Schilfes in sukzessiver Folge auf die Seerosendecken. Im Gegensatz dazu ist im Pollenspektrum mit dem Abfall der *Nymphaea*-Werte kein Anstieg der *Phragmites*-Kurve verbunden. Populationsbiologisch wird hier

somit die vegetative Ausbreitung erfasst, in deren Zuge das seewärts vordringende Schilfröhricht einen ausgedehnten Polykormon ausbildete (POTT & PETERSEN 1999). Ursächlich spielte sicherlich nach wie vor die Nährstoffarmut des Gewässers eine Rolle, unter der *Phragmites australis* an der Grenze seines Existenzminimum gedieh, so dass Schilfblüte und Pollenreife noch gehemmt waren. Ein entsprechend lockeres Röhricht ist heute auch am „Erdfallsee“ und Westufer des „Großen Heiligen Meeres“ anzutreffen (MACHARACEK 1996, STORM 1996). Es zeichnet sich durch Einartbestände aus, denen die typischen Begleiter anspruchsvollerer Röhrichte fehlen und in die höchstens vereinzelte Kräuter wie *Hypericum elodes*, *Hydrocotyle vulgaris* (Pollen-Nachweise) bzw. das Moos *Fontinalis antipyretica* vordringen. Der Mensch, der das Schilfrohr in historischen Zeiten vielfältig nutzte, griff in dieser siedlungsgeschichtlichen Depressionsphase dagegen kaum in das lokale Geschehen ein.

Am neu entstandenen, nordwestlichen Weiherteil breite sich, auf die *Equisetum*-Gesellschaft und die *Potentilla palustris*-reichen Kleinröhrichte folgend, *Menyanthes*-Sümpfe und schließlich großflächige *Myrica gale*-Gebüsche aus (Abb. 23). Die Gesellschaft des *Myricetum galis* gehört zum Verlandungskomplex nordwestdeutscher Stillgewässer und charakterisiert heute dys- bis mesotrophe Heideweiherrufer am Übergang zu Bruchwäldern oder Feuchtheiden (POTT 1983a, POTT 1995). Die geschlossenen, gürtelartigen Bestände von „Heideweiher“ und „Erdfallsee“ repräsentieren daher typische Vorkommen der Gesellschaft. Hoher Grundwasserstand, relative Nährstoffarmut des Bodens und hoher Lichteinfall zeichnen nach KAPLAN & PROLINGHEUER (1989) die Standorte des Gagels aus. Nach HAGEMANN et al. (2000) sind sie zudem durch ein anaerobes, stark huminsaures Bodenmilieu gekennzeichnet. *Myrica gale* wächst auf Dy und Dygyttia und besiedelt zudem Torfe im Moorrandbereich. Im Zusammenhang mit erhöhten *Sphagnum*- und *Ericaceae*-Werten in dieser Phase kennzeichnete das Gabel-Gebüsch an den Ufern des „Großen Heiligen Meeres“ somit eine Entwicklung, die sich deutlich von der frühhistorisch-mittelalterlichen Ausbildung des Weidengebüsches unterschied und tendenziell in Richtung einer Ombrotrophierung und lokalen Zwischenmoorsituation verlief. So entstand das sogenannte „Moor“ nordwestlich des „Großen Heiligen Meeres“ in dieser Zeit. Auch die nach wie vor hohen *Betula*-Frequenzen reihen sich in dieses Bild ein, in dem sie Birkenbruch- und Moorwälder im Übergang von Gabelgebüsch zu Hochmooren repräsentieren. Diese Genese folgte primär der natürlichen Sukzession des nährstoffarmen NW-Ufers, dessen Vegetation allmählich über das Grundwasserniveau aufwuchs und schließlich den Gesetzen der ombrotrophen Moorentstehung nachkam (GÖTTLICH 1990). Sie korreliert daher mit der veränderten Standortsituation, die mit der spätmittelalterlichen Sekundärsenkung einherging und das Gewässer zum Einflussbereich der pleistozänen Sande bzw. zur nordwestlichen Heide Landschaft öffnete. Sekundär müssen daher auch anthropogene Faktoren diskutiert werden, wie die allgemeine und regionale Landschaftsöffnung und Bodenauslaugung, die während der Wüstungsperiode bereits weit fortgeschritten war. Somit ist der Mensch indirekt an der jüngsten Entstehung von Zwischen- und Hochmooren beteiligt. Auch das Klima, d.h. der Einfluss der „Kleinen Eiszeit“, deren Einfluss bereits für die Subrosionsgenese am „Großen Heiligen Meer“ erörtert wurde (Kap.5.4), kann sekundär eine Rolle gespielt und die Ombrotrophie gefördert haben.

### 7.1.3.2 Pelagialeroberung durch erste Grünalgen und Hydrophyten

Während des wüstungszeitlichen Höhepunktes setzt im Pollenprofil des „Großen Heiligen Meeres“ ein kontinuierliches Hydrophytenspektrum ein. In ihm tauchen nun regelmäßige Funde von *Pediastrum*, dann auch von *Myriophyllum alterniflorum* auf, die als erste Eutrophierungsindikatoren des bis dahin äußerst vegetations- und nährstoffarmen Pelagials gewertet werden können (Abb. 24). Zugleich brach die sukzessive Entwicklung des Zwischenmoores im 16. Jh. ganz plötzlich ab. Mit dem Abfall der Birken- und Gabelkurve steigen die Erlen-Werte nochmals an, gleichermaßen als Zeichen der Eutrophie-

rung und eines sich ausbreitenden Erlenwaldgürtels. Der plötzliche Wandel im Waldbild wird ferner durch den markanten Abfall der Kräuter, Farne und Moose nachgezeichnet. Das Pollenspektrum kennzeichnet nunmehr einen schlenkenarmen und nährstoffreichen Typus des Erlenbruchs, dem sowohl die oligotraphenten Artengruppen der Birkenbruchwälder und Hochmoore aus dem 15./16. Jh. als auch die typische Kennart *Thelypteris palustris* fehlt, die einst die mittelalterlichen Wälder charakterisierte (Abb. 23). In historischer Korrelation lassen sich diese Entwicklungen mit den archivarischen Erstdnachweisen lokaler Zuflüsse bzw. Vorfluter („Nyeflötte“ und „Moorbeke“) in das bis dahin zu/abflusslose „Große Heilige Meer“ verbinden (historische Grenzkarten 1564 u. 1616). Die Vorfluter kurbelten nun einerseits durch Nährstoffzufuhr die sukzessive Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ an, andererseits entwässerten sie das Übergangsmoor und führten somit auch zur Eutrophierung der lokalen Wälder.

#### 7.1.3.3 Ausbildung eines geschlossenen Erlenwaldgürtels

Während des Höhepunktes neuzeitlicher Wüstung erreichte der bereits anthropogen gestörte Erlenwald erstmals seit den mittelalterlichen Landnahmen maximale Ausdehnung. Die Waldregenerationsphase lässt sich auch mit dem Absolutpollendiagramm dokumentieren (BARTH 2001): So erreicht der Pollen-Influx während der Wüstungsphase seine maximalen Werte, die während des 17. Jh. kulminieren. Nach DEARING (1986) ist dies auf ein langsames Sedimentwachstum zurückzuführen. Dabei war die abrupte Verringerung der wüstungszeitlichen Sedimentationsrate sicherlich primär auf die Sekundärsenkung und Gewässervertiefung sowie sekundär auf die veränderten Strömungsverhältnisse nach Anlage der Gräben zurückzuführen. Zudem führte in Übereinstimmung mit AABY (1988) und OEGGL (1993) der zunehmende Waldschluss (absolute BP- und *Alnus*-Pollenmaxima) zu einer Verminderung des erosiven Eintrags aus der zunehmend degradierenden, weiteren Umgebung des Sees (absolute NBP- und *Calluna*-Pollenmaxima). Zugleich verminderte sich die autochthone Biomassenproduktion des „Großen Heiligen Meeres“. Dabei wurde insbesondere die Schwimmblattvegetation aus *Nymphaea* durch die starke Beschattung entlang der schmalen Uferbänke, durch die Strömungssituation im See und durch die fortschreitende Ausbreitung und Verdichtung des Schilfröhrichts im nördlichen Flachseebereich eingeengt. Von der Ausbreitung von *Phragmites* zeugen insbesondere die zahlreichen Rhizom- und Gewebefunde im Sediment.

### 7.1.4 Eutrophierung und sukzessive Verlandung seit der Neuzeit

#### 7.1.4.1 Massenentwicklung von Tausendblatttickichten

Die Summenkurve aller Hydrophyten markiert mit ihrem Steilanstieg den Beginn einer rapiden Nährstoffzunahme des „Großen Heiligen Meeres“. Diese steht in enger Korrelation zum neuzeitlichen Siedlungsaufschwung, speziell zur allgemeinen Niedermoor-Erschließung während des 18. Jh.. Die erneute Rodung des lokalen Waldgürtels und Überführung des Gewässerumfeldes in Grünland äußert sich in dem parallelen Abfall der *Alnus*-Kurve bzw. Anstieg der *Cyperaceae*-Werte. Zusammenfassend kennzeichnete die Vegetationsentwicklung des Gewässers somit den endgültigen Wechsel von der naturnahen Sukzession zur anthropogen beschleunigten Eutrophierung, wobei die Genese in ihrem weiteren, schubartigen Verlauf die Phasen der lokalen Siedlungsentwicklung nachzeichnete.

Unter den Makrophyten kündigte die explosionsartige Massenvermehrung der submersen Art *Myriophyllum alternifolium* den Übergang der Eutrophierung auf das Pelagial an, der mit der neuzeitlichen Überführung des Bruchwald- und Gebüschgürtels in Grünland einherging. Während in der langen Periode des Mittelalters und der Frühen Neuzeit nur Ein-

zelpollen der *Myriophyllum*-Arten nachgewiesen wurden, diese also nur spärlich, vermutlich als Begleitarten innerhalb der Schwimmblattzone vorkamen, verweisen die hohen, neuzeitlichen Frequenzen auf die Ausbildung monodominanter Unterwasserdickichte des Tausendblattes, d.h. auf Bestände, die den Seerosen in den größeren Tiefen der Gewässersteilufer vorgelagert waren. Entsprechend der ökologischen Präferenz von *Myriophyllum alternifolium* muss dem „Großen Heiligen Meer“ dennoch weiterhin ein nährstoffarmer Trophiestatus zugeordnet werden.

#### 7.1.4.2 Aufbau einer artenreichen, euträphenten Verlandungsserie

Ausgehend von der Vermehrung des Wechselblättrigen Tausendblattes bildeten sich dann nach und nach in raum-zeitlicher Folge die typischen Vegetationsgürtel der meso-euträphenten Verlandungsserie des Litorals, d.h. submerse Tausendblattdickichte, Schwimmblattzone, Schilfröhrichtgürtel und Seggenried aus, wie sie das „Große Heilige Meer“ heute noch charakterisieren (Abb. 25). Der Sukzessionsverlauf nahm dabei zunächst den erwarteten Gang.

Die oligoträphenten Einheiten mit *Myriophyllum alterniflorum* und nun auch *Litorea uniflora*, die am Beginn der Entwicklung standen, verweisen darauf, dass der Wasserkörper des Sees bei einsetzender Eutrophierung im 18. Jh. noch oligotroph gewesen sein muss. Parallel zur lokalen Landerschließung und dem Ausbau der Meerbecke an der Wende 18./19. Jh. entwickelten sich dann allmählich mesoträphente *Ranunculus batrachium*-Bestände. Sicherlich handelte es sich nun um die noch heute vertretene Art *R. circinatus*. Ferner breiteten sich *Potamogeton*-Decken verschiedener Arten aus. Der *Coleogeton*-Pollentyp mit den Arten *Potamogeton densus*, *P. filiformis* und *P. pectinatus* und der *Potamogeton*-Pollentyp als Vertreter von *P. natans*, *P. lucens*, *P. perfoliatus* und *P. obtusifolius* waren im Spektrum gleichermaßen vertreten. Im Pelagial entfalteten sich individuenreiche, planktische Grünalgen-Biozönosen, die in Fortsetzung der Unterwasserdickicht-Bildung vor allem mit einem Übergriff der Nährstoffakkumulation auf das tiefe Seebecken des „Großen Heiligen Meeres“ verbunden sind. Ihre massive Expansion stand allerdings noch aus (Kap.7.1.4.4). Ferner entwickelten sich submerse Bestände von *Myriophyllum spicatum* und *M. verticillatum*. Die Tausendblattarten begleiteten sicherlich auch die ersten Ansätze euträphenter Schwimmblattdecken im Randbereich des tiefen Seebeckens, die von *Nymphaea alba* und *Polygonum amphibium* geprägt wurden. Trotz steigenden Nährstoffangebots konnten die emersen Arten nur den schmalen Ufersaum des steilen Erdfalltrichters erobern, so dass ihre Pollenwerte sehr viel niedriger ausfielen als während der spätmittelalterlichen Verlandung des Flachsees. Weitere Hydrophyten waren *Lemna* sp., *Nuphar lutea* und *Potamogeton* (vermutlich *P. natans* und / oder *P. crispus*). Zusammenfassend konnte diese Vergesellschaftung in Korrelation zur aktuellen Situation bereits soziologisch dem *Myriophyllo-Nupharetum* zugerechnet werden, wobei die Artenkombination nach WIEGLEB (1976, 1978) und MELZER (1976) den anspruchsvollen Flügel der Schwimmblattdecken kennzeichnete.

In der Verlandungsserie folgten ein hochwüchsiges Schilfröhricht und meso-euträphente Großseggenriede. Das *Phragmites*-Röhricht entwickelte sich zu einer optimal ausgebildeten, d.h. artenreichen, euträphenten Gesellschaft, in der sowohl euträphente Arten (*Sparganium*, *Typha*, *Iris*, *Alisma*) als auch mesoträphente Arten (*Menyanthes*, *Potentilla palustris*, *Lysimachia thyrsoiflora*) wuchsen und die bereits weitgehend dem aktuellen *Scirpo-Phragmitetum* glich. Wie schon im Mittelalter entsprach die zeitliche Folge und maximale Ausbreitung der Arten des *Myriophyllo-Nupharetum*, des *Phragmition* und des *Magnocaricion* dem räumlichen Zusammenspiel der Vegetation in der heutigen Verlandungsserie. Auch der Gebüsch- und Waldgürtel des *Frangulo-Salicetum* bzw. *Carici elongatae-Alnetum* reihte sich hier ein, war neuzeitlich jedoch nicht mehr optimal ausgebildet, sondern größtenteils durch Wirtschaftsland ersetzt.

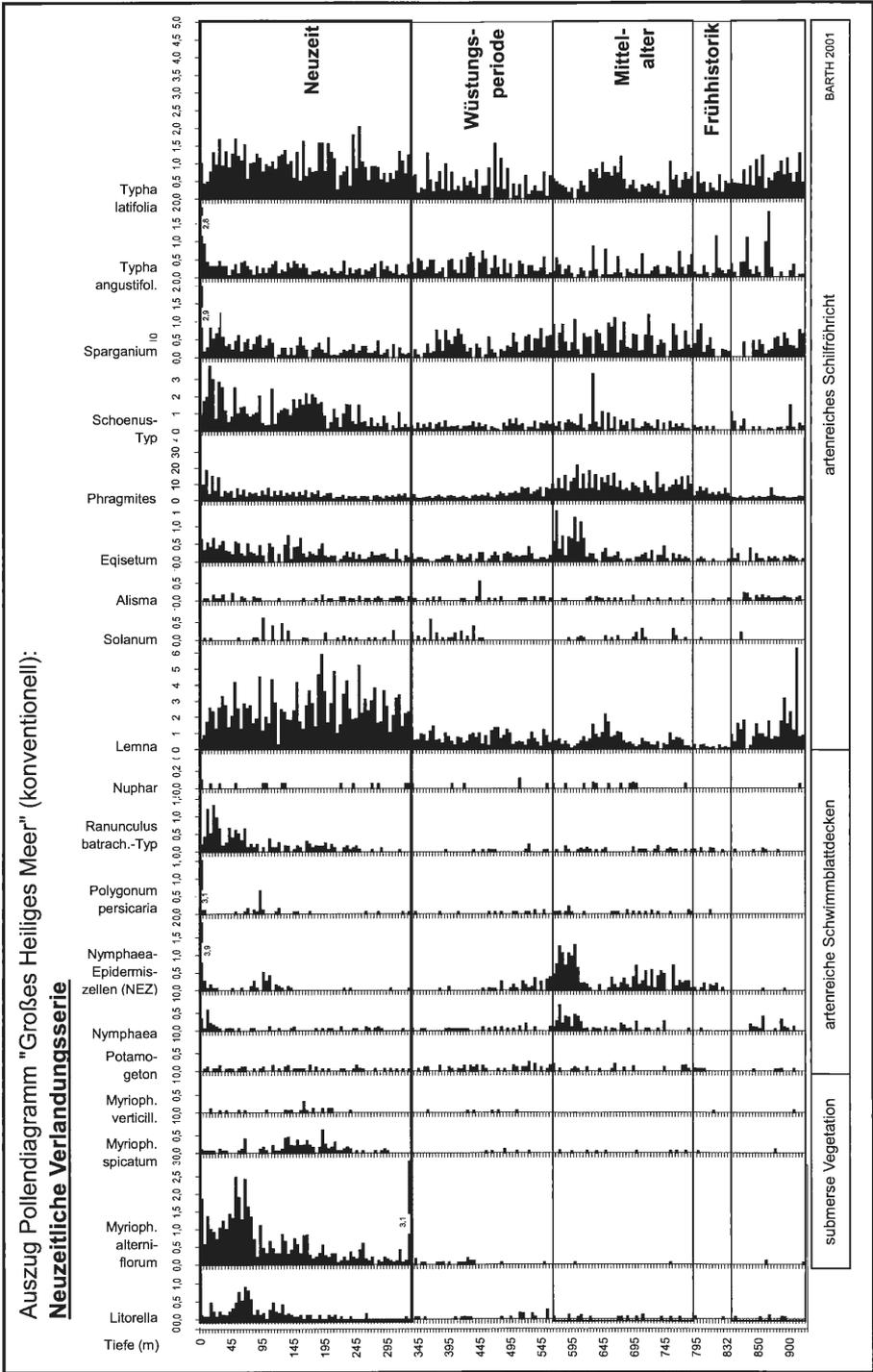


Abb. 25: Neuzeitliche Verlandungsserie des „Großen Heiligen Meeres“ (Pollenteildiagramm „Großes Heiliges Meer“).

### 7.1.4.3 Regressionsphase

Im frühen 19. Jh. setzte sich einerseits der sukzessive Aufbau der Verlandungsserie des „Großen Heiligen Meeres“ fort: Deutlich geht dies aus der vorübergehenden Ablösung von *Myriophyllum alternifolium* durch *M. spicatum* und *M. verticillatum* hervor, die zu ihrer optimalen Ausbreitung ansetzten. Auch die Bestände von *Ranunculus batrachium* dehnten sich weiter aus. In Korrelation zur Siedlungsdepressionsphase zeichnete sich schließlich eine schwache Regeneration der unmittelbaren Ufergehölze aus *Salix*, *Betula* und *Alnus* ab. Andererseits traten verschiedene Entwicklungen auf, die eine Störung der progressiven Vorgänge indizieren und eine leichte und kurzfristige Regression in der Gewässergenese charakterisieren: Hier sind zunächst die regelmäßigen Nachweise von *Littorella uniflora* zu nennen. Die Ausbreitung anspruchsloser Strandlings-Bestände liefert der allgemeinen Eutrophierungstendenz entgegen und spricht für anthropogene Standortdifferenzierung an den Ufern des Gewässers. Konkret ist dahinter die Schaffung offener Uferbankbereiche zu vermuten, die infolge von anthropo-zoogenem Tritt entstanden. Zugleich indizieren kurzfristig fallende *Pediastrum*-Frequenzen eine allgemeine Regression der trophischen Verhältnisse im Pelagial des Gewässers.

### 7.1.4.4 Grünalgenblüten

Im Zuge des Meerbecke-Ausbaus um 1850 und der endgültigen Überführung der direkten Gewässerufer in Wirtschaftsgrünland erfuhr die sukzessive Vegetationsentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ wiederum einen deutlichen siedlungskorrelierten Schub. Dieser wird durch den erneuten Anstieg nahezu aller Hydrophyten-Pollenfrequenzen markiert (*Littorella uniflora*, *Myriophyllum alterniflorum*, *M. spicatum*, *Ranunculus batrachium*, *Nymphaea*, NEZ, *Equisetum*, *Typha latifolia*, *Phragmites*, *Cyperaceae*). Gegen Ende des Jahrhunderts begannen sich die anspruchsvollen Seerosen-Decken, deren erste Ansätze hundert Jahre zurückreichten, massiv auszudehnen. Sie lösten dabei die Bestände des Ährigen Tausendblattes in der Verlandungsfolge ab. Mit der Ausweitung und Intensivierung des Wirtschaftsgrünlandes erreichte auch die Ausbreitung der Röhrichte und Seggenrieder einen neuen Höhepunkt.

Vor allem aber zeigte die Expansion der in Schüben ansteigenden Grünalgen-Frequenzen (*Pediastrum* und *Botryococcus braunii*) die Entwicklung des nunmehr nährstoff- und basenreichen Gewässers an (Abb. 26). Grünalgen, die als Primärproduzenten direkte Trophie-Indikatoren von Gewässern darstellen, wurden in pollenanalytischen Arbeiten bislang zumeist nur summarisch erfasst und als allgemeines Zeichen der natürlichen, klimakorrelierten Gewässereutrophierung bzw. als Indikatoren der siedlungskorrelierten Nährstoffakkumulation gewertet.

Die Aufschlüsselung der *Pediastrum* in Arten lässt nach JANKOVSKA & KOMAREK (1982) jedoch detailliertere Angaben zur Gewässerökologie zu. Anders als im Spätmittelalter, in dem lokal *Pediastrum angulosum* vorherrschte, wurden die neuzeitlichen *Pediastrum*-Vergesellschaftungen von *P. boryanum* dominiert. Diese Art stellt in den subfossilen Sedimenten des gesamten Holozäns den verbreitetsten und zumeist überwiegenden Vertreter der Gattung dar (JANKOVSKA & KOMAREK 1982). Dem Autor zufolge ist die ökologische Aussagekraft der Art aufgrund der weiten Verbreitungsmplitude relativ gering, sicher ist jedoch ihre Anpassung auch an die heutige, anthropogene Eutrophierung von Gewässern. So kamen vor allem die beiden lokal verbreiteten Varianten *P.b.* var. *boryanum* und *P.b.* var. *cornutum* überwiegend in eutraphenten Grünalgen-Vergesellschaftungen vor.

Interessant ist jedoch die gleichzeitige Existenz von *Pediastrum boryanum* var. *longicornis* im „Großen Heiligen Meer“. Ihre Verbreitung in der gemäßigten bis subarktischen Zone hat heute relikttärenden Charakter und ist auf oligotrophe bzw. mäßig dystrophe Gewässer beschränkt. Ebenso findet auch die zweithäufigste Art des „Großen Heiligen Meeres“,

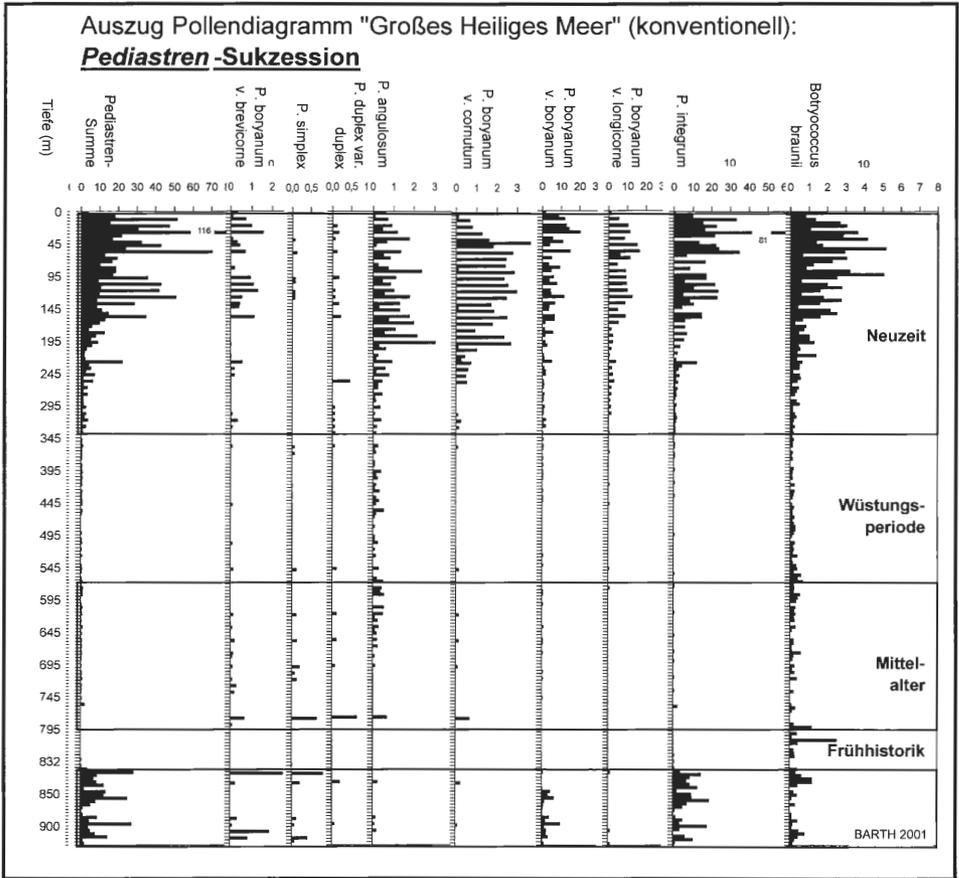


Abb. 26: Sukzession der Pediastrum-Vergesellschaftungen im „Großen Heiligen Meer“ (Pollenteil diagramm „Großes Heiliges Meer“).

*Pediastrum integrum*, ihren Schwerpunkt in oligo- bis dystrophen Biotopen. *P. integrum* wurde im gesamten Holozän gefunden, war jedoch besonders häufig in spätglazialen bis borealen Sedimenten anzutreffen und gilt heute als Relikart in boreo-alpiner Verbreitung (JANKOVSKA & KOMAREK 1982). Dabei sind die beschriebenen Vergesellschaftungen von *Pediastrum integrum* mit dominierender *Botryococcus braunii*, mit *Pediastrum boryanum* var. *boryanum*, *P.b.* var. *longicorne*, *P. duplex* var. *rugulosum* und *P. simplex* durchaus in Einklang mit der Grünalgen-Zönose des „Großen Heiligen Meeres“ zu bringen. Auch das nachgewiesene Zusammenspiel mit einer Makrophytenvegetation aus *Myriophyllum alternifolium*, *Potamogeton*, *Ranunculus batrachium* und *Myriophyllum spicatum* stimmt mit der hier gegebenen Situation überein.

Schließlich spiegeln auch die *Botryococcus braunii*-Frequenzen die beginnende Eutrophierung des neuzeitlichen „Großen Heiligen Meeres“ wider. Der Kosmopolit, der nach KOMAREK & FOTT (1983) zerstreut im Plankton reiner, meist nicht zu nährstoffreicher Gewässer vorkommt, lebt bei vorhandener Unterwasservegetation z.T. auch submers epiphytisch und bildet unter eutrophen Bedingungen zeitweise Algenblüten aus. Die Verbreitungsamplitude der Art ist sehr weit. Sicher ist zum einen eine große Empfindlichkeit gegenüber hoher Salinität (JANKOVSKA & KOMAREK 1982), zum anderen eine große Toleranz gegenüber oder gar eine Präferenz für starke Humosität (Zeigerart). So kommt *Bot-*

*ryococcus braunii* auch in Torfen von Nieder-, Übergangs- und Hochmooren vor. Zahlreiche Pollenanalysen registrierten subfossile Vorkommen der Kokkalalge sowohl in Sedimenten als auch in Torfen, die sich neben dem Spät- und Frühpostglazial vor allem im Späten Subatlantikum häufen (JANKOVSKA & KOMAREK 1982).

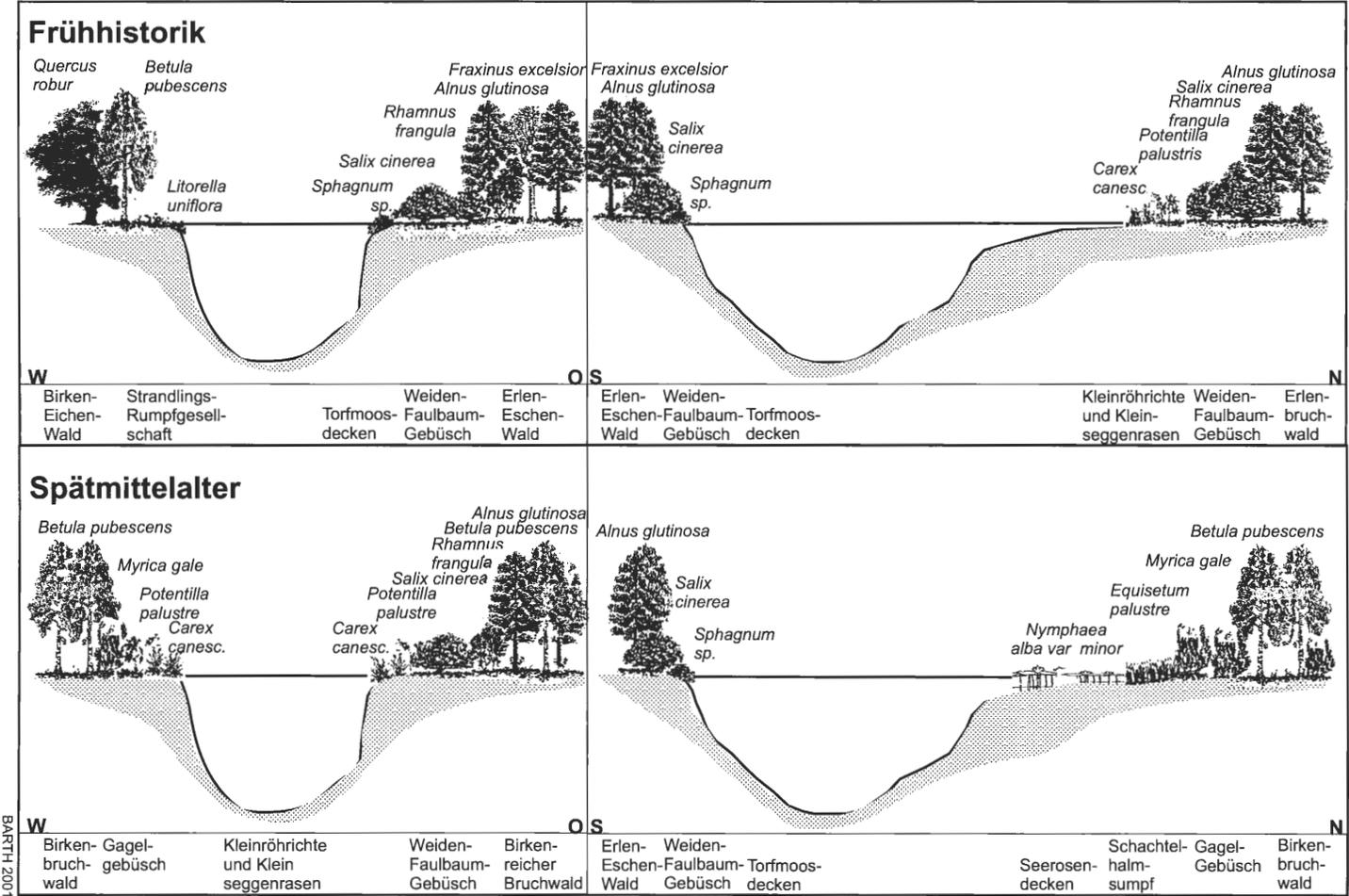
#### 7.1.4.5 Kurzfristige Ausbreitung von Strandlings-Rumpfgesellschaften

In der ersten Hälfte des 20. Jh. zeichnet sich im lokalen Wasserpflanzenspektrum eine deutlich regressive Entwicklung der Vegetations- und Nährstoffverhältnisse ab, die sich am massiven Auftreten der Indikatoren nährstoffarmer Bedingungen fixieren lässt. So breiteten sich *Myriophyllum alterniflorum* und *Littorella uniflora*, eine „Oligotrophierung“ des Sees andeutend, aus. SCHWAAR (1900) bestätigte die Ausbreitung: „ganze Rasen unter Wasser von *Littorella lacustris*... *Myriophyllum*... fehlen nicht“. Die sukzessive Entwicklung zeigte allerdings, dass beide Arten seit Beginn der neuzeitlichen Gewässerentwicklung am See präsent waren, sich jedoch erst im 20. Jh. explosionsartig ausbreiteten. Somit charakterisieren sie eine Störung innerhalb des natürlichen Verlandungsgeschehens, die auf kleinräumige Entstehung von Sekundärstandorten mit oligotrophen Bedingungen im Litoralbereich zurückzuführen ist. Bei der Ausbildung dieser Standort- und Biodiversifizierung an den Gewässerufern spielt in Übereinstimmung mit rezenten Untersuchungen die Abhängigkeit von ganz lokalen Grundwasser-, Boden- und Vegetationsverhältnissen eine wesentliche Rolle (POTT et al. 1998). So beeinflussen Veränderungen der unmittelbaren Ufervegetation über direkte Wechselwirkungen nicht nur die Wasserflora, sondern letztlich auch das Verhältnis von allochthoner und autochthoner Nährstoffakkumulation und damit die Nährstoffsituation des Sees.

Aufgrund der chronologischen Korrelation kommen zwei Auslöser für diese Regression in Frage: So korreliert der erste Anstieg beider Pollenkurven mit dem Jahrhundertbeginn und der Entstehung des „Erdfallsees“. Dieser geologische Zusammenhang, der die hydrologische Kommunikation der Gewässer des NSG und damit eindringendes, nährstoffarmes Grundwasser als Ursache der Oligotrophierung fixiert, wurde bereits in Kap. 5.3 diskutiert. Zweitens waren anthropogene Faktoren, wenn nicht primär, so doch wesentlich an der Standortdifferenzierung beteiligt. So wurde bereits vor der Entstehung des „Erdfallsees“ ein Graben aus dem sumpfigen „Erdfallsee“-Gebiets ins „Große Heilige Meer“ geleitet, der später als Verbindungsgraben fortbestand und dem See damit nährstoffarmes Heidewasser zuleitete. Anthropogener Störfaktor mag zudem die Öffnung des westlichen Wald- und Gebüschgürtels gewesen sein, die einen verstärkten Zustrom oligotrophen Grundwassers aus den Heideflächen bewirkte, die das Westufer weitflächig säumten. „Am feuchten Ufer gedeihen *Triglochin palustre*, *Narthecium ossifragum*, *Drosera*-Arten. Die umgebende Heidefläche ist untermischt mit Komplexen von *Empetrum nigrum* und sporadisch *Lycopodium chamaecyparissus*“ (SCHWAAR 1900). Somit wurden Sekundärstandorte durch eine direkte Trittbelastung und Bodennarbenzerstörung im Uferbereich geschaffen, die die pleistozänen Sandufer freilegte. Die anthropogenen Einflüsse wirkten bereits seit Jahrhundertbeginn, als das Umland bis an die Ufer beweidet und bewirtschaftet wurde. Sie wurden offensichtlich jedoch durch die Unterschutzstellung des NSG und den verstärkten Besucherandrang seit den 30er Jahren nochmals verstärkt, denn erst in dieser Zeit erreichten *Myriophyllum* und *Littorella* ihre größte Ausdehnung.

So schufen die lokalen Standortveränderungen nur eine kurzfristige Regression, und die Gewässerentwicklung hielt ihre Gesamttenenz einer zunehmenden und beschleunigten Eutrophierung bei: Erstens folgte eine enorme Biomassenproduktion mit kurzfristigen Massenblüten der oligotrophenten Arten. Diese wurden zweitens sehr viel schneller durch die nächstfolgenden Entwicklungsstadien anspruchsvollerer, eutrophenter Arten abgelöst, als dies in der früheren Sukzession geschah. Besonders klar tritt diese Entwicklung im BP/SP/NBP-Verhältnis des Absolutpollendiagramms hervor, das sich in der gesamten

Abb. 27: Vegetationsschema der historischen Verlandungsserien des „Großen Heiligen Meeres“.



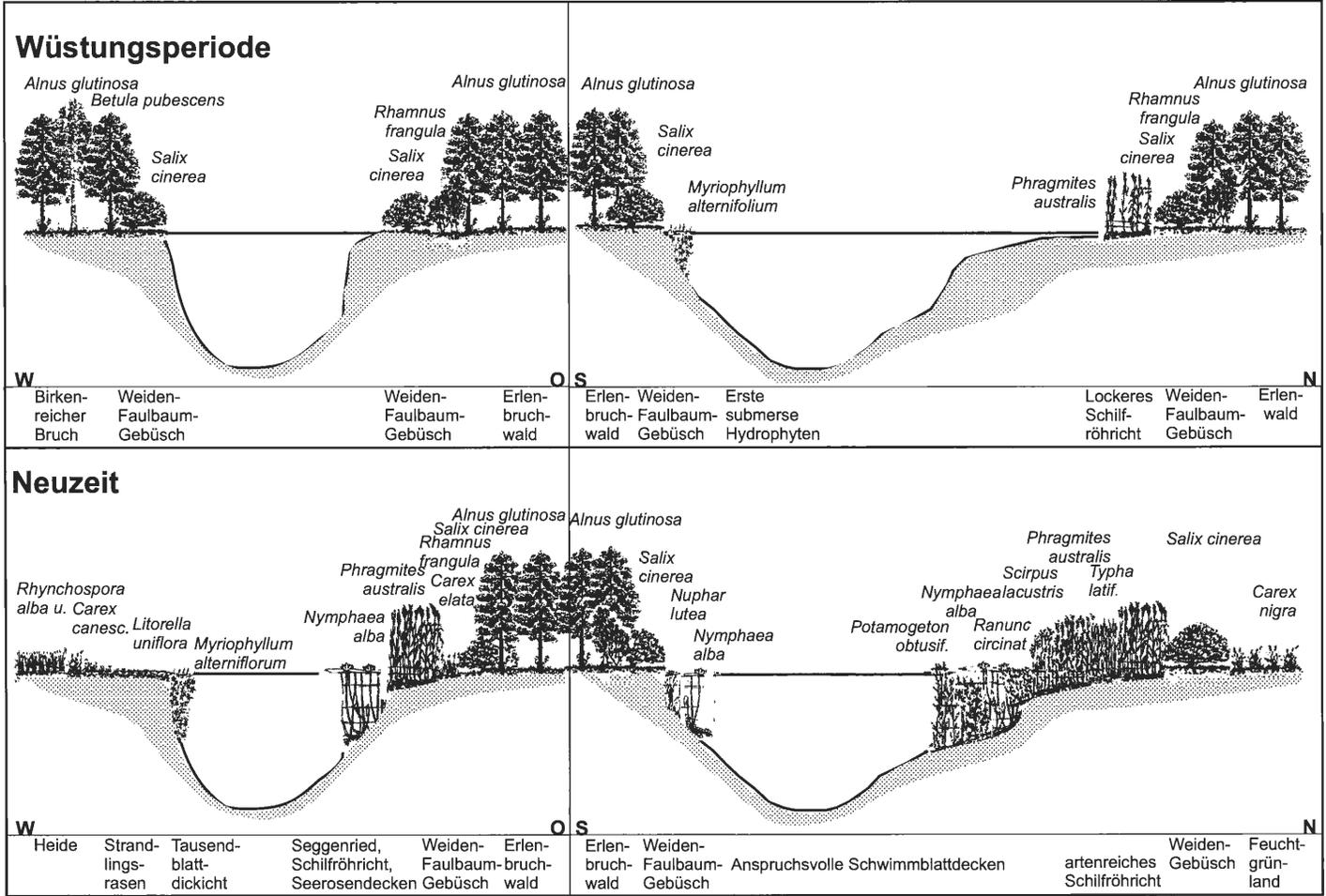
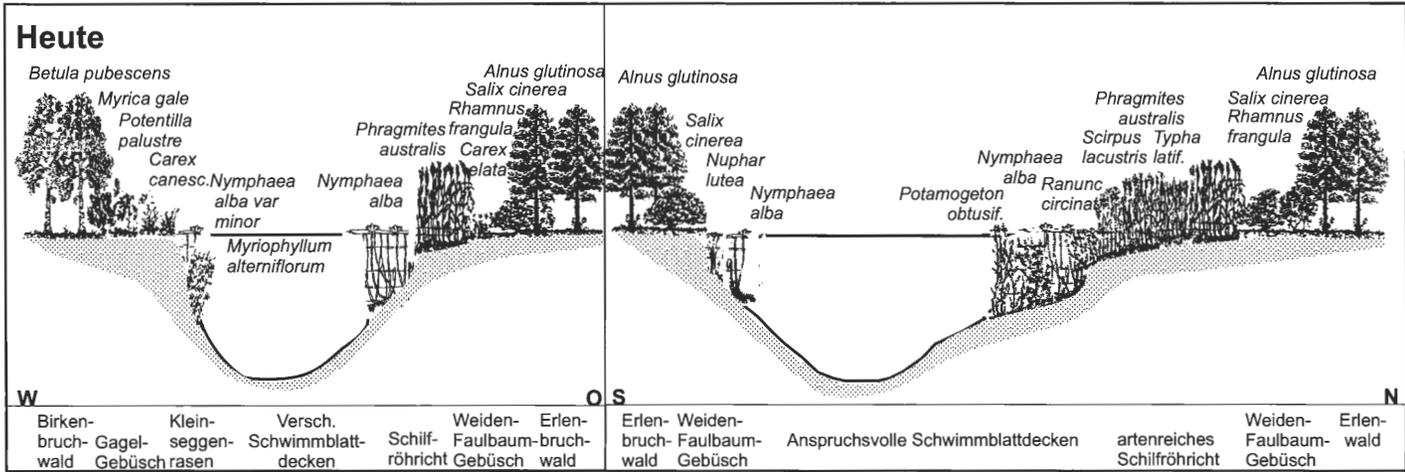


Abb. 27 ff.

BARTH 2001



Limnogenese des „Großen Heiligen Meeres“ bei einem BP-Anteil von 90 % als konstant erwies und erst im Zuge der Vegetationsentfaltung im See im 20. Jh. auf ein Verhältnis von 60:10:30 verschob. Geogene und anthropogene Standortdiversifizierung führten also kurzfristig zu einer Erhöhung der Artenvielfalt, lösten aber längerfristig eine Zunahme der autochthonen Produktion aus und beschleunigten daher das Verlandungsgeschehen.

#### 7.1.4.6 Regeneration der eutraphenten Verlandungsserie

Nach einem kurzfristigen Rückgang im Zuge der Regressionsphase und Expansion von Strandlings-Rumpfgesellschaften breiteten sich die eutraphenten Verlandungsgesellschaften äußerst rasch wieder aus und verdrängten die konkurrenzschwachen Gesellschaften weitgehend. Die sich fortsetzende Eutrophierung findet ihren Ausdruck in der bislang stärksten Biomassenproduktion der gesamten Genese des „Großen Heiligen Meeres“: Die Kurven der Hydrophytensummen, der *Pediastrum*, *Nymphaea*, *Phragmites* erreichen maximale Werte. Schon in Übereinstimmung mit GRAEBNER (1930, 1934) beginnen sich die Seerosen-Bestände auszubreiten, die heute nahezu um das gesamte tiefe Seebecken ausgebildet sind. Während die maximalen *Ranunculus batrachium*-Werte die nördlichen Schwimmblattdecken repräsentieren, stehen die höchsten *Polygonum*-Frequenzen stellvertretend für die phosphatindizierende Knöterich-Fazies, die im südöstlichen Gewässer verbreitet ist. Lediglich am Westufer („mesotrophe Stelle“) bleiben die Strandlings-Rumpfgesellschaften, deren Pollen nach wie vor im Spektrum nachzuweisen sind, in rückläufiger Tendenz bestehen. Noch heute sind *Myriophyllum alterniflorum*-Bestände im See vertreten, *Littorella* ist jedoch vollständig aus dem Gewässer verdrängt worden. Somit entsteht summa summarum das Pollenspektrum, das in seiner Zusammensetzung das Bild der aktuellen Verlandungsserie und der standortdifferenzierten Vegetationsvielfalt des „Großen Heiligen Meeres“ widerspiegelt.

Im übrigen regeneriert im Zuge der Naturschutzmaßnahmen der Gehölzgürtel aus Weide, Birke und Erle um das Gewässer erneut. Das *Frangulo-Salicetum* ist nun, entsprechend einem begleitenden Spektrum aus anspruchsvollen Röhricht- und Bruchwaldarten, in seiner anspruchsvollen Ausprägung vertreten, die nach POTT (1983a) in der meso-eutraphenten Verlandungssukzession dem Erlenbruchwald vorangestellt ist. Im Gegensatz zum Mittelalter nimmt das Gebüsch jedoch eine vergleichsweise geringe Fläche ein. Heute ist es größtenteils durch Bruchwald und anschließende landwirtschaftliche Flächen ersetzt. Der aktuelle Erlenbruchwald bildet nach POTT et al. (1998) eine nährstoffreiche Fazies von *Iris pseudacorus* und *Caltha palustris* aus, wobei letztere sich in steigenden Pollenfrequenzen im Diagramm niederschlägt. ROLFES (1998) beschreibt zudem *Sphagnen*-reiche, nasse und nährstoffärmere Ausprägungen, die sich als Folge greifender Naturschutz- und Pufferungsmaßnahmen auch am Ostufer ausbreiten konnten. Vor dem Hintergrund der historischen Vegetationsentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ tut sich hier ein Vergleich mit der mittelalterlichen Entwicklung, d.h. einer fortschreitenden Dys- bzw. Ombrotrophierung auf.

## 7.2 Diatomeensukzession

Der Diatomeenanalyse kommt bei der Rekonstruktion vergangener Umwelten innerhalb der Paläolimnologie eine tragende Rolle neben der Pollenanalyse zu. So spiegelt das sich chronologisch verändernde Artenspektrum diatomeenanalytischer Diagramme die jeweiligen Artenvergesellschaftungen in ihrer sukzessiven Entwicklung wider. Paläoökologische Untersuchungen liefern daher, in Verzahnung mit der aut- und synökologischen Erforschung von rezenten Diatomeen-Vergesellschaftungen, zunehmend Ergebnisse zur Soziologie und Sukzession von Kieselalgen-Zönosen sowie zur spät- und postglazialen Gewässerentwicklung. So wird weit über die Bewertungsmaßstäbe „oligo-, meso- und

eutroph“ hinaus eine vielseitige limnologische Information gewonnen und trägt die Rekonstruktion von Kieselalgensukzessionen dem zunehmend besseren Verständnis der komplexen Entwicklung limnischer Ökosysteme bei.

### 7.2.1 Kieselalgenfreies, frühhistorisches Gewässer

Bei der Analyse der Kieselalgen (Profil „Großes Heiliges Meer“) stellte sich heraus, dass in den untersten Profilabschnitten keine Diatomeen-Frusteln nachzuweisen waren. Da methodische Fehler auszuschließen sind, muss davon ausgegangen werden, dass die hydrochemischen Bedingungen in der initialen Gewässerentwicklung extrem und lebensfeindlich waren und das Kieselalgenwachstum absolut hemmten:

Erstens sind die initialen Gewässer der Pleistozänlandschaften in der Regel durch äußerst geringe Nährstoffgehalte und zugleich niedrige pH-Werte gekennzeichnet. Diese Verhältnisse stellen grundsätzlich extreme Lebensbedingungen dar, die das Leben stets erheblich, auf wenige, angepasste Arten einschränken. Sie waren daher auch für die Planktonarmut des frühhistorischen „Großen Heiligen Meeres“ mitverantwortlich. Nährstoffarmut war jedoch nicht alleiniger Grund für das Fehlen jeglicher Diatomeen, denn besonders in den Familien der *Eunotiaceae* und der *Pinnulariaceae* finden sich zahlreiche Vertreter oligo- und dystropher und acidophiler Kieselalgen, die in entsprechend nährstoffarmen, sauren Extremsituationen zu leben vermögen.

Zweitens kamen die hohen Eisengehalte des frühen „Großen Heiligen Meeres“, die bereits in der stratigraphischen Analyse nachgewiesen wurden, als zusätzliche Hemmfaktoren des Diatomeenwachstums in Frage: Unter den sauerstoffreichen Bedingungen des nährstoffarmen Sees führten Eisenoxid- und Eisenphosphat-Ausflockungen zu einer Trübung des Gewässers, d.h. zu einem Lichtmangel und damit einer Einschränkung der Lebenszone (Trophozone) der Phytobionten. Zugleich forcierten die hohen Eisenkonzentrationen die Nährstoffarmut des Gewässers, indem sie dem Wasser den essentiellen Phosphor durch eben jene Ausflockung und Fällung entzogen. Bereits KRIEGSMANN (1938) führte die biotische Armut des „Großen Heiligen Meeres“ im 20. Jh. auf dessen Siderotrophie zurück. In Fortführung dieser Überlegungen könnte Eisen schon zu Beginn der Seegenese das Leben gehemmt, ja Phosphor zum absoluten, lebensnegierenden Minimumfaktor des ohnehin äußerst nährstoffarmen Wassers gemacht haben.

### 7.2.2 Initiale Diatomeengesellschaften und sukzessive Expansion im mittelalterlichen Flachsee

#### 7.2.2.1 Gewässereroberung durch eine *Eunotia pectinalis-Fragilaria ulna* var. *acus*-Gesellschaft

Die geringe Abundanz der ersten Kieselalgen und die niedrige Zahl nachgewiesener Arten verweisen auf ein weiterhin äußerst nährstoffarmes Stillgewässer. Die beiden dominanten Arten indizieren die Existenz einer *Eunotia pectinalis-Fragilaria ulna* var. *acus*-Gesellschaft. Der Kosmopolit *Eunotia pectinalis* gilt als häufige und verbreitete Kieselalge elektrolytärmer, saurer Gewässer (SALDEN 1978). *Fragilaria acus* dominierte die Kieselalgenflora mit 29 %. Ferner war im hochmittelalterlichen „Großen Heiligen Meer“ *Surirella* mit den beiden Arten *S. robusta* und *S. biseriata* vertreten, die nach LUNDQVIST (1927) und NAUMANN (1930) speziell auf dystrophe Verhältnisse spezialisiert sind.

Daneben kennzeichneten die sehr vereinzelt auftretenden Algen *Aulacoseira italica*, *Diatoma tenue*, *Navicula pupula*, *N. bacillum* und *Tabellaria ventricosa* bereits deutlich nährstoff- und basenreichere Verhältnisse. *Aulacoseira italica* gilt nach HUBER-PESTA-

LOZZI (1942) im Gegensatz zu den ansonsten euplanktisch und z.T. massenhaft verbreiteten Vertretern der Gattung als relativ seltene, benthisch lebende Litoralform. So charakterisierten die insgesamt überwiegend litoralen Arten, deren Frusteln nur sporadisch bis ins Pelagial verdrifteten, eine erste Eutrophierung der Litoralbereiche, die primär besiedelt wurden,

Das Pelagial blieb bei gänzlichem Fehlen von Euplanktern wohl noch unbesiedelt, d.h. das tiefe Seebecken und der See als Einheit betrachtet blieben weiterhin äußerst nährstoffarm. Abgesehen von der Nährstoffarmut müssen daher weiterhin extreme Bedingungen geherrscht haben, die eine solche Planktonarmut begründen. Die sedimentstratigraphischen und vegetationsgenetischen Ergebnissen beschreiben eher dystrophe anstatt oligotrophe Verhältnisse, womit zunehmend sauerstoffarme Bedingungen und folglich eine zumindest jahreszeitliche Aufhebung der eisenbedingten Gewässertrübung und Phosphatfällung verbunden waren. Doch sind im Gegenzug auch die hohen Pyrit-Konzentrationen im Sediment, d.h. das gefällte, dem Wasser entzogene Eisen nicht zu vernachlässigen. Nach SALDEN (1978) hat sich Eisen als lebensnotwendiges, trophisches Element erwiesen, das als primärer Begrenzungsfaktor der Algenvermehrung fungieren kann. LUNDQVIST (1927) und NAUMANN (1930) nennen erneut *Pinnularia* sp. und *Surirella* sp., speziell *S. robusta* als Indikatoren eisenreicher Gyttien. Schließlich bestätigen die ergänzenden Nachweise der zahlreich isolierten Spongiennadeln in den Diatomeenproben den Eisen- und Huminstoff-Reichtum des Sedimentes (LUNDQVIST 1927, NAUMANN 1930).

Zudem tritt in dystrophen Wässern der starke Huminsäuregehalt als Hemmfaktor hinzu. Ettl (1980) betont die äußerst geringe Abundanz dystropher Diatomeengesellschaften. Demnach bedingt der Huminsäuregehalt zum einen die charakteristische Braunfärbung dieser sog. Braunwasser und sorgt somit in Folge von Lichtmangel für suboptimale Lebensbedingungen in dystrophen Gewässern. Zum anderen spielen Huminsäuren auch eine wichtige Rolle im Mineral- und Nährstoffkreislauf eines Gewässers, in dem sie diesem zahlreiche, gelöste Substanzen durch Komplexierung entziehen (KESKITALOK & ELORANTA 1999). Davon ist nicht nur Phosphat, sondern u.a. auch Silizium betroffen. Für Diatomeen, deren Schale bis zu 70 % aus Siliziumdioxid aufgebaut ist, sind Silikate essentiell, auch wenn sie nach PAASCHE (1980) nur selten einen Minimumfaktor darstellen. LUND (1950, 1954), JØRGENSEN (1957), BRINGMANN & KÜHN (1971) stellten jedoch entsprechende Zusammenhänge zwischen der Planktonentwicklung und dem Silikatgehalt fest. Folglich kann selbst in Silikatlandschaften in Verbindung mit Dystrophie ein Mangel an verfügbarem Silizium herrschen, der Ursache für das Fehlen arten- und individuenreicher Diatomeenpopulationen ist.

#### 7.2.2.2 Entwicklung litoraler und pelagialer Diatomeengesellschaften im Flachgewässer

Während die fortwährende, sehr geringe Individuendichte für einen nach wie vor äußerst nährstoffarmen See spricht, spiegelt die auf insgesamt 43 Arten steigende Algenzahl eine deutliche Eutrophierung des Flachgewässers wider. Auch die rasche Entwicklung zahlreicher Euplankter spricht für ein schnelles Fortschreiten der sukzessiven Verlandung, in deren Lauf die Lebensgemeinschaften der Diatomeen nun das Freiwasser des nördlichen Flachsees besiedeln.

So begannen sich die *Eunotiaceae* gemeinsam mit den *Pinnularia*-Arten zu etablieren. Dabei sind die regelmäßig miteinander vergesellschafteten, planktischen Gattungen *Eunotia* und *Pinnularia* charakteristisch für die meisten Kieselalgen-Initialgesellschaften nährstoffarmer Gewässer: Die limnische Gattung *Pinnularia* ist freilebend im Plankton von Gewässern mit relativ niedrigen Elektrolytgehalten verbreitet (ALLES et al. 1991). Der ökologische Schwerpunkt der gesamten, ökologisch sehr einheitlich orientierten Familie der *Eunotiaceae* mit ihrer sehr artenreichen Gattung liegt nach KRAMMER (1992) in oligo- bis dystrophen, elektrolytarmen, besonders Chlorid- und Kalzium-armen

Gewässern. In „zivilisationsnahen“, belasteten Gewässern fehlt die Gattung *Eunotia* fast völlig. Im NSG differenzieren die *Eunotiaceae* auch heute noch die Kieselalgen-Vergesellschaftungen des dystrophen „Heidewiehers“ und oligotrophen „Erdfallsees“ von denen des nährstoffreicheren „Großen Heiligen Meeres“. Bzgl. des pH-Wertes charakterisieren die *Eunotiaceae* insgesamt saure oder zur Versauerung neigende Binnengewässer. In kalkreichen Gewässern sind sie selten vertreten. Dabei tolerieren oder bevorzugen die acidophilen bis acidobionten Arten auch Humin- und Mineralsäuren, so dass ihr Entfaltungsoptimum heute neben den dünnbesiedelten, silikatischen montan-alpinen Regionen in den torfmoosreichen Gewässern der Ebene liegt (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91).

In der Diatomeen-Genese gesellten sich zu dem Kettenbildner *Eunotia pectinalis* zunächst *E. bilunaris*, *E. naegeli*, *E. septentrionalis* und *E. diodon*, die für weiterhin dystrophe Bedingungen im See sprechen. Nach HUSTEDT (1942) ist die gemeine Art *E. bilunaris* primär in Moortümpeln anzutreffen. KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) bezeichneten sie gar als Charakterart aller Niedermoorgewässer, d.h. huminsaurer Standorte niedrigen Elektrolytgehalts. BUDE (1942a) und SCHLÜTER (1961) fanden sie auch in Torfstichen und *Sphagnum*-Polstern. Die zerstreut bis seltene, manchmal aber auch individuenreich auftretende *E. naegeli* ist häufig mit *E. bilunaris* vergesellschaftet. Entsprechende, zönoseprägende Populationen wurden nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) verschiedentlich aus den Niederlanden und aus Dänemark beschrieben. Auch *E. septentrionalis* ist eine typische Art der Nieder- und Übergangsmoor-Gewässer. Ferner waren *Pinnularia appendiculata*, *P. lata*, *P. maior* und *P. rupestris* in der initialen *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft beteiligt. Gegen Ende des 12. Jh. fand eine Artenverschiebung statt, die über ein kurzfristiges Abundanzmaximum von *E. minor* (11,8 %) zur Massenentfaltung der *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft und damit zu einem Übergriff der Diatomeenbesiedlung auf das tiefe Seebecken des „Großen Heiligen Meeres“ führte (Kap. ff.).

Die freilebenden Plankton-Zönosen der Flachwasserzone des „Großen Heiligen Meeres“ wurden im Hochmittelalter von anspruchsvollen Arten wie *Tabellaria flocculosa*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria capucina* sowie *Cyclotella radiosa* und *Aulacoseira islandica* aufgebaut (Abb. 28). Sie bildeten eine euplanktische Rumpfgesellschaft, in der zunächst *Aulacoseira islandica* mit 22 % dominierte. *A. islandica* war in der Variation *helvetica* vertreten. Dieser häufige, mitteleuropäische Morphotyp ist normalerweise pelagisch, in oligo-mesotrophen Stillgewässern verbreitet, kann aber auch benthisch, im Litoral eutropher Seen vorkommen (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91). Die anderen Arten der Biozönose standen mehr oder weniger im Gleichgewicht, wobei sie im Dominanzspektrum jeweils auch über 10 % der gezählten Frusteln erreichten. Parallel zur Massenentfaltung der *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft verschob sich dieses Artenspektrum in Richtung einer *Cyclotella-Tabellaria*-Blüte, in der beide Arten Frequenzen über 40 % erreichten. Gleichermaßen verschob sich auch die Gewichtung der wesentlichen Begleitarten von *Fragilaria ulna* (6,7 %), *F. crotonensis*, *Aulacoseira ambigua* und *A. granulata* zu *Fragilaria brevistriata* (5,9 %), *F. ulna*, *Diatoma ehrenbergii* und *Aulacoseira italica* (5,9 %), während *Fragilaria contruens* und *Melosira varians* konstant vertreten blieben.

Die spärliche Litoralflora aus vereinzelt, großschaligen *Naviculaceae* wurde nun von individuenreicheren Populationen kleinschaliger *Achnantheae* (*A. flexella*, *A. minutissima*, *A. lanceolata*, *A. conspicua*, *A. pergalli*, *A. exigua*) sowie verschiedenen *Gomphonema*-Arten (*G. acuminatum*, *G. gracile*, *G. truncatum*) begleitet. Sie leben alle überwiegend benthisch bzw. periphytisch. Die dominante *Achnanthes lanceolata*, deren nachgewiesene Varianten *A.l. elliptica* und *rostrata* dieselbe Ökologie aufweisen, ist freilebend, epipsammisch verbreitet. Sie besiedelte als *Achnanthes lanceolata*-Pioniergesellschaft die offenen Uferbänke des Gewässers. Übereinstimmend zeigt die Art nach SALDEN (1978) oligotrophe bis oligo- $\alpha$ -mesotrophe Bedingungen an, während sie nach HOFMANN (1994) als trophietolerant gilt. Im übrigen wachsen *Achnanthes* sp. und *Gomphonema* sp. größ-

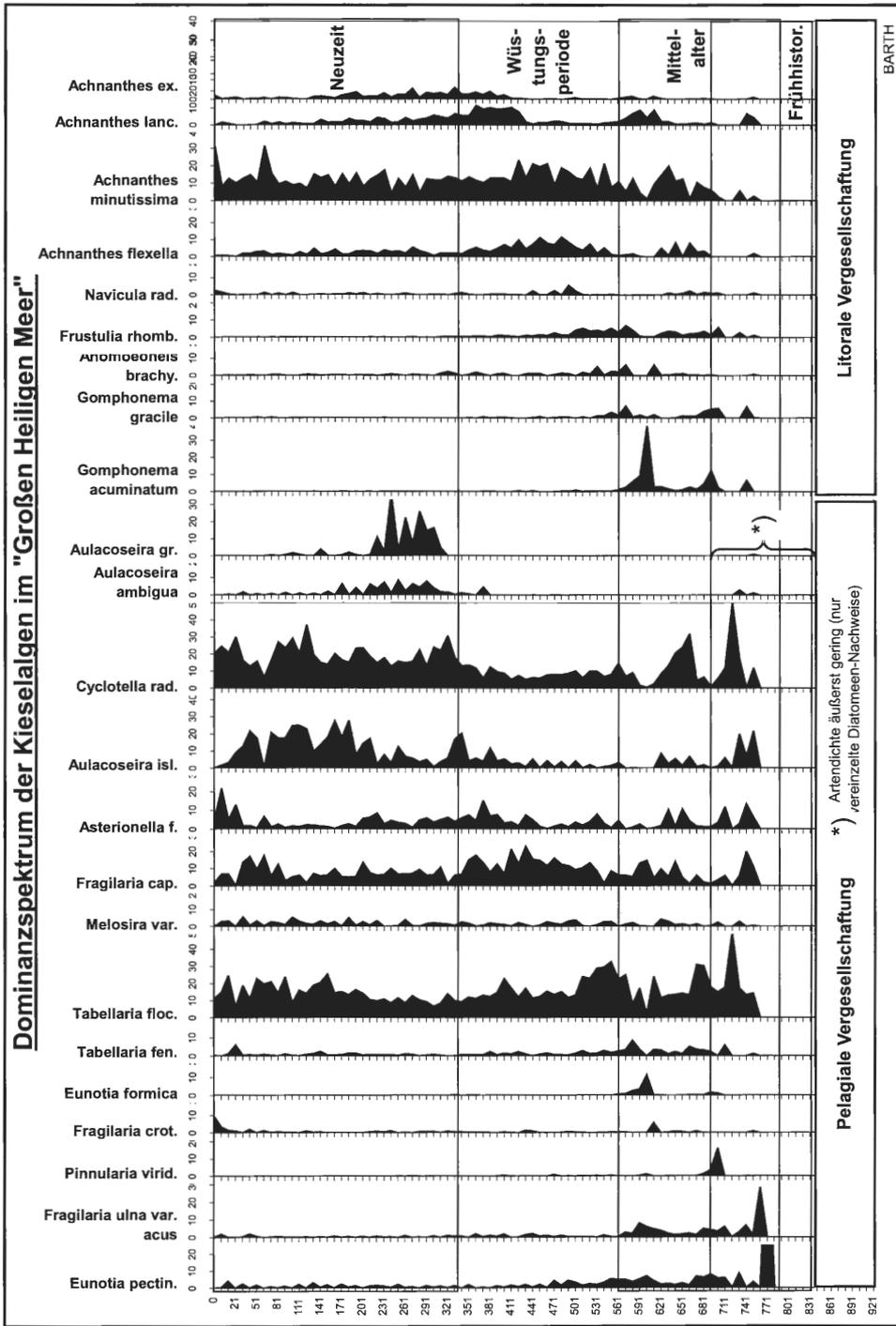


Abb. 28 : Dominanzspektrum der Kieselalgen im „Großen Heiligen Meer“ (Diatomeenteildiagramm).

tenteils in Bänderkolonien oder sind mit Gallertstielen am Substrat angeheftet. In diesem Sinne korrelierte die Entwicklung der *Gomphonema* sp.-*Achnanthes* sp.-Aufwuchszönosen mit der ersten Ausbreitung von Schwimmblattdecken und indizierte gleichermaßen die sukzessive Nährstoffakkumulation des Gewässers. *Gomphonema* sp. weist ein eurytrophes Verbreitungsmuster auf. Dies kann, wie die generell überwiegende Verbreitung trophietoleranter und das weitgehende Fehlen rein oligotropher Arten, als weiterer Hinweis auf die huminsaurer Verhältnisse in der frühen Genese des „Großen Heiligen Meeres“ verstanden werden.

Spezifische Indikatoren eines elektrolytarmen bis „mäßigen, extrem sauren Milieus waren ferner die *Naviculaceae Frustulia rhomboides* var. *saxonica* sowie die *Surirellaceae Steptopteria curvula*, deren Frequenzen absolute Maxima von 6 bzw. 1 % erreichten. Nach Ettl (1980) sind sie charakteristischerweise in echten Moorwassern, d.h. dystrophen Gewässern mit niedrigem pH-Wert und Braunfärbung vertreten, wo sie mit *Eunotia* und *Pinnularia* ein artenreiches, aber quantitativ äußerst geringes Phytoplankton aufbauen. Zu den regelmäßigen Begleitern dieser dystraphenten Biozönosen gehört nach Ettl (1980) nicht zuletzt auch *Stauroneis phoenicenteron*, die auch hier optimale Bedingungen anzeigte. Insgesamt kennzeichneten diese wichtigen Begleitarten der Kieselalgenesellschaften somit ein acidophytisches Litoralplankton.

#### 7.2.2.3 Entfaltung von *Gomphonema*-Aufwuchszönosen und Übergriff der *Eunotia*-*Pinnularia*-Gesellschaft auf das tiefe Seebecken

Eine **Explosion der Diatomeendichte** markierte bei fortschreitender Trophie-Entwicklung den plötzlichen und endgültigen Übergriff des Phytoplanktons auf das Pelagial, d.h. dass die nun zahlreich nachgewiesenen Frusteln primär vor Ort sedimentiert sind und nicht mehr nur vereinzelt vom Litoral her verdriftet wurden. Ein großer Artenreichtum (58 Arten) spiegelte zugleich das steigende Nährstoffangebot wider sowie einen Trophiewechsel von äußerst extremen dystrophen zu weniger extremen oligotrophen Verhältnissen. Der Einschnitt im Kieselalgenpektrum korreliert daher mit dem Stratigraphiewechsel von *Dygyttia* zu *Gyttia* und der sukzessiven Vegetationsentwicklung am „Großen Heiligen Meer“.

Mit Anteilen von 35 % am Artenspektrum dominierte *Tabellaria flocculosa* die Phase des 13. Jh. Die Art kommt sehr häufig, mit einer weiten ökologischen Amplitude von oligotrophen bis in schwach eutrophe Gewässer vor. Nach Huber-Pestalozzi (1942) ist sie auch in dystrophen Gewässern verbreitet, ist dort jedoch seltener und nur vereinzelt vertreten. Dementsprechend markierte das regelmäßige, massive Erscheinen von *Tabellaria flocculosa*, die bereits in der frühen, dystrophen Entwicklungsstufe existierte, gleichfalls ein Nachlassen der Humidität des „Großen Heiligen Meeres“. Im übrigen erwies sich *Tabellaria flocculosa* als hochsteter Begleiter aller Algenesellschaften in der gesamten Entwicklungsgeschichte des Gewässers. Die optimale, lokale Entfaltung des fakultativen Phytoplankters spricht für eine Beteiligung sowohl an den pelagischen Biozönosen als auch an den litoralen Gesellschaften, die sukzessive an Bedeutung gewannen. In diesen lebte die Art der generellen Ökologie folgend zumeist benthisch und koloniebildend am Substrat angeheftet.

Wie die steigende Abundanz im allgemeinen, so indizierte auch das verstärkte Auftreten der *Eunotia pectinalis*-*Pinnularia viridis*-Gesellschaft im speziellen das Übergreifen der Nährstoffakkumulation auf das Pelagial, dessen Trophie sich jedoch weiterhin im nährstoffarmen Milieu befand. Die schon zuvor, anhand von wenigen Individuen angedeutete Gesellschaft entfaltete sich nunmehr optimal, d.h. individuen- und artenreich. Während *E. naegeli*, *E. pectinalis* und *E. septentrionalis* durchgehend existierten, wurden *Eunotia bilunaris*, *E. didon*, *Pinnularia appendiculata*, *P. lata*, *P. maior* und *P. rupestris* nun suk-

zessive von *Eunotia exigua*, *E. faba*, *E. formica*, *E. minor*, *E. veneris*, *Pinnularia gentilis* und *P. viridis* abgelöst. So näherte sich die Vergesellschaftung auch der häufig anzutreffenden Lebensgemeinschaft der *E. pectinalis* mit *Tabellaria flocculosa*, *E. exigua* und *E. veneris* (SALDEN 1978). *Pinnularia viridis*, *P. gentilis* und *P. apendiculata* erreichen in dieser Initialphase der Pelagialeroberung ihre maximale Entfaltung (6, 3 bzw. 1 %). *P. viridis* gilt nach Ettl (1980) als eine der verbreitetsten Mooralgen. Auch die Kurven von *Eunotia pectinalis*, *E. exigua* und *E. serra* var. *tetradon* weisen bei 691 cm Tiefe absolute Frequenzen von über 6, 3 bzw. 2 % auf. Im übrigen waren nun alle *Eunotiaceae* vertreten, die überhaupt im Laufe der Genese des „Großen Heiligen Meeres“ nachgewiesen wurden.

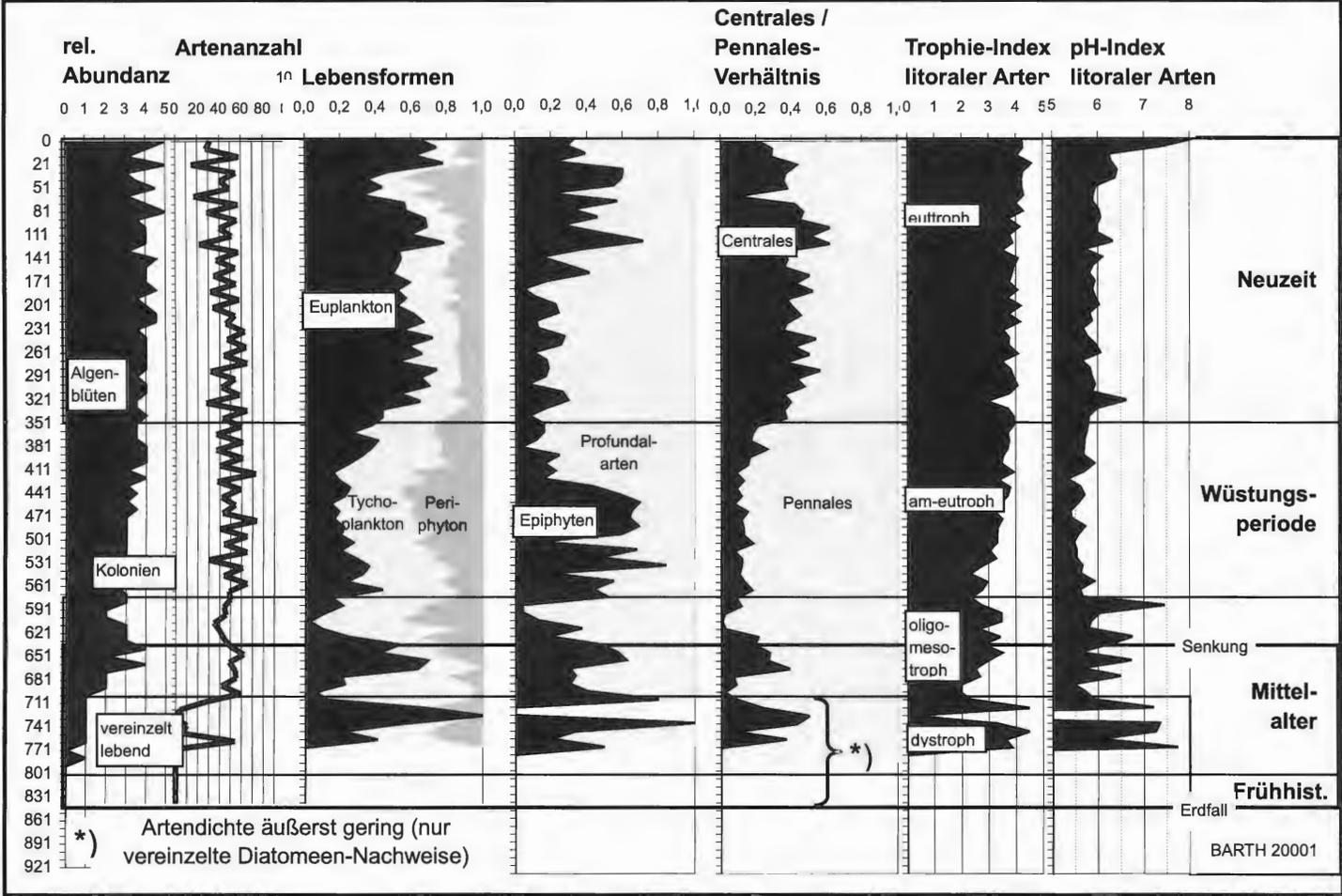
Im Flachsee dehnten sich die litoralen Aufwuchs-Biozönosen als nun primär von *Gomphonema* sp. dominierte Gesellschaften aus. Die vorherrschende *Gomphonema acuminatum* gilt als kosmopolitische, in Mitteleuropa häufige vorkommende Art, die in hohen Individuenzahlen das Litoral von Binnengewässern besiedelt. Sie existiert z.T. freilebend, überwiegend wächst sie aber epiphytisch, mittels Gallertstielen am Substrat angeheftet. Diese Lebensweise bedingt auch die unverwechselbare Schalenmorphologie der *Naviculaceae*, die sich durch eine heteropole, lateral dreiwellig geschwungene Schale mit keilförmig breitem, geschnäbelten Kopfpol, bauchig aufgetriebener Mitte und sich verschmälerndem Fußpol auszeichnet. Die massive Ausbreitung des Litoralbewohners mit einem absoluten Maximum von 12 % kennzeichnete eine weitere Eutrophierung des zuvor nur schwach besiedelten Uferbereiches. Sie verläuft parallel zur Entfaltung von *Gomphonema gracile*, *G. parvulum* und *G. truncatum* (Absolutwerte von 5,7, 4,6 bzw. 5,9 %) und geht mit der Ausweitung der makrophytischen Verlandungszone einher. *Gomphonema acuminatum* hat bzgl. der Trophie und Alkalinität ein breites ökologisches Spektrum, das von oligotroph bis eutroph bzw. von acidophil bis alkaliphil reicht. Dabei ist die Toleranz gegenüber Gewässerbelastung allerdings relativ gering und die Art daher als oligo-β-mesosaprob einzustufen. Nach LUNDQVIST (1927) und NAUMANN (1930) meidet *Gomphonema* sp. überdies dystrophe Gewässer und ist in kalkreicheren Detritusgyttien häufiger zu finden, so dass ihre Akkumulation sicherlich ebenfalls auf den Milieuwechsel dys-/oligotroph im „Großen Heiligen Meer“ zurückzuführen war. Zudem fiel der lokale Verbreitungsschwerpunkt und das lokale Vitalitätsmaximum von *Gomphonema acuminatum* in Übereinstimmung mit den Befunden von KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) mit dem Entwicklungsoptimum der *Eunotia-Pinnularia*-Vergesellschaftungen zusammen. In Anlehnung an die Verlandungsserien der Höheren Pflanzen bildeten *Eunotia-Pinnularia*- und *Gomphonema*-Gesellschaften daher wohl eine typische phytoplanktische Serie oligotropher Gewässer.

Die aspektbestimmende Kieselalgengruppe des Litorals blieb neben der *Gomphonema* sp.-Dominanzgesellschaft nach wie vor die Familie der *Achnantheaceae*, die nun mit sämtlichen in der Genese nachgewiesenen *Achnanthes* sp. sowie mit *Cocconeis placentula* vertreten war. Gemeinsam mit einem artenreichen Spektrum weiterer Litoralbewohner (u.a. *Navicula radiosa*, *N. pupula*, *Stauroneis nobilis*, *Anomoeoneis brachysira*, div. *Cymbella*-Arten, *Nitzschia recta*) ermöglichen sie die Trophie-Indikation eines schwach mesotrophen Flachsees. Fallende Frequenzen der Säureindikatoren *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* und *Stenopterobia curvula* sprechen ebenfalls für den mehrfach postulierten Milieuwechsel von dys- zu oligo-mesotroph. Ihre fortwährende Existenz deutet allerdings auf ein nach wie vor saures Milieu.

#### 7.2.2.4 Sukzession zu anspruchsvolleren *Pennales*-Lebensgemeinschaften

In fortschreitender Entwicklung wurden die anspruchslosen Diatomeengesellschaften während des Interregnum allmählich von anspruchsvolleren Lebensgemeinschaften abgelöst: Im Pelagial verdrängten *Cyclotella radiosa*-reiche *Tabellaria flocculosa*-Gesell-

Abb. 29: Diverse Summenparameter zur Charakterisierung der Kieselalgen-Zönosen im „Großen Heiligen Meer“ (Diatomeendiagramm).



schaften mit *Asterionella formosa* und *Fragilaria capucina* die *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft. Entsprechend der Trophie-Indikation der Arten kann dem „Großen Heiligen Meer“ somit ein mesotropher Status zugesprochen werden, wie er sich auch in dem *Centrales/Pennales*-Verhältnis von 27:73 widerspiegelt. *Cyclotella radiosa* war mit 21 % häufigste Art. Von den zentralen Arten begleiteten lediglich *Aulacoseira granulata* und *Melosira varians* die Zönose, während *Aulacoseira islandica* und *A. italica* fehlten. Demnach hatten die Nährstoffbedingungen im Gesamtgewässer noch längst nicht die Stufe erreicht, die bereits im 12. Jh. für den Flachsee mit seiner Flora aus *Cyclotella radiosa*-reichen *Pennales*-Gesellschaften indiziert worden waren (Kap.7.2.2.2). Dafür spricht ferner die erhöhte Beteiligung der beiden Arten *Fragilaria crotonensis* und *F. ulna*, und auch die Nachweise von *Diatoma tenuis* und *D. ehrenbergii* widersprechen dem nicht. Diese werden den relativ anspruchslosen bzw. trophietoleranten *Diatoma*-Arten zugerechnet. So findet *D. ehrenbergii* ihren Schwerpunkt in mesotrophen Gewässern, hat nach HOFMANN (1994) allerdings eine weite ökologische Valenz und wurde auch im oligotrophen Königssee angetroffen. Sie wird in der Artenfolge gewöhnlich von *D. tenuis* abgelöst, die nach SALDEN (1978) trophie-inert ist, jedoch auch, in großer Populationsdichte, in oligotrophe Gewässer gehen kann. Generell treten die koloniebildenden *Diatoma* sp. zumeist massenhaft auf, so dass ihre sehr vereinzeltten Funde im „Großen Heiligen Meer“ dessen Nährstoffarmut bestätigen.

Die Vertreter der *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft verschwanden jedoch nicht ganz, sondern behaupteten sich in geringen Frequenzen weiter. Für die Milieucharakterisierung des „Großen Heiligen Meeres“ spielte insbesondere das zwischenzeitliche Maximum von *E. exigua* (3 %) eine Rolle. Nach VAN DAM (1974) und DENYS & VAN STRAATEN (1992) werden aktuelle *E. exigua*-Massenblüten mit der anthropogenen Versauerung nährstoffarmer Gewässer verknüpft wird, und BUDE (1942a) zufolge ist die Art natürlicherweise in Hochmoorschlenken verbreitet. Daher indizierte ihre Entfaltung, wenn auch nur in der Funktion einer Begleitart, auch für das „Große Heilige Meer“ eine Versauerung. Diese muss bei nachlassendem Siedlungsdruck während des Interregnum auf natürliche Ursachen zurückgeführt werden, wobei in Korrelation zur lokalen Waldregeneration, *Myrica gale*- und *Sphagnen*-Ausbreitung eine natürliche Tendenz zur Dystrophierung naheliegt.

Im Litoral gingen die *Gomphonema*-Arten bei Verschwinden ihres Lebensraums „Seerosen-Decken“ zurück, während die *Achnantheaceae* absolute Dominanzen erreichten. Vorherrschende Art war nun *Achnanthes minutissima*, die mit ihren Absolutwerten nahezu 20 % der erfaßten Kieselalgeschalen zählte. *Achnanthes flexella* erreichte in Folge immerhin fast 8 % des Frustelanteils. Die Ablösung der freilebenden *Achnanthes lanceolata* und die **Massenentwicklung der Epiphyten *A. minutissima* und *A. flexella*** zeugte von der fortgeschrittenen Verlandung des Litoralbereiches, in den nach und nach Schilf-, Seggengürtel und Wald vordringen. Zudem gelten die *Achnantheaceae* und insbesondere die kleinschalige *A. minutissima* aufgrund ihrer schnellen Generationsfolge und hohen Immigrationsrate als Pioniere und Erstkolonisten unter den litoralen Kieselalgen (ROUND 1990, STEVENSON et al. 1991). *A. minutissima* dominierte im „Großen Heiligen Meer“ mit ihrer allgemein hochvitalen, trophie- und pH-toleranten Variante *A.m.* var. *minutissima*. Die Nominatform wurde allerdings von den Varietäten *A.m.* var. *scotica* und *gracillima* begleitet, die nach HOFMANN (1994) beide als stenöke, oligotrophente Differentialarten gelten. Bei mittlerweile oligo-mesotrophen Verhältnissen markierten sie daher einmal mehr die kleinräumige Milieudifferenzierung innerhalb des Sees. Soziologisch wurde *A.m.* var. *scotica* bereits aus dem norwegischen Hornindalsee in einer Gesellschaft elektrolytarmer, schwach saurer Verhältnisse beschrieben, wo sie ähnlich wie in der lokalen Artenkombination als dominante Art neben *Eunotia bilunaria*, *E. naegeli*, *Anomoeoneis vitrea*, *Frustulia rhomboides* und *Cymbella gracile* angetroffen wurde. Nach HOFMANN (1994) gilt auch *A.flexella* var. *flexella* als zuverlässige Differentialart und steter Begleiter oligotropher Lebensgemeinschaften und dringt nur vereinzelt in mesotrophe Was-

ser vor. Arealgeographisch ist sie daher vor allem im Alpenraum und in Nordeuropa anzutreffen, in der Ebene und in den mitteleuropäischen Mittelgebirgen dagegen auffallend selten. BUDE (1942a) wies sie allerdings auch im „Erdfallsee“ nach, wo sie Aufwuchszönosen an *Eleocharis multicaulis* bildete. Bzgl. des Säure-Basen-Haushaltes ist *A. flexella* var. *flexella* nach SALDEN (1978) im schwach sauren bis neutralen Milieu angesiedelt.

Darüber hinaus erreichten die großschaligen Begleitarten der litoralen Planktongesellschaften erstmalig optimale Verbreitung (*Amphipleura pellicula*, *Navicula radiosa*, *N. pupula*, *Neidium dubium*, *Nitzschia recta*, *Stauroneis nobilis*, *Surirella biseriata*) bzw. tauchten erstmalig auf (*Cymatopleura solea*, *Navicula rhynchocephala*, *N. cryptocephala*, *N. scutelloides*, *Rhopalodia gibba*, *Surirella angusta*, *S. elegans*, *S. minuta*). *Cymatopleura* sp. ist nach LUNDQUIST (1927) und NAUMANN (1930) ein typischer Vertreter kalkarmer Detritusgyttien und zeigte gemeinsam mit *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Stenopterobia curvula* und *S. phoenicenteron* an, dass weiterhin saure Verhältnisse das Milieu regierten.

#### 7.2.2.5 Regression und erneute Expansion der Initialgesellschaften

Im Diatomeenspektrum des „Großen Heiligen Meeres“ geht mit der Sekundärsenkung des Erdfallsees nicht nur ein kurzfristiger Abfall der Kiesalagendichte, sondern vor allem ein schlagartiger Wechsel der Dominanzverhältnisse sowie ein vorübergehendes Aussetzen zahlreicher Arten einher.

Dabei deuteten sinkende Abundanz und das Fehlen zahlreicher Litoralarten auf die Vertiefung des Erdfallgewässers hin. Insbesondere die populationsstarke *Achnanthes flexella-minutissima*-Gesellschaft verschwand fast völlig, während im Gegenzug wiederum die **Aufwuchsgesellschaften mit *Gomphonema acuminatum*** (39 %) und den zeitlich folgenden *G. gracile* (7,2 %) und *G. truncatum* (0,9 %) die Uferzonen beherrschten. Der *Gomphonema*-Peak korreliert klar mit den Maximalwerten der *Nymphaea*-Pollenkurve, so dass sich Pollen- und Diatomeenanalyse in eindrucksvoller Weise gegenseitig bestätigen: De facto schuf die Gewässervertiefung einen erneuten Lebensraum für die sich ausbreitenden Seerosendecken und in Folge einen idealen Biotop für die epiphytisch lebenden Diatomeen. Beider Optimalphasen waren jedoch nur von kurzer Dauer, denn sie selbst beschleunigten die Verlandung des nördlichen Flachsees, wodurch sie sukzessive durch konkurrenzstärkere Arten verdrängt wurden.

Unter den *Achnanthaceae* gewannen vorübergehend zerstreut verbreitete ***Achnanthes lanceolata* und *A. exigua*-Populationen** als Indikatoren gestörter Benthazonen an Konkurrenzkraft. Sporadisch traten auch *Achnanthes peragalli* und *A. conspicua* auf. Bei den übrigen Litoralbewohnern zeichnete sich ebenfalls eine milieukorrelierte Artenverschiebung ab. Während *Navicula* sp., *Stauroneis* sp., *Amphipleura* sp., *Nitzschia* sp. und *Surirella* sp. an Bedeutung verloren bzw. ganz aus dem Spektrum verschwanden, waren nun verstärkt *Cymbella*-Arten an der Ufer-Biozönose beteiligt. Ihr Spektrum umfaßte dabei sowohl die kleinen Arten der *Encyonema* (*Cymbella minuta*, *C. naviculiformis*, *C. silesiaca*), als auch die großschaligen *C. affinis* und *C. aspera*. *Surirella robusta* tauchte regelmäßig, *Cocconeis placentula* var. *lineata* erstmalig auf. Schließlich eroberten die Säureindikatoren *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* (Absolutwert von 6,9 %) und *Stenopterobia curvula* erneut an Terrain. Im Unterschied zum Hochmittelalter gesellte sich als weitere acidophytische Art *Anomoeoneis brachysira* hinzu, die sogleich maximale Populationsstärke erreichte (Absolutwert von 6,3 %).v

Im zentralen Seebecken zeichnete eine Verdrängung der *Centrales*-Arten und die erneute Expansion ***Eunotia*-reicher *Pennales*-Vergesellschaftungen** eine deutliche Regression in der Mineral- und Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ nach. Wieder-

um bestimmte *Eunotia pectinalis* das Bild, das im Unterschied zum Hochmittelalter von hohen Anteilen der Art *E. formica* (11,2 %) mitgestaltet wurde. *Eunotia formica*, eine relativ euryöke *Eunotiaceae*, ist die einzige Art der Familie, die aktuell im „Großen Heiligem Meer“ existiert, während sie in den nährstoffärmeren Gewässern des NSG BUDE (1942b) zufolge fehlte. In der spätmittelalterlichen Regressionsphase waren die Verhältnisse für *Eunotia formica* jedoch am günstigsten, was auf niedrige bis mittlere Elektrolytgehalte schließen lässt. Ebenso fanden auch *E. faba*, *E. monodon*, *E. pectinalis*, *E. serra* var. *tetradon* und *E. veneris* beste Bedingungen vor. *E. serra* var. *tetradon* charakterisiert gleichermaßen elektrolytarmer, saure, oligo-dystrophe Niedermoorgewässer und ist nach CHOLNOKY (1968) bei einem pH-Optimum von 5,0 anzutreffen. Dementsprechend ist sie eine Art mit nordisch-alpinem Schwerpunkt, die in Mitteleuropa sehr selten ist. Die Gattung *Pinnularia*, die erneut vertreten war, erreichte nicht mehr die Bedeutung, die sie in der hochmittelalterlichen *Eunotia-Pinnularia*-Vergesellschaftung inne hatte. Auch wenn sich alle Arten nebeneinander gesellten, so ergab sich aus ihrer jeweils stärksten Individuenzahl eine nährstoffabhängige Folge: So zählen *Pinnularia lata*, *P. gentilis* und *P. appendiculata* zu den anspruchloseren Arten oligotropher Gewässer, während *P. viridis* arme, dystrophe Verhältnisse indiziert. *P. divergens* und *P. rupestris* stellen dagegen deutlich höhere Ansprüche an die Nährstoffgehalte (KRAMMER 1992).

Aspektbildner der spätmittelalterlichen Diatomeenvergesellschaftung waren zudem die *Pennales* *Tabellaria flocculosa* und *Fragilaria capucina*, während die anspruchsvollere *Cyclotella radiosa* u.a. *Centrales* stark an Bedeutung verloren. Auch *Fragilaria crotonensis* ging deutlich zurück, während *F. ulna* kurzfristig maximale Populationsstärke erreichte (5,5 %) und auch *F. biceps*, *Tabellaria fenestrata* sowie *T. quadrisepta* sich optimal entfalteten. *Tabellaria fenestrata* zeichnet sich im Gegensatz zur euryöken *T. flocculosa* durch eine stenöke Ökologie aus, die auf zerstreute Existenz im (mäßig)nährstoffarmen Milieu beschränkt ist.

### 7.2.3 Folge artenreicher *Pennales*-Biozöosen während der Wüstungsperiode

#### 7.2.3.1 Ausbreitung einer *Tabellaria flocculosa*-*Fragilaria capucina*- und einer *Achnanthes minutissima*-Dominanzgesellschaft mit *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*

In der wüstungszeitlichen Diatomeensukzession wurden *Eunotia* sp. und *Pinnularia* sp. allmählich von Arten mit erhöhten Nährstoffansprüchen abgelöst, und auch die *Gomphonema*-Arten verschwanden bei zunehmender Verlandung der Seerosendecken aus dem Algenspektrum. Im Detail waren die *Eunotiaceae* zunächst noch mit Werten über 10 % am pelagischen Kieselalgenplankton beteiligt; durch eine sukzessive Artenverschiebung zeichnete sich jedoch bereits die fortschreitende Trophiegenese im Gewässer ab. Die Entwicklung verlief dabei von den einst charakteristischen Arten *Eunotia monodon* (611 cm) über *E. faba*, *E. formica*, *E. monodon*, *E. pectinalis*, *E. serra* var. *tetradon* (601 cm) zu den nun typischen Vertretern *E. minor*, *E. veneris* (571-561 cm) und *E. exigua* (561-501 cm), die von *E. bilunaris*, *E. parallela* (541 cm), *E. naegeli* (511 cm), *E. arcus* (501 cm), *E. septentrionalis* (491 cm) und im weiteren Verlauf erneut von *E. minor* (461 cm) und *E. naegeli* (451 cm) abgelöst wurden. Die wüstungszeitliche Artenkombination spiegelt dabei erneut die hohe Humidität des Gewässers wider, die mit der ansatzweise ombrotrophen Vegetationsentwicklung im Umfeld des Sees korreliert (Kap. 7.1.3.1). Die Säureindikation durch *Eunotia exigua*, *E. bilunaris* und *E. naegeli* wurde bereits beschrieben. Doch auch Vorkommen von *E. parallela* werden primär aus *Sphagnen*-reichen Niedermooren gemeldet und *E. veneris* ist nach HUSTEDT (1930) vor allem in Torfmoos-reichen Gewässern der Ebene verbreitet. Weiterhin gilt *E. arcus* var. *fallax* als Indikator huminsaurer Wässer (STREBLE & KRAUTER 1973), der u.a. aus einer *E. pectinalis-exigua*-Assoziation des Arbersees beschrieben wurde (SALDEN 1978). BUDE (1942b) wies *E. veneris*

und *E. arcus* var. *fallax* bereits in den Gewässern des NSG nach. Mit fortschreitender Eutrophierung und pH-Stabilisation wurden die *Eunotiaceae* jedoch verdrängt, und bereits im 16. Jh. verlor die gesamte Diatomeenfamilie, deren Individuenreichtum in nährstoffarmen Gewässern am größten ist, ihre aspektbestimmende Bedeutung. Lediglich die stets vorherrschende *E. pectinalis* konnte bis in die heutige Zeit nachgewiesen werden und wurde auch von HOFMEISTER (1978) mit stellenweise bis zu 22 % Anteil an den litoralen Lebensgemeinschaften beschrieben.

Im Gegenzug zu den *Eunotiaceae* etablierten sich andersartige, artenreiche *Pennales*-Biozönosen, die im Litoral von *Achnantheaceae* und im Pelagial von verschiedenen *Fragilariaceae* dominiert wurden. Die Arten folgten mit dem graduell steigenden Nährstoffangebot sukzessive aufeinander und charakterisierten alle mehr oder weniger Gewässer mit mittleren Elektrolytgehalten. Die *Centrales* breiten sich gegenüber der Nachsenkungsphase zwar ein wenig aus - *Cyclotella radiosa* erreichte konstante Anteile von ca. 10 % der Diatomeenflora; im großen und ganzen blieben die zentrischen Kieselalgen jedoch von untergeordneter Bedeutung. Zu über 80 % dominierten die pennaten Diatomeen und kennzeichneten die weiterhin oligotrophen Verhältnisse im „Großen Heiligen Meer“, dessen Artenreichtum relativ konstant bei 68 nachgewiesene Arten lag. Die langfristige Entwicklung und wüstungszeitliche Konstanz in Abundanz und Artenzahl, die den schlagartig wechselnden, mittelalterlichen Dominanzen gegenüberstand, spricht dabei für eine vorübergehende Stabilisation des lokalen Hydroregimes.

So etablierte sich einerseits eine *Fragilaria capucina*-*Tabellaria flocculosa*-Gesellschaft: Zunächst blieb noch *Tabellaria flocculosa* mit Werten von 33 % dominant und erreichte somit ihr wüstungszeitliches Maximum innerhalb der freilebenden Kieselalgen-Zönosen des Gewässers. Als gesellschaftsprägende Art folgte *Fragilaria capucina* mit Werten von 14 % an zweiter Stelle. *Fragilaria construens* (5,7 %), *F. crotonensis* (5,6 %), *F. ulna* (4,9 %) und *F. biceps* (3,4 %) hielten in ihrer Populationsstärke ungefähr gleich auf und charakterisierten die artenreiche, oligo-mesotrophe *Fragilariaceae*-Zönose, in der die anspruchsloseren *Tabellaria fenestrata* und *T. quadriseppta* allmählich verdrängt wurden und die anspruchsvolleren Arten *Diatoma tenuis* und *D. ehrenbergii* nur vereinzelt auftraten.

Andererseits wurden die litoralen Aufwuchsgesellschaften nach dem „*Gomphonema*-Zwischenspiel“ wiederum von *Achnantheaceae* beherrscht, die ihre absolute Dominanz bis in heutige Zeit bewahrten. Daher wurde die Entwicklung der litoralen Kieselalgenesellschaften nun zum einen durch die Populationsstärke der gesamten Familie in Abhängigkeit von dem Verlandungsgrad bestimmt, zum anderen durch die trophieabhängige Artenverschiebung innerhalb der Dominanzverhältnisse. So eroberten die *Achnantheaceae* während der Wüstungsperiode ein Maximum an Lebensraum, aus dem sie erst mit der neuzeitlichen Verdichtung und Optimalentwicklung des Schilfgürtels verdrängt wurden. Die einstigen *Achnanthes lanceolata*-Populationen wurden nun zunächst von *Achnanthes minutissima*-Decken (20 %) abgelöst, zu denen sich *Achnanthes flexella* (7,6 %) gesellte.

Das Vorkommen von *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* (6,9 %), *Stenopterobia curvula* (0,3 %) und *Anomoeoneis brachysira* (6,3 %) korrelierte schließlich mit dem der säureliebenden *Eunotiaceae*. Die acidophilen Arten behielten ihre hohen Werte zunächst bei bzw. bauten sie im Zuge der natürlichen Versauerung noch weiter aus. Durch ihre Massenvorkommen und in ihrer Vergesellschaftung spiegeln diese Arten Bedingungen wider, die denen des heutigen „Erdfallsees“ ähneln.

Im übrigen spiegelte sich insbesondere im Litoral ein Artenreichtum wider, der die sukzessive Genese des Stoffhaushaltes bestätigte. Die Diversität in diesem Diatomeenspektrum war neben der günstigen Hydrologie nicht zuletzt auf die steigende Vielfalt an Nischen im Zuge der fortschreitenden Verlandung und Vegetationsbedeckung des Sees

zurückzuführen. Dabei dominierten gegenüber den benthisch (epipelisch) oder als Aufwuchsdiatomeen epilithisch lebenden Algen vor allem die Epiphyten. Auch in diesen Lebensgemeinschaften des Profundals und Litorals blieben die *Pennales* vorherrschend und erreichte insbesondere *Navicula* sp. ihre optimale Entfaltung. Wie viele der größeren Litoralarten sind die naviculoiden Aufwuchsdiatomeen zwar in ihrer Individuenzahl den *Achnantheaceae* unterlegen, aber bzgl. ihrer Milieu-Indikation äußerst charakteristisch. Neben den regelmäßigen Vorkommen von *Navicula radiosa*, *N. pupula*, *N. bacillum*, *N. elginensis*, *N. rhynchocephala* und *N. scutelloides* traten *N. tripunctata* und *N. gregaria*, alles Arten nährstoffreicherer Gewässer, neu hinzu. Entsprechend ist auch das Optimum der Gattung *Cymbella* mit den Arten *C. aspera*, *C. cistula*, *C. minuta* (Maximum von 2 %, 481 cm), *C. naviculiformis* und *C. silesiaca* und die nun regelmäßig, vereinzelt auftretende *Caloneis scutellum* und *Entomoneis ornata* zu werten. Weitere Trophie-Indikatoren waren die *Bacillariaceae* *Nitzschia recta* (Maximum von 1,8 %) und *Hantzschia amphioxys*, die *Epithemiaceae* *Rhopalodia gibba* und die *Surirellaceae* *Cymatopleura solea*. Erstnachweise wurden von *Amphora ovalis* und *Gyrosigma acuminatum* geführt. *Gyrosigma acuminatum* ist eine freilebende Art mit sigmoiden Schalen, die nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) geringe Ansprüche an die Nährstoffqualität des Gewässers hat, jedoch auf unverschmutzte Gewässer beschränkt ist, deren Belastung nicht über  $\beta$ - $\alpha$ -mesosaprob hinausgeht. Sie spricht für ein nach wie vor nährstoffarmes Milieu.

#### 7.2.3.2 Ausbau der *Tabellaria flocculosa*-*Fragilaria capucina*- und *Achnanthes* sp.-Gesellschaften

Im 16. Jh. zeichnete sich ein markanter Einschnitt in der Diatomeenentwicklung ab, der mit der endgültigen Verdrängung der *Eunotiaceae* sowie der acidophilen Arten *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Anomoeneis brachysira* und *Stenopterobia curvula* verbunden war. Da sowohl das *Centrales/Pennales*-Verhältnis als auch die Trophie-Indikation der Arten relativ konstant blieben, ist der Arten- und Gesellschaftswechsel daher weniger in den Zusammenhang eines Nährstoffschubs als vielmehr vor den Hintergrund einer deutlichen pH-Stabilisierung des Sees zu stellen. Eine schlagartige Veränderung im Basenhaushalt ist sicherlich direkt mit der lokalen Siedlungsgeschichte und erstmaligen Anlage künstlicher Entwässerungsgräben verknüpft.

Auch der auffällige, parallele Rückzug von *Tabellaria flocculosa* kann vor allem als Zeichen der allmählichen pH-Stabilisation gesehen werden. Im Gegenzug gewannen die *Fragilaria*-Arten an Konkurrenzkraft und bauten ihre Vormachtstellung im pelagialen Plankton aus. Vorherrschend blieb *Fragilaria capucina*, die mit 23 % ihre größte Populationsdichte innerhalb der gesamten Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ erreichte. Dabei formieren sich die zumeist benthisch lebenden *Fragillariaceae* häufiger als andere *Pennales* zu Aggregaten in Form bandförmiger Kolonien, die über Verbindungsdörnchen im Schalengerüst zusammenhalten. Die ökologische Amplitude der Art ist zwar noch unsicher; ihren Schwerpunkt hat sie nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) jedoch in schwach mesotrophen, mäßig sauren Seen, was durchaus mit der übrigen paläoökologischen Indikation für das „Große Heilige Meer“ des 16./17. Jh. übereinstimmt. *Fragilaria capucina* standen jedoch weiterhin individuenreiche und gesellschaftsprägende *Tabellaria flocculosa*-Vorkommen ( $\varnothing$  15 %) zur Seite. Diese *Tabellaria flocculosa*-*Fragilaria capucina*-Gesellschaft wurde von steigenden Anteilen von *Asterionella formosa* und der meisten Vertreter der Familie (u.a. *F. biceps*, *F. crotonensis*) begleitet, während *F. ulna* schon nach einem kurzfristigen Maximum von 8,1 % ihre Populationsstärke einbüßte und auch die Beteiligung von *F. construens* und *Diatoma tenuis* zurückging.

Deutlich offenbarte sich der einschneidende Entwicklungsschub auch innerhalb der litoralen *Achnantheaceae*-Zönosen, die in ihrer Gesamtheit eine explosionsartige Massenver-

mehrung erfuhren. Dabei verschoben sich parallel zu den *Tabellaria-Fragillaria*-Dominanzverhältnissen auch die Populationsstärken von *Achnanthes minutissima* (23 %) und *A. flexella* (11,5 %), so dass sich nun *Achnanthes flexella-minutissima*-Decken ausbreiteten. Der Artenwechsel von den *Eunotia*-reichen *Tabellaria*-Gesellschaften zu den *Fragillaria*- und *Achnanthes*-Lebensgemeinschaften spricht im übrigen auch für einen Wechsel von Klarwasserverhältnissen, wie sie normalerweise oligotrophen Seen eigen sind, zu trüben Wässern meso- bis eutropher Gewässer. Dieser Wechsel ist auch historisch dokumentiert: So schrieb THURNEISSER (1569/1612) von einem „feig / blawferbig / dunckelwasser“ und in der historischen Grenzkarte von 1616 ist notiert, dass sich „das ehemals blaue Wasser braun färbte“. Im übrigen verschob sich auch das Verhältnis der Varianten von *A. minutissima* zugunsten der Nominatform, deren optimale Vitalität nach HOFMANN (1994) erst bei pH-Werten über 6 erreicht wird. Somit korrelierte die Entwicklung klar mit den rückläufigen Tendenzen der Säure-Indikatoren. Ferner gewannen *Achnanthes linearis* sowie *Cocconeis placentula* und ihre Variante *lineata* als begleitende Arten erst mit zunehmender pH-Stabilisierung an Bedeutung. Nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) sind die Nominatform und Variante von *Cocconeis placentula* oftmals parallel im selben Biotop verbreitet, und auch im „Großen Heiligen Meer“ existierten sie nebeneinander her. *C.p.* var. *lineata* wurde dabei verschiedentlich aus nährstoffarmen Gewässern beschrieben (WHITMORE 1989, ZWICK 1993). *C.p.* var. *placentula*, die in eutrophen Gewässern hoher Alkalinität stellenweise massenhaft auftritt (CHOLNOKY 1968), muss nach SALDEN (1978) insgesamt als eurytope, trophie- und pH-tolerante Art eingestuft werden. So wurde sie von HOFMANN (1994) in geringer Zahl in elektrolytäreren, circumneutralen bis schwach sauren Gewässern beobachtet.

Viele anspruchsvollere Litoralbewohner, die zuvor erstmals auftauchten, begleiteten das Plankton nun regelmäßig, z. T. in leicht steigender Tendenz (*Entomoneis ornata*, *Gyrosigma acuminatum*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula rhynchospora*, *Nitzschia linearis*, *Surirella angustata*, *Surirella biseriata*). Darüber hinaus traten als neue Arten *Navicula placentula*, *N. tuscula*, *N. peregrina* und *Neidium affine* hinzu. Im Gegenzug zu den verschwindenden Acidophyten gewinnen mit der Neutralisierung des Seewassers acidotolerante bis neutrophile Arten wie *Amphipleura pellicula* an Bedeutung.

### 7.2.3.3 Entwicklung *Centrales*-reicher *Pennales*-Biozönosen

Nach dem Dreißigjährigen Krieg und während der optimalen Regeneration des lokalen Erlenwaldgürtels deutete ein klarer Anstieg der eutraphenten *Centrales* (16-40 %) einen deutlichen Schub in der Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ an und damit bereits den Übergang zur anthropogen beschleunigten, neuzeitlichen Eutrophierung des Gewässers. Die *Centrales*-reichen Biozönosen werden dabei in erster Linie von *Cyclotella radiosa* und *Aulacoseira islandica* ssp. *helvetica* getragen, wobei letztere kurzfristig zur Dominanz (20 %) gelangte. *Aulacoseira islandica* ssp. *helvetica* ist als planktonischer Kosmopolit in nahezu allen mitteleuropäischen Seen verbreitet und gilt unter den nachgewiesenen *Aulacoseira* sp. als die anspruchsloseste Art. Sie bevorzugt nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) oligo- bis mesotrophe Seen und Flüsse (planar bis montan), was ihrer frühen, niedrigfrequenten Verbreitung bereits im mittelalterlichen und wüstungszeitlichen „Großen Heiligen Meer“ entsprach. Unter den *Pennales* hatten die im Rückzug begriffenen *Tabellaria flocculosa* und *Fragillaria capucina* nun mit ca. 10 % in etwa gleiche Anteile an der pelagischen Lebensgemeinschaft des Sees. Zu ihnen gesellte sich mit Werten von maximal 15 % *Asterionella formosa*. Zusammenfassend ist der See entsprechend der Trophie-Indikation der Arten nun als mesotroph einzustufen.

Entsprechende Eutrophierungszeiger fanden sich mit *Neidium dubium*, *Cocconeis disculus* und *Stauroneis phoenicenteron* auch in der begleitenden Litoralflora. *Cocconeis disculus* lebt zumeist im Grundschlamm von Seen, die durch mittlere bis höhere Elektrolyt-

werte und erhöhte Alkalinität charakterisiert sind. BUDDE (1942a) registrierte die Art auch im „Erdfallsee“ und „Heideweiher“, nicht jedoch im heutigen „Großen Heiligen Meer“. *Stauroneis phoenicenteron* dringt bis hinein in eutrophe, z.T. stärker verschmutzte Gewässer. Im übrigen zeigten die Lebensgemeinschaften der Uferzonen einen sichtbaren Abfall der vorherrschenden *Achnanthes flexella-minutissima*-Gesellschaft. Die beteiligten Arten blieben jedoch gesellschaftsbestimmend, gemeinsam mit *Achnanthes lanceolata*, die zunächst von den veränderten Lebensbedingungen profitierte und vorübergehend Frequenzen von bis zu 11,4 % erreichte. In sukzessiver Folge vermehrten sich dann *Achnanthes conspicua*, *A. peragalli* und verzögert *A. exigua*, die aufgrund ihrer Abundanzen (2,0, 1,3 bzw. 5,8 %) aber zerstreute Begleiter der *Achnanthes* sp.-Aufwuchsgesellschaft blieben. Während *A. peragalli* vorwiegend in oligotrophen Gewässern verbreitet ist, gilt *A. conspicua* nach HOFMANN (1994) als eurytroph. Bei einem Schwerpunkt im meso-eutrophen Bereich geht sie in geringer Dichte, aber großer Stetigkeit auch in oligotrophe Gewässer und fehlt nur im stark elektrolytarmen Milieu bei Leitfähigkeiten unter 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ihre sukzessive Einnischung in die Kieselalgenesellschaften des „Großen Heiligen Meeres“ zeigte in Übereinstimmung mit der Literatur, dass beide Arten im Vergleich zu *Achnanthes lanceolata* und *A. flexella* als relativ anspruchsvoll angesehen werden können. Entscheidend für die lokale Ausbreitung war ferner die pH-Stabilisierung des „Großen Heiligen Meeres“, denn beide Arten mieden saure Verhältnisse. Dementsprechend gilt *A. peragalli* als circumneutral, *A. conspicua* gar als alkaliphil. Auch *A. exigua* bevorzugt nach SALDEN (1978) neutral bis schwach alkalische Bedingungen (pH 7,0-7,4). Letztere erwies sich zudem als anspruchsvollste *Achnanthaceae* und indizierte HOFMANN (1994) zufolge bereits  $\alpha$ -meso-eutrophe Verhältnisse. Schließlich ließ sich der Rückgang der epiphytischen *Achnanthes flexella-minutissima*-Gesellschaft mit einer Einengung des Lebensraumes „makrophytischen Litoralvegetation“ im Zuge der Verlandung verknüpfen. Zugleich stand die Ausbreitung der freilebenden *A. lanceolata* bzw. der benthischen Arten *A. peragalli*, *A. conspicua*, *A. exigua* im Zeichen einer verstärkten Schlammablagerung und (anthropogen geförderten) allochthonen Mineralfracht.

## 7.2.4 Entwicklung neuzeitlicher *Centrales*-Algenblüten

### 7.2.4.1 Expansion einer *Cyclotella radiosae*-Dominanzgesellschaft

In Übereinstimmung mit den vegetationsgeschichtlichen Ergebnissen bestätigt der abrupte Anstieg des Verhältnisparameters „*Centrales/Pennales*“, der nach RYBAK (1985) als Maß des Trophiegrades im Gewässer gilt, die beschleunigte Eutrophierung des „Großen Heiligen Meeres“ seit der preußischen Siedlungsexpansion. Das *Centrales/Pennales*-Verhältnis indiziert ein nunmehr nährstoffreiches Gewässer, das als meso-eutroph einzuordnen ist. Ferner stellt das Verhältnis die Biomassenproduktion in den verschiedenen Lebensbereichen des Sees gegenüber, da *Centrales*-Gesellschaften zumeist pelagisch, epilimnisch verbreitet sind, während die *Pennales* in der Regel benthisch oder epiphytisch leben. Die registrierte Verschiebung zugunsten der *Centrales* entsprach also einer weiteren Schwerpunktverlagerung der Algenbiozönosen vom Litoral ins Pelagial und damit dem Übergang der Eutrophierung vom Uferbereich bzw. dem nunmehr vegetationsbedeckten Flachsee auf den Hauptwasserkörper. Schließlich war die massive, neuzeitliche Vermehrung der zentrischen Euplankter zugleich mit einer deutlichen Steigerung der Artendiversität (78 nachgewiesene Arten) und der allgemeinen Abundanz sämtlicher Kieselalgen verbunden. Dies spricht gleichermaßen für die gestiegene Produktivität des Gewässers infolge erhöhten Nährstoffangebots.

Die erhöhte Individuenzahl war im „Großen Heiligen Meer“ insbesondere an die Massenblüten von *Cyclotella radiosae* (31 %) gekoppelt, die die *Fragilariaceae* und die kurzfristig beherrschende *Aulacoseira islandica* aus ihrer Vorherrschaft verdrängten. Dabei

bestätigt sowohl die Vertretung von *Cyclotella radiosa* seit Beginn der lokalen Kieselalgenentwicklung als auch ihre aktuelle Anwesenheit im „Großen Heiligen Meer“ und im „Erdfallsee“ die weite ökologische Amplitude des kosmopolitischen Pelagialbewohners. KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) zufolge kann die Art z.T. sogar in leicht brackische Gewässer vordringen. Ihren Schwerpunkt hat *Cyclotella radiosa* in Übereinstimmung mit den Verhältnissen im neuzeitlichen „Großen Heiligen Meer“ jedoch primär im Euplankton saurer Gewässer mit relativ hohem Elektrolytgehalt. Begleiter der neuzeitlichen *Cyclotella radiosa*-Dominanzgesellschaft waren einerseits die zentrischen Arten *Aulacoseira ambigua*, *A. italica*, *A. granulata* und *Melosira varians*. Andererseits waren neben *Tabellaria flocculosa* und *Fragilaria capucina* auch die anspruchsvolleren, euplanktischen *Pennales Asterionella formosa*, *Fragilaria construens* und *F. crotonensis* regelmäßig vertreten.

Schließlich ging mit den *Cyclotella radiosa*-Blüten eine erneute Verschiebung im Artenspektrum des Uferbiotops einher. Nach wie vor hielten die *Achnantheae* ihre Gesellschaftscharakterisierende Stellung inne, wobei nun neben *Achnanthes minutissima* *A. exigua* zur zweitstärksten Art wurde und auch *A. conspicua* und *A. peragalli* optimale Bedingungen vorfanden. Gleich den auf dem Rückzug befindlichen Arten *A. flexella*, *A. lanceolata* und *A. linearis* erreichten sie die 5 %-Grenze jedoch nicht. Der vergleichsweise geringe Anteil litoraler Arten an der Kieselalgenflora spiegelt die Verkleinerung der besiedelbaren Litoralbereiche, die sich infolge des fortgeschrittenen Verlandungsstadiums des Flachsees mehr und mehr auf die schmalen Uferbänke des tiefen Seebeckens beschränkten. So wurden die epiphytischen, an die Seerosen-Decken gebundenen *Gomphonema*-Arten unbedeutend. Auch die kleinschaligen, anspruchsloseren *Cymbella*-Arten (*C. silesiaca*, *C. minuta*) gingen zurück, während die großschaligen, anspruchsvolleren ihre Anteile hielten (*C. naviculiformis*, *C. cistula*) oder im Gegenzug gar an Bedeutung gewannen (*C. affinis*, *C. aspera*, *C. helvetica*). Einen entsprechenden Artenwechsel verzeichnete auch *Navicula* sp., wobei die oligo-mesotraphente *N. radiosa* auf dem Rückzug war, während sich die meso-eutraphenten *N. pupula*, *N. bacillum*, *N. placentula* und *N. rhynchospora* konstant hielten, *N. tusucla* und *N. scutelloides* sich vermehrten und *N. veneta* neu auftrat. *Stauroneis nobilis* ebenso wie *S. biseriata* erreichten ihre maximale Populationsstärke. *Surirella linearis* wurde neu nachgewiesen, wie auch *Gyrosigma attenuatum*, eine Art mittlerer Elektrolytgehalte. An den Eutrophierungsschub war letztendlich auch eine weitere pH-Stabilisierung gebunden, derzufolge nicht nur anspruchslose Arten wie *Caloneis scutellum* und *Entomoneis ornata*, sondern auch die Säureindikatoren (*Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Stenopterobia curvula*, *Anomoeoneis brachysira*) nahezu vollständig aus dem Algenspektrum verschwanden.

#### 7.2.4.2 Algenblüten von *Aulacoseira granulata*

Bei Profilmillimeter 281 kommt es zu einer erneuten Verschiebung der Dominanzverhältnisse innerhalb der zentrischen Diatomeengesellschaften: *Cyclotella radiosa* verlor ihre Vormachtstellung; ihre Kurve geht auf Frequenzen unter 20 % zurück. Antagonistisch bildete nun *Aulacoseira granulata* euplanktische Massenblüten mit einem Absolutwert von 36 % aus. Das kurzfristige Maximum der Art, die im 18. Jh. erstmals im Diatomeenspektrum auftauchte und im 19. Jh. wieder verschwand, verweist auf die in der Regel eng begrenzte ökologische Amplitude der *Aulacoseira*-Arten. Wie nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) häufig beobachtet, ersetzte *A. granulata* somit auch im „Großen Heiligen Meer“ bei zunehmender Eutrophierung die bislang dominierende *A. islandica*. Der kosmopolitische, kettenbildende Euplancker kommt überwiegend in eutrophen Flüssen, Teichen und Seen vor und ist insbesondere in der Ebene häufig und stellenweise massenhaft. Nach SALDEN (1978) kann *A. granulata* jedoch nicht generell als Leitart eutropher Gewässer angesehen werden, da ihre Verbreitung stark pH-abhängig ist. Somit kann ihr späterer Auftritt in den lokalen Lebensgemeinschaften und ihre plötzliche Massenvermehrung

rung auch in den Zusammenhang der sukzessiven Stabilisierung des Säure-Basen-Haushaltes im nunmehr circumneutralen Milieu angesehen werden, wie sie auch durch die korrelierte, summarische pH-Indikation der relevanten Kieselalgenarten bestätigt wird (MERILAINEN 1967; Abb. 29). Auch *Aulacoseira ambigua*, deren Ansprüche denen von *A. granulata* sehr ähneln, begleiteten die eutrphente Zönose in diesem Entwicklungsabschnitt. Dagegen gilt die gleichfalls verbreitete eutrphente *A. italica* als relativ seltene Litoralform.

Mit dieser siedlungsgeschichtlich korrelierten Entwicklung ging auch die weitere Genese der Litoralgesellschaften einher. Allerdings zeichnete sich deren populationsschwaches Spektrum durch eine relativ große Konstanz aus. Lediglich die Mehrung dreier Arten sein hier hervorgehoben: Die eutrphenten *Epithemiaceae Epithemia adnata* und *Rhopalodia gibba* indizierten durch ihr regelmäßiges Vorkommen das Fortschreiten der anthropogen beschleunigten Eutrophierung. Entsprechenden Zeigerwert hat auch *Surirella linearis*, die ein Optimum an Lebensbedingungen vorfand.

Insgesamt erwies sich diese Phase der *Aulacoseira granulata*-Dominanzgesellschaft als bisher nährstoffreichste. Sie zeichnete sich zudem als artenreichste Phase (84 nachgewiesene Arten) in der gesamten Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ aus. Dieses Optimum an Biodiversität korreliert mit einem hohen Trophie-Index und einem schwach eutrophen Wassermilieu.

#### 7.2.4.3 Ausbreitung einer *Cyclotella radiosae-Aulacoseira islandica*-Gesellschaft

Ebenso schlagartig wie die *Aulacoseira granulata*-Gesellschaft im „Großen Heiligen Meer“ auftauchte, verschwand sie zu Beginn des 19. Jh. wieder. Sie wurde erneut von *Cyclotella radiosae* und *Aulacoseira islandica* abgelöst, die die Lebensgemeinschaften des „Großen Heiligen Meeres“ langfristig prägten. Zunächst wurde wiederum *Aulacoseira islandica* begünstigt, die Dominanzen von bis 28 % entwickelte. Die Ausbildung einer *Cyclotella radiosae-Aulacoseira islandica*-Gesellschaft spiegelte einen Einschnitt in der Seegenese wider, der ferner - trotz steigender Abundanz - mit einer Abnahme der Biodiversität verbunden war, d.h. die erhöhte Individuenzahl konzentrierte sich zunehmend auf wenige Arten (71), und zwar insbesondere auf die beiden algenblütenbildenden *Centrales*. Begleiter dieser Gesellschaft war *Melosira varians*, die im „Großen Heiligen Meer“ stets vereinzelt anzutreffen war und nun erstmals regelmäßige Vorkommen aufwies. Sicherlich ging dieser Wandel mit dem mehrfachen Ausbau der Meerbecke zur Jahrhundertwende 18./19. Jh. einher, der durch Vergrößerung des Einzugsgebietes und Veränderung der Strömungsverhältnisse durch die Durchflusssituation mit einschneidenden Veränderungen in der Ökologie des „Großen Heiligen Meeres“ verknüpft war. Infolgedessen konnten sich die stenök eutrphenten Arten (*A. granulata*), die bereits auf dem Vormarsch waren, langfristig nicht durchsetzen.

Im Gegenzug eroberten erneut anspruchslosere Arten das Gewässer, die bereits auf dem Wege der Verdrängung waren, allen voran *Tabellaria flocculosa*, die erneut Frequenzen von bis zu 25 % einnahm. Im Einklang mit der Ausbreitung von *Myriophyllum alterniflorum* und *Litorea uniflora* spiegelten sie die anthropogen bedingte Standortdifferenzierung und Schaffung kleinräumiger Uferzonen wider, deren Milieubedingungen sich von denen des Gesamtgewässers abhoben. Auch im übrigen Plankton zeigte sich diese Tendenz: So expandierten zum einen anspruchslosere Arten wie *Diatoma tenuis*, *Navicula pupula*, *Stauroneis nobilis* und *Cocconeis placentula*. Zum anderen werden die *Achnanthes*-Gesellschaften der Uferzonen erneut von den Epiphyten *Achnanthes minutissima*, *A. flexella* und *A. linearis* gebildet.

#### 7.2.4.4 Ablösung durch eine *Aulacoseira islandica*-*Cyclotella radiosa*-Gesellschaft

Nach der kurzfristigen Regression erreichten die Individuendichte der gesamten Kieselalgenpopulation, die Summe der *Centrales* und euplanktischen Diatomeen ihre Maximalwerte, d.h. die Eutrophierung ihren ersten Höhepunkt. Übereinstimmend wurde in der Sedimentstratigraphie der Wechsel zur Feindetritusmudde registriert und pollenanalytisch ein Anstieg der *Pediastrum*- und Hydrophytenpollen-Kurve nachgewiesen. Dies alles indizierte die gesteigerten Mineral- und Nährstofffrachten, die dem „Großen Heiligen Meer“ nach erneutem Ausbau der Meerbecke im Zuge der Markenteilung und Intensivierung der Landwirtschaft Mitte des 19. Jh. aus Niedermooren, Agrarland und Kalkabbaugebieten zugeführt wurden. Dabei kehrten sich die Dominanzverhältnisse innerhalb der vorherrschenden pelagischen Algenzönose um, so dass nun von der Existenz einer *Aulacoseira islandica*-*Cyclotella radiosa*-Gesellschaft gesprochen werden muss, in der *Cyclotella radiosa* ihr absolutes Populationsmaximum erreichte (37 %). Die sukzessive Folge von *Aulacoseira islandica* und *Cyclotella radiosa*, die nun schon mehrfach in der Seegenese nachgewiesen wurde, kann demnach mit den durchschnittlich erhöhten Nährstoffansprüchen einer eutraperteren *Cyclotella radiosa* verknüpft werden.

Darüber hinaus wurden stark eutrapertere Arten wie *Diatoma moniliformis* erstmals nachgewiesen. Nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-91) dringt diese epiphytische Alge sogar in brackische Gewässer vor und wurde bereits im Plattensee und Neusiedler See sowie in der Ostsee nachgewiesen. Im übrigen wurden im Zuge der sukzessiven Eutrophierung mehr Arten verdrängt, als neu hinzukamen. Insbesondere viele litorale Kieselalgen verschwanden durch Einengung ihres Lebensraumes im Zuge der sukzessiven Verlandung.

#### 7.2.4.5 Kurzfristige *Centrales*-reiche *Fragilaria capucina*-*Tabellaria flocculosa*-Phase

Eine erneute, starke Regression in der Entwicklung der Kieselalgen-Vergesellschaftungen, die zu einer schlagartigen Verschiebung des *Centrales*/*Pennales*-Verhältnis auf Seiten der *Pennales* führte, korrelierte mit der Entstehung des „Erdfallsees“ und dem verstärkten Eingriff des Menschen in das Ökosystem, der den Zustrom „ärmerer“ Wasser aus den westlichen Heide- und Ödlandflächen und die expansive Ausbreitung von *Myriophyllum alterniflorum*-Dickichten und *Litorea uniflora*-Rasen im „Großen Heiligen Meer“ bewirkte. Die Kurven der *Centrales* fielen abrupt auf ein Minimum unter 20 % (61 cm) ab, wobei die *Cyclotella radiosa*-Frequenzen kurzfristig unter 10 % fielen, die *Aulacoseira islandica*-Werten sogar gegen Null tendierten. Wie in dem wüstungszeitlichen Gewässern wurde das „Große Heilige Meer“ erneut von mesotrapernten Gesellschaften mit vorherrschender *Tabellaria flocculosa* und *Fragilaria capucina* (24 % bzw. 19 %) erobert. Ebenso wurde die Begleitung verstärkt durch *Fragilariaceae* geprägt: *Tabellaria fenestrata*, *T. quadrisepata*, *F. construens*, *F. crotonensis*, *F. ulna*, *F. biceps*. Der Anteil eutrapernter (auch zentrischer) Begleitarten war jedoch höher als während der Wüstungsperiode und die oligotrapernten Arten, z.B. der *Eunotia-Pinnularia*-Vergesellschaftung, die das frühneuzeitliche Gewässer charakterisiert hatten, fehlten im 20. Jh.

Zu diesen anspruchsvolleren Arten gehörten vor allem die pennaten Litoraldiatomeen *Navicula bacillum*, *N. placentula*, *N. scutelloides*, *Neidium dubium*, *N. affine*, *Gyrosigma acuminatum* und *Cymbella affinis*. Sie begleiteten die *Achnanthes minutissima*-Dominanzgesellschaft, die sich als Erstbesiedler und Pionier erneut ausbreitete (Absolutwerte von 31 %) und charakteristischerweise von zahlreichen mesotrapernten Arten geprägt wurde: *Navicula gregaria*, *Amphipleura pellicula*, *Cymbella silesiaca*, *C. minuta*, *Cocconeis placentula*, *Hantzschia amphioxys*, *Cymatopleura solea*, *Surirella biseriata*.

#### 7.2.4.6 Aktuelle Entwicklung einer *Asterionella formosa*-reichen *Cyclotella radiosa*-Dominanzgesellschaft mit *Fragilaria crotonensis*

Nach dem regressiven Zwischenspiel in Folge subrosiver Vorgänge und verstärkt anthropogener Eingriffe im „Heiligen Feld“ eroberten die *Centrales* ihre dominante Stellung innerhalb der Algenbiozöosen schnell zurück, d.h. dass sich, trotz kurzfristig mesotropher Bedingungen, die fortgeschrittene Gesamtsukzession und die weiterhin eutrophen Verhältnisse im Uferbereich und dem Gewässerumfeld in einer Massenentwicklung der anspruchsloseren Arten und einem raschen Ablauf der Folgesukzession äußerten: So regenerierte das eutraptente Phytoplankton über die Ausbildung einer *Pennales*-reichen *Cyclotella radiosa*-*Aulacoseira islandica*-Lebensgemeinschaft zu einer *Cyclotella radiosa*-Dominanzgesellschaft, in der die euryöke und belastungstolerantere *Cyclotella radiosa* mit 20-30 % vorherrschte, während *Aulacoseira islandica* zunehmend verdrängt wurde.

In jüngster Zeit zeichnete sich zudem eine ganz neuartige Entwicklung ab: Einerseits erreichten Individuendichte und Trophie-Index ihre maximalen Werte und kennzeichneten somit im Einklang mit der *Cyclotella radiosa*-Gesellschaft erneut ein eutrophes Gewässer. Andererseits wurde sowohl eine massive Artenverarmung von einstmalig 87 auf lediglich 52 nachgewiesenen Arten registriert, als auch eine erneute Verschiebung des *Centrales*/*Pennales*-Verhältnisses zugunsten pennater, aggregatbildender Euplankter. So breitete sich vor allem *Asterionella formosa* aus und bildete schließlich Algenblüten mit Frequenzen bis zu 22 % aus. Die euplanktische *Fragillariaceae*, die sich zu charakteristischen Sternaggregaten formiert, tritt nach LUND (1950) unter eutrophen Bedingungen stets sehr häufig bis massenhaft auf. Gleich *Cyclotella radiosa* existiert *Asterionella formosa* auch in belasteten Gewässern und gilt insbesondere als Zeiger erhöhten Phosphatetrags.

Darüber hinaus erreichte die Kurve von *Fragilaria crotonensis* in der Oberflächenprobe der Sedimente Absolutwerte von 9,5 %. *Fragilaria crotonensis* ist eine aggregatbildende Stäbchendiatoome, die sowohl im Euplankton von Fließ- als auch von Stillgewässern verbreitet ist. In Übereinstimmung mit der lokalen Entwicklung folgt *Fragilaria crotonensis* nach VOLLENWEIDER (1968) typischerweise den *Asterionella*-Gesellschaften und bildet gleich diesen Massenblüten aus. SALDEN (1968) beobachtete die Art jedoch auch als kodominanten Vertreter von *Achnanthes minutissima*-Aufwuchsgesellschaften, die ebenfalls in hoher Abundanz die Litoralgesellschaften des heutigen „Großen Heiligen Meeres“ charakterisieren. Ähnlich ihrer fakultativ planktischen Lebensweise ist auch der ökologische Zeigerwert von *Fragilaria crotonensis* umstritten: SALDEN (1968) stellte als Richtwerte schwach basische Bedingungen (pH 7,2-7,6), ein N/P-Verhältnis von 140-670:1, einen Saprobien-Index von 1,73-2,17 und eine Güteklasse II zur Diskussion. VOLLENWEIDER (1968) bezeichnete die Art als Zeiger beginnender Gewässereutrophierung, deren optimales Wachstum oberhalb einer Phosphatbelastung von 0,02 mg/l bei ca. 0,045 mg/l liegt. Nach BERNHARDT, CLASEN & NUSCH (1970 zit. n. SALDEN 1978) wurde die Art in hoher Individuenzahl selbst in der eutrophen und phosphatreichen Wahnachtalsperre beobachtet. Darüber hinaus verträgt *Fragilaria crotonensis* wohl auch ein gewisses Maß an Salzbelastung, denn sie wurde sowohl in schwach salzigen Küstenwässern als auch in schwach brackigen Binnenwässern registriert (HUBER-PESTALOZZI 1942). Dem gegenüber wird die Art jedoch immer wieder aus oligotrophen Gewässern gemeldet (SALDEN 1978) und auch in der Diatomeensukzession des „Großen Heiligen Meeres“ existierte sie bereits im anspruchslosen Plankton des Hochmittelalters.

Zu der Lebensgemeinschaft gesellten sich weitere Arten, denen ein euryökes Verbreitungsmuster gemein ist: Während *Tabellaria flocculosa* und *Fragilaria capucina* bei leicht rückläufiger Tendenz weiterhin stete Begleiter blieben, nahmen *Melosira varians* und *Aulacoseira italica* steigende Anteile ein (7,5 % bzw. 4,0 %) und auch die Frequenzen der zerstreut lebenden *Tabellaria quadrisepa*, *T. ventricosa*, *Diatoma tenuis*, *F. ulna*

und *F. biceps* stiegen leicht an. *Fragilaria ulna* gilt als Aufwuchsdiatomee ohne ökologischen Schwerpunkt, die aber bis ins polytrophe Milieu vordringt. *Aulacoseira italica* wurde schon von HUSTEDT (1930) und HUBER-PESTALOZZI (1942) als Litoralart mehr oder minder eutropher Binnengewässer beschrieben. ZWICK (1993) führt sie dagegen als trophietolerante Art, während FOTT (1971) sie auch in oligotrophen Planktongesellschaften fand. SALDEN (1978) beschrieb sie aus einer *Asterionella formosa-Fragillaria crotonensis*-Assoziation, was der vorliegenden Situation am nächsten kommt.

### 7.3 Entwicklung des Mineral- und Nährstoffhaushaltes

Die Ergebnisse der sedimentchemischen Untersuchungen ergänzen das Bild der Mineral- und Nährstoffentwicklung im „Großen Heiligen Meer“ und erlauben über die qualitative Bewertung hinaus eine quantitative Einordnung der jeweiligen Milieubedingungen.

Dabei muss die Beurteilung der Ergebnisse und deren Vergleich mit der aktuellen, hydrochemischen Situation in den Gewässern des NSG stets vor dem Hintergrund der speziellen Sediment-Wasser-Wechselbeziehung der einzelnen Parameter erfolgen. D.h. die vielfältigen physikalischen, chemischen und organismischen Transportvorgänge sowie die wesentlichen Fällungs- und Rücklösungsvorgänge zwischen Wasserkörper und Sediment müssen berücksichtigt werden, denn die entscheidenden Austauschprozesse im Ökosystem See konzentrieren sich insbesondere auf die enge Kontaktzone Wasser - Schlamm. Sie sind nicht nur abhängig von der jeweiligen, qualitativen und quantitativen Mineral- und Nährstoffzusammensetzung, sondern werden auch von den Sauerstoffverhältnissen bzw. dem Redoxpotential am Gewässerboden entscheidend geprägt. Diese sind wiederum mit weiteren, komplexen Prozessen innerhalb des ökosystemaren Stoffhaushaltes, wie z.B. der Bioaktivität (Produktion, Konsumption, Destruktion), vernetzt, aber auch an biogeochemische Kreisläufe, die über das System hinausreichen, gekoppelt. Letztendlich fungiert das Sediment jedoch als Deponie sich akkumulierender Substanzen, die weder exportiert noch remineralisiert werden, da sie schwer abbaubar bzw. unter dem jeweiligen Milieu dem Abbau entzogen sind oder durch fortdauernde Sedimentation vom benthalen Stoffkreislauf abgetrennt werden (GESSNER 1955/59).

Vor diesem Hintergrund konnten die aktuellen Sedimentkonzentrationen des oberen Schlammschichtes in  $\text{mg}/\text{cm}^3$  auf die heutigen Gewässerdaten in  $\text{mg}/\text{l}$  bezogen werden (POTT et al. 1996; Tab. 3), um die Größenordnung der Mineral- und Nährstoffgehalten im historischen Gewässer in  $\text{mg}/\text{l}$  bewerten zu können. Somit geben die sedimentchemischen Untersuchungen unter Beachtung und genauer Kenntnis der Vorgänge im Stoffhaushalt direkt und indirekt Aufschluss über den jeweiligen Mineral- und Nährstoffhaushalt des Stillwasser-Ökosystems und ermöglichen über das Profil eine, die bisherigen paläolimnologischen Untersuchungen ergänzende Rekonstruktion der Trophie-Entwicklung und Seengeneses des „Großen Heiligen Meeres“ (Abb. 30).

#### 7.3.1 Sauer-nährstoffarmer, eisenreicher, frühhistorischer See

Ein deutlicher Einschnitt markiert auch im sedimentchemischen Spektrum den Erdfall: Mit dem stratigraphischen Wechsel zu den Mudden des Erdfallgewässers springt der organische Anteil des Sedimentes entsprechend der **Glühverlustanalyse (GVA)** von 19 auf 59 % und kennzeichnet damit die Entstehung des tiefen Erdfallgewässers sowie eine beginnende biogene Sedimentation. Die Summenparameter der GVA geben Aufschluss über das Verhältnis von organischem zu mineralischem Anteil im Sediment und können somit sowohl als Eutrophierungsparameter dienen als auch als Differenzierungsparameter von autochthoner (organischer) bzw. allochthoner (mineralischer) Nährstoffquelle herangezogen

gen werden. Im „Großen Heiligen Meer“ verweisen die vergleichsweise niedrigen Glühverlustwerte der basalen Seemudden somit einerseits auf nährstoffarme Bedingungen, d.h. auf eine noch relativ niedrige, seeeigene Biomassenproduktion und andererseits auf einen relativ hohen, mineralischen Eintrag hin. Dieser ist in nährstoff- und daher vegetationsarmen Gewässern bereits natürlicherweise durch erosiven Abtrag im Uferbereich recht hoch und wurde in der historischen Kulturlandschaft durch die zunehmende Waldöffnung noch verstärkt. Nach MÜLLER (1970) wurden die historischen Rodungsphasen durch besonders hohe Mineraleinschwemmungen in die Gewässer charakterisiert. Im vorliegenden Fall waren jedoch primär die lokalen Nachwirkungen des Erdfalls für die hohen Mineralanteile im Sediment des jungen Erdfallsees von Bedeutung, d.h. die GVA, die u.a. als Zeiger autochthonen Materials fungiert, wurde zudem als Indikator geogener Prozesse herangezogen. Vor diesem Hintergrund wurden auch die erhöhten Kalkgehalte der basalen Mudden von bis zu 4,8 % verstanden, die Gehalten von 1-2 % in den restlichen Mudden gegenüberstehen (s. GVA). Innerhalb der kalkarmen Pleistozänlandschaft waren sie sicherlich subrosiv-geogenen Ursprungs (vgl. Kap. 4.5).

Die **Leitfähigkeit (Lf)**, ein weiterer Summenparameter der Trophie, erreichte mit der Gewässerentstehung ihre höchsten Werte von 900-1014  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , so dass sie vor dem Hintergrund der übrigen, biogenen und chemischen Indikationen zunächst nur bedingt als Maß der Eutrophierung herangezogen werden konnte. Als Summenparameter aller gelösten Ionen sind die Lf-Werte gleich den Glühverlusten nicht nur auf die autochthone Nähr- und Mineralstoffakkumulation (biogene Eutrophierungsprozesse) zurückzuführen, sondern beruhen ebenso auf der allochthonen Ionenzufuhr. Da das „Große Heilige Meer“ ursprünglich frei von oberirdischen Zuflüssen war, aber als Erdfallsee sowohl von Grundwasser gefüllt als zunächst in unmittelbarem Kontakt zum Grundwasser stand, lassen die maximalen Elektrolytwerte in der Entstehungs- und Initialphase des Sees ebenfalls auf eine geogene Ursache schließen, nämlich den verstärkten Zustrom ionenreichen Grundwassers im Anschluss an den Erdsturz. Dem sedimentchemischen Spektrum zufolge wurden diese Wässer insbesondere von Alkali- und Erdalkali- sowie von Eisenverbindungen charakterisiert, so dass als Quelle zum einen die mineralreichen, mesozoischen Tiefengrundwasser in Frage kommen, die nach THIERMANN (1975a) und KOCH (1983) als Ca-(Mg)-K-Na-(Cl)-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Typen vorliegen und über hydrologische Spalten z.T. mit den Kluftwässern der mesozoischen Kalk-, Anhydrit-, Gips- und Steinsalzlager in Verbindung stehen. Zum anderen waren natürlich auch die pleistozänen Tiefengrundwässer im Tiefenbereich der unmittelbaren Einbruchszone der Erdfallseen beteiligt. So befindet sich das heutige Ca-/HCO<sub>3</sub>-Konzentrationsmaximum nach WEINERT et al. (1998) in 15 m Grundwasser-Tiefe. Abgesehen von den bereits genannten Ionen werden die heutigen Tiefengrundwasser in 10 bis 20 m Tiefe jedoch insbesondere durch einen Reduktionshorizont ausgezeichnet und folglich durch besonders hohe Eisenfrachten geprägt (WEINERT et al. 1998). Schließlich haben auch die oberflächennahen Grundwässer zum Mineralreichtum des frühhistorischen Sees beigetragen. Denn in Übereinstimmung mit den vegetationsgeschichtlichen Ergebnissen, nach denen der See in einer Wald- und Niedermoorlandschaft entstand und im Konsens mit den von POTT et al. (1998) ermittelten, rezent-hydrochemischen Daten kann davon ausgegangen werden, dass sich auch oberflächennah eine Grundwasser-Reduktionszone befand und die Grundwasserverhältnisse der seeumgebenden Waldlandschaft nicht nur relativ nährstoff- und basenreicher Natur waren, sondern insbesondere auch den Eisen-II- und Sulfattransport in das Gewässer förderten.

Zur Bestätigung eines erhöhten, geogenen Sulfateintrages sei auf die Schwefelwasserstoff- und Eisenpyrit-Nachweise im späteren, reduzierten Sediment (Kap. ff.) verwiesen. Sie bestätigen einerseits, dass Sulfatkarstvorgänge an der Entstehung des Erdfallsees beteiligt waren, und verdeutlichen damit einmal mehr die Komplexität der geologischen Senkungsvorgänge des „Heiligen Feldes“. Andererseits lassen sie vermuten, dass der **Schwefelhaushalt** einst eine sehr viel stärkere Rolle im „Großen Heiligen Meer“ spielt

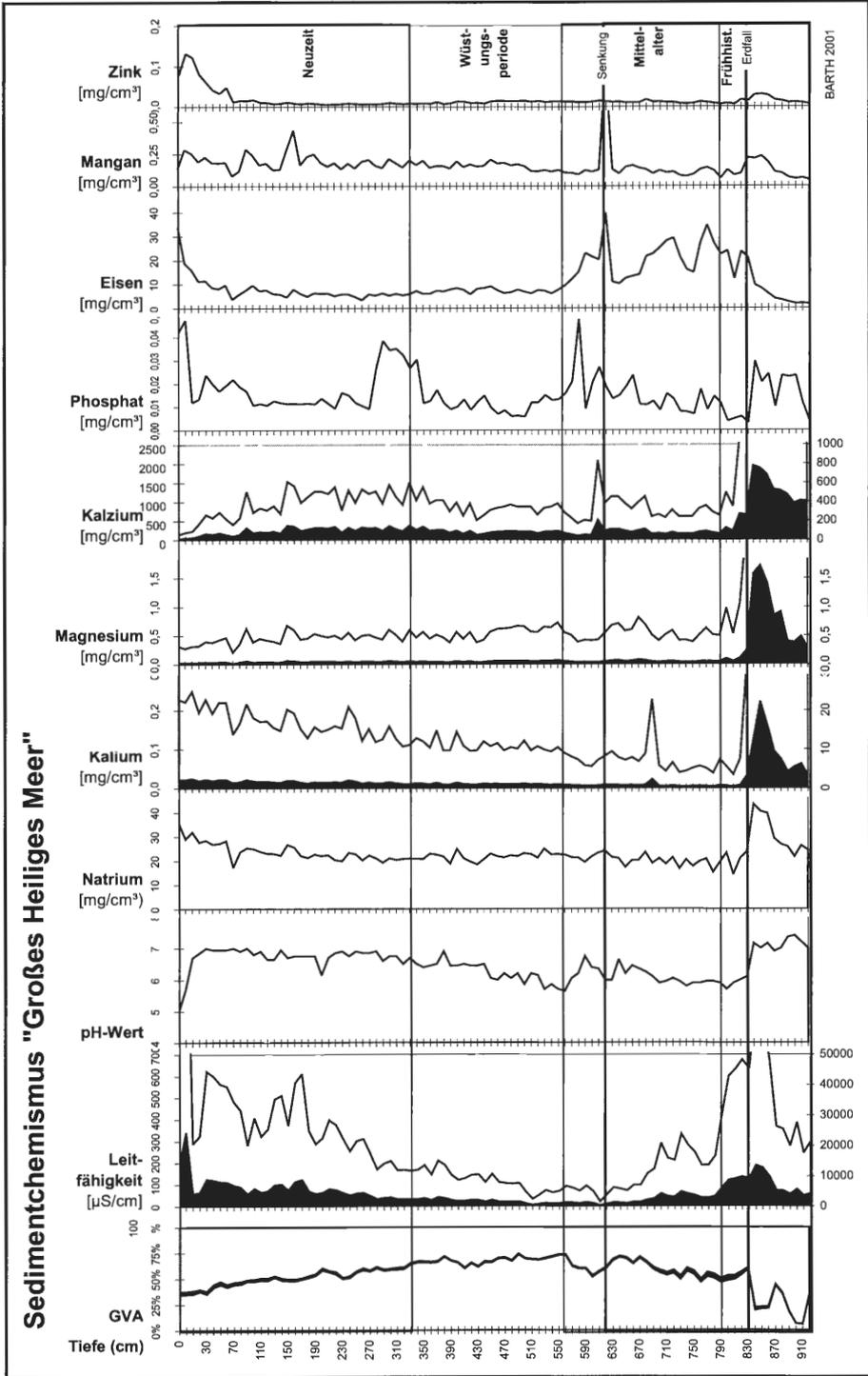


Abb. 30: Sedimentchemismus „Großes Heiliges Meer“ (Diagramm).

hat. Noch heute zeugt das Schwefelbad Steinbeck wenige Kilometer nordöstlich von aktiven Schwefelquellen am Rand des „Heiligen Feldes“, das durch seine Subrosionsgeologie für sulfathaltige Wässer prädestiniert ist. Für das „Große Heilige Meer“ beschrieb bereits die älteste, schriftliche Überlieferung von THURNEISSER (1569/1612) die Existenz eines schwefelhaltigen, organischen Schlammes aus Bitumen und Schwefelkreiden, der aufgrund seiner Heilwirkung erwähnenswert war. Während Bitumen („Erdharz“, „Erdpech“) ursprünglich ein aus organischen Stoffen natürlich entstandenes Kohlenwasserstoffgemisch von teerartiger Konsistenz bezeichnet, ist Schwefelkreide ein alter, auch in der Liste ausgeschiedener Mineralnamen (BAYLISS 2000) nicht verzeichneter Begriff. Entsprechend THURNEISSERS Verweis auf jüdische Seen, sind nach GMELIN (1953) vermutlich ausfallende Kalzium- und Magnesiumsulfate gemeint, wie sie auch die Ufer des Toten Meeres an der Jordanmündung charakterisieren. Zwar wurden die Schwefel- bzw. Sulfatkonzentrationen hier nicht bestimmt, doch lässt ein Kalzium-Magnesium-Verhältnis von weit über 10 auf die Existenz von nicht-karbonatischen, vor allem kalziumdominierten Verbindungen schließen. Ergo deutet es vor dem geologischen Hintergrund auf Fällung von Schwefelsalzen und Kalziumsulfaten hin.

Bzgl. des Säure-Basen-Haushaltes ging die Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ von relativ sauren Bedingungen aus. Die initialen **pH-Werte** von 5,95 sanken mit abnehmendem Karbonateintrag auf einen pH von 5,5 ab. Dabei beruht die Wasserstoffionenkonzentration von Seen nach SCHWOERBEL (1987) in erster Linie auf den pH-Werten des Ausgangsgesteins der Sedimente. Lokal war sie daher auf die pleistozänen Sande, in die das Gewässer hauptsächlich eingebettet ist, zurückzuführen. Diese Sande sind von Natur aus schwach sauer bis neutral, was von PUST (1993) und POTT (1998) durch aktuohydrologische Untersuchungen an den Grundwässern des NSG bestätigt wurde. Im übrigen untermauern die pH-Werte nach POTT (1983a) die trophische Zuordnung zu einem sauer-nährstoffarmen Gewässer.

Besonders markant wird der erdfallbedingte Einschnitt im chemischen Spektrum durch den abrupten Abfall der Alkali- und Erdalkali-Ionenkurven charakterisiert, die im Versturzhorizont maximale Werte erreichten. **Natrium** erreicht lediglich im Versturzhorizont eine Konzentrationserhöhung bis zu 0,0433 mg/cm<sup>3</sup>. Dies bestätigt im übrigen auch die Entstehung des „Großen Heiligen Meeres“ primär in Folge von Chloridkarstprozessen innerhalb der mesozoischen Steinsalzlager. In der pleisto- und holozänen Landschaft des Untersuchungsgebietes tritt Natrium dagegen natürlicherweise nur in geringen Konzentrationen auf und erwies sich dementsprechend auch in der weiteren Genese des „Großen Heiligen Meeres“ mit relativ konstanten Gehalten zwischen 0,015 und 0,025 mg/cm<sup>3</sup> Natrium als nahezu trophie- und säure-inerter Parameter. Diese natürlichen Sedimentkonzentrationen konnten auf die aktuellen Gewässerdaten bezogen werden und entsprachen dann Gehalten von ca. 6,8-11,4 mg/l im Gewässer, d.h. Werten, wie sie auch im heutigen „Erdfallsee“ enthalten sind (MACHARACEK 1996, HÖLTER 1998). Natrium und gleichermaßen wohl auch Chlorid, das standardmäßig eine Ionenkombinationen mit Natrium eingeht, spielten in der natürlichen Gewässergenese demnach keine besondere Rolle.

Hauptquelle des subrosionsbedingten Ioneneintrags war der Zustrom kalzium- und magnesiumreichen Tiefengrundwassers, der auch für die weitere Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ eine insgesamt sehr viel entscheidendere Bedeutung innehatte. Die Erdalkali-Konzentrationen erreichten im Versturzhorizont Absolutwerte von 7,51 mg/cm<sup>3</sup> **Kalzium** bzw. 1,7125 mg/cm<sup>3</sup> **Magnesium** und fielen im initialen Gewässer auf nach wie vor hohe sedimentäre Gehalte von 2,70 mg/cm<sup>3</sup> bzw. 0,2436 mg/cm<sup>3</sup> ab. Wie bereits erläutert, fand die Erdalkali-Infiltration primär in Form von karbonat- und sulfatreichen Wässern statt, die im Versturzhorizont und auch noch in der basalen Mudde einen deutlich erhöhten Kalkanteil hinterließen. So können also auch Kal-

zium und Magnesium, die nach HÜTTER (1994) als Trophieparameter gelten, aufgrund der Erdfallprozesse zunächst nicht als solche herangezogen werden.

Dagegen erwies sich **Kalium** als geologisch unabhängig und daher als eindeutiger und bester Parameter zur Indikation der autochthonen Nährstoffakkumulation und Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“: Kalium-Werte von 0,0035-0,0075 mg/cm<sup>3</sup> zeichneten den frühhistorischen See als äußerst nährstoffarm aus und korrelierten somit mit den Glühverlustwerten. Die Konzentrationen betragen minimal nur ein Sechstel des aktuellen Gehaltes von 0,0229 mg/cm<sup>3</sup> Kalium im Oberflächenschlamm. Bei einem aktuell-hydrochemischen Wert von durchschnittlich 1,7 mg/l Kalium im heutigen Wassern des „Großen Heiligen Meeres“ entspräche der Kaliumanteil im frühen Sediment einem Gehalt von rund 0,3-0,6 mg/l in dem frühhistorischen Gewässer. Diese Konzentrationen liegen noch unter der des oligo-mesotrophen „Erdfallsees“ mit 0,9-1,8 mg/l. Demnach war die Nährstoffarmut natürlicher Gewässer in einer noch nicht von (Kalium-) Düngemitteln beeinflussten Landschaft noch ungleich extremer als dies heute der Fall ist.

Äußerst niedrige **Phosphatkonzentrationen** von 0,003-0,006 mg/cm<sup>3</sup> bestätigen die bisherige Zuordnung des frühen „Großen Heiligen Meeres“ zu einem Gewässer nährstoffarmen Status. Phosphat und Stickstoff (der in dieser Arbeit methodisch nicht erfasst wurde) gelten als direkte Eutrophierungsparameter von Gewässern, die als essentielle Nährstoffe von den Organismen aufgenommen und in die Biomasse inkorporiert werden. Über die Nährstoffcharakterisierung hinaus verifizieren die ermittelten, äußerst geringen Phosphatgehalte den Verdacht, dass sie in Kombination mit den hohen Eisengehalten als absoluter Minimumfaktor jegliches Diatomeenleben im frühhistorischen Gewässer negierten.

Das Schwermetall **Eisen** prägte die Ökologie des „Großen Heiligen Meeres“ von Beginn seiner Genese an: So fanden sich unmittelbar nach der Entstehung des Gewässers sprunghaft ansteigende Eisenanteile von bis zu 23,92 mg/cm<sup>3</sup> Sediment. Bzgl. der Eisenquelle war der Eintrag von Eisenionen über die erdfallbeeinflusste, erhöhte Zufuhr pleistozänen Tiefengrundwassers von wesentlicher Bedeutung, das den knapp 20 m tiefen Erdfalltrichter nach seiner Entstehung füllte und auch noch in der Folgezeit in das Gewässer eindrang. Nach WEINERT et al. (2000) sind die reduzierten (Tiefen)grundwässer des Untersuchungsgebietes noch heute durch hohe Eisengehalte gekennzeichnet, die auf einen geogenen Ursprung deuten. Ferner sprachen die ausgedehnten Niedermoorflächen, innerhalb derer Huminstoffe den oberflächennahen Eisentransport fördern, für eine starke Eisen-Infiltration in Form von Eisen-Huminsäure-Komplexen (Kap. ff.). Dagegen kam die Zufuhr über oberflächennahe pleistozäne Grundwässer offensichtlich nur untergeordnet in Frage. Denn obwohl dieses aufgrund der umliegenden, zu Orts- und Raseneisenstein-Bildungen neigenden Böden klar in Frage käme, sprechen die nicht-korrelierbaren Mangankonzentrationen gegen eine solche Herkunft, die eine Manganzufuhr in gleichem Maße fördern würde.

Die Siderotrophie war sicherlich primär für die lebensfeindlichen Bedingungen im initialen „Großen Heiligen Meer“ verantwortlich, wie sie durch die geringen Nachweise von Makrophytenpollen und Diatomeenfrusteln dargestellt wurden. So kommt es SCHWOERBEL (1987) zufolge im Eisenhaushalt eines nährstoffarmen Gewässers mit oxidativen Bedingungen einerseits zur Ausflockung von Eisen-III-oxiden und -hydroxiden, andererseits zur oxidativen Eisenfällung als Eisen-III-phosphat. Diese Ausflockungen führen zum einen zur Trübung des Gewässers und damit zur Einengung der trophogenen Zone, zum anderen beeinflussen sie über die Kopplung an den Phosphat-Kreislauf den Nährstoffhaushalt des Sees negativ. Bereits KRIEGSMANN (1938) hat die spezielle Funktion des Eisens für den Phosphat-Kreislauf im Jahresgang des „Großen Heiligen Meeres“ beschrieben. Entsprechend wurden auch dem nährstoff- und phosphatarmen frühhistorischen „Großen Heiligen Meer“ die ohnehin geringen Phosphatgehalte durch oxidative Ausflockung und Sedimentation entzogen. In Übereinstimmung mit KRIEGSMANN (1938)

zeigt sich also einmal mehr, dass Eisen von Anbeginn der Seegenese des „Großen Heiligen Meeres“ produktionsbestimmend bzw. -hemmend und für die Nährstoffarmut des Gewässers mitverantwortlich war.

Die Schwermetalle **Mangan und Zink** konnten in den basalen Sedimenten des „Großen Heiligen Meeres“ nur in konstant niedrigen Konzentrationen von 0,083-0,218 mg/cm<sup>3</sup> bzw. 0,0051-0,0170 mg/cm<sup>3</sup>, **Kupfer** nur in Spuren von < 0,001 mg/cm<sup>3</sup> nachgewiesen werden. Sie sind für den Gewässerchemismus daher unbedeutend und in keinen Zusammenhang mit den äußerst hohen Eisenkonzentrationen zu bringen, die das Sediment der frühen Entwicklungsphase kennzeichnen.

### 7.3.2 Wechselnde Redoxverhältnisse im nährstoffarmen, eisenreichen Gewässer des Mittelalters

#### 7.3.2.1 Milieuwechsel zu stark huminsäuren, anaeroben Verhältnissen

Die trophischen Bedingungen blieben im mittelalterlichen Gewässer zunächst weiterhin nährstoffarm, wie es die **Glühverluste** von 46 bis 54 % bestätigen. Die **Lf-Werte** sanken nun deutlich ab, was sicherlich primär auf die Stabilisation der Erdfallprozesse, des hydrologischen Gleichgewichts und dem rückläufigen Zustrom von Alkali- und Erdalkalielelementen zurückzuführen war. Dennoch waren die Elektrolytgehalte mit 636-284  $\mu$ S/cm im Vergleich zu den spätmittelalterlichen Minimalwerten und bis hin zu den neuzeitlichen Lf-Werten deutlich erhöht. Zum Verständnis dessen muss die starke Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der vorhandenen Wasserstoffionen-Konzentration, der Humidität und den herrschenden Redoxverhältnissen berücksichtigt werden. Alle drei Faktoren vermögen die Ionenlöslichkeit im Medium unmittelbar zu beeinflussen. Direkte Wertevergleiche sind daher nur unter konstanten pH- und Redox-Verhältnissen möglich bzw. starke Elektrolytschwankungen ermöglichen umgekehrt auch Rückschlüsse auf sich ändernde Milieubedingungen:

So korrelierten während der initialen Gewässerphase maximale Lf-Werte mit minimalen pH-Werten. Da die Lf-Werte bereits um den pH-abhängigen Dissoziationsgrad korrigiert wurden, kann eine Relativierung durch hohe Wasserstoffionen-Konzentrationen und eine dadurch gesteigerte Ionenverfügbarkeit die extremen Elektrolytgehalte nur sekundär erklären. Somit unterstrich die Korrelation die Bedeutung des Faktors Humidität, der neben dem Mineralsäuregrad von den pH-Werten erfasst wird und zudem die Lf beeinflusst. Der starke Gehalt an Humin- und Fulvosäuren im Nähr- und Mineralstoffhaushalt des damaligen „Großen Heiligen Meeres“ spiegelte sich bereits in den Huminstoffanreicherungen der mittelalterlichen Gelmudde wider. Die Huminstoffe, die dystrophe Gewässer charakterisieren, sind nun in der Lage, freie Ionen zu komplexieren und somit Einfluss auf den Elektrolytgehalt der Wasser auszuüben. Während die Ionen dem Wasserhaushalt entzogen werden, werden sie zugleich in Form von Humatkomplexen in den Sedimenten, dem sog. Dy, akkumuliert, so dass dystrophe Gewässer äußerst nähr- und mineralstoffarm erscheinen, während in ihren Sedimenten vergleichsweise hohe Leitfähigkeiten gemessen werden. Zusammenfassend widersprechen die hohen Lf-Werte nicht einer fortgesetzten Nährstoffarmut des Gewässers, wie sie auch durch die GVA dargestellt wird. Vielmehr bestätigt der Elektrolytreichtum der Mudde die Dystrophie des hochmittelalterlichen „Großen Heiligen Meeres“, wie sie bereits pedographisch, vegetations- und diatomeenanalytisch indiziert wurde.

Bzgl. des Redoxpotentials muss in diesem Zusammenhang nicht nur auf ein reduziertes Grundwassermilieu im nach wie vor waldbestandenen Umfeld des Sees geschlossen werden, das den Ioneneintrag nach POTT et al. (1998) förderte, sondern darüber hinaus auch auf einen Wechsel zu nunmehr reduktiven Bedingungen am Gewässergrund selbst. Auch

dies wird durch den sedimentstratigraphischen Befund einer schwefelwasserstoff- und eisenpyritreichen Gelmudde bestätigt. Da für paläoökologische Untersuchungen nur die Summe der langfristigen Abläufe von Bedeutung ist, heißt dies, dass im Benthal des damaligen „Großen Heiligen Meer“ anaerobe Prozesse überwogen bzw. sich ein langfristig dominierendes, sauerstofffreies Hypolimnion ausbildete. Auch weitere Faktoren in der Gesamtsituation des hochmittelalterlichen Gewässers sprechen für eine negative Bilanz seines **Sauerstoffhaushaltes**. So dominiert in einem strömungsarmen, zuflussfreien Stillgewässer, wie dem geologisch stabilisierten „Großen Heiligen Meer“, in der Regel der autochthone Sauerstoffeintrag durch die photosynthetische Produktion über die atmosphärische O<sub>2</sub>-Aufnahme an dessen Oberfläche durch Diffusion und Turbulenzen (SCHWOERBEL 1987). Photoautotrophe Organismen waren in dem Gewässer jedoch weiterhin äußerst schwach vertreten (Kap. 7.2.2.1), so dass der eingetragene Sauerstoff nicht ausreichte, den Sauerstoffmangel des Seewassers, das hauptsächlich mit reduktiven Grundwässern in Kommunikation stand, zu kompensieren. Dies galt um so mehr aufgrund der relativ großen Tiefe und vergleichsweise geringen trophogenen Zone des Sees. Selbst in einem Flachgewässer, wie dem „Heideweiher“, in dem die Dystrophie nach BUDE (1942a) gleichermaßen eine optimale Phytoplankton-Entwicklung verhinderte, konnte HASSE (1994) eine durchschnittliche Sauerstoffsättigung von lediglich 55 %, d.h. an der Grenze zur Sauerstoffzehrung nachweisen. Ebenso wies dort Schwefelwasserstoff-Aufstieg bereits auf ein anaerobes Sediment hin. Im „Großen Heiligen Meer“ könnte ferner die von POTT et al. (1998) beschriebene hypolimnische Einschichtung der im Vergleich zum Seewasser dichteren, 4°C warmen Tiefengrundwässer die reduktiven Verhältnisse am Gewässergrund des Erdfallsees zusätzlich gefördert haben. Schließlich war den reduktiven Sedimentverhältnissen zufolge vermutlich auch die Thermik des hochmittelalterlichen „Großen Heiligen Meeres“ stark auf Seiten der Stagnationsphasen verlagert und somit vergleichbar mit der aktuellen Situation. Die Veränderung des jahreszeitlichen Zyklus von Stagnation und Zirkulation beeinflusste wiederum die Reduktions- und Oxidationsvorgänge im See und die regelmäßige Umkehr der Reaktionsabläufe am Benthos. Eventuell tendierte das thermische Verhalten zeitweise sogar zu einem teil- oder monomiktischen Gewässer, wie es POTT et al. (1998) auch für die Jahre 1994-96 beschrieben haben. In diesem Zusammenhang sei auf den natürlichen Windschutz des „Waldsees“ hingewiesen, der sowohl den allochthonen Sauerstoffeintrag über Turbulenzen minderte, als auch die vertikale Sauerstoffverteilung über dimiktische Wassenumwälzung durch zeitliche Verzögerung der Mixis einschränkte.

Die **pH-Werte** des mittelalterlichen Gewässers blieben vergleichsweise konstant zwischen pH 5,75 und 5,85. Sie lagen damit weiter im sauren, durch zunehmende Huminsäurekonzentrationen gekennzeichneten Bereich. Diese Dystrophierung wurde zum einen von einer starken Infiltration von Huminsäuren getragen, die sicherlich in erster Linie von dem durch den Erdfall angeschnittenen Niedermoor der „Meerbecke-Niederung“ ausging und in der geschlossenen Bruchwaldlandschaft des frühen „Großen Heiligen Meeres“ ungleich größer war als heute. Neben der allochthonen Zufuhr organischer Säuren, die seit frühhistorischer Zeit stattfand, setzte sukzessive eine autochthone Huminsäureproduktion ein, die insbesondere durch den Redoxwechsel und dadurch bedingte unvollständige Mineralisation gefördert wurde. Gleich semiterrestrischen Prozessen, bei denen mächtige Torfe einen Basennachschub aus dem Grundwasser verhindern, minderte im Limnischen das allmählich Sedimentwachstum den Basennachschub, der zudem den ohnehin verringerten Grundwasserzustrom nach Beruhigung der geologischen Vorgänge schlagartig reduzierte. Zusammenfassend lässt sich der Milieuwechsel daher nicht durch die Lf- und pH-Kurve allein, sondern nur aus dem Gesamtbild paläoökologischer Ergebnisse ableiten.

Quantitativ reihen sich die Wasserstoffionen-Konzentrationen gleichermaßen in die Schwankungsbreite dys- und oligotropher Gewässer ein, die POTT (1983a) mit pH 4,1-6,1

bzw. pH 4,3-6,3 charakterisierte. Die starke Abweichung von den im stark sauren Mittel dystropher Gewässer (pH 4,5) findet zwei Erklärungen: Erstens besaß das „Große Heilige Meer“ bereits einen geogen bedingten, relativ hohen Basengehalt und damit eine natürliche Pufferkapazität, die weitere Säureinträge ausgleichen und somit den pH-Wert über lange Zeit stabilisieren, d.h. einer sukzessiven Versauerung entgegenwirken konnte. Diese Pufferung beruht auf der Pufferreaktion zwischen Sediment und Seewasser, deren Grundlage basische Puffersubstanzen, in erster Linie Karbonate sind, die im pH-abhängigen Gleichgewicht zu Hydrogenkarbonaten und Kohlendioxid stehen (Karbonat-Hydrogenkarbonat-Kohlensäuresystem). Zweitens ist die extreme Versauerung dystropher Gewässer nicht allein auf Huminsäuren zurückzuführen, sondern in der Regel verstärkt durch die aktive Protonenabgabe der *Sphagnen*-Vegetation bedingt. Diese nimmt in den aktuoökologisch untersuchten, flachen Heideweihern und Hochmoorgewässern, deren Wasserkörper zu großen Teilen von sub- und emersen *Sphagnen*-Decken eingenommen ist, eine sehr viel prägendere Bedeutung an, als in dem tiefen Waldsee des „Großen Heiligen Meeres“. Zwar wurde auch die Vegetation des „Großen Heiligen Meeres“ z.T. durch Torfmoose charakterisiert (Kap. 7.1.2.1), doch war das dominierende Pelagial weitestgehend vegetationsfrei. Zugleich setzte im nördlichen Litoralbereich eine erste sukzessive Mineral- und Nährstoffakkumulation ein, so dass z.T. auch hierdurch die Versauerung durch organische Säuren und Protonen kompensiert wurde.

Nach der indizierten Stabilisation der hydrogeologischen Prozesse können nun auch Kalzium und Magnesium als Trophieparameter herangezogen werden: Die deutlich korrelierenden Erdalkali-Kurven weisen dem Gewässer nunmehr Sedimentgehalte von 0,64-0,90 mg/cm<sup>3</sup> **Kalzium** bzw. 0,0502-0,0628 mg/cm<sup>3</sup> **Magnesium** zu, Konzentrationen, die denen des 20. Jh. entsprechen. Dies bestätigt einerseits das erhöhte Grundniveau an Nährstoffen und Puffersubstanzen des Erdfallsees gegenüber rein pleistozän beeinflussten Gewässern. Andererseits können die erhöhten Konzentrationen jedoch nicht mit den eutrophen Bedingungen des 20. Jh. gleichgestellt werden, da sie vor dem Hintergrund eines sedimentchemischen Gesamtspektrums stehen, das sich stark von dem der letzten Jahrzehnte differenziert. So bewegen sich z.B. die **Kalium**-Werte mit 0,0039-0,0073 mg/cm<sup>3</sup> ( $\bar{\varnothing}$  0,0055 mg/cm<sup>3</sup>) weiterhin in den niedrigen Konzentrationsbereichen des Initialgewässers und kennzeichnen eine äußerste Nährstoffarmut. Insgesamt qualifizierten die nach wie vor relativ hohen Erdalkali-Gehalte nach HÜTTER (1994) daher gleichfalls nährstoffarme Verhältnisse in einem dystrophen Milieu. Dabei werden dem Wasser unter dystrophen Verhältnissen Karbonate entzogen, um den Überschuss an Huminsäuren zu nivellieren, so dass dystrophe Gewässer nach POTT (1983a) basenärmer als oligotrophe Gewässer sind. Dagegen sind ihre Sedimente deutlich basenreicher, da sie Kalzium und Magnesium in Form von Humatkomplexen akkumulieren, also im Vergleich zu oligotrophen Gytien erhöhte Erdalkali-Konzentrationen enthalten. Zusammenfassend wurde das Wasser des mittelalterlichen Sees also im Konsens zu den übrigen Parametern auch anhand der Kalzium- und Magnesium-Werte als nährstoff- und basenarm, d.h. huminsauer bzw. dystroph ausgezeichnet.

Die steigenden **Phosphatgehalte** des mittelalterlichen Sedimentes (0,0087-0,0174 mg/cm<sup>3</sup>) können dagegen als Zeichen einer ersten Eutrophierung gesehen werden. Während Kalium, das eine relative Trophiekonstanz indiziert, die Trophiesituation des Gesamtwasserkörpers darstellt, zeichnet sich in den Phosphaten, deren Konzentrationen unmittelbar mit der Biomassenakkumulation verknüpft sind, die vom Litoral ausgehende Tendenz der Nährstoffakkumulation im Gewässer ab. Somit spiegelte sich auch in den sedimentchemischen Parametern bereits die Standortdifferenzierung in ein noch vergleichsweise trophiekonstantes Pelagial und ein sukzessiv eutrophierendes Litoral (nördliche Flachseezone) wider, wie sie bereits aus der Vegetations- und Diatomeengenesse hervorging.

Ferner müssen die Phosphatgehalte nach BLOESCH et al. (1988) auch vor den Hintergrund des komplexen Phosphor-Kreislaufs und der Sediment-Wasser-Wechselbeziehungen gestellt werden. Hier setzt erstens die enge Verknüpfung der gekoppelten Kreisläufe von Eisen und Phosphat an die Redoxvorgänge im Gewässer- bzw. Sedimenthaushalt an. Denn, entsprechend den Darstellungen wechselte das Milieu in den reduktiven Bereich, unter dem Phosphat gelöst blieb bzw. es zur Umsetzung einstiger Eisenphosphate in Eisensulfid, d.h. zur Freisetzung von Schwefelwasserstoff und Phosphaten kam. Demnach müßten die Konzentrationen im Sediment sinken bzw. steigende Gehalte wären um so mehr ein Zeichen der beginnenden Eutrophierung. Zweitens muss der Faktor der Phosphat-Adsorption bzw. -komplexierung betrachtet werden, der je nach vorhandenen Konkurrenzstoffen (Silikate, Molybdate oder anorg. Ionen) variiert und vor allem von der Quantität und Qualität funktioneller Gruppen, d.h. vorhandener Eisen- und Aluminium-Oxide bzw. -Hydroxide, Tonminerale und Huminsäuren, abhängt. Während die Phosphat-Fällung im „Großen Heiligen Meer“ unter reduktiven Bedingungen also an Bedeutung verlor, gewann die Phosphat-Komplexierung nach GESSNER (1934) und HUPFER (1996) in Folge des huminsäuren Milieus an Stellung. Dies bedeutete zum einen einen fortgesetzten Phosphatentzug, zum anderen, dass auch die reduktive Phosphatfreisetzung nicht zu einer vollständigen Rücklösung und Gewässereutrophierung führte, sondern die Phosphate durch die Huminsäuren sofort wieder festgelegt wurden. Nicht nur unter aeroben Bedingungen, sondern auch unter anaerob-dystrophen Bedingungen wurde das Sediment so zu einer natürlichen Phosphatfalle, die eine rasche Eutrophierung des Gewässers verhinderte. Zusammenfassend zeigt sich also, dass Phosphat im Sediment nicht grundsätzlich und unmittelbar als Eutrophierungsparameter herangezogen und seine Konzentrationen rein quantitativ als Maß der Trophie gewertet werden kann, sondern zunächst unter dem Aspekt der redoxabhängigen Vorgänge einerseits und der Adsorptions- und Komplexbildungsprozesse andererseits betrachtet und bewertet werden muss.

Die maximalen, hochmittelalterlichen **Eisenkonzentrationen** von  $34,61 \text{ mg/cm}^3$  korrelierten mit den höchsten Pyrit- und Schwefelwasserstoff-Gehalten der Gelmudde und dem Ausoxidieren einer charakteristischen Eisenockerkruste und bestätigten somit nicht nur das eisenreiche, sondern einmal mehr das in der Jahresbilanz reduzierende Milieu des hochmittelalterlichen „Großen Heiligen Meeres“. Zudem wird ähnlich wie bei den Erdalkali- und Phosphat-Ionen, aber wohl in untergeordneter Bedeutung die Komplexierung durch Humin- und Fulvosäuren eine Rolle gespielt und den Eisenwert im Sediment erhöht haben. Die Abhängigkeit des Eisenhaushaltes hängt dabei primär vom Redoxpotential-abhängigen Wechselspiel der beiden Eisenkonfigurationen Fe II und Fe III ab: Während unter oxidativen Bedingungen, wie sie im frühen Erdfallsee geherrscht haben, Fe III und dessen unlösliche Oxide und Hydroxide bzw. Phosphatverbindung überwogen, verlagerte sich das Gleichgewicht unter den reduktiven Verhältnissen des Mittelalters zum löslichen Fe II. Somit gewann Eisen als dominanter Parameter der Lf-Komponenten an Gewicht, zumal schließlich auch die sauren Verhältnisse mit pH-Werten unter pH 6 das Ionen-Gleichgewicht des Eisens geringfügig zum löslichen Fe II verlagerten. Insgesamt kann also davon ausgegangen werden, dass nicht nur das Sediment, sondern auch die Wässer eisenreicher als in frühhistorischer Zeit waren, da sowohl die oberflächennahe Eisen-Infiltration als auch die Löslichkeit erhöht waren. Somit stellte Eisen weiterhin einen entscheidenden produktionsbestimmend bzw. vielmehr -hemmenden Faktor in der Gewässergenease dar.

### 7.3.2.2 Sukzessive Nähr- und Mineralstoffakkumulation

Bereits während des 12. Jahrhunderts zeichnete sich durch einen beginnenden Anstieg der Glühverlustkurve sowie einer erneuten Erhöhung der Leitfähigkeits-Werte eine erste Anreicherung organischen Materials im Zuge der von Norden ausgehenden Gewässereu-

trophierung ab. Die pH-Werte blieben bei pH 5,65-5,9 jedoch im sauren Bereich, das weiterhin von Humin- und Fulvosäuren bestimmt wurde. Auch die konstanten Werte der Alkali- und Erdalkali-Ionen charakterisierten eine relative Milieubeständigkeit ( $\varnothing$  0,0188 mg/cm<sup>3</sup> Natrium, 0,64 mg/cm<sup>3</sup> Kalzium, 0,0458 mg/cm<sup>3</sup> Magnesium und 0,0055 mg/cm<sup>3</sup> Kalium). Ebenso hielten auch die weiterhin korrelierenden Phosphat- und Eisenfrequenzen ihre Werte ein, abgesehen von einem kurzen Rückschlag. Dieses Minimum beruhte sicherlich auf einem kurzfristigen, siedlungsparallelen Milieuwechsel in den oxidativen Bereich, der auch mit dem scharfen Stratigraphiewechsel von Gel- zu Detritusmudden korrelierte, während langfristig, nicht zuletzt im Zuge der lokalen Landschaftsvernässung die reduktiven Verhältnisse Bestand hatten (Kap. 6.2.2.2.). Insgesamt zeichnete sich diese Phase also durch geringfügig steigende Nährstoffgehalte aus, wie sie übereinstimmend anhand der Vegetations- und Diatomeenentwicklung, d.h. der Ausbildung von Schwimmblattdecken und der ersten Ausbreitung von *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaften, nachgewiesen wurden.

### 7.3.2.3 Aufbau des Hydrogenkarbonat-Puffersystems und sukzessive Sauerstoffsättigung

Die sukzessive Nährstoffakkumulation und autochthone Sedimentation erreichte im Zuge des Siedlungsausbaus im 13. Jh. ihr erstes Maximum. Dementsprechend betrug die **organische Komponente** innerhalb der Mudden bis zu 70 %. Die im Gegenzug abnehmenden mineralischen Gehalte ließen auf eine sedimentative Abdichtung des limnischen Wasserkörpers gegenüber dem Porengrundwasser der pleistozänen Sande schließen, während der Mineraleintrag zugleich durch eine sich stabilisierende Uferbefestigung minimiert wurde. Die GVA-Daten gehen daher mit der steten Vegetationsentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ und der fortschreitenden Verlandung des nördlichen Flachsees einher.

Der markante Abfall der **Leitfähigkeit** auf 260-110  $\mu$ S/cm zeugt gleichfalls von der fortschreitenden Stabilisation der Verhältnisse. In Korrelation mit dem gleichgerichteten Verlauf der Eisenkurve deutet er darauf hin, dass der eisenhaltige, reduktive Grundwasserzustrom entscheidend nachließ, was sich ebenfalls durch eine Abdichtung des Sees bei steigenden Sedimentmächtigkeiten erklären lässt. Parallel zu der hydrologischen Stabilisation vollzog sich eine Stabilisation des Säure-Basen-Haushaltes. Demgemäß stiegen die pH-Werte, deren Kurve sich somit erneut antagonistisch zur Lf-Kurve verhielt. Demnach wurde die Mineral- und Nährstoffentwicklung dieser Zeit durch eine abnehmende Humidität im Wasserhaushalt geprägt, der schließlich mit einem Trophie-Wandel von dys- zu oligo-mesotropen Verhältnissen einherging, die sich erneut auch in den Humusgehalten des Sediments niederschlugen. Die Elektrolytwerte können seitdem, da die Störfaktoren „geogener Einfluss“ und „Humatkomplex-Bildung“ entfielen und nicht zuletzt auch durch oxidative Mineralisation alle Mineral- und Nährstoffe frei verfügbar waren, als direkt trophieindizierend angesehen werden. Dementsprechend kennzeichneten Lf-Werte von 110-260  $\mu$ S/cm nach der Klassifizierung von POTT (1983a) und in Übereinstimmung mit der bisherigen paläoökologischen Indikation oligo-mesotrophe Verhältnisse.

Oligotrophe Gewässer sind nach SCHWOERBEL (1987) durch Sauerstoff-gesättigte Verhältnisse charakterisiert. Im Einklang dazu kennzeichneten die sedimentchemischen Daten und speziell der Lf-Abfall erneut eine Änderung der **Redoxverhältnisse** im „Großen Heiligen Meer“. Der Wechsel zu dominant oxidativen Vorgängen harmonisiert mit dem Rückgang der Pyrit- und Schwefelwasserstoff-Gehalte und dem gegenläufigen Anstieg der Phosphatkonzentrationen im Sediment. Hintergrund dieser Veränderung sind sowohl der nachlassende Zustrom reduzierender Grundwässer als auch die massive, sauerstoffproduzierende Phytoplankton-Entfaltung (Kap. 7.2.2.3). Schließlich deutet die Parallelität zur extensiven, hochmittelalterlichen Streu- und Feuchtwiesennutzung auf eine kausale Verknüpfung von Milieuänderung und anthropogener Einflussnahme hin.

Die **pH-Werte** stiegen in dieser Phase erstmals auf Werte über pH 6 an: pH 6,05-6,25. Diese Stabilisation der Wasserstoffionen-Konzentration, die mit einer Abnahme der Humidität korrelierte, ergänzte die bisherigen Ausführungen. Aerobe Verhältnisse im See und dessen Umfeld förderten die oxidative Mineralisation und verminderten somit die allochthone und autochthone Humin- und Fulvosäure-Produktion und -Infiltration. Daneben spiegelte sich in den steigenden pH-Werten der allmähliche Aufbau des stabilisierenden Hydrogenkarbonat-Puffersystems im Zuge der sukzessiven Nähr- und Mineralstoffakkumulation wider. Während bis dahin der eingetragene Säureüberschuß weit über die vorhandenen Puffersubstanzen dominierte bzw. die Reaktionsgeschwindigkeit gerade ausreichte, eine sukzessive Versauerung zu verhindern, begann sich mit den anthropogenen Eingriffen das Säure-Basen-Gleichgewicht infolge akkumulativ steigender Basengehalte zu konsolidieren.

Daher stellt das pH-abhängige Hydrokarbonat-System zugleich auch ein Maß der Gewässereutrophierung dar, und **Kalzium und Magnesium** gelten als indirekte Eutrophierungsparameter: So regulieren die Hydrogenkarbonate neben der pH-Stabilisation das Gleichgewicht zwischen gebundenem, trophie-inertem Karbonat und gelöstem, pflanzenverfügbarem Kohlendioxid sowie in Folge die photosynthetische Biomassen- und Nährstoffanreicherung. Sie garantieren den CO<sub>2</sub>-Nachschub und somit zugleich eine ausreichende Sauerstoffproduktion, folglich eine vollständige Mineralisation und damit letztendlich auch den natürlichen Nachschub der Eutrophierungsparameter Stickstoff und Phosphat. Entsprechend korrelierten die steigenden Kalzium- und Magnesium-Frequenzen nicht nur mit dem Verlauf der pH-Kurve, sondern auch mit den steigenden Phosphatgehalten. Der 1,5-fache Anstieg von Kalzium und Magnesium auf Maximalwerte von 1,13 mg/cm<sup>3</sup> bzw. 0,0816 mg/cm<sup>3</sup> war um so bedeutender, als bei abnehmender Humidität auch die Ca/Mg-Humatkomplexbindung verringert wurde. Zusammenfassend indizierten also auch die Erdalkali-Werte eine erste Eutrophierung des „Großen Heiligen Meeres“. Ein durch mehrfache Messungen verifizierter **Kalium-Peak** von 0,0228 mg/cm<sup>3</sup> (700 cm), dessen Frequenz den aktuellen Kaliumkonzentrationen glich, leitete den siedlungskorrelierten Milieuwechsel ein. Er wurde von einer verstärkten Biomassenproduktion begleitet, die eine erste Verlandung des Flachsees über Röhrichte und das Übergreifen der Algensukzession auf das Pelagial markierte.

#### 7.3.2.4 Sukzessive Entwicklung

Die stabil hohen Glühverluste von 60-70 % spiegeln die fortschreitende Eutrophierung des „Großen Heiligen Meeres“ wider, das den Elektrolytwerten von durchschnittlich 126  $\mu$ S/cm zufolge oligotropher Natur ist. Auch die pH-Werte, die pH 6,4 erreichen, sprechen für eine progressive Mineral- und Nährstoffakkumulation sowie einen steten Ausbau des Puffersystems. Nach POTT (1983a) indizieren sie ein Milieu an der Grenze vom oligo- zum mesotrophen Bereich. Gleichermaßen charakterisieren schließlich auch die steigenden Erdalkali-Konzentrationen von 0,81-1,13 ( $\bar{\sigma}$  1,01) mg/cm<sup>3</sup> Kalzium und 0,0582-0,0714 ( $\bar{\sigma}$  0,0647) mg/cm<sup>3</sup> Magnesium eine sukzessive Entwicklung, ebenso wie die zunehmenden Kalium-Gehalte, die mit maximal 0,0094 mg/cm<sup>3</sup> im Sediment knapp 40 % der heutigen Konzentrationen betragen. Sie entsprächen in etwa einer Verteilung von 0,7 mg/l Kalium im Gewässer, womit trotz fortschreitender Nährstoffakkumulation weiterhin oligotrophe Bedingungen indiziert wären. Zusammenfassend kennzeichnete der Gewässerhaushalt weiterhin nährstoffarme Verhältnisse an der Grenze zum mesotrophen Milieu und einer erneuten Tendenz zur Dystrophie, wie es bereits durch die sedimentstratigraphischen Befunde, die Diatomeenflora und Vegetationsentwicklung dargestellt wurde. Diese Genese stand in Korrelation zur Regeneration des Uferwaldgürtels im Zuge der natürlichen Entwicklung des einstigen Waldsees während des Interregnum.

### 7.3.2.5 Regression der Nährstoffverhältnisse und allochthoner Mineraleintrag

In Übereinstimmung mit der regressiven Vegetations- und Phytoplanktonentwicklung verweisen auch die sedimentchemischen Daten des Spätmittelalters auf die Sekundärsenkung des Erdfallsees und die damit verbundene Vertiefung und Oligotrophierung des „Großen Heiligen Meeres“. Massive Änderungen im Mineral- und Nährstoffhaushalt und z.T. extreme Kurvenausschläge einzelner Parameter bestätigten den stark milieuverändernden Einfluss geogener Vorgänge auf den See:

Dabei wurde die Funktion des **Glühverlustes** als Indikator der lokalen Subrosionsprozesse erneut bekräftigt: Der deutliche Einbruch der GVA-Kurve auf minimal 52 % war in erster Linie auf senkungsbedingte Einschwemmung von Mineralien zurückzuführen, wie sie sich sedimentstratigraphisch in dem sandig-lehmigen Interstratum niederschlugen. Darüber hinaus gründeten die geringen Werte vermutlich auch auf einer effektiv verringerten, organogenen Sedimentation, die auf die nährstoffärmeren Verhältnisse des vertieften Sees verwies. Die **Elektrolytgehalte** erreichten kurzfristig absolut minimale Werte von  $33 \mu\text{S}/\text{cm}$  und pendelten sich durchschnittlich bei  $99 \mu\text{S}/\text{cm}$  ein. Sie kennzeichneten somit weiterhin oligotrophe Verhältnisse.

Die **Wasserstoffionenkonzentration** spiegelte diese Entwicklung mit tendenziell fallenden pH-Werten (Minimum pH 5,55, 560 cm) wider, derzufolge die zuströmenden Grundwässer nicht nur eine Gewässervertiefung und Oligotrophierung, sondern auch eine Versauerung des „Großen Heiligen Meeres“ verursachten. Diese war in erster Linie auf die schwache Pufferkapazität der zuströmenden, nährstoffarmen Wässer zurückzuführen. Ein kurzfristiges Zwischenmaximum der pH-Kurve, das mit pH 6,75 mäßig saure, meso-eubis schwach eutrophe Bedingungen indizierte, korrelierte dagegen mit den maximalen mittelalterlichen Phosphatwerten. Vor dem Hintergrund der Vegetations- und Diatomeenentwicklung waren beide Ausdruck einer vorübergehenden, starken Biomassenproduktion, die nach Ende der Senkungsprozesse zur Verlandung des Flachsees über Seerosendecken bzw. *Centrales*-Blüten führte und einen vorübergehenden Eutrophierungsschub vom Litoral ins Pelagial auslösten.

Die Erdalkali-Ionen, die im Zuge der sukzessiven Nährstoffakkumulation bereits steigende Nährstoffverhältnisse indizierten, markierten die spätmittelalterliche Subrosion noch durch einen zusätzlichen Anstieg der **Kalziumkurve**. Dieser absolute Kalzium-Peak ( $2,09 \text{ mg}/\text{cm}^3$ , 610 cm) war nicht an das trophie-indizierende Hydrogenkarbonat-Puffersystem des Sees gekoppelt, da bei der ansonsten parallel verlaufenden **Magnesiumkurve** der entsprechende Ausschlag fehlte. Die kurzfristig sehr hohen Kalziumkonzentrationen, die das autochthone Kalzium/Magnesium-Gleichgewicht deutlich störten, waren wie zu Entstehungszeiten vielmehr geogenen Ursprungs und auf allochthone Einträge infolge eines erneuten Zustroms kalziumreichen Tiefengrundwassers zurückzuführen. Im Anschluss an die Sekundärsenkung zeichneten die Erdalkali-Parameter die regressivere Trophieänderung, die im übrigen sedimentchemischen Spektrum zum Ausdruck kam, in wiederum konformem Kurvenverlauf nach. Dabei unterschritten die Werte von durchschnittlich  $0,51 \text{ mg}/\text{cm}^3 \text{ Ca}^{2+}$  (Minimum  $0,44 \text{ mg}/\text{cm}^3$ ) und  $0,0455 \text{ mg}/\text{cm}^3 \text{ Mg}^{2+}$  (Minimum  $0,0394 \text{ mg}/\text{cm}^3$ ) die hochmittelalterlichen Gehalte und verwiesen somit über die Nährstoffarmut hinaus auf den zwischenzeitlich nachlassenden Humiditätsgrad. Nahezu parallel zeichneten auch die **Kalium-Frequenzen** mit minimal  $0,0056 \text{ mg}/\text{cm}^3 \text{ K}^+$  eine Oligotrophierung nach.

Die steigenden sedimentären **Phosphat-Konzentrationen** widersprachen dieser Oligotrophierung nicht: Zum einen waren sie zwar Ausdruck einer erhöhten Phosphatverfügbarkeit und -nutzung, die im Zuge der sukzessiven Entwicklung mit der Vegetations- und Diatomeenentwicklung im verlandenden Flachsee korrelierte. Sie markierten also die Eutrophierung des Litoralbereiches. Somit wurde Phosphat seiner Rolle als Eutrophie-

rungsparameter gerecht, wobei es anders als Kalium eine standortdifferenzierte Betrachtung erlaubte. Zum anderen blieb das Pelagial aber nährstoffarm. Dementsprechend waren die erhöhten Gehalte zugleich auch Ausdruck einer erhöhten Festlegung von Phosphat im Sediment, das somit dem Kreislauf des Sees entzogen war. Hier wird einmal mehr die enge Kopplung von Eisen und Phosphat im sauerstoffgesättigten See evident.

**Eisen** erwies sich wiederum als Indikator der subrosiven Prozesse, wie es auch insgesamt die hydrologische Situation der Entstehungsphase und frühen Gewässergenese dominierte. So wie die steigenden Eisenkonzentrationen schon an der Muddebasis (bei 840 cm) den Erdfallprozess ankündigten, so markierten die beiden letzten Eisen-Gipfel von 40 mg/cm<sup>3</sup> (630 cm) und 25 mg/cm<sup>3</sup> (600 cm) die spätmittelalterliche Nachsenkung. Sie spiegelten den jeweils massiven Zustrom reduzierter und daher eisenreicher Grundwässer wider, ebenso wie die insgesamt hohen Eisen- und Pyritkonzentrationen des hochmittelalterlichen Sees die fortbestehende enge See-Grundwasser-Kommunikation und ein *summa summarum* reduziertes Milieu des dys-siderotrophen Gewässers kennzeichneten. Im Gegenzug zeigte die niedrigfrequente Phase des Hochmittelalters und Interregnum, ebenso wie der Abfall der sedimentären Eisenkonzentrationen im Anschluss an die spätmittelalterliche Sekundärsenkung ab 600 cm die Gesamttenenz der geologischen und hydrologischen Stabilisierung an. In Korrelation zur anthropogenen Landschaftsöffnung führte sie zu einem Redoxwechsel im Gewässerhaushalt, der seitdem von oxidativen Verhältnissen charakterisiert wurde. Analog zum Eisen ist auch der synchrone, spätmittelalterliche Absolutwert des **Mangan** von 1,5 mg/cm<sup>3</sup> als Indikator der Senkungsprozesse zu verstehen.

### 7.3.3 Wüstungszeitliche Stabilisation eisenärmerer Bedingungen im mäßig nährstoffreichen See

#### 7.3.3.1 Versauerung bei nährstoffarmen Verhältnissen

Im Zuge der Wüstungsphase werden die geo-hydrologischen Verhältnisse, deren natürliche Stabilisation sich bereits zum Ende der vorangegangenen Phase abzeichnete, weiter konsolidiert. Auch die **Glühverluste** stieg erneut auf die einstigen Werte von durchschnittlich 70 % organischen Anteils. Relativ konstante, hohe Glühverluste während der gesamten Wüstungsperiode widersprechen zwar der regionalen Siedlungs- und Landschaftsentwicklung, die namensgebend von Verwüstungen und Verödungen, d.h. auch von Bodenerosionen gewaltigen Ausmaßes, geprägt war. Sie klärten sich jedoch durch die ganz lokale Situation, nach der das „Große Heilige Meer“ durch einen Waldgürtel vom regionalen Geschehen abgeschirmt war. Im Zuge der geogenen Stabilisation überwog nun die organogene Sedimentation durch gewässereigene Biomassenproduktion und Eintrag organischen Fremdmaterials (z.B. Laub des Uferwaldes) gegenüber dem subrosiven und erosiven, anorganischen Eintrag. Die oligo-mesotrophen Verhältnisse spiegelten sich in dem Sediment einer braunen Mitteldetritusmudde mit Grobdetritusfragmenten wider. Diesem Trophiestatus entsprachen auch die **Elektrolytwerte** von 51-225  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\varnothing$ 146  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), die im Größenbereich des oligo-otrophen „Erdfallsees“ liegen.

Nach dem kurzfristigen Zwischenhoch des Säure-Basen-Haushaltes pendelte sich die **Wasserstoffionen-Konzentration** während der frühneuzeitlichen Wüstungsperiode mit pH-Werten von durchschnittlich 5,8 erneut im sauren Bereich nährstoffarmer Gewässer ein. Die nach wie vor humosen Detritusmudden betonten die generelle Tendenz des Gewässers zur Humidität und bestätigen somit den fortgesetzten Eintrag von Humin- und Fulvosäuren, bzw. eine tendenzielle Dystrophierung. Zugleich wird aufgrund der Sedimente, die weiterhin Gytten und keine Dyböden darstellten, deutlich, dass die Humidität die mittelalterlichen Ausmaße nicht erreichte. In Korrelation mit der Leitfähigkeit kann

davon ausgegangen werden, dass weiterhin oxidative Prozesse das Milieu prägten und autochthone Vorgänge der Humatbildung daher entfielen.

Entsprechend hielten die Eutrophierungsparameter **Kalzium und Magnesium** weiterhin niedrige Werte inne, die sich um 0,84 bzw. 0,0625 mg/cm<sup>3</sup> einpendelten. Die **Kaliumgehalte** lagen konstant bei durchschnittlich 0,0113 mg/cm<sup>3</sup> und sind damit ungefähr dreimal so hoch wie zu Beginn der Gewässergenese. In Relation zu den aktuellen Gehalten entsprechen sie mit 0,8 mg/l Kalium ungefähr der unteren Konzentrationsgrenze, wie wir sie heute im „Erdfallsee“ finden (MACHARACEK 1996, HÖLTER 1998). Schließlich wurde **Phosphat**, dessen Nachschub aus dem nach wie vor nährstoffarmen, zunehmend aeroben Umfeld des Sees minimal war, sukzessive durch Eisenfällung festgelegt, so dass die Konzentrationen allmählich auf Werte zurückfielen, die denen des initialen Gewässers entsprachen. Phosphat wurde also erneut zum Minimumfaktor pflanzlichen Lebens, das jedoch aufgrund geringerer Humidität und Eisenkonzentration nicht, wie in vormittelalterlicher Zeit, völlig negiert wurde.

Die hydro- und physikochemische Stabilisation des Gewässers nach dem Ende der Subrosionsprozesse wird primär durch die nunmehr konstant niedrigen **Eisengehalte** des Sediments gekennzeichnet (< 10 mg/cm<sup>3</sup>). Diese sind zum einen mit dem aufgebauten Grundwasser-Seewasser-Gleichgewicht und einem nachlassenden Grundwasserzstrom korreliert, zum anderen aber auf das positive Redoxpotential des Sees zurückzuführen. Auch das oberflächennahe Grundwasser der zunehmend geöffneten Landschaft des „Heiligen Feldes“ wurde tiefgründiger sauerstoffreich. Dies bedeutete vor allem eine starke Verminderung des allochthonen Eisennachschubs, da Eisen nun bereits in den Böden als Ortsstein ausgefällt wurde.

### 7.3.3.2 Sukzessive Eutrophierung

Parallel zu den Wüstungen des Spanisch-Niederländischen und des Dreißigjährigen Krieges setzte mit der allmählichen und permanenten Steigerung der Leitfähigkeit eine Eutrophierung des „Großen Heiligen Meeres“ ein, die sich bis in die Gegenwart stetig fortsetzte. Mit durchschnittlich 200  $\mu$ S/cm kennzeichnete sie nach POTT (1983a) ein nunmehr oligo-mesotrophes Gewässer. Die chronologische Korrelation, die mit dem Beginn des Spanisch-Niederländischen Kriegs die Existenz lokaler Vorfluter notierte (historische Grenzkarte 1564), stellte zugleich auch die Eutrophierung vor den Hintergrund dieser anthropogenen Einflussnahme. Sie wurde durch die Glühverluste verifiziert, die bei weiterhin hohen 60-70 % eine rückläufige Tendenz verzeichnen, die mit einer erhöhten mineralischen Fracht durch das Fließgewässer verknüpft werden kann. Während die Erdalkalielemente mehr oder weniger konstant bleiben, bestätigten Wasserstoffionenkonzentration, steigende Kalium- und Phosphat-Gehalte die sukzessive Nährstoffakkumulation.

### 7.3.3.3 Schlagartige Erhöhung des Säure-Basen-Gleichgewichts und Oszillationen im Stoffhaushalt

Wie in der vorangegangenen Phase setzte sich die allmähliche Eutrophierung während der Siedlungsbelebung nach dem Dreißigjährigen Krieg fort und schlug sich gleichermaßen in einem kontinuierlichen Anstieg der Indikatorcurven des **Glührückstandes** und der **Leitfähigkeit** auf gemittelte Werte von 272  $\mu$ S/cm nieder. Ein äußerst markanter Milieuwechsel, der sich durch das gesamte Spektrum zieht, schlägt sich allerdings schon ein wenig eher, im Horizont des beginnenden 17. Jh. nieder. Er steht damit abermals in einem klaren Zusammenhang mit der ganz lokalen Siedlungsgeschichte und Niedermoorerschließung, d.h. speziell der Anlage künstlicher Vorfluter und Entwässerungsgräben, die historisch auf das Jahr 1616 fixiert werden können (historische Grenzkarte 1616/1747), und korreliert mit der Indikation einer veränderten Ökologie durch die vegetationsgeschichtlichen und diatomeenanalytischen Ergebnisse:

Hervorzuheben ist zunächst der schlagartige Anstieg der **pH-Werte** über pH 6 (pH 6,35-6,55), d.h. der Wechsel zu einem stabilen schwach sauren bis nahezu neutralen Milieu, das nunmehr bis hinein in das 20. Jh. beibehalten wird. Hier wird die einschneidende Bedeutung von Zu- und Abflüssen bzw. einer Durchflusssituation für die Ökologie und speziell den Mineral- und Nährstoffhaushalt eines Stillgewässers offensichtlich. Die plötzliche Konsolidierung des Hydrogenkarbonat-Puffersystems im schwach sauren bis neutralen, mäßig nährstoffreichen Bereich basierte dabei auf zwei ganz unterschiedlichen Folgewirkungen der Entwässerungsgräben: Zum einen war mit ihrer Anlage ein gewaltiger Eingriff in das Hydroregime und Redoxpotential der Landschaft verknüpft, das wiederum einen Wechsel zahlreicher geo- und hydrochemischer Abläufe bedingt. Im diesem Zusammenhang stand u.a. die einsetzende Mineralisation der angrenzenden Torfe, die einerseits die Nähr- und Mineralstofffrachten steigerten, andererseits aber auch die Zufuhr organischer Säuren minimierten. Zum anderen erweiterten die Gräben das Quellgebiet des allochthonen Stoffeintrags gewaltig, das sich nun über die unmittelbaren Seeufer hinaus auf das gesamte Einzugsgebiet des Fließgewässers erstreckte. So förderten sie in der Regel die Eutrophierung und pH-Stabilisation.

Für das „Große Heiligen Meer“ spielten im Zusammenhang der Vorfluter überdies die gesteigerten Kalkfrachten eine Große Rolle. So wird der Diagrammabschnitt dieser Phase durch das Einsetzen starker, paralleler Oszillationen der **Kalzium- und Magnesium-Kurve** charakterisiert. Während Magnesium in einer gleichmäßigen Amplitude zwischen Werten von 0,0385 und 0,0569 mg/cm<sup>3</sup> schwankt, beginnt die oszillierende Kalziumkurve von minimal 0,52 mg/cm<sup>3</sup> (430 cm) anzusteigen (Maximalwerte 1,51 mg/cm<sup>3</sup> bzw 0,0595 mg/cm<sup>3</sup>). So wie mit der Meerbecke aus den südwestlich gelegenen Quellgebieten nach PUST (1993) die aktuellen Grubenwässer des Ibbenbürener Kohle- und Erzabbaus transportiert wurden, so verfrachteten die Vorfluter aus der Zeit des beginnenden Bergbaus vor allem Kalzium- und Magnesiumkarbonate aus den Uffelner Steinbrüchen, wobei die Frequenzschwankungen gleichermaßen in den Zusammenhang wirtschaftskorrelierter Differenzen in Abbau und Einleitung zu stellen sind. Oszillationen und ein erneutes Ungleichgewicht der Erdalkalimetalle bewiesen, wie schon in Kap. 4.5 diskutiert, dass die Existenz der Karbonate im „Großen Heiligen Meer“ nicht allein mit der autochthonen Stoffakkumulation und Eutrophierung in Einklang gebracht werden kann, sondern darüber hinaus als Indikator allochthoner Prozesse zu werten ist. Dabei können diese Prozesse natürlich-geogener Art sein, wie es bei der Entstehung des Erdfallgewässers der Fall war (Kap. 7.3.1); sie können aber auch auf anthropogene Eingriffe und künstliche Zuflüsse zurückgeführt werden. Der Verlauf der ebenfalls leicht oszillierenden **Kalziumkurve** spiegelt dagegen unabhängig von dem Gang des Kalzium die kontinuierliche Nährstoffakkumulation wider. Mittlere Frequenzen von 0,012 mg/cm<sup>3</sup> entsprechen dem vierfachen des Initialgewässers bzw. der Hälfte des heutigen Wertes und können bei einer Umrechnung auf Wassergehalte von 0,9 mg/l weiterhin den oligo-mesotrophen Verhältnissen des heutigen „Erdfallsees“ zugeordnet werden. Die **Phosphatkurve** hat sich dagegen auf Werte um die 15 mg/cm<sup>3</sup> eingependelt, was einem mesotrophen Milieu entspricht.

### 7.3.4 Neuzeitliche Mineral- und Nährstoffakkumulation im circum-pH-neutralen See

#### 7.3.4.1 Allochthone Mineral- und Nährstoffzufuhr und Phosphatakkumulation

Seit der Phase der neuzeitlichen Siedlungsbelebung fällt die **Glühverlustrate** von 71 %, (380 cm) auf 58 % (290 cm) ab und sinkt auch in der Folgezeit kontinuierlich bis auf 35 % (Oberflächenprobe), während die Kurve des Glührückstandes antagonistisch von 28 % auf 62 % zunimmt. Trotz fortschreitender Eutrophierung erreichte das Verhältnis von organischer zu mineralischer Sedimentation nie wieder die optimalen Werte der

Wüstungsperiode. Waren während des Mittelalters stets geringe Biomassenproduktion sowie ein primär geogen-mineralischer Eintrag für den erhöhten Glührückstand verantwortlich, begannen mit der neuzeitlichen Siedlungsexpansion in erster Linie vom Menschen indirekt verursachte Stoffeinträge die Zusammensetzung des Sedimentes permanent in Richtung der anorganischen Komponenten zu verschieben. So wurden Mineralstoffe zum einen fluvial mit dem Ausbau des Entwässerungsgrabensystems zugeführt, zum anderen waren sie sicherlich erosiven Ursprungs, da nun auch das unmittelbare Umfeld des Sees infolge der Landnutzung zunehmender Bodennarbenzerstörung durch Mensch und Vieh ausgesetzt wurde. Die anthropogen beschleunigte Eutrophierung ist damit also auch in den Zusammenhang der lokalen Walddegradation und Heide- bzw. Ödlandausbreitung zu stellen sowie vor den Hintergrund einer Überführung lokaler Niedermoore in Wirtschaftsgrünland. Somit spiegelten die Glührückstände nicht nur die anthropogene Störung des „Großen Heiligen Meeres“ wider, sondern führten diese ferner auf die Öffnung der Landschaft und des Gewässerökosystems zurück. Sie bestätigten also die allgemein anerkannte Tatsache, dass die anthropogen beschleunigte Eutrophierung primär auf den vom Menschen geförderten, zunehmend allochthonen Eintrag von Mineral- und Nährstoffen beruht.

Währenddessen hielten die **Lf-Werte** bei einer Amplitude von 246 bis 304  $\mu\text{S}/\text{cm}$  relativ konstante Werte von 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bei. Die **Wasserstoffionen-Konzentration** erreichte allerdings einen pH von 6,55-6,75, verschob den Säurehaushalt des „Großen Heiligen Meeres“ somit weiterhin in Richtung des Neutralpunktes. Die **Kalziumkurve** setzte ihre Oszillationen als Zeichen eines fortgesetzten, fluvialen Karbonateintrages fort. Die Werte schwankten auf hohem Niveau zwischen 0,93 und 1,51  $\text{mg}/\text{cm}^3$  und indizierten gleichfalls ein zunehmend neutrales Milieu. Ferner behielten die **Magnesium-Konzentrationen** ihre niedrigen Werte von durchschnittlich 0,0510  $\text{mg}/\text{cm}^3$  bei und auch die **Kaliumgehalte** blieben mit den Lf-Werten übereinstimmend, zunächst mehr oder weniger konstant. Der geringfügige Anstieg gegen Ende der Phase erreichte Werte von 0,0159  $\text{mg}/\text{cm}^3$ , was mit 2/3 der heutigen Kaliumkonzentration in etwa mesotrophen Verhältnissen entspricht.

Ein markantes, breites **Phosphat-Maximum** charakterisierte den Beginn der anthropogenen Nährstoffakkumulation und Eutrophierung während des 18. Jh.. Aufgrund der geringen Humidität und der konstant niedrigen Eisen- und Manganwerte konnte Phosphat nunmehr als direkter Eutrophierungsparameter gelten. In Übereinstimmung mit den übrigen paläoökologischen Ergebnissen kennzeichnete es daher die autochthone Nährstoffakkumulation und den Übergriff der Eutrophierung auf das Pelagial. Demnach ließ sich diese Phosphatakkumulation vor der Erfindung des Mineräldüngers und des direkten, anthropogenen Nährstoff-Inputs vor allem als indirekte Folge der lokalen Niedermoorer-schließung erklären. Diese förderte die photoautotrophe Biomassenproduktion einerseits durch einen erhöhten Lichteinfall in das Gewässer, andererseits durch die kurzfristige Freisetzung von Stickstoff und Phosphaten im Zuge der Torfmineralisation.

#### 7.3.4.2 Sauerstoffzehrung und Ausbildung eines anaeroben Hypolimnion

Mit dem Ausbau der Meerbecke 1774-76 erreichte der mineralische Eintrag in den See Ende des 18. Jh. ein Zwischenhoch von 49%. Bereits MÜLLER (1970) verwies auf den engen Zusammenhang von Mineraleinschwemmungen in Gewässer und dem *Cannabis*-Anbau, der im Bereich der gewässernahen Hanfrösten die Erosion förderte. Am „Großen Heiligen Meer“ selbst konnte trotz extensiven Anbaus im „Töddenland“ archivarisch keine Hanfröste nachgewiesen werden; sicherlich existierten solche jedoch im Einzugsbereich des Sees und seiner Zuflüsse. Parallel zur verstärkten Landnutzung stiegen die Elektrolytwerte auf 366-597  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\bar{\varnothing}$  471  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) und indizierten nach POTT (1983a) schwach eutrophe Verhältnisse (Tab. 2). Bzgl. des Säure-Basen-Haushalt kennzeichneten weiterhin nahezu neutrale Verhältnisse mit konstanten pH-Werten zwischen pH 6,7 und

6,9 das „Große Heilige Meer“ und indizierten gleichfalls eine schwache Eutrophie. Gleichermaßen zeigte sich der Mineral- und Nährstoffhaushalt auch bzgl. der Erdalkalielemente unverändert nährstoff- und basenreich, während die Kaliumfrequenzen durch einen starken Lf-korrelierten Konzentrationsanstieg eutrophe Verhältnisse erreichten ( $\bar{\varnothing}$  0,0155 mg/cm<sup>3</sup>, maximal 0,0209 mg/cm<sup>3</sup>).

Ins Auge fällt insbesondere der ausgeprägte Abfall der Phosphatkurve, der jedoch durchaus mit der Lf- und Trophiesteigerung in Einklang gebracht werden kann. So kennzeichneten die Kurvenverläufe eine erneute Veränderung im Sauerstoffhaushalt des „Großen Heiligen Meeres“, die mit der zunehmenden O<sub>2</sub>-Zehrung im eutrophen Milieu und der zyklischen Ausbildung eines anaeroben Hypolimnions einherging. Das in der Jahresbilanz vorherrschende, anaerobe Milieu des Hypolimnions erhöhte dabei die allgemeine Ionenverfügbarkeit in Sediment und Wasser und förderte vor allem die Rücklösung der Phosphationen (JANNSON et al. 1988, GUNATILAKA et al. 1988). Die verstärkte Freisetzung dieses elementaren Eutrophierungsparameters führte übereinstimmend zu einer massiven Explosion der Phytoplankter (*Pediastrum* und *Aulacoseira granulata*-Blüten) innerhalb der trophogenen Zone. Schließlich entsprachen Eutrophierung und profundaler Redoxwechsel einer Veränderung der Sedimente, d.h. dem Beginn eines fließenden Überganges von Mittel- zu Feindetritusmudden.

#### 7.3.4.3 Regressionsphase in der progressiven Trophie-Entwicklung

Eine kurzfristige, leichte Regressionsphase in der progressiven Trophie-Entwicklung wurde synchron von nahezu allen sedimentchemischen Parametern angezeigt. Steigende GVA-Werte korrelierten mit dem Nachlassen anthropogener Einflussnahme während der Wirtschaftskrise, Armut und Siedlungsdepression des beginnenden 19. Jh. Fallende Lf-Werte, pH-Werte und Kaliumkonzentrationen charakterisierten die dadurch bedingte kurzfristige Regression bzw. Regeneration des aquatischen Nährstoffhaushaltes.

#### 7.3.4.4 Mineral- und Nährstoffreichtum sowie pH-Neutralität

Mit dem endgültigen Sedimentwechsel zu Feindetritusmudden zeichnete sich, korrelierend zur landwirtschaftlichen Intensivierung und dem erneuten Ausbau der „Meerbecke“ um 1850, ein erneuter Eutrophierungsschub in der Mineral- und Nährstoffgenese des „Großen Heiligen Meeres“ ab. Dabei hielt nicht nur der Eintrag allochthonen Materials an, der durch die weiterhin steigende Tendenz der Glührückstände von 45 % (190 cm) auf 51 % (90 cm) markiert wird, sondern erreichten auch die Elektrolytwerte schubartig erhöhte Werte von 432-917  $\mu$ S/cm. Bei durchschnittlich 642  $\mu$ S/cm kennzeichneten sie nach POTT (1983a) eindeutig ein eutrophes Milieu. Gleichermaßen erreichten auch die pH-Werte im Zuge dieser fortschreitenden Eutrophierung den Neutralpunkt und pendelten sich bei circumneutralen Werten zwischen 6,85 und 7,2 ein. Sie charakterisierten damit eine optimale Stabilisation des Seemilieus durch das Karbonat-Hydrogenkarbonat-Puffersystem. Dem Eutrophierungsschub Mitte des 19. Jh. entsprachen schließlich auch die maximalen Kalzium-Frequenzen von 0,99-1,54 mg/cm<sup>3</sup>, die konstant hohen Magnesium-Werte von 0,0442-0,0677 mg/cm<sup>3</sup> und die stetig steigenden, die langfristige Sukzession am bestens nachzeichnenden Werte von Kalium.

#### 7.3.4.5 Nährstoffregression und kontinuierlicher Rückgang der Erdalkali-Ionen bei stabilen pH-Werten

Die Nährstoffregression zu Beginn des 20. Jh., die sich im Pollen- und Diatomeenspektrum des „Großen Heiligen Meeres“ widerspiegelt und mit der Entstehung des „Erdfallsees“ einerseits, den Weltkriegen und der Erklärung des NSG andererseits korreliert, zieht sich auch durch das sedimentchemische Bild des limnischen Mineral- und Nährstoff-

haushaltes. Dabei indizierten die **Glühverlustkurve** und die homogene Feindtritusmudde keine ungewöhnlichen Geschehnisse, sprich ungewöhnlich hohen Mineralfrachten. Sie verwiesen also darauf, dass im Zusammenhang mit den Subrosionsprozessen des „Erdfallsees“ keine weiteren Sekundärsenkungen oder erosiven Böschungsabbrüche am „Großen Heiligen Meer“ stattfanden.

Dennoch vollzog sich um die Jahrhundertwende eine merkliche Oligotrophierung des Gewässers, die bereits vor 1900 einsetzte und sich in sinkenden **Lf-Werten** niederschlug, deren Minimum von  $422 \mu\text{S}/\text{cm}$  in etwa in die 1930er Jahre fiel. Diese Oligotrophierung war zunächst wohl anthropogenen Ursprungs und korrelierte mit dem auffälligen Abfall der **Erdalkali-Elemente**, der einer rein sukzessiven Mineral- und Nährstoffgenese des „Großen Heiligen Meeres“ entgegensteht. So wurde er starke Abfall von Kalzium auf  $0,67\text{-}0,90 \text{ mg}/\text{cm}^3$  von der ungleich schwächeren Abnahme des Magnesiums auf  $0,0363\text{-}0,0450 \text{ mg}/\text{cm}^3$  begleitet. Dieser Rückgang lässt sich durch den Wegfall der einstigen Quelle der Erdalkalifrachten klären, d.h. durch ein Nachlassen des fluviatilen Eintrages nach Ende des Uffelner Kalkabbau. Daneben muss aber auch ein zusätzlicher „Verdünnungseffekt“ diskutiert werden, der sich durch den Zustrom nährstoff- und basenarmen, sauerstoffreichen Heidegrund- und Oberflächenwassers ergab. Dieser Effekt war vor dem historischen Hintergrund eines neu angelegten Seitengrabens von Bedeutung, der dem „Großen Heiligen Meer“ spätestens seit 1895 entsprechende Wasser zunächst vom einstigen „Moor“ („Erdfallsee“-Gebiet ohne „Erdfallsee“) und dann vom „Erdfallsee“ selbst zuführte (HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“ 1895). Schließlich könnten sich im gleichen Sinne die Subrosionsprozesse durch eine hydrologische Kommunikation der Gewässer und einen entsprechenden Grundwasserzustrom aus Richtung des „Erdfallsees“ ausgewirkt haben (Kap. 5). Indikator dieser geogenen Einwirkungen ist **Mangan**. Im Gegensatz zu Eisen, das insbesondere den Zustrom von Tiefengrundwässern und Niedermoorwässern indizierte, kennzeichnete Mangan somit den Einfluss der oberflächennahen Heidegrundwässer.

Dem sedimentchemischen Spektrum zufolge konnte das optimierte Hydrogenkarbonat-Puffersystem nicht nur den verminderten Basennachschub, sondern auch diesen außergewöhnlichen Zustrom nährstoffarmen, sauren Heidewassers auffangen und nivellieren. Dementprechend hielt sich die pH-Kurve konstant bei **pH-Werten** knapp oberhalb des Neutralpunktes (pH 7,15-7,25).

#### 7.3.4.6 Aktuelle Trophie-Entwicklung, Salz- und Schwermetallbelastung

Nach der kurzfristigen Nährstoffregression pendelten sich sehr schnell wieder eutrophe Milieubedingungen ein, wie sie in etwa bereits im ausgehenden 19. Jh. existiert hatten. Im Unterschied schritt die Eutrophierung zunächst sogar noch schneller voran. Darüber hinaus zeigten sich die Verhältnisse im Detail differenzierter:

Mit der steten allochthonen Mineralfracht betrug die **Glührückstände** in den sechziger Jahren knapp über 50 % und stiegen in den Achtzigern und Neunzigern noch einmal leicht auf 60-65 % an. Die konstant hohen Mineralfrachten trotz offensichtlicher Stabilisation der geologischen Prozesse und Minderung der allochthonen Mineralstoffzufuhr durch Umlegung der Gräben erstaunen. Sind sie auf erhöhten anthropogenen Mineraleintrag durch Touristenscharen bzw. Wissenschaftler bedingt, die nicht nur die Seeufer be- und zertreten, sondern auch durch Bootsfahrten z.T. in großer Ufernähe eine stete Erosion bedingen?

Die **Elektrolytgehalte** erhöhten sich weiter und lagen in den Nachkriegsjahren zunächst zwischen 828 und 933  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\varnothing$  877  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) im stark eutrophen Bereich. Dabei spielte neben den Eutrophierungsparametern nun jedoch die beginnende anthropogene Gewässerbelaugung mit Salzen und Schwermetallen eine Rolle, so dass in Korrelation zu den

pollenanalytischen und diatomeenanalytischen Ergebnissen sowie im Einklang mit der Literatur der Zeit (in denen die Lf als Parameter allerdings nicht auftaucht) nicht von einem hypertrophen Gewässer gesprochen werden kann. Dann bricht die Lf-Kurve einmal mehr und äußerst massiv ein. Die beiden Werte von 486 und 434  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , die eine Regression der Nährstoffverhältnisse zu schwach eutrophen Bedingungen kennzeichnen, korrelieren mit dem Abfall der Eutrophierungsparameter Kalzium, Magnesium und Phosphat sowie einem leichten Abfall der pH-Werte. Im Zeitspektrum der 1960er Jahre lässt sich diese Nährstoffregression eindeutig auf das schnelle Greifen der Naturschutzmaßnahmen zurückführen: Erstens der Umlegung der Meerbecke um das „Große Heilige Meer“ und zweitens dem Schlagen einer lokalen Windschneise („mesotrophe Stelle“) mit Kontakt zur oligotrophen Grundwasserlinse im Westen des Gewässers.

Die **pH-Werte**, die mit Ausnahme der beiden Oberflächenproben bei pH 7,15-7,35 lagen, entsprechen dabei in etwa den aktuell-hydrochemischen Werten von durchschnittlich 7,2 (POTT et al. 1996). **Kalzium und Magnesium** pendelten sich nach Gewässerumlegung und Unterbindung der allochthonen Zufuhr auf niedrigem Niveau ein. Ihre Werte entsprachen erstmalig den autochthonen Gehalten pleistozäner Sandlandschaft von 2 bzw. 0,4  $\text{mg}/\text{cm}^3$ . Sie stimmen mit den konstanten **Kaliumgehalten** um 0,25  $\text{mg}/\text{cm}^3$  überein, die stabile eutrophe Verhältnisse im See charakterisierten. Mit einem Maximum von 0,3  $\text{mg}/\text{cm}^3$  erreichten die Kaliumwerte schließlich die sechsfachen Konzentrationen des initialen Gewässers. Deutlichster Indikator der anthropogen beschleunigten Eutrophierung waren bereits in der Nachkriegszeit die steigenden **Phosphatkonzentrationen**, die bis zu 0,02  $\text{mg}/\text{cm}^3$  erreichten. Zusammenfassend spiegelte jedoch der Eutrophierungsparameter Kalium die kontinuierliche Eutrophierung im Pelagial, wie sie auch von den Diatomeen und den Makrophyten in ihrer Summe indiziert wurden, am besten wider. Dies um so mehr, da Kalium sich inert gegenüber geogenen Prozessen und den Redoxverhältnissen erwies.

Neben dem hohen Trophiestatus ist die aktuelle Phase durch die verstärkte Salz- und Schwermetallbelastung des Gewässers im Zuge der Intensivierung der Landwirtschaft (Mineraldünger) und Industrie (Erzabbau) und schließlich auch des Straßenverkehrs gekennzeichnet. Erstmalig nach langer Phase der Indifferenz zeigte die **Natrium-Kurve** bei schwach steigender Frequenz bereits im ausgehenden 19. Jh. leichte Reaktionen und kennzeichnete damit eine Zunahme der allochthonen Salzfracht im Zuge der Industrialisierung bzw. des Bergbaus. Aber erst in aktueller Zeit hoben deutlich erhöhte Salzfrachten von 0,0325  $\text{mg}/\text{cm}^3$  Natrium die anthropogene Belastung hervor. Der Anstieg der **Zinkkurve** von bislang 0,01 auf maximal 1,25  $\text{mg}/\text{cm}^3$  verwies dagegen auf die aktuelle Schwermetallzufuhr in das Gewässer. Kupfer und Aluminium konnten im „Großen Heiligen Meer“ mit den angewandten Methoden allerdings nicht nachgewiesen werden.

In allerjüngster Zeit schlägt sich jedoch eine ganz neue Entwicklung im Sedimentspektrum und summarisch in den Absolutwerten der Leitfähigkeit und einem regelrechten Absturz der pH-Werte nieder. So schnellen die Lf-Werte auf 2552 bzw. 1367  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vor, was im Widerspruch zu den aktuellen Untersuchungen steht, die dem Gewässer eher eine Regression der Nährstoffbedingungen bescheinigen. Nach POTT et al. (1996) beträgt der durchschnittliche Elektrolytgehalt des heutigen „Großen Heiligen Meeres“ nur 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendiert daher eher zu mesotrophen Verhältnissen. Die starke Versauerung äußert sich in Wasserstoffionenkonzentrationen von pH 5,7 und 4,9. Eine Versauerung durch anthropogene Stoffeinträge, die heute weitläufig zu einer Säurebildung in Gewässern führen, die die ökosysteminterne Versauerung bei weitem übersteigt (HENDREY et al. 1976), ist hier von sekundärer Bedeutung. Unter Hinzuziehung des übrigen sedimentchemischen Spektrums zeigt sich ein Wandel, der den Geschehnissen der frühen Gewässergeneese ähnelt und vor einen entsprechenden Hintergrund stellt (Kap.7.3.2): Danach werden die extremen Elektrolytwerte erstens durch stark steigende Eisengehalte des Sedi-

menten verursacht und zweitens durch stark saure und huminsaurer Bedingungen gefördert, wie sie nach HAGEMANN et al. (2000) auch in den reduzierten Grundwässern der umgebenden Bruchwälder gefunden wurden. Drittens werden sie nicht nur durch ein anaerobes Hypolimnion, sondern durch ein in Schichtungs- und Jahresbilanz reduziertes Milieu verstärkt. Im Unterschied zur mittelalterlichen Entwicklung verweisen alle Daten jedoch auf deutlich nährstoffreichere Bedingungen. Zusammenfassend muss daher im Einklang mit der paläoökologisch nachgewiesenen und aktuell registrierten Vegetation und Diatomeenflora auf mesotrophe bis schwach eutrophe Verhältnisse mit starker Tendenz zur Dystrophierung geschlossen werden.

## 8 Modellvorstellungen zur natürlichen und anthropogenen Nährstoffentwicklung norddeutscher Stillgewässer

### 8.1 Synthese zur Trophie-Entwicklung im „Großen Heiligen Meer“

Mit der Entwicklung der makrophytischen Verlandungsvegetation, der durch Kieselalgen erfassten Phytoplankton sukzession und der Mineral- und Nährstoffentwicklung konnten wesentliche Aspekte in der komplexen Genese des Ökosystems „Großes Heiliges Meer“ rekonstruiert werden, wobei sich zeigte, dass sich die Darstellungen der paläoökologischen Ergebnisse gegenseitig bestätigen und ergänzen. Insgesamt konnten 4 Haupt- und 14 untergliederbare Phasen der Gewässerentwicklung herausgearbeitet werden, die zugleich Rückschlüsse auf eine detailliert nachvollziehbare Limnogenese und damit insbesondere auf die hier im Vordergrund stehende Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ erlaubten. Dabei folgte die Vegetations- und Nährstoffentwicklung den vegetations- und siedlungsgeschichtlichen Ereignissen. Sie ging also mit der Entwicklung der historischen Kulturlandschaft der Frühhistorik, des Mittelalters, der Wüstungsperiode und der Neuzeit einher (Phase 1-4) und stimmte darüber hinaus auch mit der detaillierten Chronologie der lokalen Landnutzungs- und Siedlungsdepressionphasen überein. Geomorphologisch-hydrologisch konnten neben der Entstehung des Erdfallsees ein subrosionskorrelierter Einschnitt in der spätmittelalterlichen Gewässerentwicklung registriert werden (Phase 2d/e), demzufolge ein Stadium vor und ein Stadium nach der Sekundärsenkung differenziert wurden.

Im einzelnen wurden die paläoökologischen Teilaspekte der Vegetations- und Nährstoffentwicklung des Großen Heiligen Meeres“ in Tab. 8 in einem Gesamtüberblick zusammengefasst. Die chronologische Trophie-Entwicklung lief in Abhängigkeit von Siedlungs- und Subrosionsgeschichte folgendermaßen ab:

1. **Dys-siderotroph:** Der frühhistorische Waldsee war durch eine Armut an Hydrophyten und lediglich die Verbreitung von vereinzelt Elementen der Strandlings-Basalgesellschaften gekennzeichnet, denen eine üppige Ufervegetation aus Weidengebüsch und Erlenwäldern gegenüberstand. Die Wasser wurden durch das Fehlen jeglichen Grün- und Kieselalgenplanktons charakterisiert. Sie waren standortgegeben äußerst nährstoffarm, mäßig huminsauer, zudem subrosionsbedingt äußerst eisenreich und insgesamt noch von einer positiven Sauerstoffbilanz geprägt.
2. **Dys- und oligo-siderotroph:** Die Trophie-Entwicklung des mittelalterlichen Gewässers zeigte sich raum-zeitlich äußerst differenziert, wobei dem weiterhin nährstoffarmen, tiefen Seebecken bereits eine beginnende Verlandungssukzession eines mäßig nährstoffreichen nördlichen Flachsees gegenüberstand:
  - 2.1. **Dys-siderotroph:** Im Zuge der natürlichen Sukzession des Waldsees wurden die dys-siderotropen Bedingungen zunehmend stabilisiert, wobei sich durch Verknüpfung und Rückkopplung litoral Eutrophierungserscheinungen, autochtho-

ner Humifizierung und des Eisen-Schwefel-Haushaltes ein lebenshemmendes, saures und anaerobes Milieu im Gewässer einstellte, in dem nur vereinzelte, resistente *Eunotia pectinalis*-*Fragilaria ulna*-Bestände überleben konnten.

- 2.2. **Dys-siderotroph:** Siedlungskorreliert setzte ein regressive Entwicklung im Redoxhaushalt des Sees ein, die insbesondere mit einem erhöhten, u.a. photoautotrophen Sauerstoffeintrag in das Gewässer verbunden war und dadurch zahlreiche Reaktionsabläufe im See umkehrte. Eine beginnende Nährstoffakkumulation und parallele Eisenabnahme kompensierte die einstigen Hemmfaktoren des Algenwachstums und ermöglichte eine planktische und makrophytische Besiedlung des Litoral, die zu einer ersten Eutrophierung führte (dys-mesotrophe „Heideweiher“-Verhältnisse).
  - 2.3. **Oligomesotroph:** Im Zuge der verstärkten, anthropogenen Eingriffe, die mit lokalen Rodungen und Feucht- und Streuwiesennutzung verbunden waren, setzte sich die vorherige Entwicklung fort. Neben der sukzessiven Vegetationsfolge, die insbesondere die fortschreitende Verlandung des Flachsees über Röhrichte indizierte, war die Limnogenese vor allem durch eine explosionsartige Vermehrung litoraler und planktischer Diatomeen-Zönosen geprägt, die nicht zuletzt die Besiedlung des Pelagial einleiteten. Die hydrologische Stabilisation des See-/Grundwasser-Gleichgewichts senkte den Eisengehalt des Gewässers, das ferner durch eine zunehmende Sauerstoffsättigung und sinkende Humidität gekennzeichnet war.
  - 2.4. **Mesotroph:** Während der Siedlungsdepression der spätmittelalterlichen Wüstungsphase schritt die sukzessive Entwicklung des Sees im Rahmen einer natürlichen Eutrophierung fort.
  - 2.5. **Oligo-siderotroph:** Im Zuge der spätmittelalterlichen Sekundärsenkung zeichnete sich eine geogene Regression der trophischen Verhältnisse ab. Sie erfasste das gesamte Gewässer und äußerte sich durch die erneute Expansion sowohl der hochmittelalterlichen Seerosendecken und begleitenden Aufwuchsalgen als auch durch die erneute Ausbreitung der oligotraphenten, pelagialen *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft.
3. **Oligo-mesotroph:** In der langwährenden Wüstungsperiode und Frühen Neuzeit stabilisierte sich mit den geologischen Vorgängen auch der Eisenhaushalt des „Großen Heiligen Meeres“. Die ungestört fortschreitende Vegetationsentwicklung führte zur Regeneration des lokalen Waldgürtels, während sich im Phytoplankton sukzessive mäßig anspruchsvolle *Pennales*-Biozönosen entfalteten.
    - 3.1. **Oligotroph:** In einer naturnahen Vegetationsentwicklung wurde nicht nur die Schwimmblattvegetation verdrängt, sondern breitete sich eine zwischenmoorartige Ufervegetation mit Gagelgebüsch aus, die eine tendenzielle Dystrophierung des Sees ankündigte (dys-mesotropher Flachsee). Korrelierend expandierten die acidophytischen Kiesalgen (*Frustulia rhomboides* var. *saxonicae*, *Anomoeoneis brachysira*, *Stenopterobia curvulae* u.a.) und indizierte der sinkende pH-Wert des Sediments eine Versauerung. Die Situation ähnelte der des heutigen „Erdfallsees“.
    - 3.2. **Oligo-mesotroph:** Die Anlage erster Entwässerungsgräben führte nicht nur zu einem Abbruch des beginnenden Moorwachstums und einem Wandel im Vegetationsbild des Uferwaldes, sondern stellte auch einen nachhaltigen Eingriff in das Ökosystem des „Großen Heiligen Meeres“ selbst dar. Mit den abrupt steigenden Basengehalten ging eine allmähliche Nähr- und Mineralstoffakkumulation einher, die sich in der Ausbreitung anspruchsvollerer Diatomeengesellschaften auf Kosten der *Eunotiaceae* und der Säureindikatoren niederschlug.
    - 3.3. **Mesotroph:** Während die Makrophytensukzession mit der optimalen Ausbildung

des Schilfröhrichts und des Uferwaldes voranschritt, verlief die progressive Diatomeensukzession in Richtung anspruchsvoller *Centrales*- und *Achnanthes* sp.-Gesellschaften. Übereinstimmend stiegen die Elektrolytgehalte des Gewässers und stabilisierte sich der pH-Wert weiter.

4. **Meso-eutroph:** Parallel zur neuzeitlichen Siedlungsexpansion setzte eine anthropogen beschleunigte Trophie-Entwicklung ein, deren schubartiges Voranschreiten mit den Phasen der Niedermoorerschließung und dem jeweiligen Ausbau der Entwässerungsgräben in dem zunehmend von Wirtschaftsland umgebenen See korrelierte.
  - 4.1. **Meso-eutroph:** So ging mit der erneuten Niedermoorerschließung, d.h. der lokalen Bruchwaldrodung im 18. Jh. eine anthropogen beschleunigte Eutrophierung einher, die sich übereinstimmend in der kurzfristigen Massenentwicklung von *Myriophyllum alterniflorum*, der sukzessiven Entfaltung von *Cyclotella radiososa*-Algenblüten und der massiven Phosphatakkumulation äußerte. Sie war demnach mit einem endgültigen Übergang der Eutrophierung auf das Pelagial verbunden.
  - 4.2. **Schwach eutroph:** Im weiteren Verlauf der Limnogenese, die durch die steigende Mineral- und Nährstoffakkumulation charakterisiert wurde, bildeten sich sukzessive schwach eutraphente Lebensgemeinschaften aus. Die fortschreitende Trophie-Entwicklung war mit einer zunehmenden Sauerstoffzehrung verknüpft, die zur Ausbildung eines anaeroben Hypolimnion führte.
  - 4.3. **Meso-eutroph:** Korreliert zur Wirtschaftskrise des frühen 19. Jh. verzeichnete auch die Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ eine leichte Regression.
  - 4.4. **Eutroph:** Um so deutlicher war die anthropogene Eutrophierung des Sees im Zuge der Industrialisierung und landwirtschaftlichen Intensivierung, die nicht nur mit massiven Grün- und Kieselalgenblüten, sondern auch mit maximalen Elektrolytgehalten im Gewässerhaushalt verbunden war.
  - 4.5. **Mesotroph:** Eine Kopplung geogener und vielfältig anthropogener Umstände, die auf die Entstehung des „Erdfallsees“ während der Siedlungs- und Wirtschaftsdepressionsphase der Jahrhundertwende und der Weltkriege und auf lokal-anthropogene Einflüsse zurückzuführen war, führte zu einer erheblichen Regression der trophischen Verhältnisse im See. Sie führte zu Bedingungen, die denen des 17. Jh. ähnelten (3.3), aber insbesondere in der makrophytischen Verlandung durch eine ungleich höhere Massenentwicklung von *Littorella uniflora* und *Myriophyllum alterniflorum* charakterisiert wurde.
  - 4.6. **Eutroph:** Die Entwicklung der Nachkriegszeit wurde zunächst durch eine starke anthropogene Eutrophierung gekennzeichnet, in deren Zuge schnell die Vegetations- und Nährstoffverhältnisse des ausgehenden 19. Jh. erreicht waren. Eine erhöhte Phosphatbelastung korrelierte u.a. mit der Ausbreitung einer *Polygonum amphibium*-Fazies des *Myriophyllo-Nupharetum* bzw. mit der Entfaltung von *Asterionella formosa*- und *Fragilaria crotonensis*-Populationen. Zusätzlich setzte eine starke Salz- und Schwermetallbelastung des Gewässers ein, der jedoch mit der Umlegung der Meerbecke begegnet wurde, wie die jüngsten Entwicklungen zeigen. Stattdessen zeichnet sich allerdings eine Versauerung und erneute Senkung des Redoxpotential des „Großen Heiligen Meeres“ ab, die hier nicht allein in den anthropogenen Zusammenhang gestellt, sondern primär auf die Auswirkungen der Naturschutzmaßnahmen und das Einstellen einer naturnahen Dystrophierung des Gewässers zurückgeführt wurden.

Tab. 8: Phasen der Gewässerentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“.

Phase	Tiefe	Sedimentstratigraphie	Entwicklung der historischen Kulturlandschaft	Gewässer-morphogenese	Vegetationszonen und ihre Entwicklung
<b>1</b>	<b>834-792</b>	<b>eisenreiche Mudde</b>	<b>Frühhistorische Siedlungsbelegung</b>	<b>Erdfall</b>	<b>Vegetationsarmer Waldsee mit reicher Ufervegetation</b>
<b>2</b>	<b>791-562</b>	<b>eisenreiche Mudden</b>	<b>Mittelalterliche Landnahmen und Siedlungsausbau</b>		<b>Pionierv egetation und erste Verlandungsgesellschaften</b>
<b>2.1</b>	791-753	Gelmudde	Hochmittelalterliche Rodungen(10./11.Jh.)		Torfmoos- und seggendominierte Pioniergesellschaften
<b>2.2</b>	752-692	Humose Fhf	Siedlungsausbau (12.Jh.)		Seerosendecken
<b>2.3</b>	691-642	Fhf	Siedlungsausbau (13.Jh.)		Schwimmblattdecken, Röhrichte und Seggenriede
<b>2.4</b>	641-629	Fhf	Wüstungsperiode (13./14.Jh.)		Gehölzgürtel (Erlen- und Birkenbruch)
<b>2.5</b>	621-562	Fhm	Spätmittelalterlicher Siedlungsaufschwung (14./15.Jh.)	Sekundär-senkung	Seerosendecken, Schachtelhalmstümpfe, Weidengebüsch und Birkenbruchwald
<b>3</b>	<b>561-332</b>	<b>Eisenarme Mudden</b>	<b>Wüstungsperiode und Frühe Neuzeit</b>	<b>erste Zuflüsse</b>	<b>Formierung des Schilf- und Waldgürtels</b>
<b>3.1</b>	561-504	Fhm	Siedlungsdepression an der Zeitenwende (15./16.Jh.)		Zwischenmoorvegetation mit Gagelgebüsch, Erlen- und Birkenbruchwald
<b>3.2</b>	503-402	Fhm	Spanisch-Niederländischer u. 30-jähriger Krieg (16./17.Jh.)	Zuflüsse: 1564, 1616	erste submerse Hydrophyten und Grünalgen, Erlenwald
<b>3.3</b>	401-332	Fhm	Siedlungsentwicklung (2. Hlft. d. 17. Jh.)		Optimum des Erlenbruchs und des Schilfröhrichts
<b>4</b>	<b>331-0</b>	<b>Eisenarme Mudden</b>	<b>Neuzeitliche Siedlungsexpansion</b>	<b>Grabenausbau</b>	<b>artenreiche, anspruchsvolle Verlandungsserie</b>
<b>4.1</b>	331-283	Fhm	Preußischer Siedlungsaufschwung	Zuflüsse im 18. Jh.	Tausendblatt Dickichte u. Wasserhahnenfuß-Bestand.
<b>4.2</b>	281-222	Fhm-Fhf	Protoindustrialisierung (18./19. Jh.)	Meerbecke 1774-76	Anspruchsvolle Schwimmblattdecken
<b>4.3</b>	221-192	Fhm-Fhf	Siedlungsdepression (frühes 19. Jh.)		Leichte Regression der Verlandungsvegetation
<b>4.4</b>	191-112	Fhf	Industrialisierung (seit 1850)	Meerbecke Ausb. 1850	Grünalgenblüten u. anspruchsvolle Verlandungsserie
<b>4.5</b>	111-62	Fhf	Weltkriege (Anfang des 20. Jh.)	„Erdfallsee“ 1913	Strandlings-Rumpfgesellschaften
<b>4.6</b>	61-0	Fhf	heute	Umlagen d. „Meerb.“ 1968	Aktuelle, anspruchsvolle Verlandungsvegetation

Tab. 8ff:

Phase	Diatomeensukzession	Mineral- und Nährstoffentwicklung	Trophie-Entwicklung (Pedographie)
<b>1</b>	<b>diatomeenfreier See</b>	<b>nährstoffarmer, mäßig huminsaurer, eisenreicher See mit aeroben Milieu</b>	<b>dys-siderotroph (Dygyttia)</b>
<b>2</b>	<b>acidophile Initialgesellschaften und sukzessive Kieselalgen-Expansion</b>	<b>wechselnde Redoxverhältnisse im nährstoffarmen, eisenreichen See</b>	<b>differenz. Trophie-Entwicklung des nährstoffarmen Sees</b>
<b>2.1</b>	spärliche <i>Eunotia pectinalis-Fragilaria acus</i> -Gesellschaft	stark huminsaurer, anaerobe Verhältnisse	<b>dys-siderotroph (Dy)</b>
<b>2.2</b>	acidophytische Rumpfgesellschaften	mäßig huminsaurer, zunehmend sauerstoffreiches Milieu	<b>dys-siderotroph (Dygyttia)</b>
<b>2.3</b>	<i>Gomphonema</i> -Aufwuchs- und <i>Eunotia-Pinnularia</i> -Gesell.	saure, aerobe, zunehmend nährstoffreiche Verhältnisse	<b>oligotroph (Gyttia)</b>
<b>2.4</b>	<i>Cyclotella radiosa</i> -reiche <i>Tabellaria</i> -Gesellschaften	nährstoffreichere (Phosphat) u. eisenärmere Bedingungen	<b>mesotroph (Gyttia)</b>
<b>2.5</b>	litorale <i>Gomphonema</i> -Aufwuchs- und pelagiale <i>Eunotia-Pinnularia</i> -Gesellschaften	extreme Mineral- und Nährstoffarmut bei eisenreichen, aeroben Verhältnissen	<b>oligo-siderotroph (Gyttia)</b>
<b>3</b>	<b>artenreiche, litorale und pelagische Pennales-Zönosen</b>	<b>mäßig nährstoffreicher, eisenärmerer, aerober See</b>	<b>oligo-mesotroph (Gyttien)</b>
<b>3.1</b>	Acidophyten-reiche <i>Tabellaria fl.-Fragilaria cap.</i> u. <i>Achnanthes min.</i> -Gesellschaft	nährstoffarmes, saures Milieu	<b>oligotroph</b>
<b>3.2</b>	<i>Fragilariaceae</i> - u. <i>Achnantheaceae</i> -Gesellschaften, acidotolerante bis neutrale Begleiter	schwach nährstoffreiches, schwach saures Milieu mit steigenden Erdalkaligehalten	<b>oligo-mesotroph</b>
<b>3.3</b>	<i>Centrales</i> - u. anspruchsvolle <i>Achnanthes sp.</i> -Gesell.	zunehmend nährstoffreiche u. annähernd neutrale Verhältn.	<b>mesotroph</b>
<b>4</b>	<b><i>Centrales</i>-Algenblüten</b>	<b>nährstoffreicher, eisenärmerer See</b>	<b>meso-eutroph (Gyttien)</b>
<b>4.1</b>	<i>Cyclotella radiosa</i> -Blüten	mineral- u. nährstoff- / phosphatreiches, aerobes Milieu	<b>meso-eutroph</b>
<b>4.2</b>	<i>Aulacoseira granulata</i> -Dominanzgesellschaft	nährstoffreiche u. sauerstoffzehrende Bedingungen	<b>schwach eutroph</b>
<b>4.3</b>	<i>Cyclotella radiosa-Aulacoseira islandica</i> -Gesellschaft	mäßig nährstoffreiche Verhältnisse	<b>meso-eutroph</b>
<b>4.4</b>	<i>Aulacoseira islandica-Cyclotella radiosa</i> -Gesellschaft	nährstoffreiches, pH-neutrales Milieu	<b>eutroph</b>
<b>4.5</b>	<i>Fragilaria cap.-Tabellaria fl.</i> -Gesellschaft	mäßig nährstoffreiche Verhältnisse, rückläufige Erdalkaligehalte	<b>mesotroph</b>
<b>4.6</b>	<i>Cyclotella</i> -Dominanzgesellschaft mit <i>Asterionella f.</i> und <i>Fragilaria crotonensis</i>	nährstoffreiche, reduz. Bedingungen, Salz- u. Schwermetallbelastung, Versauerung	<b>eutroph, tendenziell dystroph</b>

(BARTH 2001)

## 8.2 Ableitung allgemeiner Mechanismen der Trophie-Entwicklung für die Stillwasser-Ökosysteme Nordwestdeutschlands

Über die dargestellte, exemplarische Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ hinaus, lassen sich abschließend einige allgemeingültige Schlüsse zur Sukzession limnischer Ökosysteme Nordwestdeutschlands ziehen. Ausgehend von der klassischen Verlandungssukzession nordwestdeutscher Stillgewässer („oligo-, meso-, eutroph“) wird die Definition und Stellung der „Dystrophie“ im Trophiesystem diskutiert, sowie ferner die „Siderotrophie“ erörtert. Schließlich werden den Ursachen und Mechanismen der natürlichen und naturnahen Nährstoffentwicklung denen der anthropogen beeinflussten Limnogenese gegenübergestellt.

### 8.2.1 Natürliche und naturnahe Nährstoffentwicklung

#### 8.2.1.1 Sukzessive Eutrophierung von oligo- über meso- zu eutroph

Bisherige Vorstellungen von der limnischen Verlandungssukzession gehen einerseits von der soziologisch-hydrochemischen Betrachtung gegenwärtiger Verlandungsreihen, andererseits von einem aktuoökologischen Vergleich der Vegetationskomplexe und Planktonzönosen unterschiedlicher Gewässer aus. Darüber hinaus existierten paläoökologische Untersuchungen, die die zeitliche Dimension in der Entwicklung von Stillwasser-Ökosystemen erfaßten. Daraus schloss man, dass die Seegenese langfristig durch eine kontinuierliche Eutrophierung, d.h. zunehmende Nährstoffakkumulation und Ablösung oligotropher von meso- und eutropher Lebensgemeinschaften gekennzeichnet ist.

Grundsätzlich lässt sich aus den vorgestellten Ergebnissen die Gesamttendenz einer kontinuierlichen Eutrophierung bestätigen, die im Rahmen der natürlichen Sukzession von nährstoffarmen zu nährstoffreichen Gewässern führt. Demnach muss die Nährstoffakkumulation bzw. zunehmende Nährstoffnutzung zunächst generell als natürlich angesehen werden. Der natürliche Nährstoffeintrag kann allogener Natur sein, d.h. geologisch bedingt sein, oder eine paläoklimatische oder geographische Ursache (natürliche Zuflüsse) haben. So wurde der Mineral- und Nährstoffhaushalt des „Großen Heiligen Meeres“ zum einen durch den subrosionskorrelierten Eintrag basenreicher, mesozoischer Tiefengrundwasser, zum anderen durch eine Nährstoff-Infiltration aus dem angrenzenden Niedermoor beeinflusst. Zumeist aber ist die **Nährstoffakkumulation primär autogen** und wird durch die sukzessive Steigerung der autochthonen, pflanzlichen Primärproduktion hervorgerufen, die mit der zyklischen Nährstoffverlagerung vom Profundal in die trophogene Zone einhergeht.

In jedem Falle geht diese natürliche Eutrophierung sowohl mit einer Zunahme der Biomasse als auch der Artendiversität einher. Sie lassen sich insbesondere aus der Sukzession des pelagischen Phytoplanktons (*Pediastrum*, *Centrales* u.a. Gruppen) ableiten, das als Primärproduzent einen direkten Trophie-Indikator für den gesamten Wasserkörper darstellt. Darüber hinaus spiegelt auch die Entwicklung der hydrophytischen Vegetation in ihrer Gesamtheit eine Veränderung wider, die im Verlauf der primären Sukzession letztendlich zu einer natürlichen Verlandung des Gewässers führen würde (ELLENBERG 1996, DIERSCHKE 1994).

Sowohl die chronologische Reihe der Makrophytenentwicklung als auch die Folge der planktischen Lebensgemeinschaften des „Großen Heiligen Meeres“ verdeutlichte, dass die natürliche **Eutrophierung stets vom Pelagial ins Litoral** fortschritt: So folgten den planktischen *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaften in der Diatomeensukzession die epiphytischen *Gomphonema*-Aufwuchszönosen des Litorals und den *Cyclotella*- und *Aulacoseira*-Blüten die litoralen *Achnanthes*-Gesellschaften. Noch deutlicher baute sich die pro-

gressive Verlandungsserie der Höheren Vegetation sowohl im Mittelalter als auch in der Neuzeit ausgehend von den aquatischen Schwimmblattdecken über die Röhrichte und Seggenriede zum semiterrestrisch wachsenden Gehölzgürtel aus, wobei der emersen Vegetation der Neuzeit noch die submers lebenden *Myriophyllum*-Dickichte vorangestellt waren. Umgekehrt ging die progressive Entwicklung des nördlichen Flachseebereichs am „Großen Heiligen Meer“ der des südlichen Seebeckens immer ein wenig voraus. Dies entspricht der sukzessiven Verlandung eines Gewässers, die mit ihren Vegetationszonen allmählich vom Litoral ins Pelagial vordringt.

Bezüglich der Verlandungsreihen und der Vergesellschaftungen konnte festgestellt werden, dass bereits im Mittelalter dieselben **Arten und Vergesellschaftungen** anzutreffen waren, wie sie heute noch beschrieben werden. So existierte bereits im Mittelalter eine Artenvergesellschaftung, die dem heutigen *Myriophyllo-Nupharetum* entsprach und sich aus den Arten *Nymphaea* und *Polygonum amphibium* mit vereinzelt *Myriophyllum spicatum*-Pflanzen zusammensetzte. Im Überblick der gesamten Gewässergenese kommen die Arten des heutigen *Myriophyllo-Nupharetum* immer dann zur optimalen Ausbreitung, wenn auch die dem *Phragmition* und dem *Frangulo-Salicetum* vergleichbare Vegetation optimal ausgebildet ist. Auch dies spricht zumindest seit dem Mittelalter für ein Zusammenspiel der Arten und Gesellschaften innerhalb der Verlandungsserie, das dem heute beobachteten gleicht (POTT 1980). Entsprechendes gilt innerhalb der Diatomeengesellschaften u.a. für die typische *Eunotia-Pinnularia*-Gesellschaft, die heute z.B. noch aus dem „Erdfallsee“ beschrieben wird (BUDE 1942a) und dem Vorkommen von *Gomphonema acuminatum*, das häufig mit dieser pelagischen Gesellschaft korreliert (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91). Zusammenfassend konnte sowohl auf floristischer als auch auf soziologischer Ebene die Parallelität von räumlicher Verlandungsserie und chronologischer Sukzession bestätigt werden.

In diesem Zusammenhang rechtfertigte die Synthese der Einzelanalysen, die unter Einbezug der sedimentchemischen Daten ein übereinstimmendes Gesamtbild von der Genese des „Großen Heiligen Meeres“ lieferte, u.a. auch das deduktive Vorgehen, sich bei den paläoökologischen Beschreibungen auf die heutigen aut- und synökologischen Ansprüche der Arten zu beziehen. Darüber hinaus ergänzten die paläoökologischen Ergebnisse die Kenntnisse über die **ökologischen Ansprüche und Einnischung der Arten** vor dem Hintergrund der langfristigen Gewässersukzession.

Über die Chronologie der Trophie-Entwicklung hinaus konnte eine **Mehrdimensionalität in der Trophie-Entwicklung** herausgestellt werden, die aufgrund der geomorphologischen NS-Dimorphie und der vielfältigen, geologisch, pedologisch und vegetationskundlichen WO-Differenzierung des „Großen Heiligen Meeres“ besonders hervortrat. Demnach spielt der Einfluss trophiedominierender und -regulierender Faktoren, wie im Gesamtzusammenhang, so auch in der kleinräumigen Verteilung für die natürliche Standortvielfalt und Biodiversifizierung im Gewässer eine bedeutende Rolle. In den Landschaften Norddeutschlands kommen dabei in erster Linie die Unterschiede des sauer-oligotrophen Pleistozäns und der holozänen Bildungen von Niedermoor, Hochmoor und Aue im Einzugsbereich des Gewässers zum Tragen, d.h. limnische Ökosysteme müssen natürlicherweise nicht unbedingt ein einheitliches Bild aufweisen. Insbesondere die makrophytische Verlandungszonation wird entscheidend von der jeweiligen standortspezifischen Litoralsituation geprägt bzw. spiegelt die kleinräumige Standortdifferenzierung eines Gewässers und dessen Uferbereich in Abhängigkeit von ganz lokalen Grundwasser- und Bodenveränderungen wider (PUST et al. 1997, POTT et al. 1998, HAGEMANN et al. 2000).

Schließlich muss die Bedeutung relativ konstanter Umweltbedingungen für die progressive Seegenese diskutiert werden. Nicht nur längerfristige, klimatische Ursachen (postglazialer Klimawandel, „Kleine Eiszeit“), sondern wie im vorliegenden Fall auch kurz-

fristige, geogene Abläufe können Schwankungen in der sukzessiven Gewässerentwicklung verursachen. Sie können einerseits beschleunigend wirken, wie der Zustrom basenreicher, mesozoischer Tiefengrundwasser oder eutrophierender Niedermoorwasser. Andererseits können sie **regressive Prozesse** in der allgemein progressiven Nährstoffentwicklung hervorrufen, so wie die Subrosionsprozesse jeweils eine Vertiefung und Oligotrophierung des Gewässers bewirkten oder der Zustrom eisenreichen Grundwassers als Hemmfaktor der natürlichen Sukzession fungierte. In diesem Sinne greifen natürlicherweise vielfältige Faktoren in die komplexe Entwicklung von Stillgewässern ein, die die ökologischen Bedingungen von Gewässern z.T. nachhaltig verändern, z.T. zur mehrdimensionalen, standortdifferenzierten Genese beitragen.

### 8.2.1.2 Dystrophie

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werfen über die Bestätigung der grundsätzlichen Nährstoffakkumulation hinaus die Frage nach der Hemerobie und Sukzession sowie der Definition dystropher Gewässer neu auf.

Der Ausgangsstatus der Gewässertrophie wird in erster Linie auf die Geologie des Einzugsgebietes zurückgeführt, d.h. insbesondere auf die Nährstoff-, Basen und Mineralgehalte des umgebenden Ausgangsgesteines. Danach differenzieren sich die nährstoffarmen Initialgewässer in kalk-oligotrophe Gewässer über den basischen Gesteinen der Kalklandschaften und sauer-oligotrophen Gewässer über sauren Sanden/Gesteinen der pleistozänen Sand- und Silikatlandschaften (JUNG 1990, PLATZEK 1991). Dementsprechend werden Seen der pleistozänen Sandlandschaften Nordwestdeutschlands bisher als natürlicherweise sauer, nähr- und mineralstoffarm klassifiziert. Daneben werden in der Literatur als Sonderform der sauer-oligotrophen Wasser dystrophe Gewässer als huminsauer und nährstoffarm definiert. Für Nordwestdeutschland sind sie ursprünglich nur über huminsauren *Sphagnum*-Torfen in Hochmoorlandschaften beschrieben. Beispiele sind das „Kleine und Große Tate-Meer“ (DITTRICH 1977, EGGELSMANN 1977). Heute kommen sie nach POTT (1983a, 1996) außerdem innerhalb der Kulturlandschaft als flache Heideweiler und Kolke vor, wie sie auch aus dem NSG zahlreich bekannt sind (TERLUTTER 1995). Die Trophie-Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“, die zwar von einem oligotrophen Pionierstadium ausging, sich aber in schneller Sukzession zu einem dystrophen Gewässertyp entwickelte und in seiner gesamten, weiteren Genese durch einen äußerst hohen Humiditätsgrad charakterisiert wurde, stellt die Dystrophie als natürlichen Nährstofftyp nordwestdeutscher Seen auch außerhalb von Hochmooren zur Diskussion.

Vor dem Hintergrund der Landschafts- und Entstehungsgeschichte des „Großen Heiligen Meeres“, das in einer geschlossenen Erlenwaldlandschaft einbrach, liegt eine starke Huminsäure-Infiltration aus dem ausgedehnten Niedermoor der „Meerbecke-Niederung“ auf der Hand. Bereits SCHROEDER (1956) betonte den eutrophierenden Einfluss der nordöstlich angrenzenden Torfe. Die Dystrophierung, die von dem Niedermoor ausging, hat die Trophie und Ökologie des „Großen Heiligen Meeres“ doch noch maßgeblicher beeinflusst. Während die Existenz dystropher Seen aus dem Einzugsgebiet großer Niedermoores heute für Mitteleuropa nicht bekannt ist, werden sie bei zahlreichen skandinavischen Autoren von VAN POST & GRANLUND (1926) und NAUMANN (1930) über JÄRNEFELDT (1958) und RYHÄNEN (1968) bis KESKITALOK & ELORANTA (1999) beschrieben.

Der biologischen Humifizierung bei neutralen pH-Werten und relativem Nährstoffreichtum in Niedermoores und den meisten terrestrischen Böden steht nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989) die abiologische Humifizierung gegenüber. Bei dieser werden Humin- und Fulvosäuren infolge niedriger pH-Werte, Nährstoffmangel, der Anwesenheit von Hemmstoffen sowie anaeroben Verhältnissen durch eine herabgesetzte biologische Aktivität und einem langsamen mikrobiellen Abbau organischer Substanzen selektiv

angereichert. Diese Art der Huminstoffanreicherung ist in Hochmooren und nach HESSEN & TRANVIK (1998) gleichermaßen in aquatischen (dystrophen) Systemen gegeben. Demnach spielte die autochthone Huminstoff-Bildung im frühen „Großen Heiligen Meer“ eine große Rolle. Voraussetzung war demnach neben den sauer-nährstoffarmen Bedingungen, die im pleistozänen Umfeld natürlicherweise gegeben waren, und der Existenz des Hemmstoffes Eisen, dem ein eigenes Kapitel „Siderotrophie“ gewidmet ist, ein reduziertes Milieu. Für das Redoxpotential von Gewässern sind einerseits die Morphometrie und Größe verantwortlich, d.h. insbesondere das Verhältnis von Fläche/Tiefe, auf dem der atmosphärische Sauerstoffeintrag und die Sauerstoffverteilung bzw. das Verhältnis Epi-/Hypolimnion beruhen. Andererseits sind die Sauerstoffverhältnisse der Grund- und Oberflächenwasser, die den See bei seiner Entstehung füllten bzw. langfristig mit dem Seewasser in Kommunikation stehen, von entscheidender Bedeutung. Das Redoxpotential des oberflächennahen Grundwassers wird nach POTT et al. (1998) wesentlich von den Bodenverhältnissen und der Vegetation bestimmt. So werden in Nordwestdeutschland die originären, klimazonalen Waldlandschaften und ihre anthropogenen Ersatz- und Offenlandschaften durch ein oxidiertes Grundwassermilieu ausgezeichnet. Die azonalen Feuchtwälder und Hochmoore dagegen werden von reduzierten Grundwässern charakterisiert. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass nicht allein das organotrophe Niedermoor im Nordosten die Dystrophierung des „Großen Heiligen Meeres“ förderte, sondern dass auch die übrigen Feuchtwälder der grundwassernahen Senkungszone des „Heiligen Meeres“, d.h. die feuchten Eichen-Birken- und Erlen-Eschen-Wälder den allochthonen und autochthonen Humin- und Fulvosäure-Eintrag in den See unterstützten. Demnach können dystrophe Gewässer auch **im Einzugsgebiet von minerotrophen Feuchtwäldern** entstehen. Dies korreliert u.a. mit der geographischen Verbreitung von Braunwasserseen innerhalb der borealen Nadelwaldzone (Skandinavien, Sibirien, Nord-Amerika) sowie der tropischen Wälder (GESSNER 1934, 1955, WALTER & BRECKLE 1990). Dabei muss mit VAHLE (1990) auf den klimatischen Einfluss hingewiesen werden, nach dem oligotrophe Gewässer in arktisch und borealen Zonen lange Bestand haben, während sie in der gemäßigten (und natürlich tropischen) Zone durch eine verstärkte Biomassenproduktion zügiger eutrophieren bzw. dystrophieren.

Die Fortsetzung dieser Überlegungen führt zu dem Schluß, dass unter natürlichen Gegebenheiten **langfristig alle Gewässer zu einer Dystrophierung neigen**, in dem sie in sukzessiver Verlandung autochthone Feuchtwälder und reduzierende Milieubedingungen ausbilden. Auch hierfür liefern die vorliegenden Ergebnisse Anhaltspunkte: So wurde die Gewässerentwicklung während der wüstungszeitlichen Siedlungsdepression und lokalen Waldregeneration durch eine neuerliche sukzessive Dystrophierung gekennzeichnet, in deren Zuge sich eine dys- bis ombrotrophente *Sphagnen*-reiche Vegetation aus Kleinröhrichten, Gagelgebüsch und Birkenwäldern ausbreitete. Die Diatomeengesellschaften wurden von anspruchslosen *Eunotiaceae*-reichen *Pennales*-Biozönosen mit starker Begleitung trophie-indifferenter und säureindizierender Arten gekennzeichnet. Schließlich spiegelte auch das chemische Spektrum eine sukzessive Versauerung wider. Selbst die jüngste Entwicklung des „Großen Heiligen Meeres“, dessen Waldgürtel unter dem Naturschutz regenerierte, tendiert zu einer Versauerung, die sich auch in den pH-Werten der jüngsten Sedimente niederschlägt. Ferner wurde dieser Effekt im Zuge der markanten Veränderungen der Kieselalgen-Zönosen angedeutet (Ausbildung einer *Fragilaria crotonensis*-*Asterionella formosa*-Gesellschaft, Kap. 7.2.4.6). Mit den Ursachen der anthropogenen Versauerung (Azidifizierung), wie sie heute in einer umfangreichen Literatur besprochen wird (ALMER et al 1974, GRAHN 1976, BATTARBEE et al. 1989, JONES et al. 1989, DAM & MERTENS 1995), kann diese Entwicklung nicht allein verknüpft werden. Bezeichnenderweise sind Humifizierungstendenzen nicht an nährstoffarme Verhältnisse gebunden, sondern gingen sowohl von dem oligotrophen Initialstatus, von dem mesotrophen, wüstungszeitlichen See als auch von dem aktuell eutrophen Gewässer aus. Ent-

sprechend werden auch aus der rezent hydrologisch-vegetationskundlichen Literatur zahlreiche Übergangsformen dys-mesotropher Gewässer beschrieben und klassifiziert (POTT 1980, 1983a, POTT et al. 1996). Als weiteres Beispiel sei noch der intensiv untersuchte Wollingster See aufgeführt: Als primär oligotrophes Gewässer stellt er sich heute eutrophiert dar, wobei bereits dystrophierende, d.h. versauernde und sauerstoffzehrende Bedingungen, in Gang gesetzt worden sind, die nach RACHOR in DIERSSEN (1992) dem natürlichen Sukzessionsgeschehen entsprechen.

Ergänzend muss zur Diskussion gestellt werden, ob die klassische Verlandungssukzession „oligo-, meso-, eutroph“ für die Gewässer der natürlichen Niederungslandschaften Nordwestdeutschlands tatsächlich originär ist, oder ob Oligotrophie nicht nur ein kurzes Pionierstadium der natürlich verbreiteten dystrophen Gewässer darstellt. Auch VAHLE (1990) betont, dass der Mensch oligotrophe Gewässer günstig beeinflusste bzw. deren Entstehung erst ermöglichte. So wie die Hochmoore mit ihren Gewässern aus der heutigen Kulturlandschaft nahezu verschwunden sind, so wurden demzufolge auch die dystrophen Seen mit den natürlichen und naturnahen Niederungslandschaften (Bruch- und Feuchtwälder) aus dem Landschaftsbild verdrängt bzw. im Zuge der anthropogenen Überformung der Landschaft durch huminsäurearme Gewässer ersetzt. **Oligotrophe Gewässer stellen somit zumindest teilweise anthropozoogene Ersatzsysteme dystropher Gewässer dar**, die als zunehmend seltene Elemente der historischen Kulturlandschaft allerdings nicht weniger bedeutend für die Biotop- und Artenvielfalt sind. So vollzog sich am „Heideweiher“ in den letzten Jahren der in Kap. 2.3.1 beschriebene Wechsel von oligo- nach dys-mesotroph, der mit dem Verschwinden der *Lobelia*- und *Littorella*-Bestände und der Ausbreitung von Torfmoosdecken einherging (DIERSSEN 1972, HOFMANN in DIERSSEN 1998). Auch der tiefe, originär oligotrophe „Erdfallsee“ war ursprünglich ein reines Heidengewässer und Element der Kulturlandschaft. Im Zuge der naturnahen Vegetationsentwicklung und Waldregeneration innerhalb des Schutzgebietes neigt er heute unter Verdrängung der oligotraphenten Vegetation und Ausbildung von Dygyttien zur Dystrophierung.

Diese These wird auch von dem **vegetationsgeschichtlichen Hintergrund** gestützt. So erfaßte die Verbreitung oligotropher Gewässer während der holozänen Landschaftsentwicklung in erster Linie die Offenlandschaften des Spätglazials. So weisen Pollenanalysen spätglazialer Seesedimente, wie sie von LANG (1954), GÖTTLICH (1957), AVERDIECK & DÖBLING (1959), GODWIN (1960), BERGLUND (1966), WELTEN (1967), DIGERFELDT (1972), STRAKA (1975), CASPERS (1993) sowie MERKT & KLEINMANN und MÜLLER & KLEINMANN, beide in DIERSSEN (1998), durchgeführt wurden, hauptsächlich Florelemente einer oligotraphenten Vegetation mit Pollentypen wie *Isoetes*, *Littorella* und *Myriophyllum alterniflorum* auf. Während diese Arten in den Gewässern der postglazialen Waldlandschaften selten nachgewiesen wurden, tauchten sie im Zuge der weiteren Vegetations- und Florengeschichte gehäuft erst wieder in der historischen Kultur- und Offenlandschaft auf, wo sie insbesondere die primär oligotrophen Heideweiher und -seen prägten (VAHLE 1990). Entsprechendes gilt auch für das Vorkommen einiger Grünalgen (u.a. *Pediastrum krawaiskyii*) und Diatomeen (JANKOWSKA & KOMAREK 1982, KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986-91). Somit besteht eine Homologie zu der Ausbreitung zahlreicher terrestrischer Elemente des Spätglazials in der subatlantischen Kulturlandschaft (z.B. *Centaurea cyanus*, *Artemisia* sp., *Chenopodium* sp. u.v.a.). Die Pollenspektren atlantischer bis mittelsubatlantischer Sedimente zeigen dagegen eher das Bild einer dys-meso- bis eutraphenten Vegetation aus *Nymphaea*, *Nuphar*, *Potamogeton*, *Polygonum amphibium* u.a. Wasserpflanzen sowie den typischen Röhricht- und Riedpflanzen, die alle einen hohen Grad an Humidität tolerieren. Daneben waren Gattungen wie *Ceratophyllum*, *Najas* und *Trapa*, deren Rückzug nach LANG (1994) primär auf klimatische Ursachen zurückzuführen ist. Sie sind zudem jedoch gleichfalls meso-eutraphente Pflanzen, die insbesondere über humosen Schlammböden wachsen (OBERDORFER 1989). Gleichermäßen

zeigte sich in der Diatomeensukzession oftmals die Ablösung einer reichhaltigen, oligotraphenten Spätglazialflora durch das Auftreten lediglich vereinzelter *Pinnularia*- und *Surirella*-Arten (s. MÜLLER & KLEINMANN in DIERSSEN 1998), die auf extreme Bedingungen innerhalb von Braunwasserseen hinweisen.

Stellt man die Prozesse der sukzessiven Gewässerverlandung gegenüber, so erweist sich die **Dystrophie als genetisch und ökologisch eigenständiger Trophiestatus**, der nicht nur der Oligotrophie, sondern der gesamten progressiv trophischen Entwicklung von oligo- nach eutroph gegenübergestellt werden muss. So wie die Ökologie siderotropher Gewässer primär durch Eisen geprägt wird, so werden dystrophe Gewässer zu allererst durch Huminstoffe charakterisiert und ihr Mineral- und Nährstoffhaushalt von deren Chemie dominiert. In seiner reinen und originären Form entspricht der dystrophe Typus dem „unterernährt“, huminsaurer See aus der klassischen Seentypenlehre (NAUMANN 1921, 1930). Tatsächlich existiert er heute überwiegend als Zwischenform humusreicher Seen, die durchaus einen erhöhten, anthropogenen Nährstoffgehalt einen gewissen Organismenreichtum innehaben. Der dystrophe See i.e.S. verlandet bei nahezu fehlender Eutrophierung des Wasserkörpers einerseits durch Grobdetritusakkumulation und Torfmoosdecken (Litoral: Grobdetritusdy), andererseits vor allem durch Huminstoffakkumulation infolge eines unvollständigen Abbaus der eingetragenen Substanz und einer Komplexierung von Mineral- und Nährstoffen (Pelagial: Seedy n. NAUMANN 1930). So tritt die Ähnlichkeit zum eutrophen See in den Vordergrund, der über litorale Schwingrasenbildung und Detritus- bzw. pelagische Sapropelablagerung verlandet. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) definieren Sapropel als „schwarze Faulschlammböden, die reich an Metallsulfiden, Schwefelwasserstoff-, Methan- und Wasserstoffbildung sind und unter anaeroben Verhältnissen in äußerst sauerstoffarmen und zugleich nährstoffreichen Gewässern gebildet werden“. Im „Großen Heiligen Meer“ sind nun aber die huminstoffreichen „Gelmudden“ im Sinne von GODWIN (1938 zit. n. FAEGRI & IVERSEN 1989) reich an Eisensulfiden und Schwefelwasserstoffen, die auf eine streng anaerobe, sapropelische Bodengeneese eines eutrophen Gewässers deuten, während zugleich Humidität, Planktonarmut sowie geringe Zersetzung allochthoner Pflanzenreste einer dys-mesotrophen Vegetation die Zuordnung zu einem Dy, d.h. die Existenz eines dystrophen Gewässers untermauern. So wie die aktuelle Bearbeitung der Unterwasserböden und insbesondere die Differenzierung von Dy und Sapropel nach BODEN AG (1994) und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) noch aussteht, muss daher auch die Stellung der Dystrophie in der Limnologie im allgemeinen in diesem Sinne weiterhin diskutiert werden. Die Gegenüberstellung der Charakteristika der Trophie-Typen in Tab. 9 soll dafür einen Ansatzpunkt geben.

### 8.2.1.3 Siderotrophie

Die Siderotrophie des „Großen Heiligen Meeres“ wurde seit KRIEGSMANN (1938) immer wieder diskutiert (WEICHEL 1985). Die Untersuchungen zeigten, dass Eisen insbesondere während der mittelalterlichen Genese als Indikator der lokalen Subrosionsprozesse fungierte, die hohe Eisenfrachten in dem See bedingten. Somit ist das starke Ausmaß der Siderotrophie eng mit der besonderen Erdfallgeologie des „Großen Heiligen Meeres“ verbunden und nicht generell auf Stillgewässer Nordwestdeutschland übertragbar.

Während der Neuzeit wurde vor allem die Meerbecke mit ihren hohen Schwermetallfrachten für die hohen Eisenkonzentrationen des „Großen Heiligen Meeres“ verantwortlich gemacht. Nach wie vor hohe Gehalte auch nach Umlegung des Baches zeigen jedoch, dass dieser nicht allein für die einst enorm hohen Frachten von bis zu  $44 \text{ mg/cm}^3$  Eisen verantwortlich war. Vielmehr trägt auch das eisenreiche Grundwasser der pleistozänen Sande (Ortsteinbildung!) und die Lage am Niedermoor (Raseneisenstein und Eisenocker), wo Huminstoffe den Eisentransport fördern, von jeher zur Siderotrophie bei. In diesem Sinne sind die Erkenntnisse zur Siderotrophie auch regional von Bedeutung.

Trophie-Typ	Dystroph	Sauer-Oligotroph	Eutroph
Natürliche Vorkommen innerhalb Mitteleuropas	Hochmoore, Waldlandschaften	als Pionierstadien u. in natürlichen Offenlandschaften mit Ausnahme von Hochmooren	ältere Seen im fortgeschrittenen Verlandungsstadium vor dystrophen Endstadium
Vorkommen in der Kulturlandschaft	Heideweiler und Kolke	Heideseen	Seen mit anthropogenen Nährstoffeintrag
Geographische Verbreitung	boreale Nadelwaldzone, gemäßigte Laubwaldzone, tropische Wälder	arktisch-alpine Zone, Steppen	nicht begrenzt
Hauptphase der Existenz während des Postglazials	Boreal bis Mittleres Subatlantikum (Waldlandschaften)	Spätglazial und Präboreal, sowie Spätes Subatlantikum (Offenlandschaften)	Boreal bis Subatlantikum (Waldlandschaften)
Vegetation	vegetationsfreie aquatische Zone (od. emerse Torfmoosdecken), biomassenreiche amphibische u. üppige semiterrestrische Ufervegetation: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Oxycocco-Sphagnetea</i></li> <li>• <i>Caricion nigrae</i></li> <li>• <i>Frangulo-Salicetum</i></li> <li>• <i>Betulion pubescens</i> und <i>Alnetea glutinosae</i></li> </ul>	vegetationsfreie aquatische Zone, die in vegetationsarme ,amphibische und semiterrestrische Ufervegetation übergeht: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Characetea</i></li> <li>• <i>Litoretetea</i></li> <li>• <i>Myricetum gale</i></li> <li>• Ersatzgesellschaften des <i>Quercion robori-petraeae</i> u. d. <i>Betulion pubescens</i></li> </ul>	ausgeprägte, anspruchsvolle Verlandungsvegetation von aquatischer bis semiterrestrischer Zone: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Potamogetea</i></li> <li>• <i>Phragmition</i></li> <li>• <i>Magnocaricion</i></li> <li>• <i>Frangulo-Salicetum</i></li> <li>• <i>Alnion glutinosae</i></li> </ul>
Phytoplankton (Diatomeen-Vergesellschaftungen)	suboptimale Entfaltung von <i>Eunotia</i> -, <i>Pinnularia</i> - u. <i>Suriella</i> -Arten durch Lichtmangel in Braunwassern und Waldseen	optimale Entfaltung anspruchsloser Gesellschaften bei Lichtsättigung: <i>Eunotia-Pinnularia</i> -Gesellschaften	optimale Entfaltung anspruchsvoller Gesellschaften: <i>Centrales</i> -Gesellschaften
Wasserhaushalt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Trübung</b></li> <li>• <b>Leitfähigkeit</b></li> </ul>	Braunwasser durch Humin- und Fulvosäuren;	Klarwasser	durch Nährstoffe und Plankton getrübe Wasser
• <b>Eutrophierungsparameter</b>	Phosphatarmut, aber bei zunehmenden Alter dtl. Eintrag u. Rücklösung; Nitrat ist Minimumfaktor (reduz. Denitrifikation und Ammonifikation)	Nitratarmut, aber Existenz durch Eintrag u. mikrobielle Produktion (Nitrifikation); Phosphat ist Minimumfaktor (oxidative Phosphatfällung)	Phosphat- und Nitratreichtum durch sukzessive Nährstoffakkumulation

Tab. 9: Charakteristika dys-, oligo- und eutropher Gewässer.

Trophie-Typ	Dystroph	Sauer-Oligotroph	Eutroph
• <b>Basengehalt</b>	extreme Basenarmut	Basenarmut	Basenreichtum
• <b>PH-Wert</b>	sauer bis extreme sauer durch Humin- u. Fulvosäure-Eintrag: autochthon bei unvollständiger Mineralisation, allochthon aus Mooren u. bei aktiver H <sup>+</sup> -Freisetzung in <i>Sphagnen</i> -reichen Gewässern u. Litoralzonen; bei fehlendem Basennachschub u. Pufferung	sauer aufgrund eines schwachen Puffersystems	neutral bis basisch aufgrund des autochthonen Puffersystems
• <b>Redoxpotential</b>	zunehmend reduktiv: geringer O <sub>2</sub> -Eintrag in reduzierender Grundwasserlandschaft; geringer atmosphär. O <sub>2</sub> -Eintrag u. -Verteilung durch Windschutz u. Förderung der thermischen Schichtung (langwährende Stagnation)	oxidativ: erhöhter O <sub>2</sub> -Eintrag in oxidativer Grundwasserlandschaft; erhöhter atmosphärischer O <sub>2</sub> -Eintrag u. -Verteilung durch Windangriff u. Förderung der Mixis (langwährende Zirkulation)	reduktiv: erhöhte O <sub>2</sub> -Zehrung durch sukzessive Planktonentfaltung
• <b>Eisenhaushalt</b>	Fe <sup>2+</sup> in Lösung bzw. Fällung als FeS unter H <sub>2</sub> S-Bildung und Wassertrübung (Kopplung von Dys- und Siderotrophie)	Fe <sup>3+</sup> -Fällung als Eisenphosphat, d.h. Wassertrübung durch Ausflockung	Fe <sup>2+</sup> in Lösung bzw. Fällung als FeS unter H <sub>2</sub> S-Bildung und Wassertrübung
<b>Sediment</b>	Dy: stark humose Grobdetritusmudden in Flachgewässern und in Litoralbereichen, Gelmudden in tiefen Gewässern	Protopedon: mineralreiches, detritusarmes Sediment	Gytia (Mittel- und Feindetritusmudden) sowie Sapropel, je nach Eutrophierungsgrad
<b>Sedimentchemismus</b>	nähr- und mineralstoffreich: Huminstoffakkumulation und Ionenbindung in Form von Humatkomplexen	nähr- und mineralstoffarm	nähr- und mineralstoffreich
<b>Sedimentation und Verlandung</b>	schnelle Sedimentation bei geringer Eutrophierung des Wasserkörpers aber großer allochthoner Produktion, durch unvollständigen Abbau und Komplexierung im Gewässer	langsame Sedimentation durch ox. Mineralisation, dadurch Freisetzung der Nähr- u. Mineralstoffe ins Wasser und sukzessive Eutrophierung des Wasserkörpers	schnelle Sedimentation aufgrund Eutrophie und hoher Biomassenproduktion, durch unvollständigen Abbau im reduzierten Hypolimnion und starker Detritusbildung

Ergänzend zu der bekannten Kopplung der Eisen- und Phosphat-Kreisläufe und deren besonderer Bedeutung im jahreszeitlichen Gang des Stillwasser-Ökosystems sei hier auf die Rückkopplung des Eisenhaushaltes mit dem Sauerstoffregime und der Humidität und deren Einflussnahme auf die Biozönosen des Gewässers hingewiesen:

So kommt die eisengekoppelte, zyklische Phosphatfällung und -rücklösung nur in dimiktischen Seen, die in der Jahres- und Schichtungsbilanz aerobe Verhältnisse aufweisen, soweit zum Tragen, dass das Sediment zur Phosphatfalle wird und Eisenflocken das Gewässer trüben. In anaeroben Seen überwiegt die Phosphat-Freisetzung, während Eisen in Form von Pyrit festgelegt wird. Zugleich wird durch Schwefelwasserstoff-Freisetzung das Redoxpotential weiter herabgesetzt und lebensfeindliche schwefelsaure Bedingungen produziert.

Diese Verhältnisse werden in dystrophen Seen mit ihrem anaeroben Milieu gefördert, so dass eine enge Kopplung von Dys- und Siderotrophie besteht und sich beide gegenseitig verstärken. Dies um so mehr, als der Eisen-Kreislauf eng mit dem Huminstoff-Kreislauf verknüpft ist. Einerseits fungieren hohe Eisenkonzentrationen als Hemmstoffe der Dissimilation und fördern dadurch die Humifizierung. Andererseits gehen Huminstoffe Komplexbildungen mit Eisen ein und sind somit wesentlich am Eisentransport beteiligt. In diesem Sinne ist auch eine enge Korrelation von pH-Wert und Eisenkonzentrationen im mittelalterlichen „Großen Heiligen Meer“ zu verstehen.

### 8.2.2 Anthropogener Einfluss auf die Nährstoffentwicklung

Die allgemeine und deutliche Korrelation von Siedlungsgeschichte und anthropogen beschleunigter Eutrophierung eines Gewässers kann schließlich bestätigt werden. Neben den klimatischen und geogenen Faktoren stellt der Mensch also einen wesentlichen Faktor dar, der das natürliche Geschehen im Ökosystem See tiefgreifend beeinflusste. Dabei lässt sich wohl die Regel herausstellen, dass während der Siedlungsphasen des Mittelalters und der Neuzeit ein eutrophierender Einfluss wirkte, während mit den Wüstungsphasen und Siedlungsdepressionen jeweils eine Stagnation oder gar Regression der Trophierung verknüpft werden konnte. Über die regionale Landschafts- und Siedlungsgeschichte hinaus waren jedoch stets die ganz lokalen Einflussnahmen des Menschen für die Limnogenese von Bedeutung, die auch konträr zum allgemeinen Gang der Geschichte stehen konnte. In diesem Sinne stellte die Anlage eines künstlichen Vorfluters am „Großen Heiligen Meer“ während der frühneuzeitlichen Wüstungsphase 1616 einen wesentlichen und nachhaltig wirkenden Eingriff in das Stillwasser-Ökosystem dar (historische Grenzkarte 1616/1747). Überhaupt korrelierte die Nährstoffakkumulation am Beispiel des „Großen Heiligen Meeres“ in deutlichen Schüben mit der Anlage bzw. dem jeweiligen Ausbau der Entwässerungsgräben, die somit ein Maß der lokalen Niedermoorerschließung darstellten.

Hinter der anthropogenen Einflussnahme steht auf der einen Seite die vielfach diskutierte beschleunigte Eutrophierung und Belastung von Gewässern seit der Industrialisierung Mitte des 19. Jahrhunderts und forciert seit dem Wirtschaftsaufschwung nach dem II. Weltkrieg. So wurde der langfristige Prozess der natürlichen Eutrophierung in den letzten beiden Jahrhunderten zunehmend anthropozogen gestört, so dass die Eutrophierung heute hauptsächlich als ein Vorgang der künstlich erhöhten Nährstoffzufuhr verstanden wird, der die Gewässerverlandung massiv beschleunigt. Über die direkte Zufuhr von Düngemitteln, Salzen, Schwermetallen sowie organischen Substanzen aus häuslichen, industriellen und landwirtschaftlichen Abwässern hinaus verursachen nach PUST (1993) sehr viel häufiger Nährstoffeinträge über die Grund- und Oberflächenwasser einer insgesamt eutrophierten Agrarlandschaft einen erhöhten Nährstoff-Input.

Andererseits war der Mensch den vorliegenden Ergebnissen nach bereits seit dem Mittelalter wesentlich an der Trophie-Entwicklung von Gewässern beteiligt. Die anthropogene

Einflussnahme war dabei in erster Linie auf indirekte, d.h. standortdifferenzierende Eingriffe im Einflussbereich des Sees zurückzuführen (Rodung sowie Feucht- und Streuwie-sennutzung bzw. Weide bis in unmittelbare Ufernähe). Sicherlich gingen diese indirekten Einwirkungen in Korrelation zur jeweils lokalen Siedlungsgeschichte andernorten auch bis in die prähistorische, zumindest eisenzeitliche Epoche zurück.

Die indirekte Einflussnahme des Menschen in historischer Zeit war damit primär auf die zunehmend **anthropogene Landschaftsöffnung** zurückzuführen, die sich folgendermaßen auf das Ökosystem See auswirkte:

- Erstens öffnete sich mit dem Vorstoß an die Ufer der Waldgürtel des einstmals schattigen Waldsees, wodurch der Lichteinfall vergrößert und die Vegetationsentfaltung, sowohl der Makrophyten als auch des Phytoplanktons, gefördert wurde. Entsprechend expandierten während der hochmittelalterlichen Ufererschließung im 13. Jh. die Seerosendecken am „Großen Heiligen Meer“ und ging mit der systematischen Nieder-moorschließung im 18. Jh. die Ausbreitung von Algenblüten einher. Beide Entwick-lungen waren mit einer starken Phosphatakkumulation als Eutrophierungsindikator verbunden.
- Zweitens war mit der Rodung der Niederungswälder ein Eingriff in das lokale Wasser-regime verbunden, der nach POTT (1998) den Sauerstoffhaushalt der lokalen Grund-wasserlandschaft und damit auch des eingebetteten Sees nachhaltig änderte. Gemäß dem dargestellten Beispiel des „Großen Heiligen Meeres“ hatte dies eine Oligotro-phierung und somit einen entscheidenden Wechsel in der Trophie-Entwicklung des ori-ginär dystrophen Gewässers zur Folge.
- Drittens war mit dem Eingriff in das lokale Wasserregime eine Abnahme der Humidität durch Förderung der oxidativen Mineralisation eng verknüpft. Sie unterstützte glei-chermaßen die Oligotrophierung des Gewässers.
- Viertens förderte auch die erhöhte Winddynamik, die mit der Wald- und Land-schaftsöffnung verbunden war, durch Turbulenz und miktische Zirkulation die Sauer-stoffverteilung im Wasser. In diesem Sinne unterstützte sie den Trophiewechsel.
- Fünftens war mit der Rodung des lokalen Waldgürtels auch eine Vergrößerung des Ein-zugsgebietes des Sees gegeben. Mit der allgemeinen Landschaftsöffnung und Extensi-vwirtschaft in historischen Zeiten war nun eine zunehmende Landschaftsverödung und Auslaugung der Böden verbunden, die wiederum eine regionale Oligotrophierung des Grundwassers und in Folge des Seewassers bewirkte. Umgekehrt ergab die Öffnung des Sees in jüngerer Zeit eine vergrößerte „Angriffsfläche“ für eutrophierende Nähr-stoffströme.

Ein ebenso wesentlicher Eingriff in die Ökologie eines Stillgewässer stellte die Anlage von zu- bzw. abführenden Entwässerungsgräben dar. Während diese das „Große Heilige Meer“ seit dem 16. Jh. durchflossen, reichte die erste Anlage von Gerinnen in Nordwest-deutschland nach FINKE (1995) bis in das Frühmittelalter zurück. Die schubweise Limno-genese des „Großen Heiligen Meeres“, die z.T. unmittelbar mit der Anlage und dem Aus-bau des Grabensystems einherging, unterstreicht dabei deren ökologische Bedeutung. Dabei entsprachen die Auswirkungen dieser künstlichen Fließgewässer den Einwirkun-gen natürlicher Fließgewässer:

- Erstens entwässerten sie das Einzugsgebiet des Sees und stellten somit einen Eingriff in das lokale Wasserregime dar, dessen Auswirkungen z.T. bereits oben im Rahmen der anthropogenen Landschaftsöffnung besprochen wurden. Darüber hinaus wurde durch Entwässerungen das lokale Moorwachstum beendet, was wiederum Dystrophierungstendenzen Einhalt gebot. Am „Großen Heiligen Meer“ war dies einerseits mit einem Abbruch der *Myrica gale*-Ausbreitung an den Seeufnern verbunden, zum anderen mit

einer Ablösung der acidophilen Diatomee *Frustulia rhomboides* var. *saxatile* durch die neutrophile Art *Amphipleura pellicula*.

- Zweitens brachten sie eine Veränderung der Strömungsverhältnisse innerhalb des Gewässers mit sich, die auf den innerlimnischen Stofftransport einwirkte, das thermische Verhalten des Sees beeinflusste und schließlich auch für die organismische Besiedlung und Einnischung von Bedeutung war.
- Drittens war mit dem Einbezug des Stillgewässers in das regionale Entwässerungssystem auch eine Vergrößerung des Einzugsgebietes und eine Öffnung des relativ geschlossenen Ökosystems See gegenüber seinem Umfeld verknüpft. In der Regel erhöhen die Fließgewässer somit die Mineral- und Nährstofffrachten in den See und stellen somit einen Eutrophierungs- und Belastungsfaktor dar, wie es auch am „Großen Heiligen Meer“ beobachtet wurde. Über die Zufuhr natürlicher Mineral- und Nährstoffe hinaus fungieren Fließgewässer auch als Vermittler direkter anthropogener Stoffeinträge in den See, deren Anfänge über das Zeitalter der Industrialisierung mindestens zu den Anfängen des Bergbaus zurückreichen. Am „Großen Heiligen Meer“ waren dementsprechend vor allem die erhöhten Kalkfrachten aus dem Uffelner Bergbau von nachhaltiger Bedeutung. Seit dem 17. Jh. hatten sie einen nachhaltigen, neutralisierenden Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt des Sees. Der zumeist progressiv, beschleunigenden Reaktion kann je nach Ursprungsgebiet des Fließgewässers auch die Förderung einer regressiven Trophie-Entwicklung gegenüberstehen. Ein solcher Oligotrophierungseffekt war am „Großen Heiligen Meer“ durch den Verbindungsgraben zum „Erdfallsee“ gegeben. Der Zustrom oligotrophen Heidewassers ermöglichte eine vorübergehende Expansion von Strandlings-Rumpfgesellschaften und *Tabellaria flocculosa-Fragilaria capucina*-Diatomeenzönosen in dem bereits eutrophen See des beginnenden 20. Jh.. Über eine lokale Standortdifferenzierung am einleitenden Ufer hinaus erfasste die Oligotrophierung das gesamte Gewässer, dessen Elektrolytwerte rapide abfielen.
- Viertens schufen Fließgewässer jedoch auch eine Durchflusssituation, so dass neben dem Stoffeintrag auch ein Abfluss stattfand.

Zusammenfassend konnte die Einflussnahme des Menschen nicht nur beschleunigend auf die Eutrophierung einwirken und die Gewässerbelastung durch Salze, Schwermetalle und Versauerung erhöhen. Im Gegenteil konnte die Extensivnutzung der mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Kulturlandschaft auch zu einer regressiven Vegetations- und Nährstoffentwicklung der Gewässer führen. Vor allem beeinflusste sie jedoch die Mineralisationsprozesse und den Humiditätsgrad der Gewässer und bewirkte somit einen Wechsel von der dystrophen Verlandungssukzession zur oligo-, meso-, eutrophen Verlandungsreihe. Schließlich führte die anthropogene Standortdifferenzierung zu einer Nischen- und Artenvielfalt innerhalb des Biotops.

### 8.2.3 Ausblick

Als Ausblick seien vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit einige abschließende Gedanken zur Bewertung bisheriger bzw. Empfehlung künftiger Naturschutzmaßnahmen im NSG „Heiliges Meer“ aufgeführt, die gleichermaßen auch auf andere Gewässer Nordwestdeutschlands übertragen werden können:

Will man die Einzigartigkeit des **oligotrophen „Erdfallsees“** schützen, sollte auf die Wahrung seines „Heidesee“-Charakters geachtet werden. Die heutigen Naturschutzmaßnahmen konzentrieren sich primär auf den Schutz vor der Eutrophierung von Seiten der Agrarlandschaft. In diesem Sinne war das Aufkommen des umgebenden Waldes nicht nur im Zuge einer natürlichen Sukzession, sondern auch als Pufferzone wünschenswert. Die naturnahe Entwicklung und Waldregeneration leitete aber zugleich die Dystrophierung

des Gewässers ein. Das bedeutete einerseits zwar eine natürliche Stagnation nährstoffarmer Bedingungen, andererseits aber auch eine zunehmende Beschattung und allmähliche Ausbildung eines reduktiven, huminsauren Milieus. All dies äußert sich heute schon im Verschwinden der typisch oligotraphenten *Littorelletea*-Vegetation, die also nicht nur durch die nach wie vor anthropogene Eutrophierung im Zuge nährstoffreicher Grundwasserzuströme verdrängt wird (POTT 2000).

Bei seiner Entstehung stellte der „Erdfallsee“ ein Element der offenen Kulturlandschaft dar. Die Bedeutung des extensiv bewirtschafteten Offenlandes, d.h. sowohl der Heiden, als auch des extensiven Feuchtgrünlandes wurde von BANGERT & KOWARIK (2000) bereits erkannt und sollte künftig weiter unterstrichen werden. Nur in einer lokalen Offenlandschaft mit vorherrschend oligotrophen und sauerstoffreichen Grundwassern und einer mixisfördernden Winddynamik geben unterstützende Maßnahmen, wie die Entfernung von Torfschlämmen und die Freilegung von Uferbänken zur Wiederansiedlung einer isoetiden Vegetation, einen Sinn.

Am „**Großen Heiligen Meer**“ liegt der Fall anders. Die Betonung des Naturschutzes zielte zwar auch hier primär auf die Einschränkung der anthropogen beschleunigten Eutrophierung und Wahrung des meso-eutrophen Zustandes. Die natürliche Entwicklung des Gewässers verlief jedoch von jeher in Richtung einer dystrophen Sukzession. Dementsprechend ist auch die aktuelle, tendenzielle Dystrophierung eine Folge der Naturschutzmaßnahmen der letzten Jahrzehnte, die insbesondere durch die Regeneration des Waldgürtels sowie durch die Umlegung der Meerbecke eingeleitet wurden. Es wurden jedoch nicht nur die nährstoffreichen, fluviatilen Frachten in den See erfolgreich unterbunden, sondern zugleich auch die Einträge basischer Puffersubstanzen in das Gewässer verringert. Somit sank die Pufferkapazität des „Großen Heiligen Meeres“, die nach einigen Jahren der Zehrung nicht mehr ausreichte, die Versauerung zu kompensieren. Zudem veränderten sich die Wind- und Strömungsdynamik und damit die Oxidationsvorgänge im See, wie auch POTT et al. (1998) beobachteten. Über die verstärkte autochthone Produktion organischer Säuren im anaeroben Seemilieu hinaus wurde die allochthone Huminsäure-Infiltration im Zuge der Wiedervernässungsmaßnahmen und erneut einsetzender Torfbildung begünstigt.

Die sog. „mesotrophe Stelle“, die als Schneise in den Waldgürtel geschlagen wurde, um den potentiellen Windangriff zu erhöhen und einen oligotrophen Grundwasserzstrom von Seiten der westlichen Heiden zu schaffen, ist offensichtlich nicht ausreichend, um dieser Entwicklung entgegenzuwirken. Nach HAGEMANN et al. (2000) weist sie heute vielmehr ebenfalls dys-mesotrophe Züge auf. Die Entwicklung ist also auf einem naturnahen Wege, der zu einer trophischen Stagnation des Gewässerhaushaltes führen wird, aber auch zu einer relativen Artenverarmung und schnellen Verlandung des Sees über Dyablagungen.

Dieser naturnahen Sukzession entgegenzusteuern hieße, den heutigen Charakter des „Großen Heiligen Meeres“ erneut vollständig zu verändern und den See zumindest teilweise einem ufernahen, extensiven Heide- und Wirtschaftsgrünland zu öffnen, d.h. ansatzweise die Situation des 18. bis frühen 20. Jh. zu rekonstruieren. Dies würde allerdings dem eutrophierenden Einfluss, insbesondere dem Stickstoffeintrag aus der umgebenden Agrarlandschaft einen erneuten Vorschub leisten.

Zusammenfassend ist es für den künftigen Naturschutz daher vor allem wichtig, zwischen der Natürlichkeit von Gewässern und ihrer Bewahrung als Elemente der historischen Kulturlandschaft zu differenzieren und im einzelnen über die jeweilige Zielvorstellung zu entscheiden. So gilt es, im Zuge der regulierenden und steuernden Maßnahmen zwischen der Schaffung von Pufferzonen gegen eine direkte anthropogene Eutrophierung und Belastung einerseits und der Wahrung kulturhistorischer Strukturen andererseits auszubalancieren und eine maximale Erhöhung der Biotopdynamik zu erzielen.

## 9 Literatur- und Kartenverzeichnis

### 9.1 Literatur

- AABY, B. & B.E. BERGLUND (1986): Characterization of peat and lake deposits. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 231-246 (6 fig., 2 tab.), Chichester (J. Wiley).
- AABY, B. (1988): The cultural landscape as reflected in percentage and influx pollen diagrams from two Danish ombrotrophic mires. - in: BIRKS, H.H. et al. (ed.): The cultural landscape - past, present and future. - 209-229, Cambridge.
- AG BODEN der Geologischen Landesämter der BRD und der BGR (o.J.): Die Analyseverfahren für Boden- und Pflanzenuntersuchungen. - unveröff. Manuskript.
- AG BODEN der Geologischen Landesämter der BRD und der BGR, Ltg.: PÄLCHEN, W. (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Aufl., Nachdr.: 392 S. (33 Abb., 91 Tab.), Hannover (Schweizerbart).
- AGF (1994): Feuchtgrünland-Schutzgebiete des Kreises Steinfurt. Dokumentation der Vegetationsentwicklung auf Feuchtgrünland- und Sandtrockenrasen-Standorten. - Unveröff. Teilbericht III - Untere Landschaftsbehörde Tecklenburg (Kreis Tecklenburg)
- ALHONEN, P. (1967): Palaeolimnological investigations of three inland lakes in south-western Finland. - Acta Bot. Fennica **76**: 59 S., Helsinki.
- ALLES, E., M. NÖRPEL-SCHEMP & H. LANGE-BERTALOT (1991): Zur Systematik und zur Ökologie charakteristischer *Eunotia*-Arten (Bacillariophyceae) in elektrolytamen Bachoberläufen. - Nova Hedwigia **53**: 171-213.
- ALMER, B.W. et al. (1974): Effects of acidification on Swedish lakes. - Ambio **3**: 30-36.
- ANDERSEN, S.T. (1973): The different pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of a pollen diagram from a forested region. - in BIRKS, H.J.B. & R.G. WEST (eds.): Quatern. Plant Ecol.: 109-115, Oxford (Blackwell).
- ANDERSEN, S.T. (1979): Identification of wild grass and cereal pollen. - Danm. Geol. Unders: 69-92, Arbog.
- ANDERSON, N.J. (1989): A whole-basin diatom accumulation rate for a small eutrophic lake in Northern Ireland and its palaeoecological implications. - Journ. Ecol. **77**: 926-946 (7 fig., 2 tab.).
- ANDERSON, N.J., I. RENBERG & U. SEGERSTRÖM (1995): Diatom production responses to the development of early agriculture in a boreal forest lake-catchment (Kassjön, northern Sweden). - Journ. Ecol. **83**: 809-822 (6 fig., 2 tab.).
- ANDERSSON, F. & OLSSON (1985): Lake Goardsjoen: an acid forest lake and its development. - AVERDIECK, F.-R. & H. DÖBLING (1959): Das Spätglazial am Niederrhein. - in: GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW (Hrsg.): Pleozän und Pleistozän am Mittel- und Niederrhein. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf. **4**: 341-362 (8 Abb., 3 Tab., 4 Taf.), Krefeld.
- BAECKER, P. (1982): Über die Entstehung tiefreichender Erdfälle und Höhlensysteme. - Abh. Karst- u. Höhlenkde. Rh. A, H. **19**: 82 S. (8 Abb.), München.
- BANGERT, U. & I. KOWARIK (1998): Ansatz der Naturschutzplanung für die Gewässerlandschaft „Heiliges Meer“. - in: POTT, R. (Hrsg.): Stickstoffbelastungen der Gewässerlandschaft im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt) und Möglichkeiten landesplanerischer Gegensteuerung. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **60**(2): 111-127 (6 Abb., 2 Tab.), Münster.
- BANGERT, U. & I. KOWARIK (2000): Naturschutzplanung für das NSG „Heiliges Meer“ und die umgebende Agrarlandschaft (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). - in: POTT, R. (Hrsg.): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). - Abh. Westf. Mus. Naturk., **62** (Bh.): 273-397, Münster.
- BARTH, E. (1995): Pflanzensoziologische und pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung in der Meerbecke-Niederung im Erdfallgebiet „Heiliges Meer“ (Westfalen). - Unveröff. Diplomarbeit Inst. Geobot. Univ. Hannover: 120 S., Hannover.
- BARTH, E. & R. POTT (2000): Vegetationsgeschichtliche und paläoökologische Untersuchungen zur Trophie-Entwicklung in Stillgewässern der pleistozänen Sandlandschaft Norddeutschlands. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **62** (Bh.): 15-39 (3 Abb., 3 Fbl.), Münster.
- BARTH, E. (2001): Trophie-Entwicklung eines nordwestdeutschen Stillgewässers unter dem Einfluss von Landschafts- und Siedlungsgeschichte - Paläoökologische Untersuchungen zur Vegetations- und Nährstoffentwicklung am Erdfallsee „Großes Heiliges Meer“ (Westfalen).- Diss., Inst. f. Geobotanik, Univ. Hannover: 203 S. (30 Abb., 9 Tab., 4 Fbl.), Hannover.
- BATTARBEE, R.W. (1986): Diatom Analysis. in: BERGLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Pala-

- eoecology and Palaeohydrology: 527-570 (20 fig., 2 tab.), Chichester (J. Wiley).
- BATTARBEE, R.W. et al. (1989): Causes of lake acidification in Galloway, South-West Scotland: a palaeoecological evaluation of the relative roles of atmospheric contamination and catchment change for two acidified sites with non-afforested catchments. - *Journ Ecol.* **77**: 651-672 (11 fig.), London.
- BAYLISS, P. (2000): Glossary of obsolete mineral names. - 235 p., Tucson (Min. Rec.).
- BEHRE, K.-E. (1970): Die Entwicklungsgeschichte der natürlichen Vegetation im Gebiet der unteren Ems und ihre Abhängigkeit von den Bewegungen des Meeresspiegels. - *Probleme der Küstenforschung* **9**: 13-48, Hildesheim.
- BEHRE, K.-E. (1976): Beginn und Form der Plaggenwirtschaft in Nordwestdeutschland nach pollenanalytischen Untersuchungen in Ostfriesland. - *Neue Ausgr. u. Forsch.* **10**: 197-224.
- BEHRE, K.-E. (1980): Zur mittelalterlichen Plaggenwirtschaft in Nordwestdeutschland und angrenzenden Gebieten nach botanischen Untersuchungen. - *Abh. Akad. Wiss. Göttingen* **3**: 30-40.
- BEHRE, K.-E. (1981): The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. - *Pollen et Spores* **23**: 225-245, Paris.
- BEHRE, K.-E. (1983): An interdisciplinary research project on the development of landscape, prehistoric settlements and the history of vegetation in the NW German Lowlands. - *Quatern. Stud. Poland* **4**: 223-228.
- BEHRE, K.-E. (ed., 1986): Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams. - Rotterdam (Balkema).
- BEHRE, K.-E. (1987): Der Anstieg des Meeresspiegels in den letzten 10000 Jahren. - *Dok. Wilhelmshavener Tage 10 / 1985*: 13-26 (3 Abb., 8 Fot.), Wilhelmshaven (Brune).
- BEHRE, K.-E. (1988): The role of man in European vegetation history. - In: HUNTLEY, B. & T. WEBB (eds.): *Vegetation history*. 633-672, Dordrecht.
- BEHRE, K.-E. & D. KUCAN (1986): Die Reflektion archäologisch bekannter Siedlungen in Pollendiagrammen verschiedener Entfernungen - Beispiele aus der Siedlungskammer Flügeln, Nordwestdeutschland. - in: BEHRE, K.-E. (Hrsg.): *Anthropogenic indicators in pollen diagrams*. - 95-114 (5 Abb., 1 Tab., 2 Poll.dia.), Rotterdam - Boston (Balkema).
- BEIJERINCK, W. (1976): Zadenatlas der Nederlandsche Flora ten behoeve van de Botanie, Palaeontologie, Bodemcultuur en Warenkennis. Omvattende, naast de inheemsche Flora, onze belangrijkste Cultuurgewassen en verschillende Adventiefsoorten. - 24 S. (140 taf.), Amsterdam (Backhuys & Meesters).
- BERGLUND, B., B. BOGACZEWICZ-ADAMCZAK & G. MIOKT-SZPIGANOWICZ (1993): Vegetation history, human impact and development of the lakes in the Bory Tucholskie, Pomerania. - *Quaest. Geogr.* **15-16**: 11-22 (9 fig.), Poznan (Adam Mickiewicz Univ. Press).
- BERGLUND, B.E. & M. RALSKA-JASIEWICZOWA (1986): Pollen analysis and pollen diagrams. - in BERGLUND, B.E. (Hrsg.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*: 455-484, Chichester (J. Wiley).
- BERGLUND, B.E. (1966): Late-Quaternary vegetation in eastern Blekinge, southeastern Sweden. A pollenanalytical study. I. Late-glacial time. - *Opera bot.* **12**(1): 1-180, Stockholm/Göteborg/Uppsala.
- BERGLUND, B.E. (1979): Presentation of the IGCP Project 158B: Palaeohydrological changes in the temperate zone in the last 15,000 years - Lake and mire environments. - *Acta Univ. Ouluensis* **A 82 / Geol 3**: 39-48.
- BERGLUND, B.E. (1983): Palaeohydrological studies in lakes and mires - a palaeoecological research strategy. - in: GREGORY, K.J. (ed.): *Background to Palaeohydrology*. - 237-254, Chichester (J. Wiley).
- BERGLUND, B.E. (ed., 1986): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. - Chichester (J. Wiley).
- BERGLUND, B.E. (1986): Palaeoecological reference areas and reference sites. - in BERGLUND, B.E. (ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. - 111-126 (7 fig., 2 tab.), Chichester (J. Wiley).
- BERTSCH, K. & F. BERTSCH (1949): *Geschichte unser Kulturpflanzen*. - 2. Aufl.: 273 S., Stuttgart (Wissenschaftl. Verlagsges.).
- BESCH, W.-K. et al. (1984): *Limnologie für die Praxis. Grundlagen des Gewässerschutzes*. -
- BEUG, H.-J. (1961): *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. - Lfg. 1: 63 S. (17 Abb., 8 Taf.), Stuttgart (Fischer).
- BEYER, H. (1960): Exkursion zum „Heiligen Meer“. *Limnologischer Bericht*. - *Decheniana* **113**(2): 352, Bonn.
- BEYER, H. (1968): Versuche zur Erhaltung von Heideflächen durch Heidschnucken im Natur-

- schutzgebiet „Heiliges Meer“. - Natur u. Heimat **28**(4): 145-149, Münster/Westf.
- BEYER, H. (1969): Die Gewässer des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“, ihre Entstehung und Erhaltung. - Naturk. Westf. **5**: 123-126 (1 Abb.), Hamm.
- BEYER, H. (1973): Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Der Kreis Tecklenburg: 49-53, Stuttgart - Aalen (K. Theiss).
- BIRKS, H.J.B. (1986): Late-Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 3-65 (4 fig., 1 tab.), Chichester (J. Wiley).
- BIRKS, H.J.B. (1990): Changes in Vegetation and Climate during the Holocene of Europe. - in: M.M. BOER & R.S. DE GROOT (eds.): Landscape - Ecological Impact of Climate Change. - IOS-Press: 133-158, Amsterdam - Washington - Tokyo.
- BIRKS, H.J.B. & H.H. BIRKS (1980): Quaternary Palaeoecology. - 289 S., London (Arnold).
- BLOEMENDAAL, F.H.J.L. & J.G.M. ROELOFS (eds., 1988): Waterplanten en Waterkwaliteit. - Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging (KNNV) - Natuurhistorische Bibliotheek van de KNNV **45**: 189 S., Utrecht.
- BLOESCH, J., J. ARMENGOL, F. GIOVANOLI & H.-H. STABEL (1988): Phosphorous in suspended and settling particulate matter of lakes. - in: SEDIMENT PHOSPHORUS GROUP: Working group summaries and proposals for future research. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **30**: 84-90 (1 Abb., 1 tab.), Stuttgart (Schweizerbart).
- BÖMER, A. (1895): Die Moore Westfalens. VI. Der Kreis Tecklenburg. - (1 Kart.), Münster.
- BRANDE, A. (1985): Mittelalterlich-neuzeitliche Vegetationsentwicklung am Krummen Fenn in Berlin-Zehlendorf. - Verh. Berl. Bot. Ver **4** / Beil 1: 3-65.
- BRANDI, K. (1900): Die Osnabrücker Fälschungen. IV. Der Fortsbann und die älteste Bistumsgrenze. - Westdt. Z. Gesch. Kunst **19**(2): 165-173, Trier.
- BRINGMANN, G. & R. KÜHN (1971): Bestimmung der Begrenzungsfaktoren der Trophierung für die Kieselalge *Asterionella formosa* in West-Berliner Gewässern. - Ges. Ing. **92**:176-183.
- BRÜGGE, B. (1971): Beobachtungen und Versuche an *Utricularia minor* und *Utricularia neglecta* im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Unveröff. Staatsexamensarb.: 65 S.
- BUDDE, H. (1931): Die Waldgeschichte Westfalens aufgrund pollenanalytischer Untersuchung seiner Moore. - Abh. Westf. Prov.-Mus. Naturk. Münster (Westf.) **2**: 17-26: Münster (Westf.).
- BUDDE, H. (1938): Pollenanalytische Untersuchung eines Sauerländischen Moores bei Lützel. - Decheniana **97B**: 169-187.
- BUDDE, H. (1942a): Die Algenflora Westfalens und der angrenzenden Gebiete. - darin: Die Algenflora der Seen, Weiher und Tümpel des Naturschutzgebietes Heiliges Meer. - Decheniana (Verh. naturhist. Ver. Rheinlande u. Westfalens) **101** AB, 2. Lfg. (Festschrift 100jh. Bestehen): 131-214g (L1-L18) (2 Abb., 1 Tab.), Bonn.
- BUDDE, H. (1942b): Die benthale Algenflora, die Entwicklungsgeschichte der Gewässer und die Seentypen im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Arch. Hydrobiol. **39**: 189-293 (15 Abb., 8 Tab., 2 Taf.), Dortmund.
- BÜHNER, R. (1983): Die Vegetation der „Grundlosen Kuhle“ bei Recke, Kreis Steinfurt. - Natur u. Heimat **43**(4): 86-91 (3 Abb., 2 Tab.), Münster/Westf.
- BÜKER, R. (1940): Die Pflanzengesellschaften nordwestdeutscher Heideweiher. - Aus der Heimat **53**: 78-83.
- BURRICHTER, E. (1954): Regeneration von Heide-Podsolböden und die Entwicklung des Bodenkeimgehaltes in Abhängigkeit von der Bewaldung. - Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenk. **67** / 2: 150-163, Weinheim - Berlin.
- BURRICHTER, E. (1969): Das Zwillbrocker Venn, Westmünsterland, in moor- und vegetationskundlicher Sicht. - Abh. Landesmus. Naturk. Münster **31**(1): 1-60 (13 Abb., 18 Tab., 1 Dia.), Münster (Westf.).
- BURRICHTER, E. (1973): Die potentiell natürliche Vegetation in der Westfälischen Bucht. - Landeskundl. Karten u. Hefte geogr. Kommission Westf., Siedl. u. Landsch. Westf. **8**: Münster.
- BURRICHTER, E. (1976): Vegetationsräumliche und siedlungsgeschichtliche Beziehungen in der Westfälischen Bucht. - Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Kulturlandschaft. - Abh. Landesmus. Naturk. Münster Westf. **38**(1): 3-14 (4 Abb.), Münster.
- BURRICHTER, E. (1982): Torf-, pollen- und vegetationsanalytische Befunde zum Reliktorkommen der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) in der Westfälischen Bucht. - Ber. Dtsch. Bot. Ges. **95**: 361-373.
- BURRICHTER, E. (1983): Die Vegetation Westfalens - eine Übersicht. - MGA **15** (Festschr. z. 44. Dt. Geographentag Münster, Teil I (Textband)): 27-42 (2 Abb.), Paderborn (Schöningh).

- BURRICHTER, E. (1984): Baumformen als Relikte ehemaliger Extensivwirtschaft in Nordwestdeutschland. - *Drosera* **1**: 1-18, Oldenburg.
- BURRICHTER, E. (1986): Zur pflanzensoziologischen Erfassung und Struktur des Erlen-Eichen-Birkenwaldes in der Westfälischen Bucht. - *Natur u. Heimat* **46**(4): 105-110, Münster/Westf.
- BURRICHTER, E. (1988): Tinner Loh, Borkener Paradies und Haselünner Wacholderhain. - *Jahrb. Emsländ. Heimatbund* **34**: 168-207, Sögel.
- BURRICHTER, E. & H. HAMBLOCH (1958): Das Bild der frühmittelalterlichen Siedlungslandschaft um Münster / Westfalen. - *Abh. Landesmus. Naturk. Münster (Westf.)* **20**(4): 3-18, Münster. (Westf.).
- BURRICHTER, E. & R. POTT (1983): Verbreitung und Geschichte der Schneitelwirtschaft mit ihren Zeugnissen in Nordwestdeutschland. - *Tuexenia* **3**: 43-45, Göttingen.
- BURRICHTER, E. & R. POTT (1987): Zur spät- und nacheiszeitlichen Entwicklungsgeschichte von Auenablagerungen im Ahse-Tal bei Soest (Hellweg-Börde). - in: KÖHLER, N. & N. WEIN: *Natur- und Kulturräume*. - *MGA* **27**: 125-135, Münster.
- BURRICHTER, E., R. POTT & H. FURCH (1988): Potentielle natürliche Vegetation. - in: *Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II -Landesnatur-, Lfg. 4, Dppl.bl. 1 (Text- u. Kartenteil): 42 S. (1 Abb., 2 Übers.), Münster (Aschendorff).*
- BURRICHTER, E., R. POTT, T. RAUS & R. WITTIG (1980): Die Hudelandschaft „Borkener Paradies“ im Emstal bei Meppen. - *Abh. Landesmus. Naturk. Münster/Westf.* **42**(4): 63 S. (24 Abb., 25 Tab.), Münster (Westf.).
- CASPERS, G. (1993): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen zur Flußauenentwicklung an der Mittelweser im Spätglazial und Holozän. - *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **55**(1): 101 S. (38 Abb., 5 Tab., 2 Dia.), Münster (Westf.).
- CHEN, S.-H. (1988): Neue Untersuchungen über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte im Gebiet zwischen Harz und Leine (BRD). - *Flora* **181**: 147-177 (5 Abb., 3 Tab.), Jena (Fischer).
- CHOLNOKY, B.J. (1968): Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. - 699 S., *Lehre* (Cramer).
- DAHM-ARENS, H. (1995): Boden und Bodennutzung. - in: HILDEN, H.D. (Hrsg.): *Geologie im Münsterland*. - *Geol. Landesamt NRW*: 106-117 (2 Abb.), Krefeld.
- DAM, H. VAN (1974): The suitability of diatoms for biological water assessment. - *Hydrobiol. Bull.* **8**: 274-284.
- DAM, H. VAN (1996): Partial recovery of moorland pools from acidification: indications by chemistry and diatoms. - *Netherl. Journ. Aquat. Ecol.* **30**(2-3): 203-218 (6 fig., 2 tab.), Wageningen - Nijmegen.
- DAM, H. VAN & H. KOOYMAN-VAN BLOKLAND (1978): Man-made Changes in Some Dutch Moorland Pools as Reflected by Historical and Recent Data about Diatoms and Macrophytes. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **63**(5): 587-607.
- DAM, H. VAN & I.A. MERTENS (1995): Chemical and biological monitoring in acid sensitive surface waters in The Netherlands 1994. - *Rep. 95.0538*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Direct. Environment, Departm. Air Pollution and Acidification: 28 p. Wageningen.
- DAM, H. VAN, G. SURVMOND & C.J.F. TER BRAAK (1981): Impact of acidification on diatoms and chemistry of Dutch moorland pools. - *Hydrobiologia* **83**: 425-429.
- DEARING, J.A. (1986): Core correlation and total sediment influx. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*: 247-270 (12 fig.), Chichester (J. Wiley).
- DEARING, J.A. & I.D.L. FOSTER (1986): Lake sediments and palaeohydrological studies. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*: 67-90 (6 fig., 2 tab.), Chichester (J. Wiley).
- DECHEND, W. & J. MERKT (1970): Der Erdfall von Driehausen (TK 25, Osterkappeln, 3615). - *Veröff. Naturwiss. Ver. Osnabrück* **33**: 48-49 (6 Abb.), Osnabrück.
- DEEVEY, JR., E.S., M.S. GROSS, G.E. HUTCHINSON & H.L. KRAYBILL (1954): The natural <sup>14</sup>C contents of materials from hard water lakes. - *Proc. Nat. Acad. Sci.* **40**: 285-288, Washington
- DENYS, L. & D. VAN STRAATEN (1992): A survey of the acid water diatom assemblages of two heathland relics in the Belgian northern Campine (Groot & Klein Schietveld, Brasschaat) with an assessment of their conservational value. - *Diatom Research* **7**: 1-13.
- DEV (1994): *Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*. -

- Bd. I-IV, Fachgruppe Wasserchemie, Ges. Dt. Chemiker in Gemeinschaft mit dem Normenausschuß Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). - 30. Lieferung, Berlin - Wien - Zürich.
- (1981-1985): DIN 38414 Schlamm und Sedimente (Gruppe S). - 10.-15. Lieferung Weinheim / Berlin (VCH / Beuth).
- DIN 38414 - S 2: Bestimmung des Wassergehaltes und des Trockenrückstandes bzw. der Trockensubstanz. - 7 S.
- DIN 38414 -S3: Bestimmung des Glührückstandes und des Glühverlustes der Trockenmasse eines Schlammes. - 5 S.
- DIN 38414 - S 5: Bestimmung des pH-Wertes in Schlämmen und Sedimenten. - 4 S
- (1983): DIN 38405 Anionen (Gruppe D). - 12. Lieferung Weinheim / Berlin (VCH / Beuth).
- DIN 38405 - D 11: Bestimmung von Phosphatverbindungen. - 16 S.
- DIECKMANN, U. (1998): Paläoökologische Untersuchungen zur Entwicklung von Natur- und Kulturlandschaft am Nordrand des Wiehengebirges. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **60**(4): 156 S. (52 Abb., 11 Tab., 3 Taf.), Münster.
- DIERSCHKE, H. (1990): Syntaxonomische Gliederung des Wirtschaftsgrünlandes und verwandter Pflanzengesellschaften (Molinio-Arrhenatheretea) in Westdeutschland. - Ber. Reinh. Tüxen-Ges. **2**: 83-89, Hannover.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. - 1.Aufl.: 683 S. (343 Abb., 55 Tab.), Stuttgart (Ulmer).
- DIERSSEN, K. (1972): Die Erhaltung westdeutscher Heidegewässer. Ein Beitrag zur regionalen Naturschutzplanung. - Natur u. Landsch. **47**(6): 166-167 (2 Abb.), Bonn - Bad Godesberg (Kohlhammer).
- DIERSSEN, K. (Hrsg., 1998): Schutz und Erhaltung nährstoffarmer Stillgewässer am Beispiel des Wollingster Sees. - Mitt. AG Geobotanik Schlesw.-Holst. u. Hamburg **57**: 159 S., Kiel.
- DIGERFELDT, G. (1972): The post-glacial Development of Lake Trummen. Regional vegetation history, water level changes and paleolimnology. - Folia Limnol Scand. **16**: 1-104.
- DIGERFELDT, G. (1986): Studies on past lake-level fluctuations. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 127-143 (6 fig.), Chichester (J. Wiley).
- DITTRICH, J. (1977): Die Vegetation am Großen und Kleinen Tate-Meer. - Abh. Naturw. Verein Bremen **38**(17): 297-303, Bremen
- DOLLE, R. (1933): Die Sage vom Heiligen Meer bei Hopsten in der Ortsüberlieferung, in der Romantik und im Lichte der Geschichte. - 16 S. (1 kart.).
- DÖRFLER, W. (1989): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Süden des Loandkreises Cuxhaven, Niedersachsen. - Probleme der Küstenforschung **17**: 1-75.
- DÖRING-MEDERAKE, U. (1991): Feuchtwälder im nordwestdeutschen Tiefland; Gliederung - Ökologie - Schutz. - Scripta Geobot. **19**: 122 S., Göttingen.
- EGGELSMANN, R. (1977): Hydrologie der Naturschutzgebiete „Großes Tate-Meer“ und „Theikenmeer“ am Hümmling.- Abh. Naturwiss. Ver. Bremen **38**(18): 305-333, Bremen.
- EHLERS, H. (1965): Über das Plankton des Großen Heiligen Meeres und des Erdfallsees bei Hopsten (Westf.). - Abh. Landesmus. Naturk. **27**(3): 3-20, Münster (Westf.).
- EHLERS, H. (1966): Über neue Planktonfunde im Großen Heiligen Meer und im Erdfallsee bei Hopsten (Westf.). - Natur u. Heimat **26**(1): 6-9, Münster/Westf.
- ELLENBERG, H. (Hrsg., 1973): Ökosystemforschung. - 280 S., Heidelberg - Berlin - New York (Springer).
- ELLENBERG, H. (1989): Eutrophierung - das gravierendste Problem in Naturschutz? Zur Einführung. - NNA-Berichte **2**/1:4-12.
- ELLENBERG, H. (1996): Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. - 5. Aufl.: 1096 S. (623 Abb., 170 Tab.), Stuttgart (Ulmer).
- ERDTMAN, G.E. (1960): The acetolysis method. - Svensk. Bot. Tidskr. **54**.
- ERHARD, H.A. (Hrsg., 1847): Westfälisches Urkundenbuch (WUB). „Codex Diplomaticus Historiae Westfaliae“ Nr. C, I u. III / b. - Münster.
- ETTL, H. (1980): Grundriß der allgemeinen Algologie. - Stuttgart - New York.
- FAEGRI, K. & J. IVERSEN (1989): Textbook of Pollen Analysis. - 4. Aufl.: 328 S., Chichester (J. Wiley & Sons).
- FAEGRI, K. & J. IVERSEN (1993): Bestimmungsschlüssel für die nordwesteuropäische Pollenflora. - Stuttgart (Fischer).
- FINKE, W. (1995): Ur- und Frühgeschichte. - in: HILDEN, H.D. (Hrsg.): Geologie im Münsterland. - Geol. Landesamt NRW: 96-105 (5 Abb., 1 Tab.), Krefeld.
- FIRBAS, F. (1937): Der pollenanalytische Nachweis des Getreidebaus. - Z. Botanik **31**: 447-478 (4

- Abb.), Jena (Fischer).
- FIRBAS, F. (1949/52): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. - Bd. I: Allgemeine Waldgeschichte. - 476 S. - Bd. II: Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. - 256 S., Jena (Fischer).
- FLOWER, R.J., R.W. BATTARBEE & P.G. APPELBY (1987): The recent palaeolimnology of acid lakes in Galloway, South-west Scotland: diatom analysis, pH trends, and the role of afforestation. - *Journ. Ecol.* **75**: 797-824 (11 fig., 5 tab.).
- FOTT, B. (1971): Algenkunde. - Jena.
- FOTT, B. (1972): Das Phytoplankton des Süßwassers. Chlorophyceen (Grünalgen), Ordnung: Tetrasporales. - Die Binnengewässer Bd. **16**(6), Stuttgart.
- FRAHM, J.-P. & FREY, W. (1992): Moosflora. - 3. Aufl.: 528 S., Stuttgart (Ulmer).
- FRENZEL, B. (1990): Die Vegetationsentwicklung im Eiszeitalter. - in: LIEDTKE, H. (Hrsg.): Eiszeitforschung. - 69-90 (3 Abb.), Darmstadt.
- FREUND, H. (1994): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung im westlichen Weserbergland. - *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **56**(1): 103 S. (35 Tab.), Münster (Westf.).
- FREUND, H. (1995): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung im Moor am Upstalsboom, Ldkr. Aurich (Ostfriesland, Niedersachsen). - Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet **23**: 117-152, Oldenburg.
- FRONTZEK, M. (1980): Vegetationskundliche und bodenökologische Untersuchungen im Bereich des Heideweiher im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Unveröff. Staatsex.arb., PH Münster.
- FUNKE, B. (1992): Hydrobiologische Untersuchungen an ausgewählten Gewässern im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Münster: 135 S. (48 Abb., 15 Tab.), Münster.
- GAILLARD, M.-J. (1985): Postglacial palaeoclimatic changes in Skandinavia and Central Europe - a tentative correlation based on studies of lake level fluctuations. - *Ecologia Mediterranea* **11**: 159-175, Marseilles.
- GAILLARD, M.-J. & B.E. BERGLUND (1988): Land-use history during the last 2700 years in the area of Bjäresjö, Southern Sweden. - in: BIRKS, H.H. et al.: The cultural landscape. Past, presence and future. - 409-428, Cambridge (Cambr. Univ. Press).
- GEEL, B. VAN (1972): Palynology of a section from the raised peat bog „Wietmarscher Moor“, with special reference to fungal remains.- *Acta bot. Neel.* **21**: 261-284.
- GEEL, B. VAN (1976): A paleoecological study of Holocene peat bog sections, based on the analysis of Pollen, Spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals.- *Academisch Proefschrift*, Amsterdam.
- GEMEINDE RECKE (Hrsg., 1989): Recke 1189-1989. Beiträge zur Geschichte. - Ibbenbüren (IVD).
- GESSNER, F. (1934): Nitrat und Phosphat im dystrophen See. - *Arch. Hydrobiol.* **27**: 131-160 (12 Abb.), Greifswald.
- GESSNER, F. (1955/59): Hydrobotanik. Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverbreitung im Wasser. Bd. I / II. - Berlin (VEB).
- GEYH, M.A. (1983): Physikalische und chemische Datierungsmethoden in der Quartärforschung. Praktische Aspekte zur Entnahme, Auswahl und Behandlung von Proben sowie zur Beurteilung und Interpretation geochronologischer Ergebnisse. - *Clausth. Tekton. Hefte* **19**: 163 S. (21 Fig., 6 Tab., 1 Fibl.), Clausthal-Zellerfeld (Pilger).
- GLÄSKER, W. (1979): Landschaftsökologische Untersuchungen im NSG „Heiliges Meer“ (Westfalen). - Unveröff. Prüfungsarb. PH Münster.
- GMELIN-INSTITUT (Hrsg., 1953): GMELINS Handbuch der anorganischen Chemie. Schwefel. - 8. Aufl., Syst.Nr. 9, Teil A, Lfg. 2: 510 S., Weinheim/Bergstr. (Verlag Chemie).
- GODWIN, H. (1960): Studies of Post-glacial history of British vegetation. XIV. Late glacial deposits at Moss-Lake.- *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* **242**: 127-149.
- GÖTTLICH, K. (1957): Über interglaziale, spät- und postglaziale Funde von *Isoetes tenella*, *Ephedra* und *Armeria* in Oberschwaben. - *Ber. Deutsche Bot. Ges.* **70**: 139-144.
- GÖTTLICH, K. (Hrsg., 1990): Moor- und Torfkunde. - 3. Aufl.: 529 S., Stuttgart (Schweizbart).
- GRAEBNER, P. (1930): Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - *Abh. Westf. Prov.-Mus. Naturk. Münster (Westf.)* **1**: 137-150, Münster (Westf.).
- GRAEBNER, P. (1934): Die Pflanzenwelt des Naturschutzgebietes. - *Natur u. Heimat* **1** / Sonderheft -Führer durch das NSG „Heiliges Meer“: 11-14, Münster/Westf.
- GRAHLE, H.-O., G. LÜTTIG & U. STAESCHE (1967): Stand und Ziele limnogeologischer Forschung

- in Niedersachsen. (Geologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern IV). - Arch. Hydrobiol. **63**(2): 256-266 (4 Abb., 1 Tab.), Stuttgart.
- GRAHLE, H.-O. & H. SCHNEEKLOTH (1963): Der Darnsee bei Bramsche. (Geologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern II). - Geol. Jb. **82**: 43-64 (7 Abb., 1 Tab.), Hannover.
- GRAHLE, H.-O. & U. STAESCHE (1964): Die natürlichen Seen Niedersachsens. (Geologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern I). - Geol. Jb. **81**: 809-838 (1 Abb., 7 Tab., 1 Taf.), Hannover.
- GRAHN, O. (1976): Macrophyte succession in Swedish lakes caused by deposition of airborne acid substances. - in: DOCHINGER, L.S. & T.A. SELIGA (eds.): Proc. 1st. Intern. Symp. On Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. - USDA Forest Service General Technica Report NE **23**, Upper Darby, PA.: 519-530.
- GROHNE, U. (1957): Die Bedeutung des Phasenkontrastverfahrens für die Pollenanalyse, dargelegt am Beispiel der Gramineen-Pollen vom Getreidetyp. - Photogr. u. Forsch. **7/8**: 237-248 (4 Abb.), Stuttgart (Postverlag).
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1961): Zur Terminologie organogener Sedimente. - Geol. Jb. **79**: 117-144, Hannover.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1986): Analysis of vegetative plant macrofossils. - in BERGLUND, B.E. (Hrsg.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 591-618, Chichester (J. Wiley).
- GROSSER, D. (1977): Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas. - 208 S., Berlin (Springer).
- GUNATILAKA, A., S. HERODEK, V. ISTANOVICS & E. DOBOLVI (1988): Biological availability of sediment phosphorus. - in: SEDIMENT PHOSPHORUS GROUP: Working group summaries and proposals for future research. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **30**: 93-98, Stuttgart (Schweizerbart).
- HAGEMANN, B. (1997): Hydrochemisch-physikalische Untersuchungen zur Erfassung der mehrdimensionalen Trophiebedingungen im „Großen Heiligen Meer“ während der Sommerstagnation 1996. - Unveröff. Diplomarbeit Inst. Geobot. Univ. Hannover: 136 S., Hannover.
- HAGEMANN, B., R. POTT & J. PUST (2000): Bedeutung der Vegetation für Stillgewässer-Ökosysteme, Trophiedifferenzierung und Trophieentwicklung im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). - in: POTT, R. (Hrsg): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). - Abh. Westf. Mus. Naturk. **62** (Bh.): 173-271, Münster.
- HALLEKAMP, S. (1992): Vegetationsökologische Untersuchungen der Heiden und Grasfluren des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Unveröff. Diplomarb. Univ. Münster: 86 S., (21 Abb., 14 Tab.), Münster.
- HAMMEN, T. VAN DER (1951): Late-glacial Flora and Periglacial Phenomena in the Netherlands. - Leidse Geol. Mededel. **17**: 71-183.
- HASSE, F. (1994): Gewässerökologische und vegetationskundliche Untersuchungen zur Eutrophierung des Grund- und Oberflächenwassers von pleistozänen Sandlandschaften - Beispiel NSG Heiliges Meer. - Unveröff. Diplomarb. Inst. Geobot. Univ. Hannover: 131 S. (43 Abb., 14 Tab., 1 Veg.kart.), Hannover.
- HAYWORTH, E.Y. & J.W.G. LUND (eds., 1984): Lake Sediments and Environmental History. - Leicester (Univ. Press).
- HEGI, G. (1965): Illustrierte Flora Mitteleuropas I-V. - Nachdruck 1. Aufl.: München (C. Hanser).
- HELLBERG, G. (1979): Pflanzenkundliche und bodenökologische Untersuchungen im Bereich des Heidewiehers im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Unveröff. Staatsex.arb., PH Münster: 194 S. (29 Abb., 55 Tab.), Münster.
- HELLBERG-RODE, G. (1987): Vegetationskundliche und bodenökologische Untersuchung einer subatlantischen Zwergstrauchheide im NSG „Heiliges Meer“. - Natur u. Landsch. **62**(12): 507-512 (1 Abb., 4 Tab., 2 Veg.tab.) (Kohlhammer).
- HENDREY, G.R. et al. (1976): Acid precipitation: some hydrobiological changes. - Ambio **5**: 224-227.
- HESMER, H. & F.-G. SCHRÖDER (1963): Waldzusammensetzung und Waldbehandlung im Niedersächsischen Tiefland westlich der Weser und in der Münsterschen Bucht bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. - Decheniana **11** / Bh.: 1-304, Bonn.
- HESSEN, D.O. & L.J. TRANVIK (1998): Aquatic Humic substances: Ecology and Biochemistry. - Berlin (Springer).
- HILDEN, H.D. (1995): Geologie im Münsterland. - Geol. Landesamt NRW: 71-117 (50 Abb., 6 Tab., 1 Taf.), Krefeld.

- HOFMANN, G. (1994): Aufwuchsdiatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. - *Bibl. Diatom.* **30**: 241 S. (34 Abb., 16 Tab.), Berlin - Stuttgart.
- HOFMANN, K. (1995): Pflanzensoziologische und hydrochemische Untersuchungen der Heidekolke des NSG „Heiliges Meer“ unter Berücksichtigung der Trophie des oberflächennahen Grundwassers. - Unveröff. Diplomarb., Inst. f. Geobot., Univ. Hannover: 96 S., Hannover.
- HOFMEISTER, W. (1978): Die Kieselalgen im Pelagial des „Großen Heiligen Meeres“. - Unveröff. Manuskript: 8 S.
- HOFMEISTER, W. (1979): Die Diatomeen des Großen Heiligen Meeres (1978-1979). - Unveröff. Manuskript: 13 S.
- HÖLL, K. (1986): Wasser. - 7. Aufl.: 592 S., Berlin - New York (W. de Gruyter).
- HOLLWEDEL, W. (1968): Cladoceren (Wasserflöhe) im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ und im „Kleinen Heiligen Meer“ bei Hopsten (Westf.). - *Natur u. Heimat* **28**: 17-25 (8 Abb.), Münster/Westf.
- HÖLTER, A. (1998): Vegetation des Erdfallsees und der angrenzenden Kleingewässer unter Berücksichtigung trophiebestimmender Parameter. - Unveröff. Diplomarbeit, Inst. f. Geobot., Univ. Hannover: 180 S., Hannover.
- HOMANN, M., A. KLEINMANN, J. MERKT, H. MÜLLER & C. SCHWARZ (1995): Rasche Klimaänderungen, Dauer von Klimaphasen, Klimainterpretation von langen Zeitreihen aus feingeschichteten Seeablagerungen. - Unveröff. Abschlußbericht NLFB Hannover: 81 S., Hannover.
- HOPSTER, H. (1974): Hopsten. Geschichte und Gegenwart. - Gemeinde Hopsten: 133 S.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1942): Das Phytoplankton des Süßwassers. - 16(2, 2): Systematik und Biologie der Diatomeen. - 183 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- HUNSCHE, F.E. (1975): Drevanameri - Das „Heilige Meer“. - *Der Tecklenburger* (11.01.1975).
- HUPFER, M. (1996): Bindungsformen und Mobilität des Phosphors in Gewässersedimenten. - in: STEINBERG, C., H. BERNHARDT & H. KLAPPER (Hrsg., 1996): *Handbuch Angewandte Limnologie. Grundlagen, Gewässerbelastung, Restaurierung, Aquatische Ökotoxikologie, Bewertung, Gewässerschutz.* - 1. Ergz.: Kap. IV-3.2: 22 S. (20 Abb., 4 Tab.), Landberg / Lech (ecomod).
- HÜPPE, J. (1986): Kurze Übersicht über die Pflanzengesellschaften der Äcker in Westfalen. - *Abh. Westf. Mus. Naturkde.* **48**(2-3): 209-221, Münster.
- HÜPPE, J. (1987): Die Ackerunkrautgesellschaften der Westfälischen Bucht. - *Abh. Westf. Mus. Naturkde.* **49**(1): 119 S., Münster.
- HÜPPE, J. (1993): Entwicklung der Tieflands-Heidegesellschaften Mitteleuropas in geobotanisch-vegetationsgeschichtlicher Sicht. - *Ber. Reinh. Tüxen-Ges.* **5**: 49-76, Hannover.
- HÜPPE, J. (1996): Zur Bronzezeit in Nordwestdeutschland. - *Die Kunde N.F.* **47**: 13-20.
- HÜPPE, J. & H. HOFMEISTER (1990): Syntaxonomische Fassung und Übersicht über die Ackerunkrautgesellschaften der Bundesrepublik Deutschland. - *Ber. Reinh. Tüxen-Ges.* **2**: 61-81 (3 Tab.), Hannover.
- HÜPPE, J., R. POTT & D. STÖRMER (1989): Landschaftsökologisch-vegetationsgeschichtliche Studien im Kiefernwuchsgebiet der nördlichen Senne. - *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **51**(3): 77 S. (29 Abb., 4 Veg.Tab.), Münster (Westf.).
- HUSTEDT, F. (1914): Süßwasser-Diatomeen Deutschlands. Ein Hilfsbuch für Anfänger bei der Bestimmung der am häufigsten vorkommenden Formen. - *Handbücher für die praktische naturwissenschaftliche Arbeit V*: 3. erw. Aufl.: 91 S. (24 Abb., 10 Taf.). Stuttgart (Franckh).
- HUSTEDT, F. (1930): Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas. Heft 10: Bacillariophyceae. - 466 S., Jena (Fischer).
- HUSTEDT, F. (1927-1966): Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. Teil 1-3. - in RABENHORST, L. (Hrsg.): *Kryptogamenflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz.* - Bd. VII, Leipzig (Akad. Verlagsgesellsch.)
- HUSTEDT, F. (1945): Die Diatomeenflora norddeutscher Seen mit besonderer Berücksichtigung des holsteinischen Seengebiets. I- IV: in Posen, der Neumark, Pommern und der Mark Brandenburg. - *Arch. Hydrobiol.* **41**: 329-414.
- HUSTEDT, F. (1950): Die Diatomeenflora norddeutscher Seen. V-VII: Seen in Mecklenburg, Lauenburg und Nordostdeutschland. - *Arch. Hydrobiol.* **43**: 329-458.
- HUSTEDT, F. (1953): Die Systematik der Diatomeen in ihren Beziehungen zur Geologie und Ökologie nebst einer Revision des Halobiensystems. - *Svensk Bot. Tidskr.* **47**.
- HUTTER, C.P., A. KAPFER & W. KONOLD (1993): Seen, Teiche, Tümpel und andere Stillgewässer. - *Biotop-Bestimmungs-Bücher*: 153 S., Stuttgart - Wien (Weitbrech).
- HÜTTER, L.A. (1994): Wasser und Wasseruntersuchung. - *Laborbücher Chemie* 6. Aufl.: 516 S. (Salle & Sauerländer).

- ISENBERG, E. (1979): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Gebiet der Grafschaft Bentheim. - Abh. Landesmus. Naturk. **41**(2): 59 S., Münster (Westf.), Münster.
- ISENBERG, E. (1986): Der pollenanalytische Nachweis von *Juglans regia* L. im nacheiszeitlichen Mitteleuropa. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **48** (2/3) 457-469 (1 Abb.) Münster.
- IVERSEN, J. (1944): *Viscum, Hedera* and *Ilex* as Climate Indicators. - Geol. Fören. Förh. Stockholm **66**: 463-468, Stockholm.
- IVERSEN, J. (1949): The Influence of Prehistoric Man on Vegetation. - Danm. Geol. Unders., Raekke IV, **3/6**, Kopenhagen.
- JAHNKUHN, H. (1969): Vor- und Frühgeschichte vom Neolithikum bis zur Völkerwanderungszeit. - Deutsche Agrargeschichte Bd. 1: 309 S., Stuttgart.
- JANKOWSKA, V. (1980): Paläogeobotanische Rekonstruktion der Vegetationsentwicklung im Becken Trebonska panev während des Spätglazials und Holozäns. - Vegetace CSSR A **11**: Prag.
- JANKOWSKA, V. & J. KOMAREK (1982): Das Vorkommen einiger Chlorokokkalalgen in böhmischen Spätglazial und Postglazial. - Folia Geobot. Phytotax. **17**: 165-195 (3 Tab.), Prag.
- JANSSON, M., M. ENELL, S. FLEISCHER, R. GÄCHTER, P. KELDERMANN, S. LÖFGREN, G. NÜRNBERG, A. PROVINI & A. SINKE (1988): Phosphorus release from lake sediments. - in: SEDIMENT PHOSPHORUS GROUP: Working group summaries and proposals for future research. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **30**: 90-93, Stuttgart (Schweizerbart).
- JÄRNEFELT, H. (1958): On the topology of the northern lakes. - Verh. Internat. Verein Limnol. **13**: 228-235.
- JEDICKE, L. & E. JEDICKE (1992): Farbatlas Landschaften und Biotope Deutschlands. - 1. Aufl.: 320 S. (20 Abb., 225 Fot.), Stuttgart (Ulmer).
- JØRGENSEN, E.G. (1957): Diatom periodicity and silicon assimilation. Experimental and ecological investigations. - Dansk. Bot. Ark. **18**: 1-54.
- JONES, V.J., A.C. STEVENSON & R.W. BATTARBEE (1989): Acidification of lakes in Galloway, South-West Scotland: a diatom and pollen study of the post-glacial history of the Round Loch of Glenhead. - Journ. Ecol. **77**: 1-23 (9 fig.), London.
- KAMPMANN, F. (1901): Das heilige Meer bei Hopsten. - Niedersachsen **6** (1900 / 1901): 300-301, Bremen (Schünemann).
- KAPLAN, K. (1992): Farn- und Blütenpflanzen nährstoffarmer Feuchtbiopte. Aktuelle Verbreitung und Situation im nordwestlichen Westfalen und südwestlichen Niedersachsen. - Metelener Schriften Naturschutz **3**: 117 S.
- KAPLAN, K. (1993): Heideweihergefährdung durch Immissionen. Zur Situation nährstoffarmer Stillgewässer und ihrer Pflanzenarten. - LÖLF-Mitt. NRW **1/93**: 10-17.
- KAPLAN, K. & T. PROLINGHEUER (1989): Zur Verbreitung und Bestandssituation des Gagels (*Myrica gale* L.) in Westfalen und der Grafschaft Bentheim. - Decheniana **142**: 7-13 (2 Abb.), Bonn.
- KAUSCH, W. & H. BRÜCK (1985): Die Pflanzengesellschaften einer Flachsenske im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Natur u. Heimat **45** (1): 33-40 (2 Abb.), Münster/Westf.
- KESKITALOK, J. & P. ELORANTA (1999): Limnology of Humic Waters. - 292 p., Leiden (Backhuys Publ.).
- KINDER & HILGEMANN (1986): dtv-Atlas Geschichte. Bd. 1 u. 2.
- KLEINERT, A. (1988): Markenteilung in Recke. - in: GEMEINDE RECKE (Hrsg.): Recke 1189-1989. Beiträge zur Geschichte. - Ibbenbüren.
- KLOCKE, E. (1892): Zur Cladoceren-Fauna Westfalens. - **20**. J.ber. Westf. Prov.-Ver. Wiss. Kunst 1891, Zool. Sekt.: 64-76, Münster.
- KLOCKE, E. (1894): Die Winterfauna des Heiligen Meeres. - **22**. J.ber. Westf. Prov.-Ver. Wiss. Kunst 1893 / 1894, Zool. Sekt.: 129-130, Münster.
- KNÖRZER, K.-H. (1975): Mittelalterliche und jüngere Pflanzenfunde aus Neuss am Rhein. - Z. f. Archäolog. d. Mittelalters. **3**: 129-181.
- KNÖRZER, K.-H. (1979): Verkohlte Reste von Viehfutter aus einem Stall des römischen Reiterlagers von Dormagen. - Rhein. Ausgr. **20**: 130-137.
- KOCH, H. (1929): Paläobotanische Untersuchungen einiger Moore des Münsterlandes. - Bot. Centralbl. **46**(2, Bh.): 1-70, Dresden.
- KOCH, H. (1930): Stratigraphische und pollenfloristische Studien an drei nordwestdeutschen Mooren. - Planta / Archiv wiss. Botanik **11**(3): 509-527, Berlin (Springer).
- KOCH, H. (1934a): Ein Profil aus dem Bourtanger Moor als Beispiel zur Moor- und Waldgeschichte an der Mittelems. - Ber. Deutsch. Bot. Ges. **52**(2) (1 Abb.).
- KOCH, H. (1934b): Untersuchungen zur Geschichte des Waldes an der Mittelems. - Bot. Jahrbücher **66**(5): 567-598 (7 Abb.).

- KOCH, H. (1934c): Mooruntersuchungen im Emsland und im Hümmling. - Internat. Revue ges. Hydrobiol. u. Hydrographie **31**: 109-156 (4 Abb., 3 Tab.), Leipzig.
- KOCH, H. (1936): Beitrag zur Florengeschichte des Osnabrücker Landes. - Mitt. Naturwiss. Ver. Osnabrück **23**: 57-98 (3 Abb., 3 Tab.), Osnabrück (Prelle).
- KOCH, M. (1983): Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:50000. Erläuterungen zu Blatt L 3710 -Rheine-. - Geol. Landesamt NRW: 14 S. (1 Tab., 2 kar.), Krefeld.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1987): Geobotanische Untersuchungen auf der Feddersen Wiede I. - 357 S., Wiesbaden.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1990): Gramineen und Grünlandvegetation vom Neolithikum bis zum Mittelalter in Mitteleuropa. - Bibliotheca Botanica **139**: 104 S., Stuttgart.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1991): „Urwiesen“ im Berg- und Hügelland aus archäobotanischer Sicht. - Diss. Bot. **196** (Festschrift ZOLLER): 453-468 (3 Fig., 3 Tab.), Berlin-Stuttgart (J. Cramer).
- KOHL, W. (1983): Westfälische Geschichte I u. II. -
- KOHL, W. (1986): Westfalen - Begriff und Raum. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen (Begriff u. Raum). - Lfg. 2, Dppl.bl. 1: 13 S., Münster (Aschendorff).
- KÖLKER, J. (1936): Die kulturlandschaftliche Entwicklung des Kreises Tecklenburg. - 140 S., Köln.
- KOMAREK, J. & B. FOTT (1983): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. - in: HUBER-PESTALOZZI, G. (Hrsg.): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. - Die Binnengewässer **16**(7, 1): 1044 S. (14 Abb., 43 Tab., 253 Taf.), Stuttgart (Schweizerbart).
- KOPPE, F. (1931): Die Moosflora des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Abh. Westf. Prov.-Mus. Naturk. Münster (Westf.) **2**: 103-120, Münster (Westf.).
- KOPPE, F. (1955): Nachträge zur Moosflora des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Natur. u. Heimat **15** / Bh.: 2 S., Münster/Westf.
- KRAMM, E. (1972): Moorkundliche und pollenanalytische Untersuchungen im Vinter Moor bei Recke. - Diss. Bot. Inst. Univ. Münster: 116 S., Münster.
- KRAMM, E. (1978): Pollenanalytische Hochmooruntersuchungen zur Floren- und Siedlungsgeschichte zwischen Ems und Hase. - Abh. Landesmus. Naturk. **38**(1): 40 S., Münster (Westf.).
- KRAMM, E. (1980): Die Entwicklung der Wälder Westfalens nach der letzten Eiszeit. - Natur- u. Landschaftsk. Westf. **16**(4): 97-104, Hamm.
- KRAMM, E. (1981): Beiträge der Pollenanalyse zur Erforschung der Siedlungsgeschichte von Westfalen. - Natur- u. Landschaftskde. Westf. **17**(4): 105-112, Hamm.
- KRAMMER, K. (1986): Kieselalgen. Biologie, Baupläne der Zellwand, Untersuchungsmethoden. - 140 S. (243 Abb.), Stuttgart (Kosmos).
- KRAMMER, K. (1992): *Pinnularia*. Eine Monographie der Europäischen Taxa. - Bibliotheca Diatomologica **26**: 353 S., Berlin - Stuttgart (J. Cramer).
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT (1986-91): Bacillariophyceae. - in: Ettl, H. et al. (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa **2**(1-4). - Stuttgart (Fischer). 1.Tl.: Naviculaceae: 876 S. (206 Taf.); 2.Tl.: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae: 596 S. (182 Taf.); 3.Tl.: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae: 576 S. (166 Taf.); 4.Tl.: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema: 437 S. (88 Taf.).
- KRIEGSMANN, K.F. (1937): Das „freie Wasser“ unserer Seen. - Natur u. Heimat **1**: 1-5 (3 Abb.).
- KRIEGSMANN, K.F. (1938): Produktionsbiologische Untersuchungen des Pelagials des Großen Heiligen Meeres unter besonderer Berücksichtigung seines Eisenhaushaltes. - Abh. Landesmus. Naturk. Prov. Westf. **9**(2): 106 S. (25 Abb., 26 Tab., 3 Taf.), Münster (Westf.).
- KUBITZKI, K. (1960): Moorkundliche und pollenanalytische Untersuchungen am Hochmoor „Esterweger Dose“. - Schriftenr. Naturwiss. Ver. Schlesw. Holst. **30**: 12-28, Kiel.
- KUBITZKI, K. (1961): Zur Synchronisierung der nordwestdeutschen Pollendiagramme (mit Beiträgen zur Waldgeschichte Nordwestdeutschlands). - Flora **150**(1): 43-72, Jena.
- KUNTZE, H., G. ROESCHMANN & G. SCHWERTFEGGER (1994): Bodenkunde. - 5. Aufl.: 424 S. (178 Abb., 4 Taf., 188 Tab.), Stuttgart (Ulmer UTB).
- KÜSTER, H. (1988): Vom Werden einer Kulturlandschaft. Vegetationsgeschichtliche Studien am Auerberg (Südbayern).- In: KOSSACK, G., MARTIN, M. & ULBERT, G. (Hrsg.): Quellen u. Forschungen zur prähistorischen und provinzialrömischen Archäologie. **3**: 214 S., VCH Acta humaniora, Weinheim.
- KÜSTER, H. (1990): Gedanken zur Entstehung von Waldtypen in Süddeutschland.- Ber. d. Reinh. Tüxen Ges. **2**: 25-43, Hannover.
- KÜSTER, H. (1993): Die Entstehung von Vegetationsgrenzen zwischen dem östlichen und dem westlichen Mitteleuropa während des Postglazials. - in: LANG, A., H. PARZINGER & H. KÜSTER: Kulturen zwischen Ost und West. Das Ost-West-Verhältnis in vor- und frühgeschichtlicher Zeit und

- sein Einfluss auf Werden und Wandel des Kulturraums Mitteleuropa. - 473-492, Berlin.
- KÜSTER, H. (1995): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. - München (Beck).
- KÜSTER, H. (1998): Geschichte des Waldes. Von der Urzeit bis zur Gegenwart. - 1. Aufl.: 267 S. (53 Abb.), München (Beck).
- LANG, G. (1954): Neue Untersuchungen über die spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Schwarzwaldes. I. Der Hotzenwald im Südschwarzwald. - Beitr. Naturk. Forsch. SW-Deutschl. **13**: 3-42, Karlsruhe.
- LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. - 462 S., Stuttgart (Fischer).
- LANGE-BERTALOT, H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeignetes Kriterium der Gewässerbelastung. - Arch. Hydrobiol. Suppl. **56**: 393-427.
- LANGER, W. (1984): Hydrobiologische Untersuchungen eines Tümpels im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Hopsten). - Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Münster: 161 S. (94 Abb.), Münster.
- LEHMANN, H. (1940): Der deutsche Buchweizenanbau und seine Entwicklung in den letzten 100 Jahren, besonders in Beziehung zu Betriebsform, Fruchtwechsel und Nutzungsarten. - Diss. Univ. Bonn (Leipzig).
- LENGERICH (1906): Geschichte der Grafschaft Tecklenburg und Geschichtliches aus den Gemeinden des Kreises. -
- LESEMANN, B. (1969): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Hannoverischen Wendlandes. - Flora, Abt. B, Bd. **158**: 480-519 (7 Abb.), Göttingen.
- LEWIS, W.M. jr., J.F. SAUNDERS, D.W. CRUMPACKER SR. & C. BRENDECKE (1984): Eutrophication and land use. Lake Dillon, Colorado. - Ecol. Studies **46**: 202 S., New York - Berlin (Springer).
- LIENENBECKER, H & I. LIENENBECKER (1967): Das Gagelgebüsch (*Myricetum galis*) im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Natur u. Heimat **27**(1): 26-27, Münster.
- LILLOTTE, F.J. (1983): Entwicklung, Stand und künftige Konzeption der Flurbereinigung Westfalens. - MGA **15** (Festschr. z. 44. Dt. Geographentag Münster, Teil I (Textband)): 287-305 (6 Abb., 5 Tab.), Paderborn (Schöningh).
- LINDENSCHMIDT, M. & H-O. REHAGE (1982): Ein neuer Erdfall in Hörstel, Kreis Steinfurt aus dem Jahre 1980. - Natur und Heimat **42**: 47-51 (1 Abb., 1 Tab.), Münster/Westf.
- LÖFFLER, H. (ed., 1987): Palaeolimnology IV. - Boston (Junk Publ.)
- LORENZ, J. (1975/6): Nachrichten, Beobachtungen und Forschungsergebnisse von Erdfällen in der näheren und weiteren Umgebung Osnabrücks. - Teil 1: Heimat-Jahrbuch Osnabrücker Land 1975: 69-72. Teil 2: Heimat-Jahrbuch Osnabrücker Land 1976: 129-143.
- LOSERT, H. (1953): Pollenanalytische Untersuchungen am „Blanken Flat“ bei Vesbeck. - Mitt. Flor.-soz. AG N.F. **4**: 137-146.
- LOTTER, A. (1988): Paläoökologische und paläolimnologische Studie des Rotsees bei Luzern. Pollen-, großrest-, diatomeen- und sedimentanalytische Untersuchungen. - Diss. Bot. **124**: 187 S., Berlin - Stuttgart.
- LOTTER, A., H.J.B. BIRKS, W. HOFMANN & A. MARCHETTO (1997): Modern diatom, cladocera, chironomid and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. - Journ. Palaeolimnol. **18**: 395-420 (12 fig.), Belgium (Kluwer).
- LOTZE, F. (1951): Die Grundwasserverhältnisse in den Naturschutzgebieten am Heiligen Meere. - Natur u. Heimat **11**(Bh): 97-99, Münster/Westf..
- LOTZE, F. (1956): Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Kreis Tecklenburg). - Abh. Landesmus. Naturk. Münster (Westf.) **18**(1): 36 S. (10 Abb., 4 Taf.), Münster (Westf.).
- LÜBBEN, U. (1973) Zur Verbreitung und Ökologie der Wasserlobelie (*Lobelia dortmanna* L.) in der Bundesrepublik Deutschland. - Mitt. Flor.-Soziol. AG N.F. **15/16**: 28-40 (1 Abb., 2 Tab.), Todenmann - Göttingen.
- LUND, J.W.G. (1950): Studies on *Asterionella formosa* HASS. II. Nutrient depletion and the spring maximum. - J. of Ecol. **37**.
- LUNDQUIST, G. (1927): Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. - Die Binnengewässer **2**: 124S., Stuttgart.
- LUNDQUIST, G. (1940): Sjösediment fran Gotland. - Sver. Geol. Unders. Arsb. **34**: 1-143, Stockholm.
- MACHARACEK, T. (1996): Hydrochemische und pflanzensoziologische Untersuchungen zum Einfluss von Eutrophierungsparametern im Grundwasser. - Unveröff. Examensarb. Inst. Geobot. Univ. Hannover: 199 S. (94 Abb., 11 Tab., 10 Fot, 2 Kart.), Hannover.

- MAST, R. (1999): Vegetationsökologische Untersuchung der Feuchtwald-Gesellschaften im niedersächsischen Bergland. Mit einem Beitrag zur Gliederung der Au-, Bruch- und Moorwälder in Mitteleuropa. - Archiv naturwiss. Dissertationen **8**: 284 S. (47 Abb., 46 Tab.), Alfeld/Leine (M. Galunder-Verl.).
- MEISEL, K. (1957): Vergleich zwischen Boden- und Vegetationskarte. - Arb. Bundesanst. Vegetationskart. Stolzenau / Weser: 118-130 (1 Abb.), Stolzenau / Weser.
- MEISEL, K. (1969): Zur Gliederung und Ökologie der Wiesen im nordwestdeutschen Flachland. - Schriftenr. Veg.kde **4**: 23-38 (8 Tab., 2 Kart.), Bad Godesberg.
- MEISEL, K. (1977): Flutrasen des nordwestdeutschen Flachlandes. - Mitt. Flor.-Soziol. AG **19/20**: 211-217 (1 Abb., 2 Tab.), Todenmann / Göttingen.
- MEISEL, S. (1961): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 83/84 Osnabrück / Bentheim. - in: Geograph. Landesaufn. 1:200000, Naturräuml. Gliederung Deutschlands. - Bad Godesberg.
- MELZER, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen dargestellt im Rahmen limnologischer Untersuchungen an den Osterseen und den Eggstätt-Hemhofer Seen (Oberbayern). - Diss. Bot. **34**: 195 S. (30 Fig., 4 Tab.), Vaduz (Cramer).
- MENGELING, H. (Hrsg., 1986): Geologische Karte von Niedersachsen 1:25000. Erläuterungen zu Blatt Nr. 3514 Vörden. - Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung: 125 S. (35 Abb., 5 Tab., 7 Kart.), Hannover.
- MERILAINEN, J. (1967): The diatom flora and the hydrogen-ion concentration of the water. - Ann. Bot. Fenn. **4**: 51-58.
- MERKT, J., G. LÜTTIG & H. SCHNEEKLOTH (1971): Vorschlag zur Gliederung und Definition der limnischen Sedimente. - Geol. Jb. **89**: 607-623 (1 Tab.), Hannover.
- MERKT, J. & H. STREIF (1970): Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente. - Geol. Jb. **88**: 137-148 (5 Abb.), Hannover.
- MEYER (o.A.): Calendarium et Nekrologium vetustissimum ecclesiae cathedralis Osnabrugensis. - in: Osnabrücker Mitteilungen. - Bd. **4**: 1-231, Osnabrück.
- MOHR, R. (1990): Untersuchungen zur nacheiszeitlichen Vegetations- und Moorentwicklung im nordwestlichen Niedersachsen. - Vechtaer Arbeiten zur Geographie und Regionalwissenschaft **21**(1): 144 S., Vechta.
- MÖHRIG, W. (Hrsg., 1984): Aus dem Sagenschatz der Niedersachsen und Westfalen. 12. Das Heilige Meer. - 19-20 (Husum-Verlag).
- MOHRMANN, W.-D. & W. PABST (1990): Einführung in die politische Geschichte des Osnabrücker Landes. Darstellung und Quellen. - Osnabrück.
- MOORE, P.D. (ed., 1984): European Mires. - London.
- MOORE, P.D., J.A. WEBB & M.E. COLLINSON (1991): Pollen analysis. - 2. Aufl.: 216 S., Oxford (Blackwell).
- MORRIS, I. (1980, ed.): The Physiological Ecology of Phytoplankton. - Studies in Ecology. - Vol. **7**: Oxford - London - Edinburgh - Boston - Melbourne.
- MÜCKE, G. (1978): Ökologische Untersuchungen der Ciliaten in Gewässern des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ unter besonderer Berücksichtigung zöologischer Gesichtspunkte. - Diss. Univ. Bonn.
- MÜGGE, I. (1984): Limnologische Untersuchungen am Großen Heiligen Meer während des Winters. - Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Münster, Münster.
- MÜLLER, H. (1956): Ein Beitrag zur holozänen Emstalentwicklung zwischen Meppen und Dörpen auf Grund pollenanalytischer Untersuchungen. - Geol. Jb. **71**: 491-504 (6 Abb., 1 Tab.), Hannover.
- MÜLLER, H. (1970): Ökologische Veränderungen im Otterstedter See im Laufe der Nacheiszeit. (Limnogeologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern IX). - Ber. Naturhist. Ges. **114**: 33-47 (3 Abb.), Hannover.
- MÜLLER-TEMME, E. (1986): Niederschläge in raum-zeitlicher Verteilung. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II -Landesnatur-, Lfg. 2, Dppl.bl. 2 (Text- u. Kartenteil): Münster (Aschendorff).
- MÜLLER-WILLE, W. (1960): Natur und Kultur in der oberen Emsandebene. - Decheniana **113**(2): 323-344 (12 Abb.), Bonn.
- MÜLLER-WILLE, W. (1966): Bodenplastik und Naturräume Westfalens. - Spieker. Landeskundliche Beiträge und Berichte **14** (Text- und Kartenband): 302 S. (17 Tab., 1 Kar.), Münster/Westf.
- MÜLLER-WILLE, W. & E. BERTELSMEIER (1983): Agrare Siedlungsgeographie in Westfalen. Fragen,

- Methoden, Ergebnisse und Deutungen. - MGA 15 (Festschr. z. 44. Dt. Geographentag Münster, Teil I (Textband)): 43-53 (10 Abb., 1 Tab.), Paderborn (Schöningh).
- MURL (Hrsg., 1989): Das Feuchtwiesen-Schutzprogramm Nordrhein-Westfalen. - Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- NAUMANN, E. (1917): Undersögningar ofver fytoplankton och under den pelagiska regionen försig gaende gytte - och dybildningar inom vissa syd - och mellansvenska urbergsvatten. - Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 56(6): 1-165.
- NAUMANN, E. (1921): Einige Grundlinien der regionalen Limnologie. - Lunds Universit. Årsskrift N.F. Avd 2(17): 1-22.
- NAUMANN, E. (1930): Einführung in die Bodenkunde der Seen. - Die Binnengewässer 9: 126 S., Stuttgart.
- NIESERT, J., Pfarrer zu Velen u. Vikar zum Hl. Aegidius Münster (1823): Urkunde Nr. XXIII. - in: Beiträge zu einem Münsterischen Urkundenbuche aus vaterländischen Archiven gesammelt. - 1. Bd., 2. Abthl.: S. 57, Münster.
- NORDHOFF, J.B. (1889): Haus, Hof, Mark und Gemeinde Nordwestfalens im Historischen Überblick. - Forsch. Z. deutschen Landesg. 4(1): 5-35, Stuttgart (Engelhorn).
- OBERDORFER, E. (1990): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. - 6. Aufl.: 1050 S., Stuttgart (Ulmer).
- OBERDORFER, E. (Hrsg., 1977): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil I. Pflanzensoziologie. - Jena.
- OBERPENNING, H. (1996): Migration und Fernhandel im „Tödden-System“. Wanderhändler aus dem nördlichen Münsterland im mittleren und nördlichen Europa des 18. und 19. Jahrhunderts. - 424 S., Osnabrück (Rasch).
- ODUM, E.P. (1980): Grundlagen der Ökologie I und II: 836 S., Stuttgart (Thieme).
- OEGGL, K. (1993): Der Nachweis von Vegetationsveränderungen mit Pollenkonzentrationsdiagrammen. in: FRIESINGER, H., F. DAIM, E. KANELUTTI & O. CICHOCKI (Hrsg.): Bioarchäologie u. Frühgeschichtsforschung: 67-81, Wien.
- OLSSON, I.U. (1986): Radiometric Dating. - in BERGLUND, B.E. (Hrsg.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 273-312 (11 fig., 1 tab.), Chichester (J. Wiley).
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. - 719 S., Neumünster.
- PAASCHE, E. (1980): Silicon. - in: MORRIS, I. (ed.): The Physiological Ecology of Phytoplankton. - Studies in Ecology. - Vol. 7: Oxford - London - Edinburgh - Boston - Melbourne.
- PARRA BARRIENTOS, O.O. (1979): Revision der Gattung *Pediastrum* Meyen (Chlorophyta). - Biblioth. Phycologica 48: 183 S. (55 Taf.), Vaduz (J. Cramer).
- PASTILLE, R. (1978): Ausgewählte hydrogeographische Probleme des Heiligen Meeres und Erdfallsees - ein Vergleich. - Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Münster.
- PEGLAR, S.M. (1979): A radiocarbon-dated pollen diagram from Loch of Winless, Caithness, north-east Scotland. - New Phytol. 78: 245-263.
- PEGLAR, S.M., S.C. FRITZ & H.J.B. BIRKS (1989): Vegetation and Land-use History at Diss, Norfolk, U.K. - Journ. Ecol. 77: 203-222 (4 fig., 1 tab.), London.
- PFAFFENBERG, K. (1933): Stratigraphische und pollenanalytische Untersuchungen in einigen Mooren nördlich des Wiehengebirges. - Jb. Preuß. Geol. Landesans. 54: 161-193 (8 Abb., 2 Taf.), Berlin.
- PFAFFENBERG, K. (1936): Bohlwege im Diepholzer Moor. - Nachr. Nieders. Urgeschichte 10: 62-98 (12 Abb., 4 Fot.), Hildesheim - Leipzig (A. Lax).
- PHILIPPI, F. & M. BÄR (1892-1902): Osnabrücker Urkundenbuch. -
- PLATZEK, J. (1991): Funktionelle Kriterien zur Bewertung von Seen. - Verh. Ges. Ökol. 20: 561-568 (4 Abb., 2 Tab.), Freising - Weißenstephan.
- PLESCHER, G. (1966): Pollenanalytische Untersuchungen im Bourtanger Moor westlich von Geogsdorf. - Natur u. Heimat 26(1): 1-5, Münster/Westf.
- POELMANN, H. (1934): Geologisches vom Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - in: WERLAND, D. (Hrsg.): Das Heilige Meer von Hopsten. - Natur u. Heimat 1(Sh.): 6-10 (3 Abb.), Münster/Westf.
- POST, H. VAN (1862): Studier öfver Nutidens koprogena Jordbildningar, Gytta, Dy, Torf och Mylla. - Kgl. Svenska Vet.-Akad. Handl., N.F. 4: 1-59, Stockholm.
- POST, L. VAN & E. GRANLUND (1926): Södra Sveriges torvtillgångar I. - Sver. Geol. Unders. Arsb. 19: 1-127, Stockholm.
- POTT, R. (1980): Die Wasser- und Sumpflvegetation eutropher Gewässer in der Westfälischen Bucht. Pflanzensoziologische und hydrochemische Untersuchungen. - Abh. Landesmus.

- Naturk. **42**(2): 156 S. (32 Abb., 14 Tab., 31 Veg.Tab.), Münster (Westf.). (Dissertation)
- POTT, R. (1981a): Der Einfluss der Niederholzwirtschaft auf die Physiognomie und die floristisch-soziologische Struktur von Kalkbuchenwäldern. - *Tuexenia* **1**: 233-242, Göttingen.
- POTT, R. (1981b): Ökologie und Indikatorwert von Wasserpflanzengesellschaften. - Mitt. LÖLF, Sonderh. Landestagungen 1980: 57-64 (14 Abb.), Recklinghausen.
- POTT, R. (1982a): *Littorelletea*-Gesellschaften in der Westfälischen Bucht. - *Tuexenia* **2**: 31-45 (3 Abb., 7 Tab.), Göttingen.
- POTT, R. (1982b): Das Naturschutzgebiet „Hiddeser Bent - Donoper Teich“ in vegetationsgeschichtlicher und pflanzensoziologischer Sicht. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **44**(3): 1-108, Münster (Westf.).
- POTT, R. (1982c): zu SCHWABE-BRAUN & TÜXEN: *Lemnetea minoris*. - *Phytocoenologia* **10**: 399-400, Braunschweig - Stuttgart (Borntraeger).
- POTT, R. (1983a): Die Vegetationsabfolgen unterschiedlicher Gewässertypen Nordwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt des Wassers. - *Phytocoenologia* **11**(3): 407-430 (9 Fig., 2 Tab.), Braunschweig - Stuttgart (Borntraeger).
- POTT, R. (1983b): Geschichte der Hude- und Schneitelwirtschaft in Nordwestdeutschland und ihre Auswirkungen auf die Vegetation. - Oldenburg. Jahrb. **83**: 357-373 (7 Abb., 7 Taf.), Münster.
- POTT, R. (1984): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Gebiet der Borkenberge bei Haltern in Westfalen. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **46**(2): 3-28 (15 Abb., 4 Kart.), Münster (Westf.).
- POTT, R. (1985a): Beiträge zur Wald- und Siedlungsgeschichte des Westfälischen Berg- und Hügellandes auf Grund neuer pollenanalytischer Untersuchungen. - *Siedl. u. Landsch. Westf.* **17**: 1-38, Münster.
- POTT, R. (1985b): Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen zur Niederwaldwirtschaft in Westfalen. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **47**(4): 1-75 (32 Abb., 5 Veg.Tab., 2 Dia.), Münster (Westf.).
- POTT, R. (1985): Zur Synökologie nordwestdeutscher Röhrichtgesellschaften. - *Verh. Ges. Ökol.* (Bremen 1983) **13**: 111-119 (5 Abb., 2 Tab.), Göttingen.
- POTT, R. (1986): Der pollenanalytische Nachweis extensiver Waldbewirtschaftungen in den Haubergen des Siegerlandes. - in: BEHRE, K.-E.: *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams*. - 125-134 (14 Abb., 1 Tab.), Rotterdam (Balkema).
- POTT, R. (1988): Entstehung von Vegetationstypen und Pflanzengesellschaften unter dem Einfluss des Menschen. - *Düsseldorfer Geobot. Kolloq.* **5**: 27-54, Düsseldorf.
- POTT, R. (1989a): Historische und aktuelle Formen der Bewirtschaftung von Hecken in Nordwestdeutschland. - *Forstw. Cbl.* **108**: 111-121 (6 Abb.), Hamburg - Berlin (Parey).
- POTT, R. (1989b): Entwicklung von Hecken in der Kulturlandschaft Nordwestdeutschlands. - *Verh. Ges. Ökol.* (Göttingen 1987) **17**: 663-670 (7 Abb.), Göttingen.
- POTT, R. (1989c): Die Formierung von Buchenwaldgesellschaften im Umfeld der Mittelgebirge Nordwestdeutschlands unter dem Einfluss des Menschen. - in: POTT, R.: *Tätigkeitsbericht für die Jahre 1987 und 1988*. - Institut für Geobotanik der Universität Hannover: 30-44 (2 Abb.), Hannover.
- POTT, R. (1990): Die nacheiszeitliche Ausbreitung und heutige pflanzensoziologische Stellung von *Ilex aquifolium* L. - *Tuexenia* **10**: 497 - 512 (5 Abb., 1 Tab.), Göttingen.
- POTT, R. (1992a): Entwicklung der Kulturlandschaft Nordwestdeutschlands unter dem Einfluss des Menschen. - *Z. Univ. Hannover - Mitt.bl. Hann. Hochschulgem.* **19**(1): 3 - 48 (44 Abb., 7 Tab.), Hannover.
- POTT, R. (1992b): Entwicklung von Pflanzengesellschaften durch Ackerbau und Grünlandnutzung. - *Gartenbauwiss.* **57**(4): 157-166 (1 Abb.), Stuttgart (Ulmer).
- POTT, R. (1992c): Nacheiszeitliche Entwicklung des Buchenareals und Differenzierung der mitteleuropäischen Buchenwaldgesellschaften. - *Seminarber. NZ-NRW* (Naturschutzzentrum Nordrhein-Westfalen) **12**: 6-18 (10 Abb.), Recklinghausen.
- POTT, R. (1992d): Man-ecosystem interactions in the beginning of human civilization. History and influence of human impact on vegetation in Early Neolithic landscape of NW-Germany. - *Annali di Botanica* **50**: 97-118 (12 fig., 2 tab.), Roma.
- POTT, R. (1992e): *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands*. - 1. Aufl.: 427 S. (272 Abb., 12 Tab.), Stuttgart (UTB Ulmer).
- POTT, R. (1993a): *Farbatlas Waldlandschaften*. Ausgewählte Waldtypen und Waldgesellschaften unter dem Einfluss des Menschen. - 1. Aufl.: 224 S. (273 Fot., 17 Abb.), Stuttgart (Ulmer).
- POTT, R. (1993b): *Die nacheiszeitliche Vegetations- und Siedlungsgeschichte des südwestfälischen*

- Berglandes im Raum Siegen-Wittgenstein. - Führer archäolog. Denkmälern Deutschland **25**: 20-34, Stuttgart (Theiss).
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. - 2. Aufl.: 615 S., Stuttgart (Ulmer).
- POTT, R. (1996): Seltene und schützenswerte Biotoptypen Deutschlands und angrenzender Regionen. Biotopkomplexe, Biotoptypen, Biotopstrukturen und deren Pflanzengesellschaften. - 448 S. (872 Abb., 12 Tab., 14 Kart.), Stuttgart (Ulmer).
- POTT, R. (1997): Von der Urlandschaft zur Kulturlandschaft - Entwicklung und Gestaltung mitteleuropäischer Kulturlandschaften durch den Menschen. - Verh. Ges. Ökol. **27**: 5-26, Stuttgart - Jena (Fischer).
- POTT, R. (Hrsg., 1998): Stickstoffbelastungen der Gewässerlandschaft im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt) und Möglichkeiten landesplanerischer Gegensteuerung. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **60**(2): 127 S., Münster.
- POTT, R. (Hrsg., 2000): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). Interaktion zwischen Still- und Fließgewässern, Grundwasser und Vegetation sowie Landnutzung und Naturschutz. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **62** (Bh.): 397 S., Münster.
- POTT, R. & J. HÜPPE (1991): Die Hudelandschaften Nordwestdeutschlands. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **53**(1-2): 313 S. (138 Abb., 56 Tab.), Münster (Westf.).
- POTT, R. & J. PETERSEN (1999): The european reed beds and their ecology with an example from the frisian islands in the northern sea. - Spec. Issue Internat. Workshop a. Forum on Conservation of Reedbeds; Bulletin Kansai Organiz. Nature Conserv. **21**(2): 271-288.
- POTT, R., J. PUST & B. HAGEMANN (1998): Methodische Standards bei der vegetationsökologischen Analyse von Stillgewässern - dargestellt am Großen Heiligen Meer in den Untersuchungs-jahren von 1992-1997. - in: POTT, R. (Hrsg.): Stickstoffbelastungen der Gewässerlandschaft im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt) und Möglichkeiten landesplanerischer Gegensteuerung. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **60**(2): 53-110 (37 Abb., 2 Tab.), Münster.
- POTT, R., J. PUST & K. HOFMANN (1996): Trophiedifferenzierungen von Stillgewässern im NSG „Heiliges Meer“ und deren Auswirkungen auf die Vegetation.- Erste Ergebnisse. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **58**(2): 60 S. (44 Abb., 16 Tab.), Münster (Westf.).
- POTT, R. & M. SPEIER (1993): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen zur Waldentwicklung und Landnutzung im Siegerland und Lahn-Dill-Gebiet. - in: ZIMMERMANN, U. (Hrsg.): Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa. - 531-550, Freiburg.
- POTT, R. & R. WITTIG (1983): Aquatische und amphibische Vegetation. - in: PFLUG, W., H. ANT, N. HORBERT & H. WEDECK: Landschaftsökologisches und landschaftsgestalterisches Gutachten zum Kernkraftwerk Kalkar. - 67-76, Aachen.
- POTT, R. & R. WITTIG (1985): Die *Lemnetea*-Gesellschaften der niederrheinischen Gewässer und deren Veränderungen in den letzten Jahren. - Tuexenia **5**: 21-30 (6 Tab.), Göttingen.
- PREISING, E., H.-C. VAHLE, D. BRANDES, H. HOFMEISTER, J. TÜXEN & H.E. WEBER (1990): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens. Bestandesentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme: Wasserpflanzen und Sumpfpflanzengesellschaften des Süßwassers. - Naturschutz u. Landschaftspf. Nieders. **20**(7-8): 1-161, Hannover.
- PRESCOTT, G.W. (1978): How to know the freshwater algae. Pictured key nature series. - 3rd ed.: 292 S. (586 fig.), Dubuque/Iowa (Brown).
- PRINZ, H. et al. (Hrsg., 1973): Verbreitung von Erdfällen in der Bundesrepublik Deutschland. - Symposium der Bundesanstalt für Bodenforschung und der Geologischen Landesämter der BRD, Hannover.
- PROLINGHEUER, T. & K. KAPLAN (1990): Zur Vergesellschaftung und zum Standort des Gagels (*Myrica gale* L.) in Westfalen. - Metelener Schriften. Natursch. **1**: 39-57.
- PRUB, W. (1935): Urkunden 1794 beim Ortsbauernführer Frans Bruns, früher Grothus genannt, Portgerd in Ägypten am Osterholz und Heiligen Meer zu Hopsten. - Unveröff. Nachlaß des 1. Vorsitz. Hopstener Heimatvereins W. Pruß: 3 S., Hopsten.
- PRUB, W. (1936): Das „Heilige Meer“ einst ein „Godesberg“. - Festschrift zum Kreistreffen der NSDAP des Kreises Tecklenburg am 26. April 1936 in Ibbenbüren: 32-36 (4 Abb.), Hopsten.
- PSENNER, R., B. BOSTRÖM, M. DINKA, K. PETTERSSON, R. PUCSKO & M. SAGER (1988): Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. - in: SEDIMENT PHOSPHORUS GROUP: Working group summaries and proposals for future research. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **30**: 98-110 (1 Abb.), Stuttgart (Schweizerbart).
- PSENNER, R. & R. PUCSKO (1988): Phosphorous fractionation: advantages and limits of the method for the study of sediment P origins and interactions. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **30**: 43-59 (9 abb., 3 tab.), Stuttgart (Schweizerbart).

- PUNT, W. (ed., 1976): The Northwest European Pollen Flora. - I. Parts 1-7: 145 S., Amsterdam - Oxford - New York (Elsevier).
- PUNT, W. et al. (eds., 1980-91): The Northwest European Pollen Flora. - II. Parts 8-20: 285 S., III. Parts 21-28: 138 S., IV. Parts 29-37: 369 S., V. Parts 38-43: 154 S., VI. Parts 44-51: 275 S., Amsterdam - Oxford - New York - (Tokyo) (Elsevier).
- PUST, J. (1993): Erste Ergebnisse zur Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im NSG „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). - Abh. Westf. Mus. Naturk. **55**(2): 80 S. (43 Abb., 3 Tab.), Münster (Westf.).
- PUST, J., B. HAGEMANN & R. POTT (1997): Winterliche Grundwasserdynamik und deren Beeinflussung durch die Ufervegetation am Beispiel des Erlenbruchwaldes am Großen Heiligen Meer, Kr. Steinfurt. - Natur u. Heimat **57**(2): 53-63 (6 Abb., 1 Tab.), Münster/Westf.
- RALSKA-JASIEWICZOWA, M. (ed., 1989): Environmental Changes recorded in Lakes and Mires of Poland during the last 13000 years. - Acta Palaeobot. **29**: Warszawa / Krakow.
- REHAGEN, H.-W. (1964): Zur spät- und postglacialen Vegetationsgeschichte des Niederrheingebietes und Westmünsterlandes. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf. **12**: 55-96, Krefeld.
- REILLE, M. (1992): Pollen et spores d'europe et d'afrique du nord. - Lab. Bot. Hist. et Palyn.: 520 S., Marseille.
- REINERS, H. (1987): Abbauwürdige Lagerstätten. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II -Landesnatur-, Lfg. 3, Dppl.bl. 1 (Text- u. Kartenteil): 17 S. (1 Abb., 4 Tab.), Münster (Aschendorff).
- RENBERG, I. & T. HELLBERG (1982): The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments. - Ambio **11**(1): 30-33.
- RENNE, H. (1903): Die forstlichen Verhältnisse Westfalens und speziell des Münsterlandes in ihrer Entstehung und Entwicklung bis zur Gegenwart. - **31**. J.ber. Westf. Prov.-Ver. Wiss. Kunst 1902 / 1903, Botan. Sekt.: 241-251, Münster.
- RODE, H. & K. EBLAGE (Hrsg., 1994): Uffeln - Geschichte eines Ibbenbürener Ortsteils. - 603 S.
- RÖHRS, H. (1985): Der Ibbenbürener Steinkohlenbergbau und seine Mineralien. - 48 S., Haltern (Bode).
- ROLFES, D. (1998): Synökologische Untersuchungen im Erlenbruchwald im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Münsterland). - Unveröff. Staatsex., Univ. Hannover: 58 S., Hannover.
- ROTHERT, H. (1932): Die mittelalterlichen Lehnbücher der Bischöfe von Osnabrück. - in: HISTORISCHER VEREIN ZU OSNABRÜCK (Hrsg.): Osnabrücker Geschichtsquellen. Bd. 5, Osnabrück.
- ROUND, F.E. (1975): Biologie der Algen. Eine Einführung. - 1. Aufl.: 315 S., Stuttgart (Thieme).
- ROUND, F.E. (1990): The effect of liming on the benthic diatom population in three Upland Welsh streams. - Diatom Res. **5**(1): 129-140.
- RUDKE, M. (1994): Vegetationskundliche Untersuchungen der Vegetationszonierung in der Verlandungszone von Stillgewässern. - Unveröff. Diplomarbeit Bot. Inst. Westf. Wilh.-Univ. Münster, Münster.
- RUNGE, F. (1934): Führer durch das Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Natur u. Heimat **1** (Bh): Münster/Westf.
- RUNGE, F. (1957): Die Flora des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten und ihre Änderungen in den letzten 60 Jahren. - Natur u. Heimat **17** (3): 74-96, Münster/Westf.
- RUNGE, F. (1959): Ein neuer Erdfall bei Hopsten. - Natur und Heimat **19**(3): 94-96 (3 Abb.), Münster.
- RUNGE, F. (1960): Exkursion zum „Heiligen Meer“. Biologischer Bericht. - Decheniana **113**(2): 349-350, Bonn.
- RUNGE, F. (1967a): Weitere Änderungen der Flora des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. - Natur u. Heimat **27**: 129-135, Münster/Westf.
- RUNGE, F. (1969): Vegetationsschwankungen in einer nassen Heide. - Natur u. Heimat **29**(1): 28-30 (1 Tab.), Münster/Westf.
- RUNGE, F. (1974): Schwankungen der Vegetation nordwestdeutscher Heideweiher. - Abh. Naturw. Ver. Bremen **37**: 421-428.
- RUNGE, F. (1978): Die Naturschutzgebiete Westfalens und des früheren Regierungsbezirkes Osnabrück. - Münster.
- RUNGE, F. (1985a): Weitere Änderungen der Flora des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten II. - Natur u. Heimat **45**(2): 47-53, Münster/Westf.
- RUNGE, F. (1985b): 21-, 10- und 8-jährige Dauerquadratuntersuchungen in aufgelassenen Grünlandereien. - MGA **20**: 45-49, Paderborn (Schöningh).
- RUNGE, F. (1985c): Florenelemente. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschafts-

- verband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. The-  
menbereich II -Landesnatur-, Lfg. 1, Dppl.bl. 3 (Text- u. Kartenteil): 9 S. (1 Abb., 1 Tab.), Mün-  
ster (Aschendorff).
- RUNGE, F. (1987): Die Änderungen der Vegetation eines Birkenwaldes in 29 Jahren. - *Decheniana*  
**140**: 11-14 (1 Tab.), Bonn.
- RUNGE, F. (1991a): Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ und ihre  
Änderungen in den letzten 90 Jahren. - *Natur u. Heimat* **51**(Bh.): 89 S., Münster/Westf.
- RYBAK, M. (1985): Some ecological effects of artificial circulation on the phytoplankton. - *Hydro-  
biol.* **122**: 89-96.
- RYBNICEK, K. & E. RYBNICKOVA (1979): The origin and development of waterlogged meadows in  
central part of Sumava foothills. - *Folia Geobot. Phytotax.* **9**: 45-70.
- RYBNICKOVA, E. (1974): Die Entwicklung der Vegetation und Flora im südlichen Teil der  
Böhmisch-Mährischen Höhe während des Spätglazials und Holozäns. - *Vegetace CSSR A 7*:  
Praha.
- RYHÄNEN, R. (1968): Die Bedeutung der Humussubstanzen im Stoffhaushalt der Gewässer Finn-  
lands. - *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **14**: 168-178.
- SALDEN, N. (1978): Beiträge zur Ökologie der Diatomeen (Bacillariophyceae) des Süßwassers. -  
*Decheniana Bh.* **22**: 238 S. (8 Abb., 26 Tab.), Bonn.
- SCHAEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. - 14. Aufl., Stuttgart  
(Enke).
- SCHLÜTER, M. (1997): Pollenanalytische Untersuchungen zur lokalen Vegetations- und Siedlungs-  
entwicklung im geologischen Senkungsgebiete des Heiligen Meeres. - Unveröff. Diplomarbeit  
Inst. Geobot. Univ. Hannover: 100 S., Hannover.
- SCHLÜTER, W. (1979): Die Vor- und Frühgeschichte der Stadt und des Landkreises Osnabrück.- in:  
Römisch-German. Zentralmuseum Mainz (Hrsg.): Führer zu vor- u. frühgeschichtl. Denk-  
mälern. Das Osnabrücker Land I / **42**: 43-154, Mainz.
- SCHNEEKLOTH, H. (1967): Vergleichende pollenanalytische und <sup>14</sup>C-Datierungen an einigen Mooren  
im Solling.- *Geolog. Jb.* **84**: 717-724.
- SCHOCH, W. (1986): Wood and charcoal analysis. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): *Handbook of Holo-  
cene Palaeoecology and Palaeohydrology*: 619-626 (3 fig.), Chichester (J. Wiley).
- SCHOCH, W.H., PAWLIK, B., SCHWEINGRUBER, F.H. (1988): *Botanische Makroreste*. - Stuttgart  
(Haupt).
- SCHOO, H. (1966): Siedlungsgeographische Entwicklung des Raumes Einbruchszone Heiliges  
Meer. Vergleichende Studie insbesondere nach Meßtischblättern und Luftbildern. - Unveröff.  
Prüfungsarbeit PH Westf.-Lippe Abt. Münster: 41 S., Münster.
- SCHOTTE, A. (1956): Dort wo der Teutoburger Wald endet. - *Westf. Heimatkalender 1957*, **11**: 168-  
170, Münster.
- SCHOTTE, G. (1956): Eine alte Landkarte aus dem Jahre 1616. - *Westf. Heimatkalender 1957*, **11**:  
204-206, Münster.
- SCHROEDER, F.-G. (1956): Zur Vegetationsgeschichte des Heiligen Meeres bei Hopsten (Westfalen).  
- *Abh. Landesmus. Naturk. Münster (Westf.)* **18**(2): 38 S. (11 Abb.), Münster (Westf.).
- SCHULLER, E. (1982): Die jahreszeitlich bedingten qualitativen und quantitativen Veränderungen  
der chemischen Parameter in einem stehenden Gewässer. - Unveröff. Staatsexamensarb. Univ.  
Münster, Münster.
- SCHULTE, G. (1987): Feuchtwiesenschutzprogramm Heiliges Meer. ST-23. - Unveröff. Gutachten d.  
Landesanst. Ökol., Landschaftsentw. u. Forstplanung NRW: 22 S., Recklinghausen.
- SCHULZ, A. (1914): Friedrich Ehrharts Anteil an der floristischen Erforschung Westfalens I. - **42**.  
*J.ber. Westf. Prov.-Ver. Wiss. Kunst 1913 / 1914*, Botan. Sekt.: 114-151, Münster.
- SCHUSTER, A. (1971): II. Das Bramscher Massiv. Die westliche und südwestliche Umrandung der  
Ibbenbürener Karbonscholle. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* **18**: 293-352 (6 Abb.), Krefeld.
- SCHÜTTOFF, K. (1971): Die häufigsten Plankter des Großen Heiligen Meeres bei Hopsten / Ibben-  
büren. - Unveröff. Examensarb. PH Nieders., Abt. Hildesheim.
- SCHWAAR, J. (1976): Paläogeobotanische Untersuchungen im Belmer Bruch. - *Abh. Naturw. Ver.*  
Bremen **38**: 208-253.
- SCHWAAR, J. (1977): Neue Aufgaben der Sukzessionsforschung und experimentellen Pflanzenso-  
ziologie - ein Arbeitsprogramm. - *Geol. Jb. Rh. F* **4**: 125-139 (2 Abb., 1 Tab.), Hannover  
(Schweizerbart).
- SCHWAAR, J. (1979): Spät- und postglaziale Pflanzengesellschaften im Dümmer-Gebiet. - *Abh.*  
*Naturw. Ver. Bremen* **39**: 129-152 (7 Abb., 3 Tab.), Bremen.

- SCHWAR, A. (1900): Das heilige Meer bei Hopsten. - **28. J.ber. Westf. Prov.-Ver. Wiss. Kunst** 1899 / 1900, Botan. Sekt.: 74-75, Münster.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1990): Anatomie europäischer Hölzer. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer. - 800 S., Stuttgart (Haupt).
- SCHWOERBEL, J. (1987): Einführung in die Limnologie. - 6. Aufl.: 269 S. (81 Abb., 35 Tab.), Stuttgart (Ulmer / UTB).
- SEEDORF, H.H. & H.-H. MEYER (1992/6): Landeskunde Niedersachsen. Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes. I: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung: 517 S. - II: Niedersachsen als Wirtschafts- und Kulturraum (Bevölkerung, Siedlungen, Wirtschaft, Verkehr und kulturelles Leben): 896 S., Neumünster.
- SELLE, W. (1958): Beiträge zur Siedlungs- und Vegetationsgeschichte in Niedersachsen. II. Kreis Aschendorf (Emsland). - *Abh. Naturw. Ver. Bremen* **35**(2): 366-373 (1 Kart., 1 Dia.), Bremen.
- SERAPHIM, E.T. (1987): Quartärbasis, Verwerfungen und Erdfälle des Heiligen Feldes am Schafberg bei Ibbenbüren. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II - Landesnatur-, Lfg. 3, Dppl.bl. 1 (Text- u. Kartenteil): 24-26, Münster (Aschendorff).
- SERAPHIM, E.T. (1991): Geomorphologie und Naturräume. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II - Landesnatur-, Lfg. 6, Dppl.bl. 3 (Text- u. Kartenteil): 41 S. (8 Abb., 1 Tab.), Münster (Aschendorff).
- SOLLE, D. (1998): Untersuchungen zur Vegetation am Westufer des Großen Heiligen Meeres. Standörtliche Differenzierung der Trophiestufen in Verbindung mit dem Grund- und Sickerwassereinfluss. - Unveröff. Staatsex.arb. Inst. f. Geobot., Univ. Hannover: 100 S., Hannover.
- SPEIER, M. (1994): Vegetationskundliche und paläoökologische Untersuchungen zur Rekonstruktion prähistorischer und historischer Landnutzungen im südlichen Rothaargebirge. - *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **56**(3-4): 174 S. (61 Abb., 16 Tab.), Münster (Westf.).
- SPEIER, M. (1996): Paläoökologische Aspekte der Entstehung von Grünland in Mitteleuropa. - *Ber. Reinh. Tüxen - Ges.* **8**: 199-219 (6 Abb., 3 Tab.), Hannover.
- SPEIER, M. (1997a): Die Entstehung und Entwicklung gehölzdominierter Ökosysteme in Mitteleuropa. - *Natur- und Kulturlandschaft* **2**: 56-69.
- SPEIER, M. (1997b): Die nacheiszeitliche Entwicklung der Gehölzflora in Nordwestdeutschland. - *NNA-Ber.* **2**: 5-15.
- STALLING, H. (1983): Untersuchungen zur nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Meißners (Nordhessen). - *Flora* **174**: 357-376.
- STARKEL, L. (1983): The reflection of hydrological changes in the fluvial environment of the temperate zone during the last 15.000 years. - in GREGORY, K.J. (ed.): *Background to Palaeohydrology*: 213-236, Chichester (J. Wiley).
- STECKHAN, H.-U. (1961): Pollenanalytisch-vegetationskundliche Untersuchungen zur frühen Siedlungsgeschichte im Vogelsberg, Knüll und Solling. - *Flora* **150**: 514-550.
- STEINBERG, C.E.W. & M. TRUMPP (1993): Palaeolimnological niche characterization with selected algae. I. Planktonic diatoms from a hardwater habitat. - *Arch. Protistenk.* **143**: 249-255.
- STEINHOFF, D. (1976): Unbekanntes Westfalen. Entdeckungsreise entlang der westfälischen Grenzen. - 5. Aufl., Münster (Aschendorff).
- STOCKMARR, J. (1971): Tablets with spores used in absolute pollen analysis. - *Pollen et Spores* **13**: 615-621.
- STOCKMARR, J. (1973): Determination of spore concentration with an electronic particle counter. - *Danm. Geol. Unders.*: 87-89, Arbog.
- STORM, U. (1996): Der Einfluss des oberflächennahen Grundwassers auf die Vegetation im „Großen Heiligen Meer“. - Unveröff. Diplomarbeit Inst. Geobot., Univ. Hannover: 139 S., Hannover.
- STRAKA, H. (1975): Die Pollenanalyse in der Erd- und Vorgeschichte. - *biuz* **5**(2): 41-47 (7 Abb.).
- STRASBURGER, E. (1983): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. - 32. Aufl., 1161 S., Stuttgart (Fischer).
- STREBLE, H. & D. KRAUTER (1988): Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. - 8. Aufl.: 399 S. (üb. 1700 Zeichn., 52 Fot.), Stuttgart (Franckh-Kosmos).
- STREIF, H. (1970): Limnogeologische Untersuchung des Seeburger Sees (Untereichsfeld). (Geologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern VII). - *Bh. Geol. Jb.* **83**: 106 S. (25 Abb., 9 Taf.), Hannover.
- SUDHOLZ, G. (1964): Die ältere Bronzezeit zwischen Niederrhein und Mittelweser.- *Münstersche Beiträge zur Vorgeschichtsforsch.* **I**: 128 S..

- TAUBER, H. (1965): Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. With a contribution to the interpretation of the elm fall. - Danm. Geol. Unders. Raekke II / **89**: 69 S. (2 pl.), Kopenhagen (Reitzels).
- TEBBE, R. (1970): Untersuchung der Vegetationsentwicklung im Gebiet des Heiligen Feldes bei Hopsten seit dem 17. Jahrhundert an Hand von Archivalien. - Unveröff. Prüfungsarbeit PH Westf.-Lippe Abt. Münster: 81 S., Münster.
- TEMLITZ, K. (1991): Geologie und Paläogeographie. - in: Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II -Landesnatur-, Lfg. 6, Dppl.bl. 2 (Text- u. Kartenteil): 62 S. (21 Abb., 3 Tab.), Münster (Aschendorff).
- TERLUTTER, H. (1995): Das Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Westf. Mus. Naturk.: 144 S., Münster (Westf.).
- THIENEMANN, A. (1918): Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Sauerstoffgehalt des Wassers und der Zusammensetzung der Fauna in norddeutschen Seen. - Arch. Hydrobiol. **12**: 1-65.
- THIENEMANN, A. (1925): Die Binnengewässer Mitteleuropas. - Die Binnengewässer **1**: Stuttgart (Schweizerbart).
- THIENEMANN, A. (1928): Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. - Die Binnengewässer **4**: Stuttgart (Schweizerbart).
- THIENEMANN, A. (1955): Die Binnengewässer in Natur und Kultur. Eine Einführung in die theoretische und angewandte Limnologie. - 156 S., Berlin - Göttingen - Heidelberg.
- THIERMANN, A. (1975a): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Feldes“ im Tecklenburger Land / Westfalen. - Mitt. Geol. -Paläont. Inst. Univ. Hamburg **44**: 517-530 (8 Abb.), Krefeld.
- THIERMANN, A. (1975b): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000. Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. - Geolog. Landesamt NRW (Hrsg.): 214 S. (21 Abb., 9 Tab., 5 Taf.), Krefeld.
- THIERMANN, A. (1987): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100000. Erläuterungen zu Blatt C 3910 „Rheine“. - Geolog. Landesamt NRW (Hrsg.): 56 S. (14 Abb., 2 Tab.), Krefeld.
- THURNEISSER ZUM THURN, L. (1569/1612): „Pison“. Zehen Bücher der Gewässer. - **VIII**. Bd., 3. Kap.: S. 288, Frankfurt / Oder (Neuauf. 1612, Straßburg. - zit. n. Zeitschrift für Vaterländische Geschichte v. 1838, Bd. 1: S. 249, Staatsarchiv Münster.)
- TIETZE, O. (1914): Der Erdfall vom 14. April 1913 in der Gemeinde Hopsten (Kreis Tecklenburg). - Jb. Königl. Geol. Landesanst. 1913, **34** / Teil I: 648-657 (3 Fig.), Berlin.
- TRAUTMANN, W. (1957): Natürliche Pflanzengesellschaften und nacheiszeitliche Waldgeschichte des Eggegebirges. - Mitt. Flor.-soz. AG N.F. **6/7**: 276-296.
- TROELS-SMITH, J. (1955): Karakterising af lose jordater. (Characterization of Unconsolidated Sediments.) - Danm. Geol. Unders. R. IV, 3 / **10**: 39-73 (13 tav.), Kopenhagen (Reitzels).
- ULLRICH, C. (1970): Bild und Geschichte der Auflageböden Nordwestdeutschlands, dargestellt am Plaggenesch bei Voltlage. - Naturk. Westf. **6**: 83-87 (3 Abb.), Hamm.
- VAHLE, H.-C. (1990): Grundlagen zum Schutz der Vegetation oligotropher Stillgewässer in Nordwestdeutschland. - Naturschutz u. Landschaftspf. Niedersachsen **22**: 157 S. (118 Abb.), Hannover.
- VERBÜCHELN, G., D. HINTERLANG, A. PARDEY, R. POTT & K. VAN DE WEYER (1995): Rote Liste der Pflanzengesellschaften Nordrhein-Westfalens. - Schriftenr. LÖBF **5**: 318 S., Recklinghausen.
- VÖGE, M. (1992): Tauchuntersuchungen an der submersen Vegetation in 13 Seen Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung der Isoetiden-Vegetation. - Limnologica **22**(1): 82-96 (5 Abb., 15 Tab.), Jena (Fischer).
- VOIGT, R. (1996): Landschaftsgeschichtliche Untersuchungen an einigen oberbayrischen Seen. - Diss. Bot. **270**.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1968): Die wissenschaftliche Grundlage der Seen- und Fließgewässereutrophierung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und des Stickstoffs als Eutrophierungsparameter. - OECD Report DAS / CSJ **68**.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1974): A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. - IPB-Handbook, 2nd ed.: Oxford - London - Edinburgh - Melbourne.
- WALTHER, H. & S.-W. BRECKLE (1986): Ökologie der Erde. - Bd. 3: Spezielle Ökologie der gemäßigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens: 587 S., Stuttgart (G. Fischer, UTB).
- WALTHER, H. & S.-W. BRECKLE (1990): Spezielle Ökologie der tropischen und subtropischen Zonen: 461 S., Stuttgart (G. Fischer).
- WASYLIKOWA, K. (1984): Fossil evidence for ancient food plants in Poland. - Proceedings of the 6th

- symp. Intern. Work group for palaeoethnobotany 1983: 257-266, Rotterdam.
- WASYLIKOWA, K. (1986): Analysis of fossil fruits and seeds. - in: BERGLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology: 571-590 (6 fig., 1 Tab.), Chichester (J. Wiley).
- WATERBOLK, H.T. (1954): De praehistorische mens en zijn milieu. Een palynologisch onderzoek naar de menselijke invloed op de plantengroei van de diluviale gronden in Nederland. - Thesis: 153 p., Groningen.
- WEGNER, T. (1913a): Bericht über den Erdfall bei Hopsten. - Unveröff. Ber.: (1 Kart.), Münster.
- WEGNER, T. (1913b): Der Erdfall bei Hopsten vom 14. April 1913. - Petermanns Mitt.: 69-70, Gotha.
- WEGNER, T. (1913c): Der Erdfall bei Hopsten (Westfalen). - Naturwiss. Wochenschrift N. F. **XII**(21): 332-333 (2 Abb), Jena (Fischer).
- WEICHEL, J. (1985): Zum Sedimentchemismus des Großen Heiligen Meeres und des Erdfallsees. - Unveröff. Diplomarbeit FH München, Fachr. Physik. Techn., München.
- WEINERT, M., D. REMY & E.P. LÖHNERT (1998): Hydrogeologie der Gewässerlandschaft „Heiliges Meer“ bei Hopsten (Nordrhein-Westfalen, Nordwestdeutschland) - erste Ergebnisse. - in: POTT, R. (Hrsg.): Stickstoffbelastungen der Gewässerlandschaft im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt) und Möglichkeiten landesplanerischer Gegensteuerung. - Abh. Westf. Mus. Naturk. **60**(2): 13-52 (27 Abb., 4 Tab.), Münster.
- WEINERT, M., D. REMY & E.P. LÖHNERT (2000): Hydrogeologische Systemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). - in: POTT, R. (Hrsg.): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). - Abh. Westf. Mus. Naturk. **62**(Bh.): 41-172, Münster.
- WELTEN, M. (1967) Ein Brachsenkraut, *Isoetes setacea* LAM., fossil im schweizerischen Molasse-land. Diskussionsbeitrag zu den Begriffen des Arealis und des historischen Elements. - Bot. Jahrb. Syst. **86**: 527-536.
- WERFF, A. VAN DER & H. HULS (1957-1974): Diatomeenflora van Nederland. - Abcoude-De Hoef.
- WERLAND, D. (Hrsg., 1934): Das Heilige Meer von Hopsten. - Natur u. Heimat **1** (Sh.): Münster/Westf.
- WIEGLEB, G. (1976): Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Chemismus und Makrophytenvegetation stehender Gewässer in Niedersachsen. - Diss. Univ. Göttingen: 114 S., Göttingen.
- WIEGLEB, G. (1978): Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen hydrochemischen Umweltfaktoren und Makrophytenvegetation in stehenden Gewässern. - Arch. Hydrobio. **83**(4): 443-484.
- WIEMERS, N. (1975): Limnologische Untersuchung des Großen Heiligen Meeres bei Hopsten (Westfalen) unter besonderer Berücksichtigung seiner chemischen Verhältnisse. - Unveröff. Arbeit.
- WIERMANN, R. & D. SCHULZE (1986): Pollenanalytische Untersuchungen im Torfmoor bei Nettelstedt (Kr. Minden-Lübbecke). - Abh. Westf. Mus. Naturk. **48**(2-3): 481-495, Münster.
- WILLERDING, U. (1977): Über Klimaentwicklung und Vegetationsverhältnisse im Zeitraum Eisenzeit bis Mittelalter. - Abh. Akd. Wiss. Göttingen, Phil. Hist. Klasse, 3. Folge **101**: 357-405.
- WILLERDING, U. (1979a): Zum Ackerbau in der jüngeren vorrömischen Eisenzeit.- Archaeo-Physika **8**: 309-324.
- WILLERDING, U. (1979b): Paläoethnobotanische Untersuchungen über die Entwicklung von Pflanzengesellschaften.- Ber. Intern. Symp. Veg.kde. Rinteln 1978: 61-110, Vaduz.
- WILLERDING, U. (1980): Anbaufrüchte der Eisenzeit und des frühen Mittelalters, ihre Anbauformen, Standortverhältnisse und Erntemethoden. - in: BECK, H., D. DENECKE & H. JANKUHN (Hrsg.): Unters. zur eisenzeitl. u. frühmittelalterl. Flur in Mitteleuropa u. ihre Nutzung II.- Abh. D. Akad. Wiss. Göttingen **116**: 126-196, Göttingen.
- WILLERDING, U. (1987): Paläoethnobotanische Funde über die Lebens- und Umweltverhältnisse im Mittelalter. - in: HERRMANN, B. & R. SPRANDEL (Hrsg.): Determinanten der Bevölkerungsentwicklung im Mittelalter. - VCH Acta Humaniora: 109-125, Weinheim.
- WILLERDING, U. (1996): Zur Agrarproduktion von der jüngeren vorrömischen Eisenzeit bis ins frühe Mittelalter. - Historicum, Frühling: 10-20, Linz.
- WITTIG, R. (1976): Die Gebüsch- und Saumgesellschaften der Wallhecken in der Westfälischen Bucht. - Abh. Landesmus. Naturk. Münster Westf. **38**(3): 3-43 (14 Abb.), Münster. - Dissertation
- WITTIG, R. (1980): Die geschützten Moore und oligotrophen Gewässer der Westfälischen Bucht. -

- Schriftenr. LÖLF 5: 228 S., Münster.
- WITTIG, R. (1996): Schutz der Vegetation temporärer Heideweiler durch Biotop-Neuschaffung. Sukzessionsstudien zu Chancen und Grenzen des Biotopschutzes. - Natursch. u. Landschaftspl. Z. angewandte Ökol. **28**(4): 112-117 (3 Tab.), Stuttgart (Ulmer).
- WITTIG, R. & R. POTT (1982): Die Verbreitung der *Littorelletea*-Arten in der Westfälischen Bucht. - Decheniana **135**: 14-21, Bonn.
- ZAGWIJN, W.H. (1994): Reconstruction of climate change during the holocene in western and central Europe based on pollen records of indicator species. - Veget. Hist. Archaeobot. **3**: 65-88.
- ZEIST, W. VAN (1955): Pollen analytical investigations in the Northern Netherlands with special reference to archaeology. - Proefschrift Rijks-Univ. Utrecht: 81 S. (29 fig.), Amsterdam (North-Holland Publishing Company).
- ZEIST, W. VAN (1959): Studies on the post-boreal vegetational history of south-eastern Drenthe (Netherlands). - Acta Bot. Neerlandica **8**: 156-185 (14 fig., 2 tab.), Groningen.
- ZWICK, A. (1993): Paläoklimatologische Studien über die Auswirkung von Klimaänderungen auf ausgewählte Biozönosen im Muggesfelder See, Norddeutschland. - Diss. Techn. Univ. München.

## 9.2 Karten

- Bodenkarte TK 5, Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“ (1987). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.
- Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 83/84 Osnabrück / Bentheim. - in MEISEL, S. (1961): Geograph. Landesaufn. 1:200000, Naturräuml. Gliederung Deutschlands. - Bad Godesberg.
- DGK 5 L (Deutsche Grundkarte 1:5000, Luftbild), Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“ (1969, 78, 89). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000. Blatt 3611 „Hopsten“. - in THIERMANN, A. (1975b): Geolog. Landesamt NRW (Hrsg.): 5 taf., Krefeld.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100000. Blatt C 3910 „Rheine“. - in THIERMANN, A. (1987): Geolog. Landesamt NRW (Hrsg.): Krefeld.
- „Grenzkarte zwischen Münster und Lingen vom Speller Wald über Hopsten, Gravenhorst, Püßelbüren bis nach Tecklenburg und Saerbeck (nach einer Karte von Wandscher und Gemmenich)“. - Z.: BERTELING (1616, abgezeichnet 1747). - Kartensammlung Nr. A1239, Staatsarchiv Münster.
- „Grenzkarte zwischen Münster und Lingen vom Heiligen Meer bis Hopsten über Schapen bis zum Speller Wald“. - Z.: FRIEMEL (1774-1776). - Kartensammlung Nr. A43, Staatsarchiv Münster.
- HK 25 UR (Historische Karte, Uraufnahme), Blatt 3611 „Hopsten“ (1842). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.
- HK 25 (Topographische Karte 1:25000), Blatt 3611 „Hopsten“ (1895). - KÖNIGLICH PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME ex Bibl. Regia, Berlin 1941.
- Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:50000. Blatt L 3710 „Rheine“ (1983). - KOCH, M.: 2 Kar., Geol. Landesamt NRW:, Krefeld.
- „Karte der Lingschen Grenze im Kirchspiel Hopsten und des quästionierten Grundes durch den Speller Wald bis an die Speller Brücke und vom Heiligen Meer bei Hopsten bis Recke“. - Z.: FRIEMEL (1564). - Kartensammlung Nr. A258, Staatsarchiv Münster.
- „Karte über strittige Grenzen zwischen dem Hochstift Münster und der Grafschaft Lingen und Tecklenburg (vom Heiligen Meer bei Hopsten über Uffeln, Gravenhorst, Dörenthen bis Saerbeck und bei Greven)“. Z.: BERTELING (1768). - Kartensammlung Nr. A423, Staatsarchiv Münster.
- Potentielle natürliche Vegetation. - in BURRICHTER, E., R. POTT & H. FURCH (1988): Geographische Kommission für Westfalen / Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen. Themenbereich II -Landesnatur-, Lfg. 4, Dppl.bl. 1: Münster (Aschendorff).
- TK 5 (Topographische Karte 1:5000, Grundriß), Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“ (1978, 82, 93). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.
- TK 5 (Topographische Karte 1:5000, Grundriß), Blatt 3611/18 „Obersteinbeck“ (1993). - LANDESVERMESSUNGSAMTNRW (Hrsg.), Bonn.
- TK 25 (Topographische Karte 1:25000, Normalausgabe), Blatt 3611 „Hopsten“. - 15. Aufl. (1993). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.
- TK 25 (Topographische Karte 1:25000, Normalausgabe), Blatt 3612 „Mettingen“. - 13. Aufl.

- (1993). - LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg.), Bonn.  
 TK 50 (Topographische Karte 1:50000, Normalausgabe), Blatt L 3712 „Ibbenbüren“. - 4. Aufl. (1983). - LANDESVERMESSUNGSAMTNRW (Hrsg.), Bonn.  
 TK 50 (Topographische Karte 1:5000, Normalausgabe), Blatt L 3710 „Rheine“. - 5. Aufl. (1984). - LANDESVERMESSUNGSAMTNRW (Hrsg.), Bonn.  
 VON LECOQ (1805): „Karten von Nordwestdeutschland 1:86400, Sektion VIII u. IX“. - Preußische Aufnahme.

### 9.3 Sonstige Quellen

- IBBENBÜRENER VOLKSZEITUNG (1913): Ibbenbüren, 17.04.1913. Erdbeinsturz... - Hopsten, 17.04.1913. Ein neuer Heidesee in Hopsten... - Hopsten, 18.04.1913. Die im Heiligen Felde zu Tage getretene Bodensenkung... - Ibbenbüren, 19.04.1913. Der jüngste Erdfall in dem Hopstener Moore... - Hopsten, 21.04.1913. Zum Erdbruch... -  
 MÜNSTERSCHE ANZEIGER (1913): 17.04.1913. Ein gewaltiger Erdbruch ist in der Nähe des Heiligen Meeres entstanden... - 18.04.1913. Außer kleinen Abbröckelungen... - 19.04.1913. Zum Erdbruch beim Heiligen Meer... -  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1930): Naturschutzverordnung für das Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Amtsblatt Regierungsbezirk Münster 22.3.1930.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1948): Amtsblatt Regierungsbezirk Münster.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1962a): Amtsblatt Regierungsbezirk Münster.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1962b): Amtsblatt Regierungsbezirk Münster.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1974a): Amtsblatt Regierungsbezirk Münster.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1974b): Verordnung über das Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Amtsblatt Regierungsbezirk Münster 18.5.1974.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1975): Amtsblatt Regierungsbezirk Münster.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1988): Ordnungsbehördliche Verordnung zur Ausweisung der Gebiete „Erweiterung Heiliges Meer“ und „Heiliges Feld“, Gemarkung Hopsten und Recke (Gemeinden Hopsten und Recke), Kreis Steinfurt, als Naturschutzgebiete. - Amtsblatt Regierungsbezirk Münster 20.8.1988, Nr.34, 531.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1992): 1. Verordnung zur Änderung der im Amtsblatt für den Regierungsbezirk vom 20.8.1988 verkündeten ordnungsbehördlichen Verordnung vom 4.8.1988 zur Ausweisung der Gebiete „Erweiterung Heiliges Meer“ und „Heiliges Feld“, Gemarkung Hopsten und Recke (Gemeinden Hopsten und Recke), Kreis Steinfurt als Naturschutzgebiete. - Amtsblatt Regierungsbezirk Münster 27.6.1992, Nr.26, 405.  
 REGIERUNGSBEZIRK MÜNSTER (1992): Ordnungsbehördliche Verordnung zur Ausweisung des Gebietes „Heupen“, Gemarkung Recke, Gemeinde Recke, Kreis Steinfurt als Naturschutzgebiet. - Amtsblatt Regierungsbezirk Münster 8.5.1992.  
 WETTERSTATION „Heiliges Meer“: Klimadaten. -

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Elke Barth, Institut für Geobotanik, Universität Hannover, Nienburger Str. 17, D-30167 Hannover

## 10 Anhang

### 10.1 Chronik der Siedlungsgeschichte des „Großen Heiligen Meeres“ und seines Umlandes

<b>450-750</b>	<b>Sachsenzeit: Landnahme durch die Altsachsen, Stamm der Westfalen</b>
5. Jh.	Westfalen erreichen das Gebiet zwischen Hunte und Ems, sowie das obere Weserbergland <ul style="list-style-type: none"> <li>Gründung zahlreicher Siedlungen m. d. Endung „-trup“, „-trop“, „-drup“, „-dorff“, später auch „-hausen“, u.a. Aldrup/Westerkappeln, Handarpe/SO-Schafberg, Holperdorf u. Herkendorf/Osning, Antrup, Altrup u. Intrup/Lengerich, Aldrup/Lienen u.a. am Nordabfall des Wiehengebirges *1,4</li> <li>vermutl. Existenz Reckes als alte Thingstätte *2</li> </ul>
5. Jh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einbruch des „Großen Heiligen Meeres“</li> <li>Existenz des „Drevanameri“ vermutl. als sächsische Kultstätte bzw. als „Drei-Grenzen-Meer“ u. Landmarke zw. den sächsischen Gauen Venki, Threcwiti u. Bursibant *2,37,38</li> </ul>
<b>751-911</b>	<b>Frühmittelalterliche Landnahmen unter Karolingern und Franken</b>
772-804	Sachsenkriege
seit 768/80	Missionierung des Sachsenlandes, ausgehend von der Bischofspfalz Mimigerneford/Hase, später von den Bischofssitzen Osnabrück (785) u. Münster (803) und Gründung zahlreicher frühmittelalterlicher Ortschaften: <ul style="list-style-type: none"> <li>Urpfarre Rheine (780), Patronatskloster Werden/Ruhr mit Patronat über Oberhof Schapen/Fenkigau u. die abgabepflichtigen Höfe Spelle, Schapen u.a. (795), Urfparre Ibbenbüren an der Heerstraße „Rheine-Ibbenbüren-Paderborn-“ (um 800) *21</li> <li>Teilgemeinden Hopstens: Rüschedarpe, Standun, Up en Bornebrinke, Up der Ahe, Up em Broeskeen, Im Ostenwalde, Up der Quappenstraten (890) *21</li> </ul>
804	19.12.: erste urkd. Erwähnung des „Drevanameri“ u. der Ortschaft Bergeshövede in einer Forstbannschenkung von Karl d.Gr. an Bischof Wiho/Osnabrück *6,7,21
890	vermutl. i. d. „Heilig-Meer-Zone“ südöstlich des „Großen Heiligen Meeres“ gelegener abgabepflichtiger Hof des Patronatsklosters Werden: „Thankulashuti“ *21
<b>919-1273</b>	<b>Hochmittelalterliche Landnahmen u. Ausbauphase unter den Sachsen, Salern und Hohenstaufern</b>
919-1156	Herzogtum Sachsen als Teil des Heiligen Römischen Reiches Deutscher Nation
940	erneute Nennung des Hofes „Thancolbeshuth“ (Heberegister Patronatskloster Werden) *21
965 -1057	Weitere Nennungen des „Drevanameri“ bei Erneuerung der Forstbannschenkung durch Kaiser Otto I. d. Gr. an Bischof Drogo/Osnabrück (15.06.965), durch Heinrich II. (28.7.1002 u. 27.7.1023), durch Konrad II. (6/1028), durch Heinrich IV. (26.5.1057) *21
11. Jh.	Hochmittelalterliche Ortsgründungen: Halverde (1000), Dreierwalde (1002/22), Riesenbeck (1074), Mettingen (1088) *1
Ende 11. Jh.	Gründung einer regionalen Markgenossenschaft *10,14
1124-1273	höchste Machtentfaltung der Grafschaft Tecklenburg (Egbertiner Linie) im Herrschaftsgebiet Münster (Vogtei 1124-1173), Osnabrück (Vogtei 1157-1236) u. Lingen *10
1122	Wormser Konkordat: Aufhebung des ottonischen Reichskirchensystems u. in Folge Entstehung der Bistümer Münster und Osnabrück
12. Jh.	Hochmittelalterliche Dorfgründungen u. Kirchenbau (Romanik): <ul style="list-style-type: none"> <li>Bevergern (1125), Ibbenbüren u. Teilgemeinden (1146-1150), Ibbenbüren wird in die Grafschaft Tecklenburg eingefügt (1189) *1,3</li> <li>Rüschedorf/Hopsten (1189), Recke u. „ecclesia rike“, Kgl. Raumühle in Espel/Recke u. Mühle am Mühlenbach (1189), Steinbeck u. „ecclesia stenbeke“ (1189) *1,12</li> </ul>
12./13. Jh.	Beginn der Tecklenburger Fehden (zw. dem Graf von Tecklenburg u. seinen Vogteien): 1. Tecklenburger Fehde (1186), Große Tecklenburger Fehde gegen Osnabrück u. Köln: die Grafschaft verliert die Vogtei u. Besitztümer von Osnabrück (1227-1236) *10
13. Jh..	Hochmittelalterlicher Siedlungsausbau u. Kirchenbau (Gotik): erste Nennung Hopstens (Fretherich „der up‘nen hop set“ erwirbt die Ritterwürde) (1236) *10, Twenhusen (1236), Zisterzienserkloster Gravenhorst (1256), Hörstel (1260), Gründung Hopstens (Fretherich von Hopseten erhält Lehnsgebe über Vogtei) (1.12.1265) *1,3,10,17
1246	Ladberger Marktbund zwischen Münster, Osnabrück, Minden, Herford
1254-1273	Unruhen des Interregnums nach Tod der Hohenstauffer Kaiser Konrad IV. u. Sohn Konradin
<b>1273-1438</b>	<b>Spätmittelalterliche Wüstungs- und Ausbauperiode unter Habsburgern u. Luxemburgern</b>
1273-1356	Wüstungsperiode: Fürstbistümer Münster u. Osnabrück und Grafschaft Tecklenburg (Bentheimer Linie 1263-1328) *10
13./14. Jh.	Spätmittelalterliche Siedlungsentwicklung: Zisterzienserkloster Schale (1278), Kapelle „Zum Hl. Georg“/Hopsten (um 1300) *10,12
1285	Hanse Kölner und westfälischer Kaufleute
1348-1352	Große Pest
14 Jh.	nahezu ununterbrochener Fortgang d. Tecklenburger Fehden *10

1356-1493	Ausbauperiode: Fürstbistümern Münster u. Osnabrück und Grafschaft Tecklenburg (Schweriner Linie 1328-1557) *10
14./15. Jh.	Spätmittelalterlicher Siedlungs- und Wirtschaftsaufschwung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bund deutscher Hanse (1358), Stadtrecht Tecklenburg (1376), Ausbau der Handelsstraßen -Rheine-Hörstel-Ibbenbüren-Osnabrück-Magdeburg- u. Bremen/Hamburg/Lübeck-Osnabrück-Ibbenbüren-Münster- (14.Jh.), Hansestadt Osnabrück (1418) *1,5</li> <li>• Bauernschaft Uffeln (1350, 1376-1418), Kgl. Hammermühle/Twenhusen (15. Jh.) *12,14</li> </ul>
Um 1400	Ende der Tecklenburger Fehden *10; <ul style="list-style-type: none"> <li>• erste Grenzstreitenregelung in Hopsten (1378), Landfriedensbund (1379) *10</li> <li>• 1400 (25.4.): Friedensvertrag zw. Münster (Bischof Otto), Osnabrück (Bischof Theodorich) u. Grafschaft Tecklenburg (Nikolaus II.) nach Sieg der Verbündeten Bistümer: Verzicht Tecklenburgs auf Vogtei Bevergern (incl. Gravenhorst, Hörstel, Dreierwalde u. des südlichen Kirchspiels Schapen). Schapen wird in nördlichen Teil mit Salhof (Patronatskloster Werden) u. Bramhof (Patronatskloster Corvey, Grfsch. Tecklenburg) u. südlichen Teil mit Städen, Rüschedorf (Grfsch. Ravensberg) u. Hopsten (Bistum Osnabrück) gespalten *10,13</li> </ul>
1424-1455	30jährige Fehde/Bürgeraufstand von Osnabrück, Schlichtung in Hopsten (8.9.1441) *10
<b>1493-1702</b>	<b>Frühneuzeitliche Wüstungsperiode unter Habsburgern und Oranien</b>
1493-1548	Entwicklung an der Zeitenwende; Ausbildung des Westfälischen Reichskreises *23
1493-1521	Reichsreform unter Maximilian I. (Habsburg): Entstehung der Obergrafschaft Lingen u. Wechsel der Kirchspiele Recke u. Ibbenbüren (Hauptort) von der Grafschaft Tecklenburg nach Lingen (1515) *18
1517-1555	Zeitalter der regionalen u. lokalen Glaubensspaltung und deutschen Reformationspolitik: Tecklenburg u. Lingen werden protestantisch; Hopsten, Uffeln, Steinbeck u. Halverde bleiben mit Münster u. Osnabrück katholisch (1525), Hopsten wird gegen Geldentschädigung an Graf Konrad von Tecklenburg freie, selbständige, katholische Pfarrei (1541) *10
15./16. Jh.	Siedlungs- u. Wirtschaftsentwicklung an der Zeitenwende: <ul style="list-style-type: none"> <li>• weitere Nennungen Uffels u. Gravenhorsts (1455-68, 1531-45), „Alte Ruthemühle“/ Recke (Wassermühle) (1526), Reinigs- u. Knollmannsmühle/Hopsten (16. Jh.) *12,14,32</li> <li>• Steinbrüche am Schafberg (1444), Kohlebergbau bei Ibbenbüren u. erste urkdl. Nennung der Kohleflöze am Schafberg (1490/1548), geregelte Kalksteingewinnung am Dickenberg u. Verarbeitung zu Branntkalk in Uffelner Kalköfen (16.Jh.) *1,12,14,16,17</li> </ul>
1548-1648	Spanisch-Niederländischer und Dreißigjähriger Krieg sowie wechselnde Herrschaft der Habsburger/Spanier u. Oranier/Niederländer
1548	Grafschaft u. Obergrfsch. Lingen (Recke, Halverde, Ibbenbüren) werden von Kaiser Karl V. (Habsburg) auf dessen Schwester Maria, Oberstatthalterin d. Niederlande, übertragen *12
1568-1648	Spanisch-Niederländischer Krieg; 7.6.1589: Raub- u. Brandschatzung in Hopsten *10
1618-1648	Dreißigjähriger Krieg: Besetzung von Westfalen u. Niedersachsen; nach der Schlacht b. Stadtlohn (1623) Belagerung Rheines u. Osnabrücks, Plünderung u. Niederbrennen Hopstens (14.8.1623), Pest im Raum Osnabrück (1623), Plünderungen der Region Münster u. Osnabrück durch die Schweden (1633-1648) *5,10
16. Jh.	Älteste Karten u. weitere Urkunden vom „Großen Heiligen Meer“: Urkunde 1560, Historische Karte 1564, älteste Beschreibung des „Großen Heiligen Meeres“ 1569/1612, Urkunde über Vermessung des Uffelner Saatlandes 1604, Historische Karte 1616/1747 *13,14,16,31,45,46,47
1648-1702	Spaltung des Gebietes unter Oranischer Herrschaft (Blütezeit der Welthandelsmacht d. Niederlande) bzw. Herrschaft der Grafschaft Tecklenburg u. des Stifts Münster
17./18. Jh.	25.10.: Westfälischer Friede: Grafschaft u. Obergrfsch. Lingen werden dem Amt Lingen (Oranien), Dreierwalde u. Riesenbeck werden Münster untergeordnet; Hopsten wird der geistlichen Jurisdiktion von Münster unterstellt (1694); Ende der Grafschaft Tecklenburg nach Inbesitznahme durch die Grafen von Solms (1698) *1,10
17./18. Jh.	Neuzeitliche Siedlungsbelebung sowie erster Aufschwung des Merkantilismus u. des Bergbaus durch staatliche Förderung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Räumung des Stifts Münster von Kriegsheeren u. Beseitigung der Hungersnot durch Fürstbischof Bernhard von Galen; Graf Moritz von Tecklenburg schafft die Grundlage für das Leinengewerbe u.a. durch Gründung der Tecklenburger „Legge“ zur Überwachung der Leinwandbereitung (1664) *1,10</li> <li>• kathol. Barockkirche Hörstel (1676), zweite Vermessung Uffels (1684) *1,14</li> <li>• Kohlebergwerk Buchholz (1. Grubenriß, 60 m tiefem Wasserlösungsstollen, 1691-1697), Eisenhütte Ibb.-Bockraden (Ende 17.Jh.), Hammermühle (Isermühle) (1701) *12</li> <li>• Beginn der Hochmoornutzung im Recker Moor *24</li> </ul>
Ende 17. Jh.	Europäische Hegemoniekriege: Niedergang des Hauses Oranien (1702 † Wilhelm III) und Beginn des Hauses Hannover

<b>1702-1815</b>	<b>Neuzeitlicher Siedlungsaufschwung im Zeitalter des Absolutismus und Merkantilismus</b>
1702-1799	Königreich Preußen
18. Jh.	Aufstieg Preußens zur europäischen Großmacht: Lingen geht durch Erbschaft an die Preußische Krone (1702), Tecklenburg wird von Preußen käuflich erworben (1707), Hopsten bleibt Münster unterstellt (1707), Zusammenschluß der Verwaltungen Lingen u. Tecklenburg zum Kreis Tecklenburg (1734) *1,11,12
18. Jh.	Blüte des westfälischen Lein- u. Tuchhandels und Aufschwung der Töddenörter Hopsten, Recke und Mettingen *25: Preußische Leggeordnung (1710), Pfarrkirche St. Georg (1727-1734/49) u. Kapelle St. Anna/Hopsten (1728), Poggenburg/Hopsten (1734), Kgl. Verordnung zum Unterhalt der Land- u. Poststraße durch die Gemeinden (1735), kathol. Kirche Recke (1752) *10,12
18. Jh.	Intensivierung des Bergbaus u. Entstehung der westfälischen Eisenindustrie durch königlich-preußische Förderung der Merkantilwirtschaft *12: Teilung Ibbenbürens in Land- u. Stadtgemeinde mit Stadtrecht (1721/24), Aufschwung des Kohlebergbaus, Einsatz von Pferden betriebener Göpelschächte (1747) *1,12
18. Jh.	Staatliche Förderung der Wald- und Landwirtschaft: landesherrlicher Mühlenzwang (1723), Einführung der Kiefer in Westfalen (1725) u. Beginn erster Anpflanzungen im Tecklenburg-Lingeschen (1738), Verordnung zur Eichen- u. Buchen- (1738) sowie staatliche Prämien für Obstbaum- u. Heckenpflanzungen (1738), Einführung der Kartoffel (1740), Anbau der Zuckerrübe (1747) *1,12,20
1756-63	Siebenjähriger Krieg, gefolgt von Wirtschaftskrise und erster Auswanderungswelle in Kolonialgebiete
Ende 18. Jh.	Historische Karten und Urkunden über das Gebiet des „Großen Heiligen Meeres“: Historische Karten 1768 u. 1774-76, Erbpachtvertrag zw. Wesselinck u. Kötern Grothues u. Hespeling u.a. über das Flurstück „Meerkampf“/„Großes Heiliges Meer“ (1794) *22
Ende 18. Jh.	ff. des preußischen Siedlungs- und Wirtschaftsaufschwungs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecklenburg-Lingesches Bergbauamt/Ibbenbüren (1770), Eisen- u. Raseneisensteingewinnung am südlichen Schafberg, Aufschwung der Steinbrüche (1779) *1,12</li> <li>• Bockemühle (Öl- und Bockmühle), Wechsel von Zeit- zu Erbpacht (1765), Getreide-miBernten (1770-72), Allgemeines Landrecht (1794), regierungsgeförderte Pflanzung von Alleen (1773), Verordnung zur Anpflanzung von Hecken (1774-79), erste bäuerliche Kiefern-pflanzungen (um 1800) *1,5,12</li> </ul>
1803	Hopsten gelangt durch Reichsdeputationshauptschluß an Preußen *10
1805	Erste kartographische Bestandsaufnahme Preußens: Historische Karte VON LECOQ
1806-1815	Napoleonische Zeit/Französische Ägide Westfalens
Beginn 19. Jh.	Napoleonische Zeit: französische Besetzung Westfalens nach Napoleons Sieg bei Jena u. Auerstedt (1806), Königreich Westfalen unter Napoleons Bruder Jerome (1807–1813) *19
Beginn 19. Jh.	Napoleonische Wirtschaftspolitik u.a.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinentalsperre Napoleons, löst Wirtschaftskrise, Niedergang des Töddenhandels, regionale Armut und Auswanderungswelle nach Amerika aus (1806-1815) *5,10</li> <li>• Friedrich-Wilhelm-Eisenhütte in Gravenhorst, 1400 m langer „Tiefen Stollen“/Schafberg (1804-1826), Aufdämmung u. Befestigung der Wege um den Verkehrs- u. Wirtschaftsknotenpunkt Ibbenbüren, Auflösung des Klosters Gravenhorst durch Napoleon (1808/18), Aufhebung der Leibeigenschaft (1808) *1,12,17,21</li> </ul>
1815-1870	Preußische Provinz Westfalen d. Königreiches Preußen; Königreich Hannover bzw. preußische Provinz Hannover
1815	Wiener Kongreß: Neuordnung Westfalens als Provinz d. Königreichs Preußens: Tecklenburg wird der preußischen Verwaltung unterstellt, Lingen dem Königreich Hannover (1.1.1816), Hopsten wird dem Landkreis Tecklenburg zugeteilt (10.08.1815), Annexion des Hannovers durch das Königreich Preußen (1866) *10,23
1.Hlfte. 19. Jh.	Niedergang des Tödentums und des Merkantilismus: Aufhebung d. preußischen Binnenzolles (1818), „Hollandgängerei“ (1830ff.), Höhepunkt der Auswanderungen (1840-1850), Aufhebung der Leggeverordnung (17.1.1845) *1,25
1.Hlfte. 19. Jh.	Zeitalter der Restauration und Revolution, früher Beginn der Industrialisierung: Schwefelthermalquelle/Steinbeck (1823), erste Dampfördermaschine im Ibbenbürener Bergbau (1825), Wassermühle Visse/Steinbeck (Korn- und Bockmühle) (1825), Kerzenfabrik Jaspers/Hopsten (1830), *12,14
1822-1884	Agrarreformen (Markenteilung und Verkopplung) und Bauernbefreiung: Markenteilung Püsselbüren/Uffeln (1822-1856), Recke/Steinbeck u. Hopsten/Hörstel (1840-1884), Einführung des Mineräldüngers Justus von Liebig (1850), Melioration (1870ff.) *10,14
1842	HK UR 25, Bl. 3611 „Hopsten“

1850ff.	Industrialisierung und Liberalisierung des Handels: Befestigung u. Ausbau des Straßen- u. Wegenetzes (1842: Tecklenburger Kreisstr.), Steigerung der Kohleabnahme auf Osnabrücker Markt (1853), Ausbau der alten NS-Fern- u. Poststraße („Kohlestraße“) (1855), Bau der „Westbahn“-Ibbenbüren-Rheine- (1856), Georgsmarienhütte (1856), unregelmäßige Kupfer- u. Bleierz-Schürfung im Uffelner Kalksteinbruch (1865) *12,16,17
1871-1914	Deutsches Kaiserreich
1870ff.	Gründerzeit: Ende d. Friedrich-Wilhelm-Eisenhütte/Gravenhorst (1876) u. Gründung d. Zeche Buchholz/Schafberg (1884), endgültiger Niedergang des Töddentums (1880-90er) *1, Ausbau der Straßen Münster-Ibbenbüren-Recke-Freren, Osnabrück-Rheine, Osnabrück-Lingen (um 1900) *1, Herthasee-Grabung zur Aufnahme der Ibbenbürener Grubenwässer (um 1900) *17, „Teutoburger Wald“-Eisenbahn (1900) *1, Schmalspurbahn Osnabrück/Piesberg-Westerkappeln-Mettingen-Recke-Uffeln-Osterwalde-Rheine (1905, seit 1934 als Tecklenburger Nordbahn) *1,12
1870ff.	Fortsetzung der Agrarreformen - Melioration *5: Umstellung der Ruthe-, Rau- u. Hammermühle von Wind- auf Dampfkraft u. von Korn-/Ölmühlen auf Sägemühlen (1891) *12, Bau der Kornmühle Vorberg am Mühlenbach/Schafberghang (1895) *12, Entwässerung des Uffler Moores (1906) *17
1895	HK 25, Bl. 3611 „Hopsten“
1913	14.4.: Einbruch des „Erdfallsees“ *22
<b>1914-heute</b>	<b>20. Jahrhundert</b>
1914-1945	Weltkriege und Weimarer Republik *23
1914-1918	1. Weltkrieg *5
1918-1939	Bau des Ems-Weser-Elbe-Kanals (= Mittellandkanal) (1915/16) *1, Stilllegung der Ibbenbürener Erzgruben wegen Erschöpfung der Vorräte bzw. Abbau-Unwürdigkeit (1921) *12, Mettinger Torfwerk, Ostrand „Vinter Moor“ (Torfstreu u. -mullgewinnung im Handstich, 1925) *1
1930	Erklärung des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ / Landschaftsverband Westfalen-Lippe
1925	TK 25 3611 „Hopsten“
1939	TK 25 3611 „Hopsten“ (Ausgabe 1950)
1939-1945	2. Weltkrieg
1945-1977	Frühe Nachkriegszeit u. zweite Gründerzeit
1946	Gründung der Bundesrepublik u. der Bundesländer Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen *26
1950	22.4.: Entstehung des Erdfalltumpels *36
1950ff.	Flurbereinigung *10: Flurbereinigung Uffelner Esch (1952), Flurbereinigung a.d. Grenze Uffelner Feld/Hopsten (1960) *14
1950ff.	TK 25 3611 „Hopsten“ (Ausgabe 1959) TK 25 3611 „Hopsten“ (Luftbild)
1960ff.	Maßnahmen im NSG „Heiliges Meer“ Bau der Biologischen Station „Heiliges Meer“ (1960) als Außenstelle des Naturkundemuseums zu Münster, Verlegung der Meerbecke um das „Große Heilige Meer“ (1964), Schlagen der Schneise am Westufer des „Großen Heiligen Meeres“ (1968)
heute	

Die Chronik stellt eine Auswahl von Daten zusammen, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.  
Die historischen Rahmendaten wurden KINDER & HILGEMANN 1986 sowie KOHL 1983 entnommen.

#### Quellen:

\*1 - KÖLKER 1936

\*2 - Gemeinde Recke 1989

\*3 - ROTHERT 1932

\*4 - DOLLE 1933

\*5 - KINDER & HILGEMANN 1986

\*6 - ERHARD 1847

\*7 - BRANDI 1900

\*8 - STEINHOFF 1976

\*9 - MOHRMANN & PABST 1990

\*10 - HOPSTER 1974

\*11 - HUNSCHE 1975

\*12 - FINKE 1995

\*13 - PRUB 1936

\*14 - RODE & EBLAGE 1994

\*15 - RENNE 1903

\*16 - SCHOO 1966

\*17 - SCHOTTE, A. 1956

\*18 - RÖHRS 1985

\*19 - KOHL 1986

\*20 - KLEINERT 1988

\*21 - PHILIPPI & BÄR 1892-1902

\*22 - WEGNER 1913a-c

\*23 - SEEDORF & MEYER 1992/6

\*24 - KRAMM 1978

\*25 - OBERPENNING 1998

## 10.2 Artenliste der rezenten und fossilen Diatomeen des „Großen Heiligen Meeres“ und der Gewässer des NSG „Heiliges Meer“

### CENTRALES:

- *Melosira varians* Agardh 1827
- *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979
- *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen 1979 = *Melosira a.*
- *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen 1979 Morphotyp *helvetica* = *Melosira h.* = *M. i.* ssp. *h.*
- *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen 1979 = *Melosira i.*
- *Cyclotella meneghiniana* Kützing 1844
- *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow 1880 in Cleve & Grunow
- *Cyclotella radiosa* (Grunow) Lemmermann 1900 = *C. comta*
- *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (in Cleve & Grunow) 1880
- *Rhizosolenia longiseta* Zacharias 1893

### PENNALES:

#### Fragilariaceae Hustedt

- *Diatoma vulgare* Bory 1824
- *Diatoma ehrenbergii* Kützing 1844 = *D. vulg.* var. *e.*
- *Diatoma tenue* Agardh 1812 = *D. elongatum*
- *Diatoma moniliformis* Kützing 1833
- *Meridion circulare* (Greville) C.A. Agardh 1831 var. *constrictum* (Ralfs) Van Heurck 1880
- *Asterionella formosa* Hassall 1850
- *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing 1844
- *Tabellaria quadrisepata* Knudsen 1952
- *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing 1844
- *Fragilaria capucina* Desmazières 1925
- - *F. capucina* Desmazières 1925 var. *capucina* (+ var. *vaucheriae* = *F. intermedia*)
- - *F. capucina radicans*-Sippen = *Synedra radicans* Kützing 1844
- - *F. capucina* var. *rumpens* (Kützing) Lange-Bertalot 1991 = *Synedra r.*
- - *F. capucina* var. *mesolepta* (Rabenhorst) Rabenhorst 1864
- - *F. capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot 1980 = *Synedra v.*
- - *F. capucina distans/fragilarioides*-Sippen = *Synedra rumpens* var. *fragilarioides*
- *Fragilaria famelica* (Kützing) Lange-Bertalot 1980 var. *famelica* = *Synedra minuscula*
- *Fragilaria crotonensis* Kitton 1869
- *Fragilaria parasitica* (W. Smith) Grunow in Van Heurck 1881 var. *subconstricta* Grunow in Van Heurck 1881 = *Synedra p.*
- *Fragilaria virescens* Ralfs 1843
- - *F. virescens* var. *mesolepta* Schönfeld 1907 (alte Umrißvarietät)
- - *F. virescens* var. *capitata* Ostrup (Stellung fraglich)
- *Fragilaria constricta* Ehrenberg 1843
- *Fragilaria bicapitata* A. Mayer 1917
- *Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980 = *Synedra u.*
- - *F. ulna acus*-Sippen = *F. ulna* var. *acus* (Kützing) Lange-Bertalot 1980 = *Synedra acus*
- *Fragilaria biceps* (Kützing) Lange-Bertalot 1991 = *Synedra ulna* var. *biceps*
- *Fragilaria pulchella* (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot 1980 = *Synedra p.*

- *Synedra tabulata* (umfaßt mehrere Gattungen der gesamten Untergattung)
- *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow 1862
- - *F. construens f. binodis* (Ehrenberg) Hustedt 1957
- *Fragilaria pinnata* Ehrenberg 1843
- - *F. pinnata* Ehrenberg var. *pinnata* = var. *lancettula*
- - *F. pinnata* Ehrenberg var. *intercedens* (Grunow) Hustedt 1931
- *Fragilaria leptostauron* (Ehrenberg) Hustedt 1931
- *Fragilaria brevistriata* Grunow in Van Heurck 1885

#### Eunotiaceae Kützing 1844

- *Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Mills 1934 = *E. lunaris*
- *Eunotia naegelii* Migula in Thomé 1907 = *E. alpina*
- *Eunotia arcus* Ehrenberg 1837
- *Eunotia praerupta* Ehrenberg 1843 sensu lato
- *Eunotia diodon* Ehrenberg 1837
- *Eunotia pectinalis* (Kützing) Rabenhorst 1864
- *Eunotia implicata* Nörpel, Lange-Bertalot & Alles 1991 = *E. pectinalis* var. *minor f. impressa*
- *Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864 = *E. gracilis*
- *Eunotia glacialis* Meister 1912 = *E. valida*
- *Eunotia parallela* Ehrenberg 1843
- *Eunotia formica* Ehrenberg 1843
- *Eunotia monodon* Ehrenberg 1843 var. *monodon* = *E. m.* var. *major* (W. Smith) Hustedt 1930
- *Eunotia septentrionalis* Oestrup 1897
- *Eunotia muscicola* Krasske 1939 var. *perminuta* (Grunow) Nörpel & Lange-Bertalot 1991 = *E. tridentula* var. *p.*
- *Eunotia serra* Ehrenberg 1837 var. *tetradon* (Ehrenberg) Nörpel 1991 = *E. robusta* var. *t.*
- *Eunotia veneris* (Kützing) De Toni 1892
- *Eunotia faba* Ehrenberg 1838

#### Achnantheaceae Kützing 1844

- *Achnanthes flexella* (Kützing) Brun
- - *A. f.* var. *alpestris* Brun 1880
- *Achnanthes laevis* Oestrup var. *laevis*
- *Achnanthes conspicua* A. Mayer 1919
- *Achnanthes hungarica* (Grunow) Grunow in Grunow & Cleve 1880
- *Achnanthes clevei* Grunow in Cleve & Grunow 1880
- *Achnanthes exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880 = *A. e.* var. *heterovalvata*
- *Achnanthes minutissima* Kützing 1833
- - *A. m.* var. *minutissima* = *A. m.* var. *cryptocephala* Grunow in Van Heurck 1880
- - *A. m.* var. *affinis* (Grunow) Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot 1989 = *A. affinis*
- - *A. m.* var. *gracillima* (Meister) Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot 1989 = *A. microcephala*
- *Achnanthes linearis* (W. Smith) Grunow sensu auct. nonnull. (u. *A. minutissima*)
- *Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880
- - *A. l.* var. *elliptica* Cleve 1891 sensu Straub 1985
- - *A. l.* ssp. *rostrata* (Oestrup) Lange-Bertalot 1991
- *Achnanthes peragalli* Brun & Héribaud 1893

- *Cocconeis placentula* Ehrenberg 1838
- - *C. p.* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck 1880-85
- *Cocconeis pediculus* Ehrenberg 1838
- *Cocconeis disculus* (Schumann) Cleve in Cleve & Jentzsch 1882

#### Naviculaceae Kützing 1844

- *Navicula tripunctata* (O.F. Müller) Bory 1822 = *N. gracilis*
- *Navicula cari* Ehrenberg 1836 = *N. graciloides*
- *Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard 1861
- *Navicula radiosa* Kützing 1844
- *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing 1844
- *Navicula rhynchocephala* Kützing 1844
- *Navicula cryptocephala* Kützing 1844
- *Navicula veneta* Kützing 1844 = *N. cryptocephala* var. *veneta*
- *Navicula menisculus* Schumann 1867
- *Navicula hasta* Pantocsek 1892
- *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg 1838
- *Navicula gregaria* Donkin 1861
- *Navicula oblonga* (Kützing) Kützing 1844
- *Navicula capitata* Ehrenberg 1838 var. *capitata* = *N. hungarica* var. *capitata*
- *Navicula costulata* Grunow in Cleve & Grunow 1880
- *Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844 = *N. c.* var. *ambigua*
- *Navicula elginensis* (Gregory) Ralfs in Pritchard 1861 = *N. dicephala* z.T.
- - *N. e.* var. *elginensis* = *N. anglica*
- *Navicula gastrum* (Ehrenberg) Kützing 1844
- *Navicula placentula* (Ehrenberg) Kützing 1844 f. *rostrata*
- *Navicula amphibola* Cleve 1891
- *Navicula semen* Ehrenberg 1843
- *Navicula mutica* Kützing 1844 incl. *N. rotæana* (Rabenhorst) Grunow ???
- *Navicula jaernefeltii* Hustedt 1942
- *Navicula pseudoscutiformis* Hustedt 1930
- *Navicula scutelloides* W. Smith ex Gregory 1856
- *Navicula crucicula* (W. Smith) Donkin 1872
- *Navicula integra* (W. Smith) Ralfs in Pritchard 1861
- *Navicula protracta* (Grunow) Cleve 1894
- *Navicula bulnheimii* Grunow in Van Heurck 1880 = *N. longirostris*
- *Navicula pygmaea* Kützing 1849 = *Stauroneis pygmaea* Krieger ???
- *Navicula bacillum* Ehrenberg 1843
- *Navicula pupula* Kützing 1844
- *Navicula disjuncta* Hustedt 1930
- *Navicula vitabunda* Hustedt 1930 = *N. verecunda* Hustedt 1930
- *Navicula minima* Grunow in Van Heurck 1880
- *Navicula tuscula* Ehrenberg 1841
- *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg 1843
- *Stauroneis anceps* Ehrenberg 1843
- *Stauroneis anceps* f. *linearis* (Ehrenberg) Brun 1880 (alte Umrißvarietät)
- *Stauroneis anceps* var. *hyalina* M. Pergallo & Brun 1893
- *Stauroneis legumen* (Ehrenberg) Kützing 1844
- *Stauroneis thermicola* (Petersen) Lund 1946 = *S. montana*

- *Anomoeoneis seriens* (Brébisson) Cleve 1895
- *Anomoeoneis brachysira* (Brébisson in Rabenhorst) Grunow in Cleve 1895 = *A. seriens* var. *brachysira*
- *Anomoeoneis styriaca* (Grunow) Hustedt 1930
- *Anomoeoneis vitrea* (Grunow) Ross 1966 = *A. exilis* mit Umrißvarietät *A. e.* var. *lanceolata*
- *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni 1891 var. *saxonica* (Rabenhorst) De Toni 1891
- *Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni 1891
- *Amphipleura pellucida* (Kützing) Kützing 1844
- *Neidium dubium* (Ehrenberg) Cleve 1894
- *Neidium bisulcatum* (Lagerstedt) Cleve 1894
- *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve 1894
- *Neidium affine* (Ehrenberg) Pfitzer 1871 = *N. a.* var. *amphirhynchus*
- *Neidium productum* (W. Smith) Cleve 1894
- *Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve 1891
- *Diploneis oblongella* (Naegeli) Cleve-Euler 1922 = *D. ovalis* var. *oblongella*
- *Diploneis puella* (Schumann) Cleve 1894
- *Diploneis oculata* (Brébisson) Cleve 1894
- *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst 1853
- *Gyrosigma attenuatum* (Kützing) Rabenhorst 1853
- *Gyrosigma nodiferum* (Grunow) Reimer 1966 = *G. spencerii* var. *nodifera*
- *Cymbella silesiaca* Bleisch in Rabenhorst 1864 = *C. ventricosa* pro parte
- *Cymbella minuta* Hilse ex Rabenhorst 1862 = *C. ventricosa* pro parte
- *Cymbella mesiana* Cholnoky 1955 = *C. turgida* pro parte
- *Cymbella muellerii* Hustedt 1938 = *C. turgida* pro parte
- *Cymbella gracilis* (Ehrenberg) Kützing 1844
- *Cymbella hebridica* (Grunow in Cleve) Cleve 1894
- *Cymbella prostrata* (Berkeley) Cleve 1894
- *Cymbella affinis* Kützing 1844
- *Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878
- *Cymbella cymbiformis* Agardh 1830
- *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck 1880
- *Cymbella aspera* (Ehrenberg) Peragallo 1849
- *Cymbella lanceolata* (Ehrenberg) Kirchner 1878
- *Cymbella helvetica* Kützing 1844
- *Cymbella aequalis* W. Smith in Greville 1855
- *Cymbella microcephala* Grunow in Van Heurck 1880
- *Cymbella amphicephala* Naegeli in Kützing 1849
- *Cymbella ehrenbergii* Kützing 1844
- *Cymbella naviculiformis* (Auerswald) Cleve 1894
- *Cymbella cuspidata* Kützing 1844
- *Cymbella sinuata* Gregory 1858
- *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing 1844
- *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow 1880) = *A. perpusilla* = *A. ovalis* var. *pediculus*
- *Amphora coffeaeformis* (Agardh) Kützing 1844
- *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849
- *Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst 1864
- -. *G. a.* var. *productum*
- *Gomphonema gracile* Ehrenberg 1838 = *G. lanceolatum* Ehrenberg 1841
- - *G. gracile* var. *lanceolata* (Kützing) Cleve

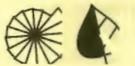
- *Gomphonema augur* Ehrenberg 1840
  - - *G. a.* var. *gautieri* (veraltete Varietät)
  - - *G. a.* var. *sphaerophorum* (Ehrenberg) Grunow 1878 = *G. sphaerophorum*
  - *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg 1832 = *G. a.* var. *brebisonii* = *G. a.* var. *coronata* (alte Umrißvar.)
  - *Gomphonema clavatum* Ehrenberg 1832 = *G. longiceps* var. *montanum* ???
  - *Gomphonema subtile* Ehrenberg 1843 incl. var. *sagitta* (Schumann) Cleve
  - *Gomphonema truncatum* Ehrenberg 1832 = *G. constrictum*
  - *Gomphonema angustum* Agardh 1831 = *G. intricatum* = *G. bohemicum* Reichelt & Fricke 1902
  - *Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson 1838
  - *Rhoicosphenia abbreviata* (c. Agardh) Lange-Bertalot 1980b = *R. curvata*
  - *Caloneis amphisbaena* (Bory) Cleve 1894
  - *Caloneis alpestris* (Grunow) Cleve 1894
  - *Caloneis schumanniana* (Grunow) Cleve 1894 var. *biconstricta* (alte Umrißvarietät)
  - *Caloneis silicula* (Ehrenberg) Cleve 1894
  - *Caloneis bacillum* (Grunow) Cleve 1894
  - *Caloneis sublinearis* (Grunow) Krammer 1985 = *Pinnularia s.*
  - *Caloneis undulata* (Gregory) Krammer 1985 = *Pinnularia u.*
  - *Pinnularia intermedia* (Lagerstedt) Cleve 1895
  - *Pinnularia hemiptera* (Kützing) Rabenhorst 1853
  - *Pinnularia stomatophora* (Grunow) Cleve 1891
  - *Pinnularia divergens* W. Smith 1853 var. *undulata* (alte Umrißvarietät)
  - *Pinnularia legumen* (Ehrenberg) Ehrenberg 1843 incl. *P. subsolaris* (Grunow) Cleve 1895
  - *Pinnularia rupestris* Hantzsch in Rabenhorst 1861 = *P. viridis* var. *sudetica*
  - *Pinnularia gibba* Ehrenberg 1841 (1843)
  - *Pinnularia interrupta* W. Smith 1853 = *P. mesolepta*
  - *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve 1891
  - *Pinnularia subcapitata* Gregory 1856 = *P. hilseana*, aber *P. s.* var. *hilseana*
  - *Pinnularia appendiculata* (Agardh) Cleve 1895
  - *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg 1843
  - *Pinnularia maior* (Kützing) Rabenhorst 1853 = *Navicula m.*
  - *Pinnularia dactylus* Ehrenberg 1843 = *Navicula d.*
  - *Pinnularia nobilis* (Ehrenberg) Ehrenberg 1843
  - *Pinnularia gentilis* (Donkin) Cleve 1895
  - *Pinnularia cardinalis* (Ehrenberg) W. Smith 1853
- Bacillariaceae Ehrenberg**
- *Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W. Smith 1853
  - *Nitzschia recta* Hantzsch in Rabenhorst 1861-79
  - *Nitzschia nana* Grunow in Van Heurck 1881 = *N. ignorata*
  - *Nitzschia clausii* Hantzsch 1860
  - *Nitzschia sigma* (Kützing) W. Smith 1853
  - *Nitzschia hungarica* Grunow 1862
  - *Nitzschia constricta* (Kützing) Ralfs in Pritchard 1861 = *N. apiculata* (Gregory) Grunow 1878
  - *Nitzschia angustata* (W. Smith) Grunow in Cleve & Grunow 1880
  - *Nitzschia commutata* Grunow in Cleve & Grunow 1880
  - *Nitzschia linearis* (Agardh) W. Smith 1853
  - *Nitzschia subtilis* Grunow in Cleve & Grunow 1880
  - *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith 1856
  - *Nitzschia capitellata* Hustedt in A. Schmidt et al. 1922
  - *Nitzschia gracilis* Hantzsch 1860
  - *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880
  - *Nitzschia fonticola* Grunow in Cleve & Möller 1879 = *N. romana*
  - *Nitzschia amphibia* Grunow 1862
  - *Nitzschia truncata* Grunow 1862 emend. Lange-Bertalot 1976 = *N. kuetzingiana*
  - *Nitzschia microcephala* Grunow in Cleve & Möller 1878
  - *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith 1853
  - *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow 1880
- Epithemiaceae sensu Karsten in Engler & Prantl 1928**
- *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson 1838 = *E. zebra*
  - - *E. zebra* var. *porcellus* (alte Umrißvarietät)
  - - *E. zebra* var. *saxonia* (alte Umrißvarietät)
  - *Epithemia sorex* Kützing 1844
  - *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing 1844
  - *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller 1895
- Surirellaceae Kützing 1844**
- *Cymatopleura solea* (Brébisson) W. Smith 1851
  - *Cymatopleura elliptica* (Brébisson) W. Smith 1851
  - *Surirella ovalis* Brébisson 1838
  - *Surirella minuta* Brébisson in Kützing 1849 = *S. ovata*
  - *Surirella angusta* Kützing 1844
  - *Surirella gracilis* Grunow 1862
  - *Surirella amphioxys* W. Smith 1856 = *S. moelleriana*
  - *Surirella biseriata* Brébisson in Brébisson & Godey 1836
  - *Surirella bifrons* Ehrenberg 1843 = *S. biseriata* var. *bifrons*
  - *Surirella linearis* W. Smith 1853
  - *Surirella linearis* var. *constricta* Grunow 1862
  - *Surirella robusta* Ehrenberg 1841
  - *Surirella splendida* (Ehrenberg) Kützing 1844 = *S. robusta* var. *splendida*
  - *Surirella elegans* Ehrenberg 1843
  - *Stenopterobia curvula* (W. Smith) Krammer 1987 = *S. intermedia*



# LWL

Für die Menschen.  
Für Westfalen-Lippe.

## **Westfälisches Museum für Naturkunde**



Landschaftsverband  
Westfalen-Lippe [www.lwl.org](http://www.lwl.org)

Sentruper Straße 285  
Tel: 0251/591-05

48161 Münster

ISSN  
0175-3495