

Vegetationsgeschichtliche und paläoökologische Untersuchungen zur Trophie-Entwicklung in Stillgewässern der pleistozänen Sandlandschaft Norddeutschlands

Elke Barth und Richard Pott, Hannover

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	15
1. Einführung	16
2. Untersuchungsgebiet	17
3. Untersuchungsmethodik	18
4. Palynologische Rekonstruktion der regionalen Landschaftsentwicklung . . .	20
4.1 Entwicklung der Natur- und frühen Kulturlandschaft	20
4.2 Alter des Großen Heiligen Meeres	20
4.3 Entwicklung der historischen Kulturlandschaft	21
5. Palynologische Indikation der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse . . .	24
6. Paläoökologische Nachzeichnung der Genese des Großen Heiligen Meeres	26
6.1 Vegetationszonen und ihre Entwicklung	26
6.2 Diatomeensukzession	28
6.3 Hydrochemische Entwicklung	30
7. Modellvorstellungen zur Trophie-Entwicklung norddeutscher Stillgewässer	31
7.1 Mehrdimensionale Nährstoffentwicklung im Großen Heiligen Meer	31
7.2 Allgemeingültige Ursachen und Mechanismen der Nährstoffentwicklung .	32
8. Quellen- und Literaturverzeichnis	34
9. Anhang, Umschlag S. 3	
9.1 Konvent. Pollendiagramm der Meerbecke-Niederung / Heiliges Meer	
9.2 Pollendiagramm Großes Heiliges Meer	
9.3 Diatomeendiagramm Großes Heiliges Meer	

Zusammenfassung

Anhand paläoökologischer Untersuchungen 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 der Pollen- und Makrorestanalyse auch die Diatomeenanalyse sowie paläochemische Sedimentanalysen angewandt, um einen möglichst umfassenden Einblick in die Entwicklung des Sees und dessen Einzugsgebiet zu erhalten: Zunächst wird die regionale Landschafts- und Siedlungsgeschichte rekonstruiert und ferner die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte

des Großen Heiligen Meeres in den Rahmen der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse des geologisch äußerst aktiven Heiligen Feldes eingebunden. Vor diesem Hintergrund wird die trophieabhängige Sukzession der Verlandungsprozesse abgeleitet, d.h. es werden die Vegetationszonen des Großen Heiligen Meeres und ihre Entwicklung, die Diatomeensukzession und die Genese des Nährstoff- und Mineralhaushaltes herausgearbeitet. In einer Synthese werden abschließend Modellvorstellungen zur mehrdimensionalen Trophie-Entwicklung des Stillwasser-Ökosystems Großes Heiliges Meer entwickelt und die allgemeingültigen Ursachen und Mechanismen der Nährstoffentwicklung norddeutscher Stillgewässern diskutiert.

1. Einführung

Unsere heutige Landschaft ist das vorläufige Ergebnis eines langen Prozesses des natürlichen Floren- und Vegetationswandels in Abhängigkeit von naturräumlichen, soziologischen und historischen Gegebenheiten sowie anthropozoogenen Einflußnahmen. Natürliche Stillgewässer unterliegen als Teil der Naturlandschaft ebenfalls diesem Wandel. Die Seen der pleistozänen Sandlandschaft Nordwestdeutschlands müssen dabei, entsprechend ihrem Einzugsgebiet, als natürlicherweise nährstoffarme Lebensräume angesehen werden. Seit dem Neolithikum greift nun der siedelnde und landwirtschaftsbetreibende Mensch nachhaltig in die natürlichen Landschaftsstrukturen ein. Beginn und Ausmaß dieser Einflußnahme variierten jedoch regional und korrelierten stark mit der jeweilig lokalen Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte. In Folge untergliederte sich die allmählich entstehende Kulturlandschaft in ein naturraumabhängiges Mosaik von naturnahen und synanthropen Lebensräumen. Während es zunächst zu einer vielfältigen Bereicherung und Differenzierung von Standorten und Vegetation kam, wurden dann nach und nach die natürlichen Vegetationsformationen auf Refugialgebiete verdrängt. Doch erst im Zuge der Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft wurde die Erschließung der einst unwirtschaftlichen nordwestdeutschen Landschaftsräume (Sand- und Feuchtgebiete) ermöglicht und es entwickelte sich die heute agrarindustriell geprägte Landschaft. Dadurch wurde der Mensch seit dem 19. Jahrhundert zum primären Verursacher der allgemeinen Umwelt- und Gewässerbelastung sowie der großräumigen Eutrophierung der Landschaft. Die Flurbereinigung Ende des 20. Jahrhunderts verstärkte die Entdifferenzierung des Standortgefüges, die Zerstörung der Biotope und damit die neuzeitliche Verarmung der Vegetation noch einmal mehr (POTT & HÜPPE 1991, POTT 1992). Heute gehören Stillwasser-Ökosysteme der nordwestdeutschen Tiefebene, die z.T. nach wie vor noch naturnahe, nährstoffarme Lebensräume darstellen, zu den gefährdeten Biotopkomplexen (POTT 1995, 1996) und „der hohe Eintrag von Nährstoffen wird heute als eines der gravierendsten Probleme im Naturschutz angesehen“ (ELLENBERG 1989).

Will man die Biodiversität in der anthropozoogen überformten Kulturlandschaft Nordwestdeutschlands bewahren, so bedürfen insbesondere diese noch naturnahen, limnischen 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. Die Paläoökologie übernimmt dabei die Erforschung langfristiger Entwicklungen und Reaktionen in der Genese einzelner Lebensräume bzw. Gewässer unter Einbezug des lokalen und regionalen Wandels von Landschafts- und Siedlungsgeschichte. Während einerseits seit geraumer Zeit die Fülle punktueller, vegetationsgeschichtlicher Untersuchungen zu einem überregionalen Grundmuster zum Wandel der Geo- und Biosphäre zusammengefügt wird, wird andererseits, unter Berücksichtigung der vielfältigen topographischen und klimageographischen Landschaftsdifferenzierung und der unterschiedlichen Kultur- und Wirtschaftskreise des Menschen, die detaillierte Darstellung kleinräumiger Entwicklungen in einer fundierten

Grundlagenforschung immer bedeutender (LANG 1994). Hier reiht sich die vorliegende Arbeit in die paläoökologischen Ermittlungen zur Genese von Stillgewässern ein, wie sie u.a. für Seen in Großbritannien (BERGLUND 1986, PEGLAR et al. 1989), Skandinavien (ALHONEN 1967, RENBERG et al. 1982, ANDERSSON & OLSSON 1985), Polen (BERGLUND et al. 1993) und den USA (LEWIS et al. 1984) vorliegen und für Nordwestdeutschland von CASPERS 1993 für die Altwasser der Weser bzw. in der Reihe „Limnogeologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern“ (STREIF 1970 ff.) von geologischer Seite aus durchgeführt wurden. So ist das Ziel dieser Arbeit, das Wissen um die historische Entwicklung limnischer Ökosysteme zu ergänzen und einen wichtigen Beitrag zur Klärung offener Fragen hinsichtlich der natürlichen und naturnahen Vegetations- und Nährstoffentwicklung von Stillgewässern zu leisten.

2. Untersuchungsgebiet

Das „Große Heilige Meer“ befindet sich an der Nordwestgrenze Nordrhein-Westfalens zu Niedersachsen, 30 km westnordwestlich von Osnabrück, an der Landstraße L 504 Ibbenbüren - Lingen / Ems (TK 25, Bl. 3611 „Hopsten“). Es gehört zum nordöstlichen Teilgebiet des Naturschutzgebietes Heiliges Meer und der Gemarkung des Heiligen Feldes, die politisch den Nachbargemeinden Hopsten und Recke im Kreis Steinfurt, Regierungsbezirk Münster / Westfalen zuzuordnen ist (TK 5, Bl. 3611 / 17 Großes Heiliges Meer).

Das Untersuchungsgebiet ist Teil der südöstlichen Plantlünner Sandebene im Bereich der nordwestdeutschen Tiefebene (MEISEL 1961). Naturräumlich wird es entscheidend von seiner Randlage an der Schwelle der Westfälisch-Niedersächsischen Mittelgebirge geprägt, deren Nordwestausläufer (Westliches Wiehengebirge, Osnabrücker Hügelland und Osning) nördlich des Münsterlandes keilförmig in das Tiefland vorstoßen (THIERMANN 1975a). Das Landschaftsbild dieses Naturraumes läßt sich physiognomisch deutlich in die höher gelegenen, trockenen Talsandebenen und die weiten, feuchten Niederungen differenzieren (MÜLLER-WILLE 1960).

Innerhalb des naturräumlichen Grenzbereiches erstreckt sich parallel zum Nordwestabfall des Ibbenbürener Plateaus (174 m ü.NN) die geologische Senkungszone des Heiligen Feldes, die sich durch eine deutliche Grundsenkung auf Höhen von 41 bis 45 m ü.NN von ihrer Umgebung abhebt. Sie reicht 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. Salinarkarstprozesse im Bereich des Mesozoikums (insbesondere Münder Mergel / Malm), die sich dort, wo die gebirgsbildenden Schichten des Mittelgebirgsrückens unter die pleistozäne Sandlandschaft der Tiefebene abtauchen, relativ oberflächennah und im Grundwassereinfluß abspielen, sind für die Subrosionserscheinungen verantwortlich. Zahlreiche Senken und Erdfälle, zu denen auch die „Meerbecke-Niederung“ und das Große Heilige Meer gehören, charakterisieren daher das kleinräumig strukturierte Untersuchungsgebiet (LOTZE 1956, THIERMANN 1975b).

Aufgrund dieser einzigartigen geologischen Bedingungen weist das Naturschutzgebiet auf kleinstem Raum eine große standörtliche Vielfalt auf und spiegelt in einem kleinräumigen Mosaik nahezu alle typisch nordwestdeutschen Landschaftstypen wider. Zudem stellt das NSG ein Refugialgebiet für zahlreiche Elemente der einstigen Natur- und extensiven Kulturlandschaft dar (TERLUTTER 1995). Über die hohe Biodiversität hinaus haben sich im inselhaft inmitten der agrarischen Nutzflächen gelegenen Gebiet die originären Eigenarten der nährstoffarmen, nordwestdeutschen Geestlandschaften erhalten. So hat hier seit seiner Unterschutzstellung, d.h. nachweislich seit 70 Jahren, kein direkter Stickstoffeintrag stattgefunden (POTT et al. 1996). Die große Naturnähe, insbesondere seiner Gewässer, zeichnet sich u.a. durch eine beträchtliche Anzahl äußerst seltener, oligotra-

phenter Arten und Pflanzengesellschaften aus. Unter seinen zahlreichen, in Alter, Geologie, Vegetation und Trophie so unterschiedlichen Gewässertypen sind insbesondere der **dystrophe Heideweiher**, der **oligotrophe Erdfallsee** und das **meso-eutrophe Große Heilige Meer** hervorzuheben. Das Große Heilige Meer stellt mit seinen 11 ha Größe und 10,5 m Tiefe den größten natürlichen See Westfalens dar.

Das Heilige Meer ist 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 1913 a, 1913 b, 1914, TIETZE 1914). Mit der Unterschutzstellung des Gebietes und der Einrichtung einer Biologischen Station setzte dann eine intensivierte Forschung ein (u.a. GRAEBNER 1930, 1934, KOPPE 1931, 1955, POELMANN 1934, etc.), die sich bis in unsere Tage hinein stets auch sehr intensiv mit dem Gebiet auseinandersetzte (KRIEGSMANN 1938, BUDE 1942a und b, SCHROEDER 1956, EHLERS 1965). Umfangreiche hydrologische, physiko-hydrochemische, pflanzensoziologische und -kartographische 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 Trophieentwicklung der Gewässerökosysteme. Sie sollen Aufschlüsse über die Ursachen und Regulatoren der Sukzession unter Berücksichtigung der Mehrdimensionalität von Ökosystemen geben (POTT et al. 1996, 1998). Somit konnte auch das vorliegende Projekt auf einer umfangreichen, wissenschaftlichen Grundlage einer intensiven, über 70-jährigen Forschung aufbauen.

3. Untersuchungsmethodik

Die vegetationsgeschichtlichen und paläoökologischen Untersuchungen basieren primär auf dem Profil GHM aus den Sedimenten des Großen Heiligen Meeres, das unter Berücksichtigung der morphometrischen Ergebnisse von KRIEGSMANN (1938), LOTZE (1956) und SCHROEDER (1956) geborgen wurde (TK 5, Bl. 3611 / 17 Großes Heiliges Meer, 3406,95 R - 5802,95 H). Die **Bohrung** erfolgte in dem eigens für limnische Sedimente optimierten Stechrohr-Verfahren von MERKT & STREIF (1970) und wurde in einem parallelen Ansatz unter Versetzung der Bohrkerne um 0,5 m gegeneinander durchgeführt. Darüber hinaus wurde das semiterrestrische Profil MN (Meerbecke-Niederung) unweit des nordöstlichen Gewässerufers (3407,22 R - 5803,15 H) in die Untersuchungen einbezogen.

Die **sedimentstratigraphische Profilaufnahme** erfolgte unter Heranziehen unterstützender Literatur (MERKT et al. 1971, AG BODEN 1994). 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 Horizont aus Versturzmateriale, fossilen Erlenbruchwald-Torfen und pleistozänen Fein- bis Mittelsanden 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 Lage des oberen Versturzhorizontes besonders hervorgehoben. Die Detritusmudden des Erdfallgewässers werden von dunklen, stark humosen Limnohumiten mit 50 - 70 % organischer Substanz gebildet. Sie lassen zunächst keine Feinlaminiierung erkennen, sondern zeigen sich in ihrer Gesamtheit mehr oder minder homogen, schwarzbraun bis tiefschwarz.

Unter den **sedimentchemischen Analysen** diente die Glühverlustanalyse zum einen der Parallelisierung der Bohrkerne des Profils GHM, zum anderen der Ermittlung der sedimentchemischen Daten des Wasser-, organischen und mineralischen Kohlenstoff- bzw.

Karbonatgehalts. Methodisch wurde nach den DIN-Normen DIN 38414 - S2 und S3 (DEV 1994), ergänzt um ein weiteres Glühen bei 880°C (BGR / NLFb), gearbeitet. Weiterhin wurde der pH-Wert bestimmt (DIN 38414 S5, DEV 1994).

Im Zuge der palynologischen Arbeiten wurde die **Absolutpollenanalyse** angewandt (BERGLUND & RALSKA-JASIEWICZOWA 1986, LANG 1994). Die Isolation der Pollenexinen erfolgte nach der kombinierten Kalilauge-Acetylose-Methode nach ERDTMAN (1960), bei der in einem Zwischenschritt Makroreste abgesiebt wurden (GROSSE-BRAUCKMANN 1986). Es folgte eine Behandlung mit 40 % Flußsäure und eine Probenreinigung im Ultraschallbad (MOORE, WEBB & COLLINSON 1991). Die Auszählung der Proben erfolgte in 5 cm-Abständen bei 400-facher Vergrößerung an einem Axiophot-Lichtmikroskop der Firma Zeiss. Es wurden jeweils 2000 Baumpollenkörnern ausgezählt, um auch die seltenen, aber diagnostisch wichtigen (hydrophytischen) Pollen zu erfassen. Die Pollenbestimmung ging von den Standardwerken (FAEGRI & IVERSEN 1989, 1993) und einschlägiger Bestimmungsliteratur aus (PUNT 1976, PUNT et al. 1980-1991, MOORE, WEBB & COLLINSON 1991, REILLE 1992) und wurde durch ein umfangreiches Pollenherbar mit Rezentpräparaten aus dem Institut für Geobotanik, Universität Hannover, ergänzt. Neben den Mikroresten der Krypto- und Phanerogamen wurden bei der palynologischen Aufarbeitung und Zählung des Materials auch Zellaggregate der Algengruppen der Pediastron bzw. *Botryococcus* erfaßt (PARRA-BARRIENTOS 1979, KOMAREK & FOTT 1983). Die **Makrorestanalyse** wurde bei 8- bis 40-facher Vergrößerung unter einem Binokular der Fa. Zeiss durchgeführt; die Großreste nach BEIJERINCK 1976, SCHOCH et al. 1988 sowie der umfangreichen institutseigenen Sammlung rezenten Samenmaterials bestimmt.

Im Zuge der **Diatomeenanalyse** wurden die Schalen durch eine zweiminütige und anschließend achtstündige Sedimentation, gefolgt von einer Oxidation durch heiße Schwefelsäure (Methode nach LANGE-BERTALOT & KRAMMER 1986) isoliert. Die Auszählung der Kieselalgen erfolgte bei 400-facher Vergrößerung im Phasenkontrast (Axiophot-Lichtmikroskop, Fa. ZEISS) und erfaßte jeweils 500 Frusteln. Anschließend wurde das Präparat noch nach Schalen seltenerer Arten durchgesehen. Die Bestimmung und die Nomenklatur der Diatomeen richtete sich nach der umfangreichen Flora von LANGE-BERTALOT & KRAMMER (1986), ergänzt um die Werke HUSTEDT (1930-1966), HUBER-PESTALOZZI (1942) LANGE-BERTALOT (1978), SALDEN (1978) und HOFMANN (1993).

Die **Altersdatierung** erfolgte primär durch biostratigraphische Korrelation mittels pollenanalytischer Relativdatierung und richtete sich an der nordwestdeutschen, pollenfloristischen Zonierung nach OVERBECK (1975) und POTT (1992) aus. Zusätzlich erfolgte die Synchronisation mit einigen räumlich sehr nahestehenden, z.T. ¹⁴C-datierten Profilen (KRAMM 1978, MOHR 1990, FREUND 1994 u.a.). Schließlich wurde die Vegetations- und

Tab. 1: Radiocarbonaten des Profils MN (Meerbecke-Niederung)

Probennummer See-Tiefe Labornr.	30 30 cm Erl-969	128 128 cm Erl-970	210 210 cm Erl-971
¹⁴ C-Jahre	1772 B.P. ± 58	5071 B.P. ± 59	6800 B.P. ± 60
kalibrierte ¹⁴C-Jahre 2σ	1682 B.P. ± 134	5795 B.P. ± 132	7580 B.P. ± 101
kalibrierte Kalenderjahre			
± 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

Siedlungsentwicklung über archäologische Funde und Archivarien mit den regionalen Siedlungs- und Kulturperioden verknüpft sowie anhand der Daten wichtiger landschafts-historische Lokalereignisse fixiert (LANG 1994). Die direkte Absicherung der Relativdaten des Profils GHM durch radiokarbongestützte Absolutwerte war nicht möglich, da während des Erdsturzes und der nachfolgenden Genese des Großen Heiligen Meeres offensichtlich ein geogener und fluviatiler Karbonateintrag aus dem geologischen Untergrund bzw. den regional anstehenden Gesteinen des Meso- und Paläozoikums erfolgt ist. Dieser quantitativ und qualitativ nicht faßbare Kohlenstoff-Influx rief eine künstliche Datenalterung z.T. um Jahrtausende hervor (GEYH 1983). Dennoch konnte Vegetations- und Siedlungsentwicklung des Untersuchungsgebietes durch Radiokarbonatierung an dem Profil MN in die absolute Chronologie eingehängt werden. Die Datierung wurde in der AMS-Methode im C14-Labor des Physikalischen Institutes, Universität Erlangen unter der Leitung von Prof. Dr. Kretschmer durchgeführt (Tab. 1).

4. Palynologische Rekonstruktion der regionalen Landschaftsentwicklung

Die großräumige Landschafts- und Siedlungsgeschichte im Umfeld des Großen Heiligen Meeres konnte anhand der korrelierten Profile MN und GHM (Anhang 9.1 und 9.2), die die Pollenzonen PZ VIII bis XII^{NWD} erfassen, vom Atlantikum (7580 ± 101 B.P., PZ VIIIa^{NWD}) bis hinein in die Gegenwart rekonstruiert werden. Sie reicht von den mittelwärmezeitlichen 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 trägt die wesentlichen Züge der regionalen Geschichte, wie sie sich mehr oder minder ausgeprägt in allen nordwestdeutschen Pollendiagrammen wiederfinden (POTT 1992).

4.1 Entwicklung der Natur- und frühen Kulturlandschaft

Von Beginn des Atlantikum an läßt sich in der natürlicherweise nährstoffarmen und bodenfeuchten bis -nassen Region die Bedeutung der Birken-Eichenwäldern der pleistozänen Talsandebenen bzw. der Erlen-dominierten Niederungswälder, die auch in den Subrosionsmulden des Heiligen Feldes stockten, herausstellen. Hinter ihnen trat die Verbreitung von Ulme und Linde bzw. Buche und Hainbuche von jeher zurück. Lediglich in den nahen Mittelgebirgsregionen spielten diese Arten eine nicht unbedeutende Rolle, wie es ein jeweils erhöhter, regionaler Polleninflux infolge subrosionsbedingter, lokaler Waldöffnung anzeigt. Siedlungsgeschichtlich datieren erste regionale Hinweise auf die neolithische Trichterbecherkultur und korrelieren damit mit regionalen Befunden (KRAMM 1980). Anthropogene Eingriffe in das „Heilige Feld“ wurden erst seit der Eisenzeit und nach einer frühhistorischen Siedlungsdepression (Völkerwanderung) erneut mit der sächsischen Landnahme registriert.

4.2 Alter des Großen Heiligen Meeres

Die Geschichte des Großen Heiligen Meeres selbst reicht bis in die frühhistorische Zeit und die sächsische Landnahme zurück, in der beide untersuchten Profile überlappen und der Einbruch des Erdfallgewässers durch einen pollenstratigraphisch deutlich hervortretenden Einschnitt gekennzeichnet wird: Im Profil MN konnte der unmittelbar unterhalb des erdfallkorrelierten Abschnittes gelegene Horizont mit 1682 B.P. ± 134 Radiokarbonjahren (134 - 402 AD) der Epoche der Völkerwanderungszeit zugeordnet werden und

markiert die maximale Altersgrenze des Einsturzes. Während des Subrosionsprozesses selbst hatte die anthropogene Einflußnahme die regionale Laubwaldlandschaft schon weiträumig erfaßt. Diese wies ein mittelsubatlantisches Vegetationsbild auf, in dem sich Rotbuche und Hainbuche mit Pollenwerten von 12,5 bzw. 3,3 % bereits ausgebreitet hatten und die siedlungsindizierenden Pollen sich in deutlich auf 3,4 % steigenden Frequenzen niederschlugen. Die frühmittelalterlichen Landnahmeprozesse grenzen schließlich das minimale Alter des Erdfalles ein. Sie schlagen sich palynologisch in einem antagonistischen Verlauf von auf 65 % abfallender Baumpollenkurve und auf über 5 % (2 %) ansteigender Siedlungsanzeigerkurve (Roggenpollenkurve) nieder. Nicht zuletzt wird diese vegetationsgeschichtliche Datierung von historischen Befunden gestützt, nach denen die Sachsen mit dem alten, germanischen Namen des Gewässers, „**Dre-vana-meri**“, ein erstes Zeugnis von der frühhistorischen Existenz eines landschaftlich bedeutenden Gewässers überlieferten. 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“, d.h. auf eine einstige Landmarke zwischen den Gauen Threcwiti, Bursibant und Venki, deren Grenzen sich noch heute in den Gemarkungsgrenzen Hörstel / Riesenbeck, Hopsten und Recke wiederfinden (HUNSCH 1975). Zusammenfassend bestätigen die vorliegenden Untersuchungen daher die bisher angenommene vormittelalterliche Gewässerentstehung. In Übereinstimmung mit SCHROEDER (1956) kann daher davon ausgegangen werden, daß das Große Heilige Meer während erster historischer Landnahmeprozesse in der Sachsenzeit zwischen 450 und 750 n.Chr. eingebrochen ist und ein Alter von über 1200 Jahren hat.

4.3 Entwicklung der historischen Kulturlandschaft

Die Geschichte des Großen Heiligen Meeres stand daher von Beginn an unter anthropogenem Einfluß. Anhand der palynologischen Ergebnisse (Profil GHM) ließ sich insbesondere der Wandel der historischen Kulturlandschaft verfolgen. Dabei wurden drei deutliche Hauptphasen herausgestellt, die mit den Kulturepochen des Mittelalters, der Frühen Neuzeit und des 18.-20. Jahrhunderts korrelieren (Tab. 2).

In Übereinstimmung mit Pollenspektren regionaler Diagramme kann der Anstieg der Siedlungsanzeigerpollenkurve im Anschluß an die sächsische Phase sowie speziell die steigenden *Secale*-, *Plantago lanceolata*- und *Rumex*-Werte in den Zusammenhang der **mittelalterlichen Landnahme**, speziell der karolingischen Landnahme im 8. / 9. Jh. gestellt werden (SCHWAAR 1979, WIERMANN & SCHULZE 1986, FREUND 1994). Diese Zeit der Christianisierung und Eingliederung der Sachsen in das Deutsche Römische Reich ist historisch bereits mit der Gründung zahlreicher regionaler Urfarren belegt (DOLLE 1933, POTT 1999). Eine zweite Rodungsphase, die an einem deutlichen Einschnitt im Pollenspektrum fixiert wurde, konnte mit der großräumigen, hochmittelalterlichen Siedlungsnahme unter den Ottonen um 1000 n.Chr. korreliert werden (KRAMM 1978, HÜPPE et al. 1989, FREUND 1994). Als palynologischer Zeitmarker des hochmittelalterlichen Siedlungsausbaus gilt ferner *Centaurea cyanus*, deren regelmäßiges Erscheinen, verknüpft mit hohen *Secale*-Werten, den Beginn des „Ewigen Roggenbaus“ indiziert (BEHRE 1980). Die zugleich betriebene Dreifelderwirtschaft ist darüber hinaus regional vor allem mit Weizen-, Gerste- und Hanfanbau verknüpft. Pollen vom Typ *Spergula* und *Brassicaceae* weisen auf die erhöhten Hackfruchtanteile dieser Wirtschaftsform hin. Archivarisch belegte Fixpunkte der hochmittelalterlichen Siedlungsausweitung sind zunächst der Zusammenschluß der regionalen Markgenossenschaft im 11. Jh. und schließlich die Dorf- und Klostergründungen in der Plantlünner Sandebene im 12. und 13. Jahrhundert (KÖLKER 1936, HOPSTER 1974). Das regelmäßige Auftreten von *Fagopyrum esculentum* markiert die spät-

Tab. 2: Regionale und lokale Siedlungsentwicklung

1. Phase: Mittelalterlicher Siedlungsausbau

450-750	Sachsenzeit		Das Gr. Hl. Meer unter dem Namen Drevanameri (Drei-Grenzen-See) ist Grenzpunkt der sächsischen Gaue Bursibat, Threowiti und Venki
750-911 814	Frühmittelalter: frühfränkische Siedlungsphase Gründung der Uppfarren (Plantlünne, Schapen, Ibbenbüren) mit abgabepflichtigen Bauernschaften	804	In einer ersten Urkunde, die das Drevanameri als Grenzpunkt erwähnt, schenkt Karl d. Große dem Bischof Wiho von Osnabrück einen Forstbann
911-1273 11-13. Jh.	Hochmittelalter: sächsische Siedlungsphase Gründung einer regionalen Markgenossenschaft sowie der Orte und Klöster in der Plantlünner Sandebene (1189 Recke und Steinbeck, 1256 Kloster Gravenhorst, 1260 Hörstel, 1265 Hopsten)	965	Zweite Urkunde, die das Drevanameri als Grenzpunkt nennt: Otto I. erneuert die Forstbannschenkungen an den Bischof von Osnabrück Drogo

2. Phase: Spätmittelalterliche-frühneuzeitliche Wüstungen

13.-15. Jh. 12./13. Jh. 1254-1273 13.-16. Jh. 1349-1352 1424-1455 16./17. Jh. 1517ff. 1525 1545 1566-1648 1618-1648	Spätmittelalter: Wüstungsperiode I. Tecklenburger Fehde (zwischen den Grafen von Tecklenburg (= Vögte des Bistums Münster) und dem Bistum Osnabrück) Unruhen des Interregnum (nach Ende des Hohenstaufen-Kaisertums) und des Raubrittertums weiterer, nahezu ununterbrochener Fortgang d. Tecklenburger Fehden Pest 30-jähriger Osnabrücker Bürgeraufstand Frühe Neuzeit Reformation Bauernaufstand Schmalkaldischer Krieg Spanisch-Niederländischer Krieg 30-jähriger Krieg		Existenz der natürlichen Vorfluter Moorbeke zum Gr. Heiligen Meer u. Nyeflötte vom Großen zum Kleinen H. Meer (alten Grenzkarten von 1556, 1564 und 1615)
--	---	--	---

3. Phase: Neuzeitliche Siedlungsexpansion

17./18. Jh. Beginn 19. Jh. ab 1830	Blüte des westfälischen Handels - Entstehung der Kötter und Tödden (Flachs- und Leinindustrie) - Entstehung der westfälischen Eisenindustrie kurze Zeit der Armut und Wanderarbeit, verursacht durch Napoleons Kontinentalsperre und den Beginn der englischen Baumwollindustrie Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft, - Ausbau der westfälischen Textilindustrie - Aufschwung des Ibbenbürener Kohlebergbaus, - Erschließung des Gebietes durch den Eisenbahnbau (Ibbenbüren-Rheine-Holland) und den Mittellandkanal	1770/76 1850 1884 1965	Anlage eines künstlichen Entwässerungsgraben vom Großen zum Kleinen Heiligen Meer und Wegfall des natürlichen Vorfluters Moorbeke Ausbau der Meerbecke Markenteilung in Recke und Hopsten Meerbecke-Umlegung ums Große Heilige Meer
--	--	---	--

mittelalterliche Siedlungsphase zwischen 1350 und 1450 n.Chr.. Seit dieser Zeit ist der Anbau des Buchweizens, der im 13. bis 14. Jahrhundert über Antwerpen und Amsterdam nach Nordwestdeutschland gelangt ist (LEHMANN 1940), vielfach pollen- und makrorest-analytisch belegt (BEHRE 1976, KÖRBER-GROHNE 1987).

Die mittelalterliche Hudelandschaft war sowohl durch den ausgedehnten Bannforst der Osnabrücker Bischöfe (BRANDI 1900, MOHRMANN & PABST 1990), der bis an das Große Heilige Meer grenzte, als auch durch weite Heideflächen gekennzeichnet. So spiegelt sich in den untersuchten Diagrammen die zunehmende Lichtung der regionalen Buchen- und Hainbuchenwälder und die Ausbreitung heliophytischer Sträucher, insbesondere der Hasel wider. Vor allem aber müssen die Wasser des Großen Heiligen Meeres von Beginn an Anziehungspunkt für den Menschen gewesen sein. Es zeichnen sich ferner zunehmend vegetationsdynamische Prozesse ab, die auf eine anthropozoogene Überformung der lokalen Birken-Eichenwälder durch Hudewirtschaft sowie auf eine beginnende Auflichtung derselben zu Heidetriften verweisen (POTT 1981a, POTT & HÜPPE 1991). Auch die Bruchwälder im Uferbereich des Gewässers lichteten sich durch Weidewirtschaft und Holznutzung zu Weiden-, Faulbaum- und Gagel-reichen Beständen. Extensive, mittelalterliche Streu- und Feuchtwiesennutzung öffneten die Niederungswälder und spätestens mit dem spätmittelalterlichen Siedlungsausbau auch die ufernahen Wälder am See. Niedrige Erlen-Pollenfrequenzen und hohe *Plantago*-Werte im Spätmittelalter lassen mutmaßen, daß die ufernahe Bewirtschaftung nun eine nahezu vollständige Zerstörung des Waldgürtels nach sich zog, aus der letztendlich auch der Abbruch des Profils MN resultierte. Entsprechend zeigte der Höhepunkt des spätmittelalterlichen Landausbaus, wie er z.B. für das Vinter Moor auf 1430 ± 55 datiert wurde, auch regional einschneidende Auswirkungen auf die Niederungen und Feuchtgebiete (KRAMM 1972, POTT 1999).

Ein Rückgang der Siedlungszeiger- und Roggenpollenkurven auf ihr historisches Minimum kennzeichnet die **frühneuzeitliche Wüstungsperiode und Siedlungsdepression**. Sie war einerseits von der Reformation und den sich als Religionsstreitereien und Glaubenskriege fortsetzenden Tecklenburger Fehden und andererseits vom Zeitalter der Bevölkerungsumschichtungen, der Bürger- und Bauernaufstände geprägt. Die Verelendung des Bauerntums erreichte ihren Höhepunkt im Spanisch-Niederländischen und Dreißigjährigen Krieg, in denen die Region zum Durchzugsgebiet internationaler, raub- und brandschatzender Söldnerheere wurde (TEBBE 1970, HOPSTER 1974). In Folge schritt die regionale Vernichtung der Wälder, wie sie sich im Abfall nahezu aller lokalen Baumpollentypen widerspiegelt, und die Degradation der Landschaft, die im Anstieg der Fernflugkomponente Kiefer und des heliophilen Strauches *Corylus* zum Ausdruck kommt, bis nahezu zur Baumlosigkeit fort. Die Ausdehnung des Ödlandes, insbesondere der Heiden und Sümpfe, fand damals ihren Höhepunkt (BEHRE 1980, HÜPPE, POTT & STÖRMER 1989). Auch die Ländereien am Großen Heiligen Meer fielen brach, allerdings konnte der Wald hier im Gegensatz zur regressiven, regionalen Entwicklung sukzessive zum Erlenbruch regenerieren, der einen seltenen Baumbestand innerhalb der ansonsten weitläufigen Heidelandschaft darstellte (Grenzkarten 1564 u. 1616, Staatsarchiv Münster).

Der **neuzeitliche Siedlungsaufschwung** wird palynologisch von einem Anstieg der Siedlungsindikatoren auf bis zu 8 % charakterisiert und ist, entsprechend der Roggen- und Buchweizenpollenwerte, mit einer erneuten Aufnahme des Ackerbaus verknüpft (KRAMM 1981). Dabei spielt *Cannabis sativa* als Kulturfrucht der Niedermoorböden des Untersuchungsgebietes eine zunehmende Rolle, so wie es KUBITZKI (1961), DÖRFLER (1989) und FREUND (1994) auch aus anderen Regionen nachwiesen.

Zugleich ist diese Phase jedoch mit dem schlagartigen Anstieg der *Pinus*-Pollenfrequenzen auf 20 % der Baumpollensumme sowie einem weiteren Frequenzanstieg auf Werte von 35 % und Maxima bis 55 % verbunden. Demnach verzögerte sich der wirtschaftliche

Aufschwung im Anschluß an den Dreißigjährigen Krieg bis hinein in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts, in dem weite Teile des Untersuchungsgebietes unter die wirtschaftsfördernde Herrschaft Preußens gelangten (KINDER & HILGEMANN 1986). So sind die großräumigen Aufforstungsmaßnahmen auf den weiten Ödländereien Nordwestdeutschlands nach HESMER & SCHRÖDER (1963) auf preußische Anordnung zur Befestigung offener Binnensande zurückzuführen. Während sie weiträumig in den 1760er Jahren einsetzten, sind aus dem Tecklenburg-Lingenschen Raum erste Kiefernanzpflanzungen bereits für das Jahr 1738 belegt (KLEINERT 1988); im Heiligen Feld stellte der „Königliche Dannen Campff“ bei Tegelmans Wiesen wohl einen ersten lokalen Kiefernforst dar (VON LECOQ 1803).

Im Gegenzug zur Kiefer macht sich im Pollenspektrum des Großen Heiligen Meeres die neuzeitliche Siedlungsexpansion durch einen weiteren Abfall der Baumpollenfrequenzen auf 50 - 60 % bemerkbar, hinter dem neben dem weiteren Fallen der *Fagus*-, *Carpinus*-, *Fraxinus*-, *Quercus*- und *Betula*-Werte, primär der deutliche Rückgang der *Alnus*-Pollen steht. Er erfaßt die erneute Rodung des lokalen Waldgürtels und die Erschließung der Meerbecke-Niederung im Zuge der systematischen Neulandgewinnung in den nordwestdeutschen Niederungen (FREUND 1994). Dabei zeichnen sich palynologisch mehrere Phasen der Wirtschaftsintensivierung ab, die konform mit der regionalen Agrargeschichte verlaufen. Als zeitliche Fixpunkte und Indikatoren für den Erschließungsgrad des Heiligen Feldes können dabei die Entwässerungsgrabensysteme und die Meerbecke herangezogen werden. Letztere wurde 1770, das Große Heilige Meer durchfließend, angelegt (Königl. Preuss. Landesaufnahme 1770, HOPSTER 1974) und während der Agrarreformen, der Markenteilung und Wirtschaftsintensivierung des 19. Jahrhunderts nach 1850 weiter ausgebaut (TEBBE 1970, RODE & EBLAGE 1994). Erst die positiven Auswirkungen der Unterschutzstellung des Gebietes und der Verlegung der Meerbecke an die SO-Grenze des NSG führen zu einer erneuten Ausbildung eines Waldgürtels um das Große Heilige Meer. Eine Fotodokumentation dieser Entwicklung findet sich bei POTT et al. (1998).

5. Palynologische Indikation der lokalen Subrosions- und Erdfallprozesse

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. Deren stratigraphisch-tektonische Ursachen und geochemische Abläufe sind bereits vielfach untersucht worden (THIERMANN 1975a, 1975b, LOTZE 1956). Aufbauend auf der stratigraphischen Analyse, den rezent-bodenkundlichen Daten (TK5, Bl. 3611 / 17, Bodenkarte), der zeitlichen Korrelation der lokalen Pollendiagramme Meerbecke-Niederung und Großes Heiliges Meer sowie den palynologischen Ergebnissen zum Vegetationsbild konnten die Senkungsprozesse vom Atlantikum bis in die Gegenwart verfolgt werden. Dieser jahrtausende andauernde Prozeß vollzog sich in gestaffelten Schüben, von denen sich **7 Phasen** nachweisen ließen, die von zwei gewaltigen Senkungsperioden eingeleitet wurden. In historischer Zeit wurden eine mittelalterlich-spätmittelalterliche Subrosionsperiode sowie die Senkungsphase der „Erdfallsee“-Entstehung anfang des 20. Jahrhunderts belegt. Palynologisch zeichneten sich die Subrosions- und Erdfallvorgänge jeweils durch Phasen regressiver Vegetationsentwicklung aus. Auch in palynologisch-paläoökologischen Beschreibungen anderer Erdfallgenesen wurde diese Mehrphasigkeit der Subrosionsvorgänge mit zeitlich gestaffelten Absenkungen beobachtet (KOCH 1936, LESEMANN 1969, DIECKMANN 1998).

Die vorliegenden Daten präzisieren nun das Modell, das bereits LOTZE (1956) für die Genese des Erdfallsees beschrieb und auf die Morhpogenese des Großen Heiligen Meeres

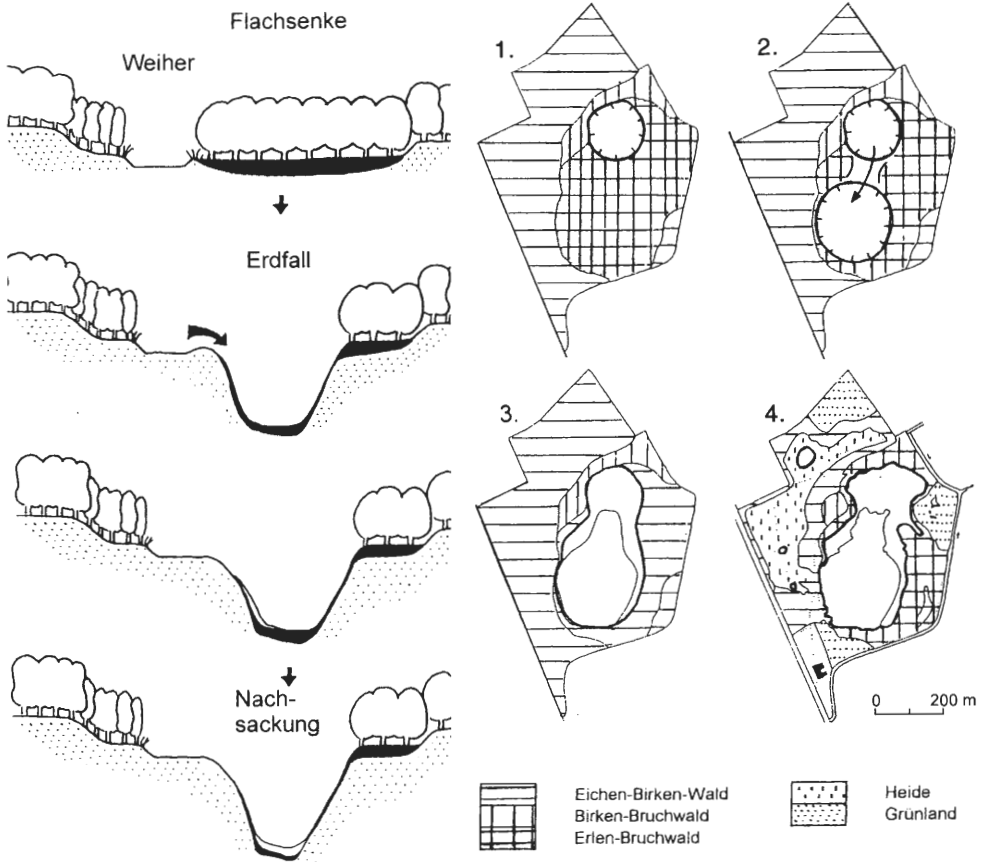


Abb. 1: Morphogenese des „Großen Heiligen Meeres“.

res übertrug (Abb. 1). Demnach beginnt die spezielle Subrosionschronologie des Gewässers spätestens um 7580 B.P. \pm 101 (5681 - 5598 BC) mit der Bildung einer mehrfach nachsackenden Flachsenke, deren Anfang vermutlich im Nordosten des heutigen Sees lag und welche sich im Unterschied zu den bisherigen Vorstellungen SCHROEDERS (1956) jedoch sukzessiv auch auf den Bereich des späteren Erdfalltrichters ausdehnte. Bereits in einer fröhsuatlantischen Senkungsphase bildete sich ein nährstoffreicher Weiher, auf dessen lokale Existenz Pediatren- und Pollenfunde von Wasserpflanzen hinweisen. Der eigentliche Erdfall brach erst in altsächsischer Zeit ein und schnitt dabei das Flachgewässer an. Über den Erdsturz hinaus muß die Morphogenese jedoch um eine mittelalterliche Senkungsphase ergänzt werden, die zu mehreren Nachsackungen und Gewässervertiefungen führte und so einen primär geogenen Faktor in der frühen Gewässorentwicklung betonte. Die mittelalterliche Subrosion kulminierte in einer kräftigen spätmittelalterlichen Senkung, die sich anhand eines sedimentstratigraphischen Wechsels von Feindetritusmudde zu einer Mitteldetritusmudde sowie einer eingeschalteten lehm- und sandreichen Lage belegen läßt. Sie hat die ökologischen Bedingungen des Sees nachhaltig beeinflußt und stabilisiert.

6. Paläoökologische Nachzeichnung der Genese des Großen Heiligen Meeres

Über die Rekonstruktion der regionalen Landschaftsgeschichte hinaus und vor dem Hintergrund der lokalen Subrosionsprozesse beleuchteten die paläoökologischen Untersuchungen die trophieabhängige Sukzession des Stillwasser-Ökosystems Großes Heiliges Meer.

6.1 Vegetationszonen und ihre Entwicklung

Die Vegetation des neu entstandenen Erdfallgewässers war sowohl in Artenzahl als auch in ihrer Biomasse sehr spärlich. Die seltenen, palynologischen und makrorestanalytischen Nachweise hydro- und helophytischer Arten charakterisieren ein nährstoffarmes Milieu, wie es von einem natürlichen Gewässer innerhalb der pleistozänen Sandlandschaften zu erwarten war. Im Pollenspektrum (Anhang 9.2) indizieren vereinzelte Elemente des heutigen *Littorellion*-Verbandes (*Myriophyllum alternifolium*, *Littorella uniflora* und *Hydrocotyle vulgaris*) eine anspruchslose Pionierflora, wie sie vermutlich entlang eines flachen, schmalen Ufersaums am Westufer im Kontakt zu den holozänen Flug- und Dünenständen zu finden war. *Lobelia*, *Pilularia* und *Baldellia*, die früher am Erdfallsee und „Heideweiher“ die oligotraphenten Strandlingsrasen dominierten (BÜKER 1940, LÜBBEN 1973, RUNGE 1974), konnten palynologisch allerdings ebenso wenig nachgewiesen werden wie *Isoetes*, die im NSG rezente-floristische Untersuchungen zufolge von jeher fehlte (POTT 1982). Eine typisch oligotraphente Verlandungsreihe wie sie POTT (1983) exemplarisch am Erdfallsee des NSG aufstellte, scheint am Großen Heiligen Meer von daher nie in größeren charakteristischen Beständen existiert zu haben.

Schon SCHROEDER (1956) verwies in diesem Zusammenhang auf die am Ostufer angrenzenden Niedermoortorfe, die dem Großen Heiligen Meer einen Sonderstatus unter den pleistozänen Gewässern verliehen und von Beginn an die polaren Verhältnisse an seinen Seeufern betonten und dessen Nährstoffsituation beeinflussten. Die sehr viel reicheren Bedingungen am östlichen Seerand finden ihren Ausdruck noch heute in den angrenzenden Erlenbruchwäldern mit ihren hohen Anteilen von *Thelypteris palustris*. Infolge des eutrophierenden Einflusses verlief die Vegetationsentwicklung der Makrophytenflora bereits früh über Seerosendecken, Schilfröhrichte und Seggenriede zu Weidengebüschen und Erlenbruchwäldern, einer Verlandungssukzession, die einer eutraphenten Verlandungsserie im heutigen Sinne entsprach (POTT 1981). Dabei führten hohe Biomassenproduktion und schnelles Sedimentwachstum (niedriger Pollen-Influx) vermutlich schon im Verlauf der mittelalterlichen Seegenese zu einer weitgehenden Verlandung des großflächigen Litoralbereiches im nördlichen Weiher.

Ein markanter Einschnitt im Pollenspektrum prägt die Phase der spätmittelalterlichen Vegetations- und Nährstoffentwicklung des Großen Heiligen Meeres und kennzeichnet eine deutliche Wende in dessen Genese. Dabei verweist der deutliche Rückgang der Helophyten parallel zu einer Massenausbreitung der Hydrophyten und Verlandungspioniere, insbesondere von *Nymphaea* und *Equisetum*, auf eine Regressionsphase. Ganz offensichtlich hat die spätmittelalterliche Nachsackung des Erdfalls eine Gewässervertiefung und Oligotrophierung bewirkt. Diese führte einerseits zu einer weiten Ausdehnung von Seerosendecken und Schachtelhalmsümpfen auf Kosten der zuvor verbreiteten Sumpf- und Bruchvegetation. Sicherlich ist auch die Lichtung der Erlenbruchwälder, die mit der Ausbreitung heliophiler Elemente einhergeht, in diesem Sinne primär auf subrosionsbedingte Standortvernässungen zurückzuführen. Erst sekundär mögen die anthropogenen Auswirkungen der spätmittelalterlichen Wald- und Streuwiesennutzung zum Tragen kom-

men (SPEIER 1996), die gleichermaßen eine Waldöffnung verursachten. Neben der regressiven Verschiebung der Verlandungsformationen zeichnete sich die Oligotrophierung des Sees auch in einem veränderten Artenspektrum der Röhrichte und der Gehölzvegetation ab. So erlitten die euträphten Röhrichtelemente *Typha latifolia*, *T. angustifolia* und *Sparganium* sp. und die Wasserlinsendecken große Einbußen. Die hochwüchsigen Röhrichte wurden nunmehr nur noch von *Phragmites communis* dominiert. Daneben breiteten sich krautige Arten mesotropher Standorte (*Hydrocotyle vulgaris*, *Potentilla palustris*) aus, die sich vermutlich in den lockeren Schilfbeständen ansiedelten bzw. sie in vorgelagerten Kleinhöhrichtbegleiteten (POTT 1985). In der Verlandungsserie folgten mesotraphente Gagelgebüsch und birkenreiche Bruchwälder, die im Spätmittelalter ihre optimale Ausbreitung erfuhren.

In der folgenden Phase einer mehr oder weniger kontinuierlichen, progressiven Vegetationsentwicklung, regenerierten die Erlenbruchwälder des Großen Heiligen Meeres sukzessive und der Waldgürtel schloß sich um das Gewässer. Dies spricht für das vorläufige Ende der Subrosionsprozesse und für eine Stabilisation der hydrologischen Verhältnisse. Die Regenerationsphase läßt sich auch mit der Glühverlustkurve und dem Absolutpollendiagramm dokumentieren: Der Pollen-Influx ist in diesem Profilabschnitt am höchsten, was auf ein langsames Sedimentwachstum bzw. eine geringe Sedimentationsrate in dieser Zeit zurückzuführen ist. Entsprechend war auch die Biomassenproduktion vergleichsweise gering. Zudem führte der Schluß des Waldgürtels um den See herum zu einer Verminderung des erosiven Eintrages aus der zunehmend degradierenden weiteren Umgebung; das Glühverlustdiagramm weist dementsprechend in dieser siedlungsgeschichtlichen Phase den niedrigsten Mineralanteil auf.

Der erneut schlagartig abnehmende Pollen-Influx bzw. die steigende Sedimentationsrate, die schließlich in einem Stratigraphiewechsel von Mittel- zu Feindetritusmudde mündet, weist in der Phase der neuzeitlichen Siedlungsexpansion auf eine massive, anthropogen beschleunigte Eutrophierung hin (KLEINMANN 1992). Auch die anwachsende Pollensummenkurve aller Hydro- und Helophyten auf über 10 % zeichnet die Gesamttendenz einer mehr oder weniger kontinuierlichen Nährstoffzunahme nach. Sie verdeutlicht die Ausmaße der verstärkten Eutrophierung gleichermaßen wie die auf über 5 % zunehmenden Frequenzen der Pediastrin, die als planktische Primärproduzenten direkte Trophie-Indikatoren darstellen (PARRA-BARIENTOS 1979). Der Anstieg der Pollentypenzahl entspricht einer zunehmenden Artenvielfalt, wobei jedoch kein Artenwechsel stattgefunden hat, sondern vielmehr alle Arten, die sich zuvor in ihrem vereinzelt Auftreten abwechselten, nun parallel und zugleich vorkamen. Die zunehmende Biomassenakkumulation spiegelt neben der rapiden Nährstoffzunahme vor allem einen Übergriff der Eutrophierung auf das tiefe Seebecken des Großen Heiligen Meeres wider. In der Verlandungsserie der Makrophyten zeigt sich dies insbesondere durch die Massenvermehrung der submersen Tausendblattarten *Myriophyllum verticillatum* und *M. spicatum*. Während sie in der vorangegangenen langen Periode des Mittelalters und der Frühen Neuzeit vermutlich nur als spärliche Begleitarten innerhalb der Schwimmblattzone vorkamen (Einzelpollennachweise), bildeten sie nun, den Seerosen in den größeren Tiefen der Gewässersteilufer vorgelagerte, Unterwasserdickichte aus, wie es auch POTT (1980) generell für die Stillgewässer Westfalens beschreibt. Die Arten der Schwimmblattzone konnten dagegen trotz steigenden Nährstoffangebots nur den schmalen Ufersaum des Erdfalltrichters erobern, so daß ihre Pollenwerte dementsprechend sehr viel niedriger ausfallen als noch während der spätmittelalterlichen Verlandung des Flachsees. Sukzessive entwickelten sich jetzt die Vegetationsgürtel der euträphten Verlandungsserie heraus, die das Große Heilige Meer noch immer charakterisieren (POTT et al. 1996). Dabei folgten den oligotraphenten Einheiten mit *Myriophyllum alterniflorum* und *Littorella uniflora* Bestände vom Typ *Ranunculus*, die von einer meso-euträphten Vegetation mit submersen Beständen von *Myrio-*

phyllum spicatum und *M. verticillatum* sowie emersen Schwimmblattdecken aus *Nymphaea alba* und *Polygonum amphibium* abgelöst wurden. Weitere Hydrophyten waren *Nuphar lutea*, *Potamogeton* (vermutlich *P. natans*) und *Lemna trisulca*. Ferner schlossen in der Verlandungsserie hochwüchsige Schilfröhrichte und meso-eutraphente Großseggenriede an. Bei den *Phragmites*-Röhrichten handelte es sich vermutlich um optimal ausgebildete, d.h. artenreiche *Scirpo-Phragmitetum*-Bestände mit eutraphenten Arten (*Sparganium*, *Typha*, *Iris*, *Alisma*) wie auch mit mesotraphenten Elementen (*Menyanthes*, *Potentilla palustris*, *Lysimachia thyrsiflora*). Im Detail vollzog sich die anthropogen geförderte Eutrophierung des „Großen Heiligen Meeres“ bzw. dessen Vegetationsentwicklung in mehreren Schüben, die sich unmittelbar mit der Siedlungsgeschichte, d.h. der lokalen Wirtschaftsintensivierung, dem Ausbau der Entwässerungsgrabensysteme und der anthropogenen Standortdiversifizierung korrelieren lassen.

6.2 Diatomeensukzession

Die Diatomeensukzession des Großen Heiligen Meeres setzte mit einer äußerst kieselarmer Initialphase ein. Die spärlichen Nachweise von Diatomeen-Frusteln in den untersten Profilabschnitten (Diagramm Anhang 9.3) unterstreichen die extremen hydrochemischen Bedingungen in der initialen Gewässerentwicklung, die lediglich einigen litoralbewohnenden Naviculaceen sowie benthischen Arten wie *Surirella biseriata* eine Existenz ermöglichten.

Doch noch während des Mittelalters entfaltete sich eine artenreiche, eutraphente Diatomeenflora, in der nun die planktischen Arten *Cyclotella radiosa* und *Aulacoseira islandica* mit Werten von bis zu 30 % dominierten, während die Uferzone massenweise von Achnanthaceen (*Achnanthes flexella* und *A. minutissima*) besiedelt wurde. Mit *Frustulia rhomboides*, *Amphipleura pellicula*, *Anomooneis brachysira* und *Stenopteria curvula* begleiteten einige nach SALDEN (1978) äußerst acidophile Arten diese mittelalterlichen Algenvergesellschaftungen.

Deutlicher als bei den palynologischen Ergebnissen tritt die mittelalterliche Subrosionsphase im Diatomeenspektrum hervor und läßt sich in eine hoch- und eine abschließende spätmittelalterliche Senkung untergliedern. Beide spiegeln sich in einem extremen Rückschlag der Artendiversität sowie einem starken Frequenzenwechsel sämtlicher Kurven wider. Das Pelagial wird nun von der mesotraphenten Art *Tabellaria flocculosa* dominiert, die nach LANGE-BERTALOT & KRAMMER (1986) überwiegend benthisch lebt und zumeist koloniebildend am Substrat angeheftet vorkommt. Sie ist mit einer artenreichen *Eunotia-Pinnularia*-Vergesellschaftung mit den Arten *Eunotia exigua* (- 10 %), *E. pectinalis*, *E. formica*, *E. arcus*, *E. diodon*, *E. serra* var. *tetradon*, *E. bilunaris* und *E. septentrionalis* sowie *Pinnularia divergens* und *P. viridis* assoziiert, die gleichfalls auf ein elektrolytarmes Milieu hinweisen. Im Dominanzspektrum des Litorals herrscht in dieser Phase deutlich *Gomphonema acuminatum* mit Frequenzen von maximal 34 % vor. Diese Naviculacee gilt als kosmopolitische, in Mitteleuropa häufig vorkommende Art, die in hohen Individuenzahlen das Litoral von Binnengewässern besiedelt. Sie existiert z.T. freilebend, z.T. wächst sie epiphytisch, mittels Gallertstielen am Substrat angeheftet. Das deutliche Vitalitätsmaximum von *Gomphonema acuminatum* korreliert mit dem Nachweis sich ausbreitender Seerosendecken (*Nymphaea*-Maximalpollenwerte), die der Alge neuen Lebensraum schufen. Hier bestätigen sich also Pollen- und Diatomeenanalyse in eindrucksvoller Weise gegenseitig. In ihren ökologischen Ansprüchen weist *Gomphonema acuminatum* ein breites Toleranzspektrum auf, das von oligotroph bis eutroph bzw. von acidophil bis alkaliphil reicht, wobei die Empfindlichkeit gegenüber Gewässerbelastung allerdings relativ hoch und die Art daher als oligo-β-mesosaprob einzustufen ist, wie es auch

LANGE-BERTALOT & KRAMMER (1986) sowie POTT & REMY (2000) generell für die Trophieklassifikation von Gewässern anführen.

Unter stabilen ökologischen Verhältnissen in der nun folgenden, frühneuzeitlichen Sukzession werden die anspruchsloseren Kieselalgen von artenreichen, mesotraphenten *Pennales*-Biozönosen abgelöst. Innerhalb der freilebenden Kieselalgen-Zönosen des Gewässers gelangt nun *Fragilaria capucina* neben *Tabellaria flocculosa* zur Dominanz. Regelmäßige Begleiter dieser planktischen Diatomeen sind weitere *Pennales*-Arten, vor allem aus den Familien der *Fragilariaceae* und der *Bacillariaceae*. Auch in den Lebensgemeinschaften des Litorals bleiben Arten der *Pennales* vorherrschend. Hierzu zählen erneut die überwiegend als Aufwuchsdiatomeen (epiphytisch) lebenden *Naviculaceae*, vor allem *Navicula viridis* und kleine Formen aus der Gattung *Cymbella* (Gruppe *Encyonema*) und die *Achnantheaceae*. Unter diesen werden *Achnanthes flexella* und *A. minutissima* mit fortschreitender Sukzession von den sehr viel individuenärmeren Populationen von *A. lanceolata*, *A. conspicua* und *A. peragalli* abgelöst. Im Gegenzug zu den verschwindenden Säureindikatoren tauchen ferner neue Arten wie *Navicula rhynchocephala*, *N. tuscula*, *N. palcentula*, *Neidium dubium*, *N. affine*, *Gyrosigma acuminatum* u.a. auf. Insgesamt umfaßt das Diatomeenspektrum dieser Phase also Arten, die mäßig saure bis circumneutrale Gewässer mit bis zu mittleren Elektrolytgehalten charakterisieren (VOIGT 1996). Es spiegelt ferner eine hohe Artendiversität im Diatomeenspektrum des Gewässers, insbesondere des Litorals, wider. Diese ist neben den stabilen hydrologischen Bedingungen sicherlich auch auf die steigende Vielfalt der ökologischen Nischen im Zuge der Verlandungssukzession der Makrophyten zurückzuführen.

Das *Centrales* / *Pennales*-Verhältnis, das als Maß des Trophiegrades im Gewässer gilt und dessen Relation sich im oberen Diatomeenspektrum zugunsten der eutraphenten *Centrales*-Gesellschaften verschiebt, indiziert schließlich eine deutliche, mit dem 18. Jh. beschleunigte Eutrophierung des Großen Heiligen Meeres. Mit der Massenvermehrung dieser überwiegend planktisch lebenden Kieselalgengruppe verlagert sich der Schwerpunkt der Algenbiozönosen nun ins Pelagial, womit ein allgemeines Übergreifen der Nährstoffakkumulation vom Uferbereich auf den eigentlichen Wasserkörper verbunden ist (HOFMANN 1993). Dabei ist die massive Zunahme der zentrischen Euplankter bei steigender Schalendichte zugleich mit einer Abundanzerrhöhung verbunden, ebenfalls ein Indiz für die steigende Produktivität infolge erhöhten Nährstoffangebots. Die erhöhte Individuenzahl konzentriert sich dabei zunehmend auf wenige Arten und ist im Großen Heiligen Meer insbesondere an die Algenblüten von *Cyclotella radiosa*, *Aulacoseira ambigua* und *A. granulata* gekoppelt, die die zerstreut lebenden, pennaten Plankter nach und nach verdrängen. Insgesamt korreliert die Entwicklung der *Centrales*-Massenblüten mit der Expansion der Grünalgengruppe der Pediatren und der hydrophytischen Makrovegetation. In Übereinstimmung mit diesen erreicht sie ihren Höhepunkt mit dem Nährstoffschub des 19. Jh., im Anschluß an den Ausbau der Meerbecke 1850. Auch im Spektrum der Begleitarten spiegelt sich die anthropogen beschleunigte Diatomeensukzession schließlich wider: Während die trophieempfindlicheren Arten (*Eunotiaceae*, *Pinnularia* sp., aber auch *Gomphonema acuminatum*, *Navicula viridula* u.a.) sowie die acidophilen Arten (*Frustulia rhomboides*, *Amphipleura pellicula*, *Stenopteria curvula*) allmählich ganz verschwinden, erscheinen einige neue anspruchsvolle Arten, zu denen u.a. *Navicula scutelloides*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Gyrosigma attenuatum*, *Cymbella affinis*, *Epithemia adnata*, *Rhopalodia gibba* und *Surirella linearis* gehören. Erst in den obersten Horizonten spiegelt sich in einer erneuten Verschiebung der *Centrales* / *Pennales*-Relation, bei dem nun neben *Cyclotella radiosa* die pennaten Arten *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* dominieren, die jüngste Entwicklung und insbesondere die Versauerung des Gewässers seit Umlegung der Meerbecke.

6.3 Hydrochemische Entwicklung

Auch die sedimentstratigraphischen Untersuchungen bestätigen die übrigen Ergebnisse eines nährstoffarmen und sauren, frühhistorischen Gewässers. Neben den geringen Glühverlustwerten des Sediments von um die 50 % kennzeichnen niedrige pH-Werte um pH 6 die sauren, schwach gepufferten Milieubedingungen nährstoffarmer Pleistozängebiete (HÜTTER 1994; Abb. 2). Die Pufferkapazität des Sediments, die auf dem Carbonat-Hydrogencarbonatsystem und der Pufferreaktion zwischen Sedimentmatrix und Poren- bzw. Seewasser beruht, reicht bei nahezu fehlenden Carbonatanteilen zunächst nicht aus, Säureinträge (etwa allochthone Huminsäuren aus dem angrenzenden Niedermoor oder autochthone Säurefreisetzung infolge biogener Prozesse; AG BODEN 1984) auszugleichen und den pH-Wert zu stabilisieren. Der pH-Wert fällt daher zunächst unter pH 6, bevor im Zuge der natürlichen Eutrophierung des Gewässers eine allmähliche Erhöhung der Wasserstoffionen-Konzentration (bis pH 6,5) einsetzt. Sie ist in den Zusammenhang der allmählichen Biomassenakkumulation zu stellen, wie sie durch eine steigende Sedimentationsrate und den zunehmenden Glühverlust (60-70 %) indiziert wird.

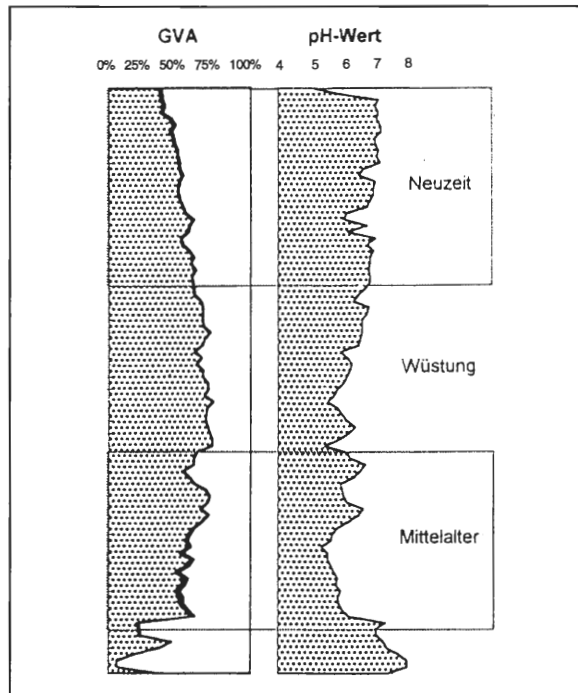


Abb. 2: Sedimentchemismus „Großes Heiliges Meer“.

Die spätmittelalterliche Nachsackung konnte mit einem Trophie- und Aciditätsrückschlag korreliert werden, welcher erneut eine nährstoffarme Gewässerphase mit nährstoffarmen, aber diesmal nun mäßig sauren Milieubedingungen folgte: Ein deutlicher Einbruch in der Glühverlustkurve mit einem Rückgang des organischen Anteils auf 50 % verweist auf derartig nährstoffärmere Bedingungen, aber auch auf die subsosionsbedingte Einschwemmung mineralischer Substanzen. Die Wasserstoffionen-Konzentration stabilisiert sich um pH 6. Mit dem Ende der massiven Subsosionsprozesse pendelt sich also ein hydrologisches Gleichgewicht mit stabilen hydrochemischen Verhältnissen ein.

Korrelierend zur Regeneration des Erlenbruchwaldes und der Einstellung der *Pennales*-Algenzönosen akkumulieren auch die Nährstoffe in Wasserkörper und Sediment sukzessive und spiegeln noch während der Wüstungsphase mesotrophische Verhältnisse wider: Dem entsprechen im Sediment eine feste, braune Mitteldetritusmudde sowie hohe Glühverluste des Substrates. Die organischen Anteile erreichen die höchsten Werte von durchschnittlich 70 %. Der Glühverlust gibt Aufschluß über das Verhältnis von organischem zu mineralischem Anteil im Sediment. Er kann somit sowohl als Eutrophierungsparameter dienen, aber auch als Parameter zur Differenzierung von autochthonen bzw. allochthonen Quellen der Nährstoffzufuhr. Die höchsten organischen Anteile während der Wüstungsphase sind darauf zurückzuführen, daß die seeeigene Biomassenproduktion und biogene Sedimentation sowie der Eintrag fremden, organischen Minerals (z.B. über Laub des umgebenden Waldgürtels) gegenüber dem subrosiven und erosiven, mineralischen Eintrag überwiegt. Dies wird im übrigen auch durch die steigende Sedimentationsrate und Polleninfluxwerte sowie von den pH-Werten bestätigt, die zum 18. Jahrhundert Werte von 6,5 erreichen.

Permanent gesteigerter allochthoner Eintrag in das Gewässer führt zu einer zunehmend beschleunigten Eutrophierung des Großen Heiligen Meeres. Dies geht besonders deutlich aus der Glühverlustkurve hervor, wonach die organischen Sedimentanteile kontinuierlich zurückgehen, während die mineralischen im Gegenzug auf bis zu 50 % steigen. Da Subrosionsprozesse in Übereinstimmung mit den übrigen Untersuchungen hier keine Rolle mehr spielen, indizieren sie die verstärkte anthropogene Einflußnahme im Zuge der neuzeitlichen Siedlungsexpansion. Die Mineralzufuhr ist dabei sowohl auf die fortschreitende, lokale Walddegradation zu Heiden und Ödland, auf die Ausweitung des Grünlandes und Bodennarbenzerstörung im unmittelbaren Umfeld des Sees zurückzuführen, als vor allem auch auf eine Vergrößerung des Einzugsgebietes über Entwässerungsgrabenausbau, wodurch dem Großen Heiligen Meer zunehmend Mineral- und Nährstoffe aus der Landwirtschaft und den nahen Siedlungen sowie von Schwermetallen aus dem neuzeitlichen Bergbau und der Industrie zugeführt wurden. Mit dem Sedimentwechsel von Mittel- zu Feindetritusmudde zeichnet sich der erneute Eutrophierungsschub schließlich auch stratigraphisch ab. Der pH-Wert charakterisiert nun, bei Werten um den Neutralpunkt, die optimale Stabilisation des eutrophen Seemilieus durch das Hydrogencarbonat-Puffersystem.

7. Modellvorstellungen zur Trophie-Entwicklung norddeutscher Stellgewässer

7.1 Mehrdimensionale Nährstoffentwicklung im Großen Heiligen Meer

In einer Synthese der gut übereinstimmenden und sich ergänzenden Einzelanalysen kann die spezielle Trophie-Genese des Großen Heiligen Meeres zu einem Gesamtbild der „Vegetations- und Nährstoffentwicklung von Stillgewässern unter dem Einfluß von Landschafts- und Siedlungsgeschichte“ zusammengefügt werden (Abb. 3). Dabei korreliert die progressive Nährstoffakkumulation in der 5-phasigen Nährstoffentwicklung von oligo- zu eutroph mit den siedlungsgeschichtlichen Hauptphasen, während der regressive Prozeß primär durch die Subrosionsprozesse, insbesondere die gewaltige spätmittelalterliche Nachsackung hervorgerufen wurde.

Darüber hinaus gewähren die palökologischen Untersuchungen einen Einblick in die Komplexität des Stillwasser-Ökosystems Großes Heiliges Meer: So muß das heterogene Erdfallgewässer mit seinen dipolaren Strukturen zunächst als einzigartig herausgestellt werden; es ermöglicht jedoch zugleich ein besseres Verständnis allgemeiner trophischer Entwicklungen in ihrer Mehrdimensionalität. In Übereinstimmung mit den aktuoökologi-

Zeitraumen d. regionalen Landschaftsentwicklung	Lokale Erdfallprozesse	Paläoökologie des Stillgewässers "Großes Heiliges Meer"			
		Vegetationszonen	Diatomeengesellschaften	Hydrochemische Situation	Trophieentwicklung
Neuzeit		<i>Myriophyllum</i> -Dickichte, vielfältige Schwimmblattgesellschaften, artenreiche Schilfröhrichte	<i>Centrales</i> -Algenblüten	Stratenwechsel zu Feindetritusmudde, optimale pH-Pufferkapazität	Eutroph
Wüstungsphase		Erlenbruchwaldregeneration	<i>Pennales</i> -Biozönosen	Hydrochemische Stabilisation	Mesotroph
Spätmittelalter	Nachsenkung	Seerosendecken und Schachtelhalm-sümpfe, Birkenbruchwald	<i>Eunotia-Pinnularia</i> -Gesellschaft mit <i>Gomphonema ac.</i>	Allochthonmineralischer Eintrag	Oligomesotroph
Mittelalter		Röhrichte, Seggenriede, Weidengebüsche	reiche <i>Centrales</i> -Flora mit litoralem <i>Achnanthaceen</i> -Aufwuchs	Beschleunigte Sedimentationsrate und pH-Erhöhung	Eutroph
Sachsenzeit	Erdfallentstehung	Pioniergesellschaften	Initialgesellschaft	Nährstoffarm und sauer	Oligotroph

Abb. 3: Vegetations- und Nährstoffentwicklung des „Großen Heiligen Meeres“ unter dem Einfluß von Landschafts- und Siedlungsgeschichte.

schen Untersuchungen von HAGEMANN (1997) und POTT et al. (1996, 1998) muß die Vegetations- und Trophieentwicklung von Seen als äußerst differenziert betrachtet werden, da sie nicht nur in historischen Dimensionen, sondern auch räumlich, sowohl zwischen Pelagial und Litoral als auch im Bereich verschiedener Uferzonen, variiert. So muß aus der morphologischen Besonderheit des Großen Heiligen Meeres heraus die Genese des frühzeitig verlandenden nördlichen Flachsees von der des sehr viel später eutrophierenden, tiefen Seebeckens unterschieden werden. Ferner spielt die Einbettungssituation des Gewässers, an der Ökologengrenze von Niedermoor zu Dünenansanden, von Beginn seiner Geschichte an eine bedeutende Rolle für seinen Nährstoffhaushalt. In diesem Zusammenhang muß daher die enorme Bedeutung des Einzugsgebietes bzw. die Offenheit des Ökosystems See zu seiner Umgebung, von der je nach natürlichen Standortgegebenheiten oder anthropogener Einflußnahme vielfältige Einflußfaktoren auf das Gewässer ausgehen, herausgestellt werden.

7.2 Allgemeingültige Ursachen und Mechanismen der Nährstoffentwicklung

Über die dargestellte, exemplarische Entwicklung des Großen Heiligen Meeres hinaus, lassen sich abschließend einige allgemeingültige Schlüsse zu einer historischen Sukzession limnischer Ökosysteme Nordwestdeutschlands ziehen. Den Ursachen und Mechanismen der natürlichen Nährstoffentwicklung steht dabei die anthropogen beeinflusste Genese gegenüber.

- Grundsätzlich läßt sich aus den vorgestellten Ergebnissen die Gesamttenenz einer **kontinuierlichen Gewässereutrophierung**, die **im Rahmen der natürlichen Sukzession** von nährstoffarm zu nährstoffreich führt, feststellen. Dabei muß die Zunahme der Nährstoffkonzentration bzw. -nutzung zunächst generell als natürlich angesehen werden. Der Nährstoffeintrag kann nun allogener Natur sein, d.h. wie im vorliegenden Fall des eutrophierend wirkenden Niedermoors geologisch bedingt sein oder eine paläoklimatische oder geographische (natürliche Zuflüsse) Ursache haben. Primär ist die Nährstoffakkumulation i.d.R. aber autogen und wird durch die Steigerung der autochthonen, pflanzlichen Primärproduktion infolge einer Nährstoffverlagerung vom Profundal (Biomassenakkumulation unter anaeroben Bedingungen) in die trophogene Zone hervorgerufen. In jedem Falle geht diese natürliche Eutrophierung sowohl mit einer Zunahme der Biomasse als auch der Artendiversität einher. Sie läßt sich insbesondere aus der Sukzession des pelagischen Phytoplanktons (Pediastren und Diatomeen: *Centrales*, u.a. Gruppen) ableiten, welche 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 des Gewässers letztendlich zu dessen natürlicher Verlandung führt (ELLENBERG 1996, DIERSCHKE 1994, POTT & REMY 2000).
- In diesem Zusammenhang spielt die **natürliche Standortvielfalt** im Gewässer eine bedeutende Rolle, ebenso wie der Einfluß trophiedominierender und -regulierender Faktoren. In den Landschaften Norddeutschlands sind dies in erster Linie die sauer-oligotrophen Verhältnisse des Pleistozäns; doch auch holozäne Bildungen (Niedermoor, Hochmoor, Aue) im Einzugsbereich des Gewässers können solche Faktoren darstellen. Das bedeutet limnische Ökosysteme müssen natürlicherweise nicht unbedingt ein einheitliches Bild aufweisen und insbesondere die makrophytische Verlandungszonation wird entscheidend von der jeweiligen standortspezifischen Litoralsituation geprägt bzw. spiegelt die lokale Standortdifferenzierung eines Gewässers und dessen Uferbereich in Abhängigkeit von ganz lokalen Grundwasser- und Bodenveränderungen kleinräumig wider (PUST et al. 1997, POTT et al. 1998). Umgekehrt beeinflußt die Vegetation wiederum das Verhältnis von allochthoner und autochthoner Nährstoffakkumulation, wie es sich u.a. anhand von Polleninfluxmessungen und Glühverlustbestimmungen verifizieren läßt.
- Vegetationsgeschichtlich gesehen muß ferner die Bedeutung relativ konstanter Umweltbedingungen für die progressive Seegenese diskutiert werden. Nicht nur langfristige, klimatische Ursachen, sondern wie im vorliegenden Fall auch kurzfristige, geogene Abläufe können Schwankungen in der sukzessiven Gewässerentwicklung verursachen sowie **regressive Prozesse** in der allgemein progressiven Nährstoffentwicklung hervorrufen, die die ökologischen Bedingungen im Gewässer nachhaltig verändern.
- Bezüglich der Verlandungsreihen und der Vergesellschaftungen von Wasserpflanzen und Röhrcharten kann 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, 1995). 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 (LANGE-BERTALOT & KRAMMER 1986). Schließlich rechtfertigt die Synthese der Einzelanalysen das deduktive Vorgehen, sich bei den paläoökologischen Beschreibungen auf die heutigen aut- und synökologischen Ansprüche der Arten zu beziehen. Insbesondere die Übereinstimmung mit den sedimentchemischen Daten zeigt, daß die Ansprüche unverändert blieben.

- Schließlich kann die allgemeine und deutliche **Korrelation von lokaler Siedlungsgeschichte und anthropogen beschleunigter Eutrophierung** eines Gewässers bestätigt werden, wobei sich wohl die Regel eines eutrophierenden Einflusses während der Siedlungsphasen des Mittelalters und der Neuzeit herausstellen läßt, während die frühneuzeitliche Siedlungsdepression mit einer Stagnation der Trophierung verknüpft werden kann. Dabei zeigte sich bereits im Mittelalter der eutrophierende Einfluß des Menschen, der insbesondere auf indirekte Einflußnahme, d.h. standortdifferenzierende Eingriffe im Einflußbereich des Sees zurückzuführen war (Rodung und Streuwiesennutzung bzw. Weide bis in Ufernähe). Dem gegenüber steht die vielfach diskutierte beschleunigte Gewässereutrophierung der Neuzeit, die durch direkte Nährstoffeinträge die Gewässerverlandung forciert. So wird der langfristige Prozeß der natürlichen Eutrophierung in den letzten Jahrhunderten zunehmend anthropozoogen gestört und die Eutrophierung heute hauptsächlich als ein Vorgang der künstlich erhöhten Nährstoffzufuhr verstanden. Über die direkte Zufuhr organischer Substanzen aus häuslichen, industriellen und landwirtschaftlichen Abwässern hinaus, verursachen sehr viel häufiger Nährstoffeinträge über Grund- und Oberflächenwasser, infolge von Boden- auswaschung und Erosion, einen Nährstoff-Input (PUST 1993). Die schubweise Nährstoffakkumulation, die beim Beispiel „Großes Heiliges Meer“ unmittelbar mit dem Ausbau der Entwässerungsgräben korreliert, unterstreicht dabei die Auswirkungen der Vergrößerung des Einzugsgebietes.

8. Quellen- und Literaturverzeichnis

- AG BODEN der Geologischen Landesämter der BRD und der BGR / PÄLCHEN, W. et al. (Hrsg., 1996): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 4. Aufl.: 392 S. (33 Abb., 91 Tab.), Hannover (Schweizerbart).
- ALHONEN, P. (1967): Palaeolimnological investigations of three inland lakes in south-western Finland. - Acta Bot. Fennica **76**: 59 S., Helsinki.
- ANDERSSON, F. & OLSSON (1985): Lake Goardsjoen: an acid forest lake and its development. - Svenska Tidskr. **6**: 526-530
- 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.
- 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. (1976): Die Pflanzenreste aus der frühgeschichtlichen Wurt Elisenhof. - Studien Küstenarchäologie Schlesw.-Holst., Rhe. A: 144 S., Neumünster.
- BEHRE, K.-E. (1980): Zur mittelalterlichen Plaggenwirtschaft in Nordwestdeutschland und angrenzenden Gebieten nach botanischen Untersuchungen. - Abh. Akad. Wiss. Göttingen **3**: 30-40.
- 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.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. (1986): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. - Chichester (J. Wiley).
- 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).
- BGR / NLFb (o.J.): Unveröffentlichte Analyseverfahren.-
- BRANDI, K. (1900): Die Osnabrücker Fälschungen. IV. Der Fortsbann und die älteste Bistumsgrenze. - *Westdt. Z. Gesch. Kunst* **19** (2): 165-173, Trier.
- BUDDE, H. (1942a): Die Algenflora der Seen, Weiher und Tümpel des Naturschutzgebietes Heiliges Meer. - in: BUDDE, H.: Die Algenflora Westfalens und der angrenzenden Gebiete. - *Decheniana* **101**: 201-214, Bonn.
- BUDDE, H. (1942b): Die Algenflora Westfalens und der angrenzenden Gebiete. - *Decheniana* **101**: 131-214 (2 Abb., 1 Tab.), Bonn.
- BÜKER (1940): Die Pflanzengesellschaften nordwestdeutscher Heideweier. - *Aus der Heimat* **53**: 78-83.
- 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.).
- 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.
- DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V.), NORMENAUSSCHUß WASSERWESEN (1994): DEV DIN 38414 Teil 2 - S 2, 3 5 [Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser - und Schlammuntersuchung. Schlamm und Sedimente (Gruppe S).
- DOLLE, R. (1933): Die Sage vom Heiligen Meer bei Hopsten in der Ortsüberlieferung, in der Romantik und im Lichte der Geschichte. - 16 S. (1 Karte).
- DÖRFLER, W. (1989): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Süden des Landkreises Cuxhafen. - *Probleme d. Küstenforschung im südl. Nordseegebiet* **17**: 1-75. Hildesheim.
- 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.).
- 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**.
- 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).
- FREUND, H. (1994): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung im westlichen Weserbergland. - *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **56** (1): 103 S. (35 Tab.), Münster (Westf.).
- 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 Ftbl.), Clausthal-Zellerfeld (Pilger).
- 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.
- 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).
- 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.
- 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** (Beiheft): 1-304, Bonn.
- HOFMANN, G. (1993): Aufwuchsdiatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. - Diss. Univ. Frankfurt a.M.: 195 S., Frankfurt.
- HOPSTER, H. (1974): Hopsten. Geschichte und Gegenwart. - Gemeinde Hopsten: 133 S.
- HUBER-PERSTALOZZI, G. (1942): Das Phytoplankton des Süßwassers II (1). - Stuttgart.
- HUNSCH, F.E. (1975): Drevanameri - Das „Heilige Meer“. - *Der Tecklenburger* (11.01.1975).
- 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. (1930-1966): Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete 1-3. - in RABENHORST, L. (Hrsg.): *Kryptogamenflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*. - Leipzig (Akad. Verlagsgesellsch.)
- HUSTEDT, F. (1945): Die Diatomeenflora norddeutscher Seen mit besonderer Berücksichtigung des holsteinischen Seengebiets. I - IV: Seen 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.
- HÜTTER, L. (1994): Wasser und Wasseruntersuchungen. - *Laborbücher Chemie*. 5. Aufl.: 516 S. (Salle & Sauerländer).
- KLEINMANN, A. (1992): Nachweis spät- und postglazialer Seespiegelschwankungen am Ammersee mittels pollenanalytischer und sedimentologischer Untersuchungen. - Diss. Inst. Angew. Geol. Mineralog. TU München: 139 S. (22 Abb., 5 Tab., 10 Dia.), München.
- 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.
- KOCH, H. (1936): Beitrag zur Florengeschichte des Osnabrücker Landes. - *Mitt. Naturwiss. Ver. Osnabrück* **23**: 57-98 (3 Abb., 3 Tab.), Osnabrück (Prelle).
- KÖLKER, J. (1936): Die kulturlandschaftliche Entwicklung des Kreises Tecklenburg. - 140 S., Köln.
- KOMAREK, J. & B. FOTT (1983): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. - in: HUBER-PERSTALOZZI, G. (Hrsg.): *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. - Die Binnengewässer 16/7, 1: 1044 S. (14 Abb., 43 Tab., 253 Taf.), Stuttgart (Schweizerbart).
- KÖNIGLICH PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME (1895): TK 25, Blatt 3611 „Hopsten“. - ex *Bibl. Regia*, Berlin 1941.
- 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** (Beiheft): 2 S., Münster / Westf.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1987): Geobotanische Untersuchungen auf der Feddersen Wierde I. - 357 S., Wiesbaden.
- 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.
- 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. (1961): Zur Synchronisierung der nordwestdeutschen Pollendiagramme (mit Beiträgen zur Waldgeschichte Nordwestdeutschlands). - *Flora* **150** (1): 43-72, Jena.
- LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg. 1969,89): TK 5, Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“ (Luftbildkarte).-

- LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg., 1987): TK 5, Blatt 3611/17 „Großes Heiliges Meer“ (Bodenkarte).-
- LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (Hrsg., 1993): TK 25, Blatt 3611 „Hopsten“-.
- LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. - 462 S., Stuttgart (Fischer).
- LANGE-BERTALOT, H. & K. KRAMMER (1986-91): Bacillariophyceae. 1.Tl.: Naviculaceae: 876 S.; 2.Tl.: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae: 596 S.; 3.Tl.: Centrales, Fragillariaceae, Eunotiaceae: 576 S.; 4.Tl.: Achnantheaceae, Kritische Ergänzung zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema: 437 S. - in: ETTL, H. et al. (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. - Stuttgart (Fischer).
- LANGE-BERTALOT, H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeignetes Kriterium der Gewässerbelastung. - Arch. Hydrobiol. Suppl. **56**: 393-427.
- LESEMANN, B. (1969): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Hannoverischen Wendlandes. - Flora, Abt. B, **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).
- 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).
- 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.-soz. AG N.F. **15-16**: 28-40 (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.
- MERKT, J. & H. STREIF (1970): Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente. - Geol. Jb. **88**: 137-148 (5 Abb.), Hannover.
- MERKT, J., G. LÜTTIG & H. SCHNEEKLOTH (1971): Vorschlag zur Gliederung und Definition der limnischen Sedimente. - Geol. Jb. **89**: 607-623 (1 Tab.), Hannover.
- MOHR, R. (1990): Untersuchungen zur nacheiszeitlichen Vegetations- und Moorentwicklung im nordwestlichen Niedersachsen. - Vechtaer Arbeiten zur Geographie und Regionalwissenschaft **21** (1): 144 S., Vechta.
- MOHRMANN, W.-D. & W. PABST (1990): Einführung in die politische Geschichte des Osnabrücker Landes. Darstellung und Quellen. - Osnabrück.
- MOORE, P.D., J.A. WEBB & M.E. COLLINSON (1991): Pollen analysis. - 2. Aufl.: 216 S., Oxford (Blackwell).
- MÜLLER-WILLE, W. (1960): Natur und Kultur in der oberen Emssandebene. - Decheniana **113** (2): 323-344 (12 Abb.), Bonn.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. - 719 S., Neumünster.
- PARRA BARRIENTOS, O.O. (1979): Revision der Gattung *Pediastrum* Meyen (Chlorophyta). - Biblioth. Phycologica **48**: 183 S. (55 Taf.), Vaduz (J. Cramer).
- 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.
- POELMANN, H. (1934): Geologisches vom Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - in: WERLAND, D. (Hrsg.): Das Heilige Meer von Hopsten. - Natur u. Heimat **1** (Sonderheft): 6-10 (3 Abb.), Münster / Westf.
- POTT, R. (1980): Die Wasser - und Sumpfvvegetation 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.).
- POTT, R. (1981): Ökologie und Indikatorwert von Wasserpflanzengesellschaften. - Mitt. LÖLF, Sonderh. Landestagungen 1980: 57-64 (14 Abb.), Recklinghausen.
- POTT, R. (1982): *Littorelletea*-Gesellschaften in der Westfälischen Bucht. - Tuexenia **2**: 31-45 (3 Abb., 7 Tab.), Göttingen.
- POTT, R. (1983): 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. (1985): Zur Synökologie nordwestdeutscher Röhrichtgesellschaften. - Verh. Ges. Ökol. (Bremen 1983) **13**: 111-119 (5 Abb., 2 Tab.), Göttingen.

- POTT, R. (1992): 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. (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 Karten), Stuttgart (Ulmer).
- 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. (1999): Nordwestdeutsches Tiefland zwischen Ems und Weser. Kulturlandschaftsführer Bd. 1: 256 S., Ulmer-Verlag Stuttgart.
- 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. 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., J. PUST & B. HAGEMANN (1998): Methodische Standards bei der vegetationsökologischen Analyse von Stillgewässern - dargestellt am Großen Heiligen Meer in den Untersuchungsjahren 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. & D. REMY (2000): Ökosysteme Mitteleuropas. Gewässer des Binnenlandes. 252 S., Ulmer-Verlag Stuttgart.
- PUNT, W. et al. (1976-91): The Northwest European Pollen Flora. - I: 145 S., II: 285 S., III: 138 S., IV: 369 S., V: 154 S., VI: 275 S., Amsterdam (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 Erlbruchwaldes am Großen Heiligen Meer, Kr. Steinfurt. - Natur u. Heimat **57** (2): 53-63 (6 Abb., 1 Tab.), Münster/Westf.
- REILLE, M. (1992): Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. - Lab. Bot. Hist. et Palyn.: 520 S., Marseille.
- RENBORG, 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.
- RODE, H. & K. EBLAGE (Hrsg., 1994): Uffeln - Geschichte eines Ibbenbürener Ortsteils. - 603 S.
- RUNGE, F. (1974): Schwankungen der Vegetation nordwestdeutscher Heideweiler. - Abh. Naturw. Ver. Bremen **37**: 421-428.
- SALDEN, N. (1978): Beiträge zur Ökologie der Diatomeen (Bacillariophyceae) des Süßwassers. - Decheniana Beih. **22**: 238 S. (8 Abb., 26 Tab.), Bonn.
- SCHOCH, W.H., PAWLIK, B., SCHWEINGRUBER, F.H. (1988): Botanische Makroreste. - Stuttgart (Haupt).
- 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.).
- 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.
- SPEIER, M. (1996): Paläoökologische Aspekte der Entstehung von Grünland in Mitteleuropa. - Ber. Reinh. Tüxen-Ges. **8**: 199-219 (6 Abb., 3 Tab.), Hannover.
- STAATSARCHIV MÜNSTER: Grenzkarten 1564 und 1616
- STREIF, H. (1970 ff.): Limnogeologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern I ff. - Landesamt f. Geologie Hannover. Manuskript.
- 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.
- TERLUTTER, H. (1995): Das Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“. - Westf. Mus. Naturk.: 144 S., Münster (Westf.).

- THIERMANN, A. (1975a): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000. Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. - Geolog. Landesamt NRW (Hrsg.): 214 S., Krefeld.
- THIERMANN, A. (1975b): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Feldes“ im Tecklenburger Land/Westfalen. - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg **44**: 517-530, Krefeld.
- 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.
- VOIGT, R. (1996): Landschaftsgeschichtliche Untersuchungen an einigen oberbayrischen Seen. - Diss. Bot. 270.
- VON LECOQ (1803): Preußische Aufnahme. Karten von Nordwestdeutschland 1:86400, Sektion 8 u. 9 (Historische Karte).-
- WEGNER, T. (1913a): Der Erdfall bei Hopsten vom 14. April 1913. - Petermanns Mitt.: 69-70, Gotha.
- WEGNER, T. (1913b): Bericht über den Erdfall bei Hopsten. - Unveröff. Ber.: (1 Karte), Münster.
- WEGNER, T. (1914): Der Erdfall bei Hopsten (Westfalen). - Naturwiss. Wochenschrift N. F. **XII** (21): 332-333 (2 Abb), Jena (Fischer).
- WIERMANN, R. & D. SCHULZE (1986): Pollenanalytische Untersuchungen im Torfmoor bei Nettelstedt (Kr. Minden 9 (Histori - Abh. Westf. Mus. Naturk. **48** (2/3): 481-495, Münster.
- WILLERDING, U. (1969): Ursprung und Entwicklung der Kulturpflanzen in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. - in JAHNKAHN: Deutsche Agrargeschichte **1**: 188-233.

Anhang

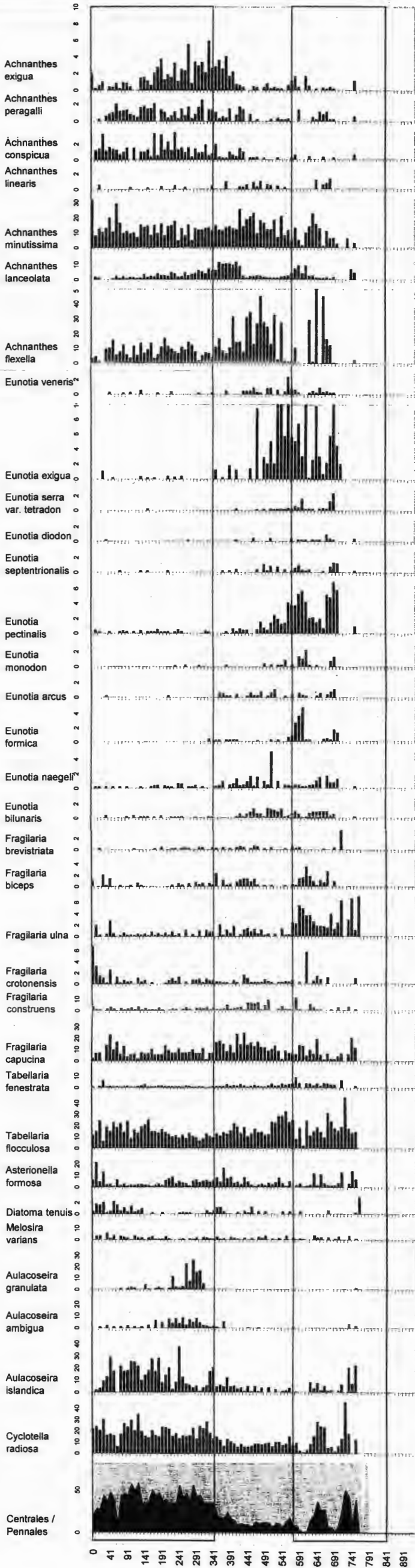
- E. BARTH & R. POTT (2000): Konventionelles Pollendiagramm der Meerbecke-Niederung /Heiliges Meer
- E. BARTH & R. POTT (2000): Pollendiagramm „Großes Heiliges Meer“
- E. BARTH & R. POTT (2000): Diatomeendiagramm „Großes Heiliges Meer“

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Richard Pott, Dipl. Biol. Elke Barth, Univ. Hannover, Institut für Geobotanik,
Nienburger Str. 17,
D-30167 Hannover

E. BARTH & R. POTT (2000): Diatomeendiagramm "Großes Heiliges Meer"

Diatomeendiagramm "Großes Heiliges Meer"



Neuzzeit

Wüstung

Mittelalter

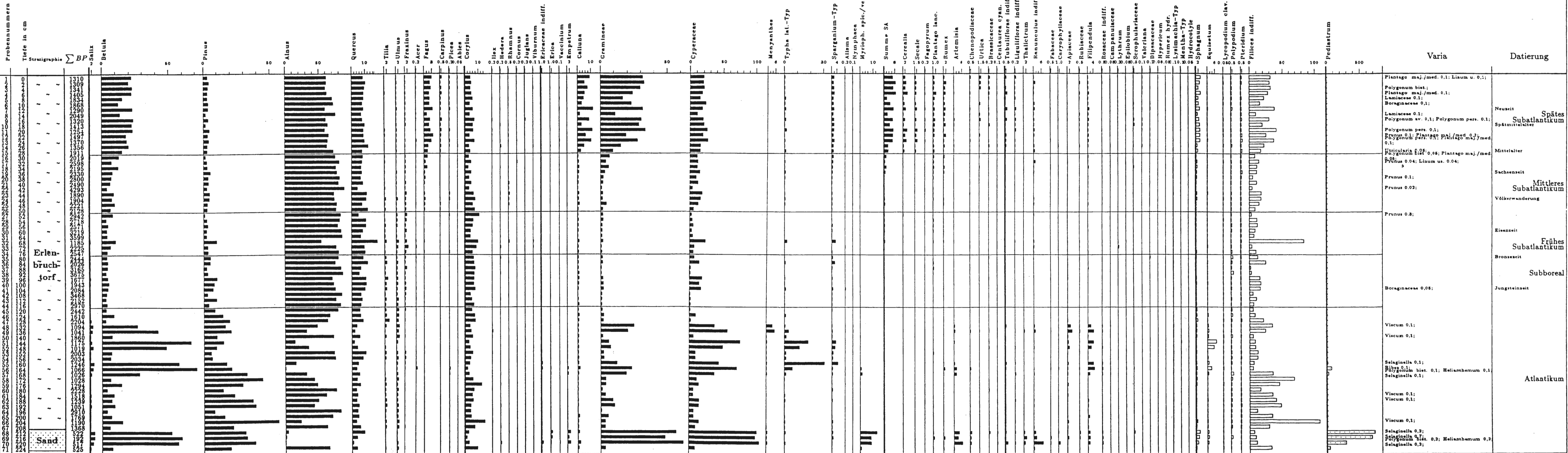
BARTH 2000

E. BARTH & R. POTT (2000): Konventionelles Pollendiagramm der Meerbecke-Niederung /Heiliges Meer

1000

1000

Konventionelles Pollendiagramm der Meerbecke-Niederung / Heiliges Meer



Plantago maj./med. 0.1; Linum u. 0.1;
 Polygonum bist.;
 Plantago maj./med. 0.1;
 Lamiaceae 0.1;
 Boraginaceae 0.1;
 Lamiaceae 0.1;
 Polygonum av. 0.1; Polygonum pers. 0.1;
 Polygonum pers. 0.1;
 Prunus 0.1; Plantago maj./med. 0.2;
 Polygonum pers. 0.1; Plantago maj./med. 0.1;
 Urticularia 0.05;
 Polygonum bist. 0.05; Plantago maj./med. 0.05;
 Prunus 0.04; Linum us. 0.04;
 Prunus 0.1;
 Prunus 0.02;
 Prunus 0.3;
 Boraginaceae 0.05;
 Viscum 0.1;
 Viscum 0.1;
 Selaginella 0.1;
 Blyx 0.1;
 Polygonum bist. 0.1; Helianthemum 0.1;
 Selaginella 0.1;
 Viscum 0.1;
 Viscum 0.1;
 Viscum 0.1;
 Selaginella 0.2;
 Selaginella 0.2;
 Selaginella 0.2; Helianthemum 0.2; Selaginella 0.2;

E. BARTH & R. POTT (2000): Pollendiagramm "Großes Heiliges Meer"

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzial-Museum für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [62_BH_2000](#)

Autor(en)/Author(s): Barth Elke, Pott Richard

Artikel/Article: [Vegetationsgeschichtliche und paläoökologische Untersuchungen zur Trophie-Entwicklung in Stillgewässern der pleistozänen Sandlandschaft Norddeutschlands 15-39](#)