

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	28 (2021), 1/2	S. 97–124	8 Abb., 2 Tab., 102 Zit.
------------------------------	---------	----------------	-----------	--------------------------

## Stratigraphie und Genese eines karbonatreichen Beckenprofils am Kliff von Meschendorf (Ostsee, Mecklenburg)

### Stratigraphy and genesis of a carbonate-rich basin profile at the cliff of Meschendorf (Baltic Sea, Mecklenburg)

ROBERTO HENSEL, WOLFGANG JANKE, STEFAN MENG, SEBASTIAN LORENZ

*Reinhard Lampe zum 70. Geburtstag gewidmet.*

#### Zusammenfassung

Am Kliff bei Meschendorf an der südlichen Ostseeküste sind, wie an nur ganz wenigen Steilküstenabschnitten in Mecklenburg-Vorpommern, Weichsel-spätglaziale und holozäne, karbonatische und organogene Sedimente als Profil aufgeschlossen. Sie stammen aus dem Randbereich eines ehemals bis in die heutige Ostsee hineinreichenden Beckens. Es werden erste Untersuchungsergebnisse von zwei Referenzprofilen (Me-1 und Me-2) zur Sedimentologie, Molluskenfauna, Pollen- und Diatomeenflora, sowie ein Versuch der Rekonstruktion der Beckengenese vorgestellt und diskutiert.

Die Sedimentabfolge über Geschiebemergel und aufgelagerten Beckensanden der Pommern-Phase beginnt mit einem Regosol des Meiendorf-Interstadials. Darüber sind bis zum 13. Jahrhundert unserer Zeit nur Sedimente, die während Vernässungsphasen infolge Überstauung gebildet wurden, erhalten geblieben. Phasen mit niedrigem Grundwasserspiegel führten dagegen zum Sedimentationsausfall während bestimmter Zeitabschnitte des Weichsel-Spätglazials und Holozäns (Ausbildung von Hiatus). Das Becken wurde wahrscheinlich im späten Subboreal von der Ostsee angeschnitten und fiel trocken. Die bis heute anhaltende Kliff- und Beckenentwicklung wird vor allem durch den Küstenrückgang einschließlich der Bildung von Kliffranddünen und Flugsandtätigkeit sowie die agrarische Nutzung mitbestimmt. Die bis in die gegenwartsnahe Zeit im Jahresverlauf zeitweilig auftretenden Überstauungen des Beckens wurden dabei durch die seeseitige Abriegelung mit Flugsanden begünstigt. Die Kalkmudden sind Ablagerungen, die sich sedimentologisch, durch Mikroflora und -fauna sowie durch die Molluskenfauna voneinander unterscheiden. An *non-pollen palynomorphs* (NPP) reiche Kalkmudde- und Seekreideabschnitte zeugen von lokal trockenerem Milieu, z. B. im mittleren Holozän auch als Folge des Kliffanschnitts durch die Ostsee. Für folgende

Zeiträume bestehen Hiatus, deren Dauer pollenanalytisch und durch  $^{14}\text{C}$ -Datierungen nur annähernd eingegrenzt werden kann:

- 1.) Älteste Dryas bis frühes Allerød (bei 254 cm),
- 2.) ausklingendes Allerød und Jüngere Dryas (bei 246 cm),
- 3.) jüngstes Präboreal, Boreal und Teile des Älteren Atlantikums (bei 223 cm) sowie
- 4.) jüngstes Subboreal bis frühes Subatlantikum (bei 170,5 cm).

#### Summary

The Meschendorf cliff is located at the southern Baltic Sea coast, where Late glacial and Holocene carbonate gyttja is deposited in boundary areas of a swamp. First results on sedimentology, palynology, diatoms and mollusk fauna, as well as an attempt to reconstruct the genesis of the basin will be exemplarily explained for the profile Me-1. The sedimentation sequence starts with a regosol of the Meiendorf interstadial directly on top of the boulder clay and its deposited sands. Up to the 13<sup>th</sup> century, only sediments of water logging have been preserved above the regosol; due to dry periods sediments of Late Weichselian and Holocene partially are missing at the site. Probably, the basin was truncated by the Baltic Sea during the declining Subboreal and dried out.

Subsequently, the cliff- and basin genesis is influenced by cliff foredunes and aeolian transports, as well as agriculture. During the course of the year the basin is temporarily flooded and closed seaside by aeolian sand. Genetically, the calcareous gyttja represent calcareous sediments, which differ sedimentologically and by their micro flora, as well as by their mollusk fauna. The following periods are sedimentologically absent, since their duration can only be estimated by palynology and  $^{14}\text{C}$  analysis:

- 1.) Oldest Dryas until early Allerød (at 254 cm),
- 2.) declining Allerød and Younger Dryas (at 246 cm),
- 3.) recent Preboreal, Boreal und parts of the older Atlantic (at 223 cm)
- 4.) youngest Subboreal until early Subatlantic (at 170,5 cm).

## 1 Einführung

An der südlichen Ostsee werden im Bereich aktiver Kliffe mehrfach Becken von Seen und Mooren angeschnitten, deren Aufschlüsse vielfältige sedimentologische und paläoökologische Untersuchungen ermöglichen (z. B. HALLIK & LUDWIG 1959, LUDWIG 1963, KOPCZYŃSKA-LAMPARSKA et al. 1984, LANGE et al. 1986, STRAHL & KEDING 1996, KOSSLER & STRAHL 2014, LAMPE et al. 2016). Meschendorf ist der bisher einzige interdisziplinär bearbeitete Kliffaufschluss der mecklenburg-vorpommerischen Ostseeküste, in dem auch Kalkmudde und Seekreide führendes Binnenholozän des Mittel- und Jungholozäns mit angeschnitten ist.

Am ca. 500 m langen Kliffabschnitt sind zwei Abfolgen aus Kalkmudden und Wiesenkalken eines ehemaligen, heute von Flugsanden und Kolluvien bedeckten Beckens aufgeschlossen. Sie erfuhren durch ZIMMERMANN (1929) und JAECKEL (1948), die die artenreiche Molluskenfauna dieser „Quellkalk“ untersuchten, eine erste naturwissenschaftliche Bearbeitung. Eine detaillierte Neuaufnahme der Meschendorfer Kliffe erfolgte durch eine Diplomkartierung und daran anknüpfende paläoökologische Untersuchungen (HENSEL 2010, LORENZ & JANKE 2010, JANKE 2011). Weitere Studien bezogen den Kliffabschnitt Meschendorf nur hinsichtlich des Küstenrückgangs ein (z. B. REINHARD 1959, SCHULZ 1994, HUPFER et al. 2003). Zielstellung der vorliegenden Arbeit bildet die Erfassung der Genese und Prozessdynamik sowie der Stratigraphie des äolisch und kolluvial überprägten Standortes unter Einbeziehung pollen- und diatomeenanalytischer sowie malakologischer Untersuchungen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Etwa 4 km westlich von Kühlungsborn und 7 km nordöstlich der Halbinsel Wustrow, zwischen den Küstenkilometern (KKM) 116,750–117,250, sind am Steilufer nördlich der Ortslage Meschendorf (Abb. 1) fossile Beckensedimente angeschnitten. Nahezu der gesamte Kliffabschnitt ist überdünt, wobei begrabene Regosole eine Mehrphasigkeit der Aufwehung belegen. In direkter Ortsnähe zu Meschendorf treten zusätzlich Kolluvien auf.

Am Steilufer von Meschendorf ist die im nördlichen Mecklenburg flächenhaft verbreitete Grundmoräne der Pomern-Phase (qW2) angeschnitten (SCHULZ 1994), wobei deren Geschiebemergel ungestört lagert und nach Norden

bzw. Nordwesten einfällt (SCHULZ 1988; KATZUNG 2004, DUPHORN 2008). Ein pommersches Alter dieses Geschiebemergels ergaben auch von R. LAMPE durchgeführte Kleingeschiebeanalysen (freundliche schriftliche Mitteilung R. Lampe, Greifswald). Die jüngere, geringmächtige und lückige Grundmoräne der Mecklenburg-Phase (qW3) fehlt vor Ort, ist im weiteren Umland jedoch mehr oder weniger flächendeckend ausgebildet (vgl. HEERDT 1965, NIEDERMEYER 2011 sowie GÜK 200, Blatt 12/13).

Die Grundmoränenlandschaft ist untergliedert durch küstennahe Becken, wie den Rieden oder den Conventer See und Täler (z. B. bei Meschendorf oder das Fulgenbachtal). Auf ihre seeseitige Fortsetzung vor der Littorina-Transgression deuten submarin nachgewiesene Baumstubben und Torflagen bisher unbekanntes Alters, aber auch archäologische Funde auf dem Grund der Mecklenburger Bucht (LÜBKE 2000; LÜBKE 2004; TAUBER 2007). Weitere Torflagen beschrieb auch KOLP (1961, 1964) aus den tieferen Zentralbereichen der Mecklenburger Bucht, von denen die meisten Versumpfungstorfe des ausklingenden Boreals und Atlantikums darstellen.

Das Kliff bei Meschendorf ist durch starke Abbrüche gekennzeichnet, die in Abhängigkeit von der Geschiebemergelklüftung und nachfolgend entstandenen Brandungshöhlen vor allem nach Sturmhochwässern auftreten (NIEDERMEYER et al. 1987). Vorwiegend im Winter kommt es zu Abbrüchen durch Wasseraustritte aus sandigen Schichten über dem Geschiebemergel (vgl. GELLERT 1989). Bedeutend für die langfristige Küstenentwicklung ist die Lage in einem geologischen Senkungsgebiet, wobei hier ein säkularer Meeresspiegelanstieg von 1,2 mm/a angenommen wird (LAMPE 2008). Der abrasive Küstenrückgang im Bereich Meschendorf wird in älterer Literatur mit 20–65 cm/a angegeben (ZANDER 1934, SCHÜLER 1987). Der gegenwärtige mittlere Küstenrückgang beträgt laut aktuellen amtlichen Angaben 35–55 cm/a (MLUV M-V 2009).

## 3 Methoden

### 3.1 Geländearbeiten und geochemische Analysen

Die Geländearbeiten von April bis November 2009 umfassen die kartographische und photographische Erfassung der rezenten Morphologie und Schichtabfolgen, das Vermessen der Kliffhöhen und Schichtmächtigkeiten, die sedimentologische und bodenkundliche Schicht- bzw. Horizontansprache nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) sowie die Beprobung der zwei Referenzprofile Me-1 und Me-2 für sedimentologische und paläoökologische Analysen im Zentimeterabstand (Abb. 2 und 3). Die landseitige Kartierung zur Ermittlung der Beckengröße erfolgte mittels Pürckhauer. Tiefenangaben beziehen sich in der vorliegenden Arbeit auf Zentimeter unter Geländeoberkante (GOK).

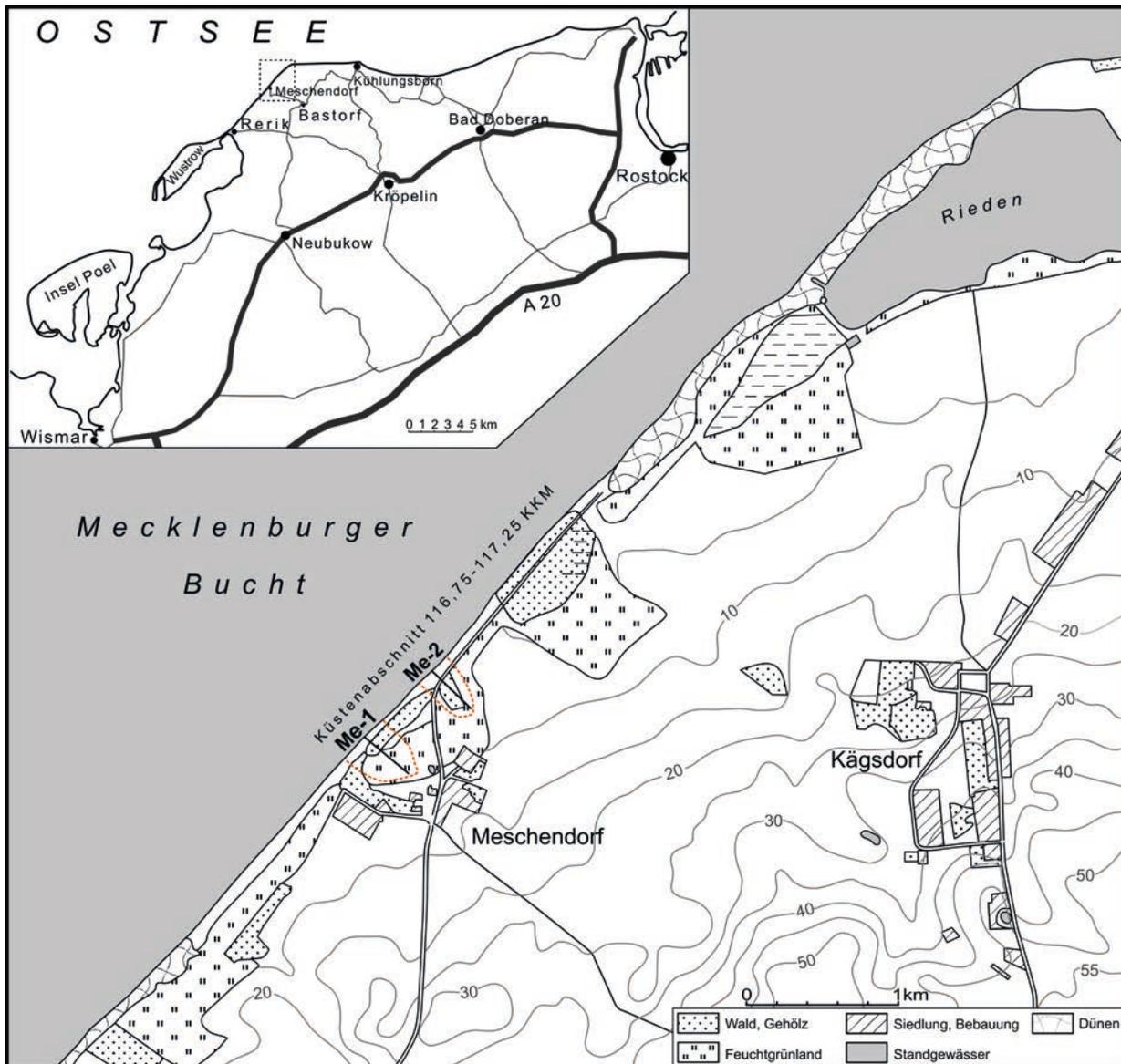


Abb. 1: Übersichtskarte des untersuchten Küstenabschnitts bei Meschendorf.

Fig. 1: General map of the investigated coastal section near Meschendorf.

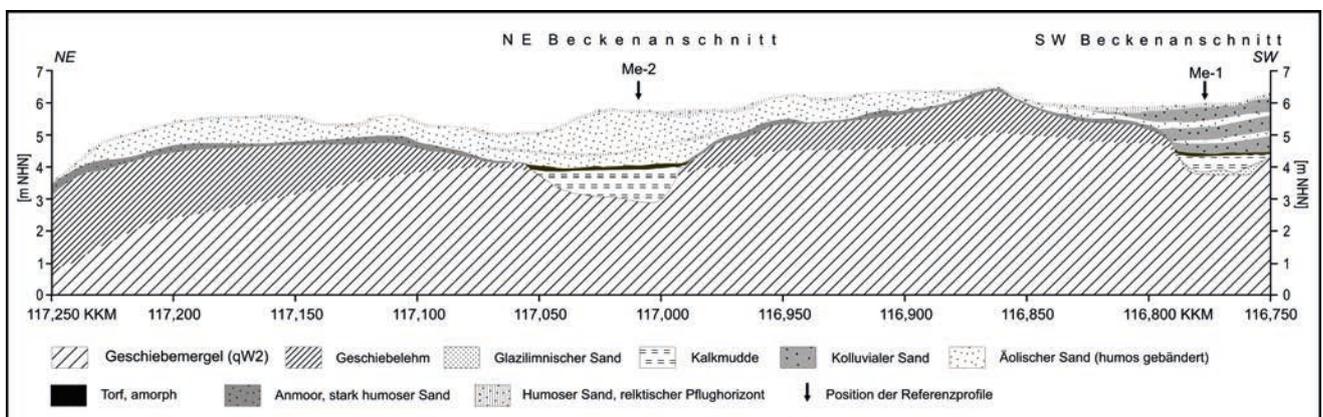


Abb. 2: Generalisierte Darstellung des bearbeiteten Kliffabschnitts (KKM 116,75-117,25) mit Dimension und Lage der beiden untersuchten Becken.

Fig. 2: Generalized figure of the Meschendorf cliff section (coast kilometer 116.75-117.25) including size and location of the two investigated basins.



Abb. 3: Photos der Profile Me-1 (links, S. Lorenz) und Me-2 (rechts, R. Hensel).

Fig. 3: Images of the Profiles Me-1 (left, S. Lorenz) and Me-2 (right, R. Hensel) profiles.

Die geochemischen Analysen an den Sedimentproben umfassten die nachfolgend genannten Standardparameter: Der Glühverlust wurde durch zweistündiges Glühen bei 550 °C bestimmt. Die Korngrößenverteilung der Fraktionen kleiner 1 mm erfolgte mittels Laser Particle Sizer (Fa. Fritsch). Der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt wurde an der SCHEIBLER-Apparatur nach DIN ISO 10693 ermittelt.

### 3.2 Pollen- und Diatomeenanalysen

Im Rahmen der pollenanalytischen Aufbereitung wurden je Probe 1 bzw. bei den sehr karbonatreichen Ablagerungen 2  $\text{cm}^3$  Sediment in aufeinander folgenden Arbeitsgängen mittels HCl, KOH, Acetolyse-Methode und abschließender HF-Behandlung zur Reduzierung des silikatischen Anteils aufbereitet. Von Proben mit mittlerer bis hoher Pollendichte (= P-Werte) kamen 300 Baumpollen, bei Proben mit geringer Pollendichte 200 bzw. im Bereich der basalen, extrem pollenarmen Seekreide zum Teil nur 100–200 Baumpollen zur Auszählung. Die Summe aus Baum- (BP), Strauch- (Str) und Nichtbaumpollen (NBP) entspricht der sogenannten Grundsumme, die auf 100 % gesetzt wird [ $\Sigma$  (BP+Str+NBP) = 100 %]. Auf diese Grundsumme bezieht sich der prozentuale Anteil der einzelnen Baum-, Strauch- und Nichtbaumpollen-Typen. Der *Pinus*-Pollen besitzt zwei Luftsäcke und ist leicht zerstörbar. So wird der Parameter

*Pinus* ganze, welcher dem prozentualen Anteil ganzer *Pinus*-Pollen an *Pinus* gesamt entspricht, als Indikator für Umlagerungen im marinen, brackischen und lakustrinem Milieu angesehen (JANKE 1978, LAMPE et al. 2010b) und auch in dieser Studie mit herangezogen. Des Weiteren wurde der *Ulmus*-Quotient gebildet, in dem *Ulmus* prozentual auf die Summe der Prozente von *Ulmus* und *Quercus* bezogen wurde (=  $\text{Ulmus} * 100 / \text{Ulmus} + \text{Quercus}$ ). Dieser Quotient unterstreicht den Anteil von *Ulmus* als eine der ersten Hauptarten an den früh- bis mittelholozänen thermophilen Laubwäldern. Quantitativ ausgezählt und ebenfalls auf die genannte Grundsumme bezogen wurden des Weiteren Sporenpflanzen, Grünalgen, insbesondere *Pediastrum*-Arten und *Radiococcus nimbatus*, Cleistothecien von Schlauchpilzen, Kleinkrebse (Cladocera u. a.) sowie Gemmulae und Skleren von Süßwasserschwämmen.

Die Sammelgruppe „Mikrokörper unsicherer Genese“ (im Folgenden: Mikrokörper, vgl. Abb. 7) umfasst nicht sicher bestimmbare Kleinorganismen unterschiedlicher Zuordnung mit einer Größe zwischen 40 und 600  $\mu\text{m}$ , bei Zusammenwachsungen sogar von über 1200  $\mu\text{m}$ . Aufgrund ihrer Größe dürften den Hauptteil der in Abb. 6 dargestellten NPP Fruchtkörper von Schlauchpilzen sowie eventuell auch weiterer Mikrofungi-Gruppen bilden. Kleinere Formen (Abb. 7: 16 und 17) ähneln „sterile fungal stroma“ entsprechend DIETRE et al. (2014, fig. 6g). Einen kleinen

Teil (Abb. 7: 5 und 6) der NPP könnten wohl auch in Zersetzung befindliche bzw. korrodierte Reste von Holz (vgl. PRAGER et al. 2006) bzw. Kleinst-Ständerpilzen ausmachen. Des Weiteren enthält diese Gruppe in geringen Anteilen wahrscheinlich auch Porifera-Gemmulae, Hüllen beschalteter Amöben und Rotifera-Dauereier. Trotz Konsultation von Botanikern und Zoologen gelang nur in Einzelfällen, so bei *Arcella sp.*, eine Bestimmung bis zur Gattung. Da jedoch die Arten dieser Rhizopoden-Gattung unterschiedliche Lebensräume besiedeln, konnten keine weiterführenden Aussagen zur Kalkmudde- bzw. Seekreide-Genese abgeleitet werden. Dieses Problem betrifft auch die anderen mit einbezogenen Mikroorganismen-Gruppen. Diese Sammelgruppe als Teil der NPP wurde deshalb in das Pollendiagramm aufgenommen, um auf ihren hohen Anteil – vor allem in den Seekreiden des Mittelholozäns – aufmerksam zu machen und zu entsprechenden Studien anzuregen. Der Anteil der Mikrokörper übersteigt in den Seekreiden zum Teil das Mehrfache der Pollen-Grundsumme.

Die biostratigraphische Gliederung mittels Pollenzonen (PZ) erfolgte im Wesentlichen nach FIRBAS (1949/52), variiert durch SCHOKNECHT (in KAISER et al. 2002) und JANKE (in LAMPE et al. 2009), die Grenze PZ IX/X wurde an den Übergang von der Slawenzeit zur Deutschen Ostkolonisation gesetzt. Als Bestimmungsgrundlage für die verschiedensten, im Pollendiagramm erfassbaren Parameter dienten vor allem die Arbeiten von MOORE et al. (1991), BEUG (2004), KOMÁREK & JANKOVSKÁ (2001), EGGERS & EISELER (2007), VAN GEEL (1978), ELLIS & ELLIS (1997) und VAN GEEL & ATROOP (2006), die drei letzteren als Orientierungshilfe zur Ansprache von Fungi-Fruchtkörpern. Aus Platzgründen konnten nicht alle im Text besprochenen Parameter in das Pollendiagramm (Abb. 6) aufgenommen werden, in Abschnitten besonders auffälligen Vorkommens wird jedoch im Text darauf eingegangen. Die Diagrammdarstellung erfolgte mit der Software C2 (JUGGINS 2007). Die diatomeenanalytische Aufbereitung und Artbestimmung richteten sich im Wesentlichen nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986–1991) und LANGE-BERTALOT & METZELTIN (1996). In der Gattungs- und Artennomenklatur folgten wir vorwiegend CANTONATI et al. (2017).

### 3.3 Mollusken

Für die Analyse der Mollusken (überwiegend Gastropoden) erfolgte im Gelände eine schichtbezogene Entnahme von 6 bis 8 l Sediment. Die Mollusken wurden durch die bei LOŽEK (1964) beschriebenen Methoden mit Schlämmen, Sieben (0,5 mm Maschenweite) und Auslesen der Sedimentproben gewonnen. Bei sehr individuenreichen Proben kam nur ein Teil des Probenmaterials zur Auszählung und mit Hilfe eines aus der Größe der berücksichtigten Probenmenge ermittelten Faktors wurde auf die Gesamtindividuenzahl geschlossen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Sedimentanalysen

Sedimentologisch wurde der Kliffabschnitt Meschendorf auf einer Länge von 500 m untersucht. Markant treten durch den Küstenrückgang zwei Beckenanschnitte mit weißen bis dunkelgrauen kalkreichen Sedimenten hervor, die in ca. 230 m Entfernung voneinander im Kliffaufschluss liegen (Abb. 1, 2). Für beide Anschnitte wurde jeweils ein Referenzprofil bearbeitet (Abb. 2 und 3), für den südwestlichen, ca. 70 m breiten Anschnitt das Profil Me-1 und für den nordöstlichen Anschnitt das Profil Me-2. In einer Kartierung Mitte der 1990er Jahre wurde ein dritter Beckenanschnitt zwischen den beiden heutigen beschrieben, der mittlerweile nicht mehr existiert (vgl. SCHULZ 1996). Die beiden heute noch bestehenden Anschnitte haben durch Rückverlegung seitdem deutlich an Breite verloren (10 m bzw. 30 m).

Die karbonatreichen, hellgrauen bis weißen Sedimente wurden von JAECKEL (1948) als Querkalk interpretiert (vgl. auch LANGER 1954, ZIMMERMANN 1929). Dem widersprach SCHULZ (1988) und begründete mit dem Fehlen von überkrusteten Pflanzenresten das Anstehen einer „echten Seekreide“. Auch ROGGE (1958) beschreibt eine Seekreide im Bereich Meschendorf. Nach der Klassifikation von SUC-COW & JOOSTEN (2001) für Moorstandorte wäre zusätzlich eine Ansprache als Querkalk möglich. Nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) enthält Seekreide über 90 und Kalkmudde zwischen 30 und 90 Masse-%  $\text{CaCO}_3$ . Weiterhin gilt, beträgt der Anteil der Organik mehr als 5 % ist es Kalkmudde, ist der Organikanteil kleiner als 5 % handelt es sich um Seekreide oder Seekalk. Die Meschendorfer karbonatreichen Sedimente weisen in der Regel mehr als 5 % Organik und zumeist unter 90 %  $\text{CaCO}_3$  auf. Daher erfolgt die Ansprache der Karbonatablagerungen im Meschendorfer Kliff entsprechend der KA 5 hauptsächlich als Kalkmudde und nur in Abschnitten als Seekreide.

#### 4.1.1 Das südwestliche Profil Me-1

Im zentralen Teil des südwestlichen Beckenanschnittes befindet sich das Referenzprofil Me-1 (Abb. 3, 4). Die Beprobung erfolgte durchgehend entlang der Messlatte. Das Kliff hat in diesem Bereich (Abb. 2, 4) eine durchschnittliche Höhe von 5,50 m (Kliffoberkante 6,13 m NHN). Die Basis der aufgeschlossenen Sedimente bildet ein bis 3,25 m über NHN anstehender, grauer bis blaugrauer qW2-Geschiebemergel [Sedimentationsabschnitt (SA) 1, bis 288 cm unter GOK]. Darüber lagern graue Beckensande mit schwacher Kalkführung (SA 2 und 3, 288–257 cm). Sie weisen zum Hangenden einen leichten Anstieg der Schlufffraktion auf. Den Beckensanden aufgelagert ist eine bis 12 cm mächtige Torf- Sand-Wechselfolge mit bis zu drei Torfbändern (SA 4, 257–243 cm), die Glühverlustwerte von 30 bis 60 % aufweisen. Das untere der beiden Sandbänder besteht aus

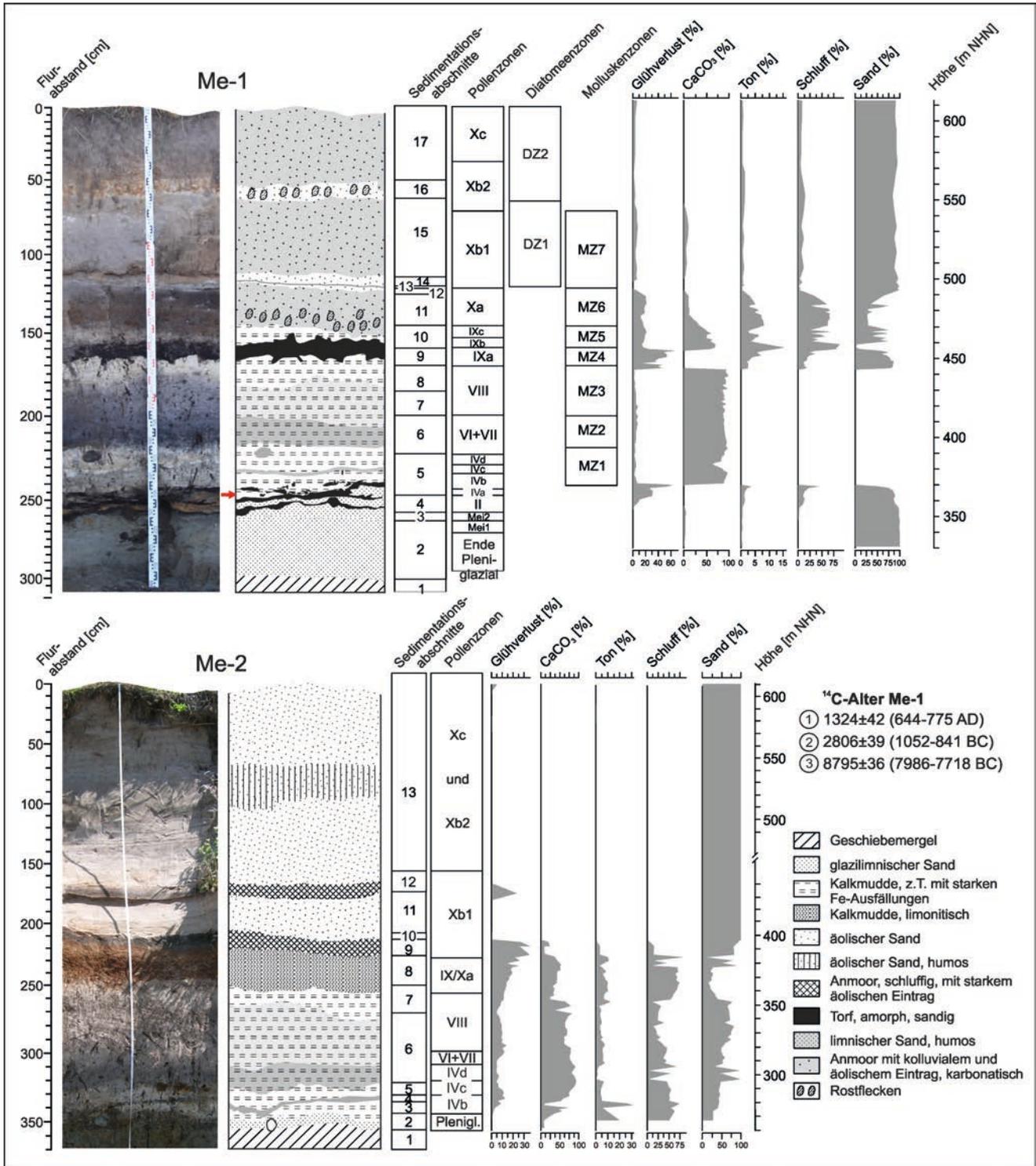


Abb. 4: Aufbau, sedimentologische Parameter und stratigraphische Zuordnungen in den Profilen Me-1 und Me-2.  
 Fig. 4: Composition, sedimentological parameters, and stratigraphic relations of the profiles Me-1 and Me-2.

geschichteten Mittelsanden. Im Bereich der östlichen Profilwand wird das obere Sandband mit scharfer Grenze von einer 7 cm mächtigen weichselspätglazialen Kalkmudde mit durchschnittlich 14 % Organik und 67 %  $\text{CaCO}_3$  abgelöst, die zusätzlich analysiert wurde (roter Pfeil in Abb. 4). Mit einem scharfen Sedimentwechsel, der pollenanalytisch als Hiatus erkennbar ist, schließt sich im Hangenden der Sand-Torf-Wechselfolge eine ca. 70 cm mächtige, weiße bis graue Kalkmudde-Seekreide-Wechselfolge (SA 5–8, 243–170 cm) an. Sie weist Organikanteile von rund 5 % und Kalkgehalte von etwa 60 bis z. T. > 90 % auf. In den untersten etwa 10 cm dieser Kalkmudde befindet sich ein nur zwei Zentimeter mächtiges, graues Band mit leicht auf etwa 63 % zurückgehendem Kalkgehalt, dessen Graufärbung auf den feinklastischen Anteil (nach Korngrößenanalyse Ton und vor allem Schluff; Abb. 4) zurückzuführen ist. Eine ähnliche Situation findet sich in einer rund 30 cm mächtigen Schicht im Sedimentationsabschnitt 6 und 7 (222–183 cm) wieder. Bei Glühverlustwerten um 5 % und Kalkgehalten von zumeist 90 % ist deren Graufärbung vermutlich auf einen erhöhten feinklastischen Eintrag zurückzuführen.

Die Oberkante des SA 8 (Abb. 4) ist stark minerogen durchsetzt. Auf die Kalkmudden folgt nach einem auch pollenanalytisch zu belegenden Hiatus das diskordante Aufwachsen eines Torfes (SA 9, 170 bis 158 cm). Dieser ist stark sandig, kalkfrei und verzeichnet Glühverlustwerte von zumeist über 40 %. Aufgrund seiner starken Zersetzung kann keine weitere Klassifizierung des Torfes vorgenommen werden. Oberhalb des Torfes folgt eine weitere geringmächtige Kalkmudde (SA 10, 158–145 cm) mit Kalkgehalten von 50 bis 70 % und rund 20 % Organikanteil. Im Hangenden dieser Kalkmudde schließt sich ein rund 20 cm mächtiges und kalkführendes Anmoor an (SA 11, 145–124 cm). Dieses zeigt ähnlich hohe Glühverlustwerte wie die Kalkmudde zuvor und zeichnet sich durch einen deutlichen Rückgang der Kalkgehalte auf ca. 10 % aus. Innerhalb des Anmoors finden sich vereinzelt kleine Holzkohlepartikel. Überdeckt wird das Anmoor durch eine kalkfreie, ca. 9 cm mächtige Flugsandlage (SA 12–14, 124–115 cm). Diese enthält bei 121 cm (SA 13) ein knapp 1 cm mächtiges humoses Band, in dem der Organikanteil auf über 4 % ansteigt. Im Hangenden dieser Flugsandlage befindet sich schlecht sortierter, grobsandiger Mittelsand (SA 15, 115–60 cm) mit Glühverlustwerten von 3 bis 7 % und Kalkgehalten bis 10 %. Diese Schicht wird durch eine Flugsandlage (SA 16, 60–46 cm unter GOK) abgelöst. Deutliche Eisenausfällungen (Vergleyung, Go-Horizont) innerhalb des Flugsandes treten in Erscheinung. Den Abschluss des Profils (SA 17, 46–0 cm) bildet eine Auflage karbonatfreien grobsandigen Mittelsandes mit bis zu 7 % Organikanteil, der sowohl Dünensandzufuhr vom angrenzenden Strand als auch ein kolluviales Ablagerungsmilieu belegt. Eine signifikante Molluskenführung weisen die Sedimentationsabschnitte 5 bis 15 (243–60 cm) auf. In den jüngsten Sedimenten oberhalb 60 cm waren keine Mollusken nachweisbar.

#### 4.1.2 Das nordöstliche Profil Me-2

Die Kliffhöhe im Bereich des nordöstlichen Profils ist mit über fünf Metern vergleichbar mit der von Me-1 (Abb. 2, 4). Die Basis der aufgeschlossenen Sedimente bildet auch hier bis ca. 2,62 m NHN anstehender grauer qW2-Geschiebemergel. Im Unterschied zu Me-1 lagert diesem unmittelbar eine schwächer konsolidierte Schicht, bestehend aus tonigem Sand auf (SA 2, 360–350 cm). Mit diffusem Übergang – im Unterschied zu Me-1 ohne basalen Torf – folgt darüber eine weiße bis hellgraue Kalkmudde mit ca. 80 cm Mächtigkeit (SA 3–7, 350–269 cm). Deren Kalkgehalte schwanken zwischen 50 und 90 %, gehen im jüngeren Teil jedoch auch bis ca. 30 % zurück. Die Organik-Gehalte liegen um 5 %. Auch in dieser Kalkmudde ist in den untersten zehn Zentimetern ein ca. 2 cm mächtiges, graues Band ausgebildet (SA 4, 344–342 cm). Es ist an dieser Stelle jedoch sehr viel deutlicher entwickelt und weist einen niedrigeren Kalkgehalt als in Me-1 auf (ca. 9 %). Bei 339–290 cm unter GOK tritt eine graue Kalkmudde auf, die auffällig erhöhte feinklastische Anteile aufweist. Die Kalkmudde-Schicht wird mit einer ca. 30 cm mächtigen, stark verfestigten Schicht intensiver Eisenausfällungen abgeschlossen (limonitische Kalkmudde, SA 8, 269–240 cm). Im Hangenden folgt ein bröckeliger Torf mit Kalkgehalten von 10–40 % und Organikanteilen um 30 % (SA 9, 240–225 cm), der nicht altersgleich mit dem Torf in Me-1 ist. Den sedimentologischen Abschluss des Profils bildet eine über 220 cm mächtige Flugsanddecke. Im unteren Viertel (SA 12, 192–185 cm) wird dieser äolische Sedimentationskomplex durch einen 7 cm mächtigen, braunen Anmoor-Horizont unterbrochen (Glühverlust >20 %). Zudem sind in den äolischen Sanden mehrere dünne humose Bänder [fA(i)h-Horizonte] entwickelt, die eine Mehrphasigkeit im Sedimentationsgeschehen belegen.

#### 4.2 Landseitige Erstreckung und Verbindung der Becken

Die binnenseitige Dimension der im Kliff angeschnittenen Becken lässt sich über das landseitige Ausstreichen der karbonatischen Beckensedimente über Bohrungen ableiten (Abb. 5). Anhand von Peilstangenbohrungen konnte für den nordöstlichen Beckenbereich (Profil Me-2) ein Ausstreichen der karbonatischen Sedimentation nach ca. 140 m landeinwärts ermittelt werden. Der südwestliche Beckenbereich dagegen streicht bereits nach 65 m aus (Profil Me-1). Generell dürfte das Vorkommen der Beckensedimente in etwa mit der Verbreitung der heutigen Feuchtwiesen übereinstimmen (vgl. Abb. 1). Ihre Entwässerung erfolgte in gegenwartsnaher Zeit durch Gräben und bis an die Kliffkante heranreichende Drainagen.

In Me-2 streichen, in Bezug zur Höhenlage, die Anmoor-Torfe (SA 9, 240–225 cm) im Hangenden der Kalkmudden eher aus als die Kalkmudde (SA 3–8, 350–240 cm) selbst.



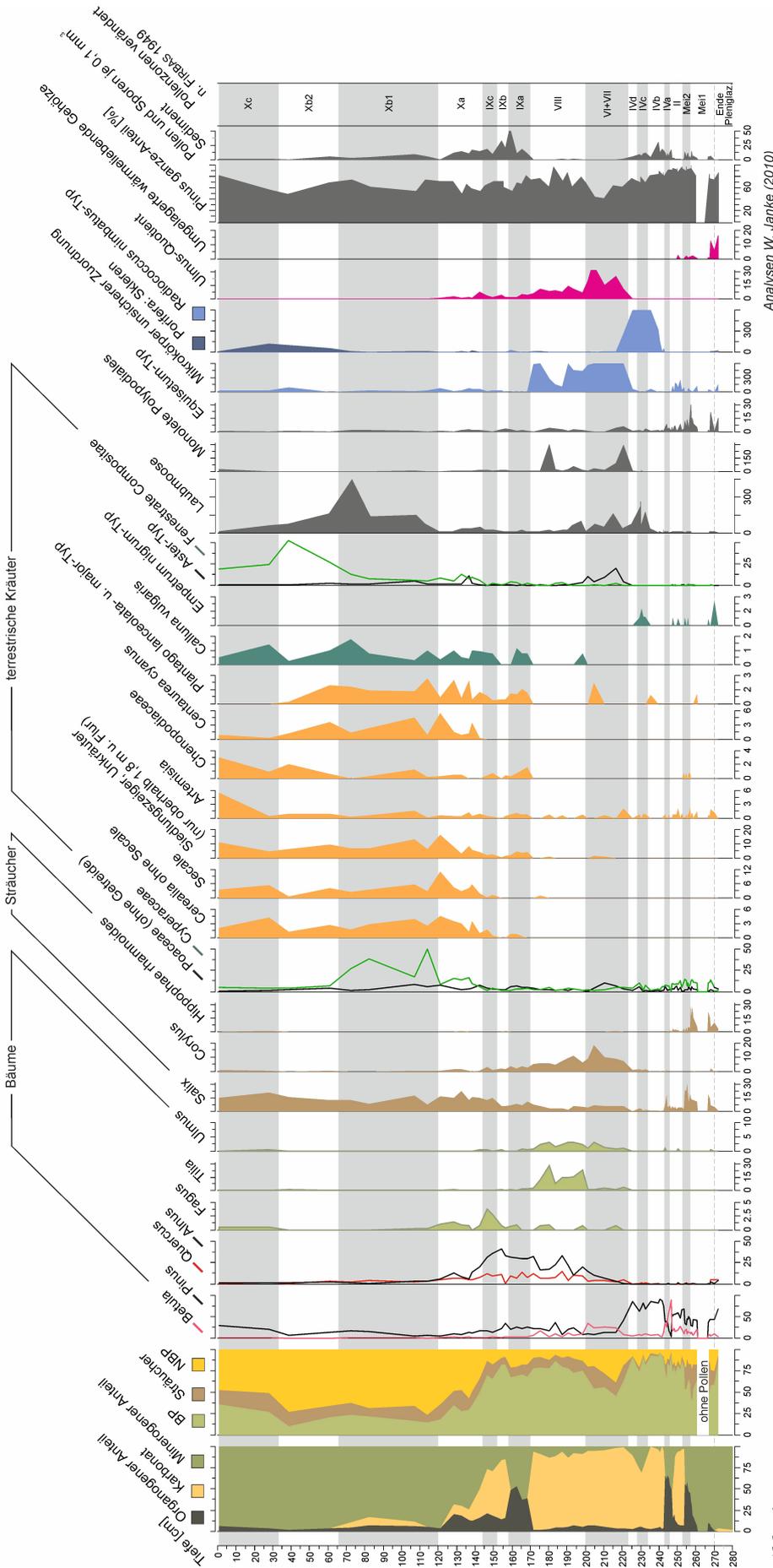


Abb. 6:

Ausgewählte pollenanalytische Parameter aus dem Pollendiagramm Me-1. Die Sträucher-, NBP- und Sporenwerte sind auf 100 BP bezogen. Die linke Spalte enthält ausgewählte Sedimentparameter.

Fig. 6:

Selected palynological parameters from pollen diagram Me-1. Shrubs, non arboreal pollen and spores are calculated for 100 arboreal pollen. The left column shows important sedimentary indicators.

Labor-ID	BP	Material	δ <sup>13</sup> C	Tiefe [cm]	Kalibriertes Alter, 2σ
Erl-14737	1324±42	Schale von <i>Capala hortensis</i>	-13,0	145-158	644-775 AD
Erl-14738	2806±39	Torf	-30,2	168-169	1052-841 BC
Erl-14739	8795±36	Torf	-29,2	244-245	7986-7718 BC

Tab. 1: Radiokarbon-Daten aus dem Profil Me-1.

Tab. 1: Radiocarbon datings from the Me-1 profile.

Pollenanalyse war es, durch die Untergliederung in Pollenzonen eine relative Altersansprache des Profils vorzunehmen. Deren Abgrenzung ist jedoch aufgrund mehrerer Hiatus und der Pollenarmut einiger Schichten mit Unsicherheiten verbunden.

Die basalen Beckensande (300–268 cm) des ausklingenden Weichsel-Pleniglazials im hier beispielhaft dargestellten Profil Me-1 sind pollenanalytisch nicht auswertbar, da fast nur umgelagerte Pollen und Sporen auftreten. Unter den umgelagerten Baumpollen dominiert der *Pinus sylvestris*-Typ. Nur im Profil Me-1 sind Weichsel-spätglaziale Sedimente erhalten geblieben, im Profil Me-2 fehlt das Weichsel-Spätglazial komplett; es beginnt mit der Seekreide der präborealen PZ IVb.

Das Weichsel-Spätglazial setzt im Profil Me-1 mit dem Meiendorf-Interstadial (PZ Mei 1 und 2: 268–254 cm) als erste spätglaziale Vegetations- und Bodenbildungsphase ein. Es weist – im Vergleich zu den nachfolgenden Vegetationsabfolgen des Weichsel-Spätglazials und Frühholozäns – einen besonders hohen NBP- und Sträucher-Anteil auf und wird durch das *Salix-Hippophaë*-Maximum des Profils gekennzeichnet (Abb. 6). Unter den Gehölzen dominiert *Pinus* vor *Betula*. *Juniperus* ist stets mitvertreten und erreicht die höchsten Werte im Diagramm. Im Verlaufe des Meiendorf 2 geht als Folge zunehmender Vernässung und Vermoorung der *Hippophaë*-Anteil zugunsten von *Salix* schnell zurück. Parallel dazu nimmt der *Equisetum*-Anteil zu, Porifera (Gemmulae und seltener Schwammkörper) sind ständig und Grünalgen vereinzelt mitvertreten, wodurch auf die – zumindest zeitweilige – Existenz eines Kleingewässers geschlossen werden kann. Der zu Beginn des Meiendorf 1 noch sehr hohe Anteil umgelagerten Pollens wärmeliebender Gehölze geht im oberen Drittel stark zurück. Auffällig sind auch die für das frühe Weichsel-Spätglazial schon recht hohen P-Werte.

Die PZ I sensu FIRBAS (1949) – einschließlich dem *Betula*-dominierten Bølling-Interstadial – fehlt. Auf einen Hiatus folgt von 254 bis 246 cm die erste, 8 cm mächtige Kalkmudde-Sedimentationsphase, die dem Allerød (PZ II) zugeordnet wird. Die Summenkurve der Hauptkomponenten zeigt einen sehr hohen BP- bei nur noch niedrigem Sträucher-Anteil und einem NBP-Rückgang. Für das Meiendorf auffallend ist dessen mit bis zu über 50 % hoher *Pinus*-Anteil. Dabei steht auch hier die Frage nach dem heimischen Vorkommen von *Pinus*, wenn man berücksichtigt, dass diese Baumart auf Sandstandorten – nachgewiesen als Baumstubben – während des Allerøds weit verbreitet im heute küstennahen Raum vorkam [Bansin (HALLIK & LUDWIG 1959), Ueckerländer Heide (BRAMER 1975, BÖRNER et al. 2011), Lubminer Heide (JANKE 2002), Altdarß (KAISER et al. 2006), Rostocker Heide (LUDWIG 1964)]. So kann ein Vorkommen von *Pinus* im Meiendorf an der Lokalität Meschendorf nicht ausgeschlossen werden. *Hippophaë* und *Salix* sind nur noch untergeordnet vertreten und *JUNIPERUS* fehlt. Offenlandzeiger wie *Empetrum*

und Pollen vom *Betula nana*-Typ, beides kalkmeidende Spezies, sowie *Artemisia* kommen nur noch vereinzelt vor. *Betula nana* konnte pollenanalytisch nur zwischen 256 und 235 cm Tiefe mit Schwerpunkt in den beiden Torfbändern des Meiendorf und von Präboreal (IVa) nachgewiesen werden, wobei ihr Anteil maximal nur 0,5 bis 1 % der Grundsumme erreicht. Für eine stärkere Mitbeteiligung dürfte der pH-Wert der anstehenden Sedimente zu hoch gewesen sein. Es ist nicht auszuschließen, dass es sich bei beim jüngeren Meiendorf (PZ Mei 2) auch schon um den Übergang zur Älteren Dryas handelt. Umgelagerter Pollen wärmeliebender Gehölze tritt letztmalig mit auf. Erhöhte *Equisetum*-Werte unterstreichen das Bestehen eines ufernahen Flachgewässers. Des Weiteren auffallend sind die äußerst niedrigen P-Werte der Kalkmudde bei fast völligem Fehlen höherer Wasserpflanzen und ein erstes Maximum der Mikrokörper (Abb. 7).

Die Jüngere Dryas als letztes Kryomer des Weichsel-Spätglazials fehlt. Diskordant folgt das viergeteilte Präboreal (PZ IVa bis IVd: 246–223 cm). Es beginnt im Profil Me-1 mit der *Betula*-dominierten und an *Salix*-reichen Friesland-Wärmeschwankung (PZ IVa), für die des Weiteren ein sehr hoher BP- (*Betula* und zunehmend *Pinus*) und niedriger NBP-Anteil sowie schnell zunehmende P-Werte charakteristisch sind. Es ist eine Vernässungsphase mit Torfwachstum. An der Grenze der PZ IVa/IVb erfolgt – in etwa zeitgleich mit der erneuten Ablagerung von Kalkmudde – eine schnelle klimatisch bedingte Zunahme von *Pinus*. Es erfolgt ein Umschlag von einem *Betula*- zu einem *Pinus*-dominiertem Wald mit nur untergeordnetem *Betula*-Anteil, der bis zur hiesigen Präboreal-Obergrenze erhalten bleibt. Auch *Salix* ist ab jetzt nur noch gering vertreten und die BP+Str.-Kurve weist zeitweise ihre höchsten Werte im gesamten Pollendiagramm auf, während die NBP-Werte niedrig ausfallen. *Corylus* kommt nur sporadisch vor. Die Pollendichte nimmt merklich zu; zum Teil wohl auch als Folge der hohen Dominanz des wieder heimisch gewordenen starken Pollenproduzenten *Pinus*. Deutlich auffallend während der Subzonen IVb bis IVd ist das massenhafte Vorkommen der Tetraden bildenden Grünalge *Radiococcus nimbatus*. Des Weiteren treten in der präborealen Kalkmudde vereinzelt die Grünalge *Pediastrum integrum* sowie Schwammnadeln auf. Der Anteil von Mikrokörpern ist gegenüber jenem der Kalkmudden des Allerøds und des nachfolgenden Mittelholozäns vergleichbar gering.

Die PZ IVc (233–228 cm) fällt dabei sowohl durch eine zwischenzeitliche leichte *Betula*-Zunahme auf Kosten von *Pinus* sowie auch einen BP-Rückgang und NBP-Anstieg auf. Ab der PZ IVc kommen in allen Kalkmudden regelmäßig Laubmoose vor mit besonders hohen Werten in den PZ IVc/IVd sowie VI bis VIII. Das jüngste Präboreal (PZ IVd), von dem lediglich die Anfangsphase erhalten ist, kennzeichnen eine Zunahme von *Corylus* und in der zweiten Hälfte ein schneller Rückgang von *Pinus* zugunsten von *Betula* und in geringerem Maße von *Ulmus* und *Quercus*.

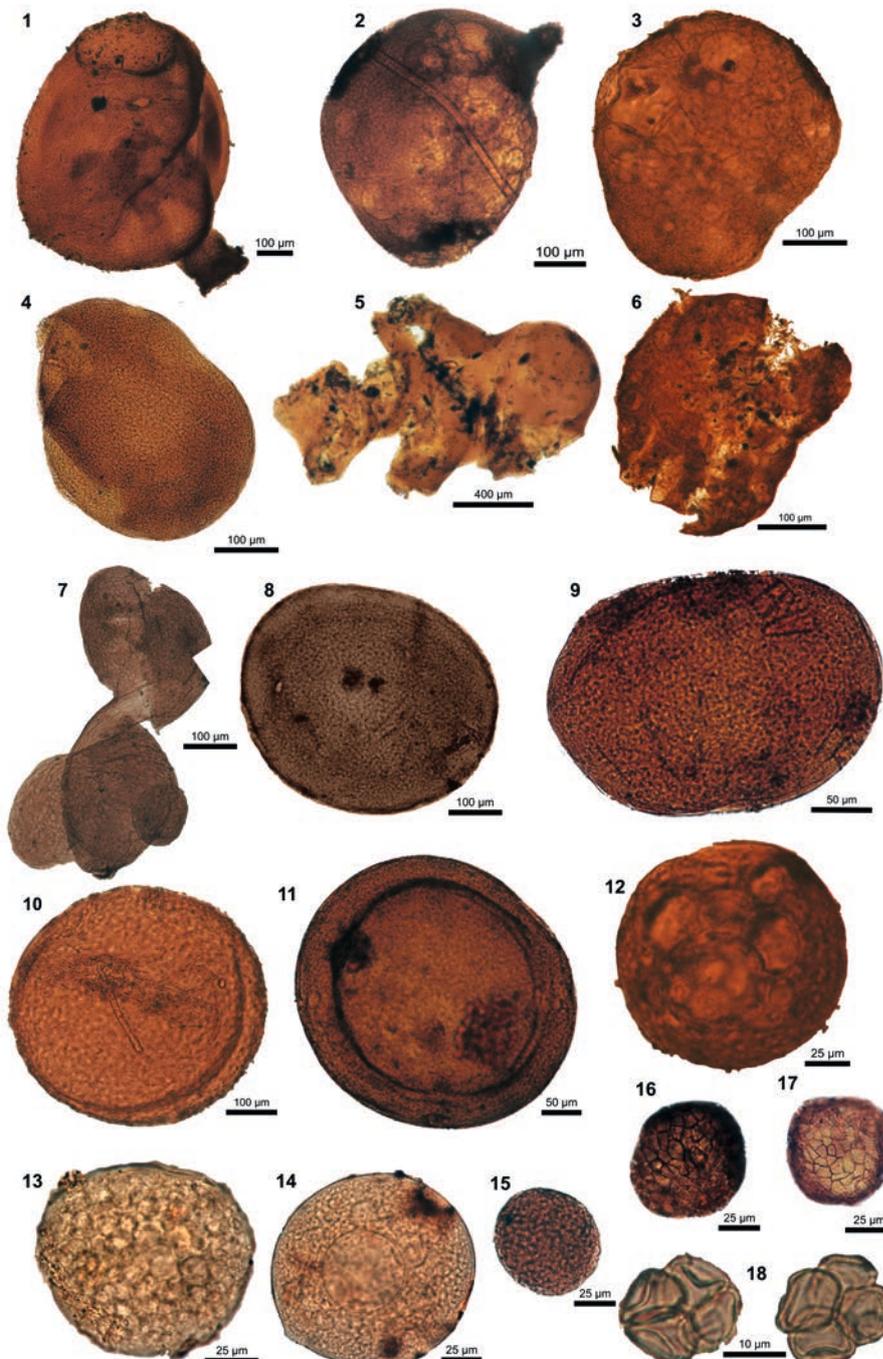


Abb. 7: Ausgewählte Begleitelemente in Pollen- und Diatomeenproben von Meschendorf-01. Die Objekte 1-5 stellen Gemmulae und zusammengewachsene Schwammkörper von Süßwasserschwämmen aus 217 cm unter Flur nach pollenanalytischer Aufbereitung dar. Bei der großen kreisförmigen Struktur auf Objekt 1 handelt es sich um einen Keimporus, bei den kleinen rundlichen Körpern um kuglige Kragengeißelkammern, rechts unten ist eine äußere Schwammknospe angepfropft. Auf Objekt 2 sind 30 bis 40 µm große Sporen und Pollen aufgelagert und an dessen Unterrand befinden sich zwei äußere Knospen. Objekt 6 zeigt zwei glatte Schwammnadeln von 250 bzw. 220 µm Länge aus 221 cm Tiefe. Objekt 7 bilden Grünalgen vom *Radiococcus nimbatius*-Typ aus 233 cm unter Flur. Die Einzelzellen sind im Durchschnitt 10 µm, die Tetraden 30 µm groß.

Fig. 7: Selected accompanying elements in pollen and diatom samples from Meschendorf-01. Objects 1-5 represent gemmules and coalesced sponge bodies of freshwater sponges from 217 cm below floor level after pollen analytical processing. The large circular structure on object 1 is a germ pore, the small roundish bodies are globular collar flagellar chambers, an outer sponge bud is grafted on the lower right. Object 2 has 30 to 40 µm spores and pollen on it and two outer buds on its lower edge. Object 6 shows two smooth sponge needles of 250 and 220 µm length from 221 cm depth. Object 7 forms green algae of the *Radiococcus nimbatius* type from 233 cm below floor level. The single cells are on average 10 µm, the tetrads 30 µm in size.

Dem Präboreal folgt in beiden Meschendorf-Profilen das Atlantikum (PZ VI und VII, 223–200 cm). Das Boreal (PZ V), in der Regel gekennzeichnet durch einen kräftigen Erstanstieg der *Corylus*-Kurve, fehlt ebenso wie wohl auch das beginnende Ältere Atlantikum (PZ VI), das durch ein Ansteigen der Kurven der Eichenmischwald (EMW)-Vertreter bei hohem *Ulmus*-Anteil, hohe *Corylus*-Werte und eine immer noch hohe, im Verlaufe der Entwicklung rückläufige *Pinus*-Kurve geprägt sein sollte.

In den Pollenzonen VI+VII fallen zwei Phänomene auf. Zum einen ist es der stufenartige Abfall des *Ulmus*-Quotienten, der sich in fünf Stufen zum Jüngeren vermindert. Dabei fehlt eventuell dessen ältester Teil als Bestandteil des in 223 cm Tiefe auftretenden boreal-frühatlantischen Hiatus. Zum anderen fällt zwischen 223–215 cm der starke BP-Rückgang zugunsten von Sträuchern (*Corylus* und *Salix*) sowie NBP (*Poaceae*, *Aster*-Typ) und *Polypodiales* auf. Ursache für diesen auffallenden Vegetationswandel im Älteren Atlantikum könnte eine auf den jüngsten Ausbruch des Agassiz-Sees in den Nordatlantik vor 8400 Jahren erfolgte Abkühlungsphase gewesen sein, die in Europa mit der Misox-Schwankung in den Schweizer Alpen und dem Finse-Ereignis in Norwegen, jeweils um 8200 BP, angesetzt werden (NESJE et al. 2001). Auch das Bond-Ereignis 5 (Nordatlantik) fällt in diese Zeit (BOND et al. 1997). Die Abkühlungsphase fand kurz vor Erreichen der Küsten der südlichen Ostsee durch die Littorina-Transgression statt und ist auch im Pollendiagramm Kleiner Jasmunder Bodden (KJB3, in LAMPE et al. 2010b) deutlich ausgeprägt.

Der Beginn des Atlantikums wird mit Einsetzen der geschlossenen *Alnus*- und *Tilia*-Kurven angesetzt (SCHOKNECHT in KAISER et al. 2002). Speziell das Diagramm Me-1 weist jedoch sehr hohe *Betula*-Werte bei nur langsam zunehmenden EMW-Vertretern und äußerst hohem NBP-Anteil auf, was für einen *Betula*-Bruchwald sprechen könnte. Im Profil Me-2 sind diese „Ausreißer“ weitaus schwächer ausgeprägt. Parallel zur hohen NBP-Beteiligung fallen im Atlantikum die durchgehend niedrigen, bis unter 40 % abfallenden und für das gesamte Profil einmalig niedrigen *Pinus* ganze-Werte auf. Die hohen NBP-Werte resultieren vor allem aus einem Anstieg der Kurven von *Poaceae* und des *Aster*-Typs. In etwa zeitgleich mit dem jüngsten *Betula*-Peak erfolgt ein Anstieg der *Alnus*-, *Salix*-, *Polypodiales*- und *Equisetum*-Kurven. Die P-Werte sind extrem niedrig.

Eine weitere Besonderheit im Floren- und Sporenbild, speziell des Atlantikums und des Subboreals (200–170,5 cm) bildet mit steilem Kurvenanstieg an der Atlantikum-Untergrenze der hohe Anteil von Mikrokörpern, deren Kurve anfangs noch von der rückläufigen *Radiococcus*-Kurve begleitet wird und deren Konservierung in der Kalkmudde erfolgte. Unter ihnen dominieren Fungi-Fruchtkörper und in Zersetzung befindliche Holzreste. Gewässerindikatoren wie *Pediastrum*, Porifera-Gemmulae und Cladocera fehlen jedoch durchgehend. Schwammnadeln sind – wohl

auch aufgrund des hohen pH-Wertes des Sediments – nur vereinzelt mitvertreten. Auffallend ist der hohe Anteil von Sporen des Laubmoos-Typs, der für einen feuchten bis nassen Standort spricht.

Im Subboreal bestand auf der umgebenden Hochfläche ein an EMW-Vertretern reicher Kiefern-mischwald mit sehr hohem *Tilia*-Anteil und stetiger Abnahme von *Corylus*. *Quercus* ist untervertreten und *Fagus* zeigt noch keinen geschlossenen Kurvenverlauf. Im Feucht- und Nassbereich erfolgte eine starke *Alnus*-Zunahme. Dieser Zeitabschnitt weist das zweite BP+Str-Maximum des Diagramms bei erneut sehr hohen *Pinus* ganze-Werten und gleichzeitig niedrigen NBP-Werten auf. Weitere Besonderheiten sind ein merklicher *Betula*-Rückgang sowie ein Rückgang des *Ulmus*-Quotienten im Vergleich zum Atlantikum. Die *Polypodiales*-Werte bleiben ebenfalls weiterhin hoch, ebenso die Massenentwicklung erwähnter Mikrokörper. Außer sporadisch *Artemisia* – diese Gattung kommt auf natürlichen und anthropogenen Offenstandorten vor – treten noch keine Nutzungszeiger (Ruderalpflanzen und Kräuter) auf, Getreide (*Cerealia* ohne *Secale*) ist noch nicht nachweisbar. Die P-Werte fallen letztmals sehr niedrig aus. Der jüngste Teil der PZ VIII, aber auch der unterste Teil der PZ IX (Älteres Subatlantikum) fehlen. Nicht ausgebildet ist auch ein *Corylus*-reicherer und oft Besiedlungsindikatoren aufweisender Abschnitt im ausklingenden Subboreal.

Wohl gegen Ende des Subboreals setzte im Profil Me-1 mit scharfer Obergrenze die Kalkmuddesedimentation aus. Die auf einen weiteren, den vierten Hiatus folgende Vermoorungsphase erfolgte aus pollenanalytischer Sicht ableitend aus dem Steilanstieg einiger Pollenkurven wohl erst im Verlaufe des Älteren Subatlantikums.

Im Profil Me-2 besteht sowohl in den Pollensubzonen IVb und IVd als auch durchgehend vom Atlantikum bis zum Übergang vom Subboreal in das Ältere Subatlantikum ausschließlich Kalkmudde-Sedimentation. Mit Beginn der PZ IX setzen der Flugsandeintrag und die starke Anreicherung von Eisenoxiden (Verockerung) ein; dieser Abschnitt ist pollenanalytisch quantitativ nicht auszählbar. Es besteht bis einschließlich der PZ Xa noch starke Kalkfällung.

Palynologisch ist in Me-1 wohl nur ein Teil (170,5–158 cm) des Älteren Subatlantikums (PZ IXa) erhalten, der weder der La Tène-Zeit noch der Römischen Kaiserzeit sicher zuordenbar ist. Im Baumpollenbild ist von einem *Quercus*-*Pinus*-Wald der Hochflächen auszugehen, wobei der *Betula*-Anteil stark abnimmt und unter den EMW-Vertretern *Tilia* und *Ulmus* deutlich in den Hintergrund treten. *Fagus* zeigt noch keinen geschlossenen Kurvenverlauf. In den Beckenrandlagen beider Profile dominiert *Alnus* bei ab jetzt in Richtung Gegenwart zunehmendem *Salix*-Anteil. Signifikant für das Ältere Subatlantikum (PZ IX) sind des Weiteren die Abnahme des BP-Anteils bei gleichzeitiger NBP-Zunahme sowie erstmals das Auftreten von Nutzungsanzeigern wie *Plantago lanceolata* und Pollen des

*Triticum*-Typs. Auffallend sind ein nahezu vollständiger Rückgang von *Equisetum* sowie die gleichzeitige starke Zunahme der P-Werte. Im frühen Subatlantikum (PZ Xa) von Me-2 (275–269 cm) erreicht *Alnus* sogar 40 % der Grundsumme und die Nutzungsindikatoren *Plantago lanceolata* und *Triticum*-Typ sind ebenfalls nachweisbar.

Das Ältere Subatlantikum mit der Völkerwanderungszeit (PZ IXb, ca. 158–152 cm) umfasst das dritte und oberste BP+Str.-Maximum. Die Waldzusammensetzung ähnelt weiterhin jener des Älteren Subatlantikums der PZ IXa. Dabei erreicht *Alnus* nach Diagrammlage ihre höchsten Werte. Der NBP-Anteil ist ausgesprochen niedrig. Acker- und Waldweide lassen sich über entsprechende Indikatoren nicht nachweisen. In der folgenden Slawenzeit (PZ IXc) tritt – analog wie in der Kelten- bzw. Römischen Kaiserzeit – erneut kleinräumige agrarische Nutzung auf, und das Baumpollenspektrum zeigt merkliche Änderungen. Der *Fagus*-Anstieg setzt erst mit Beginn der PZ IXc und im Vergleich mit anderen Pollenprofilen (z. B. SCHÖNKNECHT 1996; ENDTMANN 2004) äußerst spät ein und fällt sehr niedrig aus. Parallel zum *Fagus*-Anstieg nehmen *Alnus* und *Pinus* ab. In der gesamten PZ IX treten die für das Atlantikum und Subboreal als dominant beschriebenen Mikrokörper weiterhin nur noch untergeordnet mit auf, hingegen ist die Pollenakkumulation durchgehend sehr hoch.

Das Jüngere Subatlantikum mit vier Subzonen (PZ Xa, Xb1, Xb2, Xc) umfasst den Zeitraum von der Deutschen Ostkolonisation bis zur Gegenwart. An der Untergrenze von Xa erfolgt – in etwa zeitgleich mit einer starken Zunahme der Flugsandtätigkeit – eine der schärfsten Änderungen im Vegetationsbild von Me-1 und Me-2. Sie äußert sich im Pollenbild unter anderem durch einen steilen BP-Rückgang und durch eine ebenso starke Zunahme des NBP-Anteils einschließlich der Getreide- und Unkrautarten. Es entstehen großflächig waldfreie Habitate. Im gesamten Jüngeren Subatlantikum (PZ Xa und b) bestand extensive Landwirtschaft mit einem sehr hohen Anteil entsprechender direkter und indirekter Zeigerarten (*Centaurea cyanus*, *Plantago lanceolata* als Tritt- und Weidezeiger, *Polygonum aviculare* und *Rumex acetosella*-Typ). Im Baumpollenspektrum erfolgt eine Abnahme der waldbildenden Laubgehölze, wobei es zu einer Verschiebung zugunsten von *Pinus* und vor allem *Salix* bei Vorherrschaft von *Salix caprea*, der Salweide, kommt. Diese Art mit auffallend kleinem Pollen (im Mittel < 20 µm) besiedelt frische Ödländer, Kliffhängen, Flugsand- und Dünenareale; sie ist auch in der Gegenwart an der Kliffoberkante der Meschendorfer Steilküste dominant. Des Weiteren sind während der gesamten PZ Xb *Lycopodiella inundata* (feuchte Pionierstandorte), Porifera-Gemmulae und -Nadeln und Cladocera stärker vertreten. Die P-Werte nehmen in Richtung Gegenwart mehr oder weniger stetig ab. Im Profil Me-2 ist die PZ Xa (245–235 cm) nur als schmale Übergangszone mit abnehmendem BP-Anteil und einsetzender Getreide-Kurve (*Secale*- und *Triticum*-Typ) erhalten, daran schließt die erste Flugsandphase an. Der Ackerbodenhorizont (PZ Xa) folgt

unmittelbar auf die pollenanalytisch nicht auswertbare flugsand- und eisenoxidreiche Kalkmudde (rostfarben), die wahrscheinlich während des Älteren Subatlantikums (PZ IXa und b) abgelagert wurde. Dieser Horizont besitzt ein ausgeprägtes Klumpengefüge und stand aufgrund des hohen und im Horizontverlauf zunehmenden Minerogenanteils im Substrat ebenfalls unter Flugsandeinfluss.

Eine Besonderheit der PZ Xb1 von Me-1 (120–60 cm) ist bei äußerst hohem NBP-Anteil das verstärkte Vorkommen von *Poaceae*, *Cyperaceae*, Sporen vom Laubmoos-Typ (200–600 % der Pollengrundsumme) sowie *Salix caprea* und oberhalb 115 cm unter GOK zahlreicher Diatomeenarten. In den PZ Xb2 und Xc nimmt der Laubmoosanteil stetig und verschwindet fast vollständig nahe der Oberfläche. Der hohe *Cyperaceae*-Anteil lässt auf einen Seggen-Nassstandort schließen. Vereinzelt war *Menyanthes trifoliata* als See- oder Sumpfindikator nachweisbar. Auch im Pollendiagramm Me-2 (240–225 cm) dominieren *Cyperaceae*, aber auch fenestrate *Asteraceae* des *Sonchus*- und *Hieracium*-Typs, in einer zwischen Flugsandhorizonten aufgeschlossenen kalkhaltigen Anmoorage, deren Entstehungszeitraum auf Grund ihres Florenbildes dem Nasshorizont der PZ Xb1 in Me-1 entsprechen dürfte. Nur in Me-2 ausgebildet ist zwischen Flugsanden ein weiterer, jedoch kalkfreier Anmoor-Horizont (192–185 cm unter GOK), der aufgrund ähnlicher Pollenzusammensetzung zeitlich wohl mit der PZ Xb1 im Profil Me-1 gleichzusetzen ist. Es fällt ebenfalls durch seinen hohen NBP-Anteil auf, wobei die *Cyperaceae* bis zu 50 % der Pollensumme ausmachen können; ebenfalls hohe Werte erreichen fenestrate *Asteraceae*. In PZ Xb2 von Me-1 gehen *Poaceae* und *Cyperaceae* innerhalb des immer noch stark dominierenden NBP-Anteils deutlich zurück, an ihre Stelle tritt zum Teil Pollen aus der Gruppe fenestrater *Asteraceae*, zu denen vor allem die Gattungen *Sonchus* und *Hieracium* gehören könnten. Gemmulae, Schwammnadeln, Mikrokörper und Cladocera sind in PZ Xb2 letztmals stark vertreten. Die PZ Xc entspricht in etwa dem Zeitraum der jüngsten 150 Jahre. Sie ist gekennzeichnet durch einen BP-Anstieg und NBP-Rückgang, das jüngste *Pinus*-Maximum sowie den Rückgang extensiver Unkräuter. Die Hauptgehölzart wird sowohl vom natürlichen Bewuchs als auch vom Pollentyp von *Salix caprea* gebildet. Außerdem treten verstärkt *Picea*, *Hippophaë* und *Juniperus* bei weiterhin niedrigen P-Werten mit auf.

#### 4.5 Diatomeenanalysen

Diatomeen sind fast nur in den obersten 115 cm des Profils Me-1 (PZ Xb, Xc) nachweisbar sowie in den humosen Horizonten der PZ Xb von Me-2. Es ist nicht auszuschließen, dass sie einst auch in den Profilabschnitten verbreitet waren, in denen Schwammnadeln erhalten sind, zumal sie auch ein Teil der Nahrung von Schwämmen bilden. Im Tiefenbereich 115–59 cm [Diatomeenzone (DZ) 1, Abb. 4] dominieren epipelische bis epipsammische und epiphytische Arten des Litorals bis Supralitorals, obligatorische Plankter fehlen.

Es sind vorwiegend robuste Arten, welche im Jahresverlauf zumindest ein längerzeitig bestehendes Gewässer benötigen. Zu den Hauptarten gehören vor allem *Amphora ovalis*, *Amphora pediculus*, *Campylodiscus hibernicus*, *Cyrtopleura elliptica* und *C. solea*, *Encyonema silesiacum*, *Diploneis ovalis*, *Epithemia adnata*, *Epithemia frickei*, *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata*, *Melosira varians*, *Placoneis elginensis*, *Placoneis gastrum*, cf. *Pinnularia viridis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Rhopalodia gibba*, *Stauroneis phoenicenteron* sowie *Surirella bifrons*, *S. elegans*, *S. minuta* und *S. ovalis*. Die meisten von ihnen bevorzugen basisches Milieu und vertragen aerophytische Bedingungen (mündl. Mitt. T. Hübener, Universität Rostock). Ein weiterer Teil der Arten tritt auch an Quellstandorten und auf überfluteten Moosrasen auf oder bevorzugt sie sogar, so z. B. *Caloneis bacillum*, *Cymbella aspera*, *Epithemia argus*, *Eunotia praerupta*, *Meridion circulare*, *Navicula amphibola* und *Surirella spiralis*. Vereinzelt sind auch Arten borealer Hauptverbreitung mit vertreten, u. a. *Surirella bifrons*.

In den obersten 59 cm des Profils (DZ 2, Abb. 4) kommen in geringer Anzahl ebenfalls Diatomeen vor. Dabei dominieren drei Kieselalgen-Arten mit ca. 65 % Anteil an der Flora: *Hantzschia amphioxys* (aerophil), *Epithemia turgida* (Epiphyt) und cf. *Pinnularia viridis* (epipelisch, wahrscheinlich zeitweiliges Austrocknen vertragend). Insgesamt ist das Artenspektrum jedoch breiter und enthält in geringen Mengenanteilen als Feinschill auch mehrere der für den Tiefenbereich 115–59 cm aufgeführten „See“-Arten. Im Bereich der Grasnarbe stellt das *Hantzschia amphioxys*-Luftplankton sogar mehr als 50 % der Diatomeen-Individuen. Trotz der bestehenden Ufernähe fehlen Brackwasserarten. Die Diatomeenflora in den beiden Organogen-reicheren Horizonten von Me-2 (240–225 und 192–185 cm, PZ Xb) ist wesentlich artenärmer und schlechter erhalten als in Me-1 und besteht nahezu ausschließlich aus epipelischen und epipsammischen Arten des Litorals; Schwammnadeln sind ebenfalls nachweisbar.

#### 4.6 Molluskenanalyse

Aus Mittel- und Nordeuropa liegen zahlreiche Studien zur nacheiszeitlichen Entwicklung der Mollusken-Faunen vor (LOŽEK 1982, KOPCZYŃSKA-LAMPARSKA et al 1984, GEDDA 2001, MEYRICK 2001, MEYRICK & PREECE 2001, SANKO et al. 2008). In Mecklenburg-Vorpommern handelt es sich bei dem Kliffaufschluss von Meschendorf, neben dem Tierbausystem von Pisede bei Malchin (KROLOPP et al. 1977) sowie der Schichtenfolge vom Niedersee, NE-Rügen (KOSSLER & STRAHL 2011, MENZEL-HARLOFF & STRAHL 2012), um eines der bedeutendsten Vorkommen holozäner Mollusken-Faunen. Meschendorf ist nicht nur durch artenreiche Gesellschaften gekennzeichnet, sondern bildet auch ein umfangreiches Archiv, das die lokale Faunensukzession vom Präboreal bis zum beginnenden Jüngeren Subatlantikum beschreiben kann. Es dominieren zudem terrestrische Gastropoden, die für die Rekonstruktion der Landschaftsgeschichte besonders geeignet sind.

Untersucht wurden die holozänen Mollusken von Meschendorf bisher von ZIMMERMANN (1929), JAECKEL (1948) und JUEG (in ZETTLER et al. 2006). Außerdem publizierte JUEG (2012) die umfangreichen Aufsammlungen von Gerhard Krille vom Meschendorfer Kliff aus den 1950er und 1960er Jahren, welche heute im „Natureum“ in Ludwigslust aufbewahrt werden.

Die aktuellen Aufsammlungen wurden erstmals horizontbezogen vorgenommen (Molluskenzone = MZ, Abb. 4) und erbrachten insgesamt etwa 70 Arten, mit über 56.000 Individuen (Tab. 2, Abb. 8). In den weichselspätglazialen Sedimenten des untersuchten Profils Me-1 (PZ I und II) konnten bisher keine Mollusken nachgewiesen werden. Dagegen lieferten die hellen Kalkmudden (MZ 1, 246–223 cm) des Präboreals eine relativ arten- und individuenreiche frühholozäne Fauna.

Die präboreale Molluskenfauna von Meschendorf wird von Offenlandbewohnern dominiert. Die meisten dieser Arten bevorzugen feuchtere Habitats, darunter z. B. *Carychium minimum*, *Vertigo geyeri* (Abb. 8, Fig. 2), *Vertigo genesii* (Abb. 8, Fig. 3), *Vertigo angustior* oder auch *Pupilla pratensis* (Abb. 8, Fig. 4), eine Form, welcher erst kürzlich ein selbstständiger Artstatus zugesprochen wurde (v. PROSCHWITZ et al. 2009) und aktuell zu *Pupilla alpicola* gestellt wird (Haase et al. 2021). Die subarktisch-alpin/boreal verbreitete *Vertigo genesii*, welche im nördlichen Europa während des Präboreals noch weit verbreitet war, kann als Kaltzeitrelikt gedeutet werden. Zudem gilt auch die boreal/alpin geprägte Windelschnecke *Vertigo geyeri* als eine Charakterart des frühen Holozäns (MANIA 1973, GEDDA 2001, MEYRICK & PREECE 2001).

Süßwassermollusken sind lediglich durch wenige Arten, wie die amphibisch lebende Schnecke *Galba truncatula* oder *Anisus leucostoma* repräsentiert. Neben den zahlreichen mesophilen feuchtigkeitsliebenden Arten sind mit *Vallonia costata* und *Vallonia excentrica* auch Bewohner trockenerer Offenlandhabitats nachgewiesen. Xerotherme Elemente fehlen. Auf Gehölzstandorte im weiteren Umfeld verweisen einige anspruchslose Wald-Arten, wie z. B. die hauptsächlich boreal verbreitete Schnecke *Discus ruderatus* (Tab. 2), *Discus rotundatus*, *Vertigo pusilla* sowie *Clausilia bidentata*. Das Boreal konnte pollenanalytisch (siehe Kap. 4.4) nicht bestätigt werden und fehlt offenbar im Profil.

Die dunkelgrauen Kalkmudden (MZ 2, 223–200 cm) repräsentieren pollenanalytisch das Atlantikum, das eine Phase maximalen Artenreichtums darstellt (LOŽEK 1982). Auch im Profil Me-1 konnten entsprechend hohe Diversitäten festgestellt werden. Kennzeichnend für das Atlantikum ist die intensive Waldentwicklung, die sich in Meschendorf mit über 60 % Waldarten und Arten, die häufig in der Wald-Fauna vertreten sind (Tab. 2), u. a. mit *Vertigo pusilla*, *Acanthinula aculeata* (Abb. 8, Fig. 6), *Merdigera obscura*, *Discus rotundatus*, *Vitrea contracta*, *Cochlodina laminata*

Ökologische Gruppen	Mollusca (Gastropoda, Bivalvia)	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	MZ 7
terrestrisch								
Wald	<i>Vertigo pusilla</i> O.F. MÜLLER 1774	3	17	48	-	26	54	-
	<i>Lauria cylindracea</i> (DA COSTA 1778)	-	-	-	1	-	-	-
	<i>Acanthinula aculeata</i> (O. F. MÜLLER 1774)	1	21	163	1	20	32	-
	<i>Spermodea lamellata</i> (JEFFEYS 1830)	-	-	57	-	-	2	-
	<i>Merdigera obscura</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	-	3	1	-	1	-
	<i>Discus rotundatus</i> (O. F. MÜLLER 1774)	6	259	697	23	192	101	-
	<i>Discus ruderatus</i> (A. FÉRUSAC 1821)	10	17	18	-	-	19	-
	<i>Vitrea contracta</i> (WESTERLUND 1871)	-	27	23	-	5	6	-
	<i>Aegopinella pura</i> (ALDER 1830)	-	18	102	3	43	25	-
	<i>Cochlodina laminata</i> (MONTAGU 1803)	-	15	10	-	9	10	-
	<i>Macrogastera ventricosa</i> (DRAPARNAUD 1801)	-	-	1	1	-	2	-
	<i>Macrogastera attenuata lineolata</i> (HELD 1836)	-	-	-	-	1	-	-
	<i>Macrogastera plicatula</i> (DRAPARNAUD 1801)	-	1	-	-	-	4	-
	<i>Clausilia bidentata</i> (STRÖM 1765)	1	3	3	-	1	10	-
	<i>Clausilia dubia</i> (DRAPARNAUD 1805)	-	1	2	-	-	3	-
	Clausiliidae	1	26	50	15	30	50	-
	<i>Helicigona lapicida</i> (LINNAEUS 1758)	-	2	frg.	-	1	2	-
<i>Monachoides incarnatus</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	7	-	-	1	4	-	
überwiegend Wald (oder Schatten), hygrophil	<i>Carychium tridentatum</i> (RISSO 1826)	30	450	2100	8	125	63	-
	<i>Vertigo substriata</i> (JEFFEYS 1833)	33	5	119	1	7	7	-
	<i>Clausilia pumila</i> (C. PFEIFFER 1828)	-	21	3	1	19	29	-
	<i>Perforatella bidentata</i> (GMELIN 1788)	-	19	-	1	28	19	-
Wald und Offenland, mesophil bis hygrophil	<i>Cochlicopa lubrica</i> (O. F. MÜLLER 1774)	55	199	95	-	336	89	-
	<i>Columella edentula</i> (DRAPARNAUD 1805)	6	12	45	-	23	5	-
	<i>Columella</i> sp.	1	-	-	-	-	-	-
	<i>Punctum pygmaeum</i> (DRAPARNAUD 1801)	69	31	36	1	15	128	-
	<i>Vitrina pellucida</i> (O. MÜLLER 1774)	3	-	-	-	1	-	-
	<i>Vitrea crystallina</i> (O. F. MÜLLER 1774)	6	128	187	10	82	130	-
	<i>Aegopinella nitidula</i> (DRAPARNAUD 1805)	-	152	38	-	-	-	-
	<i>Oxychilus cellarius</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	36	-	-	5	13	-
	<i>Nesovitrea hammonis</i> (STRÖM 1765)	22	130	731	14	94	255	-
	<i>Perpolita petronella</i> (L. PFEIFFER 1853)	12	10	68	-	-	-	-
	<i>Trochulus hispidus</i> (LINNAEUS 1758)	frg.	9	-	-	84	5	-
	<i>Fruticicola fruticum</i> (O. F. MÜLLER 1774)	frg.	7	1	-	1	3	-
<i>Arianta arbustorum</i> (LINNAEUS 1758)	1	5	1	1	1	3	-	
Wald und Offenland, mesophil	<i>Vertigo alpestris</i> (ALDER 1838)	-	-	4	-	-	1	-
	<i>Euomphalia strigella</i> (Draparnaud 1801)	-	5	3	-	-	2	-
	<i>Cepaea hortensis</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	7	-	1	2	35	-
	<i>Cepaea nemoralis</i> (LINNAEUS 1758)	-	-	-	-	-	1	-
	<i>Cepaea</i> sp.	-	-	1	-	2	frg.	-
überwiegend Offenland, mesophil bis hygrophil	<i>Succinella oblonga</i> (DRAPARNAUD 1801)	-	9	-	-	18	3	-
	<i>Vallonia pulchella</i> (O. F. MÜLLER 1774)	138	3	-	-	-	3	-

Ökologische Gruppen	Mollusca (Gastropoda, Bivalvia)	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	MZ 7
Offenland, überwiegend mesophil	<i>Cochlicopa lubricella</i> (PORRO 1838)	-	4	41	2	-	3	-
	<i>Vertigo pygmaea</i> (DRAPARNAUD 1801)	-	-	-	-	-	6	-
	<i>Vallonia costata</i> (O. F. MÜLLER 1774)	509	154	311	11	84	1014	-
	<i>Vallonia excentrica</i> STERKI 1893	4	3	-	-	-	2	-
hygrophil (z. B. Sumpfh)	<i>Carychium minimum</i> (O. F. MÜLLER 1774)	843	7200	7650	179	9761	2210	-
	<i>Succinea putris</i> (LINNAEUS 1758)	46	-	-	-	-	-	8
	<i>Succinea/Oxyloma</i>	frg.	191	5	6	553	52	-
	<i>Cochlicopa nitens</i> (GALLENSTEIN 1848)	6	-	-	-	-	-	-
	<i>Vertigo antivertigo</i> (DRAPARNAUD 1801)	4	101	105	2	72	17	-
	<i>Vertigo moulinsiana</i> (DUPUY 1849)	-	11	8	-	1	-	-
	<i>Vertigo genesii</i> (GREDLER 1856)	20	-	-	-	-	-	-
	<i>Vertigo geyeri</i> (LINDHOLM 1925)	184	-	-	-	-	-	-
	<i>Vertigo angustior</i> (JEFFREYS 1830)	33	17	49	-	-	182	-
	<i>Pupilla pratensis</i> (CLESSIN 1871)	55	-	-	-	-	-	-
	<i>Zonitoides nitidus</i> (O. F. MÜLLER 1774)	22	355	110	3	696	539	-
	<i>Euconulus praticola</i> (REINHARDT 1883)	43	38	112	1	58	14	-
	Nicht näher interpretierbar	Limacidae/Agriolimacidae	15	104	10	1	22	-
Schnecken-Eier (ca. 1-1,5 mm)		10	12	5	-	1	6	-
Schnecken-Eier (ca. 4 mm)		1	-	-	-	-	-	-
Limnisch								
Stillwasser	<i>Valvata cristata</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	-	14	-	-	4	28
	<i>Aplexa hypnorum</i> (LINNAEUS 1758)	1	48	68	-	5	3	-
	<i>Galba truncatula</i> (O. F. MÜLLER 1774)	45	363	442	49	1940	343	-
	<i>Stagnicola</i> sp.	-	-	-	-	-	-	135
	<i>Myxas glutinosa</i> (O. F. MÜLLER 1774)	-	1	-	-	-	-	-
	<i>Bathymorphalus contortus</i> (LINNAEUS 1758)	-	-	-	-	-	-	39
	<i>Gyraulus crista</i> (LINNAEUS 1758)	-	-	-	-	-	-	2
	<i>Anisus leucostoma</i> (MILLET 1813)	50	3	255	1	-	6	-
Nicht näher interpretiert	<i>Pisidium</i> spp.	4	4156	433	52	4563	822	110
Marin								
	<i>Mytilus</i> sp.	-	frg.	-	-	frg.	-	-
	<i>Littorina littorea</i> (LINNAEUS 1758)	-	-	-	-	1	-	-
	Arten: (mind. 70)	38	49	43	27	41	50	6
	Individuen: (56.919)	2296	14.413	14.227	390	18.928	6343	322

Tab. 2: Mollusken aus der holozänen Kliffserie von Meschendorf (absolute Individuenzahlen, frg.: Fragmente). Die Auszählung erfolgte horizontbezogen mit folgender Unterteilung (siehe auch Abb. 4): MZ 1 = Präboreal, helle Kalkmudden (246–223 cm); MZ 2 = Atlantikum, dunkelgraue Kalkmudde (223–200 cm); MZ 3 = Subboreal, hellere Kalkmudde (200–170 cm); MZ 4 = Älteres Subatlantikum, Torf (170–158 cm); MZ 5 = ausgehendes Älteres Subatlantikum, heller Kalkmuddekeil (158–145 cm); MZ 6 = Jüngerer Subatlantikum, Kolluvium (145–120 cm); MZ 7 = Jüngerer Subatlantikum, „Kolluvium“ im äolischen Sand (120–60 cm).

Tab. 2: Molluscs from the Holocene cliff series of Meschendorf (absolute numbers of individuals, frg.: fragments). The count was carried out horizontally with the following subdivision (see also Fig. 4): MZ 1 = Preboreal, pale calcareous mud (246–223 cm); MZ 2 = Atlantic, dark grey calcareous mud (223–200 cm); MZ 3 = Subboreal, paler calcareous mud (200–170 cm); MZ 4 = Early Subatlantic, peat (170–158 cm); MZ 5 = outgoing Early Subatlantic, pale calcareous mudstone wedge (158–145 cm); MZ 6 = Late Subatlantic, colluvium (145–120 cm); MZ 7 = Early Subatlantic, "colluvium" in aeolian sand (120–60 cm).

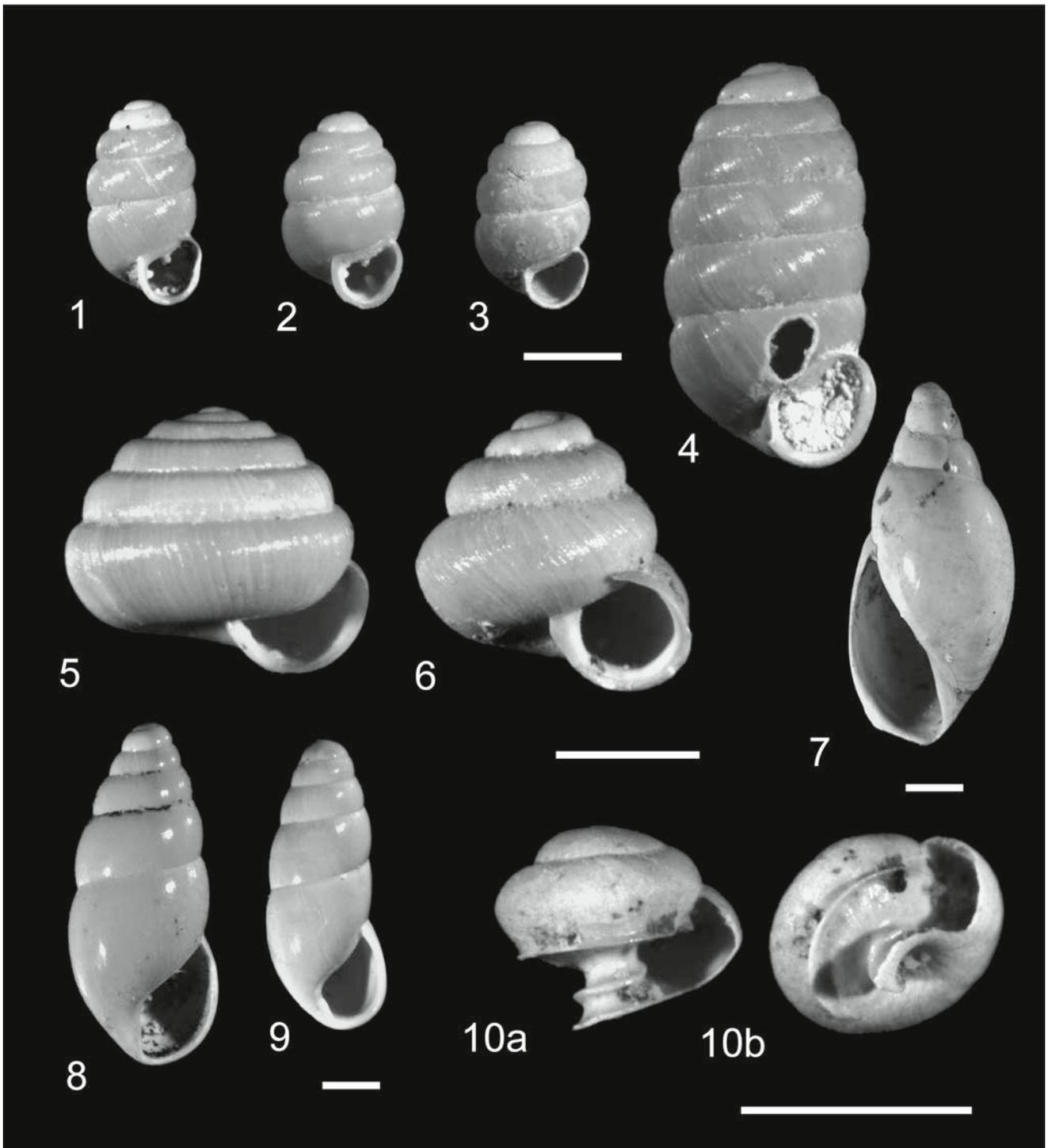


Abb. 8: Mollusken des Meschendorfer Kliffabschnitts: 1. *Vertigo alpestris* (MZ 6: Jüngerer Subatlantikum), 2. *Vertigo geyeri* (MZ 1: Präboreal), 3. *Vertigo genesii* (MZ 1: Präboreal), 4. *Pupilla pratensis* (MZ 1: Präboreal), 5. *Spermodea lamellata* (sample MZ 3: Subboreal), 6. *Acanthinula aculeate* (MZ 3: Subboreal), 7. *Aplexa hypnorum* (MZ 3: Subboreal), 8. *Cochlicopa lubrica* (MZ 3: Subboreal), 9. *Cochlicopa lubricella* (MZ 3: Subboreal), 10. *Lauria cylindracea*, apex (MZ 4: Älteres Subatlantikum), a) seitlich, b) von unten. – Maßstab = 1 mm.

Fig. 8: Molluscs from the Meschendorf cliff section: 1. *Vertigo alpestris* (MZ 6: Late Subatlantic), 2. *Vertigo geyeri* (MZ 1: Preboreal), 3. *Vertigo genesii* (MZ 1: Preboreal), 4. *Pupilla pratensis* (MZ 1: Preboreal), 5. *Spermodea lamellata* (MZ 3: Subboreal), 6. *Acanthinula aculeate* (MZ 3: Subboreal), 7. *Aplexa hypnorum* (MZ 3: Subboreal), 8. *Cochlicopa lubrica* (MZ 3: Subboreal), 9. *Cochlicopa lubricella* (MZ 3: Subboreal), 10. *Lauria cylindracea*, apex (MZ 4: Early Subatlantic), a. Frontal view, b. View from below. – Scale: 1 mm.

oder *Macrogastra plicatula*, widerspiegelt. Zudem gelten insbesondere die im Profil häufigen Arten *Clausilia pumila* und *Perforatella bidentata* als Bewohner ausgesprochener Feuchtwälder.

Die Faunen nasser Standorte haben während des Atlantikums auch weiterhin hohe Stetigkeiten. Regelrecht massenhaft ist *Carychium minimum* vertreten. Neben weiteren Feuchtigkeitszeigern, wie z. B. *Vertigo antivertigo* und *Vertigo angustior*, wurde auch die klimatisch anspruchsvolle Windelschnecke *Vertigo moulinsiana* nachgewiesen. *Vertigo geyeri* und *Pupilla pratensis* fehlen jetzt im Profil, was auf eine deutliche Veränderung der Habitatstrukturen, z. B. mit höherwüchsiger Sumpflvegetation, wie Röhrichte, sowie größeren Gehölzanteilen hinweist. Trotzdem zeigen beispielsweise *Vallonia costata*, *Vallonia excentrica* oder *Cochlicopa lubricella* (Abb. 8, Fig. 9), dass im Umfeld auch weiterhin trockenere Habitate vorhanden waren.

Die Süßwasserfauna mit *Aplexa hypnorum* (Abb. 8, Fig. 7) oder *Galba truncatula* wird von Arten temporärer Gewässer dominiert. Sehr häufig sind auch die Kleinmuscheln *Pisidium* spp. vertreten. Erwähnenswert ist auch der Einzelfund der anspruchsvollen Süßwasserschnecke *Myxas glutinosa*.

Die im Hangenden folgenden helleren Kalkmudden (MZ 3, 200–170 cm) entsprechen dem Subboreal. Das Subboreal ist im Vergleich zum Atlantikum zeitweise etwas trockener, was im Profil Meschendorf jedoch nur schwach in Erscheinung tritt. Lediglich sind *Vallonia costata* oder *Cochlicopa lubricella*, Arten mit Präferenzen für trockenere Habitate, etwas häufiger. Hygrophile Elemente und Waldarten treten ebenfalls mit großen Häufigkeiten in Erscheinung. Auffällig ist die starke individuelle Zunahme von beispielsweise *Acanthinula aculeata*, *Carychium tridentatum*, *Vertigo substriata* oder *Discus rotundatus*.

Bemerkenswert ist die hohe Abundanz der in ihrer Verbreitung atlantisch geprägten anspruchsvolleren Waldart *Spermodea lamellata* (Abb. 8, Fig. 5), die erstmals (ZIMMERMANN 1929) im Kliff von Meschendorf nachweisen konnte. Offenbar konzentriert sich ihr Vorkommen in Meschendorf hauptsächlich auf das Subboreal. Die Süßwasserfauna wird jetzt neben *Aplexa hypnorum* und *Galba truncatula* auch durch die Sumpfsart *Anisus leucostoma* geprägt.

Die Torfe (MZ 4, 170–158 cm) sind in das Ältere Subatlantikum eingestuft. Auf Grund des fehlenden Kalkes, verbunden mit einem geringeren Erhaltungspotential für Mollusken, liegt hier nur eine relativ arten- und individuenarme Fauna vor. Die Gesamtcharakteristik dieser Phase hat sich aber offenbar im Vergleich zum Subboreal kaum verändert. Erwähnenswert ist der Nachweis der überwiegend atlantisch verbreiteten Schnecke *Lauria cylindracea* (Abb. 8, Fig. 10 a, b).

Die im Profil auskeilende helle Kalkmudde (MZ 5, 158–145 cm) des ausgehenden Älteren Subatlantikums ist dementsprechend wieder sehr arten- und individuenreich entwickelt. Im Vergleich zum Atlantikum und Subboreal, wird diese Fauna jedoch durch deutlich anspruchslosere Elemente dominiert, wie z. B. *Discus rotundatus*, *Cochlicopa lubrica* (Abb. 8, Fig. 8) oder *Trochulus hispidus*. Bemerkenswert ist dagegen der Nachweis der anspruchsvollen Waldart *Macrogastra attenuata lineolata*, die bisher für Mecklenburg-Vorpommern ausschließlich fossil von Meschendorf bekannt geworden ist (JAECKEL 1948). Heute lebt die Art z. B. im benachbarten Schleswig-Holstein (vgl. ZETTLER et al. 2006). Die hygrophilen Elemente sind vor allem durch *Carychium minimum*, *Succinea/Oxyloma* und *Vertigo antivertigo* vertreten. Die Süßwasserfauna erhält mit dem Massenaufreten von *Galba truncatula* auch weiterhin den Charakter temporärer Gewässer.

In den folgenden Sedimenten im Hangenden (MZ 6–MZ 7) des Jüngeren Subatlantikums verstärken sich die Anzeichen einer intensivierten Landnutzung durch den Menschen im näheren Umfeld des Ablagerungsraumes. In MZ 6 (145–120 cm) ist die starke individuelle Zunahme von *Vallonia costata* und *Cepaea hortensis* ein deutlicher Hinweis auf die zunehmende Entwicklung offener und nur mäßig feuchter Habitate.

Im Gegensatz zu der vorangegangenen Entwicklung konnte in den von 120–60 cm unter GOK anstehenden Sedimenten (MZ 7) am Standort erstmals ein dauerhaftes Stillgewässer nachgewiesen werden. Landschnecken sind hier lediglich durch die Sumpfform *Succinea/Oxyloma* vertreten. Zudem fehlt in der Fauna *Galba truncatula* (vgl. oben). Dominiert werden die Sedimente jetzt vor allem durch *Stagnicola* sp., *Valvata cristata* und *Bathyomphalus contortus*.

## 5 Diskussion und Synthese

Das am Meschendorfer Kliff aufgeschlossene Beckenprofil ist eines von wenigen an der südlichen Ostseeküste, in denen weichselspätglaziale und holozäne Ablagerungen in Form von Kalkmudden, Seekreiden und Torfen zu finden sind oder waren (z.B. BOEHM-HARTMANN 1937, LUDWIG 1963, LANGE et al. 1986, STRAHL & KEDING 1996, KOSSLER & STRAHL 2014, LAMPE et al. 2016). Bis zum 13. Jahrhundert unserer Zeit sind darin nur Sedimente erhalten geblieben, die während Vernässungsphasen gebildet wurden. Hiatus bestehen für Zeitabschnitte mit tieferem Grundwasserstand am Standort. Die darauffolgende Kliff- und Beckenentwicklung bis zur Gegenwart wird vor allem durch Kliffstranddünen, Flugsande und agrarische Nutzung mitbestimmt. Über weichselpleniglazialen kalkhaltigen Beckensanden bis zum Zeitraum der deutschen Ostkolonisation sind – getrennt durch vier Hiatus – mehrere Vernässungsböden bis -torfe und verschiedene Kalkmudden aufgeschlossen. Hiatus bestehen dabei für folgende Zeiträume, deren Dauer pollenanalytisch nur annähernd er-

fasst werden kann: 1.) Älteste Dryas bis zumindest frühes Allerød, 2.) ausklingendes Allerød und Jüngere Dryas, 3.) jüngstes Präboreal bis frühes Atlantikum sowie 4.) jüngstes Subboreal bis frühes Älteres Subatlantikum.

*Ausklingendes Weichsel-Pleniglazial sowie Weichsel-Spätglazial (Meiendorf bis Allerød):*

Die in Richtung Mecklenburger Bucht einfallende Grundmoränenplatte war Festland und wird in tieferen Lagen von Weichsel-pleniglazialen Sanden unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckt.

Der Übergang vom Weichsel-Pleniglazial zum Meiendorf-Interstadial im Profil Me-1 ist um 14.450 J. v. h. durch einen äußerst schnellen Erwärmungsprozess gekennzeichnet wie er sowohl mittels geophysikalischer und/bzw. biologischer Parameter von grönländischen Eisbohrkernen (u. a. RASMUSSEN et al. 2006, SVENSSON et al. 2006) als auch pollenanalytisch aus mitteleuropäischen Profilen (MENKE 1968, STRAHL 2005) nachgewiesen ist.

Im Verlauf des Meiendorf 1 (Mei 1, 271–253,9 cm) im Profil Me-1 entstand erstmals nach dem Abschmelzen des Inlandeises der Mecklenburg-Phase eine geschlossene Boden- und Vegetationsdecke. Mit zunehmender Standortvernaßung entwickelte sich aus einem Pionierboden (Regosol; 0,6 % Humusgehalt) ein sandreicher Uferschlick bis Vernaßungstorf mit bis zu 56 % Organik. Im unteren Abschnitt wurde die Bodenbildung mehrfach durch fluviale sandige Einschaltungen unterbrochen und das Pollenspektrum ist noch durch einen hohen Anteil umgelagerten Pollens wärmeliebender Gehölze gekennzeichnet. Beide Fakten sprechen für anfangs noch bestehende Sedimentbewegungen (Hangumlagerungen, Solifluktion), die im jüngeren Meiendorf jedoch nur noch vereinzelt auftreten. Pollenanalytisch ist das Meiendorf durch das einzige *Hippophaë*-Maximum des Pollendiagramms und schnell ansteigende *Salix*- sowie nur mäßig erhöhte NBP-Werte bei nahezu fehlenden Offenlandkräutern gekennzeichnet. Die P-Werte weisen auf eine schon relativ hohe Pollenproduktion hin. Gegen Ende des Meiendorf-Interstadials verdrängt *Salix* infolge weiter zunehmender Grundnässe *Hippophaë*. Ein steiler Anstieg der *Equisetum*-Kurve unterstreicht diesen Vernaßungsprozess. Die hohen Anteile von *Hippophaë* und *Salix* belegen eine geschlossene Decke strauchartiger Gehölze für zumindest den größeren jüngeren Teil des Meiendorf-Interstadials. Auffallend unter den Baumpollen ist die hohe *Pinus*-Dominanz bei nur niedrigem *Betula*-Anteil. Ein großer Teil des Baumpollens, vor allem jener von *Pinus*, könnte dabei jedoch aus dem Frühweichsel (Interstadiale?) umgelagert sein oder aus äolischem Ferntransport stammen. Falls dem so ist, wäre der NBP-Anteil im Pollendiagramm nicht zeitspezifisch, sondern unterrepräsentiert.

Aus dem Allerød ist nur der Bildungszeitraum der Kalkmudde (254–246,9 cm) überliefert, der wahrscheinlich in das weichselspätglaziale Klimaoptimum fällt. HEIKKILÄ & SEPPÄ (2003) und MAKHNACH et al. (2004) beschreiben Kalkmudden des Allerød als vorwiegend biogenes Ausfällungsprodukt bereits wärmerer Klimaphasen. Auf Grund der niedrigen P-Werte und des Fehlens von See-Makrophyten im Profil Me-1 muss auf eine starke Mitbeteiligung von Kalk geschlossen werden, der im Zuge von Hang- oder Grundwasseraustritten im Sinne eines Querkalks abgeschieden wurde. Dabei wäre sowohl eine biogene als auch eine abiogene Kalkfällung möglich. Das Auftreten von Porifera-Gemmulae und -Spongien, vereinzelt *Pediastrum*-Arten, speziell von *Pediastrum kawraiskyi*, sowie auch von *Equisetum* spricht für zumindest zeitweise bestehende Kleingewässer bzw. Blänken. Die Mikrokörper erreichen ein erstes kurzzeitiges Maximum. Das Fehlen von Mollusken und Diatomeen sowie die sehr geringe Pollendichte schließen dabei jedoch eine Mitbeteiligung von Querkalk als Folge angestiegenen Grundwasserspiegels nicht aus, die niedrigen P-Werte ließen sich aber auch durch eine sehr hohe Sedimentationsgeschwindigkeit erklären. Im Umland bestand ein weitgehend geschlossener *Pinus*-Wald mit *Betula*-Anteil. Der Anteil von *Salix* dagegen ist stark rückläufig, was darauf hindeutet, dass das Klima offensichtlich merklich trockener und der Grundwasserstand auch vegetationsbedingt tiefer als im ausklingenden Meiendorf war. Mollusken konnten für das Weichsel-Spätglazial nicht nachgewiesen werden. Ebenso ließen sich keine Anzeichen für kryogene und toteisbedingte Deformationen in dieser Beckenphase feststellen.

*Präboreal und Boreal:*

Ein weiterer Hiatus liegt bezüglich des Fehlens von Ablagerungen der Jüngeren Dryas vor. Das folgende Präboreal (246,9–223 cm) ist in Profil Me-1 viergegliedert und beginnt mit einem Vernaßungstorf mit *Betula*-Dominanz, der der kurzen Friesland-Wärmeschwankung (246,9–243 cm) entsprechen dürfte. Die ihr vorangegangene Übergangsphase betrug TINNER & AMMANN (2005) zufolge nur ca. 50 Jahre. Die *Betula*-dominierte Friesland-Schwankung wird von mehreren Autoren als frühholozänes Baumpollen- (und Sträucher-) Maximum beschrieben (u. a. LANGE et al. 1986; KOSSLER et al. 2004, STRAHL 2005, LAMPE et al. 2016). In Abweichung zu den meisten anderen Friesland-Profilen weist Me-1 zwar einen Anstieg der BP+Str-Kurve auf, das frühholozäne BP-Maximum wird jedoch erst in der folgenden schon Kiefer-dominierten Pollensubzone IVb erreicht.

Der Wechsel von der *Betula*- zur *Pinus*-Dominanz an der Grenze IVa/IVb fällt im Profil Me-1 mit dem Beginn der frühholozänen Kalkmuddebildung zusammen. Im Profil Me-2 fehlt das Weichsel-Spätglazial. Die Sedimentation setzt dort erst mit der Kalkmuddeakkumulation in der Pollensubzone IVb des Präboreals ein.

Die präboreale Kalkmudde-Phase von Me-1 und Me-2 lässt sich sowohl sedimentologisch als auch pollenanalytisch in drei Subzonen (PZ IVb-d) untergliedern (Abb. 4, 6). Die BP+Str-Kurve weist ihre höchsten Werte des gesamten Pollendiagramms auf, während die NBP-Werte stark abnehmen. Die Pollendichte nimmt merklich zu, zum Teil wohl auch als Folge der hohen Dominanz des starken Pollenproduzenten *Pinus*, die für den norddeutschen Raum typisch ist. Es bestand geschlossene Bewaldung. Charakteristisch speziell für diesen Entwicklungsabschnitt sind Grünalgen vom *Radiococcus nimbatus*-Typ und *Pediastrum integrum*.

Im mittleren Abschnitt von Me-1 (234–228 cm = PZ IVc) fallen im Sediment eine schluff- und tonreichere Zwischenlage und im Pollenbild ein leichter BP- und *Pinus*-Rückgang zugunsten von NBP und *Betula* auf. Des Weiteren tritt in IVc – analog wie auch in den Küstenprofilen Jezero Żarnowieckie (LATAŁOWA & TOBOLSKI 1989) und Glowe 3 (LAMPE et al. 2016, dort ausführlichere Diskussion) – *Empetrum* auf, dessen Erscheinen auf die Existenz lichter Standorte schließen lässt. Es handelt sich hierbei um die Rammelbeek-Kälteschwankung, die zuerst in den Niederlanden (u. a. BOHNCKE & HOEK 2007) und bald darauf auch von der Müritz nachgewiesen werden konnte (LAMPE et al. 2009). Im Unterschied zu Glowe 3 tritt *Empetrum* nur in einer Pollensubzone auf. Möglicherweise spielt für *Empetrum* aber auch die küstennahe Lage eine Rolle, da diese Spezies nicht nur einen hochmontanen, sondern auch einen ozeanischen Verbreitungsschwerpunkt aufweist.

Die basale Kalkmudde des Präboreals (MZ 1, 246–223 cm) enthält eine arten- und individuenreiche frühholozäne Molluskenfauna überwiegend terrestrisch geprägter Feuchtsandorte mit Dominanz borealer Arten. Während die meisten dieser Arten eine Präferenz zu feuchteren Habitaten besitzen, erreichen allein schon die hygrophilen Elemente insgesamt ca. 30 % der Arten- sowie 70 % der Individuenzahlen (Tab. 2) mit Dominanz der vor allem boreal/alpin verbreiteten, heute hauptsächlich in Skandinavien vorkommenden Art *Vertigo geyeri*. Im Tiefland bevorzugt die Artengesellschaft von Me-1 Kalkmoor-Standorte mit relativ niedrigwüchsiger Sumpflvegetation (z. B. *Carex*). Da Süßwassermollusken nur durch wenige Arten, wie die amphibisch lebende Schnecke *Galba truncatula* und *Anisus leucostoma* vertreten sind, kann geschlussfolgert werden, dass das Feuchthabitat vermutlich temporär überstaut und auch mit Wasser aus Quellbereichen überrieselt wurde. Dafür sprechen auch die Nachweise von Laubmoosen in allen Kalkmudden, beginnend ab PZ IVc. Aus Sicht der Molluskenanalyse waren Gehölzgebiete im näheren Umfeld wahrscheinlich nur inselartig bzw. lückenhaft entwickelt. Die Zusammensetzung der Molluskenfauna und das starke Vorkommen von Laubmoosen unterstreicht die Genese der Kalkmudden in Zusammenhang mit Quellaustritten, womöglich im Übergang zu einem Flachgewässer. Das vereinzelte Vorkommen von Porifera-Gemmulae spricht für

das Bestehen zumindest saisonaler Blänken. Nicht ausgeschlossen ist, dass ein Teil der Schwammreste im Zuge der HF-Aufbereitung vernichtet wurde.

Die Ergebnisse von Pollen- und Malakoanalysen scheinen zum Teil einander zu widersprechen, denn während das Pollendiagramm für den Zeitraum der Entstehung der präborealen Kalkmudde (PZ IVb bis IVd) die höchste BP-Dichte des gesamten Profils Me-1 aufweist, dominierte aufgrund des Molluskenspektrums eine Offenlandfauna. Die Lösung für diesen Widerspruch dürfte darin liegen, dass die Molluskenfauna die Artenzusammensetzung unmittelbar vom nicht bewaldeten Beprobungsstandort wiedergibt, während im Pollendiagramm die hohe Pollenproduktion weiter binnenwärts wachsender Kiefernwälder gegenüber der vergleichsweise geringen Pollenproduktion Krautpflanzen-reicherer Biotope vor Ort dominierte.

Die präboreale Kalkmuddeakkumulation ist die Folge der raschen frühholozänen Erwärmung sowie eines schnellen Wasserspiegelanstiegs unmittelbar nach Ende der Jüngeren Dryas bei zunehmend kontinentaler und wärmer sowie trockener werdendem Klima. Dieses führte dazu, dass die Kalkmuddeakkumulation im Verlaufe des Präboreals, spätestens jedoch zu Beginn des anschließenden Boreals und bis in das frühe Atlantikum anhaltend zum Erliegen kam (Ausbildung des dritten Hiatus). Die präboreale Beckenentwicklung ähnelt jener der des Glower Paläosees (LAMPE et al. 2016).

Dieser frühpräboreale Wechsel zu einer karbonatisch dominierten Sedimentation ist auch für einige Seen des Binnenlandes in litoralen und profundalen Sedimenten nachweisbar (u. a. RICHTER 1968, WENNRICH et al. 2005, LORENZ 2007, LAMPE et al. 2009). Gleichzeitig ist das Frühholozän als kurzer und hydrologisch prägnanter Zeitraum deutlich verminderter Wasserstände in den Seen bekannt (u. a. JANKE 2004, KAISER 2004, KALIS et al. 2003, KAISER et al. 2007, 2012). Die Dauer dieses Abschnitts der Kalkmuddeakkumulation entspricht in etwa jener von Glowe 3 (LAMPE et al. 2016).

Das pollenanalytisch belegte Fehlen von Sedimenten des Boreals und des beginnenden Älteren Atlantikums (Abb. 6) lässt für diesen Zeitraum auf eine besonders trockene Klimaphase mit tieferem Grundwasserstand und stark nachlassenden Quellwasserzutritten schließen. Daraus resultierende Hiatus treten in Moor- und Seeablagerungen nicht nur des südlichen Ostseeumlandes verbreitet auf (siehe hierzu auch LAMPE et al. 2016, S. 51 f.). Nur in tieferen Becken, z. B. dem der Müritz (LAMPE et al. 2009), des Kleinen Jasmunder Boddens (Bohrung KJB3 in LAMPE et al. 2002; 2010b) und des Greifswalder Boddens (STRAHL 1996) wie auch der Halbinsel Jasmund (LANGE et al. 1986, STRAHL 1999, ENDTMANN 2004) sind diese Zeitabschnitte pollenanalytisch immer nachweisbar.

*Atlantikum und Subboreal:*

Im Älteren Atlantikum erreichte die Ostsee bei zunächst schnellem Anstieg die Mecklenburger Bucht und gegen Ende des Atlantikums die 2 m-Isobathe und somit die gesamte südliche Ostseeküste (LAMPE et al. 2010a). Die Phase des mehrere Jahrhunderte andauernden BP-Minimums in der PZ VI entspricht zeitlich diesem littorinazeitlichen schnellen Meeresspiegelanstieg und stimmt zeitlich wohl auch mit der Endphase des Auslaufens des Aggasiz-Stausees und dem MisoX-Gletschervorstoß in den Schweizer Alpen überein (vgl. ZOLLER et al. 1966, NESJE et al. 2001). In den Profilen Me-1 und Me-2 wurden – im Unterschied zu den hellen Kalkmudden des Allerøds und des Präboreals – dunkelgraue Kalkmudden abgelagert, wobei deren dunkle Färbung nicht auf erhöhte organische Anteile, sondern auf verstärkte Toneinträge zurückzuführen ist (Profil Me-2). Die Toneinträge erfolgten während des gesamten Atlantikums, wahrscheinlich aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet. Es ist von flachen Wasserständen (max. wenige Dezimeter) auszugehen. In der PZ VI setzte nach einem längeren Hiatus die Akkumulation von Kalkmudden wieder ein.

Die Hauptmerkmale der PZ VI und VII, die ansteigenden Kurven der EMW-Elemente, das Maximum des *Ulmus*-Quotienten, der Anstieg der geschlossenen *Alnus*-Kurve sowie ein hoher *Corylus*- und ein abnehmender *Pinus*-Anteil, sind speziell im Diagramm Me-1 relativ schwach ausgeprägt. Stattdessen weist es sehr hohe *Betula*-Werte bei nur langsam zunehmenden EMW-Vertretern und äußerst hohem NBP-Anteil auf, im Profil Me-2 sind die EMW-Vertreter und *Corylus* weitaus stärker vertreten. Parallel zur hohen NBP-Beteiligung im Profil Me-1 fallen im Atlantikum die durchgehend niedrigen, bis unter 40 % abfallenden und für das gesamte Profil einmalig niedrigen *Pinus* ganze-Werte auf. Ursachen dürfte einerseits die *Betula*-dominierte Lokalfloora ebenso wie ein zu jener Zeit besonders unruhiges Ablagerungsmilieu (z. B. in Ufernähe) gewesen sein. Die hohen NBP-Werte resultieren vor allem aus einem Anstieg der *Poaceae* und von Pollen des *Aster*-Typs. Der wahrscheinlich lokal stark erhöhte *Betula*-Anteil und der *Alnus*-, *Salix*-, *Polypodiales*- und *Equisetum*-Anstieg sprechen dabei für eine Ausweitung der Feuchtstandorte aufgrund eines ansteigenden Grundwasserspiegels. Dadurch wurden v. a. *Pinus* im Umfeld verdrängt und *Poaceae* begünstigt. Zudem breitete sich *Corylus* aus, ihr sehr hoher Anteil spricht für eine noch lichte Bewaldung der angrenzenden Hochflächenwälder. Die Vegetation im Umland des Beckens entwickelte sich zu einem *Corylus*-dominierten *Quercus*-Mischwald mit schon hohem *Tilia*-Anteil. Es ist nicht auszuschließen, dass *Tilia* und zuvor auch *Ulmus* abgelagerungsbedingt sekundär stark angereichert und überrepräsentiert sind.

Unter den Mollusken dominieren im Atlantikum mit 60 % Waldarten und Arten, die häufig in der Waldfauna vertreten sind.

Die nachgewiesenen Süßwassermollusken *Aplexa hypnorum* sowie *Galba truncatula* dominiert vor allem temporäre Gewässers und sprechen gegen das Bestehen eines größeren und dauerhaften Gewässers im Ablagerungsraum. Eventuell bildeten aus malakologischer Sicht die Habitate aber auch die Randfazies zu einem vorgelagerten Seebecken. Hierfür könnte auch der Einzelfund der anspruchsvollen Süßwasserschnecke *Myxas glutinosa* sprechen, welche möglicherweise in den Ablagerungsraum eingespült wurde.

Aufgrund der hohen Anteile von Landschnecken mit zahlreichen Waldarten und feuchtigkeitsliebenden Elementen, welche aus taphonomischer Sicht gegen eine Ablagerung in einem lakustrinen Milieu sprechen (vgl. MZ 7), sowie der Charakteristik der Süßwasserfauna kann, wie schon von JAECKEL (1948) dargestellt, davon ausgegangen werden, dass im Sedimentationsraum ausgedehnte Feuchthabitate mit offenen und bewaldeten Strukturen, z. T. mit Bruchwäldern, entwickelt waren, die nur temporär überstaut wurden.

Eine Besonderheit im Pollenbild, insbesondere des Atlantikums und des Subboreals bilden Mikrokörper, welche die rückläufige *Radiococcus*-Kurve ablösen. Die Ursache für diesen Wechsel ist unbekannt. Unter den Mikrokörpern dominieren Fungi-Fruchtkörper als Besiedler von Krautpflanzen sowie von Stämmen und Blättern verschiedener Gehölze sowie Formen, die als in Zersetzung befindliche Ständerpilz- bzw. Holzreste interpretiert werden und für Gehölzbewuchs im Ablagerungsraum sprechen. In der Literatur werden derart hohe Anteile von NPP bisher nur vereinzelt beschrieben, so u. a. bei WIJMSTRA et al. (1971) für das Wietmarscher Hochmoor (Niedersachsen), bei BARTHELMES et al. (2006) für ein Erlenmoor im Ziesetal (Mecklenburg-Vorpommern) und bei DIETRE et al. (2014) für das Las Gondas-Moor in den Silvretta-Alpen. Sie unterscheiden sich – wohl auch infolge der unterschiedlichen Standortmilieus – in ihrer Komponenten-Zusammensetzung sehr stark voneinander, erreichen in den Charakterhorizonten jedoch NPP-Werte von 1000 bis über 3000 % der Pollengrundsumme. Gemeinsam ist den drei genannten Profilen, dass die Entwicklung ihrer NPP-Maxima unter trockeneren Bedingungen als die der jeweils unter- und oberhalb anstehenden Sedimente erfolgte. WIJMSTRA et al. (1971) zufolge wird im Wietmarscher Moor das NPP-Maximum nahe der Subboreal-Subatlantikum-Grenze erreicht. Auch DIETRE et al. (2016) zufolge fallen die jüngsten NPP-Maxima in den Endzeitraum einer Trockenphase mit Verlangsamung des Torfwachstums um ungefähr 2850 cal. BP. Im Ziesetalmoor charakterisiert das NPP-Maximum den Abschluss einer längeren, insgesamt trockeneren Talentwicklungsphase mit hohem *Pinus*- und *Tilia*-Anteil, auf die eine Phase mit zunehmender Talvernässung mit hoher *Alnus*-Dominanz folgt. Auch van GEEL & ATROOP (2006) beschreiben den Zusammenhang zwischen NPP-Maxima und relativ trockenen Moorentwicklungsabschnitten. Für die Mikrorest-Maxima der Meschendorfer Kalkmudden schließen wir im Analogieschluss sowie aus den Befunden der Molluskenanalyse auf ein trockeneres

gehölzdominiertes Milieu im Beprobungsgebiet mit zeitweiligen Überstauungen und Blänken über Kalkmudde vom Atlantikum bis zum ausklingenden Subboreal. Die meisten Mikrokörper-Spezies von Me-1 dürften zudem an neutrale bis basophile Standorte angepasst sein.

Gewässerindikatoren, wie höhere Wasserpflanzen, *Pedicularium* und *Cladocera* fehlen durchgehend und Schwammnadeln sind (evtl. auch aufgrund des hohen pH-Wertes oder auch der HF-Aufbereitung) nur vereinzelt mitvertreten. Als Ursache für die niedrige Pollenproduktion wird – wie schon für das Allerød – eine hohe Sedimentationsgeschwindigkeit eines gut durchlüfteten Quellkalks angenommen. Mit den aufgeführten Befunden kann das gelegentliche Austrocknen in Zeiten niedriger Wasserstände infolge trockneren Klimas nicht ausgeschlossen werden. Im Unterschied dazu weisen die präborealen und späteren subatlantischen Kalkmudden sehr hohe P-Werte auf, was eventuell auf eine vergleichsweise langsamere Kalksedimentation schließen lässt.

Die Schalenfragmente der Miesmuschel *Mytilus edulis*, die wahrscheinlich über Speiballen von Möwen eingetragen wurden, liefern einen Beleg für die Meeresnähe zu jener Zeit.

Auch für das Atlantikum scheint ein Widerspruch zwischen Pollenbild und Malakofauna zu bestehen. Während der NBP-Anteil bis auf 36 % ansteigt, dominieren im Molluskenspektrum walddtypische Arten. Jedoch widerspiegelt die Malakofauna immer das engere Umfeld, das Pollenspektrum jedoch das weitere Umfeld. Erhöhte NBP-Anteile während des Atlantikums könnten vom Röhrichtbewuchs einer Uferzone stammen oder ein Beleg für noch sehr lichte Wälder mit *Corylus*, *Betula* und zunehmend *Quercus* und *Tilia* bilden. Möglicherweise hatte auch der Ausbruch des Agassiz-Sees eine klimatische Fernwirkung.

Für das Subboreal bleiben weiterhin extrem niedrige P-Werte und die Massenentwicklung von Mikroorganismen charakteristisch. Auf der angrenzenden Hochfläche bestand ein an EMW-Vertretern reicher *Pinus*-Mischwald mit sehr hohem Lindenanteil und bei stetiger Abnahme von *Corylus*. *Quercus* ist untervertreten und *Fagus* zeigt noch keinen geschlossenen Kurvenverlauf. Im Feucht- und Nassbereich erfolgte eine starke *Alnus*-Ausbreitung. Dieser Zeitabschnitt weist das zweite BP+Str-Maximum beider Profile bei erneut sehr hohen *Pinus* ganze-Werten und gleichzeitig niedrigen NBP auf. Weitere Besonderheiten sind ein merklicher *Betula*-Rückgang sowie ein Rückgang des *Ulmus*-Quotienten im Vergleich zum Atlantikum. Die *Polypodiales*-Werte bleiben ebenfalls weiterhin hoch. Außer sporadisch *Artemisia* – diese Gattung kommt auch auf Offenstandorten vor – treten noch keine Ruderalpflanzen und Unkräuter auf. Auch Getreide (*Cerealia* ohne *Secale*) ist noch nicht nachweisbar, was darauf hindeutet, dass keine Ackernutzung und wohl auch keine Waldweide stattfanden. Der jüngste Teil der PZ VIII, aber auch der unterste Teil der PZ IX (Älteres Subatlantikum) fehlen.

Die Kalkmudden reichten zur Zeit ihrer größten Ausdehnung seewärts bis in das Gebiet der heutigen Schorre hinein. Im späten Subboreal wurde der Kalkmuddekörper durch das Meer angeschnitten und es erfolgte ein abruptes Trockenfallen des Nassstandortes. Im Bereich von Me-1 kam es dadurch infolge Grundwasserabsenkung zu einem zeitweiligen Aussetzen der Kalkmuddesedimentation (vierter Hiatus). Das Ufer der Ostsee lag zu dieser Zeit bei ca. -1 m NHN sowie vermutlich mehr als 1.000 m seewärts des heutigen. Unter Beachtung des von SCHULZ (1996) kartierten dritten (= mittleren) Anschnittes, muss angenommen werden, dass die derzeitigen Anschnitte eine größere Breite aufwiesen und vormalig in Verbindung standen. Ein fortwährendes Schmälerwerden der aktuellen Aufschlüsse dürfte zu erwarten sein.

#### Subatlantikum:

Das diskordant über den subborealen Kalkmudden einsetzende Torfwachstum (Me-1) datiert in den Übergang vom Subboreal zum Subatlantikum (siehe Tab. 1, Probe 168–169 cm) und war die Folge eines klimabedingten festländischen Grundwasserspiegelanstiegs. Pollenanalytisch lässt sich das Torfwachstum erst für die feucht-kühlere Eisenzeit (Älteres Subatlantikum) nachweisen. Gegenüber der vorangegangenen und folgenden Kalkmuddephase ist der Anteil der Nässezeiger (*Alnus*, *Salix*) besonders hoch und die BP gehen zugunsten von *Salix* und des NBP zurück. Auffallend für den sandigen Torf sind des Weiteren der nahezu vollständige Rückgang der Schwämme und Farne sowie die gleichzeitig starke Zunahme der P-Werte.

Malakologisch liegt im Bereich des Torfes nur eine relativ arten- und individuenarme Fauna vor. Die Gesamtcharakteristik dieser Phase hat sich aber offenbar im Vergleich zum Subboreal kaum verändert. Erwähnenswert ist der Nachweis der überwiegend atlantisch verbreiteten Schnecke *Lauria cylindracea*.

In Profil Me-2 setzt sich im Unterschied zu Me-1 die Kalkmudde-Sedimentation über das Subboreal hinaus bis zum pollenanalytisch sicher datierbaren Beginn der Pollensubzone Xa als flugsandreiche, und stark mit Eisenoxid durchsetzte Kalkmudde mit leichter Abnahme des Karbonatgehalts weiter fort (Abb. 4). Ein Hiatus als Folge eines Beckenanschnitts durch die Ostsee und die darauf anschließende Vermoorungsphase – wie in Me-1 – fehlen offenbar. In Me-2 erfolgte stattdessen während des älteren und mittleren Subatlantikums eine Kalkmuddeakkumulation unter Flugsandzufuhr. Letztere ermöglichte durch verbesserte O<sub>2</sub>-Zufuhr die Anreicherung von oxidiertem Eisen, ebenso wie die Mineralisation einst vorhandener Pflanzenreste. Vermutlich trägt auch der rasche Küstenrückgang zu einer Verockerung der immer wieder neu entstehenden Kliffprofile bei. Die Tatsache, dass dort die Kalksedimentation nicht unterbrochen wurde, spricht ebenfalls für dessen Genese unter ständigem binnenseitigem Wasserzutritt.

Die nächste Phase der Kalkmuddeablagerung in Profil Me-1 umfasst die Vorrömische Kaiserzeit und reicht eventuell noch in die Völkerwanderungszeit hinein. In etwa ab Christi Geburt ist kleinräumige agrarische Nutzung in Form von Waldweide und Ackerbau nachweisbar und im Pollenbild durch das Auftreten von Pollen von *Plantago lanceolata* und des *Triticum*-Typs belegt. Das Baumpollenbild der Hochflächen spiegelt einen *Pinus*-reichen *Quercus*-Wald wider. Der *Betula*-Anteil nimmt sehr stark ab und unter den EMW-Arten fehlen *Tilia* und *Ulmus* fast völlig. *Fagus* zeigt noch keine geschlossene Kurve. Der Niederungsbereich ist ein Erlenstandort mit höherem Weiden-Anteil als zuvor. Die bereits für das Atlantikum beschriebenen Poriferae-Gemmulae sowie Schwammnadeln und Mikrokörper treten weiter sporadisch mit auf.

Im mittleren Älteren Subatlantikum erfolgt in Me-1 die Ablagerung der obersten Kalkmudde, deren Schüttung mit Beginn der deutschen Ostkolonisation – eventuell als direkte Folge von Entwaldung und Ackerbau – deutlich zurückgeht. Sie ist jedoch merklich humoser und als Folge zunehmender Flugsandeinwehung minerogener als die älteren Ablagerungen und die Pollenakkumulation innerhalb dieser Kalkmudde bleibt – im Unterschied zu den erwähnten Kalkmudden des Allerøds, Atlantikums und Subboreals – hoch.

Alle Kalkmudden unterscheiden sich – vor allem sedimentologisch und faunistisch – deutlich voneinander, ohne dass diese Unterschiede und die sie auslösenden Milieufaktoren schon befriedigend begründet werden könnten. Pollenanalytisch fehlen den Kalkmudden des Allerøds, Atlantikums und Subboreals für Gewässer typische Makrophyten und deren P-Werte sind für Zeitabschnitte mit voll entwickelter Makrophytenvegetation viel zu niedrig. Auch für das Präboreal und das Subatlantikum konnten keine gewässereignen Makrophyten nachgewiesen werden. Hinsichtlich der niedrigen P-Werte spricht viel für eine sekundäre Ausdünnung des Sporomorpheninventars durch Luftzutritt. Es ist davon auszugehen, dass dabei die Karbonatverfügbarkeit im älteren und mittleren Holozän am höchsten war und infolge zunehmender Entkalkungstiefe in Richtung Gegenwart abnimmt. Im Kontrast dazu stehen die Kalkmudden des Präboreals (PZ IVb bis IVd) und des mittleren Subatlantikums mit hohen P-Werten. Letztere lassen den Schluss auf einen geschlossenen Pflanzenbewuchs im Gebiet der Kalkmuddesedimentation zu.

Das Pollenbild des mittleren Älteren Subatlantikums umfasst das dritte und oberste BP+Str-Maximum des Profils. Während der Völkerwanderungszeit fand keine Ackernutzung statt und die Waldzusammensetzung ähnelt weiterhin jener der Römischen Kaiserzeit. In der Slawenzeit tritt erneut kleinräumige agrarische Nutzung auf, das Baumpollenspektrum zeigt dabei merkliche Änderungen. *Pinus* und *Alnus* gehen deutlich zugunsten von *Fagus* und *Salix* zurück, wobei der *Fagus*-Anstieg im Vergleich mit binnländischen Pollenprofilen (z. B. SCHOKNECHT 1996) äußerst spät einsetzt und ausgesprochen niedrig ausfällt.

Die obersten vier Vegetationsabschnitte des Subatlantikums (PZ Xa, Xb1, Xb2, Xc) umfassen den Zeitraum von der Deutschen Ostkolonisation bis zur Gegenwart. An der Untergrenze von PZ Xa erfolgt mit Einsetzen der Deutschen Ostkolonisation eine der schärfsten Änderungen im Vegetationsbild dieses Profils. Sie beginnt nahezu zeitgleich mit dem Einsetzen der Flugsandtätigkeit und äußert sich im Pollenbild unter anderem durch einen starken BP-Rückgang und durch eine ebenso intensive Zunahme des NBP-Anteils einschließlich der Getreide- und Unkrautarten. Während der gesamten PZ Xa und Xb bestand extensive Landwirtschaft, wofür – bezogen auf den *Cerealia* ohne *Secale*-Pollenanteil – der sehr hohe Anteil entsprechender Unkräuter spricht. Des Weiteren erfolgt im Verlauf der PZ Xa eine kontinuierliche Abnahme der  $\text{CaCO}_3$ -Zufuhr; sie geht auf < 5 % in Me-1 bzw. 15 % in Me-2 zurück.

Im Verlaufe der mittelalterlichen Rodungsphase kommt es zu einer Verschiebung im Gehölz-Spektrum zugunsten von *Pinus* und vor allem *Salix* bei Vorherrschaft von *Salix caprea*. Des Weiteren sind während der gesamten PZ Xb *Lycopodiella inundata*, Schwammnadeln und -gemmulae, Cladocera sowie Sporen vom Laubmoos-Typ stärker vertreten. Die P-Dichte nimmt in Richtung Gegenwart mehr oder weniger stetig ab.

Die PZ Xb1 beginnt bei Me-1 mit einer Sandlage (123 bis 115 cm). Sie könnte der binnenseitige Ausläufer einer auf der damaligen Kliffkante entstandenen Kliffranddüne gewesen sein, die den seewärtigen Abfluss des Beckens verhinderte und anschließend zum Aufstau eines über mehrere Jahrhunderte existierenden, stehenden Flachgewässers führte (115–59 cm). Die Mollusken mit *Stagnicola* sp., *Valvata cristata* und *Bathymphalus contortus* sprechen jetzt für ein dauerhafteres, die Diatomeen verlangen ein zumindest längerzeitig im Jahresverlauf bestehendes Flachgewässer. Es wird weiterhin durch Kalkzufuhr gespeist – der Karbonatgehalt der Sande erreicht bis zu 10 % – verflacht durch Flugsandzufuhr zunehmend und geht letztendlich im Übergang zur PZ Xb2 in einen organogenreichen Nassboden über. Pollenanalytisch spiegelt die PZ Xb1 eine nahezu waldfreie Landschaft wider. Der auffallend hohe *Cyperaceae*-Anteil spricht für einen Seggen-dominierten Flachsee oder dessen Verlandungsgürtel mit *Menyanthes trifoliata*, der hohe Anteil von Pollen des *Hieracium*-Typs für Dünen oder Flugsande im nahen Umland.

In der Diatomeenflora des Tiefenbereichs 115–59 cm (PZ Xb1, DZ1, Abb. 4) dominieren basophile Arten des Litorals bis Supralitorals, obligatorische Plankter fehlen. Es sind vorwiegend robuste Arten, welche im Jahresverlauf zumindest ein längerzeitig bestehendes Gewässer benötigen. Die meisten von ihnen vertragen zeitweise aerophytische Bedingungen. Ein weiterer Teil der Arten tritt auch an Quellstandorten und überfluteten Moosrasen auf oder bevorzugt sie sogar. Für ein solches Flachgewässer spricht auch das bereits erwähnte Vorkommen von Schwammnadeln und Cladocera. Im Profil Me-1 endet die Kalksedi-

mentation und auch die feuchtebedingte Humusakkumulation spätestens an der Grenze zur PZ Xb1. Ursachen hierfür waren einerseits das Einsetzen der Flugsandablagerungen und Klifftranddünen sowie andererseits die Nutzung als Acker- und Weideflächen.

In Me-2 entspricht der PZ Xb1 von Me-1 sowohl zeitlich als auch pollenanalytisch das oberhalb der eisenoxidreichen Kalkmudde anstehende Kalk-Anmoor (240–225 cm), an dessen Obergrenze ebenfalls die Kalkmuddesedimentation ausklingt. Es enthält eine artenarme, vorwiegend aus robusten epipelischen Arten bestehende Diatomeenflora, in der Schwammnadeln und Mikrokörper weiterhin mit vertreten sind. Hohe Biomasseproduktion infolge kräftiger Nährstoffversorgung führten zur Aufhöhung beider Becken (Me-1 und Me-2) bis über das Anmoor hinaus, dass letztendlich von Flugsanden und Kolluvium überdeckt wurde. Die Dauer vom Ende der Kalkmuddeakkumulation (als Folge sinkenden Grundwasserstandes, womöglich dem Anschnitt des Kliffes durch die Ostsee geschuldet) bis zum endgültigen Ausklingen des Torfwachstums in Me-2 betrug mindestens 2.200 Jahre.

Das in Me-2 zwischen Dünenanden zusätzlich ausgebildete, jedoch kalkfreie Anmoorband in 192–185 cm unter GOK könnte auf Grund seines äußerst hohen *Cyperaceae*-Anteils (bis zu 50 % der Pollengrundsumme) zeitlich ebenfalls noch in die nur für Me-1 ausgewiesene Subzone Xb1 fallen, da robuste Diatomeenarten, Schwammnadeln und Mikrokörper weiterhin nachweisbar sind.

In der Me-1-PZ Xb2 gehen *Poaceae* und *Cyperaceae* innerhalb der weiterhin stark dominierenden NBP-Flora stark zugunsten fenestrater *Compositae*, vor allem des *Hieracium*-Typs, zurück. Als Ursache der Zunahme vor allem von *Hieracium sp.* wird auch hier das Näherkommen des Strand- und Klifftranddüngürtels angenommen. Mikrokörper, Schwammnadeln und *Cladocera* sind letztmals stark vertreten.

Die PZ Xc umfasst die obersten 34 Profilzentimeter und entspricht in etwa dem Zeitraum der jüngsten 150 Jahre. Er ist gekennzeichnet durch das jüngste *Pinus*-Maximum als Folge von Nadelholzaufforstungen und durch die Intensivierung der Landwirtschaft, erkennbar am BP-Anstieg und NBP-Rückgang vor allem als Folge des Verschwindens extensiver Unkräuter. Die P-Werte sind in den kolluvial durchsetzten Dünenanden sehr niedrig. Hauptgehölzart bleibt *Salix caprea*. Das Fehlen von Mollusken in den jüngsten Sedimenten (PZ Xb1 und Xc) dürfte auf die Auffüllung durch Flugsande sowie die Entwässerung durch Gräben in jüngster Zeit zurückzuführen sein.

Die in den Sanden (vorwiegend Flugsande) der obersten 59 Profilzentimeter (DZ 2) enthaltenen Gewässer-Diatomeen und Schwammnadeln dürften durch Umlagerung (Pflügen?), Einwehung und Einspülung in das Sediment gelangt sein. In den oberflächennahen Sedimenten dominiert die aerophile Diatomee *Hantzschia amphioxys*.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung im Gelände und fachliche Hinweise bei V. Häußler (Kühlungsborn), R. Lampe (Greifswald) und B. Bartels (Meschendorf) sowie bei H. Rabe (Greifswald) für die labortechnische Aufbereitung der Pollen- und Diatomeenproben. Unser Dank gilt des Weiteren R. Lampe für die Durchführung von Analysen von Geschiebemergelproben aus dem Meschendorfer Kliff sowie all Jenen, die uns beratend bei der Bestimmung der NPP-Mikrokörper unterstützten, insbesondere A. Barthelmes, P. de Klerk, B. Dietre, M. Feike, P. Frenzel, R. Gehrels, M. Schult, J. Strahl und M. Theuerkauf. Des Weiteren möchten wir uns bei Th. Hübener (Rostock) für Hinweise zur Milieuansprache der Diatomeen bedanken. Für die kritische Durchsicht und wertvolle Hinweise zum Manuskript bedanken wir uns bei J. Strahl.

## Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. - 438 S., Hannover (Schweizerbart)
- BARTHELMES, A., PRAGER, A. & JOOSTEN, H. (2006): Palaeoecological analysis of *Alnus* wood peats with special attention to non-pollen palynomorphs. – Review of Palaeobotany and Palynology **141**, 1-2, S. 33–51
- BEUG, H.-J. (2004): Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. 542 S.; München (Verlag Dr. Friedrich Pfeil)
- BOEHM-HARTMANN, H. (1937): Spät- und postglaziale Süßwasserablagerungen auf Rügen. I. Pollenanalytische und paläontologische Untersuchungen. – Archiv für Hydrobiologie **31**, S. 1–37
- BOHNCKE, S. J. P. & HOEK, W. Z. (2007): Multiple oscillations during the Preboreal as recorded in a calcareous gyttja, Kingbeekdal, The Netherlands. – Quaternary Science Reviews. – **26**, 15-16, S. 1965–1974
- BOND, G., SHOWERS, W., CHESEBY, M., LOTTI, R., ALMASI, P., DE MENOCAL, P., PRIORE, P., CULLEN, H., HAJDASAND, I., BONANI, G. (1997): A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. – Science **278**, 5341, S. 1257–1266
- BÖRNER, A., JANKE, W., LAMPE, R., LORENZ, S., OBST, K., SCHÜTZE, K. (2011): Geowissenschaftliche Untersuchungen an der OPAL-Trasse in Mecklenburg-Vorpommern – Geländearbeiten und erste Ergebnisse. Brandenburgische geowissenschaftliche Beiträge **18**, 1-2, S. 9–28
- BRAMER, H. (1975): Über ein Vorkommen von *Allerød* in Sedimenten der Ueckerländer Heide. - Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Greifswald, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe **24**, 3-4, S. 183–187
- CANTONATI, M., KELLY, M. G. & LANGE-BETALOT, H. (2017): Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. – 942 S.; Koeltz Botanical Books

- CHROBOK, S. M., NASS, A. & NITZ, B. (1983): Allgemeine Aspekte festländischer Kalkbildung periglaziärer und glaziär überformter Räume am Beispiel der Rüdnitz-Melchower Rücklandzone (Barnim). – *Z. geol. Wiss.* **11**, 2, S. 179–191
- DIETRE, B., WALSER, C., LAMBERS, K., REITMAIER, T., HAJDES, I. & HAAS, J. N. (2014): Palaeoecological evidence for Mesolithic to Mediaeval climatic change and anthropogenic impact on the Alpine flora and vegetation of the Silvretta Massif (Switzerland/Austria). – *Quaternary International* **353**, S. 3–16
- DUPHORN, K., KLIEWE, H., NIEDERMEYER, R.-O., JANKE, W. & WERNER, F. (1995): Die deutsche Ostseeküste. – Sammlung geologischer Führer **88**. – 285 S.; Stuttgart; Berlin (Borntraeger).
- EGGERS, T. O. & EISELER, B. (2007): Bestimmungsschlüssel der Süßwasser-Spongilidae (Porifera) Mittel- und Nordeuropas. – *Lauterbornia* **60**, S. 1–53
- ELLIS, M. B. & ELLIS, J. P. (1997): Microfungi on Land Plants. An Identification Handbook. – 868 S.; Slough (The Richmond Publishing)
- ENDTMANN, E. (2004): Die spätglaziale und holozäne Vegetations- und Siedlungsgeschichte des östlichen Mecklenburg-Vorpommern. Eine paläoökologische Studie. – 181 S.; Dissertation Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Universität Greifswald
- FIRBAS, F. (1949/1952): Waldgeschichte Mitteleuropas. – 2 Bände, 480/256 S.; Jena (Gustav Fischer).
- GEDDA, B. (2001): Environmental and climatic aspects of the early to mid-Holocene calcareous tufa and land mollusk fauna in southern Sweden. – *LUNDQUA Thesis* **45**, S. 1–50; Lund
- GELLERT, J. F. (1989): Geomorphologisch wirksame Prozesse und genetische Formtypen der Steilufer, insbesondere der südlichen Ostsee. – *Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau* **54**, S. 149–156
- HALLIK, R. & LUDWIG, A. O. (1959): Ein spätglaziales Torfprofil auf der Insel Usedom. – *Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg* **5**, S. 20–35
- HAASE, M., MENG, S. & HORSÁK M. (2021): Tracking parallel adaptation of shells morphology through geological times in the land snails genus *Pupilla* (Gastropoda: Stylommatophora: Pupillidae). – *Zoological Journal of the Linnean Society* **191**, S. 720–747
- HEERDT, S. (1965): Zur Stratigraphie des Jungpleistozäns im mittleren Nord-Mecklenburg. – *Geologie* **14**, S. 589–609
- HEIKKILÄ, M. & SEPPÄ, H. (2003): A 11.000-yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. – *Quaternary Science Reviews* **22**, 5-7, S. 541–554
- HENSEL, R. (2010): Fossile Seebecken im Kliffaufschluss bei Meschendorf (Nordwestmecklenburg) – Untersuchung zur Verbreitung, Stratigraphie und Sedimentgenese. – Diplomarbeit, Institut für Geographie und Geologie der Universität Greifswald, 162 S.
- HUPFER, P. HARFF, J., STERR, H. & STIGGE, H.-J. (2003): Die Wasserstände an der Ostseeküste. Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel, S. 19–21 und 220–231. – *Die Küste, Sonderheft* **66**, 331 S.
- JAECKEL, S. (1948): Die Molluskenfauna des postglazialen Querkalkes an der mecklenburgischen Küste bei Meschendorf. – *Archiv für Molluskenkunde* **77**, S. 91–97
- JANKE, W. (1978): Untersuchungen zu Aufbau, Genese und Stratigraphie küstennaher Talungen und Niederungen Nordost-Mecklenburgs als Beitrag zu ihrer geoökologischen und landeskulturellen Charakteristik. – Univ. Greifswald, Wiss. Rat, Habilitationsschrift, 172 S., Greifswald
- JANKE, W. (2002): Basin sands and inland dunes of the Lubminer Heide. *Greifswalder Geographische Arbeiten* **27**, S. 145–146
- JANKE, W. (2004): Holozän im Binnenland. – In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: S. 265–284; Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- JANKE, W. (2011): E 9: Kühlungsborn – Rostocker Heide. – In: NIEDERMEYER, R.-O., LAMPE, R., JANKE, W., SCHWARZER, K., DUPHORN, K., KLIEWE, H. & WERNER, F.: *Die deutsche Ostseeküste, Sammlung geologischer Führer* **105**, S. 206–219; Stuttgart (Borntraeger).
- JUGGINS, S. (2007): C2, Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation. User Guide Version 1.5. University of Newcastle
- JUEG, U. (2012): Dr. Gerhard Krille, ein passionierter Sammler für die Wissenschaft – Teil III: Zoologische Sammlung (außer Insekten). – *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Mecklenburg* **12**, 1, S. 37–57; Ludwigslust
- KAISER, K. (2004): Lake basin development in the Endinger Bruch area (Vorpommern, NE-Germany) during the Late Pleistocene and Early Holocene. – *Zeitschrift für Geomorphologie* **48**, S. 461–480
- KAISER, K., BARTHELMES, A., CZAKÓ PAP, S., HILGERS, A., JANKE, W., KÜHN, P., THEUERKAUF, M. (2006): A Lateglacial palaeosol cover in the Altdarss area, southern Baltic Sea coast (northeast Germany): investigations on pedology, geochronology and botany. – *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* **85**, 3, S. 197–220
- KAISER, K., LORENZ, S., GERMER, S., JUSCHUS, O., KÜSTER, M., LIBRA, J., BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2012): Late Quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact – an overview. – *E&G Quaternary Science Journal* **61**, S. 103–132.
- KAISER, K., ROTHER, H., LORENZ, S. GÄRTNER, P. & PAPEROTH, R. (2007): Geomorphic evolution small river-lake-systems in Northeast Germany during the Late Quaternary. – *Earth Surface Processes and Landforms* **32**, S. 1516–1532
- KAISER, K., SCHOKNECHT, TH., JANKE, W., KLOSS, K. & PREHN, B. (2002): Geomorphologische, palynologische und archäologische Beiträge zur holozänen Landschaftsgeschichte im Müritzgebiet (Mecklenburg-Vorpommern). – *Eiszeitalter und Gegenwart* **51**, S. 15–32
- KALIS, A. J., MERKT, J. & WUNDERLICH, J. (2003): Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews* **22**, 1, S. 33–79

- KATZUNG, G. (2004): Quartär an den Steilküsten der Ostsee. – In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: S. 292–332; Stuttgart (Schweizerbart).
- KOMÁREK, J. & JANKOVSKÁ, V. (2001): Review of the green Algal Genus *Pediastrum*; Implication for Pollenanalytical Research. – *Bibliotheca Phycologica* 108, 127 S.; Stuttgart (J. Cramer).
- KOLP, O. (1961): Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Mecklenburger Bucht. – *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 105, S. 249–254
- KOLP, O. (1964): Der eustatische Meeresspiegelanstieg im älteren und mittleren Holozän, dargestellt auf Grund der Spiegelschwankungen im Bereich der Beltsee. – *Petermanns geographische Mitteilungen* 108, S. 54–62
- KOPCZYŃSKA-LAMPARSKA, K., CIEŚLA, A. & SKOMPSKI, S. (1984): Evolution of fossil Lake Basins of the Late Glacial and Holocene in the Cliff near Niechorze (Pomeranian Lakeland, Poland). – *Quaternary Studies in Poland* 5, S. 39–58
- KOSSLER, A. & STRAHL, J. (2011): The Late Weichselian to Holocene succession of the Niedersee (Rügen, Baltic Sea) – new results based on multiproxy studies. – *E&G Quaternary Science Journal* 60, 4, S. 434–454
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1986-1991): *Bacillariophyceae*. – 4 Bände; Stuttgart, Jena. (Gustav Fischer)
- KROLOPP, E., LOŽEK, V., JÄGER, K.-D. & HEINRICH, W.-D. (1977): Die Konchylien aus dem fossilen Tierbautensystem von Pisede bei Malchin. – *Wissenschaftliche Zeitschrift der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Math.-naturwiss. Reihe* 26, 3, S. 257–274
- LAMPE, R. (2008): Ausmaß und Folgen isostatischer Erdkrustenbewegungen an der Ostsee NE-Deutschlands. – *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 62, S. 179–182
- LAMPE, R., JANKE, W., ZIEKUR, R., SCHURICHT, R., MEYER, H. & HOFFMANN, G. (2002): The Late glacial/Holocene evolution of a barrier spit and related lagoony waters – Schmale Heide, Kleiner Jasmunder Bodden and Schmachter See. – *Greifswalder Geographische Arbeiten* 27, S. 75–88
- LAMPE, R., LORENZ, S., JANKE, W., MEYER, H., KÜSTER, M., HÜBENER, TH., SCHWARZ, A. (2009): Zur Landschafts- und Gewässergeschichte der Müritz. – *Forschung und Monitoring* 2, 92 S.; Greifswald (Geozon Science Media)
- LAMPE, R., ENDTMANN, E., JANKE, W., & MEYER, H. (2010a): Relative sea-level development and isostasy along the NE German Baltic Sea coast during the past 9 ka. – *E&G Quaternary Science Journal* 59, 1/2, S. 3–20
- LAMPE, R., JANKE, W., TERBERGER, T., KOTULA, A. & KRINKE, K. (2010b): Exkursion F. Die Insel Rügen [II] – Meeresspiegelanstieg, Nehrungsentwicklung und frühe Siedler. – In: LAMPE, R.; LORENZ, S. (Hrsg.): *Eiszeitlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern*. – Exkursionsführer zur 35. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung in Greifswald: S. 112–131
- LAMPE, R., JANKE, W., SCHULT, M., MENG, S. & LAMPE, M. (2016): Multiproxy-Untersuchungen zur Paläoökologie und -hydrologie eines spätglazial- bis frühholozänen Flachsees im nordostdeutschen Küstengebiet (Glowe-Paläosee/Insel Rügen). – *E&G Quaternary Science Journal* 65, S. 41–75
- LANGE-BERTALOT, H. & METZELTIN, D. (1996): Oligotrophie-Indikatoren. 800 Taxa repräsentativ für drei diverse Seen-Typen. – *Iconographica Diatomologica*, vol. 2. – 390 S.; Hoeltz Scientific Books
- LANGER, H. (1954): Aufnahmebericht zur geologischen Übersichtskartierung (Maßstab 1:100.000) der Meßtischblätter Rerik, Kühlungsborn, Bad Doberan, Russow und Kröpelin. – Unveröffentl., LUNG Güstrow, 24 S.
- LATAŁOWA, M. & TOBOLSKI, K. (1989): Type Region P-u: “Baltic Shore“. – *Acta Palaeobotanica* 29, S. 109–114.
- LORENZ, S. (2007): Die spätpleistozäne und holozäne Gewässernetzentwicklung im Bereich der Pommerschen Haupteisrandlage Mecklenburgs. – 349 S.; Dissertation Univ. Greifswald.
- LORENZ, S. & JANKE, W. (2010): Kliffabschnitt Meschendorf – Fossile Seebecken im Kliffaufschluss. Sedimentations- und Siedlungsgeschichte am Rand der Wismarbucht. – In: LAMPE, R.; LORENZ, S. (Hrsg.): *Eiszeitlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern*. – Exkursionsführer zur 35. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung in Greifswald. – S. 6 ff.; Greifswald (Geozon Science Media).
- LOŽEK, V. (1964): Die Quartärmollusken der Tschechoslowakei. – *Rozprawy UUG* 31: 374 S., Prag.
- LOŽEK, V. (1982): Faunengeschichtliche Grundlinien zur spät- und nacheiszeitlichen Entwicklung der Molluskenbestände in Mitteleuropa. – *Academia Praha* 92 (4): 106 S.
- LUDWIG, A. O. (1963): Ein belebtes spätglaziales Becken im Fischland. – *Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg* 9, S. 81–87
- LUDWIG, A. O. (1964): Neue Fossilfunde im Spätglazial (Allerød) der Rostocker Heide. *Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg* 10, S. 59–66
- LÜBKE, H. (2000): Submarine steinzeitliche Fundstellen in der Wismar-Bucht. – In: *Skyllis, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie* 3, 1, S. 20–21
- LÜBKE, H. (2004): Spät- und endmesolithische Küstensiedlungsplätze in der Wismarbucht – Neue Grabungsergebnisse zur Chronologie und Siedlungsweise. *Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern* 52, S. 83–110; Lübstorf
- MAKHNACH, N., ZERNITSKAJA, V., KOLOSOV, I. & SIMAKOVA, G. (2004): Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 209, S. 73–101
- MANIA, D. (1973): Paläoökologie, Faunenentwicklung und Stratigraphie des Eiszeitalters im mittleren Elbe-Saalegebiet auf Grund von Molluskengesellschaften. – *Geologie, Beiheft* 78/79, 155 S.

- MENKE, B. (1968): Das Spätglazial von Glüsing. – Eiszeitalter und Gegenwart, 19, S. 73–84. In Bock, W.; Menke, B; Strehl, E. & Ziemus, H: Neuere Funde des Weichsel-spätglazials in Schleswig-Holstein. Eiszeitalter und Gegenwart 35, S. 161–180
- MENZEL-HARLOFF, H. & STRAHL, J. (2012): Die weichselglaziale bis holozäne Schichtenfolge des Niedersees (Jasmund, Insel Rügen) – Teil 2: Die holozäne Molluskenfauna unter besonderer Berücksichtigung der terrestrischen Gastropoden. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 19, 1, 49–56
- MEYRICK, R. A. (2001): The development of terrestrial mollusk faunas in the ‘Rheinland region’ (western Germany and Luxembourg) during the Lateglacial and Holocene. – Quaternary Science Reviews 20, S. 1667–1675
- MEYRICK, R. A. & PREECE, R. C. (2001): Molluscan successions from two Holocene tufas near Northampton, English Midlands. – Journal of Biogeography 28, S. 77–93
- MLUV M-V (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtsheft – Grundlagen, Grundsätze, Standortbestimmung und Ausblick. – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, 102 S.
- NESJE, A. & DAHL, S.O. (2001): The Greenland 8200 cal. yr BP event detected in loss-on-ignition profiles in Norwegian lacustrine sediment sequences. – Journal of Quaternary Science 16, 2, S. 155–166
- NIEDERMEYER, R.-O. (2011): Wismar-Bucht und Umgebung. – In: NIEDERMEYER, R.-O., LAMPE, R., JANKE, W., SCHWARZER, K., DUPHORN, K., KLIEWE, H. & WERNER, F.: Die deutsche Ostseeküste, Sammlung geologischer Führer 105: 195–206; Stuttgart (Borntraeger).
- NIEDERMEYER, R. O.; KLIEWE, H. & JANKE, W. (1987): Die Ostseeküste zwischen Boltenhagen und Ahlbeck, 164 S.; Gotha (Hermann Haack).
- PRAGER, A., BARTHELMES, A., THEUERKAUF, M. & JOOSTEN, H. (2006): Non-pollen palynomorphs from modern Alder carrs and their potential for interpreting microfossil data from peat. – Review of Palaeobotany and Palynology 141, S. 7–31
- PROSCHWITZ, T.V., SCHANDER, C., JUEG, U. & THORKILDSEN, S. (2009): Morphology, ecology and DNA-Bordring distinguish *Pupilla pratensis* (Clessin, 1871) from *Pupilla muscorum* (Linnaeus, 1758) (Pulmonata: Pupillidae). – Journal of Molluscan Studies, 75, S. 315–322
- RASMUSSEN, S. O., ANDERSEN, K. K., SVENSSON, A. M., STEFFENSEN, J. P., VINHER, B. M., CLAUSEN, H., SIGGAARD-ANDERSEN, M.-L., JOHNSEN, S. J., LARSEN, L. B., DAHL-JENSEN, D., BIGLER, M., RÖTHLISBERGER, R., FISCHER, H., GOTO-AZUMA, K., HANSSON, M. E., RUTH, U. (2006): A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. – Journal of Geophysical Research, 111
- REIMER, P. J. et al. (2004): IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. – Radiocarbon 46, S. 1029–1058
- REINHARD, H. (1959): Die mecklenburgische Ostseeküste und die Insel Rügen, Beiträge zur Entwicklung der Küstenlandschaft der südlichen Ostsee. Geographische Berichte. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik 10/11, S. 1–9
- RICHTER, G. (1968): Fernwirkungen der litorinen Ostseetransgression auf tiefliegende Becken und Flusstäler. – Eiszeitalter und Gegenwart 19, S. 48–72
- ROGGE, H. J. (1958): Bericht über die Strand- und Vorstranduntersuchungen zwischen Meschendorf und Fulgen. – Unveröffentlichter Bericht, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie M-V, Güstrow.
- SANKO, A., GAIGALES, A., RUDNICKAITĖ & MELEŠYTĖ, M. (2008): Holocene malacofauna in calcareous deposits of Dūkšta site near Maišiagalą in Lithuanian. – Geologija 50, 4, 64, S. 290–298
- SCHOKNECHT, TH. (1996): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations-, Siedlungs- und Landschaftsgeschichte in Mittelmecklenburg. – Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mecklenburg-Vorpommerns 29: 68 S. – Lübstorf (Archäologisches Landesmuseum M-V)
- SCHÜLER, G. (1987): Ingenieurgeologische Stellungnahme zu den Verhältnissen im Steiluferebereich des Campingplatzes Meschendorf. – Unveröff., Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow, 3 S.
- SCHULZ, W. (1988): Ingenieurgeologisches Gutachten zur Steilufersicherung bei Rerik –Meschendorf. – Unveröffentl., StaUN Rostock, 7 S.
- SCHULZ, W. (1994): Strukturelle Typisierung der Steilufer an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns. – Die Küste 56, S. 67–77
- SCHULZ, W. (1996): Bericht über die Veränderungen am Kliff zwischen Rerik, Meschendorf und dem Kägsdorfer Bach durch das Sturmhochwasser vom 3./4. 11. 1995. – Unveröff., Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow.
- STRAHL, J. (1996): Pollenanalytische Untersuchung eines Vibrokernprofils aus dem NW-Teil des Greifswalder Boddens, südliche Ostsee. – Senckenbergiana maritima 27, 1-2, S. 49–56
- STRAHL, J. (1999): Die Vegetationsgeschichte des Herthamoors in der Stubnitz (Halbinsel Jasmund, Rügen). – Greifswalder Geowissenschaftliche Beiträge 6, S. 437–477
- STRAHL, J. (2005): Zur Pollenstratigraphie des Weichsel-spätglazials von Berlin-Brandenburg. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 12, S. 87–112
- STRAHL, J. & KEDING, E. (1996): Pollenanalytische und karpologische Untersuchung des Aufschlusses Hölle unterhalb Park Dwasieden (Halbinsel Jasmund, Insel Rügen), Mecklenburg-Vorpommern. – Meyniana 48, S. 165–184
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – 622 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- SVENSSON, A., ANDERSEN, K. K., BIGLER, M., CLAUSEN, H. B., DAHL-JENSEN, D., DAVIES, S. M., JOHNSEN, S. J., MUSCHELER, R., RASMUSSEN, S. O., RÖTHLISBERGER, R., STEFFENSEN, J. P. & VINHER, B. M. (2006): The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15–42 ka. Part 2: comparison to other records. – Quaternary Science Reviews 25, 23–24, S. 3258–3267

- TAUBER, F. (2007): Sea floor exploration with sidescan sonar for geo-archeological investigations. – In: HARFF, J. & LÜTH, F. [Eds.]: SINCOS – Sinking coasts. Geosphere, Ecosphere and Anthroposphere of the Holocene Southern Baltic Sea. – Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 88, S. 67–78
- TINNER, W. & AMMANN, B. (2005): Reaktionsweisen von Gebirgswäldern – schneller als man denkt. – In: GAMERITH, W., MESSERLI, P., MEUSBURGER, P. & WANNER, H. (Eds.): Alpenwelten – Gebirgswelten. Inseln, Brücken, Grenzen. – 54. Deutscher Geographentag in Bern 2003, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlung: S. 95–101; Heidelberg; Bern u. a.
- GÜK 200 (1996): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern: Karte der quartären Bildungen 1:200000, Blatt 12/13 (Bad Doberan/Rostock). – Schwerin (Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern).
- VAN GEEL, B. (1978): A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. – Review of Palaeobotany and Palynology 25, S. 1–20
- VAN GEEL, B. & APTROOT, A. (2006): Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. – Nova Hedwigia 82, S. 313–329
- WENNRICH, V. et al. (2005): Late Glacial and Holocene history of former Salziger See, Central Germany, and its climatic and environmental implications. – International Journal of Earth Sciences 94, 2, S. 275–284
- WIJSTRA, T. A., SMIT, A., VAN DER HAMMEN, T. & VAN GEEL, B. (1971): Vegetational succession, fungal spores and short-term cycles in pollen diagrams from the Wietmarscher Moor. – Acta Botanica Neerlandica 20, 4, S. 401–412
- ZANDER, R. (1934): Die rezenten Änderungen der mecklenburgischen Küste. – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Rostock, Beiheft 1, 78 S; Rostock.
- ZETTLER, L. M., JUEG, U., MENZEL-HARLOFF, H., GÖLLNITZ, U., PETRICK, S., WEBER, E. & SEEMANN, R. (2006): Die Land- und Süßwassermollusken Mecklenburg-Vorpommerns. 318 S.; Schwerin (Obotritendruck).
- ZIMMERMANN, K. (1929): *Acanthinula lamellata* Jeffr. (Gastrop. Pulm) in Mecklenburg. – Archiv des Vereins der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 4, S. 36–43
- ZOLLER, H., SCHINDLER, C., RÖTHLISBERGER, H. (1966): Postglaziale Gletscherstände und Klimaschwankungen im Gotthardmassiv und Vorderrheingebiet. – Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel 77, S. 97–164

**Autoren:**

Roberto Hensel,  
Wolfgang Janke,  
Stefan Meng,  
Sebastian Lorenz

Institut für Geographie und Geologie,  
Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 16,  
D-17489 Greifswald  
sebastian.lorenz@uni-greifswald.de