

**Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben**

**Das Eem-Meer in Norddeutschland und angrenzenden Gebieten: Aufbau einer stratigraphischen Feingliederung und Untersuchung der paläohydrographischen Entwicklung nach isotopischen, sedimentologischen, geochemischen und faunistischen Kriterien**

**DFG-Forschungsvorhaben Wi 1322/1-1,-2**

**Kiel, April 1998**

**Berichterstatter:**

**Dr. K. Winn,**

**Geologisch-Paläontologisches Institut  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**Dr. H. Erlenkeuser,**

**Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
D-24098 Kiel**

## **Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben**

**Das Eem-Meer in Norddeutschland und angrenzenden Gebieten: Aufbau einer stratigraphischen Feingliederung und Untersuchung der paläohydrographischen Entwicklung nach isotopischen, sedimentologischen, geochemischen und faunistischen Kriterien**

**DFG-Forschungsvorhaben Wi 1322/1-1,-2**

**Kiel, April 1998**

### **Berichterstatter:**

**Dr. K. Winn,  
Geologisch-Paläontologisches Institut  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**Dr. H. Erlenkeuser,  
Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
D-24098 Kiel**

## Inhalt

- 1 Zusammenfassung**
- 2 Einführung**
- 3 Wissenschaftliches Programm**
  - 3.1 Untersuchungsziele
  - 3.2 Methodik
    - 3.2.1 Bohr- und Geländearbeiten
    - 3.2.2 Laboranalysen
    - 3.2.3 Palynologische Untersuchungen
    - 3.2.4 U/Th-Messungen
    - 3.2.5 Isotopen-Rezentstudie.
    - 3.2.6 Bemerkung
  - 3.3 Probenbearbeitung
- 4 Ergebnisse**
  - 4.1 Kernbohrung Dagebüll, Hauke-Haien-Koog
    - 4.1.1 Einführung
    - 4.1.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente
    - 4.1.3 Stratigraphie
    - 4.1.4 U/Th-Datierungen
    - 4.1.5 Palynologie
    - 4.1.6  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen
  - 4.2 Kernbohrung Krummland, Dänischer Wohld
    - 4.2.1 Einführung
    - 4.2.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente
    - 4.2.3 Stratigraphie
    - 4.2.4 U/Th-Datierungen
    - 4.2.5 Palynologie
    - 4.2.6  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen
  - 4.3 Forschungsbohrungen der Geologischen Landesämter
    - 4.3.1 Einführung
    - 4.3.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente
    - 4.3.3 Stratigraphie
    - 4.3.4  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen
  - 4.4 Geländebeprobungen: Klüßer Nische, Arkona auf Rügen
    - 4.4.1 Profilaufnahme und Beprobung
    - 4.4.2 Stratigraphie
    - 4.4.3 U/Th-Datierungen
    - 4.4.4 Palynologie
    - 4.4.5  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen
  - 4.5 Geländebeprobungen Stohl, Schwaan und Klein Klütz-Höved
    - 4.5.1 Profilaufnahme und Beprobung
    - 4.5.2 U/Th-Datierungen
    - 4.5.3  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen
  - 4.6 Isotopen-Rezentstudie
- 5 Diskussion**
  - 5.1 Isotomie und Salztektunik
  - 5.2 Geologische und hydrologische Entwicklung des Eem-Meeress  
    - 5.2.1 Das frühe Eem
    - 5.2.2 Das Haupt-Eem
    - 5.2.3 Das späte Eem
  - 5.3 Globaler Meeresspiegel im Eem

**6**    **Schlußfolgerungen**

**7**    **Danksagung**

**8**    **Referenzen**

**9**    **Verzeichnis der Abbildungen**

**10** **Verzeichnis der Tabellen**

**11** **Anhang**

A      Kern DA1 (Dagebüll): Zur Ostrakoden-Fauna - P. Frenzel, Univ. Greifswald

B      Kern DA1 (Dagebüll): Zur Palynologie - R. Glos, Univ. Kiel

C      Kern KR1 (Krummland): Zur Palynologie - F.R. Averdieck, Univ. Kiel

D      Kern KB VI (Dagebüll): Makrofaunen und Faziesgliederung - W. Hinsch, LANU, Kiel

E      Veröffentlichungen aus dem Projekt

# Das Eem-Meer in Norddeutschland und angrenzenden Gebieten: Aufbau einer stratigraphischen Feingliederung und Untersuchung der paläohydrographischen Entwicklung nach isotopischen, sedimentologischen, geochemischen und faunistischen Kriterien

Kyaw Winn und Helmut Erlenkeuser, Kiel

## 1 Zusammenfassung

### Probengewinnung

An den eemzeitlichen Ablagerungen sollte mit möglichst hoher Auflösung die paläohydrographische Entwicklung des eemzeitlichen Interglazials zwischen Nord- und Ostsee untersucht werden. Dazu haben wir im Projekt nach Abstimmung mit dem Geologischen Landesamt (GLA, jetzt: Landesamt für Natur und Umwelt - LANU) des Landes Schleswig-Holstein 2 Bohrungen niedergebracht, bei Dagebüll (Westküste) und bei Krummland (Dänischer Wohld, östl. Hügelland), an Bohrungen des LANU partizipiert (Tüschembek, Blankensee, Groß Weeden bei Lübeck), Archivproben des LANU verwenden können (Kropp, mittl. Schleswig-Holstein), sowie an einer Bohrung des GLA Mecklenburg-Vorpommern bei Schönberg teilgenommen und mitbeprobte und verschiedene Aufschlüsse in eem-führenden Schollen beprobt (Stohl, Dänischer Wohld; Klein Klütz Höved, Schwaan und Rügen in Mecklenburg-Vorpommern).

### Bearbeitung

Die Bohrkerne wurden sedimentologisch und erstmals auch magneto-stratigraphisch untersucht. Die eemzeitlichen Ablagerungen wurden lithostratigraphisch, mikropaläontologisch, isotopisch und palynologisch bearbeitet. Die Foraminiferenfauna wurde halb-quantitativ erfaßt, und 3 bis 4 Arten wurden für die Isotopenanalyse ausgelesen. An der Universität Heidelberg (Prof. A. Mangini) wurden U/Th-Datierungen an Molluskenschalen durchgeführt, in Greifswald (Dipl.-Geol. P. Frenzel) die Mollusken- und Ostrakoden-Fauna von Dagebüll detailliert untersucht und im Archäobotanischen Labor im Inst. für Ur- und Frühgeschichte, Kiel (Dipl. Biol. R. Glos, Dr. F.R. Averdick, i.R.) die pollenfloristische Entwicklung erarbeitet. In Zusammenarbeit mit Dr. K. Nordberg, Universität Göteborg, konnten wir an einer Zeiterie rezentere *Ammonien* aus einem dem Eem vergleichbaren Brackwasserphysiotop die Signifikanz der isotopischen Signale untersuchen.

### Relative Zuordnung der Sedimentfolgen

Von differentiellen und lokalen salttektonischen Bewegungen scheinen unsere Kerne nicht gravierend betroffen, und die frühen Transgressionshorizonte (um -30 m NN) in Schleswig-Holstein sind daher zeitlich vergleichbar. Im Bereich der weichselzeitlichen Vergletscherung sind z.T. erhebliche Abschnitte des Eem glazial überfahren.

Die Korrelation der Bohrkerne greift außer auf die Lithostratigraphie wesentlich und die Pollenanalyse zurück. Sie erleichtert es sehr, bei den weit auseinanderliegenden Kernpositionen zwischen Nord- und Ostsee und den verschiedenen hydrographischen Rahmenbedingungen die zeitliche Vergleichbarkeit zu gewinnen. Alle erbohrten Sedimente zeigen die Transgressionsphase um -30 m NN und das folgende "Hoch-Eem", die pollenfloristisch wärmste Phase des

Eem. Das Hoch-Eem findet sich auch in den Schollenprofilen, so daß ein großräumiger Vergleich für diesen Zeitraum von Dagebüll bis Rügen möglich ist.

Die Ablagerungen von Dagebüll erbringen bis auf die weniger detailliert hinterlassene Transgressionsphase und das Hocheem facettenreiche Aussagen über die Nachwärmezeit des Eem und seinen Ausklang. Die Abfolge von Krummland erfaßt die terrestrische bis limnische Spät-Saale, die Früh- und Vorwärmezeit und hochauflösend das marine Hocheem und die anfängliche Nachwärmezeit. Die übrigen Folgen geben meistens Abschnitte aus dem Hocheem wieder.

#### Absolute Einordnung der Sedimentfolgen

Durch ein (mittleres) U/Th-Alter von  $132 \pm 1$  ka für das Hocheem wurde auch die absolute Konnektierung mit der globalen Klima- und Meeresspiegelkurve möglich. Dies stellt das Hoch-Eem in die frühe Phase des Interglazials bei einem noch steigenden globalen Meeresspiegel und zeigt (im Rahmen der hier vertretbaren Auflösung) die Kohärenz mit verschiedenen anderen Klimasignalen, wie aus der Antarktis (Vostok-Eiskern: Isotopendaten) und aus der Norwegen-Grönland-See (Sedimentkerne: Faunen-Entwicklung und Isotopen-Profile planktischer und benthischer Foraminiferen).

#### Detailergebnisse

Für die vergleichsweise flachen Eem-Gewässer Schleswig-Holsteins wird eine wesentlich differenziertere Aussage zur paläohydrographischen Entwicklung unter dem Aspekt der Saisonalität möglich. Sie wird durch die Isotopenwerte der sommerlich kalzifizierenden Foraminifere *Ammonia beccarii* und der 'Winterforaminifere' *Bucella frigida* zugänglich. *Bucella* ermöglicht unter der Voraussetzung weitgehend einheitlicher niedriger Temperaturen einen weiträumigen Vergleich der Bodenwassersalinitäten im Hocheem. *Ammonia* integriert den sommerlichen Temperatureinfluß nebst einem möglichen saisonalen Salinitätseffekt. Diese Effekte hängen von der Wassertiefe ab, die sich auf diese Weise im Isotopenmuster abzeichnet. Die Ableitung quantitativer Temperatur- und/oder Salinitätsdaten von den Isotopenwerten der *Ammonia* ist allerdings erschwert.

Den Ergebnissen nach hat vermutlich schon vor der hier erfaßten Transgression um -30 m NN eine wirksame Verbindung zwischen der Ostsee und dem Weltmeer (durch die Paläo-Nordsee ?) bestanden, denn die Salinität im Bodenwasser bei Rügen war im Hocheem ungeachtet der großen Entfernung nur wenig niedriger als bei Dagebüll und Kropp in Schleswig-Holstein. Die absoluten Salinitätswerte scheinen im Hocheem nach *Bucella* in der westlichen Ostsee etwas höher gewesen zu sein als die Werte heute.

Die Transgression (bei ca. -30 m NN) fällt nach der Pollenanalyse an den Beginn des Hoch-eem. Tüschembek zeigt einen mehrfachen Wechsel brackischer und limnischer Sedimente und deutet damit mehrere Transgressionschübe an.

Die Hocheemfolge von Krummland wurde bei flacherem Wasserspiegel abgelagert, schätzungsweise um 10 m, und ist daher noch stark dem Einfluß des Landklimas unterworfen. Es zeigen sich keine übermäßigen Variationen, die auf gravierende Klimarückschläge, z.B. auf glaziales Niveau, hinweisen.

Am Ende des Hocheem war der maximale Meeresspiegelstand des Interglazials noch nicht erreicht. Der weitere Anstieg in der Nachwärmezeit ist in Dagebüll detailliert durch die differentielle Entwicklung der Isotopendaten von *Ammonia* und *Bucella* belegt.

Der maximale Stand ist erst in der Nachwärmezeit erreicht, stratigraphisch u.E. wahrscheinlich in den frühen Olander Schichten (Dagebüll-Kern) um 18,5 m oder noch später. Zuvor schon gibt das Isotopenbild Überflutungen wieder. Das Bild der Ostrakoden-Faunen zeigt Regressionstendenzen (Verflachung des Ablagerungsgebietes) oberhalb 18,4 m Kernteufe. Die Olander Schichten zeigen wechselnde Intensität der hydrographischen Anbindung des Dagebüll-Raumes an die Nordsee - die nördliche Verbindung mit der Paläo-Nordsee entstand zu dieser Zeit. Dieser Befund hat wohl nur lokale Bedeutung. Allerdings wird durch diese Phänomene der globale Gang überlagert, und die weitere Entwicklung des Meeresspiegels bleibt undeutlich. Möglicherweise hat der hohe Meeresspiegelstand bis gegen Ende der Nachwärmezeit bestanden. Die Fauna der oberen Olander Schichten deutet auf ein sehr flaches, aber offenes Meer, ähnlich den Wattgebieten an der heutigen schleswig-holsteinischen Westküste.

Das Nebeneinander von terrestrischen Klimasignalen und Zeugnissen der marinen Entwicklung des Eem machen Schleswig-Holstein zu einem interessanten Gebiet, die Details der eemzeitlichen Entwicklung zu untersuchen und in den Kontext der globalen Entwicklung zu stellen. Allerdings bedarf es weiterer hochauflösender Untersuchungen an Bohrkernen, diesen globalen Anteil von den lokalen Signalen sicher zu abstrahieren.

Der maximale Stand ist erst in der Nachwärmezeit erreicht, stratigraphisch u.E. wahrscheinlich in den frühen Olander Schichten (Dagebüll-Kern) um 18,5 m oder noch später. Zuvor schon gibt das Isotopenbild Überflutungen wieder. Das Bild der Ostrakoden-Faunen zeigt Regressionstendenzen (Verflachung des Ablagerungsgebietes) oberhalb 18,4 m Kernteufe. Die Olander Schichten zeigen wechselnde Intensität der hydrographischen Anbindung des Dagebüll-Raumes an die Nordsee - die nördliche Verbindung mit der Paläo-Nordsee entstand zu dieser Zeit. Dieser Befund hat wohl nur lokale Bedeutung. Allerdings wird durch diese Phänomene der globale Gang überlagert, und die weitere Entwicklung des Meeresspiegels bleibt undeutlich. Möglicherweise hat der hohe Meeresspiegelstand bis gegen Ende der Nachwärmezeit bestanden. Die Fauna der oberen Olander Schichten deutet auf ein sehr flaches, aber offenes Meer, ähnlich den Wattgebieten an der heutigen schleswig-holsteinischen Westküste.

Das Nebeneinander von terrestrischen Klimasignalen und Zeugnissen der marinen Entwicklung des Eem machen Schleswig-Holstein zu einem interessanten Gebiet, die Details der eemzeitlichen Entwicklung zu untersuchen und in den Kontext der globalen Entwicklung zu stellen. Allerdings bedarf es weiterer hochauflösender Untersuchungen an Bohrkernen, diesen globalen Anteil von den lokalen Signalen sicher zu abstrahieren.

## 2 Einführung

Nach der Nomenklatur der marinen Sauerstoff-Isotopen-Stadien, denen als Merkmal das Häufigkeitsverhältnis der stabilen Isotope  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  im Karbonat planktischer und benthischer Foraminiferen zugrunde liegt, fällt das letzte Interglazial in das Isotopenstadium 5e. Wir setzen bis auf weiteres dieses marin-definierte Interglazial synchron mit der pollenfloristisch an Torfablagerungen auf dem Land definierten Zwischeneiszeit, dem Eem-Interglazial (benannt nach der Typlokalität am Fließchen Eem in den Niederlanden). Dies dürfte für den Hauptteil und die späte Phase dieses Interglazials richtig sein, in der vorangehenden Zeit hoher Dynamik von Eiskappenumfang, Meeresspiegelstand und Vegetationsentwicklung während der Deglaziation der Saale-Eiszeit (Isotopenstadium 6) und frühen Wärmezeit könnten allerdings auch asynchrone Entwicklungen deutlich werden. Allerdings haben die jüngeren, hochauflösenden Untersuchungen an wohl-datierten marinen wie terrestrischen Klimaanzeigern für NW-Europa eine bis in Einzelheiten zu verfolgende Kopplung beider Befundgruppen für die spät- und postglaziale Situation zum Holozän gezeigt, so daß wir vorerst auch für die Vor- und Frühphase des Eem eine ähnlich enge Synchronität annehmen.

Das Eem-Interglazial war etwas wärmer als das Holozän, und der Meeresspiegel lag um +4 bis +7 m über NN (Lambeck & Nakada, 1992). Während der Eem-Zeit überdeckte das Meer weite Teile des heutigen Festlandes von den Niederlanden über Norddeutschland und Dänemark bis in die östlichen Randgebiete der Ostsee. Der Wasseraustausch der eemzeitlichen Ostsee mit dem Nordmeer erfolgte nicht nur entlang der Kattegat/Skagerrak-Depression - wenn dort überhaupt (s.u.) - wie in der gegenwärtigen Warmzeit (Seidenkrantz, 1993), sondern auch durch ost-westlich verlaufende Meeresstraßen im südlichen Dänemark und Norddeutschland. Die Ausdehnung des Eem-Meeres im Nordseeraum wurde an Hand der Sedimente schon seit langem untersucht (Madsen et al., 1908; Heck, 1932 u.a.). Nach den grundlegenden Arbeiten von Dittmer (1941) über das maritime Eem an der Westküste Schleswig-Holsteins haben in neuerer Zeit Kosack und Lange (1985) und Temmler (1995) die Aufklärung der regionalen Ausdehnung des Eem-Meeres zwischen Nord- und Ostsee weitergebracht. An Hand einer großen Zahl neuer Bohrungen konnte die Rekonstruktion des Verlaufs der Meeresingression mit Küstenlinien, Tiefenverhältnissen und den später einsetzenden Verlandungsprozessen im westlichen Schleswig-Holstein überarbeitet und wesentlich verfeinert werden (Abb. 1).

Das Eem-Meer hat in diesen Gebieten z.T. mächtige Ablagerungen hinterlassen, die im Westen von den Talsanden der späteren Weichsel-Kaltzeit überdeckt sind und deren Abfolge östlich des Weichseleisrandes vielfach durch die Eistektonik zerstört und in einzelne, meist auch umgelagerte, dabei aber z.T. sehr mächtige Schollen zergliedert ist.

Die Ablagerungen des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein sind brackisch-mariner Natur. Die Ansprache der eemzeitlichen Ablagerungen erfolgt an Hand der Faunengemeinschaften, über den palynologischen Befund und nicht zuletzt auch nach sedimentologischen Kriterien wie die lithostratigraphische Entwicklung. Dabei zeigen die weiter landwärts liegenden Sedimente weit stärker verbracktes Milieu als die westlicheren wie auch die östlicher liegenden Sedimente. Generell dürfte im Hoch-Eem die Situation ähnlich der heutigen im Bereich von Kattegat/ Belt-See/westliche Ostsee gewesen sein, auch hinsichtlich der Wassertiefen (generell bis zu 30 m, in

Rinnen tiefer) und der saisonalen Temperatur- und Salinitätsvariationen (0...10°C, 10...25‰) im Tiefenwasserbereich, wobei im einzelnen orographische Faktoren wie auch die übergreifende globale Entwicklung des Meeresspiegels eine entscheidende Rolle spielen.

Die Sedimente des vergleichsweise flachen Eem-Meeres in Schleswig-Holstein sind aus paläoklimatischer Sicht von besonderem Interesse, da die Gewässer durch die Einbettung in ein terrestrisches Umfeld klimatisch weniger träge als ein offener Ozean sind und daher empfindlicher reagieren. So können ihre Sedimente eventuelle Instabilitäten des interglazialen Warmzeitklimas im einzelnen festhalten, zumal wegen der Landnähe eine vergleichsweise hohe Sedimentationsrate und hohe zeitliche Auflösung gegeben ist.

### 3 Wissenschaftliches Programm

#### 3.1 Untersuchungsziele

Es war das Ziel, die Entwicklung des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein über die verschiedenen Phasen der Ingression, des Hochstandes und der Regression an mehreren, hydrographisch unterschiedlich disponierten Lokalitäten nach verschiedenen Kriterien zu verfolgen. Dabei war es nicht zuletzt ein Ziel, die klimatische Stabilität des Eem-Interglazials zu prüfen und mögliche Entwicklungsstufen des eemzeitlichen Klimasignals zu erkennen. Durch die kontroversen Befunde an den grönländischen Eiskernen von GRIP und GISP ist gerade der Frage nach der klimatischen Stabilität der Zwischeneiszeiten neue Bedeutung zuzumessen.

Die geringe, im Verlauf der Klimageschichte zeitlich wie örtlich variierende Wassertiefe wie auch die variable Salinität und Temperatur des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein fördern nur das Auftreten spezieller, anpassungsfähiger Foraminiferarten, so daß die Entwicklung von empirischen Transfer-Funktionstechniken kaum möglich erscheint. Hinzu kommt, daß die verbleibenden Arten Veränderungen ihrer Umwelt in hohem Maße tolerieren können.

Es war daher das Ziel, eine umfassende Untersuchung an Hand der stabilen Isotope in den biogenen Karbonatschalen durchzuführen, die die sich verändernden Bedingungen unmittelbar festhalten. Dabei hängt das Häufigkeitsverhältnis der Sauerstoffisotope sowohl von der Temperatur bei der Karbonatabscheidung als auch von dem Süßwasseranteil, d.h. der Salinität ab. Faunistische Kriterien sollten weitere, unabhängige Informationen über die Rahmenbedingungen liefern. Es sollte weiter geprüft werden, inwiefern eine eventuelle isotopische Entwicklung im Eem zur Einordnung der aus dem Zusammenhang gerissenen eemzeitlichen Schollen zu nutzen wäre.

#### 3.2 Methodik

Das Probenmaterial der eemzeitlichen Ablagerungen wurde durch eigene Bohrungen, durch Mitbeprobung bei Bohrungen wie auch durch Rückgriff auf Archivmaterial des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU; früher: Geologisches Landesamt) und des Geologischen Landesamtes Mecklenburg-Vorpommern, sowie durch eigene Beprobung anstehender Eem-Folgen im Gelände gewonnen (Tab.1).

##### 3.2.1 Bohr und Geländearbeiten

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Kernbohrung im Hauke-Haien-Koog bei Dagebüll (Bohrung DA 1, 54°42'N, 8°45'E, 1,9 m über NN) bis 30,5 m Teufe (Abb. 1) am 19/20. Sept. 1994 abgeteuft.

Die zweite Bohrung (KR 1, 54°27'N, 9°58'E, 10,5 m über NN) wurde gemeinsam mit dem LANU im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins bei Krummland im Dänischen Wohld am 14/15. Nov. 1995 niedergebracht und erreichte eine Endteufe von 46,1 m.

In weiteren Kernbohrungen des LANU in der Lübeck-Einbuchtung des Eem-Meeres (Abb. 1) wurden brackische bis marine Eem-Schichten durchteuft. In Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Hans-Jürgen Stephan, LANU, wurde eine Beprobung der gesamten Eem-Ablagerungen in den drei Kernbohrungen bei

- Tüschembek (53°47,1'N, 10°44,1'E, 10,3 m über NN),
- Blankensee (53°47,7'N, 10°42,2'E, 15,5 m über NN),
- Groß Weeden (53°44,5'N, 10°36,4'E, 29,4 m über NN)

durchgeführt. Zusätzlich konnten wir zusammen mit Herrn Dr. Karl Gürs, LANU, auf grob-auflösende Archivproben des Amtes von der

-- Bohrung Kropp (54°24,9'N, 9°30,4'E, 17 m über NN) bei Rendsburg zurückgreifen. Außerdem wurde eine 12 m mächtige, brackisch-limnische Eem-Ablagerung --bei Schönberg, Rammkernbohrung B1/IV/95 (53°51,3'N, 10°52,7'E, 49,0 m über NN) des Geologischen Landesamtes Mecklenburg-Vorpommern, in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Ulrich Müller von uns mitbeprob.

Ferner wurden Profilaufnahmen und Beprobungen an folgenden Schollen an der Steilküste der südlichen bzw. westlichen Ostsee durchgeführt:

- Cyprintonen der Klüßer Nische, Kap Arkona auf der Insel Rügen
- marine Eem-Scholle bei Stohl/Marienfelde, Dänischer Wohld, Schleswig-Holstein
- Brackwasser-Scholle bei Klein Klütz-Höved, Mecklenburg-Vorpommern, und
- Brackwasser-Aufschlüsse in einer Sandgrube bei Schwaan, Mecklenburg-Vorpommern.

### 3.2.2 Laboranalysen

Neben Analysen sedimentphysikalischer und chemischer Eigenschaften der erbohrten Proben (magnetische Suszeptibilität der Bohrkernabschnitte, Wassergehalt, Dichten, karbonatischer und organischer Kohlenstoffgehalt) wurde von allen Proben eine Faunenanalyse an Hand der biogenen Karbonatschalen durchgeführt, die Foraminiferenfauna und Mollusken nach Arten separiert und die ausgewählten Foraminiferenarten für die Isotopenanalyse vorbereitet. Die drei Hauptvertreter der Foraminiferen waren *Ammonia batavus* (HOFKER) bzw. *A. beccarii* (LINNAEUS, 1758), *Nonion germanicum* (EHRENBERG) bzw. *N. sp.* und *Bucella frigida* (CUSHMAN) sowie zusätzlich in ausgewählten Abschnitten *Elphidium albiumbilicatum* (WEISS). Insgesamt wurden über 1700 Proben sedimentologisch-mikropaläontologisch bearbeitet und über 2600 Isotopenanalysen durchgeführt. Damit konnte eine zeitliche Auflösung von ca. 50 Jahren in der Eem-Sequenz der Dagebüll-Folge und im Kern von Krummland erreicht werden. - Kleinere Einzelproben angrenzender Teufen wurden ggf. zusammengelegt - solche von *B. frigida* -, um eine ausreichende Probengröße für die Isotopenanalyse zu gewinnen. - Eine kurze Übersicht über die Beprobungen zeigt Tab. 1.

Während des Auslesens wurden zugleich die drei o.g. Haupt-Foraminiferenarten gezählt, da insbesondere das Auftreten der Kaltwasser-Foraminifere *B. frigida* und der Brackwasser- bis Salzwiesen-Form *A. beccarii/batavus* ökologische Signifikanz haben könnte.

Um die beprobten Eem-Sequenzen und ihre lokalen Charakteristika in den regionalen bis globalen Zusammenhang stellen zu können oder auch um weitergehende mikropaläontologische Analysen durchzuführen, wurde die Hilfe externer Kollegen für die Pollenanalyse, U/Th-Datierungen und Gesamt-Faunenanalyse in Anspruch genommen.

### 3.2.3 Palynologische Untersuchungen

Die stabilen Isotope der benthischen Karbonatschaler aus den hier untersuchten Eem-Ablagerungen können nicht ohne weiteres in die (weit weniger gut aufgelöste) globale marine Isotopenkurve eingepaßt werden, weil der lokale Einfluß von Temperatur und Süßwasser ein eigenes Muster formt. Doch erlaubt die palynologische Analyse, die pollenfloristische Entwicklung des Eem nachzuvollziehen und mit anderen eemzeitlichen Pollenspektren NW Europas, vor allem niederländischen, in den stratigraphischen Kontext zu stellen.

Pollenanalysen am marinen Eem von Dagebüll werden von Herrn Dipl.-Biol. Rainer Glos, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Univ. Kiel, bearbeitet. Proben der Bohrung Krummland werden von Herrn Dr. Fritz-Rudolf Averdieck, Wiss. Dir. i. R., analysiert.

### 3.2.4 U/Th Messungen

Da die absolute Zeitskala notwendig ist, den Ablauf der Eem-Transgression und Regression mit den Befunden aus den Sedimenten zu verknüpfen, wurden Bivalvienschalen aus den Dagebüll-Bohrkernen (insgesamt 14 Proben), aus Stohl, Klein Klütz-Höved und Schwaan (insgesamt 14 Proben) an Prof. Dr. Augusto Mangini, Institut für Umweltphysik, Heidelberger Akademie der Wissenschaften, zwecks absoluter Altersbestimmung gesandt.

### 3.2.5 Isotopen-Rezentstudie

Die hier untersuchten eemzeitlichen benthischen Foraminiferenarten haben vermutlich in Wassertiefen kalzifiziert, in denen saisonale Veränderungen von Temperatur und Salinität ähnlich der heutigen Situation in den Rinnen der Kieler Bucht (Seibold et al., 1972) spürbar waren. Wegen dieses saisonalen Einflusses kommt dem Kalzifizierungsrhythmus dieser Faunen eine zentrale Bedeutung für das Verständnis des Isotopenbefundes zu.

Wir haben zu diesem Themenkreis eine Zusammenarbeit mit Dr. Kjell Nordberg vom Dept. of Oceanography, Earth Sciences Center, der Universität Göteborg begonnen, der eine Rezentstudie an den Foraminiferenfaunen im Havstensfjord bei Uddevalla, SW Schweden, samt Temperatur- und Salinitätsanalysen durchgeführt hat. Dr. Nordberg hat seine monatlich genommenen Proben für die Isotopenanalyse verfügbar gemacht.

### 3.2.6 Bemerkung

Bei der Taxonomie der Foraminiferen haben wir uns auf veröffentlichte Untersuchungsergebnisse gestützt, z.B. für Dagebüll auf Knudsen (1985), für die Klüsser Nische, Rügen, auf Frenzel (1995) und für Stohl auf Konradi (1976) und Kubisch & Schönfeld (1985). Bei *Nonion* und *Elphidium* ist in vielen Proben ein Übergang zwischen den beiden Arten zu beobachten. Deshalb erkannte Konradi (1976) in seiner Stensigmoose-Arbeit keine *Nonion*, sondern sprach von *Protoelphidien*. Diese Übergangsform spiegelt sich in unseren isotopischen Werten wider. Sicherlich benötigt die *Elphidien*-Taxonomie dringend eine Überarbeitung.

Die Foraminifere *B. frigida* ist normalerweise sehr dünnchalig und auch sehr klein, so daß mehrere Exemplare für eine Isotopen-Messung benötigt wurden. Wo wenig Exemplare vorhanden waren, haben wir die Proben zusammengelegt, um die erforderliche Mindestmenge zu erreichen. In den rezenten Proben aus dem Havstensfjord, SW Schweden, war die Menge der Gehäuse für Isotopenanalysen leider nicht ausreichend.

Bei *Ammonia* wurde von uns keine Trennung zwischen *A. batavus* (HOFKER) und *A. beccarii* (LINNAEUS, 1758) gemacht. Im Isotopen-Niveau zeigte sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Arten.

Die geplante Detailbeprobung und Isotopenanalyse von Bivalvienschalen zur Untersuchung der Paläosaisonalität wurde noch nicht durchgeführt; die nötige Arbeitskraft war nicht verfügbar. Doch wurden einige techn. Voraussetzungen geschaffen, um die geringen Karbonatmengen, die bei der Beprobung nur verfügbar sein werden, sicher und verschleppungsfrei für die Isotopenanalyse zu gewinnen.

Außerdem mußte die Weiterbearbeitung der Geländeproben aus Mecklenburg-Vorpommern zurückgestellt werden.

### 3.3 Probenbearbeitung

Zum ersten Mal an derartigen Sedimenten aus Kernbohrungen an Land wurden vor der Öffnung der 10 cm starken Kerne im Labor kontinuierlich (in 1 cm-Schritten aufgelöst) die

magnetische Suszeptibilität gemessen, um weitere stratigraphische Hinweise zu erhalten. Erhöhte magnetische Suszeptibilität ist zum Teil an Eisenoxide geknüpft, die bakteriell bei Bodenbildung entstehen. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, daß klimarelevante Signale in den Sedimenten abgelagert werden (z.B. für Pflanzenwuchs und Humusbildung in warmen Klimaphasen).

Die Kernabschnitte wurden dann der Länge nach aufgesägt, sedimentologisch beschrieben und farbphotographisch dokumentiert, und jeweils eine Hälfte wurde sorgfältig verschlossen und archiviert. Vom anderen Teil wurden 1 cm starke Scheiben genommen und Radiographien erstellt, um Schichtungsdetails und Wühlspuren erkennen zu können.

Vom verbleibenden Halbkern wurden in 2 cm Abstand 10-12 ml Sediment zylindrisch ausgestochen. Von grobkörnigen Lagen wurde stattdessen ein 1 cm starker Querschnitt der gesamten Arbeitshälfte genommen.

An diesen Proben wurden Wassergehalt und Dichte des Sedimentes bestimmt, die gefriergetrockneten Proben über ein 63 µm Sieb geschlämmt und die Rückstände bei 60°C getrocknet. Der Anteil <63 µm wurde aufgefangen (bei Bohrung DA1) und zur palynologischen Untersuchung an Herrn Holger Ziemus, LANU, weitergegeben.

Sofern wenig klastische und grob-karbonatische Anteile vorhanden waren, wurden aus dem Siebrückstand (>63 µm) die Foraminiferenarten *A. batavus/beccarii*, *N. germanicum* bzw. *N. sp.* und *B. frigida* ausgelesen, Arten, die sich bei eigenen Vorarbeiten (Winn et al. 1994) als geeignet erwiesen hatten, sowie ggf. *Elphidium albiumbilicatum* (WEISS). Bei größeren Schlämnrückständen (sandreiche Proben) wurden die Foraminiferen durch Flottieren per Tetrachlorkohlenstoff gewonnen. Ein Versuch, die nicht-toxische Natrium-Metatungstat-Lösung anzuwenden, schlug wegen zu hoher Viskosität und Oberflächenspannung fehl. Bei Rückständen mit wenig Foraminiferen wurden die gesamten Rückstände unter dem Mikroskop durchgesehen.

Beim Auslesen der Foraminiferen-Proben für die Isotopenanalyse wurden zugleich die o.g. drei Hauptarten gezählt. Insbesondere das Auftreten der Kaltwasser-Foraminifere *B. frigida* und der Brackwasser- bis Salzwiesen-Form *A. beccarii* hat möglicherweise ökologische Signifikanz.

Die Foraminiferenschalen wurden in Spitzboden-Autoanalyser-Bechern unter Ethanol im Ultraschallbad je nach Art und Grad der Verunreinigung 0,5 bis 3 Minuten gereinigt und suspendiertes Feinkorn mit dem Ethanol dekantiert. Nach Kontrolle der Reinheit der Schalen unter dem Mikroskop wurden die Proben im Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Universität Kiel (vormals: C14-Labor des Instituts für Reine und Angewandte Kernphysik) isotopisch analysiert.

Die Isotopenanalyse erfolgte mit der Carbo-Kiel-Anlage („Kiel Device“) zur isotopenstabilen CO<sub>2</sub>-Präparation aus Karbonaten im 6-600 µg-Bereich, die in direkter Kopplung mit einem Finnigan MAT 251 Gasisotopenmassenspektrometer arbeitet. Die externe Reproduzierbarkeit beträgt ±0,08 ‰ auf der δ<sup>18</sup>O- und ±0,05 ‰ auf der δ<sup>13</sup>C-Skala. Die Isotopenwerte sind auf der international üblichen PDB-Skala angegeben, die mittels des karbonatischen Isotopenstandards NBS 20 eingemessen wurde.

Vor der U/Th-Messung - durch Herrn Dipl. Phys. Michael Lomitschka, Heidelberg - wurde ein neuartiges Verfahren zur Reinigung der Karbonatproben durch Ethylendiamintetraacetat (Na<sub>2</sub>EDTA) und Ascorbinsäure angewandt. Hierdurch wurde die Kontamination durch detritisches Uran und Thorium, die die Datierung nach der U/Th-Methode empfindlich stören können, deutlich reduziert. Die Messung der für die Datierung wesentlichen Aktivitäten erfolgte

mittels Thermionen-Massenspektrometrie (MAT 262 der Firma Finnigan). Die Reproduzierbarkeit der Messung wurde mit Hilfe des Uranstandards NBL CRM 960 geprüft. Der Mittelwert der Standardmessungen, die im Zeitraum der vorliegenden Untersuchung durchgeführt wurden, beträgt in sehr guter Übereinstimmung mit der Referenz  $-33,8 \pm 2,0 \text{ ‰}$  (Lomitschka et al. 1997).

Die Bohrung

geteilt. Von 6 bis

Durchmesser von

zwischen 24 und

Durchschnittswert

der Basis der

Die große

Nordfrieslands

stellt.

#### 4.1.2 Phys

Die kreisförmige

Horizontale

sten Schichten

sche Strukturen

nifikation von

Ihre Ursache

Der mittlere

tiefe nicht

Porosität

Der

gealt

Wasser

Dicke

der

schicht

den

#### 4.1

folgt

konst

Erhö

Die

Schicht

ist

von

der

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Kernbohrung Dagebüll, Hauke-Haien-Koog

#### 4.1.1 Einführung

Die Bohrung wurde in unmittelbarer Nähe, 69 m neben der Bohrung BK 6 des LANU abgeteuft. Von 6 bis 30,5 m wurde sie als Rammkernbohrung (in 1 m Abschnitten) mit einem Durchmesser vom 100 mm durchgeführt. Der Kerngewinn von 6 bis 24 m betrug über 98%, zwischen 24 und 28 m über 83% und bei 28 bis 31,5 m um 65%. Dementsprechend lag der Durchschnittsgewinn bei 92,8% (ähnlich wie in BK 6). Stratigraphisch entspricht die Endteufe der Basis des lokalen Eem.

Die geologische Einordnung im Rahmen des Aufbaus und der Abfolge der Eem-Schichten in Nordfriesland wird ausführlich in Temmler (1995) und Winn und Erlenkeuser (1995) dargestellt.

#### 4.1.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente

Die kontinuierlichen Messungen der magnetischen Suszeptibilität (Abb. 2) zeigen mehrere Horizonte, die höheren „Fe-Gehalten“ entsprechen. Die höchsten Werte wurden an den obersten Schichten des Weichselglazials gemessen und deuten auf Bodenbildung hin. Das magnetische Suszeptibilitätssignal im Liegenden ist dagegen sehr gering, die Meßwerte sind kaum signifikant von null verschieden. Höhere Werte wurden dagegen oberhalb 13 m Teufe angetroffen. Ihre Ursache liegt in eingestreutem Pyrit (Durchmesser der Einzelkörner ca. 0,5 bis 3 mm). Der mittlere Teil des Eem ist ohne nennenswerte magnetische Suszeptibilität. Unter 21 m Kerntiefe nehmen die Werte wieder zu. Pyritbildung wurde besonders hier in der letzten Kammer der Foraminiferengehäuse beobachtet.

Der Wassergehalt wurde unter der Annahme berechnet, daß alle Proben mit Porenwasser gesättigt sind - ein Zustand, der besonders in den sandigen Sedimenten durch Auslaufen des Wassers nicht mehr gegeben war. Der Wasserverlust wurde korrigiert, ausgehend von der Dichte der Feststoffe ( $2,65 \text{ g/cm}^3$  für die klastischen Partikel) sowie vom Restwassergehalt und der gemessenen Raumdichte. Dadurch wird ein schneller Blick auf die physikalischen Eigenschaften der Sedimente möglich (Abb. 3a, b). Die Ablagerungsbedingungen prägen ebenfalls den Gehalt an karbonatischem und organischem Kohlenstoff (Abb. 3c,d).

#### 4.1.3 Stratigraphie

Obwohl die DFG-Kernbohrung sehr nahe bei der Bohrung BK 6 des LANU lag, waren laterale Variabilitäten in den Schichtfolgen des Weichsel und Holozän deutlich sichtbar. In den mittleren und unteren Schichten dagegen halten sich die Variationen in Grenzen, so daß eine rein lithologische Korrelation beider Bohrungen möglich war (Abb. 4). In den Eem-Sedimenten der DFG-Kernbohrung DA 1 lagen die Schichtgrenzen generell ca. 50 cm höher als in der Schichtabfolge der Bohrung BK 6. Die Endteufe von 30,5 m (Kerngewinn des letzten Abschnitts 37 cm) lag stratigraphisch ca. 0,9 m tiefer als in BK 6.

Die Sedimente von Bohrung DA 1 beginnen mit Transgressions-Schichten bei 30,37 m Teufe und sind als interglaziale Ablagerungen an Hand der Lithologie, Foraminiferenfauna und Pollenflora bis in 9,4 m Teufe klar zu verfolgen (Abb. 4; Tab. 2). Darauf folgt die Weichsel-Kaltzeit mit einem Interstadial, dem sich ab 8 m glaziale Sande anschließen. Das Holozän beginnt bei 7 m Teufe mit einer 1,8 m mächtigen Seggentorflage, die nach C14-Datierungen bei

7500 Kalender-Jahren B.P. beginnt und sich bis 3500 Kalender-Jahre B.P. erstreckt (Labor Nr.: KI-4251).

Da die Zusammensetzung der Foraminiferenfauna im Gebiet bekannt ist (Lafrenz 1963; Knudsen 1985; u.a.), wurde hier der Schwerpunkt der Untersuchungen auf Faunenvergesellschaftung bzw. Merkmale gelegt, die ergänzende Auskunft über das Paläomilieu dieses eemzeitlichen Ökotos liefern konnten. Beim Auslesen wurde das gesamte faunistische Bild der Artenzusammensetzung notiert und bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt.

An einem Teil des Probensatzes wurden an der Universität Greifswald die Ostrakodenfauna und andere Gruppen außer den Foraminiferen aufgenommen (s. Bericht P. Frenzel und M. Reich, Anhang A). Die Auswertung erlaubte eine z. Zt. noch qualitative Rekonstruktion der Abfolge relativ wärmerer und kühlerer Phasen. Daraus ergeben sich weitere unabhängige Hinweise zu den paläohydrologischen und klimatischen Bedingungen.

Zählungen von *B. frigida* und *A. batavus/beccarii*, normiert auf 10 ml Sedimentvolumen, sind in Abb. 5 dargestellt. Obwohl *Ammonia* in Brackwasser bis hin zur Salzwiese vorkommt, ist hier die gesamtfaunistische Vergesellschaftung als Indikator für Brackwasser in Betracht gezogen. Von Signifikanz ist die hohe Abundanz überwiegend von Formen ohne ausgeprägten Nabelpfropf im Liegenden bis in den unteren Teil des Turritellen-Tons, das Fehlen der Art im oberen Bereich dieses Tons sowie ein zweites, stärkeres Vorkommen bei 16 - 17 m. Allerdings wurde hier ein höherer Anteil von Exemplaren beobachtet, deren Nabelvertiefung mit Kalkablagerung (Nabelpfropf) verfüllt bzw. belegt ist. *B. frigida* ist eine marine Kaltwasserart. Sie erreichte ihre größte Verbreitung von 21 m bis 15 m, d.h. von der Mitte des Turritellen-Tons bis in die Olander Schichten hinein. In den unteren Olander Schichten tritt *E. translucens*, eine luisitanische Art, verstärkt auf.

#### 4.1.4 U/Th-Datierung

Um verlässliche Ergebnisse für die Datierung nach der  $^{238}\text{U}/^{230}\text{Th}$ -Methode zu erhalten, darf zum Zeitpunkt der Schalenbildung nur das Uran-Mutterelement (mit den Isotopen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) eingebaut worden sein, und es darf kein Austausch zwischen dem System und der Umgebung stattgefunden haben. Die meisten Muschelarten aus unserem Arbeitsgebiet (Tab. 3), die zur U/Th-Datierung verwendet wurden, bauen auch Aragonit-Lagen in ihren Schalen ein. Bei der Umwandlung von Aragonit nach Kalzit, oder auch durch Umkristallisation von Aragonit zu Aragonit infolge diagenetischer Prozesse, findet ein Austausch der radioaktiven Mutter- bzw. Tochtersubstanz zwischen dem System und der Umgebung statt. Dies läßt sich am Gehalt des allochthonen  $^{232}\text{Th}$ -Isotops erkennen, allerdings nur bedingt korrigieren.

In der Bohrung DA 1 zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Proben der oberen und der unteren Lagen (Tab. 3, Abb. 6). Die Schalen unterhalb des mächtigen Turritellen-Tons (21,24 - 24,00 m) besitzen im Mittel einen  $^{232}\text{Th}$ -Gehalt von  $0,008 \pm 0,011$  dpm/g [dpm/g = Disintegrationen (Zerfälle) pro Minute und pro Gramm Probeneinwaage]. Im Vergleich hierzu ist die  $^{232}\text{Th}$ -Aktivität in den Proben aus dem Turritellen-Ton und darüber um ein Mehrfaches höher, in der obersten Probe z.B. mit  $0,029 \pm 0,015$  dpm/g um das 3,5-fache (Lomitschka et al., 1997). Außerdem streuen die  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnisse der Schalen der oberen Lage sehr viel stärker. Ein  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Verhältnis im Mittel von  $1,177 \pm 0,034$  dpm/g (wie es etwa dem Verhältnis im Meerwasser entspricht; s. Chen et al., 1986) in der Lage unterhalb 25 m und zwischen 16,75 m und 18,15 m steht einem deutlich erhöhten Wert in der anderen Lage von  $1,310 \pm 0,07$  dpm/g gegenüber.

Zusätzliche Messungen an den Proben wurden von Laukemann (1997) vorgenommen, um die Frage der Systemgeschlossenheit für die Schalenproben aus dem oberen Teil des Kerns

(Turriltellen-Ton und Hangendes) zu klären. Im schluffigen Ton bei 20,96 m und dem liegenden mittleren Teil des laut Sedimentansprache (Tab. 2, Abb. 3a, 4) harten und kompakten Turriltellen-Tons bei 22,4 m und 22,58 m lieferten die Muscheln ungewöhnliche  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Verhältnisse und höhere  $^{230}\text{Th}$ -Gehalte und führten zu entsprechend hohen Alterswerten (Tab. 3). Die beobachteten offenen Wurmgänge in den Kernen und bioturbater Porenwasseraustausch haben offenbar zur Verfälschung dieser Muschel-Alter beigetragen. Auch das Retentionspotential der Tonminerale für die schweren Elemente und ein entsprechend hohes Angebot im Nahfeld der Schale mögen eine Verfälschung der U/Th-Alter begünstigt haben.

In der Bohrung DA 1 konnte nur für Muscheln unterhalb der fast drei Meter mächtigen Turriltellen-Tonschicht (21,24 - 24,00 m) ein 'gutes' Alter von  $132 \pm 1$  ka (gewogenes Mittel) angegeben werden. Dabei wurde ein Datum (Probe DA 1 28<sup>0-10</sup>I 113,7  $\pm$  5,4 ka; s. Tab. 3) gegenüber den 4 anderen, statistisch konsistenten Alterswerten als Ausreißer angesehen und verworfen. Muscheln der darüber liegenden Schicht (14 - 19 m), die offensichtlich dem Einfluß von Sickerwässern sehr viel stärker ausgesetzt waren, konnten dagegen nicht verlässlich datiert werden. Eine zusätzliche Protaktinium-Messung an der oberen Schicht bestätigt den Einbau detritischen Thoriums (Lomitschka et al. 1997). Das (formelle) Systemöffnungsalter für die Proben der oberen Lage wurde mit 57 ka ermittelt (Laukemann, 1997).

#### 4.1.5 Palynologie

Die palynologische Zonierung im nordfriesischen Gebiet wurde zuletzt von Menke (1985 a, b) bearbeitet. Eine erste palynologische Untersuchung der Proben des Turriltellen-Tons und Senescens Sandes in Kern DA 1 erbrachte nur vereinzelt Sporen, die keine Aussagekraft besitzen (H.-J. Stephan, H. Ziemus, pers. Mitteilung). Weitere Ergebnisse sind durch den Umzug des LANU nicht mehr zustande gekommen. Deshalb wurden mit Schwerpunkt auf den mittleren und oberen Schichten des Eem in Kern DA 1 zusätzliche Proben für palynologische Zwecke entnommen und von Herrn Glos analysiert (Anhang B).

Die erst z.T. vorliegenden Ergebnisse stellen den unteren Turriltellen-Ton (24 - 22 m) schon in die Zeit des abklingenden Hoch-Eem, den mittleren Abschnitt bis ca. 11 m in die kühlere Nachwärmezeit des Eem und den obersten Abschnitt (bis 9 m) möglicherweise in eine beginnende Glazial-Phase.

#### 4.1.6 $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen

Die detaillierte, hochauflösende Untersuchung der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse in den Foraminiferenschalen (Abb. 7) bestätigen und verfeinern nun im Detail die isotopische Entwicklung, die sich schon bei den Voruntersuchungen (Winn et al. 1994) an den Proben der Bohrung BK 6 des LANU abzeichnete. Die Isotopenkurven von *A. batavus/ beccarii*, *N. germanicum/N. sp.* und *B. frigida* konnten von 10,5 m bis über 30 m Kernteufe erstellt werden.

Wir stellen die Ergebnisse zunächst überblickartig dar und gehen sie dann hinsichtlich der feineren Details noch einmal durch.

Die Isotopenwerte der untersuchten benthischen Arten zeigen einen weitgehend kohärenten Verlauf, dabei zugleich aber auch die Entwicklung systematischer Unterschiede. Der Isotopenbefund läßt sich vier größeren Abschnitten, fast übereinstimmend mit den lithostratigraphischen Einheiten, zuordnen.

Im Bereich des Senescens Sandes (24 m und tiefer) zeigen sich vergleichsweise 'schwere' (= hohe, positivere)  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ - Werte auf weitgehend stabilem Niveau, von kleineren Fluktuationen abgesehen (Abb. 7).

Im unteren Turritellen-Ton (24 - 23 m) werden die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zunächst für *B. frigida* und *N. germanicum* leichter, für *A. beccarii* aber verspätet, und der Offset zu den beiden anderen verringert sich (dem Betrage nach). Zugleich entwickelt sich  $\delta^{13}\text{C}$  zu negativeren Werten. *A. beccarii* ist im folgenden Abschnitt (ca. 22,3 bis ca 21,3 m) nicht präsent. Erst mit der Stabilisierung des  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveaus von *B. frigida* und *N. germanicum* in den Schichten mit *Abra alba* bei 21,24 m setzt *A. beccarii* wieder ein, jedoch mit einem höheren Offset von -2,5 ‰ im  $\delta^{18}\text{O}$ , der sich in den unteren Olander Schichten bei 19 - 17 m weiter auf -3 ‰ erhöht. Hier zeigt sich, auf insgesamt leichtem  $\delta^{13}\text{C}$ -Niveau, erstmals auch ein systematischer Offset im  $\delta^{13}\text{C}$  zusammen mit vergleichsweise negativem  $\delta^{13}\text{C}$  an *A. beccarii*. - Ein interessantes Intermezzo fällt zwischen 17,0 und 16,5 m, mit erhöhtem ('schwererem')  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  der *A. beccarii*, aber stabilem Isotopenbefund für die beiden anderen Arten.

Erst in den mittleren Olander Schichten, um 15-14 m, schlägt die Entwicklung um. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erhöhen sich, der  $\delta^{18}\text{O}$ -Offset geht zurück und  $\delta^{13}\text{C}$  nimmt wieder deutlich positivere Werte an. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Variabilität speziell bei *A. beccarii* ist vergleichsweise hoch im Intervall von 15 bis 13 m, reduziert sich dann bis 11 m wieder, während *B. frigida* auf schwereren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten verharrt. *B. frigida* zeigt in diesem oberen Abschnitt wieder höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, während die  $\delta^{13}\text{C}$ -Entwicklung von *A. beccarii* sich als recht variabel erweist, dabei aber möglicherweise in mehrere kurze Abschnitte zu gliedern ist. - Die isotopisch 'unentschlossene' Haltung von *N. germanicum* beruht sehr wahrscheinlich auf dem Aufkommen neuer Varietäten in dieser Phase der Verflachung des Meeres zum ausgehenden Eem, die wegen der sehr diffizilen Varietäten-Taxonomie nicht unterschieden wurden.

Ein wichtiges Maß zur Beurteilung dieser isotopischen Entwicklung ergibt sich aus den thermischen Anforderungen der Arten. Die Schalen von *A. beccarii* scheinen die warme Jahreszeit und ihre meist höheren Wassertemperaturen zu repräsentieren, während *B. frigida* kühlere Bedingungen liebt. Die Entwicklung des O-isotopischen Offset ist daher unter saisonalem Gesichtspunkt zu sehen. Die jahreszeitliche Temperaturentwicklung im Benthos dieses Eem-Meeres hängt sehr davon ab, wie geographische Konstellation und Wasserspiegel einen advektiven Austausch des bodennahen Wassers mit einem größeren offenen, thermisch trägeren und daher ausgeglicheneren Wasserkörper ermöglichen, hier die eemzeitliche Nordsee. Daher liefern auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dazu wichtige Informationen, indem sie das Ausmaß der Ansammlung des C-isotopisch leichten  $\text{CO}_2$  aus der Remineralisation des abgesunkenen organischen Detritus im Bodenwasser widerspiegeln. Ein 'offenes' System mit reichlich advektiertem Wasser aus dieser Paläo-Nordsee wird positivere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zur Folge haben als ein abgelegener, vergleichsweise abgeschlossener Meeresarm. Eine gewisse Vorsicht bei dieser Interpretation der Isotopenwerte ist allerdings angebracht, da die Produktivität im Oberflächenwasser und damit die Zufuhr organischen Detritus zum Boden im vorliegenden Fall wegen der Landnähe im Verlauf der hydrographischen Entwicklung des Eem-Meeres variiert haben wird und die isotopischen Signale der verschiedenen Abschnitte daher nicht unbedingt mit dem gleichen Maß zu bewerten sein werden.

Im Folgenden gehen wir der isotopischen Entwicklung unter genauerer Diskussion von Details noch einmal nach.

In der untersten Einheit, unter 24 m, der Anfangsphase der Transgression des Eem-Meeres (Senescens Sand, Abb. 4), variieren die Sauerstoff- bzw. Kohlenstoff-Isotopenwerte ( $\delta^{18}\text{O}$  bzw.  $\delta^{13}\text{C}$ ) von *N. germanicum* und *A. batavus/beccarii* innerhalb von  $\pm 0,35\text{‰}$  mit einem systematischen Unterschied von ca.  $2\text{‰}$  (Abb. 7). In diesem Teufenabschnitt sind die grobkörnigen Sande bis kiesigen Schichten - Anzeiger für einen Strand- oder Litoralbereich - häufig nicht foraminiferenführend.

Trotz der bohrtechnisch bedingten Kernlücken zeigen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. germanicum* mehrfach ähnliche Fluktuationen im Kurvenverlauf, die jeweils mit mehreren Meßpunkten belegt sind (zunehmendes  $\delta^{18}\text{O}$  kernaufwärts bei 26, 25 und 24 m; Abb. 7). Die Trends zu schwereren Werten zeigen sich auch im  $\delta^{13}\text{C}$ . Diese  $\delta^{18}\text{O}$ -Veränderlichkeit als Temperaturvariation gedeutet entspricht Abkühlungen des Wasserkörpers bis zu  $\sim 3^\circ\text{C}$ . Gedeutet auf der Salinitätsskala ergeben sie Änderungen von 2 bis 3 ‰ (=psu). Wir denken nicht, daß die Fluktuationen globale Klimavariationen signalisieren. Vielmehr ist es naheliegend, sie mit Transgressionsschüben und dem Einfluß des herangeführten kühleren, salzreicheren und - mit Blick auf die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte - besser ventilierten Wassers in Zusammenhang zu stellen.

In der darüber folgenden Einheit zwischen 24 m bis 22,3 m im unteren Teil des Turritellen-Tons (Abb. 4, 7) ist ein allmählicher Abfall der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um ca.  $1\text{‰}$  und zugleich des  $\delta^{13}\text{C}$  um ca.  $0,6\text{‰}$  erkennbar, sowohl bei *N. germanicum* und *B. frigida* als auch bei *A. batavus/beccarii*.

Von Bedeutung ist die Beobachtung, daß die Häufigkeit von *A. batavus/beccarii* von 23 m Kerntiefe nach oben ständig abnimmt (Abb. 5) und zwischen 22,3 m bis 21,3 m überhaupt nicht mehr oder nur vereinzelt vorkommt. Der Turritellen-Ton - im oberen Bereich sehr schluffig (Tab. 2, s.a. Temmler 1995, Abb. 9) - wurde ab 21,8 m nach unten härter und kompakter, führte aber weiter Bruchschill. Der Feinquarzanteil in den Schlämmerückständen nahm ab. Zwischen 21,8 m und 22 m fanden sich nur sehr wenige *Nonien* und *Elphidien*, und in den Proben 21,91; 21,93; 21,97 und 21,99 m wurden nur juvenile Formen beobachtet.

Kernaufwärts im unteren Turritellen-Ton nimmt die Diversität der Foraminiferenfauna zu, so daß auch unter Berücksichtigung des inzwischen gestiegenen Wasserspiegels eine mögliche Salinitätsentwicklung nur zum marinen Niveau hin zu erwarten ist. Ein solches salzreicheres Wasser würde die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erhöhen. Deshalb liefert die gemessene  $\delta^{18}\text{O}$ -Abnahme einen Mindestwert für die Temperaturzunahme ( $\approx 3^\circ\text{K}$ ).

Allerdings macht *A. beccarii* die Änderung im  $\delta^{18}\text{O}$  der beiden anderen Arten nicht bzw. nur verzögert mit. Dies verweist auf einen Rückgang der Wassertemperaturen am Boden während der Sommersaison. Dieses und die negativeren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sprechen für ein sich vertiefendes, im ganzen Jahrgang relativ kühles Benthal mit der Tendenz zu reduzierter Erneuerung des Bodenwassers, d.h. einem beschränkten Wasseraustausch mit der offenen eemzeitlichen Nordsee. Möglicherweise hat sich bereits eine haline Sprungschicht ausbilden können und eine Abgrenzung bis Isolation des Bodenwasserkörpers begünstigt. Diese Entwicklung gipfelt in dem zeitweisen Ausfall der wärmeliebenden *A. beccarii* (Abb. 5).

In den Schichten mit *Abra alba* bis 19 m Kerntiefe bleiben  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  von *N. germanicum* und *B. frigida* fast auf dem gleichen Niveau. *A. batavus/beccarii* kommt in geringem Umfang wieder vor. Ihre  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte weisen jetzt einen hohen, allerdings variablen Unterschied von nahezu  $3\text{‰}$  zu *N. germanicum* und *B. frigida* auf, die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aller Arten verharren auf einem reduzierten Niveau. Der sediment-fazielle Aspekt bleibt fast unverändert bestehen. Insgesamt ist die Situation trotz zunehmenden Anteils von Schluff bis sehr feinem Sand wenig geändert. Doch ist das episodische Aufkommen von *A. beccarii* mit deutlich schwereren  $\delta^{13}\text{C}$ -

Werten verbunden und beruht daher sehr wahrscheinlich auf dem gelegentlichen Einbruch salzreicheren, aber wärmeren Nordseewassers, etwa bei Sturmflutereignissen.

Zu dieser Zeit der Schichten mit *Abra alba* bestand die Verbindung mit der Nordsee noch im Südwesten durch die Nordmann-Rinne (Heck 1932; Dittmer 1941; Temmler 1995). Die Nordfriesische Rinne war nach Westen zunächst durch einen Rücken geschützt. Durch den wahrscheinlich noch ansteigenden Meeresspiegel und erosive Rückverlagerung der Küstenlinie kam es zu wiederholten Überflutungen und verstärkter Zufuhr gröberer klastischen Materials. Die isotopische Werte zeigen aber wenig Anzeichen von veränderten hydrographischen Verhältnissen. Geringfügig zunehmende  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *B. frigida* könnten salzreicheres und/oder kühleres Wasser anzeigen und bei weiter sinkendem  $\delta^{13}\text{C}$  Indiz für einen noch steigenden Meeresspiegel sein.

Im nächstfolgenden Abschnitt 19 bis 15,25 m (Untere Olander Schichten, Abb. 4), fallen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. germanicum* und *B. frigida* um weitere  $\sim 0,5\text{‰}$  (Abb. 7), so daß sich ein Gesamtunterschied von ca.  $1,8\text{‰}$  zum  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau am Anfang des Turritellen-Tons entwickelt hat. Über den gesamten Bereich, mit Ausnahme eines Intervalls um 16,8 bis 16,5 m, ist eine Abnahme von mehr als  $0,8\text{‰}$  in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *A. batavus/beccarii* gegenüber *B. frigida* zu bemerken.

Die Verhältnisse bei der Ablagerung der Olander Schichten (19-15 m) waren in früheren Arbeiten Gegenstand von Meinungsverschiedenheiten, ob es sich um Transgressions-Schichten (Dittmer 1941) oder Regressions-Sedimente mit borealer Fauna (Heck 1932) handle. Die unteren Olander Schichten weisen nach unseren Untersuchungen eine weitere Temperaturzunahme von  $\sim 2^\circ\text{C}$  im winterlichen Bodenwasser auf. Der unruhigere Verlauf beider Isotopenkurven von *A. batavus/beccarii* dürfte auf die hydrographische Öffnung des Gebietes im Norden zurückzuführen sein, die die Nordfriesische Rinne, zumindest ihren nördlichen Teil, stärker an die Nordsee gekoppelt und das Benthal einer erhöhten hydrographischen Variabilität ausgesetzt hat. Gerade diese Variabilität darf als Zeichen für eine begrenzte hydrographische Wirksamkeit der Öffnung im Norden gewertet werden und ist damit vielleicht Hinweis auf einen zum Stillstand gekommenen Meeresspiegel.

Oberhalb 15,25 m sind die Olander Schichten durch eine Umkehr zum schwereren  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau ( $\Delta\delta^{18}\text{O} \sim 1,3\text{‰}$ ) von *B. frigida* und *A. batavus/beccarii* gekennzeichnet. Die Abkühlung des Wassers in dieser Phase beträgt mindestens  $-5^\circ\text{C}$  und ist begleitet vom Auftreten borealer

Fauna (Heck 1932) und von *B. frigida* (Abb. 5). In diesen Schichten sind vermehrt lithologische und faunistische Anzeichen von Verbrackung und Verflachung des Eem-Meeres gefunden worden (s.a. Lafrenz 1963). Dies erklärt einmal die relativ klare isotopische Entwicklung der kalt-liebenden *B. frigida* wie auch die Entwicklung sowie die Variabilität der Isotopenwerte von *A. beccarii*, da im flachen Wasser die mikroökologischen Faktoren im Sommer weit variabler sind als während der kalten Jahreszeiten und bei zurückweichendem globalen Meeresspiegel im lokalen Physiotop verschiedene Phasen der 'isotopischen Empfindlichkeit' durchlaufen werden.

## 4.2 Kernbohrung Krummland, Dänischer Wohld

### 4.2.1 Einführung

Die Bohrung wurde in unmittelbarer Nähe, 9,5 m neben der Bohrung W3 des LANU Schleswig-Holstein niedergebracht. Von 6 bis 46,1 m Teufe wurde sie als Rammkernbohrung (in 1 m Abschnitten) mit einem Kerndurchmesser vom 10 cm ausgeführt. In den Eem-Schichten von 30,2 m bis zur Eem-Basis bei 36,5 m wurde ein fast 100-prozentiger Kerngewinn

erzielt. Die zusätzliche Kernentnahme im hangenden weichselzeitlichen Geschiebemergel und in den liegenden saalezeitlichen Ablagerungen durch das LANU sicherte die Vollständigkeit der erbohrten eemzeitlichen Ablagerungen. Es zeigte sich dabei, daß die obersten Eem-Schichten gekappt und der Erosion bzw. Abtragung zum Opfer gefallen sind.

#### 4.2.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente

Die magnetische Suszeptibilität ist in diesem dem Landeinfluß stärker ausgesetzten Ablagerungsraum weit höher als im Dagebüller Kern. Die kontinuierlichen Messungen der magnetischen Suszeptibilität (Abb. 8) zeigen hauptsächlich zwei Schichttypen mit unterschiedlichen Werten auf. Die Geschiebemergel des Weichsel- und Saaleglazials haben einen höheren Suszeptibilitätspegel als die Schichten des Eem. Der tonige Weichsel-Geschiebemergel bildet ein Plateauwert um 60 cgs Einheiten, mit 3- bis 5-fach höheren Werten in dem feinsandigen bzw. schluffigen Abschnitt bei 16,2-19,3 m. Kleinere 'Peaks' in der Kurve sind auf Grobsand- und Kleinkiesvorkommen in den tonigen Geschieben zurückzuführen. Gerölle können Spitzen bis über 1600 verursachen. Die brackisch-marinen Eem-Schichten sind leicht erkennbar an den sehr niedrigen Werten. Im limnischen Eem liegen die Werte in den tonigen/torfigen Schichten niedriger (bei ca. 15) und in den sandigeren höher (bei 30). Die oberste Schicht der liegenden Spätsaale-Sande hat einen hohen Spitzenwert und weist dadurch auf Paläobodenbildung hin.

Der Wassergehalt zeigt einen allmählich zunehmenden Verlust an Porenwasser in den Eem-Schichten kernaufwärts. Die Lithologie in den laminierten Schichten weist kaum wesentliche Änderungen auf. Deshalb ist diese Abnahme zurückzuführen auf den Druck der weichselzeitlichen Eisdecke und steht im Einklang mit der parallelen Zunahme der Trockenraumdichte in dem Eem-Abschnitt (Abb. 9a, b)

#### 4.2.3 Stratigraphie

Trotz des geringen Abstandes (9,5 m) der DFG-Bohrung Krummland KR1 zur Bohrung W3 schienen zunächst erhebliche Abweichungen in den Schichtfolgen des Weichselglazials zu bestehen. Dies beruhte jedoch nicht auf lateraler fazieller Veränderlichkeit der Sedimente oder auf Eistektonik, vielmehr lag ein Artefakt vor, da bei der Spülbohrung W3 Geschiebemergel von der Bohrfirma als „Sandschichten“ notiert worden waren. Außer Verformungen durch synsedimentäres Sedimentgleiten waren keine tektonisch bedingten Störungen in den Eem-Ablagerungen zu beobachten.

Im Liegenden wurde der komplette Transgressionsverlauf des Eem durchteuft. Die spätsaalezeitlichen Schichten wurden mit einer Erosionsdiskordanz von Sanden und Mudden mit dünnen Torflagen des limnischen Eem überlagert. Dann folgte die marine Transgression und zugleich der Übergang in die Wärmezeit des Eem (Abb. 10, Tab. 4). Die obersten Eem-Schichten sind von dem überfahrenden Weichselzeitgletscher abgetragen worden.

Die marinen Eem-Schichten sind überwiegend olivgrauer Ton/Schluff, laminiert mit helleren, sehr feinsandigen Lagen, selten mit gröberem Sand. Die Laminationen sind manchmal durch synsedimentäre subaquatische Gleitung gestört. Muschelschill in Nestern und Taschen ist meistens zersetzt.

Die Wechsellagen ähneln Jahreswarven. Im unteren Eem sind 5 bis 7 Zyklen pro cm und im oberen Teil bis 10 Zyklen pro cm gezählt worden. Im marinen Bereich sind die grobkörnigen Laminationen jedoch eher auf Sturmereignisse zurückzuführen (Werner, 1968). Diesem Rechnung tragend können wir unsere Zählungen nur als grobe Schätzung der Sedimentationszeit werten. Sie liefert ca. 3800 J. für das Zeitintervall der 4,36 m mächtigen Eem-Schichten.

Die Foraminiferenfauna in Kern KR 1 setzt sich hauptsächlich aus verschiedenen Spezies von *Elphidium* zusammen, mit *E. excavatum* als überwiegend häufigster Art. *E. albiumbilicatum*, *E. incertum* und *E. articulatum* kommen ebenfalls relativ häufig vor. Lösungserscheinungen (Foraminiferenmasken) wurden in der Anfangsphase der Eem-Transgression (unterhalb 35 m) und oberhalb 32 m beobachtet. Umgelagerte präquartäre Formen beschränken sich auf einige Calcisphäriden aus der Oberkreide.

Im Vergleich zu Dagebüll waren in Krummland viel weniger Exemplare von *Nonion*, *Ammonia* und *Buccella* vorhanden. Generell tritt *A. batavus/beccarii* in den marinen Schichten mit weniger als 10 Exemplaren/10 cm<sup>3</sup> auf. In Schichten mit höheren Abundanzen von *B. frigida* geht die Anzahl von *A. batavus/beccarii* auf wenige Exemplare pro 10 cm<sup>3</sup> zurück. Außerdem zeigt der unruhige Verlauf der *Buccella*-Kurve (Abb. 11), daß die Veränderlichkeit der hydrographischen Bedingungen in dieser schmalen Verbindungswasserstraße zur Eem-Ostsee wie zu erwarten viel hochfrequenter ist als in den breiteren Wasserwegen im Westen.

#### 4.2.4 U/Th-Datierung

Das Fehlen von Muschelschill und Gastropoden (außer einer *Nassaria* sp.) in der Sedimentfolge erlaubt keine absolute Datierung. Ein Versuch an Muschelschalen aus dem Tagesaufschluß bei Stohl/Marienfelde schlug wegen des hohen Beitrags von allochthonem ('detritischen') Thorium fehl (Tab. 3). Deshalb sind wir für die stratigraphische Zuordnung auf die palynologischen Befunde angewiesen.

#### 4.2.5 Palynologie

Die palynologische Übersicht (Anhang C) bestätigt im ganzen die geologische Ansprache. Die interglazialen Ablagerungen beginnen mit dem 'limnischen' Eem knapp unter 36 m Kerntiefe, zeigen ab 35,5 m erste Foraminiferen (marines Eem) und nach einer Übergangsphase bei ca. 35 m den Beginn der Wärmezeit (Hoch-Eem), die erst um 30 m in die kühlere Nachwärmezeit übergeht. Insgesamt gesehen scheint die Sedimentabfolge ungestört zu sein, bis vielleicht auf den Übergang zum marinen Eem, wo die Pollenproben 35,66 m und 35,84 m möglicherweise eine Inversion anzeigen.

Die Pollenanalyse scheint also zumindest Teile der Krummland-Folge vor das Dagebüll-Eem zu stellen. Im Bereich der frühen Nachwärmezeit dürfte eine Überlappung bestehen.

#### 4.2.6 $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ Messungen

Im Vergleich zu den Isotopenergebnissen von Dagebüll zeigt der Krummland-Kern an den gleichen Foraminiferen-Taxa generell negativere ('leichtere') Isotopenwerte und insgesamt eine geringere Veränderung der Isotopenwerte über die erbohrten Eem-Schichten hinweg (Abb. 12).

*A. beccarii/batavus* zeigt verglichen mit *B. frigida* in Kern DA 1 einen noch deutlicher ausgeprägten Unterschied, der sich gegen Ende der Folge hin merklich reduziert, durch Zunahme der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *A. beccarii* und einen Trend zu leichteren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von *B. frigida*. *N. germanicum* zeigt kaum Veränderungen und liegt wertemäßig zwischen den beiden anderen Arten. Die taxonomische Problematik dieser Spezies war bereits früher angesprochen. Ihre Isotopenergebnisse werden hier nicht weiter diskutiert.

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen starke Streuungen, an denen im Mittel aber vielleicht eine schwache Strukturierung zu sehen ist. Die im Vergleich zu Dagebüll sehr leichten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sprechen für eine eher randliche, von wirksamem Wasserwechsel merklich abgeschirmte Position des Kernortes in den eemzeitlichen 'Inshore Waters' von Schleswig-Holstein.

In dem leichteren Niveau der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte äußert sich ein deutlich niedrigeres Salinitätsniveau als in DA 1. Darüberhinaus zeigt die (dem Betrag nach hohe) Differenz der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *A. beccarii* zu *B. frigida* höhere Sommerwassertemperaturen an. Die Präferenz von *A. beccarii* für wärmeres Wasser ergibt sich aus der Kohärenz der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve mit der Anzahlhäufigkeitskurve (Abb. 11). Gerade der  $\delta^{18}\text{O}$ -Unterschied erhellt, daß saisonal Wasser unterschiedlicher Temperaturen am Boden advektiv herangeführt werden konnte und dieses Meeresgebiet wohl eine - den  $\delta^{13}\text{C}$  -Daten nach vermutlich beschränkte - ozeanographische Offenheit besaß. Für eine genauere ozeanographische Diskussion mit Blick auf die Rolle und Bedeutung der west-östlichen Wasserstraße durch Schleswig-Holstein für den Wasseraustausch reicht die gegenwärtige Datenbasis nicht, nicht zuletzt, weil günstiger gelegener Bohrungen nicht möglich waren.

Doch ist zu vermerken, daß mit dem Ende des Hoch-Eem - nach der Pollenanalyse um 31 m (s. Anhang C) - auch die Erhöhung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte kühleres Sommerwasser anzeigt und daß während einer der 'wärmsten' Phasen des Hoch-Eem (um 33 m nach  $\delta^{18}\text{O}$  von *A. beccarii*) die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *B. frigida* wie auch *N. germanicum* recht negativ liegen, gemessen an der Entwicklung im ganzen wie auch im Vergleich zu *A. beccarii*. Mit Blick auf die hydrographischen Abläufe und ihr saisonales Schema heute in der Belt-See und der Kieler Bucht könnte dies ein interessanter Hinweis auf den saisonalen Ablauf der Bodenwasseradvektion und die sie steuernde hydrographische Wechselwirkung zwischen Ost- und Nordsee sein. Die empfindliche Reaktion der Isotope reflektiert wahrscheinlich die wechselnden Wassermassen, die die Ost-West-Verbindung durch Schleswig-Holstein passieren, die zu dieser Zeit bereits bestanden hat.

Interesse verdienen auch einige Kovarianzen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *B. frigida*, und *A. beccarii* vor allem gegen Ende des Hoch-Eem. Doch ist z. Zt. nicht zu sagen, ob dies Signale übergreifender klimatischer Änderungen sind.

Bei *Nonion sp.* erhärtet sich unser Verdacht, daß sowohl artspezifische Umwandlungen (*Protoelphidium* nach Konradi, 1976) als auch hydrographische Faktoren das  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau beeinflusst haben (s.a. Kap. 3.2.6).

Nachzutragen bleibt, daß die trotz aller Variabilität doch sichtbare Tendenz abnehmender  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei *A. beccarii* kernaufwärts und zunehmender Werte bei *B. frigida* zwanglos als Folge steigenden Wasserspiegels gesehen werden kann, der am Ende des Hoch-Eem bei 20 m gelegen haben könnte.

### 4.3 Forschungsbohrungen der Geologischen Landesämter

#### 4.3.1 Einführung

Die von uns mit hohem Stellenwert geplante Bohrung bei Kropp im zentralen Teil der eemzeitlichen Meeresverbindung von Nord- und Ostsee wurde leider nicht mehr in diesem Projekt gefördert. So mußten wir auf die Archivproben einer Bohrung des LANU in Kropp zurückgreifen, auch wenn diese mit 1 m Probenabstand bei weitem nicht die notwendige Auflösung erbringen konnten. Die (gesiebt vorliegenden) Archivproben lieferten aber ausreichend Foraminiferen für Isotopenanalysen.

Durch Teilnahme und 'Mitbeprobung' bei Bohrungen des LANU Schleswig-Holstein erhielten wir die Möglichkeit, die Entwicklung des Eem-Meeres im östlichen Schleswig-Holstein zu untersuchen. In einer tief ins Land greifenden Einbuchtung des Eem-Meeres bei Lübeck wurden in drei Kernbohrungen des LANU - bei Blankensee, Tüschembek und Groß Weeden (Abb.1) - untere Eem-Schichten angetroffen. Im östlichen Teil wurde eine mächtige Eem-Ablagerung bei Schönberg in einer Erkundungsbohrung des GLA Mecklenburg-Vorpommern durchteuft. Die

unteren, limnischen Eem-Schichten wurden von Fein- bis Mittelsanden bedeckt, deren Ablagerung in brackischem Milieu stattfand (Tab. 10).

Tüschembek liegt am Fuß einer weichselzeitlichen Stauchzone und scheint von eistektonischen Bewegungen verschont geblieben zu sein. Groß Weeden dagegen liegt in einer Zone, wo die Schichten sich langsam nach Süden heraushoben. Blankensee und das nahe Schönberg in Mecklenburg-Vorpommern ergaben keine Hinweise auf glazigene Stauchung. In Tüschembek und Groß Weeden wurde das oberste Eem durch weichselzeitliche Gletscher überfahren und abgetragen. Südwestlich von Groß Weeden wurden die Ablagerungen durch die frühpommerische Eistektonik herausgehoben und erodiert.

In Hinblick auf die paläogeographische Lage der Bohrungen in einer Randbucht des Eem-Meeres und angesichts des Fehlens markanter Muster im isotopischen Befund aus dem unteren Eem im Krummland-Kern KR1 wurde hier die Beprobung je nach Schichtenaufbau in verhältnismäßig weiten Abständen von 5 bis 10 cm durchgeführt.

#### 4.3.2 Physikalische Eigenschaften der Sedimente

An den Kernen der drei LANU-Bohrungen Tüschembek, Blankensee und Groß Weeden wurde die magnetische Suszeptibilität gemessen. In den Abb. 13 - 15 wurde die lithologische Schichtfolge nach der Sedimentansprache (Tab. 5 - 7) zum besseren Verständnis der magnetischen Werte dargestellt. Die brackisch-marinen Eem-Schichten zeigen Suszeptibilitäten <20 cgs-Einheiten ähnlich wie in KR1. Die lakustrin-fluviatilen Ablagerungen und die Verlandungsflächen sind generell durch ihre höheren Werte zu erkennen, ausgeprägte Unterschiede zu den hangenden Weichseln sind bei Tüschembek und Groß Weeden aber kaum vorhanden, wenn auch eine leichte Zunahme der Suszeptibilität nahe den Weichseln erkennbar ist.

#### 4.3.3 Stratigraphie

Nach Öffnung der Kerne wurden die lithostratigraphischen Beschreibungen durchgeführt (Tab. 5-7). Die liegenden fluviatil-limnischen Eem-Schichten sind in den Bohrkernen gut zu erkennen. Die Eem-Ablagerungen haben nur begrenzte Mächtigkeiten von weniger als 1 m bei Groß Weeden und Blankensee, und eine weitere Untergliederung schien nicht möglich. In Tüschembek dagegen waren vor der Haupttransgression ab 38,82 m eine erste Ingressionsphase bei 39,60 - 40 m und eine zweite bei 39,0 - 39,25 m (Der lithologische Befund des Abschnitts 39,0 - 39,11 m entstammt der 'Apfelsine') in Wechsellagerung mit limnischen Ablagerungen dokumentiert. Die Anzahl und der Erhaltungszustand der gefundenen Foraminiferen (*Ammonien*, *Nonien* und einige *Elphidien*) bezeugen und belegen mindestens zwei Transgressionsphasen des Eem-Meeres und schließen eine Umlagerung und Verfrachtung der Formen durch gelegentliche Sturmfluten in ein eigentlich limnisches Milieu aus.

Marine Schill-Lagen (mit *Turritellen*) von der Hauptingression des Eem-Meeres prägen die Sequenzen in Tüschembek und Groß Weeden und führten ausreichend Foraminiferen. Die mikrofaunistische Zusammensetzung besteht hauptsächlich aus *Ammonien* mit diversen *Nonien* und zahlreichen *Elphidien*-Arten. Nur wenige Exemplare der Kaltwasserform *B. frigida* wurden gefunden. Lösungserscheinungen wurden in einigen Proben beobachtet. In der Bohrung Blankensee fand sich nur ein einziger Horizont mit Brackwasser-Foraminiferen. In der Bohrung Schönberg fanden sich trotz enger Beprobung nur vereinzelt *Ammonia* und *Elphidien*.

Die makropaläontologische Auswertung wird von Herrn Dr. K. Gürs (LANU) weitergeführt.

#### 4.3.4 $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ Messungen

Nach der Makro- wie Mikrofaunen-Vergesellschaftung ist der hier untersuchte Abschnitt der LANU-Bohrung Kropp dem Hoch-Eem zuzuordnen. Die Isotopenergebnisse (Abb. 16a) wurden an den Archivproben des LANU gewonnen. *A. batavus/beccarii* zeigt mit  $\delta^{18}\text{O} \approx -3 \text{‰}$  deutlich positivere Werte als im Hoch-Eem von KR1 ( $\delta^{18}\text{O} \approx -4,5 \text{‰}$ ), ist aber deutlich leichter als in DA1 ( $\approx +3 \text{‰}$ , Abb. 7). Interessanterweise hat andererseits *B. frigida* etwa gleiches  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau wie in KR1 ( $\approx 0 \text{‰}$  hier gegen  $0 \dots -0,5 \text{‰}$  in KR1). Wenn *B. frigida* Repräsentant der kalten Jahreszeit ist, spricht der Isotopenbefund deutlich für einheitliche physikalische Bedingungen an beiden Lokalitäten, doch bleibt Kropp in der warmen Jahreszeit deutlich kühler oder salzreicher. Auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und vor allem der geringe Unterschied zwischen den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *B. frigida* und *A. batavus/beccarii* sprechen dafür, daß Kropp hydrographisch gut an die offenen Meeresgebiete angebunden war. Dies steht im Einklang mit früheren Ergebnissen (Kosack & Lange, 1985; Temmler, 1995), die Kropp in die eemzeitliche Meeresstraße zwischen Ost- und Nordsee stellen.

Die Ergebnisse der isotopischen Messungen von Blankensee, Tüschembek und Groß Weeden sind in Abb. 16b dargestellt. Die Isotopenzusammensetzung der verschiedenen Arten ist in den drei Kernen sehr ähnlich. Wie in den Bohrungen DA1 und KR1 zeigt *A. batavus/beccarii* die leichtesten  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse, *B. frigida* die schwersten. *N. germanicum* ist 'unentschlössen', orientiert sich dabei aber vorwiegend an *A. batavus/beccarii*, wie dies in DA1 für das späte Eem, bei schon sinkendem Wasserspiegel, beobachtet wurde. Mit  $\delta^{18}\text{O} \approx -4 \text{‰}$  liegt *A. batavus/beccarii* ähnlich wie in KR1, aber gut  $4 \text{‰}$  leichter als in DA1. *B. frigida* ist etwa um 1 bis  $2 \text{‰}$  leichter als in Krummland, so daß bei einer ersten Einschätzung ein reduziertes Salinitäts- und/oder erhöhtes Temperaturniveau für diesen Teil des eemzeitlichen Lübecker Meeresarmes angenommen werden muß.

Überraschend ist die vergleichsweise geringe Variabilität der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte einer jeden Art. Normalerweise erwarten wir in einem Brackwassergebiet eine stärkere zeitliche Veränderlichkeit in Salzgehalt und Temperatur. Aber in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von allen vier gemessenen Arten (*A. batavus/beccarii*, *N. germanicum*, *E. albiumbilicatum* und *B. frigida*) sind Hinweise auf solche größeren Schwankungen nicht vorhanden. Die Fluktuationen im  $\delta^{18}\text{O}$  bleiben innerhalb von  $1 \text{‰}$ , d.h. die Salinitäts- oder Temperaturänderung im Wasserkörper bleibt unter  $5 \text{‰}$  (psu) bzw.  $4 \text{°C}$  zwischen der ersten Ingressionsphase und der Transgression zum Haupt-Eem.

Die vergleichsweise leichten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen die hohe Belastung des Bodenwassers mit Abbauprodukten organischen Materials, so daß anzunehmen ist, daß der Wasseraustausch des Ablagerungsraumes mit frischerem, besser durchlüfteten Wasser aus dem offenen, seewärtigen Bereich des Meeresarmes zu dieser Zeit des frühen Eem noch Beschränkungen unterlag. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen auch, daß diese Situation in der dokumentierten Ablagerungsfolge fast gleich geblieben ist. Fluktuationen in der Durchlüftung, hier eine Verringerung, sind allenfalls in dem Signal niedriger  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *Ammonia* in der Anfangsphase der Haupttransgression bei Tüschembek (um 38,8 m) zu sehen. Der zu vermutende hohe Anfall organischen Detritus terrestrischen wie marinen Ursprungs in den Ablagerungen nahe der Transgressionsfront dürfte hier von Bedeutung gewesen sein.

Die deutlich leichteren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *A. beccarii* in Tüschembek und Groß Weeden als in der heutigen Kieler Bucht (Winn et al. 1988) dürften auf einer sommerlich höheren Wassertemperatur oder einer saisonalen Aussüßungstendenz beruhen. *B. frigida* zeigt im Eem von Tüschembek jedoch geringfügig, um ca.  $1 \text{‰}$  schwerere Werte als der für die moderne Wintersai-

son kalkulierte kalzitische (Gleichgewichts-)  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert. Daher kann entweder die kaltjahreszeitliche Temperatur damals niedriger (um ca.  $4^\circ\text{C}$ ) oder die Salinität höher gewesen sein (um ca. 4 ‰) als in der Kieler Bucht heute. Dieser letzte Aspekt wird durch die vergleichsweise höhere Diversität der benthischen Fauna in diesem Abschnitt des Eem gestützt.

Südwestlich von Groß Weeden wurden die Eem-Schichten durch glazigene Stauchung gehoben und abgetragen. Insofern wird sich der eemzeitliche Lübecker Meeresarm südwestlich von Groß Weeden noch weiter ins Land hinein erstreckt haben.

#### 4.4 Klüßer Nische, Arkona auf Rügen

##### 4.4.1 Profilaufnahme und Beprobung

Unsere ursprüngliche Absicht war, die Profile KN 64 und KN 90 von Frenzel (1993) an den Cyprinenton-Schollen der Klüßer Nische neu zu beproben. Leider war jedoch das Originalprofil durch Küstenrückgang verloren und der untere Teil des Kliffs mit ca. 10 m Schutt bedeckt. Unser Profil (Tab.9, Abb. 17) entspricht der von Litt (1994) durchgeführten Neubearbeitung, jedoch zusätzlich mit mehr als 1 m Sediment unterhalb einer Störzone bei 2,76 m.

Von der Basis der hangenden Tilldecke wurde die Beprobung des Cyprinentons in 2 cm Scheiben vorgenommen. Bei 2,76 m stießen wir auf tektonische Störungen und eine fast vertikal verlaufende Sandschicht (Sand-Dyke). Die weiteren Proben in dem folgenden massiv abgelagerten Paket waren dadurch stratigraphisch schwer zuzuordnen. Die immer härter und kompakter werdenden Sedimente erzwangen schließlich die Beendigung der Grabung und Beprobung bei 3,9 m. Es bestätigte sich die Beobachtung von Steinich (1992), daß die Schichtfolge nicht kontinuierlich und in gleicher Weise reproduzierbar ist.

##### 4.4.2 Stratigraphie

Nach Steinich (1992) ist der Cyprinenton ein umgelagertes Schlammstromsediment - ein Gemisch von verschiedenen interglazialen Sedimenten, eine Mixtur von „Portlandia-Ton, Artica-Ton, M1-Tillfetzen und limnischen Feinsanden mit arktischen und subarktischen Mollusken“. Auf Grund konventioneller  $^{14}\text{C}$ - und TL-Datierungen wurde der Ton der Chronozone Hengelo/Denekamp zugeordnet. In diesem Fall weisen die Datierungen laut Litt (1994) eher auf die Zeit der Umlagerung hin, oder wie wir über Dagebüll berichtet haben, höchstwahrscheinlich auf die Zeit der Öffnung des paläohydrochemischen Systems.

Beim Auslesen der Foraminiferen für die Isotopenanalyse haben wir das generelle mikrofau-nistische Gesamtbild und Vorkommen von *A. batavus/beccarii*, *N. germanicum*, *B. frigida*, *E. albiumbilicatum* und *E. excavatum* mituntersucht. Die obersten 20 cm unseres Profils unter der hangenden Sanddecke sind generell foraminiferenarm. Darunter treten *A. batavus/beccarii* und *B. frigida* verstärkt auf mit mäßigen Anteilen von *E. albiumbilicatum*, *E. excavatum* und *N. germanicum*. Ab 76 cm Profiltiefe nahm die Anzahl der Kaltwasserform *B. frigida* allmählich ab; sie kam bei 125-140 cm nur noch vereinzelt vor, und unter 140 cm waren die Proben foraminiferenarm - mit einigen *E. albiumbilicatum* - und frei von *B. frigida* und *N. germanicum*. Ab 150 bis 178 cm kam auch *A. batavus/beccarii* nicht mehr vor.

Der Profilschnitt unterhalb der Störzone bei 276 cm blieb fossilarm. Erst in dem nächstfolgenden Abschnitt ab 304 cm traten *A. batavus/beccarii* und *E. albiumbilicatum* häufiger auf, zusammen mit mäßiger Häufigkeit von *B. frigida*.

Die Häufigkeiten dieser Arten deuten darauf hin, daß unser Profil von 0 - 150 cm mit Einheit A (Frenzel 1993) und darunter bis 304 cm mit Einheit B (vgl. Profil KN 90) korrelierbar ist. Die Schichten ab 304 cm entsprechen Einheit C auf Profil KN 64. Von einer heterogenen

Zusammensetzung aus verschiedenen Einheiten ist den isotopischen Werten nach allerdings nichts zu bemerken.

#### 4.4.3 U/Th-Datierung

An einer Muschelprobe aus der Klüsser Nische, die Herr Frenzel (Greifswald) zur Verfügung gestellt hat, war wegen des Einbaus von detritischem Thorium kein verlässliches U/Th-Alter zu gewinnen. Das gleiche gilt leider auch für die anderen Proben aus Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein (Tab. 3).

#### 4.4.4 Palynologie

Die Interpretation der palynologischen Befunde des marinen Cyprinentons von Rügen und ihre Bedeutung und Korrelation in regionaler Hinsicht in der Quartärstratigraphie des Ostseegebietes und des Norddeutschen Raumes wurde in Erd (1973), Steinich (1992) und Litt (1994) ausführlich behandelt.

Die stratigraphischen Einheiten A, B, C in Profil KN 64 wurden von Frenzel (1993) mit den früheren Profilen von Wigank (1972) korreliert, die wiederum auf die Pollenstratigraphie von Erd (1973) Bezug nehmen. Danach fallen unsere Profilabschnitte in die Eichenmischwaldzeit, d.h. in die Wärmezeit des Eem. Damit können u.a. die Isotopenbefunde von Rügen mit unseren anderen Sedimentfolgen verglichen werden, die alle diese Phase enthalten.

#### 4.4.5 $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ Messungen

Über 3,5 m des Profils zeigt die detaillierte Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenkurve der drei ausgewählten Foraminiferen-Arten *A. batavus/beccarii*, *N. germanicum* und *B. frigida* einen erstaunlich ruhigen Verlauf. Die Schwankungen im Kurvenverlauf von *N. germanicum* sind eher auf gemischte Foraminiferarten (z.B. mit *Nonion* sp.) in den gemessenen Proben zurückzuführen (Abb. 18).

Die von den paläontologischen und sedimentologischen Untersuchungen abgeleiteten unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen spiegeln sich hier im Isotopenbefund von *Ammonia* und *Bucella* überraschenderweise nicht wider. Hingegen weist *E. albiumbilicatum* mit einem Offset von  $\approx -11\text{‰}$  im  $\delta^{18}\text{O}$  und von  $\approx -4\text{‰}$  im  $\delta^{13}\text{C}$  gegenüber den anderen Arten auf eine Kalzifikation in einem andersartigen Ablagerungsmilieu hin. Dieser große Unterschied im  $\delta^{18}\text{O}$  kann schwerlich mit saisonalen Temperaturänderungen erklärt werden. Damit wird die These vom Steinich (1992) bestätigt, daß Teile des Cyprinentons vor seiner Umlagerung ursprünglich in einem Küstendelta des Skaerumhede-Meeres zum Absatz gekommen sind.

Im Hangenden der *E. albiumbilicatum* Zone zeigen *Ammonia* und *Bucella* z.T. kohärente Variationen des  $\delta^{18}\text{O}$ -Verlaufes, so bei dem Trend im Abschnitt 120 bis 180 cm, aber auch bei einigen 'kurzfristigeren' Schwankungen. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *Ammonia* sind negativer als von *Bucella*, wahrscheinlich als Folge der Remineralisation von planktischem Detritus der Frühjahrsblüte. Derartiges Bodenwasser konnte offenbar auch längerfristig vor Ort gelegen haben und nicht durch frischeres Wasser ersetzt worden sein. Ähnlich liegen die Verhältnisse heute in der Ostsee.

#### 4.5. Geländebeprobungen bei Stohl, Schwaan und Klein Klütz-Höved

Die marinen Eem-Schollen des Steilufers bei Stohl/Marienfelde, Schleswig-Holstein, die 'Brackwasser-Scholle' bei Klein Klütz-Höved, Mecklenburg-Vorpommern, und die Aufschlüsse der Brackwasserablagerungen in einer Sandgrube bei Schwaan, Mecklenburg-Vorpommern beanspruchten wegen ihrer fein- bis mittelsandigen Lithologie viel Zeit für die sedimentologi-

schen und mikropaläontologischen Laborarbeiten. Leider erwiesen sich nur einige Stohl-Proben als geeignet und lieferten genügend Foraminiferen-Exemplare für die Isotopenanalysen.

#### 4.5.1 Profilaufnahme und Beprobung

Die stratigraphische Folge der stohler Scholle wurde von Kubisch und Schönfeld (1985) beschrieben. Die Scholle ist zum Teil abgetragen und der Rest leider mit über 3 m Schutt bedeckt. An der Steilküste in unmittelbarer Nähe wurde jedoch ein zuvor nicht beschriebenes anstehendes Eem in einer ähnlichen, aber sandigen Sequenz mehrfach gefunden. Die ersten drei glazigenen Eem-Stauchungen am Steilufer von Stohl (Übersichtsbeprobungen SA, SB und SC) wurden zuerst bearbeitet. Die Profile SA und SB führten Mikrofaunen, und ein neues Profil im östlichsten Teil (ST2) wurde eng beprobt.

Die Eem-Abfolge bei Klein Klütz-Höved wurde von Strahl et al. (1994) pollenanalytisch neu bearbeitet. Unsere Beprobung wurde daher auf die Brackwasser-Ablagerungen konzentriert.

Die Schichtfolge in Schwaan ist seit Geinitz (1893) bekannt. Das Profil in der jetzt stillgelegten Sandgrube wurde neu aufgenommen (Tab. 8).

#### 4.5.2 U/Th Datierung

In Schwaan kam *Cerastoderma edule* als einzige Muschelart *in situ* in ausreichender Zahl vor. Obwohl *C. edule* wegen des Aragonit-Anteils in der Schale nicht unbedingt geeignet erschien für die U/Th-Methode, haben wir den Versuch unternommen, 4 Proben in Heidelberg zu datieren. Die Infiltration sekundären Thoriums in den Kalkschalen war jedoch zu stark, als daß eine Aussage zum Alter möglich gewesen wäre (Tab. 3). Dasselbe gilt für die beiden Proben aus Klein Klütz-Höved.

Die Weiterbearbeitung der Proben wurde daher zurückgestellt.

#### 4.5.3 $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ Messungen

Die Übersichtsmessungen an *N. germanicum* und *A. beccarii* aus Stohl (Abb. 19) zeigen sehr starke Schwankungen innerhalb des 4 m langen Profils. Die detaillierten Messungen an den oberen 30 cm des Profils ST2 zeigten auch zwischen engständigen Proben erhebliche Veränderungen in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten. In Anbetracht des küstennahen Ablagerungsraumes der Sedimente sind diese Ergebnisse jedoch ohne regionale Bedeutung für die Typisierung der Wassermassen des Eem-Meeres. Das Profil wurde deshalb nicht weiter bearbeitet.

Im Vergleich zu Krummland sind in den Stohler Proben die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *A. batavus/beccarii* und *N. germanicum* im Mittel schwerer, ebenso auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Sie liegen etwa im Wertebereich der Proben von Kropp. Insgesamt spricht der Befund für eine ozeanographisch offene Küste - in diesem Fall die Küste der Hauptaustauschstraße, die weiter im Südosten gelegen haben muß.

#### 4.6 Isotopen-Rezentstudie

Die rezenten Proben von *Ammonia beccarii* stammen aus dem Havstensfjord, östl. Skagerrak-Küste bei Uddevalla, SW Schweden. Sie wurden von Herrn Dr. Kjell Nordberg zusammen mit den hydrographischen Daten (Abb. 20a) über 1 1/2 Jahre monatlich aus verschiedenen Wassertiefen gesammelt. Der Havstensfjord dürfte nach Temperatur und Salzgehalt, thermohaliner Schichtung und Saisonalität den Gewässern des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein ähnlich gewesen sein.

Der Vergleich der gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit denen eines hypothetischen isotopischen Gleichgewichtskalzits,  $\delta_c$ , berechnet nach der Paläotemperaturgleichung von Shackleton

(1974), zeigen *Ammonia* als eine im Frühsommer kalzifizierende Art, die mit geringen Neubeträgen (durch nachwachsende Individuen oder weiteres Schalenwachstum) diese Frühsommer-Isotopenwerte ins nächste Jahr überträgt. Dies wird an den Proben aus 10 m Wassertiefe deutlich (Abb. 20b.1). Die kürzere Serie aus 20 m Tiefe (Abb. 20b.2) ist wegen der vergleichsweise konstanten saisonalen hydrographischen Bedingungen weniger prägnant. Die Daten zeigen, daß bei *Ammonia* einen sogen. Vital-Offset von ca. +1 ‰ aufweist.

Auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte halten die Frühsommer-Entwicklung fest. Auf 10 m Wassertiefe zeigen sie die isotopische Anreicherung im gelösten anorganischen Kohlenstoff des Wassers, die mit der Planktonblüte infolge der isotopenselektiven Assimilation typischerweise einhergeht. Auf der 20 m Tiefenstufe macht sich umgekehrt der Abbau des abgesunkenen Detritus in einer Erniedrigung der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bemerkbar.

Gerade diese Reaktion des  $\delta^{13}\text{C}$  ist für die Interpretation des eem-zeitlichen Befundes höchst hilfreich. Die Untersuchungen bestätigen das Bild von *Ammonia* als einer die Sommerbedingungen, nun genauer: die Frühsommerbedingungen repräsentierenden Art.

Die rezenten Proben von *Bucella frigida* waren leider zu klein für die Isotopenanalyse.

## 5 Diskussion

### 5.1 Isostasie und Salztektonik

Das Untersuchungsgebiet Dagebüll liegt westlich der Endmoräne der letzten Vereisung und wurde nicht von den weichzeitlichen Gletschern überfahren. Die eemzeitlichen Sedimente liegen hier zwischen -28,5 m und -7,5 m NN und wurden von Schmelzwassersanden der Weichselkaltzeit überlagert. In den zahlreichen Bohrprofilen des LANU (Temmler 1995) sind salztektonisch bedingte Bewegungen in den Schichten nicht evident.

Krummland dagegen lag während des Weichsels unter einer Eisdecke und wurde von Gletschern überfahren. Anzeichen für eistektonische Auswirkungen sind in der Bohrung KR 1 nicht nachweisbar, obwohl das Eem-Vorkommen bei Stohl, 14 km entfernt, eindeutig eine Scholle darstellt. Im tieferen Untergrund befinden sich die Salzstöcke Westensee-Osterby im Westen und der Salzstock Schwedeneck im Osten. Die Bohrstelle KR 1 liegt im synklinalen Bereich zwischen beiden Strukturen, wo die Salzmächtigkeit höher ist (Jaritz, 1972). Eine Hebung durch Salzaufstieg im jüngeren Holozän wurde beim Windebyer Noor, am Rande des Osterby-Salzstockes beobachtet (Voss 1968). In der westlichen Ostsee, einem Senkungsgebiet südlich der isostatischen Null-Linie nach Gutenberg (1941), waren jedoch nach Winn et al. (1986) weder Hebung noch Senkung feststellbar. Kolp (1979) andererseits gab Isolinien der isostatischen Senkung für die südliche Ostsee an. Neue Untersuchungen (Lemke et al. 1998) konnten die Existenz entsprechender Terrassen im westlichen Randgebiet der südlichen Ostsee nicht bestätigen.

Ein Vergleich der relativen Meeresspiegelkurve des südlichen Nordseegebietes im Bereich der südöstlichen Deutschen Bucht (Linke, 1982) und der westlichen Ostsee (Winn et al. 1986) zeigt kaum Unterschiede am Anfang des Holozäns. Deshalb sind wesentliche regionale glaziale/interglaziale isostatische Ausgleichsbewegungen in unserem Untersuchungsgebiet nicht anzunehmen. Die Lage unserer beiden Bohrungen abseits salztektonisch bedingter Hebungsgebiete scheint daher keine Tiefenkorrekturen erforderlich zu machen.

### 5.2 Geologische und hydrologische Entwicklung des Eem-Meeress

Das Fehlen umfassender Absolutdatierungen erlaubt es nicht, einen zeitgenauen direkten Vergleich mit der globalen Meeresspiegelkurve zu ziehen und eine Beziehung zu dem von den Eiskernen Grönlands und den Sedimenten der Tiefsee abgeleiteten Klimaverlauf dieses Interglazials aufzustellen. Doch haben wir mindestens die Phase des Hoch-Eem, pollenfloristisch charakterisiert durch den wärmeliebenden Eichenmischwald, durch einige u. E. verlässliche U/Th-Alter zeitlich um  $132 \pm 1$  ka fixieren können. Damit bietet sich erstmals die Möglichkeit, das Eem-Interglazial mit der marin-geologischen globalen Klimageschichte zu verknüpfen. Dies sei im Folgenden kurz dargelegt.

Die palynologische Bearbeitung der klassischen Eem-Ablagerungen vor allem in den Niederlanden (Zagwijn, 1983) zeigt, daß das Hoch-Eem eine frühe Entwicklungsphase des Interglazials ist. Unsere Datierung des Hoch-Eem in Dagebüll korreliert diese Phase des terrestrischen Eem mit dem frühen Sub-Stadium (5.5.3) des marinen Interglazials (Sauerstoffisotopenstadium 5.5).

Diese frühe Plazierung des Hoch-Eem fällt in den Sedimenten der Norwegen-Grönland-See zusammen mit sehr niedrigen ("leichten") planktischen  $\delta^{18}\text{O}$  -Werten, die meist als Schmelzwassersignal angesehen werden, aber auch erhöhte Temperaturen bedeuten können; mit dem Auftreten der heute subtropisch lebenden planktischen Foraminifere *Beella megastoma* sowie *digitata* (Bauch 1994); mit dem (astronomisch modulierten) Maximum der solaren Sommerinsolation in den nördlichen Breiten; mit einer isotopischen Wärmephase um 131 ka auch im antarktischen Raum, im Vostok-Eiskern (Jouzel 1994); und liegt in der Norwegen-Grönland-See in der Entwicklung des benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Signals (nach Ergebnissen von Erlenkeuser, Haake, Bauch im SFB 313) als Monitor der Eiskappengröße noch vor dem Erreichen des späteren stationären Standes des interglazialen Meeresspiegels, also in Übereinstimmung mit unseren Befunden in einer Transgressionsphase. Auch die in den Tiefseekernen beobachtete kühlere Phase zwischen den Stadien 5.5.3 und 5.5.1 fällt in Dagebüll zusammen mit dem Rückgang der wärmeliebenden Foraminifere *Ammonia beccarii* am Übergang vom Hoch-Eem in die Nachwärmezeit, und ist in Krummland im  $\delta^{18}\text{O}$ -Verlauf zu sehen.

Diesem frühen, noch in die Deglaziation fallenden Hoch-Eem lag nach dem Faunenbild in den Tiefseesedimenten der Norwegen-Grönland-See offenbar auch ozeanographisch ein anderes Zirkulationsmuster zu Grunde als der nachfolgenden Phase, das Stadium 5.5.1 (= mutmaßlich die Nachwärmezeit des Eem). Erst dieser, plankton-isotopisch kühlere Abschnitt zeigt die aus dem gegenwärtigen Interglazial bekannte Faunenvergesellschaftung.

Der Meeresspiegel war im Saale-Spätglazial zu Beginn des Hoch-Eem bereits soweit angestiegen - so die Pollenanalyse für Krummland -, daß das Meer bereits die Ostsee ingredierte hatte und während des Hoch-Eem zwischen Kropp im Westen und Rügen im Osten einheitliche  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Bodenwasser (der kühleren Jahreszeiten) hinterließ.

Das Hoch-Eem scheint nach Ausweis des Isotopenbefundes von Krummland, wo es zur Gänze erfaßt ist, klimatisch stabil gewesen zu sein. Jedenfalls gibt es keinerlei Anzeichen für heftige, auf glaziales Niveau zurückgehende Änderungen, wie dies durch die ersten Interpretationen der GRIP-Eiskernbefunde vermutet wurde. Auch die Fazieswechsel in den Senescensanden von Dagebüll haben wenig Signifikanz für übergreifende Klimaoszillationen und können mühelos als lokale Erscheinungen verstanden werden.

Im folgenden diskutieren wir die Entwicklung des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein nach seinen verschiedenen Phasen.

### 5.2.1 Das frühe Eem

Als der globale Meeresspiegel in der Frühphase der Saale-Eisschmelze noch unterhalb 30 m NN lag, herrschten limnisch-fluviatile Bedingungen in unserem Untersuchungsgebiet. Mit dem weiterem Anstieg drang das Eem-Meer durch die Nordmann-Rinne (Abb. 21) nach Osten vor bis in das Gebiet der heutigen westlichen Ostsee. Zu Anfang schützten eine Schwelle nördlich der Nordmann-Rinne und Landmassen im Westen die Nordfriesische Rinne vor Überflutungen (s.a. Temmler 1995).

Drei Meeresspiegelanstiege mit brackischen Faunen waren in der Bohrung Tüschbek bei 29,7 - 29,3 m, und bei 28,95 - 28,7 m und 28,52 m unter dem heutigen NN dokumentiert, dazwischen limnisches Milieu. Danach wurde der Meeresspiegelanstieg zweimal durch Klimarückschläge unterbrochen. Spätglaziale Klimaoszillationen sind beispielsweise auch während der Deglaziation der letzten Vereisung bekannt. In Krummland ist bislang nur *eine* Inversion in der Vegetationsentwicklung im nicht-marinen Sediment bei 25,1 - 25,3 m unter NN palynologisch belegt (Anhang C). Ein Differenz von weniger als 5 m zwischen den Tiefen dieser Er-

eignisse an den beiden Orten stützt unsere Ansicht, daß sich die Sedimentschichten noch in der 'in situ'-Tiefenposition befanden, und bestätigt uns, keine Korrektur für postglaziale isostatische Bewegungen durchzuführen.

Der Durchbruch des Eem-Meeres in die Nordfriesische Rinne begann nach den Befunden zahlreicher Bohrungen an der Westküste bei ca. 29 m unter dem heutigen NN (s.a. Temmler 1995). Muscheln aus den bis zu 6,4 m mächtigen klastischen Litoral-Ablagerungen gaben in Dagebüll ein U/Th-Mischalter von  $132 \pm 1$  ka.

Mehrere Abschnitte des Teufenintervalls zwischen 30 und 25 m sind frei von Foraminiferen (z.B. 25,29 - 25,67 m; 26,52 - 26,90 m, hier auch Torfreste; 27,16 - 27,90 m und 28,28 - 28,68 m). Makrofaunistische Untersuchungen und Faziesgliederung führten W. Hinsch, LANU Schleswig-Holstein, auf eine Regression des Eem-Meeres im mittleren Abschnitt, etwa bei  $27 \pm 0,5$  m, der Senescens-Sande (s. Anhang D, Abb. D1). Wir haben allerdings die Einschätzung der Wassertiefen von W. Hinsch nicht übernommen.

Das  $\delta^{18}\text{O}$ -Signal der Foraminiferen aus diesem unteren ersten Abschnitt der Eem-Sequenz von Dagebüll zeigt kleinere thermische oder haline Oszillationen des Wasserkörpers, die wahrscheinlich mit Veränderungen des Wasserspiegels einhergingen, da die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeitgleich bessere bzw. schlechtere Ventilation des Bodenwasserkörpers anzeigen. Dieser Abschnitt liegt pollenanalytisch noch vor der Nachwärmephase des Eem. Ob er dem Hoch-Eem zuzuordnen ist oder ob zwischen Senescens-Sanden und Turritellen-Ton mit Hiaten zu rechnen ist, muß die weitere Pollenanalyse zeigen.

Nach den Änderungen der Sedimentparameter (Korngrößen und Kornzusammensetzung, Ablagerungs- und Erosionsformen, Schichtung) und dem gesamt-faunistischen Bild wird deutlich, daß der Wasserspiegel weiter gestiegen ist. Dadurch dehnte sich die enge Meeresverbindung zum östlichen Eem-See, die vorher südöstlich von Krummland gelegen hatte, über Krummland hinweg zu einer breiteren Meeresstraße aus, über die der Hauptteil der hydrographischen Wechselwirkung, d.h. der Wasseraustausch zwischen den Meeren von Nord- und Ostsee ablief. Nach den lithostratigraphischen Merkmalen in den Stohler Aufschlüssen lag die Uferzone bei Stohl weniger als 1 km nordwestlich. Aufgrund der Schichtfolge in Krummland betrug dieser Anstieg während des Früh-Eem nicht mehr als 10 m.

Ein Vergleich der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Dagebüll, Kropp und Krummland in dieser Phase der Eem-Transgression deutet auf laterale Salinitäts-Änderung (Verbrackung) von mindestens 8 ‰ (nach *Bucella*) und Temperaturdifferenzen (nach *Ammonia*) zwischen den (sommerlichen) Bodenwasserkörpern von ca. 4°C nach Osten hin. Nach dem Faunenbild ist anzunehmen, daß die voll marinen Bedingungen wie in der heutigen Nordsee noch nicht erreicht wurden.

### 5.2.2 Das Haupt-Eem

Die leichte  $\delta^{18}\text{O}$ -Zunahme bei *Ammonia* und *Nonion* zu Beginn des Turritellen-Tons bei 24,5-24,1 m (22,6-22,2 m u. NN) in Dagebüll verläuft bei gleichbleibend schwerem  $\delta^{13}\text{C}$  und wird deshalb interpretiert als Signal für die Zufuhr salzreicheren Wassers, nach den Korngrößen bei steigendem Wasserspiegel. Zugleich zeigt sich an *Ammonia* ein Temperaturrückgang im Wasser oder eine verstärkte Dämpfung des saisonalen Temperaturganges. Beides verstehen wir als Folge der zunehmenden Wassertiefe durch den Meeresspiegelanstieg. Die Ausbildung einer permanenten halinen Sprungschicht in dem tiefer werdenden Wasser könnte zunächst eine verstärkte hydrographische 'Isolation' des Tiefenwassers bewirkt haben.

Zwischen 24 - 22 m im unteren Teil des Turritellen-Tons werden die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *Bucella* um 0,75-1 ‰ leichter. Dies trotz der Zunahme der mikrofaunistischen Diversität, die auf eine höhere Salinität hinweist und dementsprechend eine Zunahme der Isotopenwerte erwarten lassen sollte. Schätzt man den restlichen Eiskappeneffekt im globalen  $\delta^{18}\text{O}$ -Signal des Inter-glazials mit -0,3 ‰ ab, verbleibt eine Temperaturerhöhung von (wenigstens) ca. 3°K im winterlichen Bodenwasser. Dies stellt nicht unbedingt eine Temperaturerhöhung des Landklimas dar. Vielmehr zeigt sich darin die zunehmende Abkopplung der Bodenwassertemperatur von der lokalen Klimasaison - z.B. winterliche Auskühlung flacher 'Inshore'-Gewässer - zugunsten des hydrographischen Einflusses der thermisch ausgeglicheneren Nordsee, der sich durch verbesserte Advektion mit steigendem Wasserspiegel entwickeln kann. Auch *Ammonia* profitiert von dieser Entwicklung (Abb. 5) und findet wieder advektiertes wärmeres Sommerwasser. Doch scheint der Kontakt mit der sicherlich gut ventilierten Nordsee nicht beliebig gut gewesen zu sein, denn das Bodenwasser am Kernort zeigt nach Ausweis der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ab 23 m eine deutliche Konzentration von remineralisiertem Kohlenstoff organischer Herkunft.

Die Größe der Nordfriesischen Rinne (Abb. 21) und die Ablagerung von Ton deuten darauf hin, daß die Sedimentation unterhalb der damaligen Wellenbasis stattgefunden hat. Der Meeresspiegel mußte zu dieser Zeit einen Stand von mindestens 5 m unter NN erreicht haben. Hirsch (1985) nahm sogar eine Wassertiefe von 30 m für die *Turritellen* an, d.h. einen Meeresspiegelstand 6-10 m über NN, somit das höchste Niveau des Eem-Meeres.

Ohne sichtbare fazielle Änderungen des Turritellen-Tons verschwindet gegen Ende der Wärmezeit des Eem bei 22,3 m die wärmeliebende *A. batavus/beccarii* aus der Mikrofaunengemeinschaft. Dies könnte auf einer dem Wasser aufgeprägten, klimatisch bedingten Temperaturänderung beruhen. Ab 24 m erscheint *B. frigida* wieder gelegentlich und wird zahlreich bei 21 m (Abb. 5). Doch gibt diese 'Winter'-Foraminifere isotopisch keine Anzeichen einer Abkühlung (Abb. 7). Es wären daher kältere Sommerhalbjahre nötig, um das Ausbleiben von *Ammonia* thermisch zu verstehen. Wahrscheinlicher scheint uns, daß sich mit dem steigenden Wasserspiegel und der begrenzten Bodenwassererneuerung die ökologischen Bedingungen für den Fortbestand von *Ammonia* ungünstig entwickelt haben. U. a. könnte eine haline Sprungschicht kaltes Bodenwasser am Kernort über das ganze Jahr hinweg bewahrt und dadurch Einfluß auf die Diversität der Faunen genommen haben. In der anschließenden Phase des Schichten mit *Abra alba* tritt *Ammonia* wiederholt episodisch auf, O-isotopisch mit einem deutlich salzreicheren (theoretisch auch: kühleren) Kern der jeweiligen Probengruppe und stets verknüpft mit vergleichsweise schweren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten. Dies ist ein deutliches Signal für episodische Einbrüche salzreichen Oberflächenwassers der nahen eemzeitlichen Nordsee, z.B. bei Sturmfluten, die eine kurze Blüte der *Ammonia*- initiieren, die sich aber unter den herrschenden Normalverhältnissen nicht halten kann.

■ Eine leichte Abkühlungsphase scheint allerdings zwischen 21 - 20 m in allen drei gemessenen Arten angezeigt. Sie fällt bereits in die Nachwärmezeit, deren genaue Grenzen allerdings noch nicht feststehen.

■ In den unteren Olander Schichten ist *Ammonia* wieder deutlich vertreten. Ihr hoher  $\delta^{18}\text{O}$ -Offset zu *Bucella*, eine weitere Erhöhung der Isotopentemperatur von *Bucella*, vor allem aber die markant niedrigen und außerordentlich variablen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der *Ammonia* sprechen für ein lokales Milieu. Es ist zu charakterisieren durch episodische Erneuerung des Bodenwassers mit besser ventiliertem Wasser von außen auch während der Sommersaison, so daß sich die Produkte von Abbau und Remineralisation je nach der Zeitdauer zwischen den Wechsellagen in unter-

schiedlichem Maße ansammeln, in der kalten Jahreszeit (nach *Bucella*) bei niedriger pflanzlicher Produktion aber völlig ausgespült werden. Die Nordfriesische Rinne im Bereich unserer Kernposition zeigt damit lagunenhafte Züge. Das Isotopenmuster legt einen engen Kontakt zur Nordsee nahe und zeigt die nördliche Öffnung des Gebietes, nach Bohrerergebnissen (Simon, in Dittmer 1942) eine breite Verbindung zwischen Sylt und der dänischen Geest gegen Ende der Schichten mit *Abra alba*.

Diese neue Situation ermöglicht eine weitergehende paläoklimatische Aussage. Während *Bucella frigida* als Repräsentant der thermisch vergleichsweise gut reproduzierten Wässer der kalten Jahreszeiten zwischen 18,50 und 16,50 m O-isotopisch stabil bleibt, zeigt *Ammonia* um rund 4 ‰ leichtere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Wenn man ein solches Signal als saisonales Salinitätssignal ausschließt - *Bucella* sollte dann nicht unberührt bleiben -, zeigt *Ammonia* ein um ca. 12° wärmeres Wasser an. Sie liegt damit nicht unvernünftig im Bereich der sommerlichen Oberflächentemperaturen der heutigen Nordsee. In den unter etwa gleichen Bedingungen abgelagerten Olander Schichten ab 17 m aufwärts zeigt sich eine leichte sommerliche Abkühlung um ca. 2°K.

Das in diesem Szenario abgeleitete Temperatursignal hat paläoklimatische Relevanz; es ist unabhängig von Sprungschichten direkt an die saisonale Temperatur des Oberflächenwassers der Nordsee und den sie treibenden saisonalen Temperaturgang der unteren Atmosphäre gekoppelt.

Wegen der neuen hydrographischen Situation ist es schwer, die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Olander-Zeit mit der vorangegangenen Entwicklung in der *Abra-alba*- und Turritellen-Ton-Phase zu vergleichen. Am ehesten könnte dies noch für die episodischen *Ammonia*-Vorkommen möglich sein, da in diesen Fällen die Temperatur/Salinitäts-Werte des mit der Überflutung eingetragenen Deckschichtwassers repräsentiert werden. Das wärmste Signal, bei 21 m, ist um  $\Delta\delta^{18}\text{O} \approx 0,5$  ‰, d.i. ca 2°K, kühler als die Zeit der Olander Schichten im Hangenden. Dieses 21-m-Signal wird allerdings kaum ein Sommerwasser repräsentieren und eher für ein bereits abgekühltes Herbstwasser oder winterliches Wasser stehen. Insofern mag das Sommerwasser der eemzeitlichen Nordsee selbst noch um einige Grad, vielleicht um 0,5 bis 1 ‰ auf der  $\delta^{18}\text{O}$ -Skala, leichter gewesen sein und ist damit thermisch vergleichbar oder sogar wärmer als in der Zeit der Olander-Schichten. Trotz der niedrigeren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus den Olander Schichten müssen diese Schichten daher nicht die wärmsten Wässer repräsentieren.

Im Krummland sind kaum sedimentfazielle Änderungen in den laminierten marinen Schichten in 35 - 31,5 m (s. Tab. 4) zu beobachten. Die isotopischen Wassermassen-Temperaturen nach dem  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau der gemessenen Foraminiferenarten sind eher gegenläufig und zeigen nur selten Kohärenz. Die ausgeprägten, 'schnellen' Schwankungen in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Signalen stützen das Bild eines häufig wechselnden Ein- und Ausstroms in diesem Gebiet. Die warvenähnlich laminierte Schichtung erlaubte eine grobe Schätzung des Sedimentationszeitraums auf ca. 3800 Jahre für das Hoch-Eem (31 - 35,5 m).

Während der Haupttransgression des Eem ist eine Verbrackung der Wassermassen nach Osten zu an den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von *B. frigida* und *A. batavus/beccarii* festzustellen. In dem winterlichen Tiefenwasserkörper ist nach einer größeren Abnahme der Salinität bis Kropp von ca. 8 ‰ (DA1:  $\delta^{18}\text{O} = +2,2$  ‰; Kropp: 0 ‰) keine große Änderung mehr ( $\Delta\delta^{18}\text{O} < 0,5$  ‰, d.i.  $\Delta S \approx 2$  ‰) nach Osten über Krummland und Stohl bis in den Lübecker Meeresarm hinein zu sehen. Der Temperatureinfluß wird bei dieser Abschätzung als gering vernachlässigt. Im sommerlichen Bodenwasser (*Ammonia*) sind die  $\delta^{18}\text{O}$ -Unterschiede etwas höher, doch kann

dies auf höhere Temperaturen in den geringeren Wassertiefen von Krummland und Tüschembek zurückgehen.

Abgesehen von den allochthonen *Elphidien* zeigen die isotopischen Verhältnisse in den Rügen-Proben zeigen kaum Schwankungen und deuten auf einen guten Zugang zum offenen Meer hin. Die Wassermassen müssen dauerhaft ähnliche isotopische Charakteristika wie die in Dagebüll gehabt haben. Im  $\delta^{18}\text{O}$  sind sie nur rund 1 ‰ leichter, d.i. 4°K wärmer oder 4 ‰ salzärmer. Ein schneller und direkter Weg des Einstroms durch die Nordmann Rinne gut 300 km nach Rügen ins Eem-Baltikum ohne größere Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Wasserkörpers wäre damit angezeigt. Eine eemzeitliche Meeres-Verbindung wie heute durch Kattegat und Skagerrak ist bislang nicht gefunden worden, trotz zahlreicher Bohrungen im südlichen Kattegat (Seidenkrantz, pers. Mitteilung, Juli 1997).

Es ist jedoch nicht klar, wie die isotopischen Werte des Eem von Rügen von den kurzfristigeren Fluktuationen wie der längerfristigen paläohydrographischen Entwicklung an der Westküste verschont bleiben konnten. Auch überraschen die vergleichsweise schweren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, die auf dem langen Weg des Bodenwassers durch Aufnahme remineralisierten  $\text{CO}_2$  eher negativer erwartet werden. Dadurch stellt sich die Frage, ob die untersuchte „Eem“-Scholle in der Klüsser Nische tatsächlich zum Eem-Meer gehört oder zu einem anderen, bis jetzt an Land noch nicht erkannten Interglazial zwischen dem Holstein ( $\delta^{18}\text{O}$ -Stadium 9) und dem Eem ( $\delta^{18}\text{O}$ -Stadium 5).

### 5.2.3 Das späte Eem

Mitten in den Olander Schichten in der Nordfriesischen Rinne und dem Abschnitt oberhalb 31 m in Krummland ging die Nachwärmezeit des Eem zu Ende. Der Rückgang des globalen Meeresspiegels führte in den westlichen Gebieten zur Verflachung des Meeres, begleitet von einem Temperaturrückgang um mindestens 5°C. In dem flacher werdenden Wasser bildeten sich Mikromilieus aus, die unter der sommerlichen Sonneneinstrahlung bei *Ammonia* zu hoher Variabilität des  $\delta^{18}\text{O}$  führte. Die Salinität ist möglicherweise sogar gestiegen, da der hydrographische Kontakt zur offenen Nordsee ähnlich der Situation im heutigen Watt ausschließlicher wurde.

Das Fehlen der Schichten des späteren Eem an den östlicheren Positionen infolge glazialer Abtragung in Krummland und dem Lübecker Meerziparm erlauben uns keine Aussage über diese Spätphase des Eem.

Die isotopischen Werte der ausgewählten Foraminiferen des Eem-Meeres im Bereich Schleswig-Holsteins und der westlichen Ostsee haben keinerlei Hinweis erbracht für eine Umkehr der  $\delta^{18}\text{O}$ -Abfolge als Anzeichen für einen anderen Zugang zum Meer außer im Westen, ursprünglich durch die Nordmann-Rinne und später auf einer breiteren nordwestlichen Grenze. Die gegenüber der westlichen Ostsee isotopisch etwas schwereren, im Vergleich zu DA1 aber immer noch isotopisch leichteren Foraminiferen der (autochthonen) Rügensedimente könnten ihr Wassersignal über tiefere Rinnen von Westen erhalten haben, aus denen uns keine Kerne verfügbar waren.

### 5.3 Globaler Meeresspiegel des Eem

Über die U/Th-Datierung an das absolute Alter der Eem-Ablagerung zu gelangen, war leider wegen der Störungen durch detritisches Thorium in den Muschelschalen in und oberhalb des Turritellen-Tons nur begrenzt möglich (Tab. 3). Unter Berücksichtigung der sedimentologi-

6 Schluffolite

1- Die Messung

schen, faunistischen und isotopischen Befunde und Tendenzen in der ermittelten Altersfolge (Abb. 6) haben wir eine Meeresspiegelkurve entworfen. Zusammen mit dem ins  $\delta^{18}\text{O}$ -Stadium 5.5.3 fallenden U/Th-Alter für das Hocheem und zurückgreifend auf hochaufgelöste Tiefsee-kerne (Bassinot et al. 1994), konnten wir das Alter des Seespiegelnhöchststandes abgrenzen und den lokalen Befund mit dem globalen Entwicklung verknüpfen (Abb. 22).

wissen

formati

komple

tion h

Entw

3- West

faun

über

rak

4- Ein

Un

Die

g

kon

5- F

Or

re

er

on

6- D

g

g

7- A

g

g

8- A

g

g

9- A

g

g

10- A

g

g

## 6 Schlußfolgerungen

- 1- Die Messung der magnetischen Suszeptibilität - erstmals auf an Land erbohrte Sedimente angewandt -, war eine geeignete Methode, die Verlandungsschichten und Paläoböden zu erfassen. Auch konnten vormals reduzierende Milieus erkannt werden. Die magnetische Suszeptibilität der Geschiebemergel zeigte weniger Fluktuationen als erwartet. Dies sollte weiter untersucht werden.
- 2- Hochauflösende sauerstoff- und kohlenstoffisotopische Untersuchungen an Fossilien erwiesen sich als ein geeigneter Weg, wesentliche, auf andere Weise nicht erhältliche Informationen über die paläohydrologisch/paläohydrographische Entwicklung in den sehr komplexen und variablen Systemen flacher Küstengewässer zu gewinnen. Die Kombination lithologischer, faunistischer und isotopischer Methoden war unverzichtbar, um die Entwicklungen im einzelnen zu verstehen.
- 3- Wesentlich war eine hohe Auflösung durch die Beprobung, um seltene Ereignisse zu erfassen, die meist für die Interpretation von hohem Wert waren. Hohe Auflösung gibt überdies der Variabilität der gemessenen Parameter einen eigenständigen Wert zur Charakterisierung des untersuchten Systems.
- 4- Entsprechend der komplexen Orographie des eemzeitlichen Schleswig-Holsteins ist die Untersuchung von zwei (2) Kernen nicht ausreichend für ein leidlich umfassendes Bild. Die 4 Kernbohrungen des LANU und die Geländebeprobungen ergänzten jedoch den regionalen Überblick und erlaubten eine Rekonstruktion der paläogeologischen Entwicklung des Eem-Meeres.
- 5- Es besteht Untersuchungsbedarf an Kernen aus der zentralen Rinne zwischen Nord- und Ostsee, um die Entwicklung der hydrographischen Wechselbeziehung dieser Meere während des Eem zu erkennen, und an einem Raster von Kernen aus geringeren Wassertiefen des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein, um bei der engen Kopplung der Oberflächenschichten an das Landklima dessen Entwicklungsstufen zu erfassen.
- 6- Das Hoch-Eem, pollenfloristisch die Wärmezeit des Interglazials, lag sehr früh, gemäß der in diesem Projekt erstmals gewonnenen Datierung ( $132 \pm 1$  ka, s.a. Lomitschka et al. 1997) noch in der Deglaziation der Saale-Kaltzeit.
- 7- Die Korrelation der Sedimentfolgen wurde wesentlich durch die Pollenanalyse erleichtert oder sogar erst möglich, weil die Eem-Ablagerungen in Schleswig-Holstein im West-Ost-Gradienten der Salinität stehen und ohne eine engständige Kernfolge entlang der Wasser-austauschstraßen isotopisch nur bedingt zu charakterisieren sind.
- 8- Die Eem-Ablagerungen in Schleswig-Holstein ermöglichen die Korrelation der marinen und terrestrischen Entwicklungen und die vergleichende Betrachtung des Interglazials in beiden Naturräumen.
- 9- Im Bereich der westlichen Ostsee - möglicherweise bis Rügen - zeigte das winterliche Bodenwasser während des Hoch-Eem keinen wesentlichen Salinitätsunterschied.
- 10- Eine dramatische Klimavariabilität von der Amplitude eines Glazial/Interglazial-Wechsels ist im Eem von Schleswig-Holstein nicht festzustellen.
- 11- Die Untersuchungen an den eemzeitlichen Sedimenten haben klar Bedarf an sogenannten Rezentstudien zur Folge, um die isotopischen und faunistischen Charakteristika in entsprechend ausgewählten modernen Physiotopen als Schlüssel zu einem fundierten Verständnis der Entwicklungen in der Vergangenheit zu ermitteln.

- 12- Wichtige hydrographische Aspekte dieser flachen Gewässer ergaben sich erst aus dem Vergleich der Signale von Informationsträgern unterschiedlicher saisonaler Affinität.
- 13- Die Deutung des  $\delta^{18}\text{O}$ -Signals bedarf wegen des Einflusses zweier Unbekannter, Temperatur und Salinität, zusätzlicher Informationen. Diese waren in diesem Projekt in der Regel gegeben.
- 14- Aufgearbeitete und umgelagerte Foraminiferen (des Küstendeltas des Skaerumhede-Meeres, Steinich 1992) in der Eem-Scholle von Rügen konnten isotopisch nachgewiesen werden.
- 15- Die aus den Isotopen abgeleitete Temperaturentwicklung im Benthal der eemzeitlichen Gewässer Schleswig-Holsteins kann nicht direkt als Spiegel der Klimaentwicklung gesehen werden, wegen der Auswirkung der Meeresspiegeländerung auf Schichtung und advektive Prozesse und deren Rückwirkung auf die Temperaturverteilung in der Wassersäule.
- 16- Während der Turrifellen-Ton-Zeit ist der Anstieg des Meeresspiegels evident. Erst in den Schichten mit *Abra alba* oder den frühen Olander Schichten wurde der Höchststand erreicht.
- 17- Die Anbindung der Nordfriesischen Rinne im Norden an die eemzeitliche Nordsee ist im Isotopenmuster in den unteren Olander Schichten bei 18,5 m angezeigt.
- 18- Die Erwärmung im Benthal von Dagebüll begann schon am Anfang des Turrifellen-Tons. Dies hatte sich bereits früher nach dem Faunenbild angedeutet (Dittmer 1941; Lafrenz 1963 u.a.).

## 7 Danksagung

Unser Dank gilt den Herren Hans H. Cordt und Heinz Heckt für die fachliche Betreuung der Kieler Karbonat Anlage mit dem MAT 251 Massenspektrometer, Frau C. Floors, Frau W. Rehder und insbesondere den hauptstudentischen Hilfskräften Frau U. Schulz, K. Schmidl, C. Kahland und Herrn H. Paulsen für die Mitarbeit in Gelände und Labor sowie Herrn Dr. U. Pflaumann, der das Meßgerät für die magnetische Suszeptibilität zur Verfügung stellte. Herr Dr. F.R. Averdieck (Wiss. Dir. i.R.) führte den palynologischen Überblick für den Krummland-Bohrkern und Herr Dipl.-Biol. R. Glos die Palynologie der Dagebüll-Proben aus. Herr Dipl. Geol. P. Frenzel und M. Reich analysierten den Anteil der Nicht-Foraminiferen an der Mikrofauna. Die Herren Drs. H.-J. Stephan, H. Temmler und K. Gürs vom LANU Schleswig-Holstein standen mit Rat und Tat zur Seite und haben uns umfangreiche Unterstützung gewährt. Der Deich- und Hauptsielverband Südwesthörn-Bongsiel und Frau Maria Schneider, Achsenkamp, Kreis Eckernförde, erteilten freundlicherweise die Genehmigung zur Durchführung der Forschungsbohrungen auf ihren Grundstücken. Herrn Dr. F. Werner (Wiss. Dir. i.R.) danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

*Maun!*

## 8 Referenzen

- Bassinot, F.C., Labeyrie, L.D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J., Lancelot, Y. (1994): The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal.- *EPSL*, 126:91-108.
- Bauch, H.A. (1994): *Beella megastoma* (EARLAND) in Late Pleistocene Norwegian-Greenland Sea sediments: Stratigraphy and meltwater implication.- *J. Foram. Res.*, 24/3:171-177.
- Chen, J.H.; Edwards, R.L.; Wasserburg, G.J. (1986):  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in seawater.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80:241-251.
- Dittmer, E. (1941): Das nordfriesische Eem. Ein Beitrag zur Geschichte der jung interglazialen Nordsee.- *Kieler Meeresforsch.*, 5/1:169-199.
- Duphorn, K., Kliewe, H., Niedermeyer, R.-O., Janke, W.; Werner, F. (1995): Sammlung geologischer Führer, 88, Bornträger, Stuttgart, 281 S.
- Erd, K. (1973): Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokratischen Republik.- *Z. geol. Wiss.*, 1:1087-1103.
- Erlenkeuser, H. (1985): Stable isotopes in benthic foraminifers of Skagerrak core GIK 15530-4: High resolution record of the Younger Dryas and the Holocene. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 65:49-57.
- Frenzel, P. (1993): Die Ostrakoden und Foraminiferen des pleistozänen Cyprinontons der Insel Rügen, NE-Deutschland/Ostsee.- *Meyniana*, 45:65-85.
- Geinitz, E. (1893): Marines Interglazial von Schwaan in Mecklenburg.- *Arch. Ver. Freunde Naturgesch. Mecklenburg, Güstrow*, 47:135-136.
- Greenland Ice-Core project members (1993): Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core.- *Nature*, 364:203-207.
- Gutenberg, B. (1941): Changes in sea level, postglacial uplift, and the mobility of the earth's interior.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 52:721-772.
- Heck, H.-L. (1932): Junginterglazial und Zeitlichkeit der Trans- und Regressionen des Eem-Meeres in Schleswig-Holstein.- *Sitz. Ber. Preuß. Geol. Landesanstalt*, 7: 127-134.
- Heck, H.-L. (1950): Eem-Ablagerung bei Lübeck.- *Schr. naturw. Ver. Schl.-Holst.*, 24:80-86.
- Hinsch, W. (1985): Die Molluskenfauna des Eem-Interglazials von Offenbüttel-Schnittlohe (Nord-Ostsee-Kanal, Westholstein).- *Geol. Jb.*, A 86:49-62.
- Jaritz, W. (1972): Zur Entstehung der Salzstrukturen in Nordwestdeutschlands.- *Geol. Jb.*, A 10: 77S.
- Jouzel, J. (1994): Ice cores north and south.- *Nature*, 372:612-613.
- Keding, E. (1993): Vegetationsbild eines Interstadials aus dem Mittleren Weichsel-Pleniglazial der Insel Rügen/Vorpommern anhand von Makroresten.- *Meyniana*, 45:87.105.
- Knudsen, K.-L. (1985): Foraminiferal faunas in Eemian deposits of the Oldenbüttel area near the Kiel Canal, Germany.- *Geol. Jb.*, A 86:27-47.
- Kolp, O. (1979): Eustatische und isostatische Veränderungen des südlichen Ostseeraumes im Holozän.- *Peterm. Geogr. Mitt.*, 123: 177-186.
- Konradi, P.B. (1976): Foraminifera in Eemian deposits at Stensigmosse, southern Jutland.- *Danm. Geol. Undersøg.*, II, 105, 57 S.

- Kosack, B., & Lange, W. (1985): Das Eem-Vorkommen von Offenbüttel/Schnittlohe und die Ausbreitung des Eem-Meeres zwischen Nord und Ostsee.- *Geol. Jb.*, A **86**:3-17.
- Kubisch, M., & Schönfeld, J. (1985): Eine neue „Cyprinen-Ton“-Scholle bei Stohl (Schleswig-Holstein): Mikrofauna und Grobfraktionsanalyse von Sedimenten der Eemzeitlichen Ostsee.- *Meyniana*, **37**:89-95.
- Lafrenz, H.R. (1963): Foraminiferen aus dem Riss-Wurm-Interglazial in Schleswig-Holstein.- *Meyniana*, **13**:10-46.
- Lambeck, K., Nakada, M. (1992): Constraints on the age and duration of the last Interglacial period and on sea-level variations.- *Nature*, **357**:125-128.
- Laukenmann, S. (1997): Datierungen mariner Ablagerungen am Beispiel eemzeitlicher Muscheln.- Unveröff. Dipl.-Arb., Inst. für Umweltp Physik der Univ., Heidelberg, 72 S.
- Lemke, W., Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A. (1998): Sequence stratigraphy of submarine Late Pleistocene and Holocene deposits in Mecklenburg Bay, southwestern Baltic.- *Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. Ca.* (in Druck).
- Linke, G. (1982): Der Ablauf der holozänen Transgression der Nordsee aufgrund von Ergebnissen aus dem Gebiet Neuwerk/Scharhörn.- *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, **14**:123-157.
- Litt, T. (1994): Paläoökologie, Paläobotanik und Stratigraphie des Jungquartärs im nordmitteleuropäischen Tiefland. Unter besonderer Berücksichtigung des Elbe-Saale-Gebietes.- *J. Cramer Verlag, Berlin-Stuttgart*, 185 S.
- Lomitschka, M.; Frank, N.; Mangini, A. (1997): Untersuchungen zur Th/U-Datierung eemzeitlicher Muscheln aus Schleswig-Holstein.- *Meyniana*, **49**:85-102.
- Madsen, V.; Nordmann, V.; Hartz, N. (1908): Eem-Zonerer. Studier over Cyprinaleret og andre Eem-Afleiringer i Danmark, Nord-Tyskland og Holland.- *Danm. geol. Unders.* **II**, **17**, 302 S.
- Menke, B. (1985a): Palynologische Untersuchungen zur Transgression des Eem-Meeres im Raum Offenbüttel/Nord-Ostsee-Kanal.- *Geol. Jb.*, A **86**:19-26.
- Menke, B. (1985b): Eem-Interglazial und "Treene-Warmzeit" in Husum/Nordfriesland.- *Geol. Jb.*, A **86**:61-99.
- Sarnthein, M. & Tiedemann, R. (1990): Younger Dryas-style cooling events at the glacial Terminations I-VI at ODP Site 658: Associated benthic  $\delta^{13}\text{C}$  anomalies constrain meltwater hypothesis.- *Paleoceanography*, **5**:1041-1055.
- Seibold, E. (1971): Nebenmeere im humiden und ariden Klimabereich.- *Geol. Rundschau*, **60**:73-105.
- Seidenkrantz, M.-S. (1993): Foraminifera from the Quaternary sequence in the Anholt boring, Denmark.- *Boreas*, **22**:283-290.
- Shackleton, N.J. (1974): Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera Genus *Uvigerina*: isotopic changes in the ocean during the last glacial. In: *Variation du climat au cours du Pleistocène*, Labeyrie, L. (ed.), *Colloques Internationaux du C.N.R.S. No. 219*, Paris, 203-209.
- Steinich, G. (1992): Die stratigraphische Einordnung der Rügen-Warmzeit.- *Z. geol. Wiss.*, **20**: 125-154.
- Temmler, H. (1995): Neue Ergebnisse zum Aufbau des Eem-Interglazials in Nordfriesland.- *Meyniana*, **47**:83-100.

- Voss, F. (1968): Junge Erdkrustenbewegungen im Raume der Eckernförder Bucht.- Mitt. Geogr. Ges. Hamburg, **57**:95-189.
- Werner, F. (1968). Gefügeanalyse feingeschichteter Schlicksedimente der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee).- *Meyniana*, **18**:79-105.
- Winn, K., Averdieck, F.-R., Erlenkeuser, H. & Werner, F. (1986): Holocene sea level rise in the Western Baltic and the question of isostatic subsidence.- *Meyniana*, **38**:61-80.
- Winn, K., Werner, F., & Erlenkeuser, H. (1988): Hydrography of the Kiel Bay, Western Baltic, during the Littorina Transgression.- *Meyniana*, **40**:31-46.
- Winn, K.; Erlenkeuser, H.; Hinsch, W.; Temmler, H. (1994): The Eem Seas in Schleswig-Holstein, North Germany - preliminary  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  data from benthic foraminifera. IUGG Symp. on changes of coastal zones, Polish Coast '94, Gydnia, Poland, Abstracts, 60-61.
- Winn, K. & Erlenkeuser, H. (1995): Das Eem Meer in Norddeutschland: Die Kernbohrungen bei Dagebüll - Erstergebnisse.- *Meyniana*, **47**:101-113.

## 9 Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Lageplan der Kernbohrungen  
 Abb. 2 Magnetische Suszeptibilität in DA1  
 Abb. 3a Korngrößenanteil  $>63\mu\text{m}$  in DA1  
 Abb. 3b Wassergehalt und Trockenraumdichte in DA1  
 Abb. 3c Karbonat-Gehalt in DA1  
 Abb. 3d Gehalt organischen Kohlenstoffs in DA1  
 Abb. 4 Lithologische Korrelation der Bohrkerne KB VI und DA1 bei Dagebüll  
 Abb. 5 Häufigkeiten von *A. beccarii* und *B. frigida* in DA1  
 Abb. 6 U/Th-Alter ( $^{232}\text{Th}$ -korrigiert) in DA1  
 Abb. 7 Isotopenprofile in DA1  
 Abb. 7a Sauerstoff-Isotopenprofile in DA1 - Details  
 Abb. 8 Magnetische Suszeptibilität in KR1  
 Abb. 9a Korngrößenanteil  $>63\mu\text{m}$  in KR1  
 Abb. 9b Wassergehalt und Trockenraumdichte in KR1  
 Abb. 10 Lithologische Sequenz in KR1  
 Abb. 11 Häufigkeiten von *A. beccarii* und *B. frigida* in KR1  
 Abb. 12 Isotopenprofile in KR1  
 Abb. 13 Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Tüschembek  
 Abb. 14 Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Groß Weeden  
 Abb. 15 Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Blankensee  
 Abb. 16a Isotopenprofile von Kropp  
 Abb. 16b Isotopenprofile von Tüschembek, Blankensee und Groß Weeden  
 Abb. 17 Profilaufbau des Cyprinentons Klüsser Nische, Kap Arkona, Rügen  
 Abb. 18a Isotopenprofile von Rügen (Gesamtprofil)  
 Abb. 18b Isotopenprofile von Rügen (Ausschnitt des autochthonen Signals)  
 Abb. 19 Isotopenprofile von Stohl  
 Abb. 20a Temperatur und Salinität im Havstensfjord, SW Schweden, Aug.93 - Dez.94  
 Abb. 20b Isotopengang der *Ammonia* im Havstensfjord, Aug.93 - Dez.94  
 Abb. 21 Das Eem-Meer in Schleswig-Holstein  
 Abb. 22 Meeresspiegelkurve für das Eem
- Im Anhang  
 Abb. A1 Dagebüll DA1: geschätztes Paläomilieu (Basis: Ostrakoden)  
 Abb. D1 Makrofauna und Faziesgliederung von Kern BK6

## 10 Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1 Liste der bearbeiteten Bohrungen und Geländeaufschlüsse und Probenzahlen
- Tab. 2 Sedimentbeschreibung der Forschungsbohrung Dagebüll DA1
- Tab. 3 U/Th-Datierungen
- Tab. 4 Sedimentbeschreibung der Forschungsbohrung Krummland KR1
- Tab. 5 Sedimentbeschreibung der Forschungsbohrung Blankensee
- Tab. 6 Sedimentbeschreibung der Forschungsbohrung Groß Weeden
- Tab. 7 Sedimentbeschreibung der Forschungsbohrung Tüschembek
- Tab. 8 Lithologie des Aufschluß Schwaan
- Tab. 9 Lithologie des Aufschluß Klüsser Nische, Kap Arkona, Rügen
- Tab. 10 Lithologie der Bohrung Schönberg

### Im Anhang

- Tab. A1 Ostrakoden und andere Faunen in Dagebüll DA1
- Anhang C Pollenanalysen zu Krummland KR1

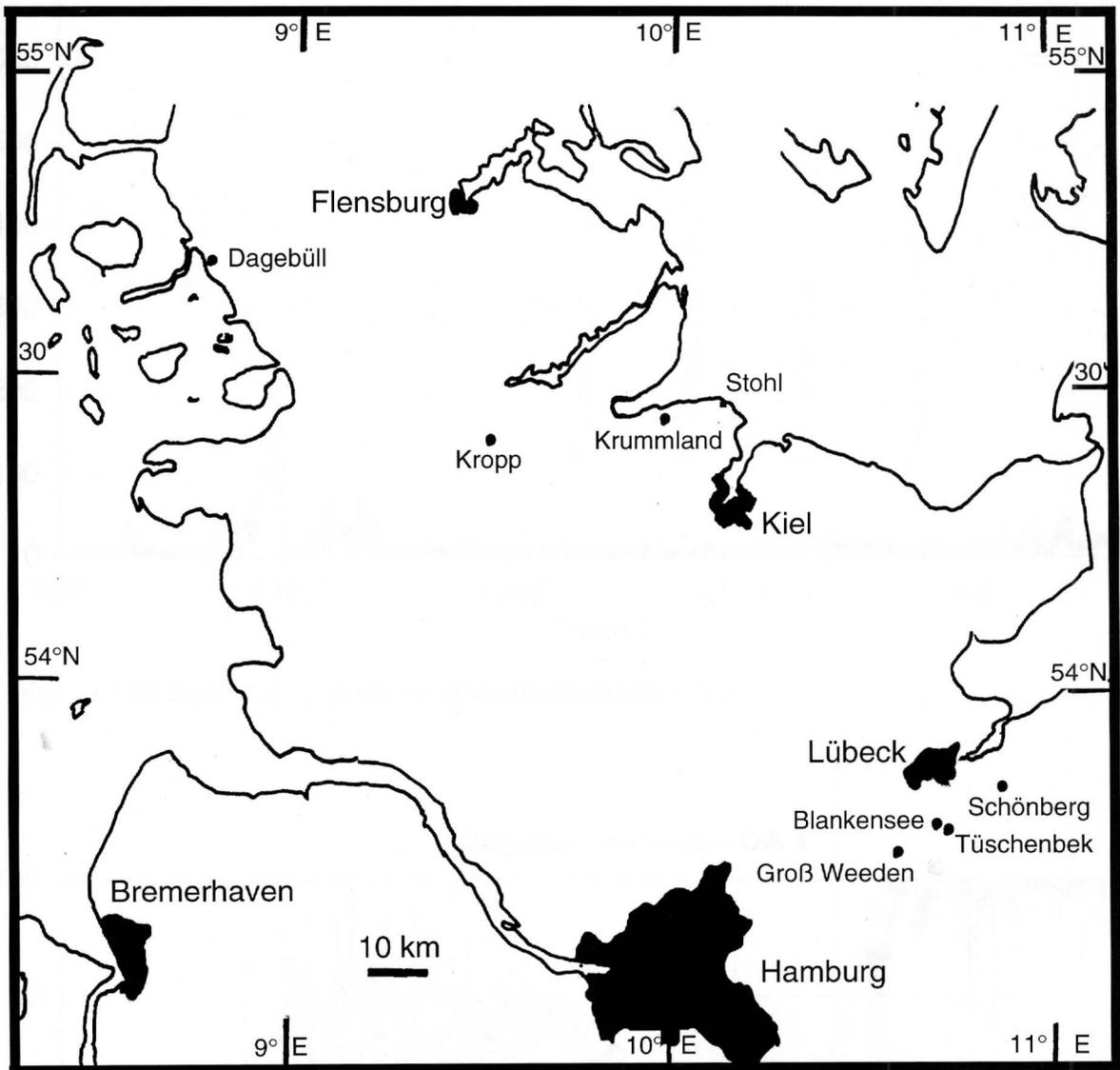


Abb. 1: Lageplan der Kernbohrungen

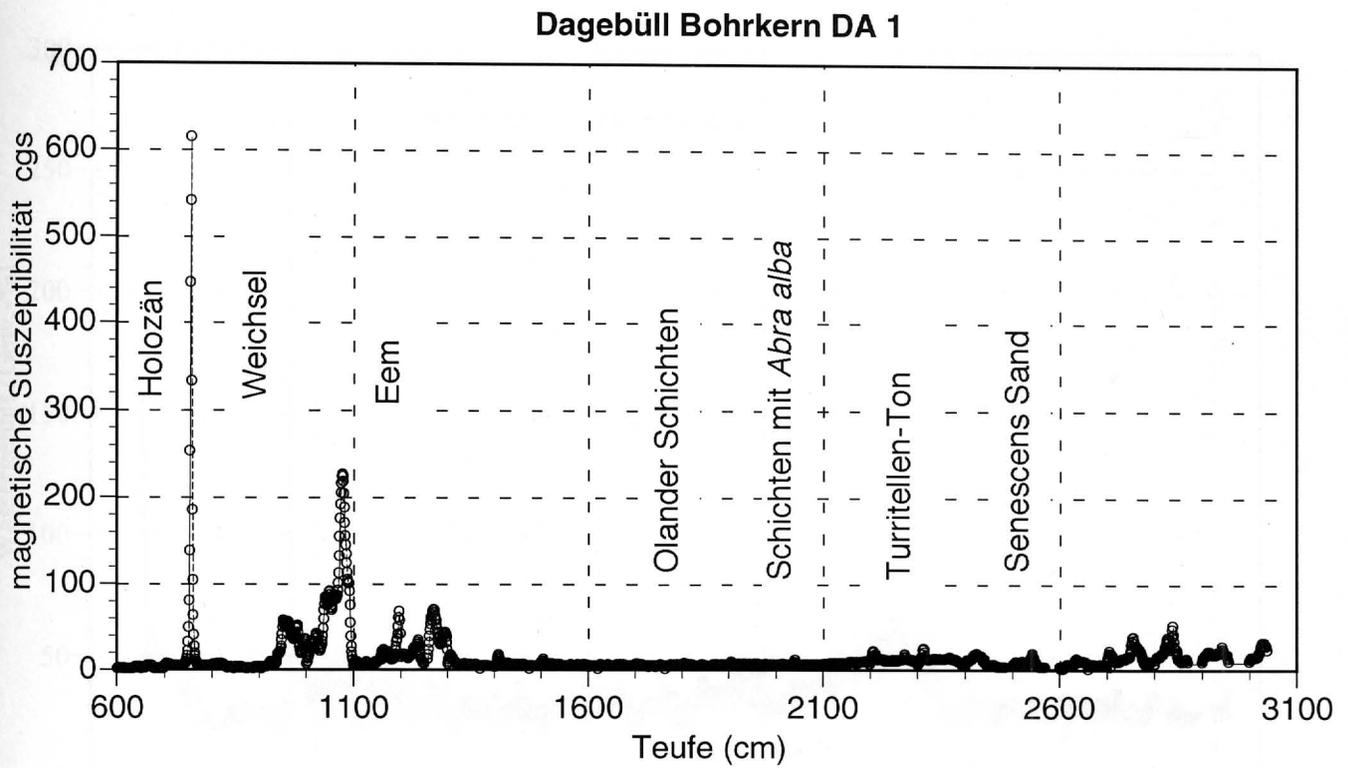


Abb. 2: Magnetische Suszeptibilitätsmessungen in DA 1

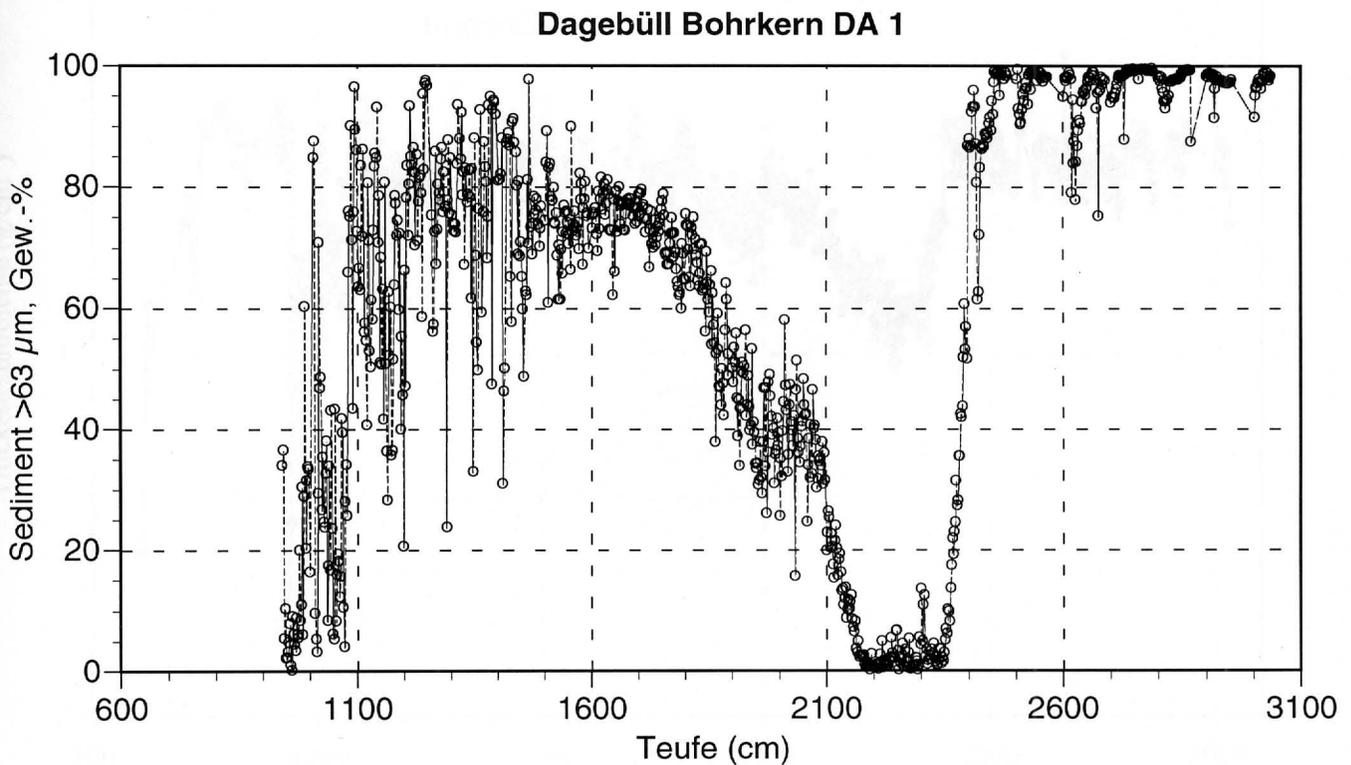


Abb. 3a: Korngrößenanteil >63µm in DA 1

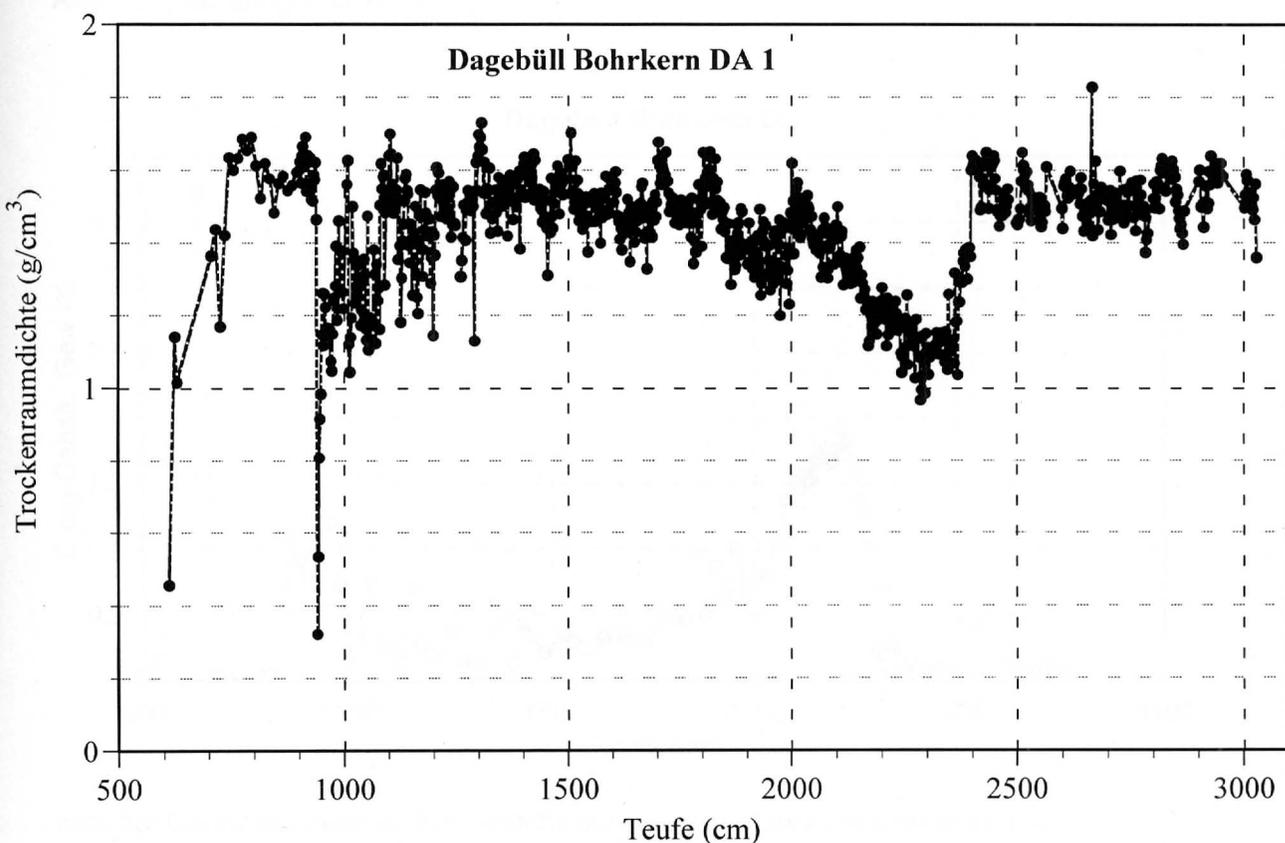
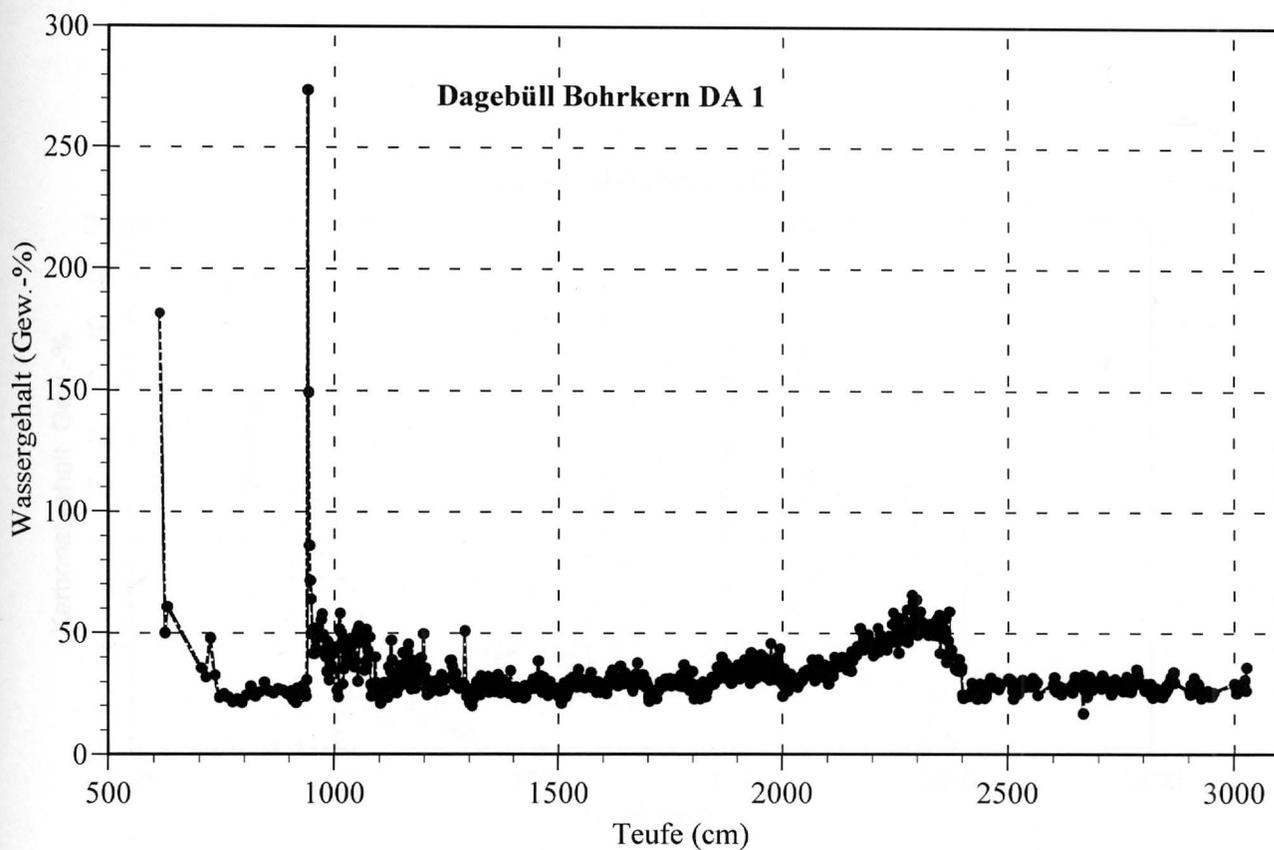


Abb. 3b: Wassergehalt und Trockenraumdichte in DA 1

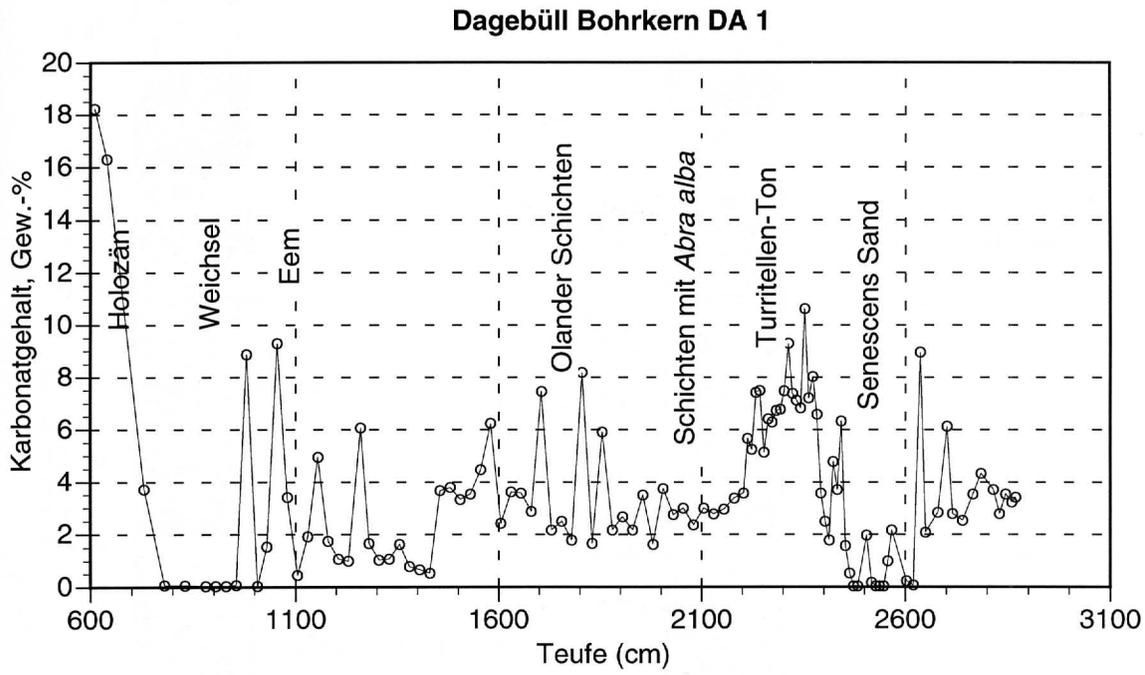


Abb. 3c: Karbonatgehalt in DA 1

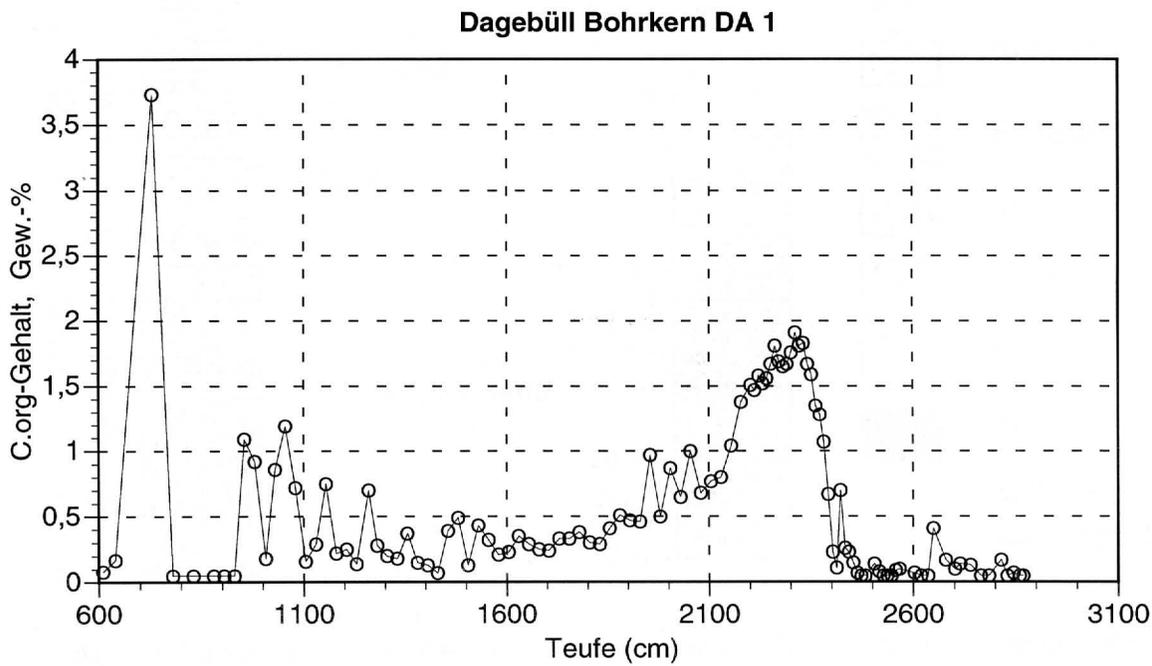


Abb. 3d: Gehalt organischen Kohlenstoffs der salzfreien Trockensubstanz in DA 1

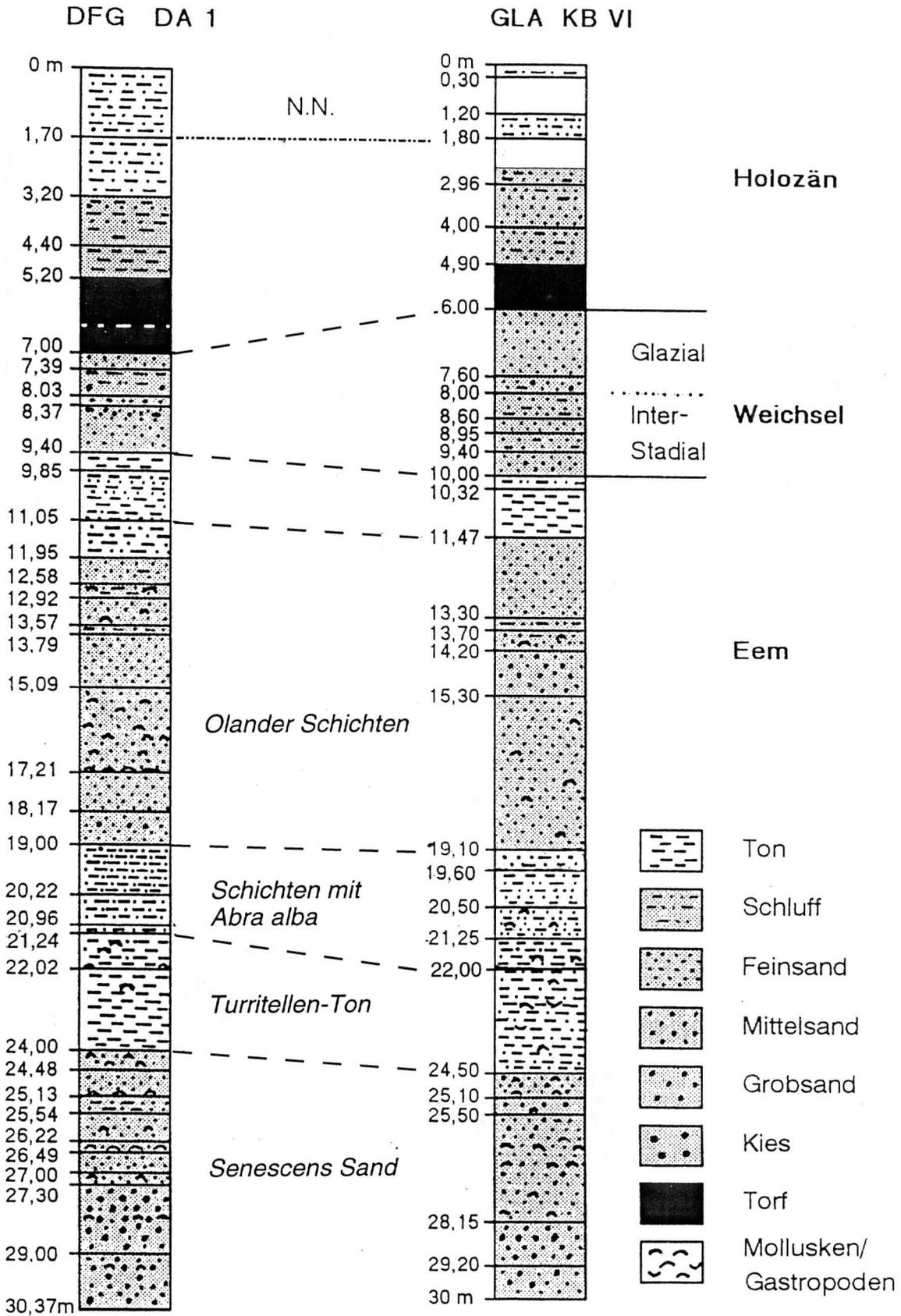
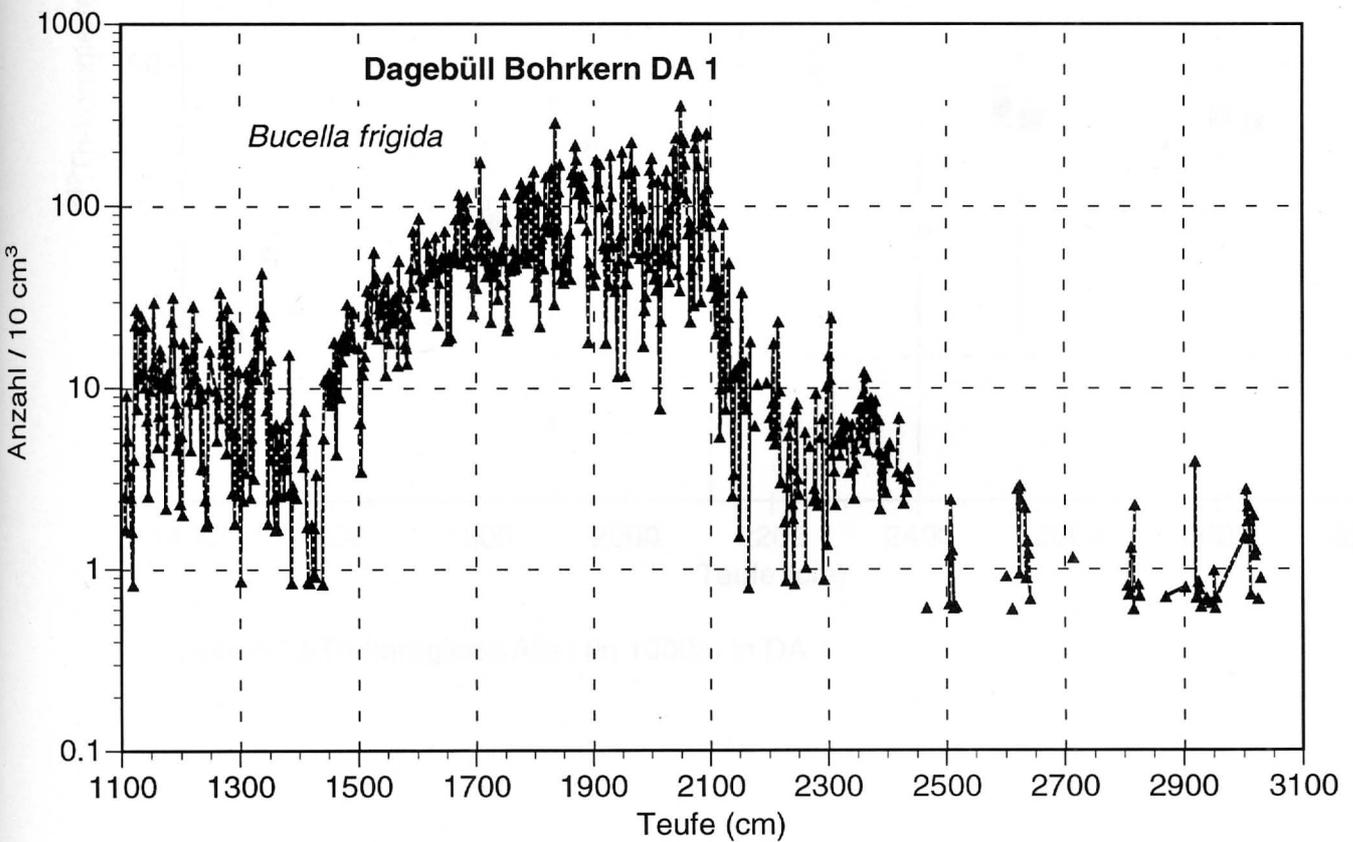
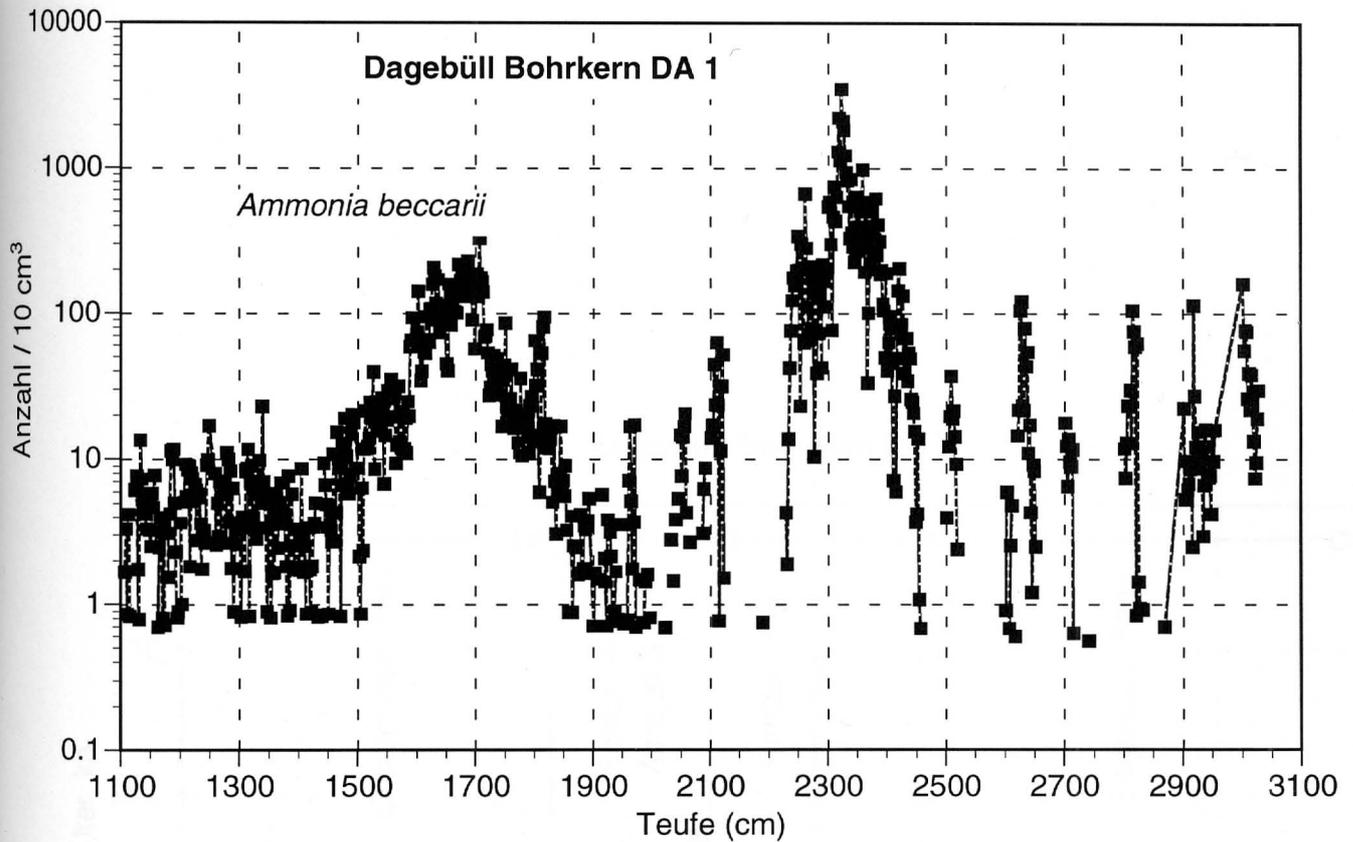


Abb. 4: Lithologische Korrelation der Bohrkern KB VI und DA 1 bei Dagebüll.

Abb. 5: Häufigkeiten von *A. beccarii* und *B. frigida* in DA 1

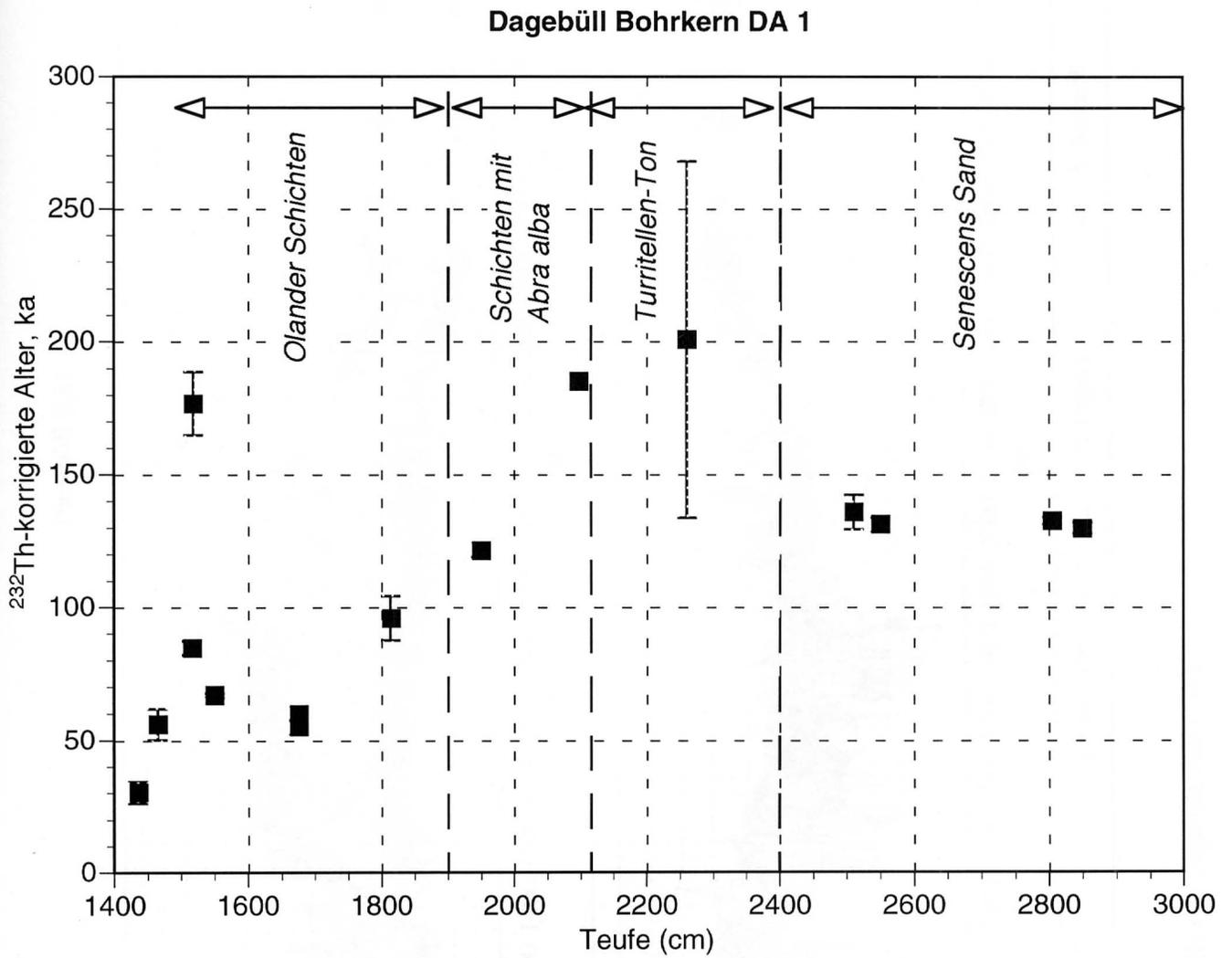


Abb. 6: U/Th-korrigierte Alter (in 1000a) in DA 1

### Dagebüll DA1

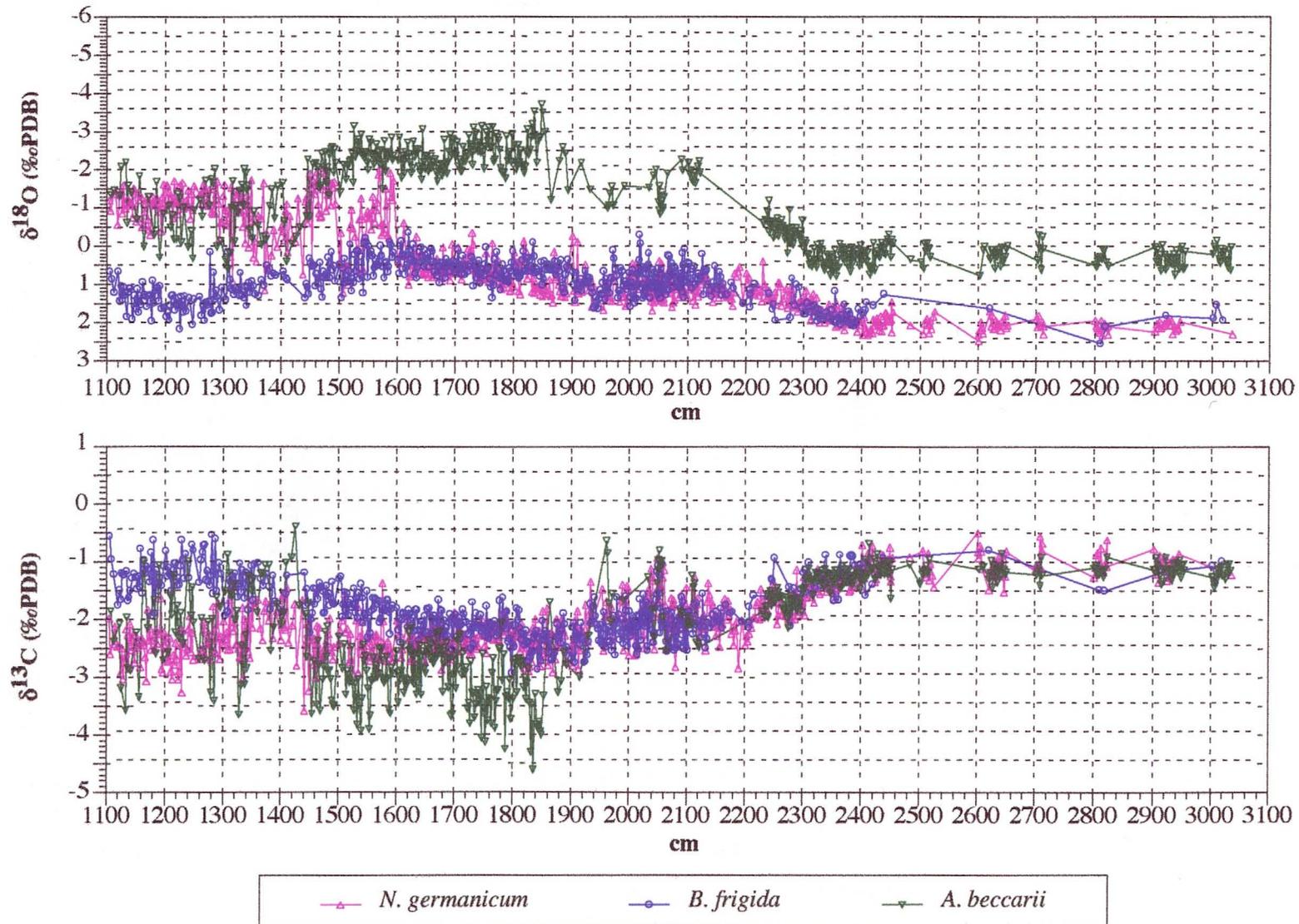


Abb. 7: Isotopenprofile von Dagebüll, Kern DA1

### Dagebüll DA1

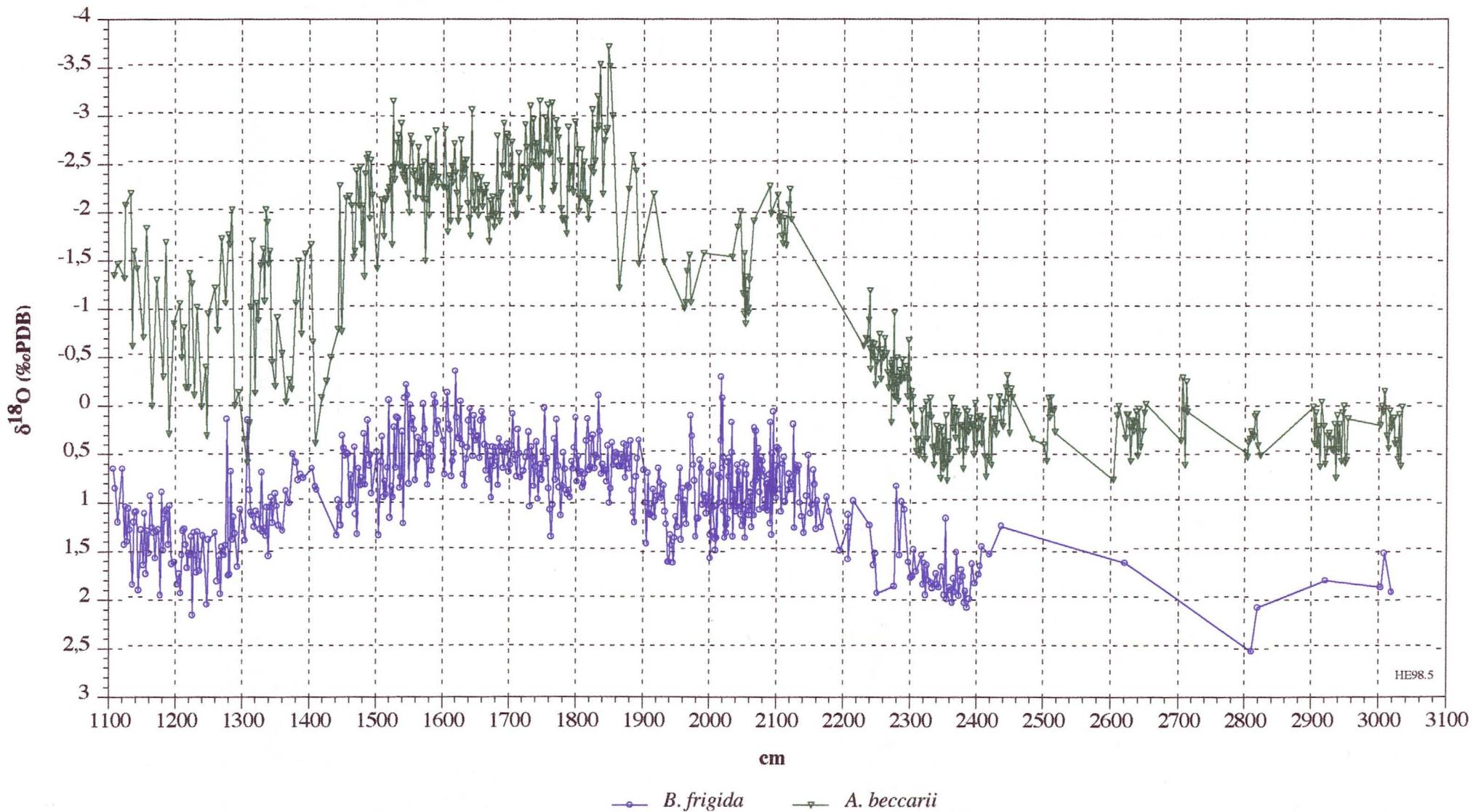


Abb. 7a: Sauerstoff-Isotopenprofile von Dagebüll, Kern DA1: Detaildarstellung

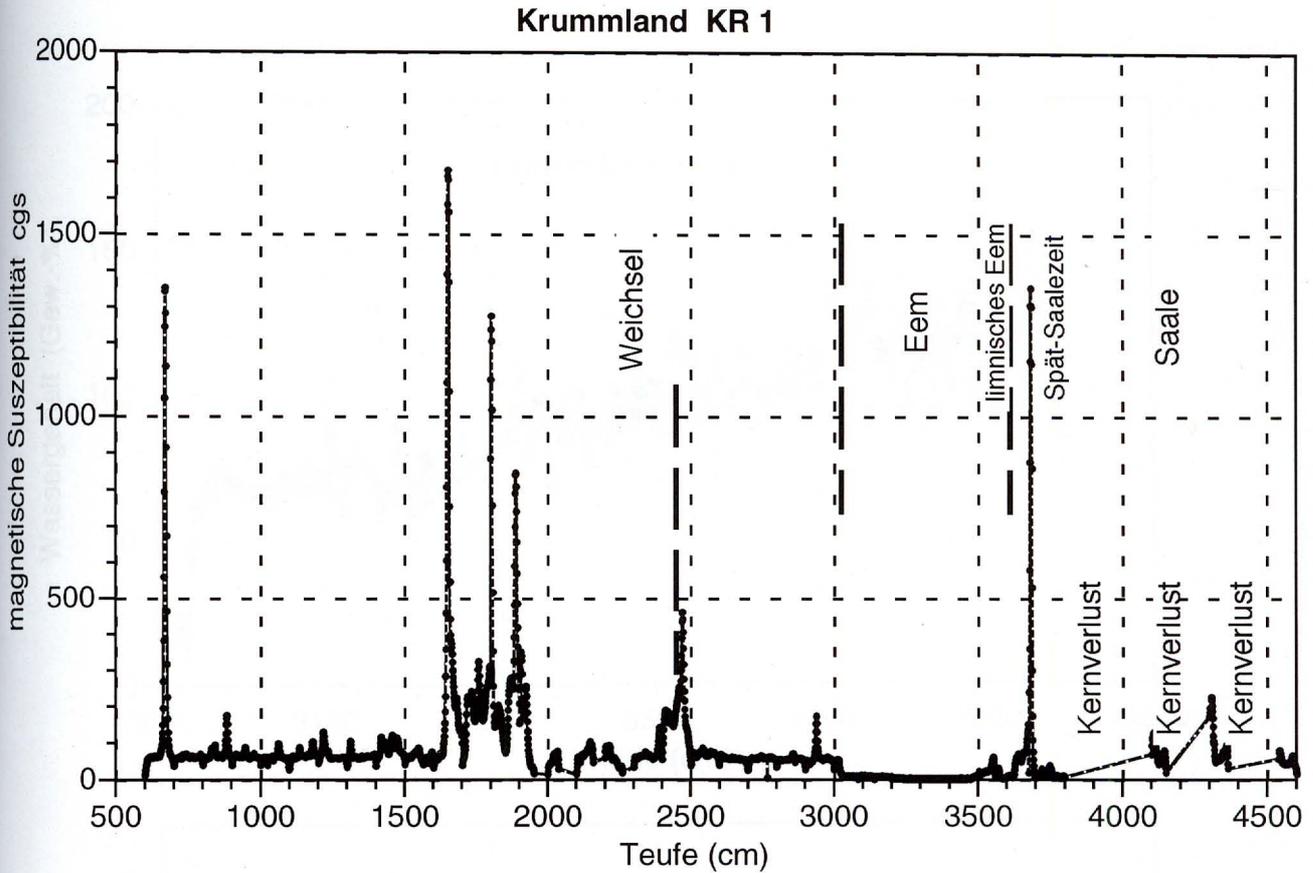


Abb. 8: Magnetische Suszeptibilitätsmessungen in KR 1

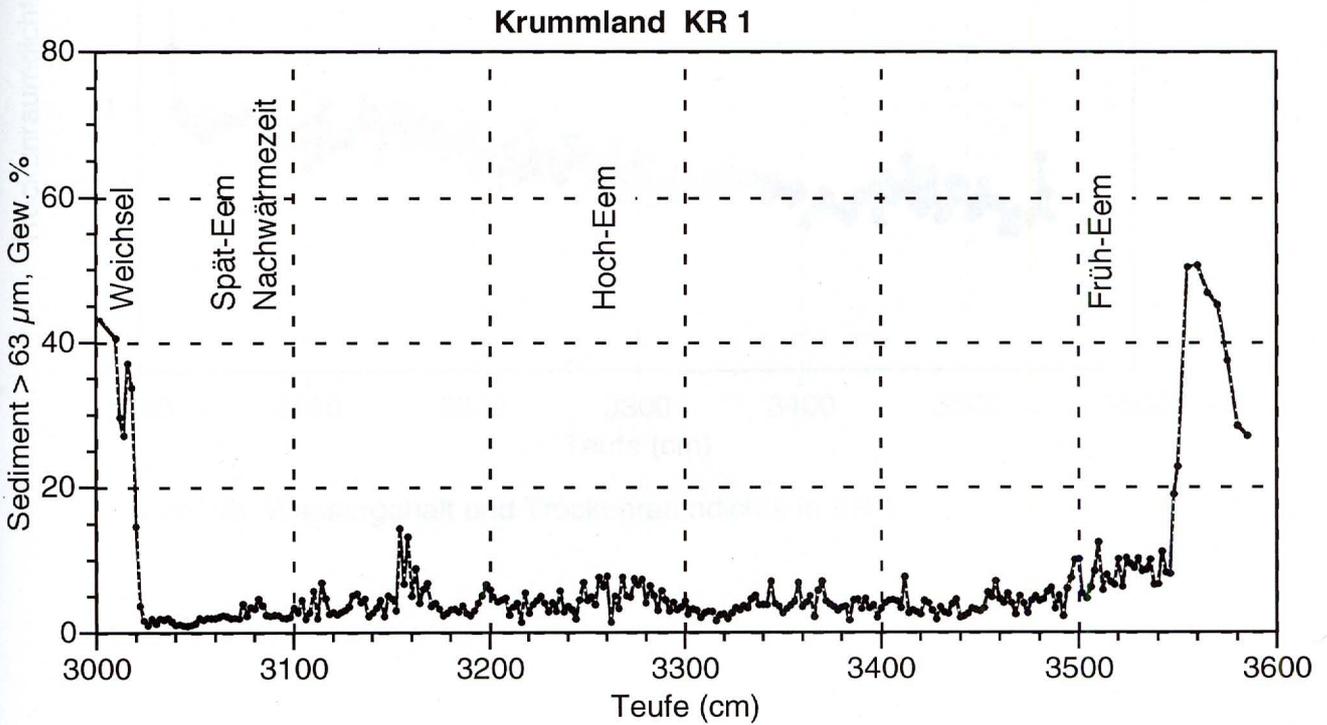


Abb. 9a: Korngrößenanteil >63 µm in KR 1

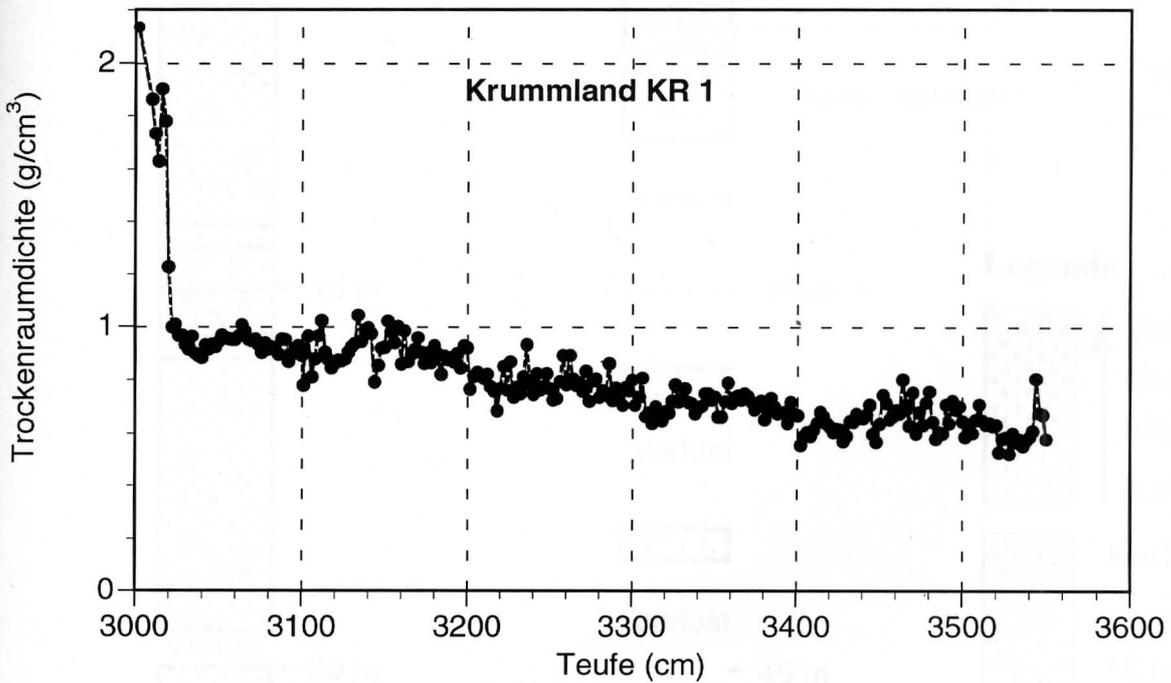
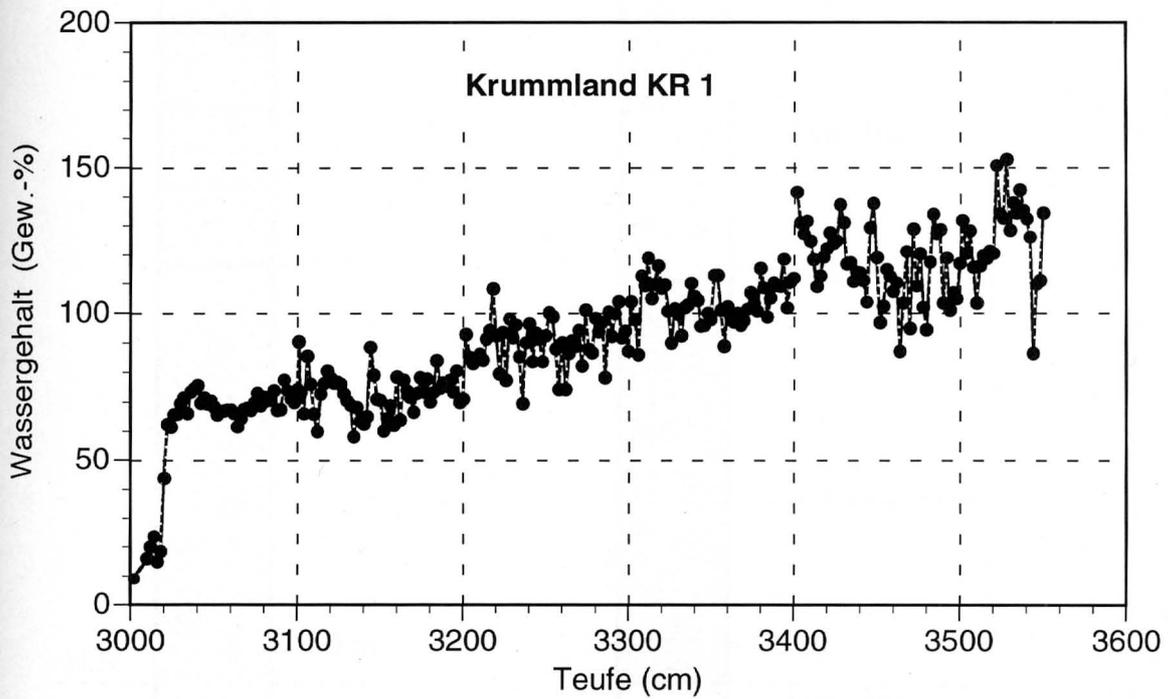


Abb. 9b: Wassergehalt und Trockenraumdichte in KR 1

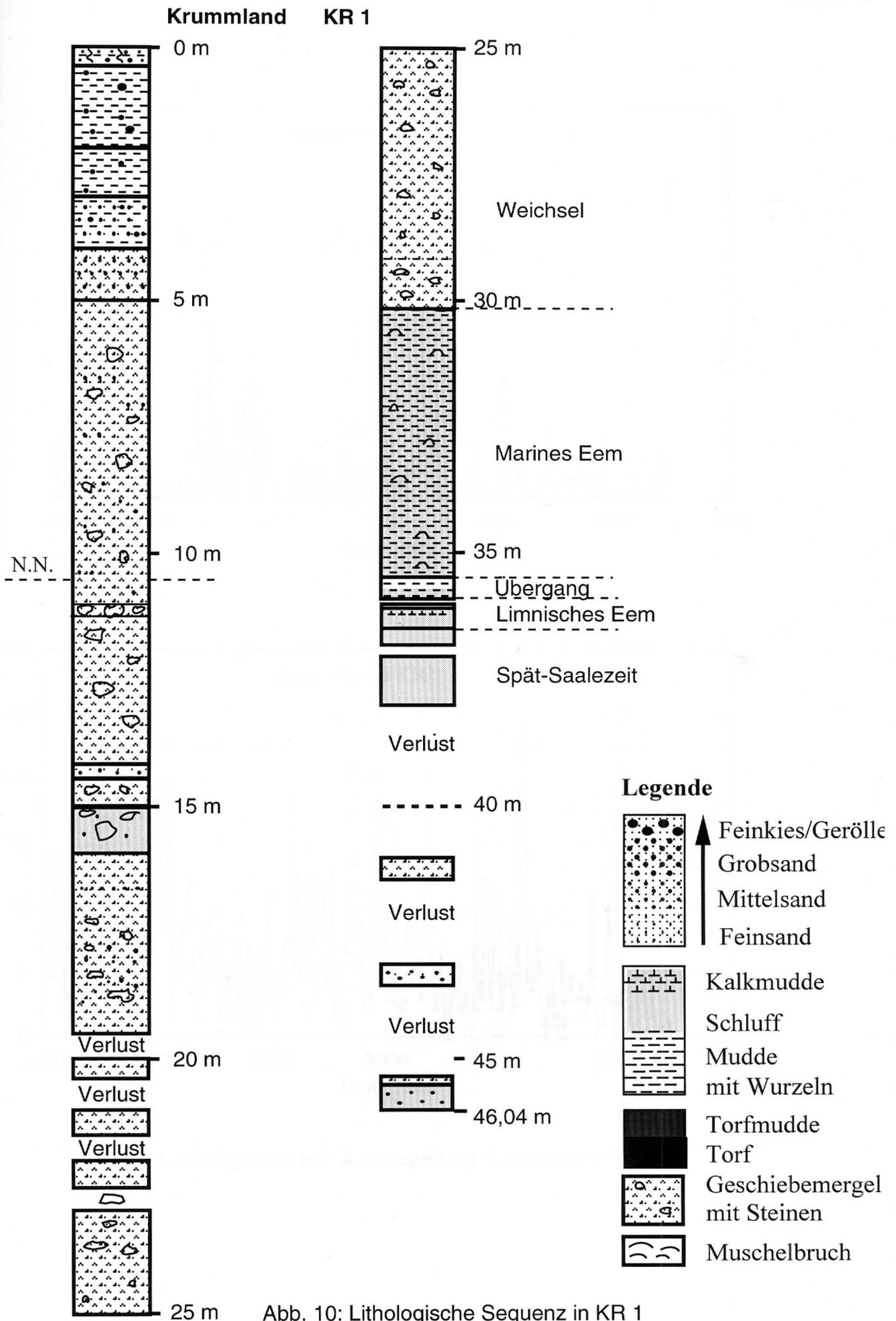
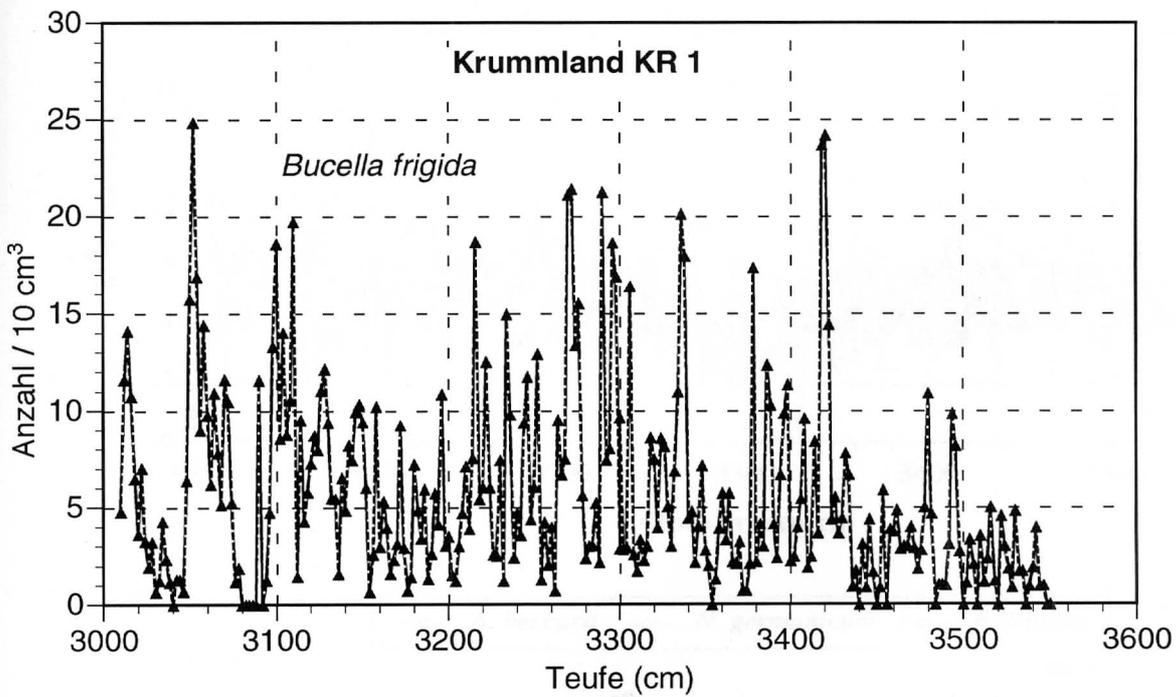
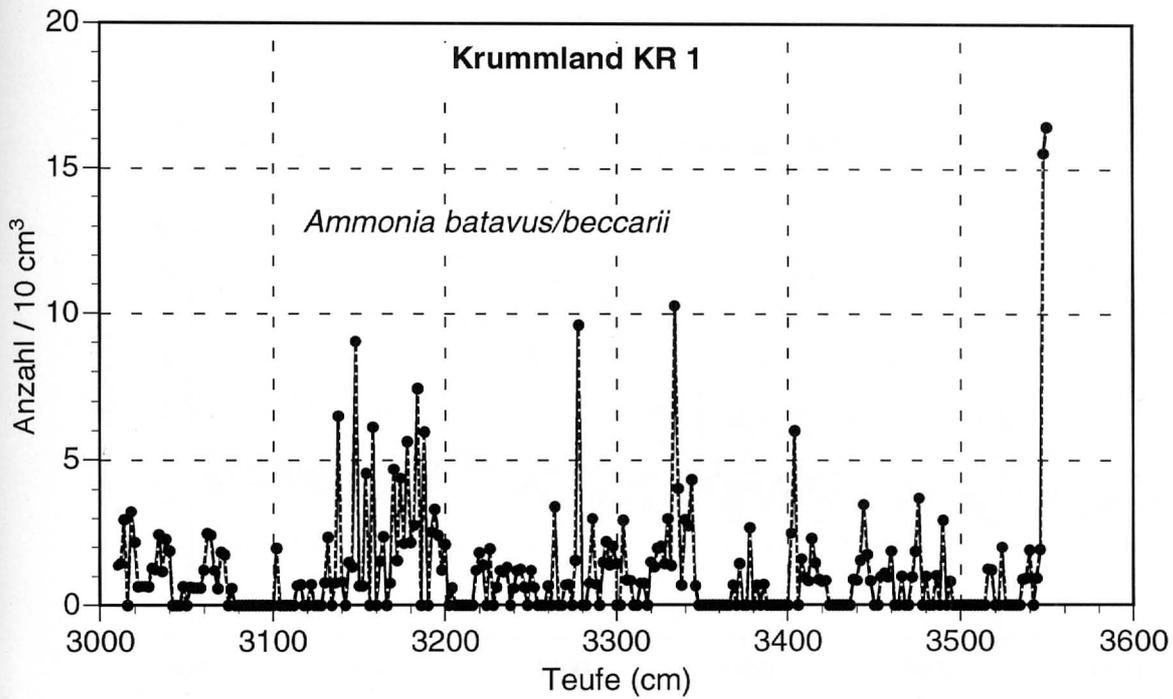


Abb. 10: Lithologische Sequenz in KR 1

Abb. 11: Häufigkeiten von *A. beccarii* und *B. frigida* in KR 1



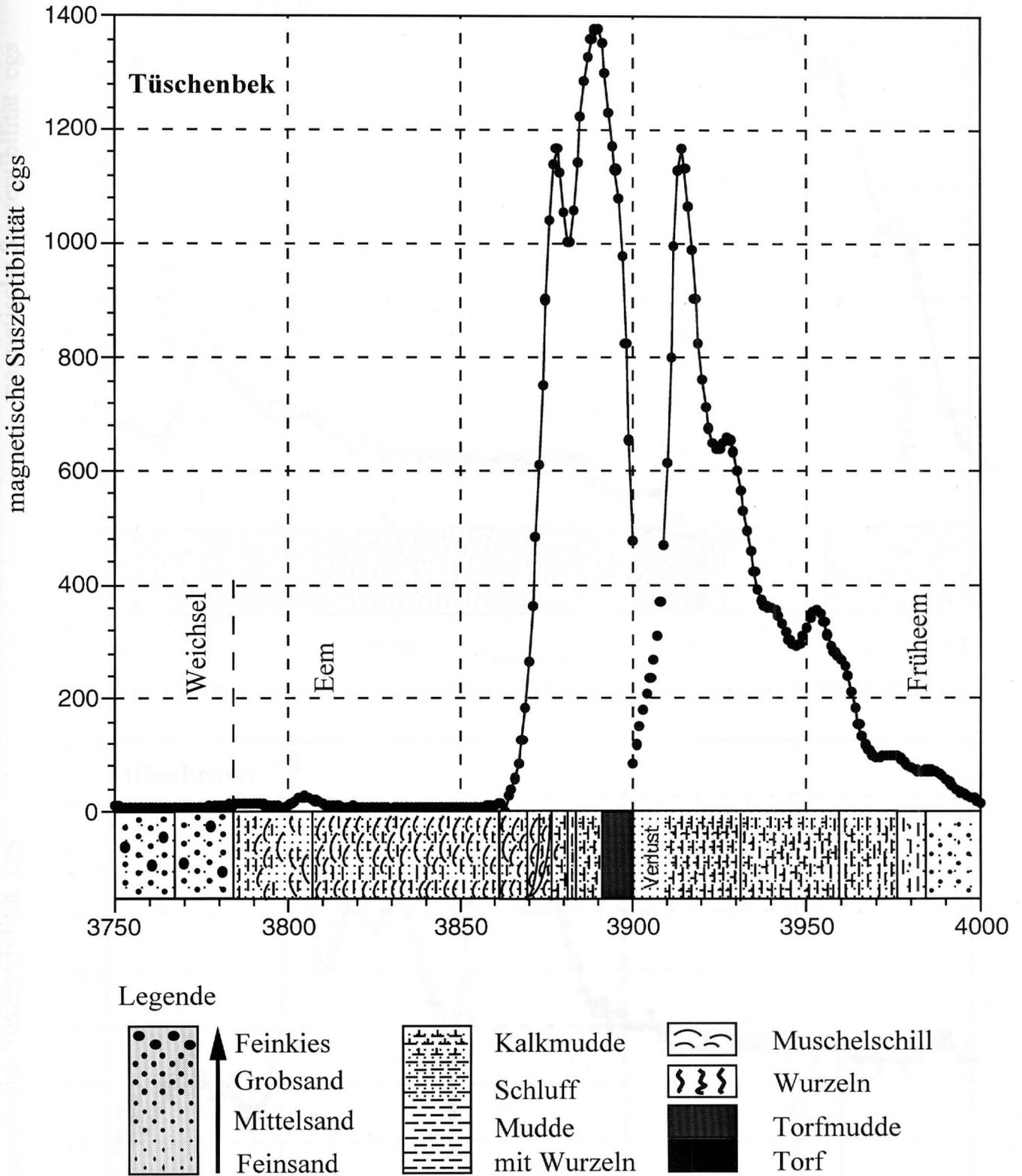


Abb. 13: Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Tüschembek

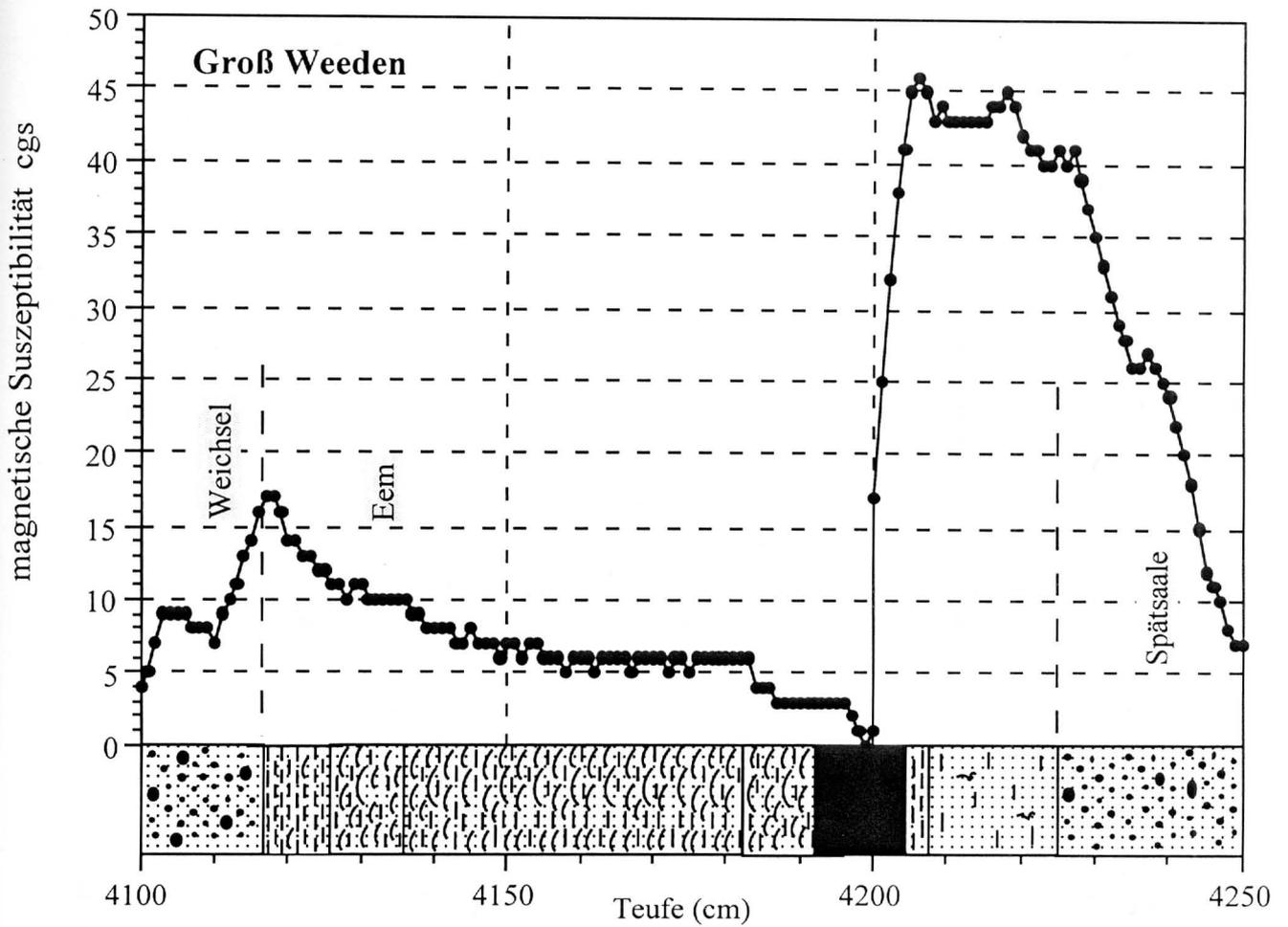


Abb. 14: Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Groß Weeden

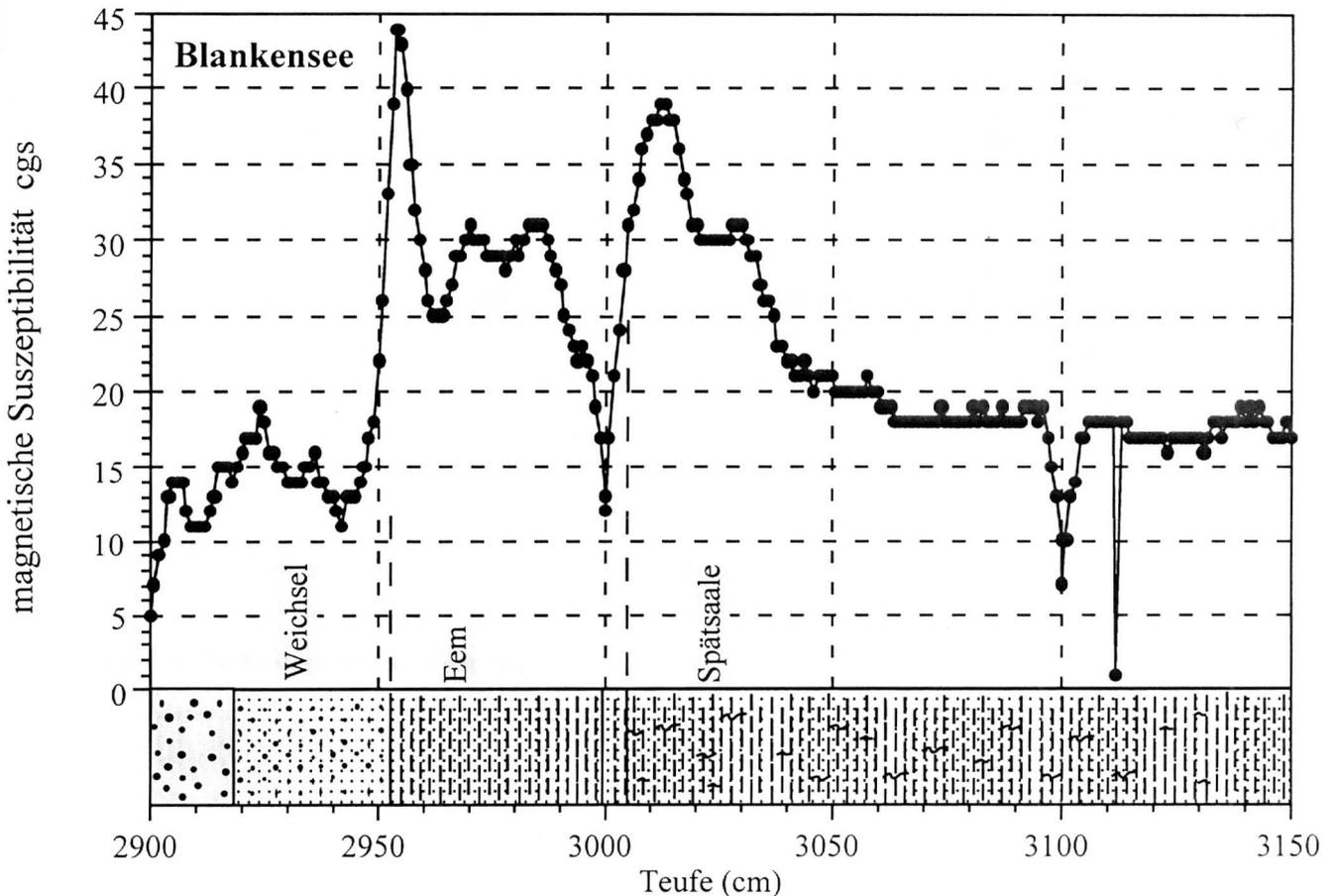
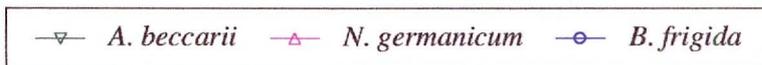
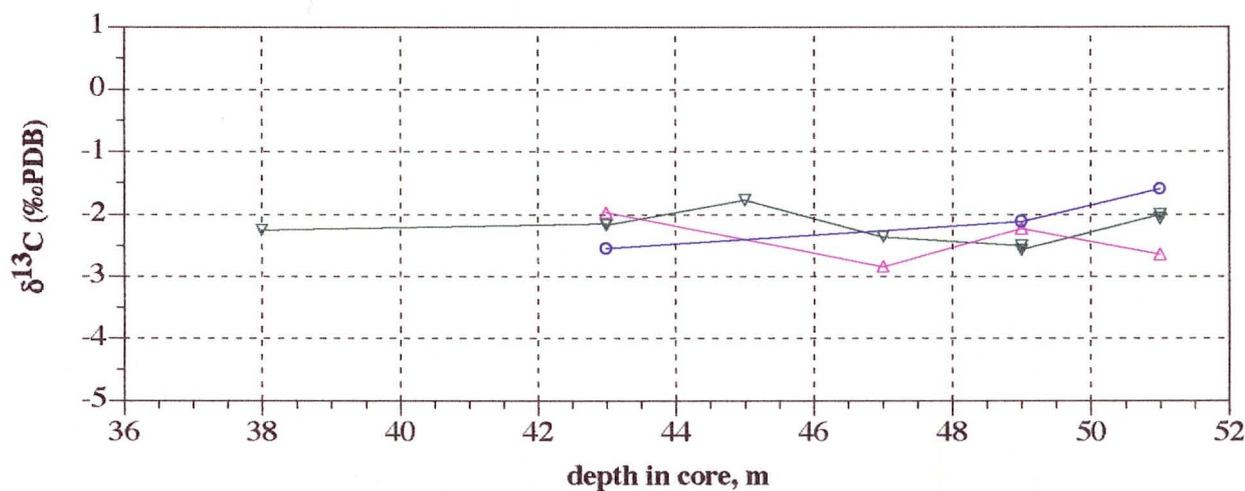
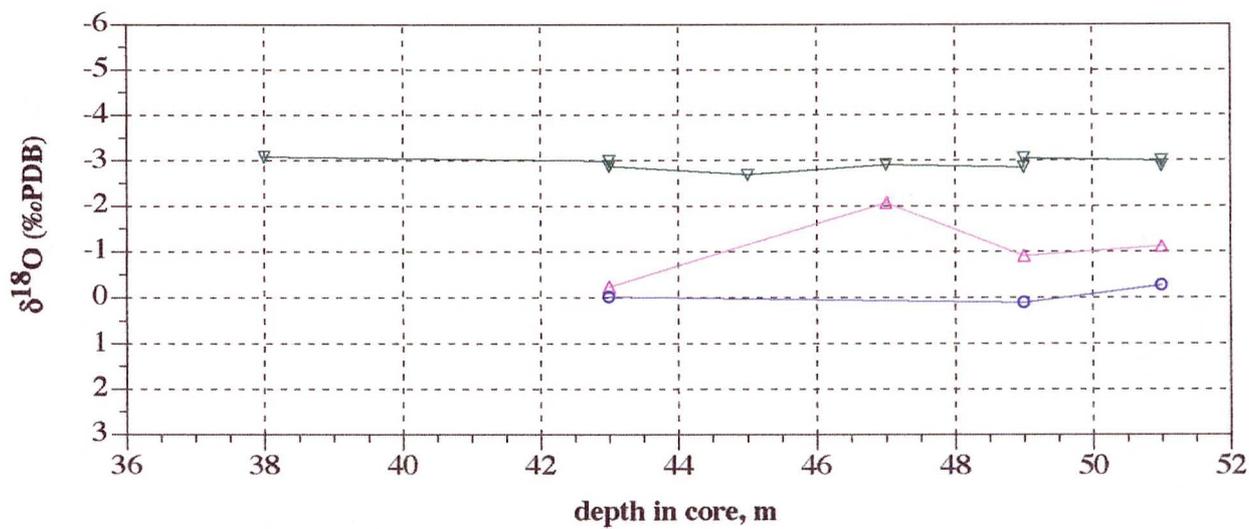


Abb. 15: Magnetische Suszeptibilität und lithologische Sequenz in Blankensee

KROPP



HE 98.5

Abb. 16a: Isotopenprofile von Kropp

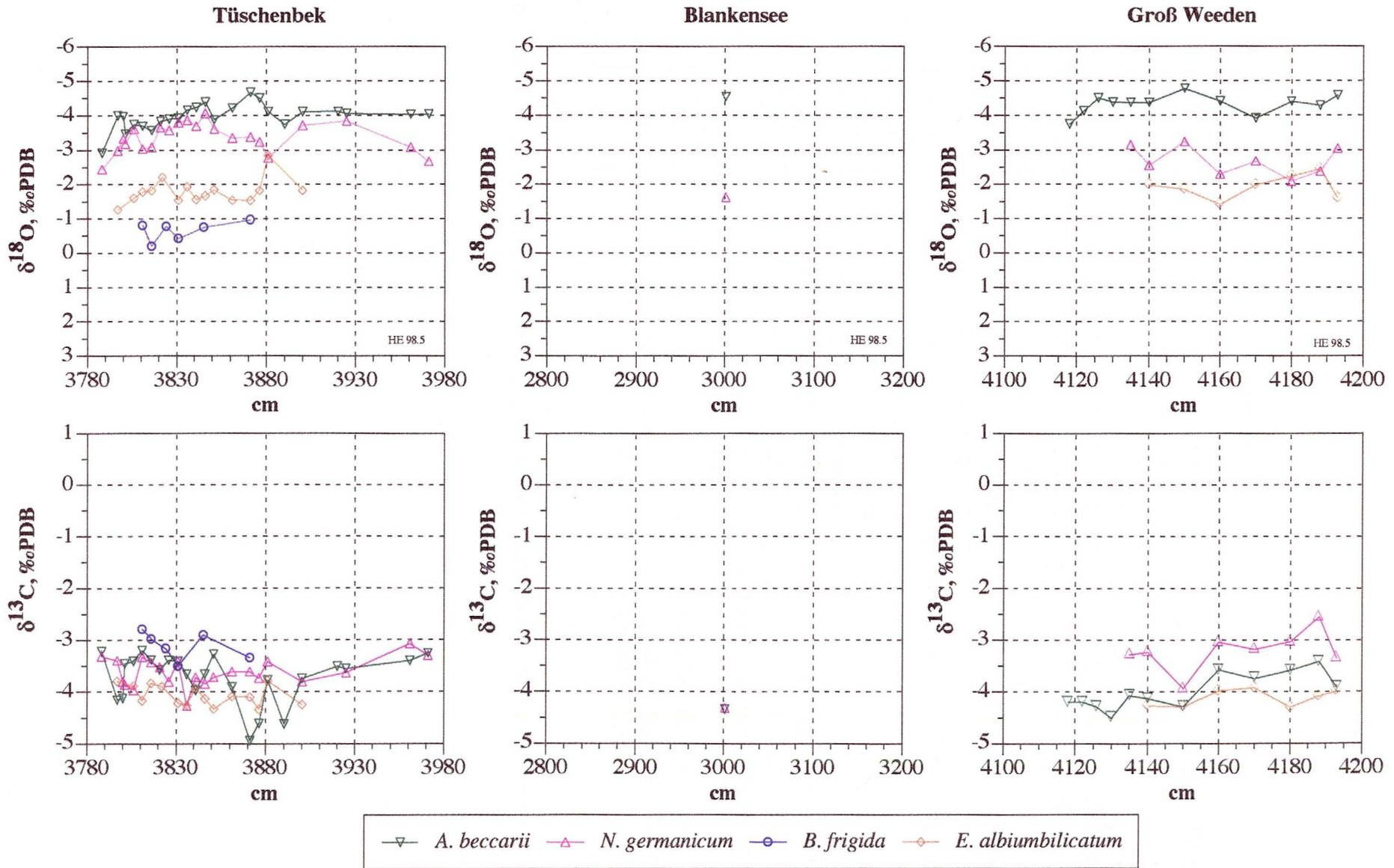


Abb. 16b: Isotopenprofile von Tüschembek, Blankensee und Groß Weeden

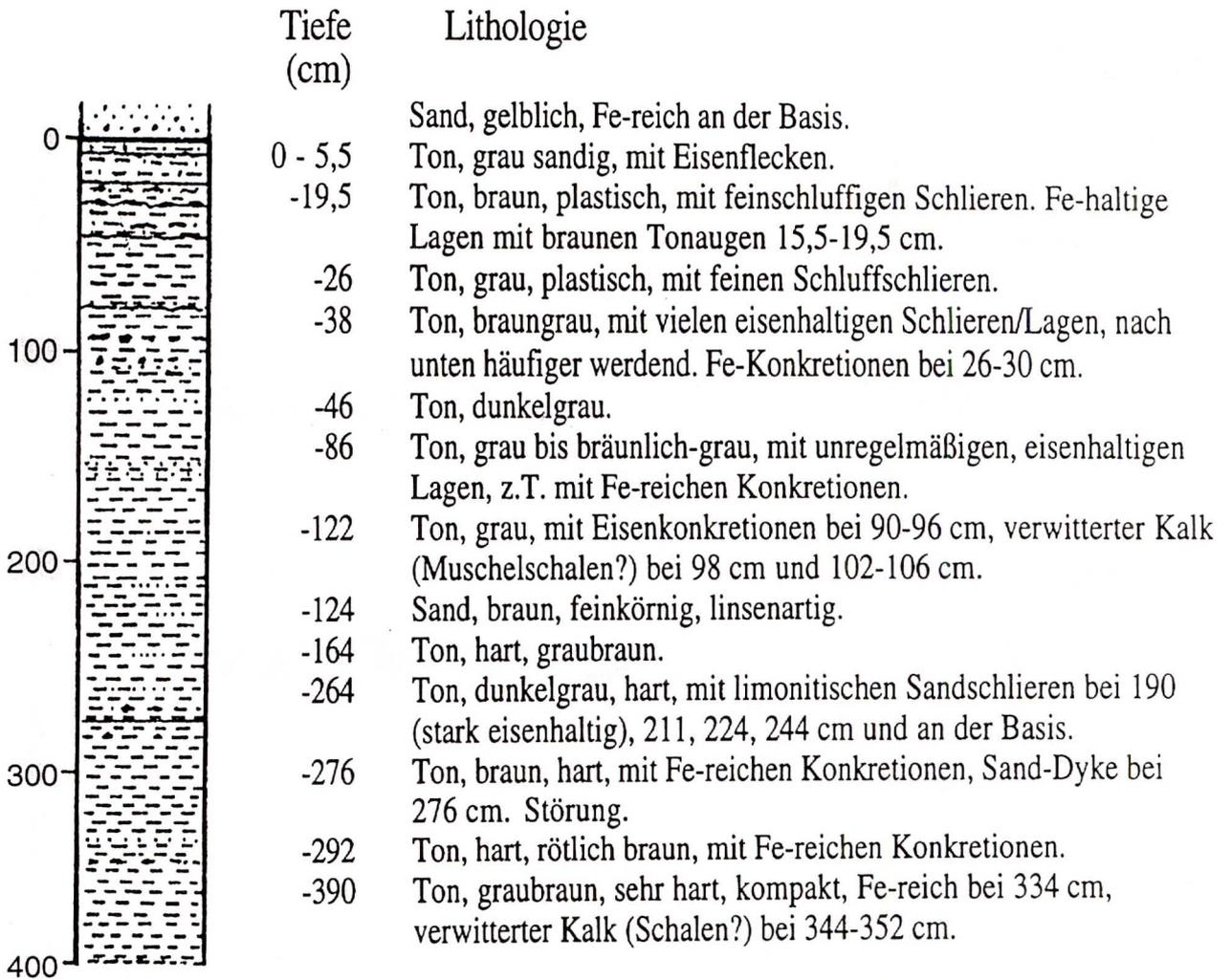
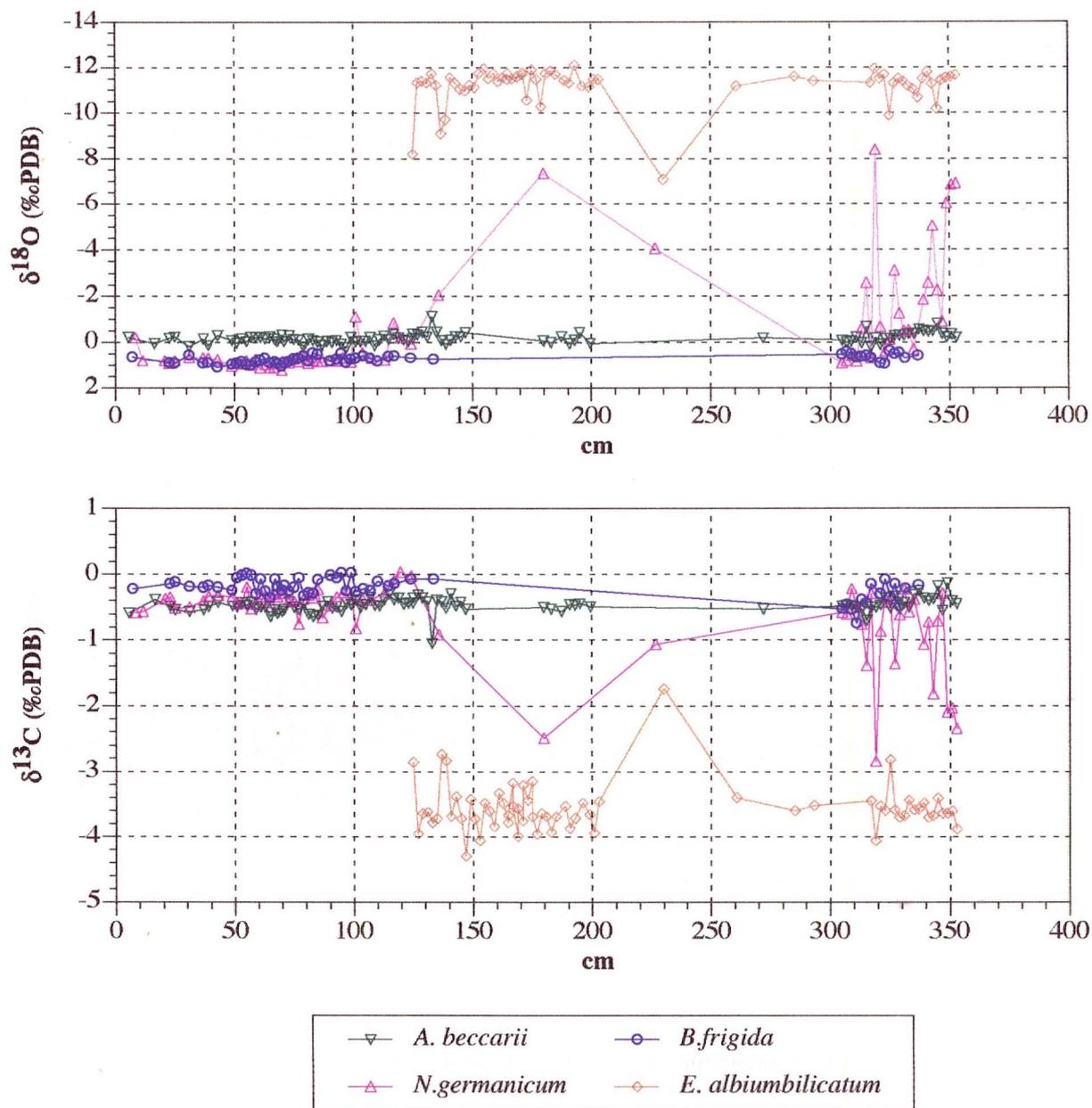


Abb. 17: Profilaufbau des Cyprinentons, Klüsser Nische, Kap Arkona, Rügen

Profile Klüsser Nische/ Rügen



HE 98.5

Abb. 18a: Isotopenprofile Klüsser Nische/ Kap Arkona, Rügen

Profile Klüster Nische, Rügen/ Teilansicht

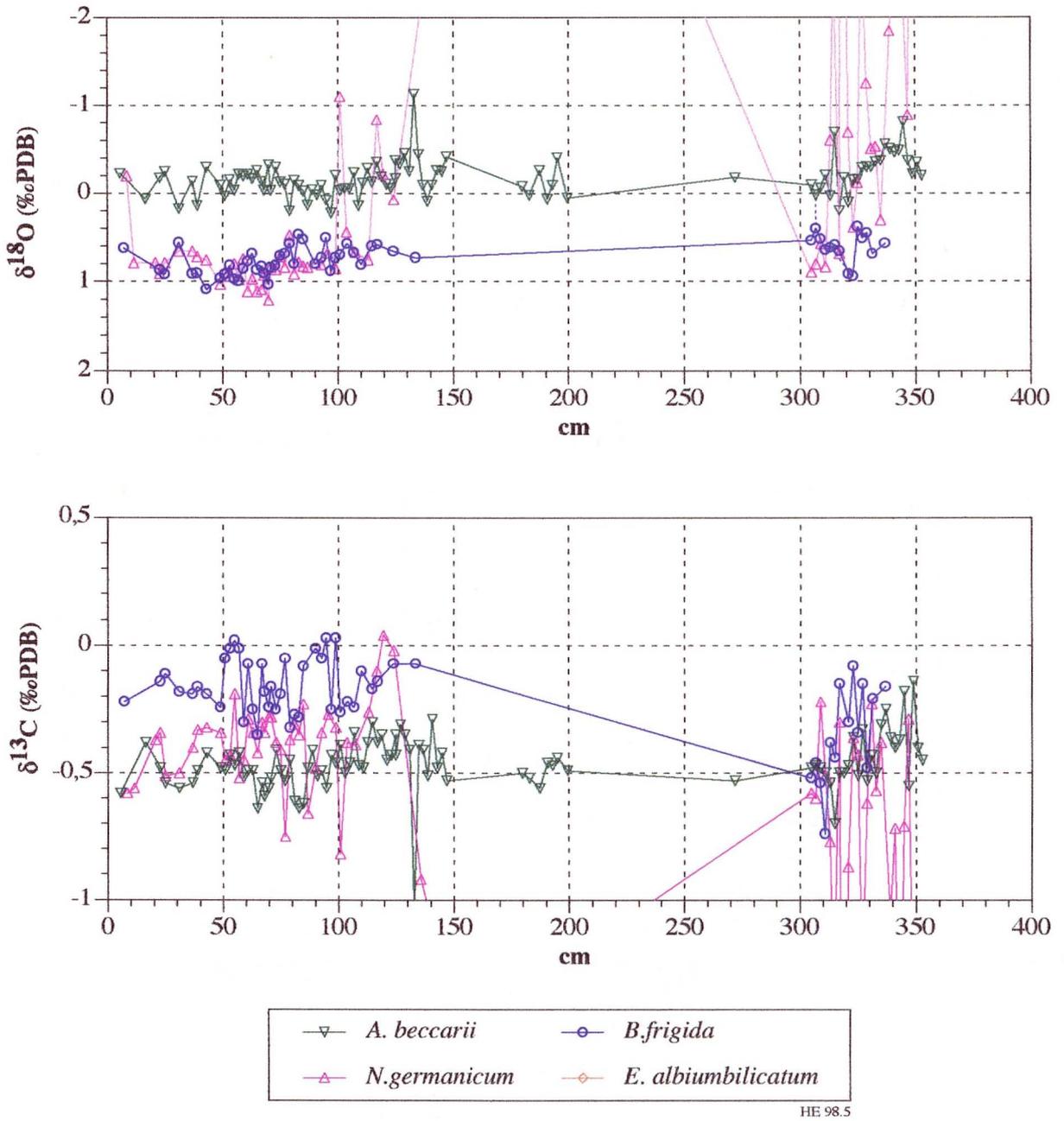
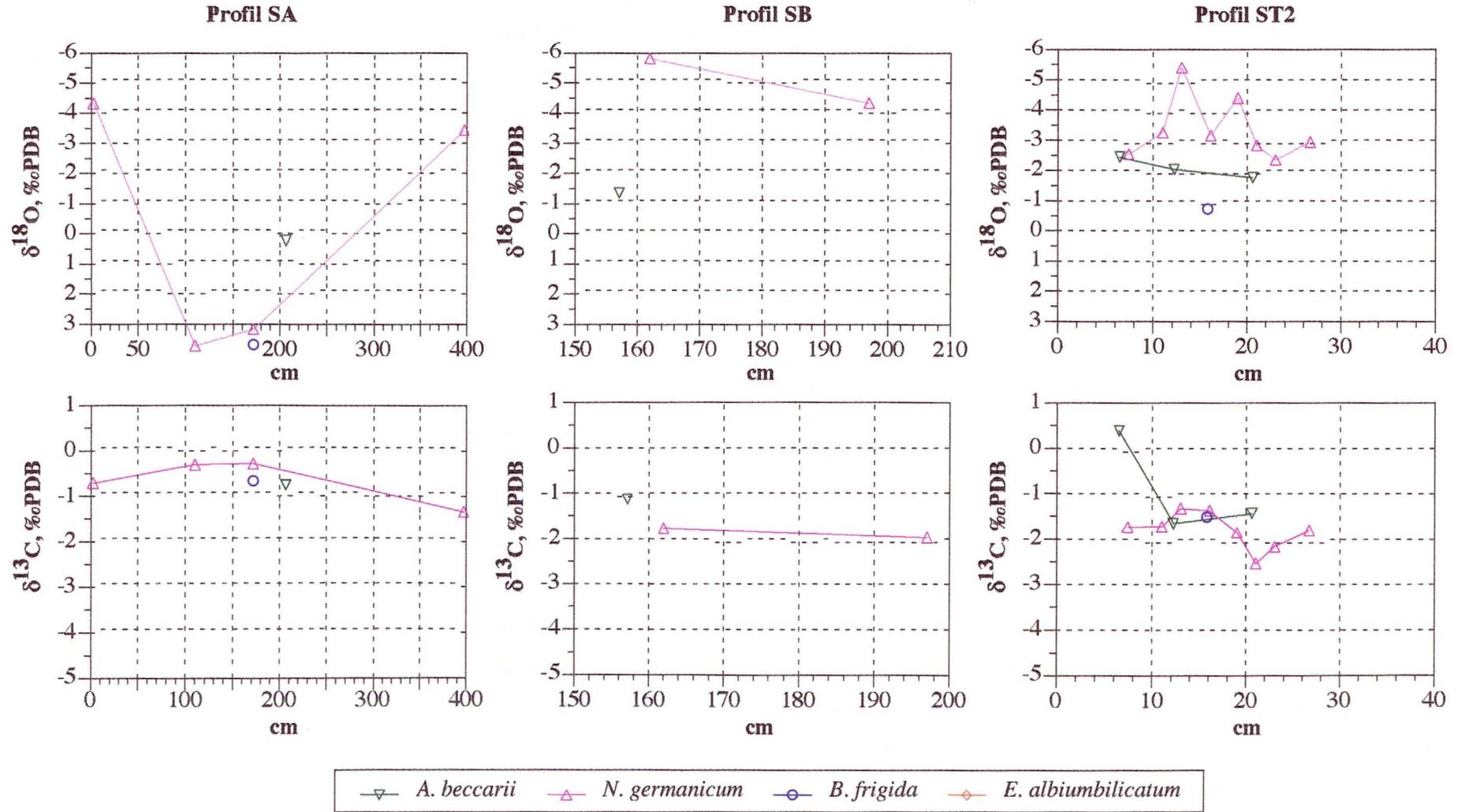


Abb. 18b: Isotopenprofile Klüster Nische, Rügen (Ausschnitt des autochthonen Signals)

Stohl-Marienfelde, Profile SA, SB, ST2



HE 98.5

Abb. 19: Isotopenprofile von Stohl

Havstensfjord, E Skagerrak, Uddevalla, SW Sweden  
(Dr. Kjell Nordberg, Göteborg)

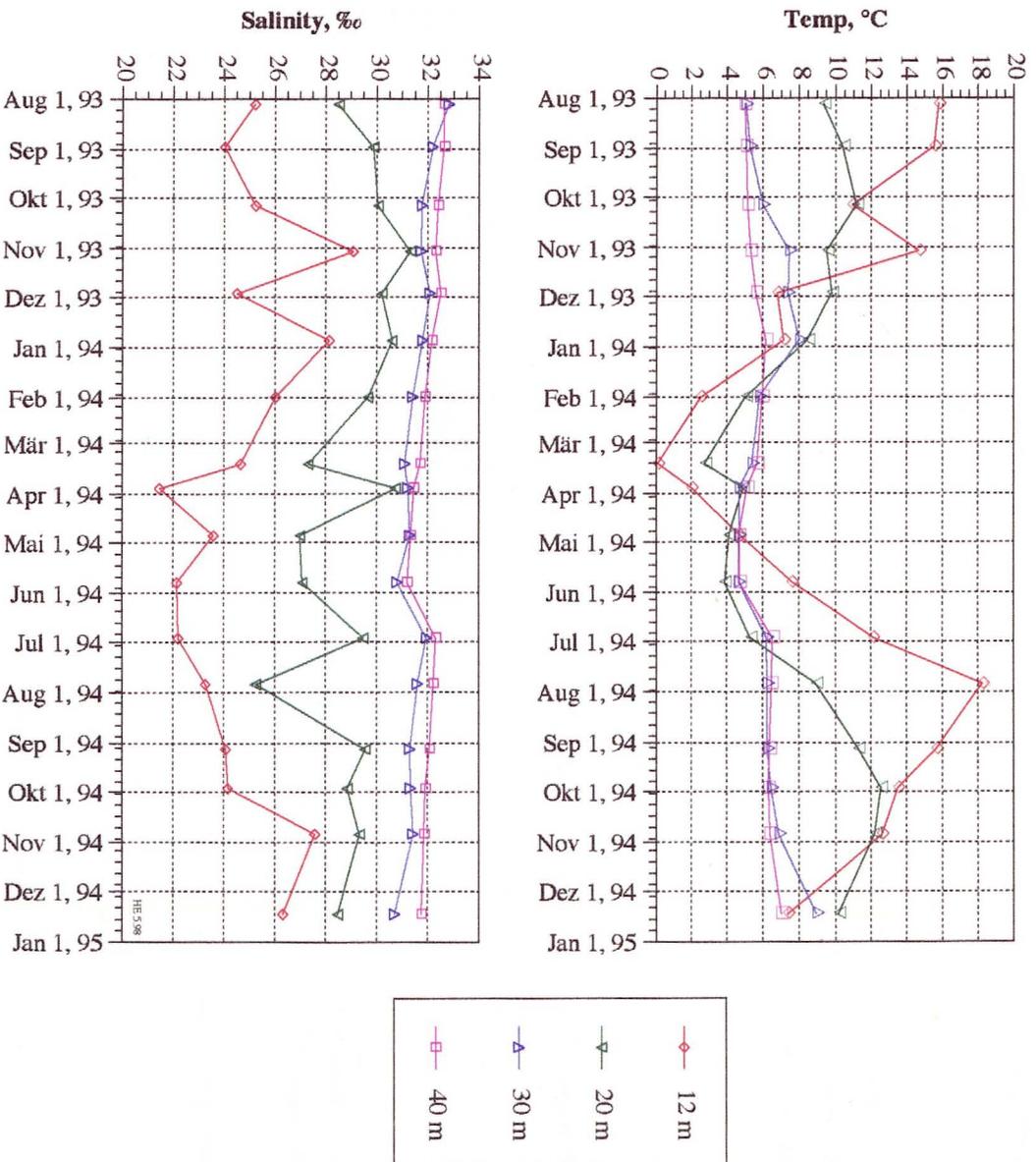


Abb. 20a: Temperatur und Salinität im Havstensfjord, östl. Skagerrak-Küste, SW Schweden, Aug. 93 bis Dez. 94

Havstensfjord, E. Skagerrak, Uddevalla, SW Sweden

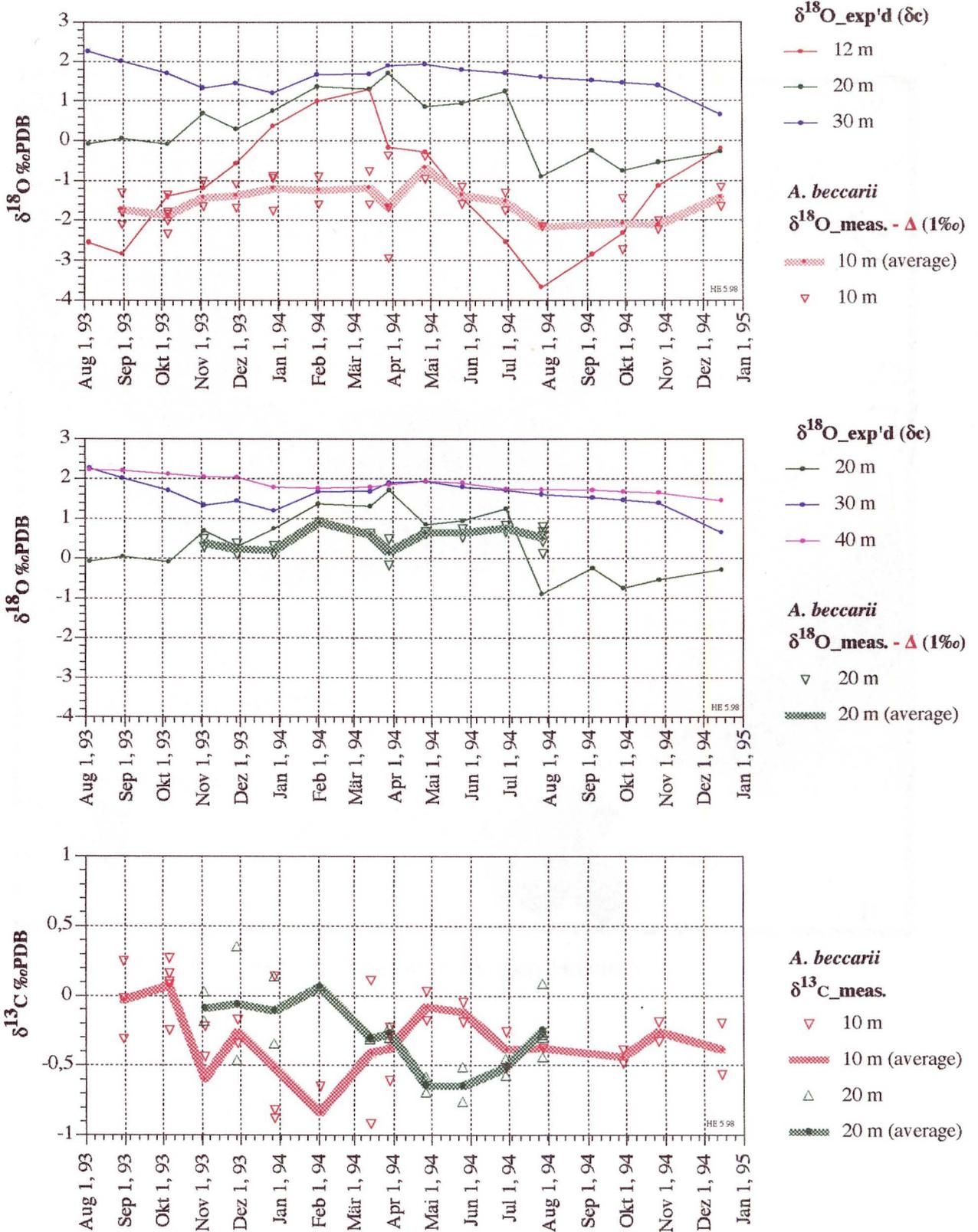


Abb. 20b: Isotopengang der *Ammonia beccarii* im Havstensfjord, östl. Skagerrak, SW Schweden, Aug. 93 bis Dez. 94. In den 18O-Werten von *A. beccarii* ist ein Vitaleffekt (1‰) korrigiert.

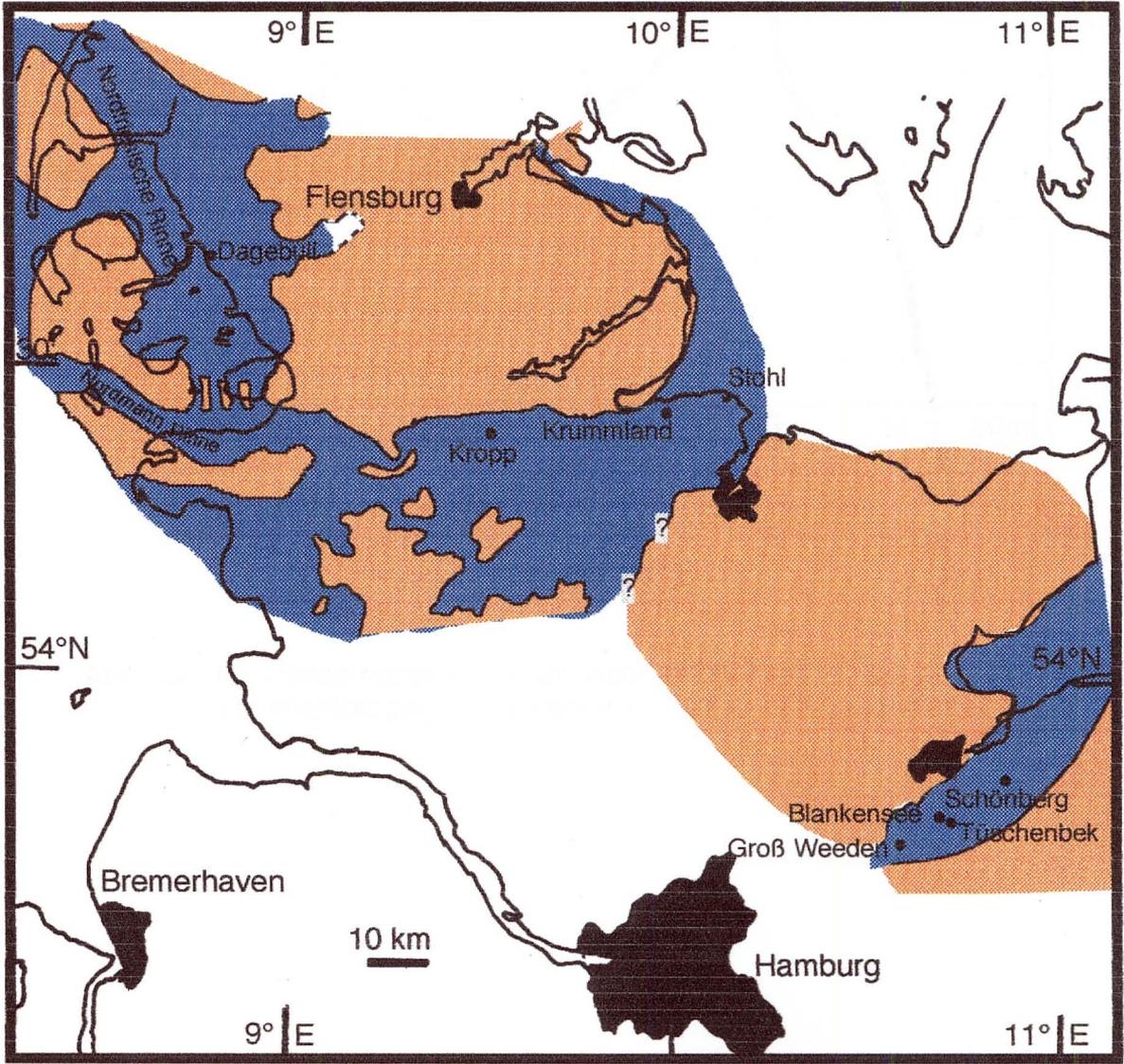


Abb.21 : Das Eem-See in Schleswig-Holstein

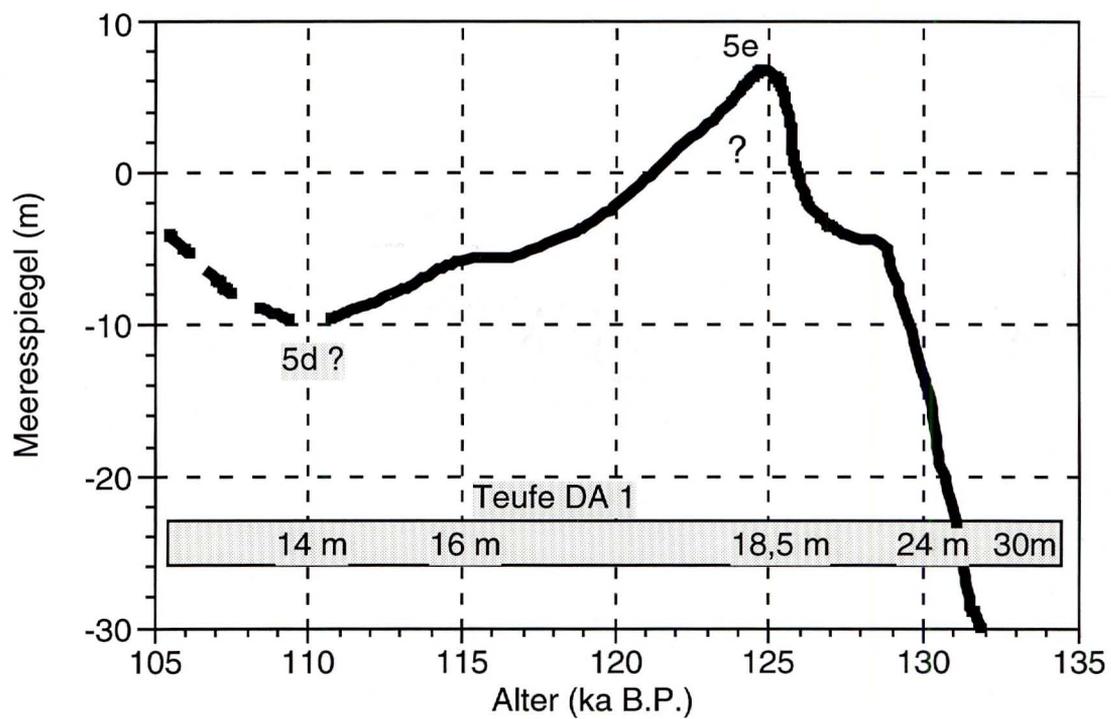


Abb. 22 : Meeresspiegelkurve, Eem, nach U/Th-Alter, Specmap-Alter und sedimentologischen, paläontologischen und isotopischen Daten

**Tab. 1****Beprobungen:** Liste der bearbeiteten Bohrungen und Geländeaufschlüsse und Probenzahlen

Lokalität	Beprobung (m)	m unter NN	Proben- zahl	COI- Analysen	
Dagebüll	9,40-30,40	7,5-28,5	1017	1950	1797
Krummland	30,19-35,52	19,7-25,0	288	232	416/321
Kropp	36,00-52,00	19,0-35,0	6	21	
Blankensee	29,55-31,95	14,1-16,5	16	2	
Groß Weeden	41,18-42,50	11,8-13,1	17	27	
Tüschembek	37,88-38,81	27,6-28,5	33	67	
Schönberg	59,10-70,99	10,1-22,0	148	-	
Stohl	Tagesaufschluß	Scholle	64	21	22
Schwaan	Tagesaufschluß	Scholle	165	-	
Kl. Klütz-Höved	Tagesaufschluß	Scholle	40	-	
Rügen	Tagesaufschluß	Scholle	167	281	

\* COI=C- und O-Isotope

**Tab. 2**

**Forschungsbohrung Dagebüll DA1**

Geol.-Paläontologisches Inst., CAU-Kiel DFG-Projekt "Eem-Meer"

Gebiet/Bohrstelle: DA 1, Hauke-Haien-Koog bei Dagebüll, Schleswig-Holstein - 19/20. September 1994

Blatt: TK 25 Nr. 1318/4 Rechts <sup>3</sup>84225 Hoch <sup>68</sup>63290 8°45'E, 54°42'N Höhe über NN: 1,90 m

<b>Teufe</b>	<b>(cm)</b>	
<b>von</b>	<b>bis</b>	<b>Sedimentbeschreibung</b>
<b>0</b>	<b>-100</b>	<b>Kerngewinn: 93 cm</b>
0	-5	Klei, sehr dunkel graubraun (2,5Y 3/2), reich an org. Material.
5	-15	Ton, dunkel olivgrau (5Y 3/2), mit dunkleren und helleren sandigen Flecken.
15	-19	wie oben, etwas dunkler.
19	-22	Ton, dunkel graubraun (2,5Y 4/2), schluffig.
22	-28	Ton, sehr dunkel graubraun (2,5Y 3/2), schluffig mit hellen Flecken.
28	-93	Aufschüttung. Ton, dunkel graubraun bis sehr dunkel graubraun (2,5Y 4/2 - 3/2), etwas sandig mit helleren und dunkel gelbbraunen (10YR 3/4) Flecken und Streifen, durcheinander.
<b>100</b>	<b>-600</b>	<b>(Spiralbohrereinsatz)</b>
100	-170	Aufschüttung wie oben.
170	-200	Sand, grau, feinkörnig.
200	-320	Schlick/Ton, dunkelgrau, mit Sandlinsen und Humuslagen.
320	-440	sandiger Schlick, Sand und Schluff, mit Humus.
440	-520	Schlick, fest, dunkelblaugrau, mit Pflanzenresten und Sandschleiern.
520	-600	Seggentorf, dunkelbraun, Holz und Pflanzenreste.
<b>600</b>	<b>-700</b>	<b>Kerngewinn: 60 cm</b>
0	-12	Torf, schwarz (10YR 2/1), meist feinkörnig mit einzelnen Grasresten und Holzstücken.
12	-12,5	Gyttja, schwarz (5Y 2,5/1).
12,5	-23	Torf, Farbe wie oben, mit Gyttjalinsen, unregelmäßig, etwas durcheinander.
23	-35,5	Ton, sehr dunkel grau (5Y 3/1), plastisch, kaum Schalenbruch. Unregelmäßige Grenze zu
35,5	-43	Torf, schwarz (10 YR 2/1), mit vielen Pflanzenresten (grob) und Stücken (1 cm x 1,5 cm x 2 cm). Ton wie oben.
43	-60	Torf, schwarz (10YR 2/1), mit dünnen 1-2 mm tonigen Lagen, grob geschichtet t mit Blättern. Ansonsten feinkörnig. Auseinandergebrochen ab 46 cm.
<b>700</b>	<b>-800</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
	-22	Feinsand, dunkel graubraun (2,5Y 4/2), schluffig mit fast senkrecht orientierten pflanzlichen Materialien. Stellenweise tonig.
22	-61	Schluff, sehr dunkel graubraun (2,5Y 3/2), tonig mit vertikalen Wurzellagen und Grobsandeinlagen als Nester zwischen 31-35 cm und als Lagen zwischen 37-38 cm. 22-28 cm gestört. Übergang zu
61	-100	Feinsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit Mittel- bis Grobsandanteilen. Leichte Schichtungen zu erkennen. Grobsandeinlagen bei 86-86,5 cm, linsenförmig. Sediment aus der "Apfelsine" in den Liner gelegt.
<b>800</b>	<b>-900</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm, 0-49 cm am Rand z.T. ausgelaufen.</b>
	-23,5	Feinsand, dunkel graubraun (2,5Y 4/2), mit Mittel- und Grobsandanteilen, wieder gesetzt im Rohr.
23,5	-27	Fein- bis Mittelsand, graubraun (2,5Y 3/2), mit helleren Flecken.
27	-57,5	Feinsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit senkrechter Wurzel zwischen 39-49 cm, mit groben Einlagen.
57,5	-59	Mittel- bis Grobsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit einzelnen Kleinkieseln ca. 2mm. Unregelmäßige untere Grenze zu
59	-69	Feinsand wie oben.
69	-71	Sand, hell braungrau (2,5Y 6/2), mittel- grobkörnig, nach unten gröber werdend. Anreicherung von pflanzlichen Materialien an der Basis.
71	-74	Feinsand wie oben.
74	-83	Mittel- bis Grobsand, wie oben, mit Feinsandeinlagen.
83	-90	Fein- bis Mittelsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit einzelnen Großkörnern kleiner 2 mm.
90	-93	Feinsand wie oben.
93	96	Sand, graubraun (2,5Y 5/2), feinschluffig, unten feinsandiger.
96	-100	Feinsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit Mittelsandanteilen. Einzelne Kiesel bis 1 cm ø.
<b>900</b>	<b>-1000</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
	-22	Feinsand, hell braungrau (2,5Y 6/2), ohne Schichtung. Kleine Flecken durch pflanzliches Material.
22	-22,3	Torf, sehr dunkles Graubraun (10YR 3/2), sehr sandig.
22,3	-25	Schluff, graubraun (2,5Y 5/2), feinsandig mit dünnen (mm-starken) Streifen, dunkler durch pflanzliches Material.
25	-40	Sand, hellgrau (2,5Y 7/2), mittel- bis grobkörnig mit etwas Feinsandanteilen, auch als Streifen. Untere Grenze erodiert.

40	-43,5	Torf, sehr dunkelbraun bis schwarz (10YR 2/2 - 2/1), nach unten toniger und heller werdend.
43,5	-	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), plastisch mit dunkel olivgrauen (5Y 3/2) pflanzenreichen Schleiern und Lagen.
47,5/4	-73	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), plastisch mit sandigen, mm-dicken Lagen bei 50-52 cm. Sandige Flecken bei 52,5-54 cm und 55-55,5 cm, Feinsand-Nester bei 56-57 cm (braun), häufiger unter 60 cm (grau). Teilweise reich an pflanzlichen Materialien.
73	-83/84	Ton, dunkelgrau bis sehr dunkelgrau (5Y 4/1 - 3/1), etwas sandig, mit Steinchen und Grobkörnern in Basisnähe. Unregelmäßige Grenze zu
83/84	-100	Ton, dunkelgrau (5Y 4/1), leicht schluffig, mit 1 bis 10 mm starken Streifen von Schluff zwischen 86,5-96 cm. Wenig Flecken von pflanzlichen Materialien.
<b>1000 -1100 Kerngewinn: 100 cm</b>		
0	- 9,5	Feinsand, graubraun (2,5Y 5/2), mit Flecken und Brocken von pflanzlichen Materialien, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), plastisch. Gestört?
9,5	-16	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), plastisch, mit Feinsandeinschlüssen in mm-großen Flächen.
16	-20	Grobsand, helles Braungrau (5Y 6/2), mit mittelkörnigen Anteilen. Gestört, s. Skizze? Dyke.
20	-25	Am Rand Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), plastisch mit sandigen Lagen bei 22-22,5 cm.
25	-36	Ton, dunkelgrau (7,5YR 4/1- 5Y 4/1), sehr plastisch, schmierig, mit vielen 2-8 mm dicken Schlufflagen in dunkelgrau (5Y 4/1). Alle mit unregelmäßigen unteren Grenzen.
36	-70	Ton, dunkelgrau (5Y 4/1), sandig mit vielen fleckenartigen Schleiern und Lagen von schluffigen und C <sub>org</sub> -reichen Materialien.
70	-93	Schluff, sehr dunkelgrau (2,5Y 3/N3), tonig mit vielen Lagen und Flecken von Anreicherungen von pflanzlichen Materialien (dunkler).
93	-100	Sand, dunkelgrau (5y 4/1), fein schluffig. Flecken mit etwas Schalenresten und dunkleren tonigen Streifen und Schleiern.
<b>1100 -1200 Kerngewinn: 100 cm</b>		
0	-5	Feinsand, dunkel graubraun (2,5Y 4/2), mit Mittel- und Grobsandanteilen. Unregelmäßige Grenze zu
5	-60	Schluff, dunkelgrau (5Y 4/1), sehr weich mit Feinsandanteilen. Leichte Schichtungen.
60	-81	Schluff, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), tonig mit vielen dunkleren Lagen (pflanzliches Material) und helleren Lagen bei 76,5-77 cm. Dunklere Streifen im mm- bis cm-Bereich.
81	-96	Schluff, dunkelgrau bis sehr dunkelgrau (5Y 4/1-3/1), im Wechsel mit Schluff, sehr dunkel grau (5Y 3/1), mit tonigen Anteilen und stellenweise Anreicherungen von pflanzlichem Material.
96	-96,5	Ton, schwarz (2,5Y 2/N2), sehr sandig mit reichlich pflanzlichem Material.
96,5	-100	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), etwas schluffig mit helleren Streifen (mm).
<b>1200 -1300 Kerngewinn: 0-50 cm, Loch v. 50-58,5 cm, 58,5-100 cm</b>		
0	-5,5	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), mit mittel- bis grobkörnigen Anteilen. 2,5-2,9 cm mächtige Lagen, sehr dunkelgrau (2,5Y 3/1), von pflanzlichem Material. Unregelmäßige Grenze zu
5,5	-9	Ton, sehr dunkelgrau (7,5YR 3/N3), feinschluffig.
9	-12	Schluff, dunkelgrau (5Y 4/1), nach unten gröber werdend.
12	-50	Feinsand, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), mit tonigem Anteil von Schluff, dunkelgrau (5Y 4/1), feinsandig, durchmischt durch die Kernentnahme. Wahrscheinlich 0-50 cm entspricht 0-58,5 cm.
58,5	-64,5	Ton, sehr dunkel grau bis schwarz (2,5Y 3/N3-2/N2), feinschluffig, mit C <sub>org</sub> -Anteilen und Schluff, olivgrau (5Y 4/2), als unregelmäßige Wechsellagen zwischen 3-5 mm Mächtigkeit. Basislagen mit Schalenbruch bei 64-64,5 cm.
64,5	-73	Schluff, sehr dunkelgrau (2,5Y 3/N3), tonig, mit dunkleren Flecken und Schleiern mit Anreicherungen von pflanzlichem Material. Schwach geschichtet.
73	-86	Schluff, dunkelgrau bis sehr dunkelgrau (2,5Y 4/N4-3/N3), mit helleren und dunkleren Lagen. Je nach Anteil mit pflanzlichem Material, etwas weniger als unten und oben, tonig, feinsandig.
86	-91,5	Schluff, wie zwischen 64,5-73 cm.
91,5	-92,3	Schluff, dunkelgrau (5Y 4/1), feinsandig, mit größeren Einlagerungen mit unregelmäßiger unterer Grenze.
92,3	-100	Feinsand, sehr dunkelgrau (2,5Y 3/N3), kaum Schalenbruch und mit hellen Wurmgängen.
<b>1300 -1400 Kerngewinn: 96 cm</b>		
0	-3	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), kaum Schalenbruch. Unregelmäßige Grenze zu
3	-10/17	Feinsand, grau bis dunkelgrau (5Y 4/1-5/1), mit etwas Schalenbruch.
10/17	-49	Sand, grau (5Y 5/1), fein, schluffig, mit einigen Schleiern und Lagen von tonigem Material. Lagen bis 0,5 mm mächtig bei 35 cm und 46 cm. Gänge bei 17-22 cm. Schleier meist horizontal.
49	-52	Feinsand, Schluff und sandiger Ton in Wechsellagen, Farbe wie oben.
52	-57	Feinsand, hellgrau (5Y 6/1), mit 0,8 mm toniger Einlage bei 54,7-55,5 cm.
57	-79	Schluff, grau (5Y 5/1), und Feinsand, hellgrau (5Y 6/1), in unregelmäßiger Mischung im oberen Teil (- 66 cm). Unten etwas mehr toniger Schluff und hellgrauer Feinsand, fast lagenbildend. Unregelmäßige Grenze zu
79	-96	Feinsand, Farbe wie oben, mit grauem tonigen Schluff. Unregelmäßige Mischungen.
<b>1400 -1500 Kerngewinn: 94 cm</b>		
0	-3,5	Fein- bis Mittelsand, sehr dunkelgrau (5Y 3/1). Untere Grenze unregelmäßig.
3,5	-30	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), kaum Schalenbruch.

30	-41	Feinsand, Farbe wie oben, mit wenig Mittelsandanteilen. Mit vielen Nestern bei 35/36 cm. Holzstück 1cm x 1,5 cm x 0,3 cm.
41	-94	Feinsand, Farbe wie oben, sehr tonig mit einzelner Schalenbruch. Übergang in Feinsand, etwas schluffig bis 94 cm. Nester bei 66/67 cm, 63/65 cm und 89/90 cm.
<b>1500</b>	<b>-1600</b>	<b>Kerngewinn: 95 cm</b>
0	-95	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), mit Mittel- bis Grobsandeinlagen bei 3,5-6 cm, etwas heller, mit einigem Schalenbruch (braun und weiß). Nester/Lagen bei 7-9, 10-11, 14-15, 18-20, 26/27, 35/36, 39-41, 44-47, 51/52, 55-57, 59-61, 59-67, 79-81, 84-88 und 93-95 cm.
<b>1600</b>	<b>-1700</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-100	Feinsand, dunkelgrau bis sehr dunkel grau (5Y 4/1-3/1), etwas tonig mit vielen Schalen. Nester sehr häufig bei 8-10, 22- 28, 41-43, 47-50, 56-57, 58-59, 63-65, 85-87 und 98-100 cm. Muschelschill mit feinem Schalenbruch und Halbschalen bei 75-77,5 cm. Schwache Schichtung erkennbar durch Orientierung der einzelnen Schalen.
<b>1700</b>	<b>-1800</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-100	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), noch mit viel Wasser bis 85 cm. Anreicherung von org. Material in Schichten, häufiger zwischen 20-45 cm, darunter etwas weniger. Sehr starke Anreicherung von Muschelschalen und Schalenbruchstücken zwischen 4-9 cm und 17 cm. Sonst kaum Schalenbruch (aber etwas mehr als bei 18-19 cm (Halbschalen). Unter 85 cm etwas toniger.
<b>1800</b>	<b>-1900</b>	<b>Kerngewinn: 95 cm</b>
0	-95	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), tonig, kaum Schalenbruch. Anreicherung in Nestern bei 12-20 cm, 43-46 cm und einzelne Halbschalen (bei 36 cm). Nach unten feinkörniger werdend. Bei 63-77 cm Übergang zu feinsandigem Ton/ sehr tonigem Feinsand mit etwas Mittelsandanteil. 1-2 mm Schalenbruchlagen bei 62 cm und 63 cm. Leichte Schichtungen sichtbar zwischen 58-78 cm als dunklere Schattierung.
<b>1900</b>	<b>-2000</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-100	Ton, grau bis dunkelgrau (5Y 4/1 bis 5/1), weich, schluffig, kaum Muschelbruchstücke.
<b>2000</b>	<b>-2100</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-100	Ton, dunkelgrau (5Y 4/1), weich, etwas schluffig, kaum Schalenbruch bis 28 cm, darunter Anreicherungen in einzelnen Nestern bei 38-41cm, 96-99 cm. Eine 5 mm Lage bei 59-59,5 cm. Offene Wurmlöcher besonders bei 94-100 cm. Die meisten Nester häufig mit feinem Schluff gefüllt.
<b>2100</b>	<b>-2200</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-24	Ton, dunkelgrau, etwas schluffig, feinsandig, vereinzelt Schalenbruch, mit Schrägschichtung in 2-3 cm Einheiten (in Radiographien).
24	-100	Ton, dunkelgrau bis sehr dunkelgrau (5Y 4/1-3/1), weich ohne sichtbare Schichtung, kaum Schalenbruch, wenn dann Anreicherung in Nestern bei 24/25 cm, 37/38 cm, 42-44 cm. Einzelne Schalen bei 48,5 cm und 52 cm. Ton nach unten fester werdend, unterhalb 20 cm mittelhart, viel härter unterhalb 80 cm.
<b>2200</b>	<b>-2300</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-100	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), hart, kompakt, nach unten fester werdend. Etwas Schalenbruch unterhalb 9 cm. Nester bei 47 cm, Anreicherung in Lagen bei 46-50 cm, 54-57 cm, 60-62 cm. Farbe nach unten etwas dunkler werdend. Kaum Schichtung zu sehen.
<b>2300</b>	<b>-2400</b>	<b>Kerngewinn: 100 cm</b>
0	-6	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), weich, ohne Muschelbruchstücke.
6	-73/74	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), härter, kompakter, mit einzelnen Muschelbruchstücken, in Nestern bei 21-25 cm, 37-39 cm, 48-51 cm und 57-59 cm angereichert.
73/74	-80/81	Ton wie oben, mit vielen Muscheln und Schalenbruch.
80/81	-100	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), weicher, schwach feinsandig, mit etwas Schalenbruch.
<b>2400</b>	<b>-2500</b>	<b>Kerngewinn: 85 cm</b>
0	-30	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), mit viel Schalenbruch und Muscheln, weniger Turrifellen. Bei 2430 cm Pecten 4 cm ø doppelklappig, waagrecht an der Grenze.
30	-49	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), etwas gröber als oben, mit vielen kompletten Muscheln (einige doppelklappig) und Gastropoden (Turrilinae).
49	-85	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), schluffig, homogen, fast ohne Schalenbruch. Bioturbate Stellen rötlich/bräunlich gefärbt.
<b>2500</b>	<b>-2600</b>	<b>Kerngewinn: 68 cm</b>
0	-6	Schluff, olivgrau (5Y 4/2), kaum Muschelreste.
6	-13	Fein- bis Mittelsand mit Grobanteilen, dunkelgrau, viel Schalenbruch und Halbschalen. Sediment nach unten bis 26 cm durch Bioturbation (Nester) zerwühlt.

13	-53,5	Schluff, sehr feinsandig, olivgrau (5Y 4/2), kaum Schalenbruch, mit einzelnen Flecken von Partikeln pflanzlicher Herkunft.
53,5	-54	Schluff, dunkel graubraun (2,5Y 4/2), mit unregelmäßiger unterer Grenze.
54	-68	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), wie oben, mit mehr organischem Material in Linsen/Lagen zwischen 58-62 cm.
<b>2600</b>	<b>-2700</b>	<b>Kerngewinn: 90 cm</b>
0	-8	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), mit Schalenbruch.
8	-22	Feinsand wie oben, etwas bräunlich, kaum Schalenbruch.
22	-49/50	Schluff, olivgrau (5Y 4/2), feinsandig, mit vielen Muscheln und Gastropoden.
49/50	-70	Feinsand, grau (5Y 5/1), gut sortiert, kein Schalenbruch, mit ~2 mm-starker Corg angereicherter Lage an der Basis.
70	-75	Feinsand, dunkel grau (5Y 4/1), schluffig, geschichtet, mit linsenartigen Corg-Anreicherungen 4-5 mm x 4 cm bei 71 cm, und dunkel olivgrauem (5Y 3/2), feinsandigem Ton bei 73,7-74,5 cm.
75	-90	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), gut sortiert. Einzelne Pflanzenreste (~2 mm) zwischen 83-86 cm.
<b>2700</b>	<b>-2800</b>	<b>Kerngewinn: 90 cm</b>
0	-7	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), mit mittel- bis grobkörnigen Anteilen, Muschel (einklappig) und Schalenbruch häufig.
7	-29/30	Feinsand, dunkelgrau (5Y 4/1), schluffig, kaum Schalenbruch, etwas heller unter 17 cm. Schräger Wurmgang 5-8 mm ø bei 26-31 cm, eisenhaltig.
29/30	-39/40	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), mit Grobanteil und Mittel-Grobsand-Taschen und Lagen. Einzelne Kiesel bis 1 cm ø.
39/40	-52	Feinsand, wie oben, weniger Grobsandtaschen. Übergang zu
52	-67	Mittel- bis Grobsand/Kies, grau (5Y 5/1), Einzelne Feuersteinstücke bis 2x1,5x6 cm, sonst 1 bis 2 cm ø.
67	-76/78	Feinsand, olivgrau (5Y 4/2), mit Mittelsandanteilen, ohne Muschelbruch.
76/78	-90	Mittel- bis Grob/Feinkies, hell grau (5Y 6/1), nach unten grober werdend. Feinsandtaschen mit schwarzen Körnchen.
<b>2800</b>	<b>-2900</b>	<b>Kerngewinn: 70 cm</b>
0	-24	Mittel- bis Grobsand, olivgrau (5Y 4/2 - 5/2), mit höherem Feinanteil zwischen 12-20 cm. Schalen und Schalenbruch häufig > 2 mm.
24	-50/52	Mittelsand, helles Olivgrau (5Y 5/3), mit einzelnen Feinkiesen. Zwischen 26-33 cm 1-2,5 cm dicke Feuersteinlagen. Wenig Schalenbruch.
50/52	-70	Grobsand-Feinkies, olivgrau (5Y 4/2 - 5/2.), ca. 2 mm ø, einzelnen Steine bis 6 cm ø, kaum Schalenbruch, kein Zement.
<b>2900</b>	<b>-3000</b>	<b>Kerngewinn: 56 cm</b>
0	-4	Fein- bis Mittelsand, hell olivgrau (5Y 5/3), mit Grobanteilen und wenig Muschelbruch.
4	-10	Mittel- bis Grobsand, hell olivgrau (5Y 5/3) mit Feinanteilen. Etwas mehr Muschelbruchteile, nach unten gröber werdend.
10	-16	Grobsand, Farbe wie oben, mit Mittelsandanteilen und größeren Muschelbruchstücken Scharfer Kontakt zu
16	-19	Sand, grauoliv (10Y 4/2), fein schluffig mit Grobsandschleiern und Lagen.
19	-56	Mittel- bis Grobsand, hell olivgrau (5Y 5/3), nach unten etwas dunkler werdend, mit Muschelbruchteilen und Feinsandlagen bei 26-27,5 cm und 37-38 cm, mit einzelnen Kiesel größer als 3mm.
<b>3000</b>	<b>-3050</b>	<b>Kerngewinn: 37 cm</b>
0	-11	Feinsand, hell olivgrau (5Y 5/3), mit Muschelbruchteilen ca. 2 mm ø.
11	-24	Mittel- bis Grobsand, Farbe wie oben., mit Muschelbruchteilen größer als 2 mm ø.
24	-37	Grobsand, Farbe wie oben, mit Kies und Feuersteinen 10 cm x 7 cm (max.) und kleineren von 3-5 cm ø.

**Tab. 3 U/Th-Datierungen**

Institut für Umweltphysik, Heidelberg

Lab. Nr.	Lokalität/ Bezeichnung	<sup>230</sup> Th-Akt. dpm/g	Fehler	<sup>238</sup> U-Akt. dpm/g	Fehler	<sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U	Fehler	<sup>232</sup> Th-Akt. dpm/g	Fehler	Alter (korr), ka	Fehler	Mollusken Art	Gemessen von
856	DA1 14 <sup>32-40</sup>	0,1055	0,0096	0,2819	0,0023	0,3743	0,0341	0,0297	0,0067	30,20	4,09	Pecten sp., Varicorbula sp., Mytilus edulis	S. Laukemann
857	DA1 14 <sup>63-67</sup>	0,2398	0,0075	0,4235	0,0058	0,5663	0,0192	0,0472	0,0005	55,96	5,89	Spisula subtruncata, Macoma sp.	S. Laukemann
203	DA1 15 <sup>15-17</sup>	0,1719	0,0034	0,2163	0,0002	0,7948	0,0159	0,0164	0,0001	84,62	2,66	S. subtruncata, Schalenbruch	M. Lomitschka
204	DA1 15 <sup>17-20</sup>	0,3221	0,0090	0,2719	0,0004	1,1848	0,0332	0,0423	0,0003	176,77	11,91	Schalenbruch	M. Lomitschka
170	DA1 15-16	0,1277	0,0009	0,1999	0,0003	0,6385	0,0045	0,0094	0,0005	66,76	0,75	S. subtruncata, M. balthica, Schalenbruch	M. Lomitschka
858a	DA1 16 <sup>75-77</sup>	0,3997	0,0050	0,7854	0,0054	0,5090	0,0073	0,0319	0,0002	59,84	2,42	S. subtruncata, Mysis undata	S. Laukemann
858b	DA1 16 <sup>75-77</sup>	0,4861	0,0116	0,9837	0,0047	0,4941	0,0120	0,0578	0,0008	55,21	2,98	S. subtruncata	S. Laukemann
205	DA1 18 <sup>10-18</sup>	0,3028	0,0130	0,4053	0,0005	0,7471	0,0321	0,0348	0,0004	95,81	8,32	S. subtruncata, M. balthica, N. nitida	M. Lomitschka
201	DA1 19-20	0,3463	0,0026	0,3729	0,0018	0,9286	0,0083	0,0429	0,0004	121,41	2,55	S. subtruncata, Abra alba, N. nitida	M. Lomitschka
859	DA1 20 <sup>96-99</sup>	0,3642	0,0077	0,2620	0,0012	1,3902	0,0299	0,1279	0,0010	185,07	-	Schalenbruch Venerupis senescens	S. Laukemann
860	DA1 22 <sup>40-46</sup>	0,3346	0,0040	0,2226	0,0004	1,5033	0,0183	0,0669	0,0002	-	-	Schalenbruch Pecten sp., Varicorbula sp.	S. Laukemann
861	DA1 22 <sup>58-62</sup>	0,3573	0,0039	0,3205	0,0010	1,1149	0,0127	0,1010	0,0054	200,76	67,04	Varicorbula gibba, Schalenbruch	S. Laukemann
206	DA1 25 <sup>06-15</sup>	0,1782	0,0043	0,2111	0,0004	0,8441	0,0203	0,0034	0,0000	135,75	6,54	S. subtruncata, V. gibba, N. nitida	M. Lomitschka
202	DA1 25-26	0,1758	0,0016	0,2161	0,0004	0,8134	0,0077	0,0029	0,0000	131,18	2,55	S. subtruncata, V. gibba, N. nitida	M. Lomitschka
208	DA1 28 <sup>0-10</sup> I	0,2302	0,0058	0,2849	0,0001	0,8080	0,0202	0,0250	0,0002	113,74	5,44	S. subtruncata, V. gibba	M. Lomitschka
209	DA1 28 <sup>0-10</sup> II	0,4532	0,0020	0,5068	0,0004	0,8943	0,0040	0,0574	0,0005	132,59	1,24	S. subtruncata, V. gibba	M. Lomitschka
171	DA1 28-29	0,1008	0,0010	0,1149	0,0002	0,8774	0,0092	0,0013	0,0000	129,67	2,87	S. subtruncata, V. gibba	M. Lomitschka

Lab. Nr.	Lokalität	<sup>232</sup> Th ng/g	Fehler	<sup>230</sup> Th ng/g	Fehler	<sup>230</sup> Th-Akt. dpm/g	Fehler	<sup>238</sup> U-Akt. µg/g	Fehler	<sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U	Fehler	Mollusken Art	Gemessen von
526	Stohl JP1	788,35	18,13	0,0187	0,0006	0,7000	0,0210	0,7932	0,0036	1,1829	0,2956	M. edulis	M. Lomitschka
526	Stohl JP1	833,26	11,50	0,0200	0,0003	0,7519	0,0130	0,8212	0,0047	1,2271	0,0188	M. edulis	M. Lomitschka
527	Stohl JP2	72,17	1,03	0,0046	0,0003	0,1981	0,0109	0,1834	0,0007	1,4476	0,0747	Artica islandica, Aloidetes gibba	M. Lomitschka
528	Schwaan F1	315,58	1,93	0,0266	0,0004	1,1575	0,0172	0,3478	0,0008	4,4608	0,0636	Cerastoderma edule	M. Lomitschka
529	Schwaan F2	464,02	3,90	0,0207	0,0003	0,8569	0,0114	0,5532	0,0011	2,0761	0,0253	C. edule	M. Lomitschka
530	Schwaan FU	233,28	2,80	0,0130	0,0003	0,5512	0,0121	0,2253	0,0016	3,2787	0,0703	C. edule	M. Lomitschka
530	Schwaan FU	285,20	3,99	0,0215	0,0005	0,9282	0,0213	0,3800	0,0008	3,2743	0,0713	C. edule	M. Lomitschka
532	Grimmen	795,29	19,88	0,0168	0,0005	0,6142	0,0184	0,3697	0,0007	2,2268	0,0534	C. edule, Venerupis senescens, S. subtruncata	M. Lomitschka
532	Grimmen	292,86	13,76	0,0123	0,0012	0,5072	0,0487	0,4013	0,0033	1,6941	0,1467	C. edule, V. senescens, S. subtruncata	M. Lomitschka
533	Hiddensee	113,50	0,08	0,0088	0,0003	0,3812	0,0125	0,6118	0,0048	0,8351	0,0266	Artica islandica	M. Lomitschka
534	Kluckow	521,66	6,26	0,0065	0,0002	0,1945	0,0066	0,8583	0,0013	0,3037	0,0068	Schalenbruch	M. Lomitschka
535	Klüsser Nische	761,20	4,57	0,0097	0,0002	0,2929	0,0062	0,2072	0,0025	1,8944	0,0264	Schalenbruch	M. Lomitschka
536	Klütz Höved I	294,85	5,48	0,0075	0,0004	0,2850	0,0168	0,3618	0,0039	1,0556	0,0528	Schalenbruch	M. Lomitschka
537	Klütz Höved III	956,18	2,87	0,0150	0,0001	0,4999	0,0045	2,2622	0,0032	0,2962	0,0020	Schalenbruch	M. Lomitschka

**Tab. 4**

**Forschungsbohrung Krummland KR1**

Geol.-Paläontologisches Inst., CAU-Kiel DFG-Projekt "Eem-Meer" Datum: 14/15. Nov. 1995  
 Gebiet/Bohrstelle: KR 1, Krummland, Dänischer Wohld, Schleswig Holstein  
 Blatt: TK 25 Nr. 1525/20 Rechts <sup>35</sup>6300 Hoch <sup>60</sup>3400 9°58,38'E, 54°26,65'N Höhe über NN: 10,5 m

Bohrkern: Geol.-Pal. Inst., CAU-Kiel, DFG-Projekt "Eem-Meer", und LANU Schleswig-Holstein

- 0 - 6 m Spülbohrung
- 6 - 46,1 m Rammkernbohrung

Geol. Aufnahme: Dr. K. Winn, GPI und Dr. H.-J. Stephan, LANU  
 Messungen: Fel -Gamma -Sonde (Ing. Ketelsen, LANU), magnetische Suszeptibilität (Dr. K. Winn, GPI)

Teufe m	Sedimentbeschreibung
	<b>Spätglazial/Holozän</b>
0 - 0,35	Toniger Boden, durchwurzelt (Spül-Graben).
-2,00	Ton, braun, mit Kies, einzelne Großsteine (Spül-Graben).
-3,00	Ton, graubraun, sandig, mit Kies/Kleingerölle.
-4,00	Sand und Ton, grau, mit Feinkies.
-5,00	Sand und Geschiebemergel, grau.
	<b>Weichsel</b>
-6,00	Geschiebemergel, dunkelgrau (5Y4/1).
-7,60	Geschiebemergel, dunkelgrau (5Y4/1), olivstichig, verstreut Bröckchen aus Kreide, einzelne Grobkiese, einzelne Schlieren aus Mehlsand bis Mittelsand, schluffig, hellgrau, einzelne Linsen aus Mehlsand, schluffig, hellgrau, 6-6,06m Feuerstein///Grundmoräne.
-11,00	Geschiebemergel, dunkelgrau (5Y4/1), olivstichig, verstreut Bröckchen aus Kreide///Grundmoräne.
-11,25	Geschiebemergel mit sehr vielen Bröckchen aus Schluff, tonig, hellgrau.
-12,20	Geschiebemergel, wenige Kreidebröckchen, weniger Bröckchen aus Schluff, tonig, hellgrau, streifenweise auch zahlreicher/sonst dunkelgrau, olivstichig, einige Schlieren bis Flecken rötlichbraun///Grundmoräne.
-14,00	Geschiebemergel, dunkelgrau, olivstichig, wenige Kreidebröckchen, in wenigen Streifen Bröckchen aus Schluff, tonig, hellgrau, sehr wenige rötlichbraune und schwärzlichgraue Schlieren///Grundmoräne.
-14,15	Geschiebemergel, wenige Kreidebröckchen, Schlieren aus Sand bis schluffigem Sand.
-14,40	Sand, hellbraun, kiesig, unten Sand, sehr stark mehlsandig, schluffig, in Lagen bis Schlieren Geschiebemergel, dunkelgrau.
-14,75	Geschiebemergel, viele Lagen aus Sand, hellbräunlich, kiesig, in der Mitte Ton, beige-grau/sonst dunkelgrau, z.T. schwärzlich-grau/schlierig///Grundmoräne.
-15,00	Geschiebemergel, dunkelolivgrau, sehr wenige Kreidebröckchen, wenige Nester bis Brocken mit Schluff, tonig, hellgrau///Grundmoräne.
-15,45	Schluff, tonig, schwach sandig bis sandig, kalkig, z.T. stark sandig, Brocken bis Linsen und Nester aus Schluff, tonig, bei 15,15 m eine Linse mit Sand, schluffig/gräulich///Lokalmoräne.
-15,95	Schluff, tonig, schwach sandig bis sandig, sehr schwach kiesig, kalkig, unten schwach sandig, zum Teil sandfreier Schluff, tonig, bei 15,65 m ein Stein, Quarzit/gräulich ///Beckenablagerung mit Dropstones.
-17,00	Geschiebemergel, bis 16,42 cm olivgrau (5Y 4/2), fleckig bis 16,70 m und ab 16,70 m dunkelolivgrau (5Y 3/2), sehr fest, Stein bei 16,23 m, Mittelsandlinse bei 16,35-16,36 m, leicht olivgrau (5Y 4/2)///Grundmoräne.
-18,00	Geschiebemergel, grau (5Y 4/1), schwach steinig, schlierig bis streifig, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), besonders unter 17,81 m///Grundmoräne.
-19,00	Geschiebemergel, dunkelolivgrau (5Y 3/2) bis 19,09 m, hellere olivgrau (5Y4/2), Gneis 19,03-19,10 m.
-19,52	Geschiebemergel, grau (5Y 4/1), sandig, Steine - Quarzit 18,32-18,37 m, Gneis 18,85-18,94 m und viele kl. Steine.
-20,00	Kernverlust
-20,35	Geschiebemergel, dunkelolivgrau (5Y 3/2) bis olivgrau (5Y4/2)///Grundmoräne.
-21,00	Kernverlust
-21,50	Geschiebemergel, dunkelolivgrau (5Y 3/2) bis olivgrau (5Y4/2)///Grundmoräne.
-22,00	Kernverlust
-22,57	Geschiebemergel, dunkelolivgrau (5Y 3/2) bis olivgrau (5Y4/2), von 20 m bis 22,57 m zunehmend weicher werdend///Grundmoräne.
-23,00	Kernverlust (+ Stein 13x11x8 cm).
-24,00	Geschiebemergel, dunkelgrau, kl. Gerölle.

-25,00	Geschiebemergel, dunkelgrau (5Y4/1), fest, 24,13 -24,15, 24,24 -24,3, 24,65 -24,75 und 24,75 -24,8 m gr. Steine///Grundmoräne.
-29,085	Geschiebemergel, grau bis dunkelgrau (5Y4/1), unten schwach olivstichig, meist Feuerstein - und Kalkgerölle bis 3 cm ø///Grundmoräne.
-29,15	Ton, dunkelgrau (5Y 4/1), schluffig, kalkig, Brocken aus schluffigen Ton 2 -3 cm ø, in Schlieren grauer Geschiebemergel///Grundmoräne.
-30,10	Geschiebemergel, dunkelgrau (5Y 4/1), grau (5Y 4/2) ab 29,62 m ///Grundmoräne.
-30,12	Geschiebemergel, Flecken bis Nester aus humosem Schluff (Eem).
-30,14	Geschiebemergel, grau (10YR6/1), fest, kl. Gesteinsbrocken, 30,1 -30,14 m, Flecken und Nester aus humosem Schluff (Eem).
-30,17	Geschiebemergel, grau (10YR6/1)///Grundmoräne.
-30,19	Verwürgung aus hellgrauem Geschiebemergel und humosen eemzeitlichen Schluff///Grundmoräne. Unregelmäßige Grenze 30,18 -30,2 m (mit Abtragung).
	<b>Marines Eem</b>
-30,62	Ton/Schluff, olivgrau (5Y 4/2), vereinzelt Schalenbruch, dunklere Lagen 1 -2 cm mit Pflanzenhäckseln und ?Blattresten.
-30,85	Schluff/Ton, hellgrau (5Y 5/1-2), humos, kalkig, wenige Molluskenschalen, bei 30,73-30,75 m eine schräge Linse aus Grobschluff bis Feinsand, mit sandgefüllten Nestern 3-5 mm ø, unter 30,72 m, stark bioturbiert, kaum sichtbare Schichtungen, unruhig wellig.
-31,00	Dito, feingeschichtet, sehr feinsandige Lagen 0,5 bis 1 mm, <i>Nassaria</i> sp. bei 30,97 m.
-32,00	Schluff/Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), laminiert mit hellerem grau (5Y 5/1, 6/1) feinschluffigen Lagen (mm-Schichtung), gelegentlich Feinsand Lagen, humos. Ab 31,15 m etwas heller, vereinzelt Muschelbruch, Schillnester (zersetzt) bei 31,48-31,49 m und 31,53-31,54 m. Teils Verformungen durch synsedimentäres Sedimentgleiten.
-33,00	Ton/Schluff, dunkelgrau bis grau (5Y 3/1, 4/1), laminiert, mm-Schichten, humos, einige Schalenbruchlagen.
-34,00	Ton/Schluff, wie oben, laminiert, wenig Muschelschill außer bei 33,455 m, Schichten heller, etwas dicker (1-2 mm), schluffiger, humos. Wenige Verformungen durch Sedimentgleiten.
-35,00	Schluff, olivgrau (5Y 4/2) mit helleren Laminationen, oliv, humos, kalkig, vereinzelt Muschelbruch, bei 34,05 m Samenkapsel, bei 34,11 m Holz/dunkel-oliv, einige Verformungen durch synsedimentäre Vorgänge (subaquatische Gleitung).
-35,46	Schluff, dunkelolivgrau (5Y 3/2), kalkig, humos, feingeschichtet (mm), hellere Laminationen, vereinzelt Muschelbruch, Krebsbauten, bei 35,4 m eine kalkfreie ?Linse.
-35,52	Ton/Schluff, dunkel braunschwarz, mehr Molluskenbruch als oben, laminiert, stark humos, kalkig.
	<b>Übergang zum marinen Eem</b>
-35,56	Ton, heller olivgrau, humos, kalkig.
-35,58	Ton, sehr dunkelgrau (5Y 3/1), humos.
-35,69	Ton/Schluff, sehr dunkelgraubraun (10YR 3/2), sehr humos, Schichtung schwach bis mäßig, einige feinsandige Lagen, lagen- bis streifenweise Mittelschluff/schwärzlichbraun.
-35,89	Tongytja, schwarz, mehlsandig bis feinsandig, schwach kalkig, unten mit weißlichen Mehlsandlagen, unten mm-Schichtung, kl. braune Sandtaschen.
-36,00	Kernverlust.
	<b>Limnisches Eem</b>
-36,03	Detritusmudde, olivschwarz (5Y 2/1), sehr feinsandig, kalkfrei.
-36,12	Mudde/toniger Torf, bräunlichschwarz (5Y R 2/1), einzelne hellgraue Schlieren, sehr schwach geschichtet, etwas Schalenbruch, Pflanzendetritus, erosive Grenze 1-2 cm mächtig.
-36,145	Mudde, bräunlichschwarz (5Y 8/1), hellere Schichten 0,5 - 2 mm, mehr Schalenbruch, Pflanzendetritus. Unregelmäßige Grenze zu
-36,175	Kalkmudde, gelblich braun (5Y 7/2), durchwurzelt, einige Molluskenschalen.
-36,21	Torf, schwarz (N1), ?Seggentorf, kalkfrei, blättrig, basis tonig.
-36,24	Schluff, bräunlichschwarz (5YR 2/1), mehlsandig, kalkfrei, schwach humos, wenige Linsen aus hellgrauem Feinsand.
-36,27	Mehl- bis Feinsand, bräunlichschwarz (5YR 2/1), schluffig, kalkfrei, Flecken mit schluffigem Feinsand, im Flecken schwach humos, Wühlgefüge, bioturbat. Unregelmäßiger Kontakt zu
-36,47	Feinsand, olivgrau (5Y 5/2), mehlsandig, schluffig, kalkfrei, schwach durchwurzelt, im Flecken sehr schwach humos, graufleckig.
36,49 -36,51	Dito, schwach bis sehr schwach humos, ab 36,48 m nesterweise kalkig, dunkler (5Y 3/2) an der Basis. Unruhige Erosionsdiskordanz.
	<b>Spät-Saalezeit</b>
-36,69	Feinmehlsand, tonig, kalkig, feingeschichtet mit vereinzelt Grabgängen, Wurzelstreifen, viel pflanzl. Detritus.
-36,79	Mehlsand, hellgrau bis grau, stark grobschluffig, schwach durchwurzelt mit vereinzelt Grabgängen, feingeschichtet/Beckenablagerung.
-36,84	dito, jedoch viele Lagen aus grauem Schluff, leicht bioturbat.
-37,00	Kernverlust

-37,53	Mehlsand bis Feinsand, grau (5Y 4/1), schluffig, kalkig, viele Schluff und tonige Schlufflagen, in wenigen Schlieren humos oder Pflanzenwurzeln bis 8 mm ø bei 37,22-37,24 m, millimetergeschichtet, Schichten wechselnd schräg einfallend/Beckenablagerung.
-37,73	Mehlsand bis Feinsand, grau (5Y 4/1), wenige schlufflagen, schwach durchwurzelt, einige Lagen mittelsandig, sehr schwach grobsandig-feinkiesig, bei 37,66-37,77 m deutlicher Wurzelkanal/Beckenablagerung.
-37,76	Feinsand, leicht mittelsandig, schwach grobsandig-feinkiesig.
-37,83	Feinsand, grau (5Y 4/1), mehlsandig, mittelsandig, kalkig, unten lagenweise toniger Schluff, feingeschichtet/Beckenablagerung.
-38,00	Feinsand bis Mittelsand, dunkelgrau (5Y 5/1), sehr schwach grobsandig, kalkig, in wenigen Flecken humos bis durchwurzelt, dunkler (5Y 4/1)/Schmelzwassersand.
-39,00	Kernverlust durch Steinhindernis; in Spülproben Sand, kiesig mit Brocken aus tonigem Schluff.
	<b>Saale</b>
-40,00	Kernverlust durch Steinhindernis; nach Spülproben und Gamma-Log überwiegend Geschiebemergel.
-41,00	Kernverlust durch Steinhindernis; in Kernrohe 0,15 m stark gestörter Geschiebemergel.
-41,47	Geschiebemergel, dunkelgrau,
-42,00	Kernverlust durch Steinhindernis
-43,00	Kernverlust durch Steinhindernis
-43,10	Stein (offenbar das vorgetriebene Steinhindernis; Blauquarzporphyr=Emarporphyr, durch Rohrdrehen angeschliffen).
-43,40	Fein- bis Mittelsand, grau, kalkig, lagenweise Mittelsand, grobsandig, feinkiesig, lagenweise Mehlsand bis Grobschluff, unten Schlieren mit Sand, schwach kiesig, schluffig bis stark schluffig, mm-untergeordnet cm-schichten/Schmelzwasser-Ablagerung mit Fließmergellagen?
-43,60	Sand, grau, stark schluffig, schwach tonig, schwach kiesig/Fließmergel.
-43,80	Kernverlust
-45,40	Spülbohrung mit Rohrnachdrücken wegen Steinhindernis
-45,50	Geschiebemergel, grau, stark sandig, Schlieren bis Linsen aus Feinsand, mehlsandig, wenige Linsen aus Fein- bis Mittelsand, geschichtet/Fließmoräne.
-46,04	Mehlsand bis Feinsand, grau, schluffig bis stark schluffig, kalkig, schwach mittelsandig, sehr schwach grobsandig, Schlieren aus Mehl- bis Feinsand, schwach geschichtet/glaziäre Abschlammung.
	Ende der Bohrung

**Tab. 5****Forschungsbohrung Blankensee**

Blatt: TK 25 Nr. 2230 Rechts 4414525 Hoch 5963348  
 53°47,74'N, 10°42,16'E 15,5 m über NN

Quelle: Dr. H.-J. Stephan LANU Schleswig-Holstein; Dr. K. Winn.

Teufe (m)	Lithologie	Alter
29,18 -29,53	Fein- bis Mittelsand, kalkfrei, viele Feinsandmudde- und Schluffmuddelagen, unten kalkfreier Mittelsand, grau bis dunkelbraun, lagenweise schwärzlich, ebene Millimeter- bis Zentimeterschichtung, Fließgewässer- bis Seeablagerung.	Weichsel
-29,99	Schluffmudde, stark humos, kalkig, dunkelbraun, Seeablagerung.	Eem
-30,00	Schluffmudde, stark humos, kalkig, sehr wenig Schill, braun schwarz, schlierig dunkelgrau, Seeablagerung.	Eem
-30,02	Schluff, tonig, stark kalkig, viel Schill, grau schwach grünstichig, steif bis halbfest.	Eem
-30,05	wie oben, jedoch wenig Schill.	Eem
-31,30	Schluff, tonig, stark kalkig, schwach durchwurzelt mit braunen, überwiegend vertikalen, z.T. verzweigten Wurzelresten/ einzelnen detritischen Pflanzenresten/grau, sehr schwach grünstichig/steif bis halbfest/Beckenablagerung.	Spätsaale
-31,92	Schluff, tonig, stark kalkig, detritische Pflanzenreste, oben noch einzelne Wurzelreste/grau, in vereinzelt wolkigen Flecken bräunlich/steif bis halbfest/schwach schlierig geschichtet/Beckenablagerung.	Spätsaale
-32,30	Schluff, stark kalkig, in Schlieren sehr stark kalkiger, weißlicher Grobschluff, in wolkigen Flecken brauner toniger Schluff, wenige Lagen aus rotbraunem tonigen Schluff/grau, bei 32,19-32,21 m rotbraun, wenige weitere Lagen rotbraun/Beckenablagerung.	Spätsaale

**Tab. 6**

**Forschungsbohrung Groß Weeden**

Blatt: TK 25 Nr. 2230 Rechts 4408125 Hoch 5957535  
53°44,54'N, 10°36.43'E 29,4 m über NN

Quelle: Dr. H.-J. Stephan LANU Schleswig-Holstein; Dr. K. Winn.

Teufe (m)	Lithologie	Alter
-41,17	Sand, kiesig, kalkfrei, periglaziär-fluviatil.	Weichsel
-41,26	Schluff, tonig, humos, kalkig, wenig Schill, dunkelgrau, marin.	Eem
-41,36	Schluff, tonig, humos, kalkig, lagenweise Schill bis Molluskenschalen, dunkelgrau, weiß durchsetzt, marin.	Eem
-41,83	Schluff, tonig, humos, kalkig, sehr viel Schill, sehr viele Molluskenschalen, dunkelgrau, weiß durchsetzt, marin.	Eem
-41,96	Schluff, durchsetzt mit humosem, tonigem Schluff, weißlich, dunkelgraufleckig, marin.	Eem
-42,05	Torf, schwarz, stark zersetzt.	Eem
-42,08	Schluff, tonig, kalkig, grau, limnisch?	Eem
-42,25 (z.T. bis 42,32m)	Sand, schluffig, tonig, humos, kalkig, wenig Schill, wenig Holzwurzeln, unten etwas mehr Schill, grau, schräg gelagert (45°), limnisch-fluviatil, Ufersediment, dunkelgrau, weiß durchsetzt, marin.	Eem
- 42,55	Sand, schwachkiesig, kalkig, bei 42,3 m sandiger Kies, grau, schräg gelagert, fluviatil.	Spätsaale

**Tab. 7**

**Forschungsbohrung Tüschbeck, 1995**

Blatt: TK 25 Nr. 2230 Rechts 4416615 Hoch 5962133  
53°47,11'N, 10°44,08'E

10,3 m über NN

Quelle: Dr. H.-J. Stephan LANU Schleswig-Holstein; Dr. K. Winn.

Teufe (m)	Lithologie	Alter
37,68	Grobsand, feinkiesig, kalkfrei, zahlreiche Lagen mit vielen Geröllen aus schluffigem, kalkfreiem Ton, grauoliv, ebene Schichtung, periglaziär bis fluviatil.	Weichsel
-37,78	Grobsand, feinkiesig, kalkig, Lagen mit vielen Geröllen aus schluffigem, kalkfreiem Ton, grauoliv, ebene Schichtung, periglaziär bis fluviatil.	Weichsel
-37,85	Schluff, tonig, sandig bis schwach sandig, kiesig, stark kalkig, Schill, dunkelolivgrau, marin.	Eem
-37,90	Schluff, tonig, stark kalkig, sehr viel Schill, Molluskenschalen, unten sandig, bei 37,95 m einzelne Lagen aus 2 cm mächtigem Mittelsand, olivschwarzgrau, feingeschichtet, marin.	Eem
-38,02	Schluff, sandig, stark kalkig, schwach kiesig, sehr viel Schill, Molluskenschalen, olivschwarzgrau, schwach schräg stehende Schichtung, marin.	Eem
-38,08	Schluff, stark kalkig, sehr viel Schill, Molluskenschalen, Schneckengehäuse (Nassaria), Lam. (Cerastoderma, Veneropsis senescens), olivschwarzgrau, schräg stehende Schichtung, marin.	Eem
-38,62	Schill, stark schluffig, sehr stark kalkig, beigebraun, schwach schräg stehende Schichtung, marin.	Eem
-38,70	Schill, stark schluffig, sehr stark kalkig, humos, schwärzlich, schräg stehende Schichtung, marin.	Eem
-38,74	Schill, stark schluffig, sehr stark kalkig, humos, dunkelgraubraun, schräg stehende Schichtung, marin.	Eem
-38,76	Schluffmudde, stark kalkig, stark humos, schwärzlich, marin.	Eem
-38,77	Kalkmudde, wenig Molluskenschalen, beige- bis graubraun, dünnchalige, sehr kleine Muscheln, marin.	Eem
-38,82	Schluffmudde, schwach kalkig, schwärzlich, limnisch?	Eem
-38,84	Kalkmudde, sehr stark kalkig, Schlieren aus schwach kalkiger bis kalkiger Schluffmudde, gelbbraun bis beigefarben, schwärzliche Schlieren, feingeschichtet, limnisch?	Eem
-38,92	Torf- bis Schluffmudde, zum Teil sehr schwach kalkig, Fe-Konkretion, schwarz bis dunkelrotfarben, schlierig, limnisch.	Eem
-39,00	Kernverlust (Lithologie wie unten laut 'Apfelsine' zu Kernmeter 38-39 m;).	Eem
-39,11	Kalkmudde, braungelb, schwärzliche Schlieren, feingeschichtet, brackisch.	Eem
-39,32	Schluffmudde bis Kalkmudde, schwarzgrau, graubraune Schlieren, feingeschichtet, limnisch.	Eem
-39,60	Schluffmudde, stark kalkig, unten wenige feinsandige Lagen, schwarzgrau, graubraune Schlieren, feingeschichtet, brackisch.	Eem
-39,77	Sandmudde, schluffig, stark kalkig, wenige Lagen aus Schluffmudde, schwarzgrau, limnisch.	Eem
-39,85	Mittelsand, feinsandig, schwach grobsandig, stark kalkig, sehr wenig Bryozoen, sehr wenige Lagen aus schluffigem Feinsand, ebene Schichtung, fluviatil.	Eem?
-40,00		

3871

3871

AB, AB, AB  
N, AB

3880-39  
lee

39:61-  
91 AB

**Tab. 8**

**Aufschluß Schwaan**

Gebiet : Sandgrube bei Schwaan.  
0,5 km nach der Abzweigung Bützow in Richtung Bandow,  
ca. 90 m links von der Straße.

Geologisch-Paläontologisches Institut, Kiel Datum der Profilaufzeichnung : 18.10.1995  
Bearbeiter : K. Winn/U. Schulz

Ref.: P. Frenzel pers. Mittlg., Okt. 1995, Geinitz (1893).

Geländebezeichnung der Probenreihe: Schwaan S 1 (Oben, südl. Aufschluss)

Tiefe (cm)		Sedimentbeschreibung	Probenteufe (cm)
von	bis		
			(2 cm Scheibe)
0	30	Gras, Boden, bewurzelt	
30	85	Feinschluff, braun, mit hellen und dunkleren Streifen, einzelnen Gesteinsgeröllen bis 10 cm.	S1-1: 50 cm
85	95	braun, Mittel- bis Grobsand, Kies/Gerölle 0-10 cm, unregelmäßige Grenze zu	S1-2: 85 cm
95	105	Feinschluff, hellbraun mit 1-3 cm dunklen Lagen.	S1-3: 100 cm
105	140	Feinsand, hellbraun, schluffig, strukturlos.	S1-4: 125 cm
140	155	Feinschluff, braune, Fe-reiche Lagen.	S1-5: 145 cm
155	173	Feinsand, schraggeschichtet mit Mittelsandanteil mit 2-3 cm dunkelbrauner Lage, strukturlos.	S1-6: 165 cm
173	198	Feinsand, hellbraun, strukturlos, einzelne Kiesgerölle.	S1-7: 190 cm
198	280	Feinsand, braun, schluffig, mit Kiesgeröllen (Feuerstein), Fe-gemottelt, nach unten dunkler werdend.	S1-8: 208 cm S1-9: 233 cm S1-10: 270 cm S1-11: 280 cm
280	294	wie oben, leicht geschichtet (1cm) , mit kleinen Kiesgeröllen.	S1-12: 285 cm S1-13: 290 cm
294	296	Grobsand-Feinkieslage, braunepunktet, vereinzelt Muschelbruch.	S1-14: 295 cm
296	305	Fein- bis Mittelsand mit Grobanteilen, leichte Schichtung, mit vereinzelt Muschelbruch.	S1-15: 300 cm
305	307	Mittel- bis Grobsand mit Kiesanteilen und Muschelbruch.	S1-16: 305 cm
307	314	Mittel- bis Grobsand mit Kiesanteilen und Muschelbruch.	S1-17: 310 cm
314	318	Grobsand bis Feinkies mit Muschelbruch.	S1-18: 315 cm
318	321	Fein- bis Mittelsand mit Schichtungen (5 mm bis 1 cm).	S1-19: 320 cm
321	323	Grobsand bis Feinkies.	S1-20: 322 cm
323	335	Feinsand.	S1-21: 330 cm
335	338	Grobsand und Mittelsand, wenig Feinkies.	S1-22: 335 cm
338	340	Feinsand.	
340	342	Grobsand mit Muschelbruch.	S1-23: 341 cm
342	344	Feinsand mit groberen Anteilen (Mittel- bis Grobsand).	S1-24: 343 cm
344	352	Grobsand mit Muschelbruch.	S1-25: 350 cm
352	370	Feinsand.	S1-26: 355 cm... S1-27: 365 cm

Profil S2: 40 m 300° von Profil S1 entfernt			
Tiefe (cm)		Sedimentbeschreibung	Probenteufe (cm)
von	bis		
0	6	Feinsand, braun, tonig, nach unten hellbrauner Grobsand-Feinkies.	S2-1: 4 cm
6	29/34	Feinsand, braun bis dunkelbraun, schluffig, feingeschichtet, ab 20 cm schräggeschichtet, untere Grenze: rippelförmig.	S2-2: 10,5cm S2-3: 19,5 cm S2-4: 27,5 cm
29/34	45	Mittel- bis Grobsand, hellbraun nach unten brauner werdend, 4 Zyklen Schrägichtung, Feinkies bis 2 cm Ø, Muschelbruch.	S2-5: 36,5 cm S2-6: 44,5 cm
45	51	Grobsand mit 2 Feinkies/Grobsandlagen, leicht schräggeschichtet mit viel kleinem Muschelbruch.	S2-7: 50,5 cm
51	101	Wechselagerung Grobsand/Feinkies, mit 2 bis 3 Mittel- bis Grobsandlagen, Salz und Pfeffer Textur, Grobsand/Feinkies 6-8 cm mächtig, Einzelkiese 2-3 cm Ø, meist 0,5 bis 2 cm, Fe-Konkretionen S2-9 bis S2-11, Muschelbruch in S2-12.	S2-8: 55,5 cm S2-9: 60,5 cm ..... S2-17: 100,5 cm
101	152	Grobsand/Feinkiespakete mit Fein- bis Mittelsandbasis (Grenzflächen), Salz und Pfeffer Textur, 3-6 cm Einheiten.	S2-18: 105,5 cm .. S2-27 150,5 cm
152	286	Fein- bis Mittelsand, hellbraun, feingeschichtet, mit Mittel bis Grobsandlagen (ca. 60% fein, 40% grob, 2-3 cm Einheiten), kl. Feinkies, Salz und Pfeffer Textur. Vereinzelt Muschelbruch bis 260 cm, Gerölle (3 cm ø) bei 270 cm.	S2-28: 155,5 cm ..5 cm Abstand.. S2-54: 285,5 cm
Profil S2A: 20 m 20° von Profil S2 versetzt			
286	305	Mittelsand (ca. 70%) bis Grobsandzwischenlagen (ca. 30% Grobsand). Unten feine bis mittlere Lagen, rötlich gefärbt durch 0,5 - 1cm mächtige Fe-Anreicherungen.	S2A-55: 290 cm ..5 cm Abstand.. S2A-57: 300 cm
	370	Fein- bis Mittelsand, 2-4 cm mächtig mit Grobsandeinlagen mit Salz und Pfeffer Textur (1-2 cm), nach unten weniger werdend.	S2A-58: 305 cm ..5 cm Abstand.. S2A-71: 370 cm
	396	Feinsand, Schluff, hellbraun mit Mittel- und Grobsandanteilen, einzelne Muschelbruchstücke (meist >2mm), einzelne Kiesel bis 1,5 cm ø.	S2A-72:375 cm ..5 cm Abstand.. S2A-76:305 cm
	402	Wie oben, brauner, mit etwas mehr Muschelbruch und einzelnen schwarz-rötlichen, Fe-reichen Flecken.	S2A-77:400 cm
	470	Wie oben, Fe-Anreicherung bei 440 cm und 465 cm (Grob).	S2A-78:405 cm ..5 cm Abstand.. S2A-90:465 cm
Profil S2B: 9 m 20° von Profil S2A versetzt			
	476	Feinsand, braun bis dunkelbraune Schichtungen, Wechsel mit hellen Schrägichtungungen.	S2B-91:470 cm S2B-92:475 cm
	498	Feinschluffiger Sand, schräggeschichtet, hellbraun, 495-498 cm Fe-haltig, rötlich-braun.	S2B-93:480 cm ..5 cm Abstand.. S2B-94:495 cm
	570	Wie oben, Schrägichtung nicht deutlich, eher feine Schichtungen, mit 5-7 mm Fe-reicher Lage bei 510, 521,528 und 541 cm mit einzelnen Anhäufungen von Feinkies/Grobsand in Lagen (bis 5 mm).	S2B-97:500 cm ..5 cm Abstand.. S2B-110:565 cm

**Tab. 9**

**Aufschluß Klüsser Nische, Arkona, Rügen**

Tiefe (cm)	Lithologie
von/bis	
	Sand, gelblich, Fe-reich an der Basis.
0 -5,5	Ton, grau sandig, mit Eisenflecken
-19,5	Ton, braun, plastisch, mit feinschluffigen Schlieren. Fe-haltige Lagen mit braunen Tonaugen 15,5-19,5 cm.
-26	Ton, grau, plastisch, mit feinem Schluffschlier
-38	Ton, braungrau, mit vielen eisenhaltigen Schlieren/Lagen, nach unten häufiger werdend. Fe-Konkretionen bei 26-30 cm.
-46	Ton, dunkelgrau.
-86	Ton, grau bis bräunlich-grau, mit unregelmäßigen, eisenhaltigen Lagen, z.T. mit Fe-reichen Konkretionen.
-122	Ton, grau, mit Eisenkonkretionen bei 90-96 cm, verwitterter Kalk bei 98 cm und 102-106 cm.
-124	Sand, braun, feinkörnig, linsenartig.
-164	Ton, hart, graubraun.
-264	Ton, dunkelgrau, hart, mit limonitischen Sandschlieren bei 190 (stark eisenhaltig), 211, 224, 244 cm und an der Basis.
-276	Ton, braun, hart, mit Fe-reichen Konkretionen, Sanddyke bei 276 cm. <i>Störung</i> .
-292	Ton, hart, rötlich braun, mit Fe-reichen Konkretionen.
-390	Ton, graubraun, sehr hart, kompakt, Fe-reich bei 334 cm, verwitterter Kalk (Schalen?) bei 344-352 cm.

**Tab. 10**

**Gebiet/Bohrstelle:** **Ihlenberger Deponie/Schönberg**  
**B1/IV/95, GLA Mecklenburg-Vorpommern**  
 Blatt: TK 25 Nr. 2131 Rechts 4426277 Hoch: 5970013  
 53°51,3'N 10°52,7'E 49 m über NN

Bohrung: Firma Golder Associates GmbH, 26.09 bis 14.10.1995  
 Bearbeiter: K. Winn/ M. Seidel (U. Müller, G. Boettcher, GLA Mecklenburg-Vorpommern)  
 Daten: U. Müller, Dez. 11, GLA Mecklenburg-Vorpommern.

Lufthebeverfahren, geol. Aufnahme J. Haupt 0 - 59 m  
 Rammkernbohrung, geol. Aufnahme U. Müller 59 - 77 m  
 Lufthebeverfahren, geol. Aufnahme J. Haupt 77 - 304 m

**Mbl. 2131 Hy Schönberg 1/E3/95 Zusammengefaßtes Schriftenverzeichnis**

Teufe (m)	Lithologie	Stufe
0 - 16,0	GM, hbr-gr, Z.T. sandig	Weichsel
16 - 26,4	MS, grbu, f-u gs, kh	Weichsel
26,4 - 31,4	U, gr, st, kh, ab 29.5 hu	Weichsel
31,4 - 31,8	GM, gr, u,	Weichsel
31,8 - 33,0	FK, grbu, st.gs, kh	Weichsel
33,0 - 36,8	FS, gr, st.kh. hu. Flitter	Weichsel
36,8 - 43,7	U, s	Weichsel
43,7 - 45,6	FK, grbu, gs, kh	Weichsel
45,6 - 51,7	U, gr, t o. fs, kh	Weichsel
51,7 - 61,0	GM, gr, s, ab 59 Mollusken-Schalenreste	Weichsel
61,0 - 64,5	FS, gr, ± ms, kh, feldspatarm, Moll.reste, Tf. Flitter, vereinz. gr. Schlufflagen	Eem
64,5 - 70,0	M-GS, hgr, ± fs, kh, feldspatarm, Holz- u. Moll.reste	Eem
70,0 - 70,5	FS, gr, brlgr, khaki, u. kh, brlgr U-schlieren	Eem
70,5 - 70,9	U, rlbr, gülgr, t, kh, Schalenreste, mit brlgr FK-Lage	Eem
70,9 - 71,0	FS, hggü, st. u, kh	Saale
71,0 - 72,2	U, gr, schw.t u. fs, kh	Saale
72,2 - 74,0	U, br, t, kh, gebändert	Saale
74,0 - 77,0	U, gr, t, kh, z.T. gebändert, hu U-Lagen - 2 mm	Saale
-304 Endteufe		Rupelian

## Die Eem-Fauna der Bohrung Dagebüll DA 1, Hauke-Haien-Koog: vorläufige Ergebnisse

Dipl.-Geol. Peter Frenzel und Cand.-Geol. Mike Reich,  
Fachrichtung Geowissenschaften, Univ. Greifswald.

Für die Erstellung der Faunenliste und eine Paläomilieuanalyse wurden die 102 in Tab. 1 aufgelisteten Proben verwendet, die einen Abschnitt von Probenmeter 30,36 bis 10,45 bei einem mittleren Probenabstand von etwa 20 cm umfassen. Die Interpretation der Faunenverteilung gründet sich lediglich auf eine qualitative Analyse unter Ausschluß der Foraminifera (Werte in eckigen Klammern). Die Echinodermen wurden wie die Mollusken nur auf Klassenniveau erfaßt. Trotz dieser nur vorläufigen Datensammlung läßt sich bereits ein Überblick über die im Kern angetroffene Fauna und ihre Aussagekraft machen.

Einen Überblick über die vorgefundenen Ostrakodenarten und anderen Gruppen gibt Tab. 1. Durch die relativ geringe Probengröße und die damit verbundene geringe Individuenzahl läßt sich nur bedingt eine quantitative Analyse der Ostrakodenfauna erstellen. Jedoch sind bereits mit einer qualitativen und semiquantitativen Analyse weitreichende Schlußfolgerungen möglich. Bei allen bis auf das Artniveau bestimmbaren Taxa handelt es sich um auch rezent in der Nord- und Ostsee vorkommende Ostrakodenarten. Ihre Verteilung läßt deutlich eine Verflachung und Besiedlung durch Makrophyten im oberen Teil des Profilabschnittes (ab Profilmeter 18,41) erkennen (Abb. 1). Lediglich im Bereich zwischen etwa 10,5 und 11 m läßt sich ein solches Phytal nicht nachweisen. Es sind in diesem gesamten oberen Profilabschnitt Wassertiefen zwischen <10 und 20 m anzunehmen (Abb. 1). Wahrscheinlich lag der Meeresgrund zuvor etwas tiefer, dies läßt sich jedoch nur anhand der bisher untersuchten Gruppen nicht eindeutig belegen. Es ist zu bedenken, daß es aufgrund der sehr küstennahen paläogeographischen Lage des Untersuchungsgebietes und einer wahrscheinlich starken Reliefenergie möglicherweise durch eine relative Abgrenzung des Sedimentationsraumes zu einer Überschätzung der Wassertiefe kommen kann. Die Salinität lag durchgängig im marinen Bereich (nie wesentlich unter 30‰) und schwankte anscheinend häufig. Generell ist ein Trend von geringeren (um 30‰) über höhere (um 35‰), wenn auch nicht beständige, Werte im mittleren Teil des untersuchten Profilabschnitts zu niedrigerer Salinität im oberen Teil zu erkennen. Der angeführte maximal und minimal mögliche Wert geben die Verbreitungsgrenzen der angetroffenen Taxa an, die geschätzte Salinität stellt nur eine grobe Orientierung dar. Der Temperaturverlauf wurde mittels der rezenten biogeographischen Verbreitung der Taxa rekonstruiert (also anhand von Faunenprovinzen und nicht von exakten Temperaturdaten). Es handelt sich deshalb eher um eine Trendkurve. Die Trendkurve läßt generell eine Temperaturzunahme im untersuchten Profilabschnitt erkennen (Abb. 1).

Nach Bearbeitung der Foraminiferenfauna und detaillierter Untersuchung der Echinodermen werden anhand der zusätzlichen Toleranzgrenzen innerhalb der Faunen der einzelnen Proben genauere Angaben zu den maximalen und minimalen Werten der abiotischen Faktoren möglich. Durch eine quantitative Bearbeitung aller Gruppen lassen sich dann die tatsächlichen Werte weitaus genauer abschätzen, was eine detaillierte Rekonstruktion des Paläomilieus und seiner Entwicklung gestattet. Die reiche Fauna und dichte Beprobung des Profils stellen eine hervorragende und hochauflösende Dokumentation der Klima- und Faunengeschichte im Randbereich der eemzeitlichen Nordsee dar.

	Pisces
	Koprolithen
sonstiges	Polychaeta (Errantal)
	Porifera
	Bryozoa
	Echinodermata inc. sedis
Echinodermen	Holothuroidea
	Asteroidea
	Ophiuroidea
	Echinoidea
	gesamt
	<i>gen. et sp. indet.</i>
	<i>Xestoleberis?</i> sp.
	<i>Semicytherura sella</i> (SARS 1866)
	<i>Semicytherura nigrescens?</i> (BAIRD 1850)
	<i>Sarsicytheridea bradli</i> (NORMAN 1865)
	<i>Robertsonites tuberculatus</i> (SARS 1866)
	<i>Paradoxostome</i> sp.
	<i>Palmococoncha guttata</i> (NORMAN 1865)
	<i>Leptocythere pellucida</i> (BAIRD 1850)
	<i>Leptocythere laetosa</i> (HIRSCHMANN 1912)
	<i>Leptocythere lenera</i> (BRADY 1868)
	<i>Hirschmannia viridis</i> (O.F.MÜLLER 1785)
	<i>Hemicythere villosa</i> (SARS 1865)
	<i>Eloftsonella concinna</i> (JONES 1857)
	<i>Cytheropteron latissimum</i> (NORMAN 1865)
Ostrakoden	<i>Cytherois fischeri?</i> (SARS 1866)
	<i>Cythere lutea</i> (O.F.MÜLLER 1785)
	<i>Carinocatheris whitei</i> (BAIRD 1850)
	Bivalvia
Mollusken	Gastropoda
Foraminiferen	gesamt

Tab. A1: Ostrakoden und andere Faunen in Kern DA1, Dagebüll  
(P. Frenzel, Greifswald)

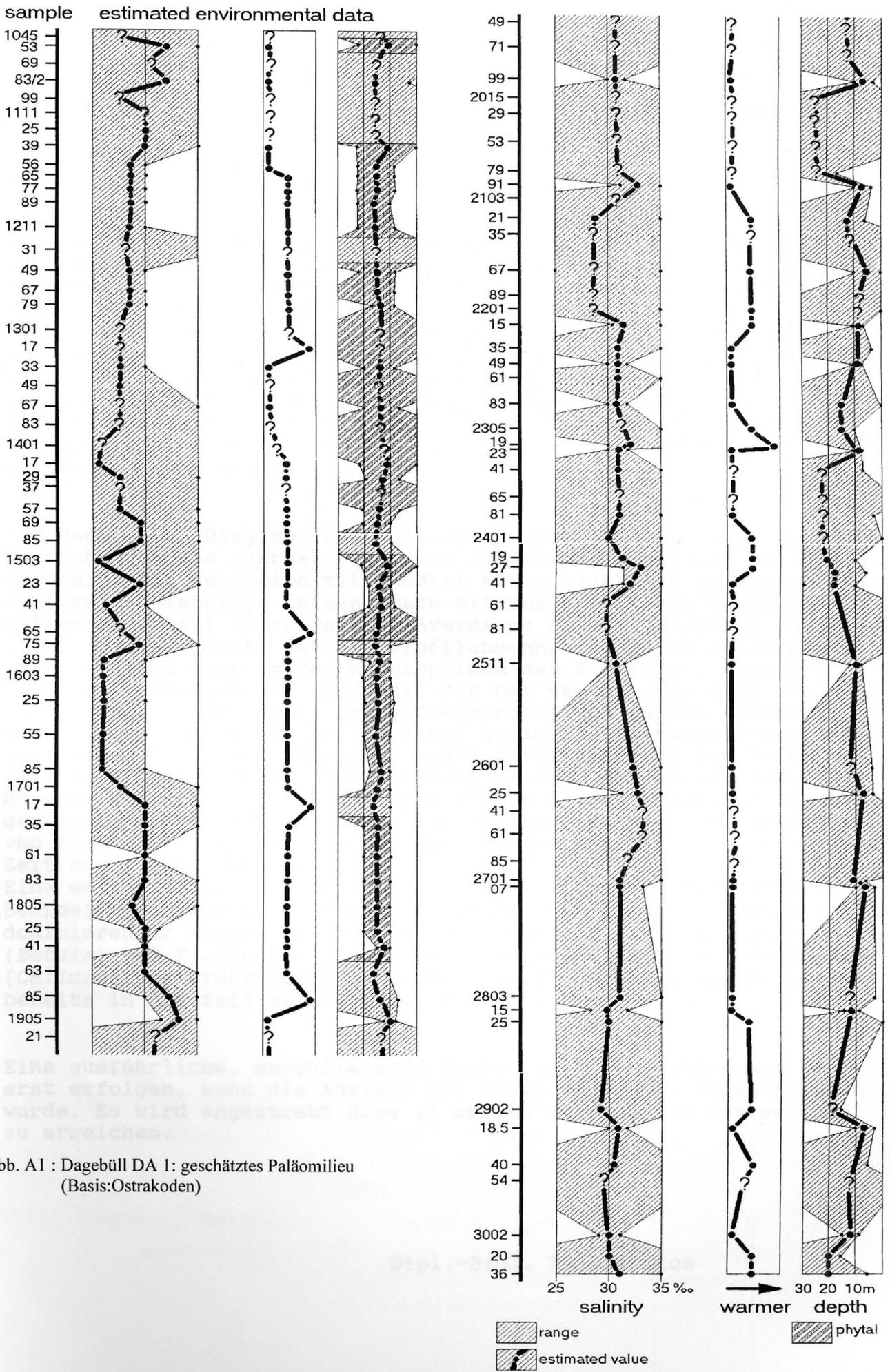


Abb. A1 : Dagebüll DA 1: geschätztes Paläomilieu (Basis:Ostrakoden)

## Bohrprofil Dagebüll DFG DA-1 Pollenanalysen

Von der ca. 30m-mächtigen Sedimentfolge wurde bisher der Bereich zwischen 9m und 24m pollenanalytisch bearbeitet, um eine grobe Einordnung der Sedimente in den entsprechenden erdgeschichtlichen Abschnitt zu ermöglichen.

Bis dato wurden 10 Proben chemisch aufbereitet und auf ihren Pollengehalt unter dem Mikroskop untersucht. Etwa die Hälfte von ihnen konnte in dem Maße ausgezählt werden, daß sie statistisch gut abgesicherte Ergebnisse liefern (Summe der Baumpollen > 400). Bisher war die Pollendichte bei sämtlichen Proben ausreichend. Weitere 7-10 Proben sollen die bereits erzielten Ergebnisse bestätigen und vervollständigen.

Das Baumpollen-Diagramm Dagebüll DA-1 zeigt neben einigen lokalen Abweichungen die charakteristische Artenzusammensetzung der Eem-Warmzeit. Ein Vergleich mit anderen eemzeitlichen Diagrammen Schleswig-Holsteins, insbesondere mit dem unweit von Dagebüll gelegenen Profil Odderade VII (Averdieck et al., Meyniana 28, 1976), verdeutlicht, daß der Profilabschnitt von 24m an aufwärts bereits nicht mehr in das Wärmeoptimum des Eem fällt. Dies kommt einerseits dadurch zum Ausdruck, daß bei den unteren drei Proben die wärmeliebenden Arten des Eichenmischwaldes (Eiche (*Quercus*), Ulme (*Ulmus*) und Linde (*Tilia*)) mit geringen Prozentwerten auslaufen, die Hasel (*Corylus*) stark zurückgeht und die Eibe (*Taxus*) gar ganz fehlt. Andererseits nehmen hier sowohl die Hainbuche (*Carpinus*) als auch die Fichte (*Picea*) deutlich zu. Die genannten Proben fallen demnach in den Bereich des Zonenwechsels von IIIc nach IVa, d.h. in den Wechsel von der Linden-Eiben-Hasel-Zeit zur Hainbuchen-Zeit.

Eine weitere Gliederung bzw. Grenzziehung ist beim derzeitigen Bearbeitungsstand nicht möglich. Der obere Teil des Diagrammes mit dominierender Kiefer (*Pinus*) und geringen Anteilen von Birke (*Betula*) und Fichte bei gleichzeitig höheren Werten von Heidekraut (*Calluna*) und Krähenbeere (*Empetrum*) fällt jedoch möglicherweise bereits in die Zeit des Weichsel-Frühglaziales.

Eine ausführliche, abschließende Beurteilung des Diagrammes kann erst erfolgen, wenn die Analyse der weiteren Proben abgeschlossen wurde. Es wird angestrebt dies im ersten Quartal des Jahres 1998 zu erreichen.

Dipl.-Biol. Rainer Glos

## Bohrprofil Krummland KR 1, Pollenanalysen

Dr. F.-R. Averdieck, Wiss. Dir. i. R.

Bisher wurden 10 Übersichtsproben ausgewählt und durchmustert, um die erdgeschichtliche Einordnung der Sedimentfolge abzusichern. In der folgenden kurzen Probenaufzählung wird die geologisch postulierte Einstufung der pollenanalytisch ermittelten gegenübergestellt unter Aufführung der zur Begründung herangezogenen Charakteristika.

Teufe (m)	sedimentol. Ansprache und Stratigraphie	pollenanalyt. Ergebnis
30,30	Ton/Schluff, marines Eem	Eem, Frühe Nachwärmezeit: <i>Carpinus, Quercus, Tilia, Alnus und Corylus häufig, Picea und Pinus gelegentlich: Hainbuchen-Eichenmischwald (=EMW), Hystrichosphärideen.</i>
30,74	Schluff/Ton, marines Eem	Eem, Ende Wärmezeit: <i>Alnus, Quercus und Corylus häufig, Ulmus, Tilia und Carpinus öfters, Pinus und Picea gelegentlich: haselreicher EM- Erlenwald, Hystrichosphärideen.</i>
31,00	Schluff, marines Eem	Eem, Ende Wärmezeit: <i>Alnus, Quercus und Corylus häufig, Tilia, Pinus und Carpinus öfters, Picea gelegentlich: haselreicher Erlen-EMW, Hystrichosphärideen.</i>
32,00	Schluff, marines Eem	Eem, Mitte Wärmezeit: <i>Corylus überwiegend, daneben Quercus, Tilia und Alnus häufig, Carpinus und Picea vereinzelt: haselreicher EMW, Hystrichosphärideen.</i>
34,00	Schluff, marines Eem	Eem, Mitte Wärmezeit: <i>überwiegend Quercus und Corylus häufig, übrige Laub- und Nadelhölzer gelegentlich bis vereinzelt: haselreicher EMW, Hystrichosphärideen.</i>
35,00	Schluff, marines Eem	Eem, Anfang Wärmezeit: <i>überwiegend Corylus, daneben Quercus und Alnus häufig, Ulmus, Tilia, Pinus und Picea gelegentlich: haselreicher EMW, Hystrichosphärideen.</i>
35,66	Ton/Schluff, Übergang zum marin. Eem	Eem, Übergang zur Wärmezeit: <i>überwiegend Pinus und Quercus, Ulmus und Betula häufig, Alnus gelegentlich, Corylus selten: haselarmer EMW, Hystrichosphärideen</i>
35,84	Tongyttja, Übergang zum marin. Eem	Eem, Anfang Wärmezeit: <i>überwiegend Corylus, Pinus und Quercus häufig, Alnus und andere EMW-Glieder seltener: haselreicher EMW-Kiefernwald, Hystrichosphärideen</i>

**Teufe sedimentol. Ansprache pollenanalyt. Ergebnis  
(m) und Stratigraphie**

- 36,16 Kalkmudde, limnisches Eem Eem, Vorwärmezeit:  
*Betula herrschend, Pinus häufig, einzelne Kräuter:  
Birkenwald.*
- 36,18 Torf, limnisches Eem Spätsaale/Frühe Vorwärmezeit:  
*Farntorf (Thelypteris), überwiegend Betula, daneben  
Pinus, wärmeliebende Laubgehölze fehlen, Gramineen  
und Kräuter häufig: lückenhafter Birkenwald.*

Die pollenfloristische Entwicklung von der Vorwärmezeit bis zur Späten Wärmezeit scheint ungestört zu verlaufen, nur bei den Proben 35,66 m und 35,84 m, also innerhalb der Schicht „Übergang zum marinen Eem“ liegt evt. eine Inversion vor, da Probe 35,84 m überwiegend *Corylus* und *Quercus* und auch *Hystriosphären* enthält, die darüber liegende Probe 35,66 m jedoch außer überwiegender *Quercus* kaum wärmeliebende Taxa, insbesondere keine *Corylus* und auch keine *Hystriosphären* erkennen läßt.

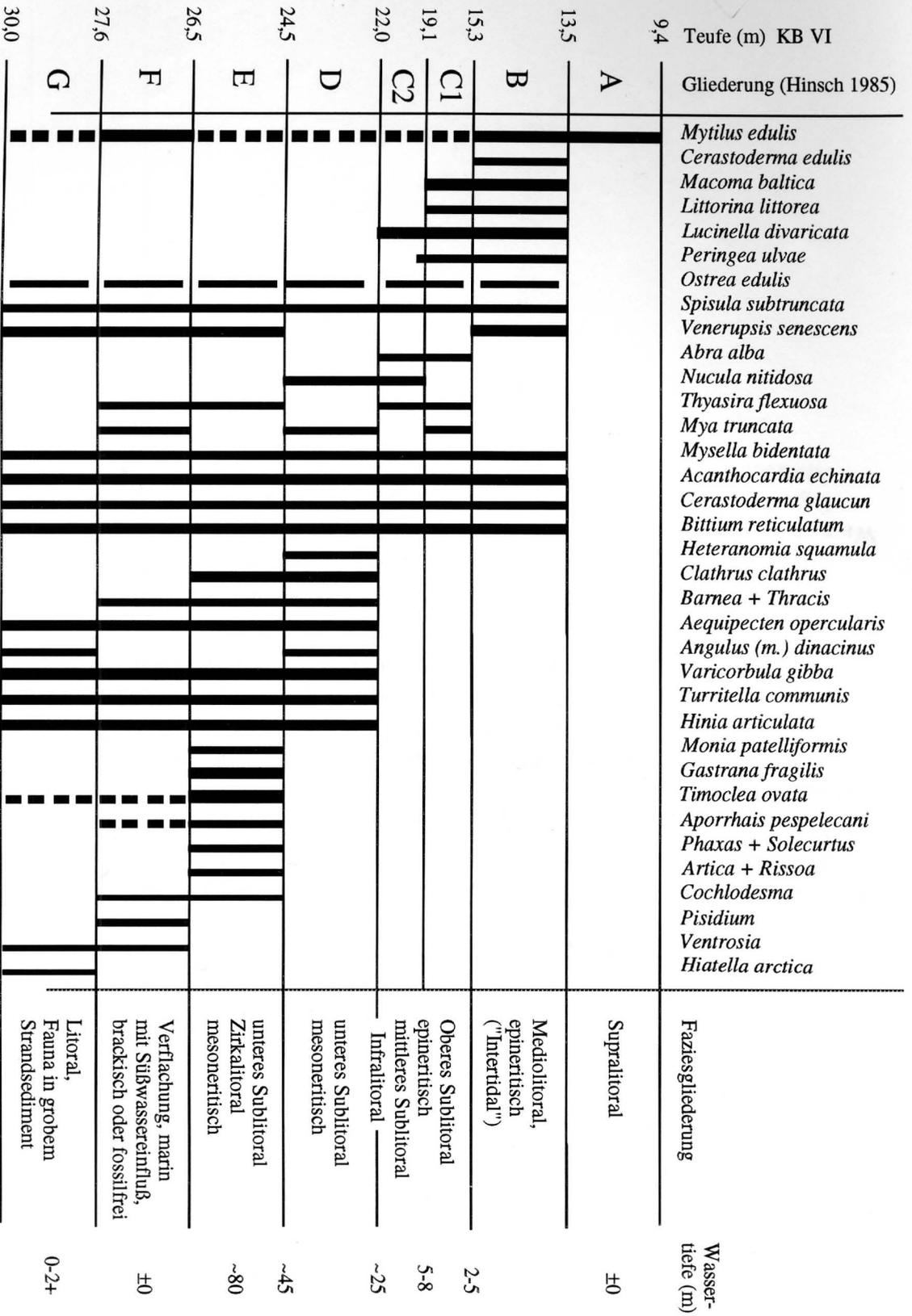


Abb. D1: Makrofauna und Faziesgliederung, Dr. W. Hinsch, LANU Schleswig-Holstein

**Liste der Veröffentlichungen, Abstracts (Vorträge) und Poster-Präsentationen**

- Winn, K.; Erlenkeuser, H.; Hinsch, W.; Temmler, H. (1994): The Eem Seas in Schleswig-Holstein, North Germany - preliminary  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  data from benthic foraminifera.- IUGG Symposium on changes of coastal zones, Polish Coast '94, Gdynia, Poland, Abstracts, 60-61 (Vortrag).
- Temmler, H. (1995): Neue Ergebnisse zum Aufbau des Eem-Interglazials in Nordfriesland.- *Meyniana*, **47**:83-100.
- Reich, M. (1995): Holothurienreste (Echinodermata) aus dem Eemium der Kernbohrung DA-1 bei Dagebüll (Pleistozän, NW-Deutschland).- *Meyniana*, **49**:139-149.
- Winn, K. & Erlenkeuser, H. (1995): Das Eem Meer in Norddeutschland: Die Kernbohrungen bei Dagebüll - Erstergebnisse.- *Meyniana*, **47**:101-113.
- Winn, K.; Erlenkeuser, H.; Temmler, H. (1995): Das Eem Meer im Nordfriesland: Signifikanz der Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopensignale.- *Nachrichten DGG, Geologie des südlichen Ostseeraumes, Umwelt und Untergrund, Greifswald*, **54**:181-182 (Vortrag).
- Winn, K.; Erlenkeuser, H.; Temmler, H. (1995): Das Eem-Meer in Norddeutschland: Die Kernbohrungen bei Dagebüll - Erstergebnisse.- Tag der Meeresforschung, Kieler Woche (Poster).
- Frenzel, P.; Reich, M.; Winn, K. (1997): An Eemian marine microfauna from the Dagebüll well (Pleistocene, northwestern Germany.- 2nd European Palaeontological Congress, Wien, Climates Past, Present and Future, Abstracts, 28 (Vortrag).
- Frenzel, P.; Reich, M.; Winn, K. (1997): An Eemian marine microfauna from the Dagebüll well (Pleistocene, northwestern Germany.- 13th International Symposium on Ostracoda, ISO 97, Greenwich (Poster).
- Lomitschka, M.; Frank, N.; Mangini, A. (1997): Untersuchungen zur Th/U-Datierung eemzeitlicher Muscheln aus Schleswig-Holstein.- *Meyniana*, **49**:85-102.
- Winn, K.; Erlenkeuser, H. (1998): Das Eem-Meer im Norddeutschland: Das isotopische Signal.- 65. Tagung Arbeitsgemeinschaft NW-Deutscher Geologen, Schleswig, Abstracts (Vortrag).