

Die Rekonstruktion von Sedimentationsgeschichte und Paläomilieu des Oderhaffs unter Anwendung geochemischer Methoden

ANNE MÜLLER*

MÜLLER, A. (1997): Die Rekonstruktion von Sedimentationsgeschichte und Paläomilieu des Oderhaffs unter Anwendung geochemischer Methoden. [The Oder Estuary (Oderhaff): Sedimentation history and paleoenvironments based on geochemical investigations.] – Z. dt. geol. Ges., **148**: 271–278; Stuttgart.

Kurzfassung: Im vorliegenden Artikel werden Sedimentationsgeschichte und Paläomilieu des Oderhaffs anhand von vier untersuchten Sedimentkernen diskutiert. Die untersuchten Sedimentkerne erfassen Zeiträume zwischen dem Alleröd und der Gegenwart. Die geringen C_{org}/S -Verhältnisse lassen einen zusätzlichen Eintrag von gelöstem Sulfat in das Sediment vermuten. Im Großen Haff kam es im Älteren und in der ersten Hälfte des Jüngeren Atlantikums (von etwa 7800–5500 BP) zu relativ hohen C_{org}/S -Verhältnissen, die Süßwasserbedingungen indizieren. In dieser Seephase lag eine erhöhte biologische Produktivität in den Gewässern vor. Die C_{org}/N -Verhältnisse zeigen in diesem Stadium recht hohe Werte > 12 . Gegen Ende des limnischen Stadiums ist im Großen Haff ein erster Eutrophierungsschub erkennbar, der sich in den C_{org}/N -Verhältnissen und in den $\delta^{13}C$ -Werten widerspiegelt. Es ist möglich, daß im Kleinen Haff um etwa 800 u.Z. ein wahrscheinlich eutrophierungsbedingter Wechsel von einem makrophyten- zu einem phytoplanktondominierten Gewässer erfolgte. Für das gesamte Oderhaff kann insbesondere mit Hilfe der stabilen Kohlenstoffverhältnisse ($\delta^{13}C$) ein deutliches terrestrisches Signal in den Sedimenten nachgewiesen werden, was auf den direkten Einfluß der Oder in das Gewässer zurückgeführt werden kann.

*Anschrift der Autorin: Dipl.-Reg.wiss., M.Sc. (Geol.) ANNE MÜLLER, FB Geowissenschaften, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Gegenwärtige Anschrift: Australian National University, Department of Geology, Canberra, ACT 0200, Australia.

Abstract: Sedimentation history and paleoenvironment of the Oderhaff (meaning the lagoonal estuary of the Oder River) are discussed using the results from geochemical investigations on four sediment cores. These cores cover the time period from the Alleröd to the present. The low C_{org}/S ratios of the sediments suggest an additional input of dissolved sulfate into the sediments. High C_{org}/S ratios of the sediments were found in the eastern part of the Oderhaff between 7800 and 5500 BP and are considered to reflect fresh water conditions. There was an increased biological productivity in the Oderhaff during this lacustrine period. The C_{org}/N ratios show a broad range with mostly high values > 12 at this time. At the end of the lacustrine phase, the first signs of eutrophication are noticed in the eastern part of the estuary. In the western basin there was possibly a change from macrophytes to phytoplankton being dominant in the water body at approximately 1200 BP. For the Oderhaff, it can be inferred from stable carbon isotopes ($\delta^{13}C$) of the organic matter that there is a terrestrial signal in the sediments from the Oder River input.

Keywords: Cores, Upper Pleistocene, Holocene, estuarine sedimentation, sediments, organic carbon, sulfate, nitrate, opal, productivity, paleosalinity, lacustrine environment, eutrophication, stable isotope, $C13$, phytoplankton, terrigenous material.

Northeastern German Plain (Kleines Oderhaff), Mecklenburg-Western Pomerania, Northwestern Polish Plain (Großes Oderhaff), Poland.

Das Oderhaff (Stettiner Haff bzw. Großes und Kleines Haff, Abb. 1) gehört mit seinen Nebengewässern zum Küstengebiet der Pommerschen Bucht. Es bildet den ca. 1000 km² großen ästuarin-lagunären Mündungsraum der Oder, die mit einem mittleren Abfluß von 550 m³/s ein

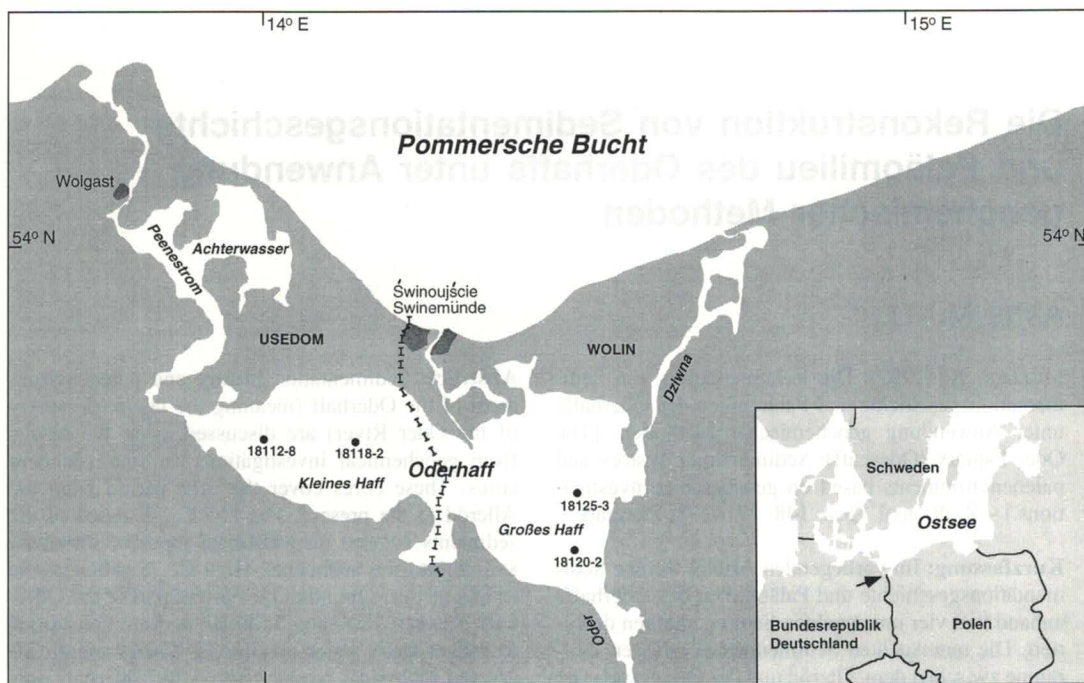


Abb. 1: Darstellung des Untersuchungsgebietes Oderhaff mit Beprobungspunkten.

Fig. 1: Study area of the Oderhaff and sampling locations.

120000 km² großes Einzugsgebiet entwässert. Morphologisch wird das Haff zur Ostsee hin durch glazigene Inselkerne abgegrenzt, die durch holozäne Nehrungen miteinander verbunden sind (KLIEWE & JANKE 1991). Der Wasser- und Schwebstoffaustausch mit der Ostsee erfolgt vorzugsweise über die Swina und in deutlich geringerem Maße über den Peenestrom und die Dziwna (CORRENS 1972).

Zur Rekonstruktion der Sedimentationsgeschichte wurden vier Sedimentkerne untersucht (Abb. 1), die Zeiträume zwischen dem Alleröd und der Gegenwart (Großes Haff, Kern 18120: 53° 42,5 N, 14° 30,0 E), zwischen dem Jüngeren Boreal und der Gegenwart (Kleines Haff, Kern 18118: 53° 49,2 N, 14° 08,8 E) und zwischen dem Alleröd und dem beginnenden Subboreal (Kleines Haff, Kern 18112: 53° 49,2 N, 14° 00,0 E) erfassen. Bei Kern 18112 gingen die oberen 2 Sedimentmeter bei der Probennahme verloren. Für den Sedimentkern 18125 aus dem zentralen Teil des Großen Haffs (53° 45,8 N, 14° 30,1 E) erfolgte keine Altersbestimmung.

Ein Vergleich der Kerne 18112, 18118, 18120 und 18125 ergibt außer Gemeinsamkeiten in ihrer Entwicklung auch einige, insbesondere die prälitorinazeitlichen Abschnitte betreffende Besonderheiten. Im Spätglazial bestanden im Großen und teilweise auch im Kleinen Haff Seen mit vorwiegend sandiger Sedimentation. In Kern 18120 wurden in einer Tiefe von 3.30–4.20 m (9.00–9.90 m –NN) spätglaziale/frühholozäne Fein- und Mittelsande erbohrt. In Kern 18112 liegt zwischen 2.90 und 3.40 m (8.40–8.90 m –NN) ein nahezu vollständiges Allerödprofil als Feinsand-Torf-Wechselagerung vor, die für einen zu jener Zeit steigenden Wasserspiegel spricht.

Zwischen etwa 8200 und 5500 BP traten im Großen und Kleinen Haff erneut Seestadien auf. Die limnische Phase ist für die Bohrungen 18118, 18120 und 18125 nachgewiesen. Sie reicht in Kern 18120 (Großes Haff) bis weit in das Jüngere Atlantikum hinein. Der See war pflanzen- und humusreich. In Kern 18120 wird das Seenstadium zeitlich etwa am Übergang

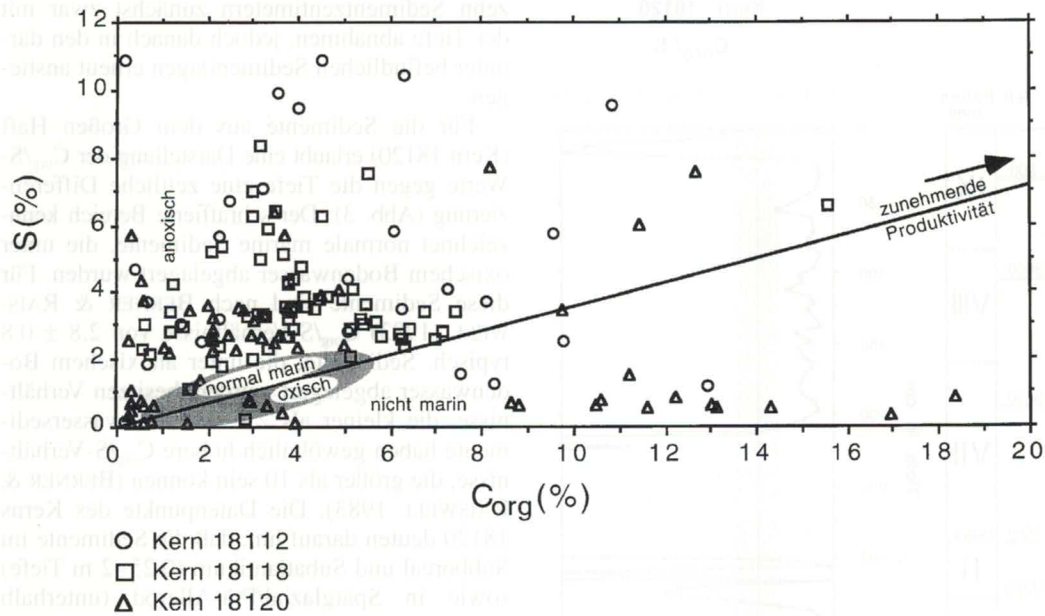


Abb. 2: Darstellung der Gehalte an Schwefel gegen die Gehalte an organischem Kohlenstoff (jeweils in Gewichtsprozent) für die Kerne 18112, 18118 und 18120. Siehe Erläuterungen im Text.

Fig. 2: Plot of sulfur versus organic carbon content (both in weight %) for cores 18112, 18118 and 18120. See text for explanation.

vom Älteren zum Jüngeren Atlantikum durch eine Torflage unterbrochen. Gegen Ende der See-Phase ist im Großen Haff ein erster Eutrophierungsschub erkennbar. Zu diesem Zeitpunkt tritt ein Wechsel zu deutlich höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten bei zunehmenden $\delta^{15}\text{N}$ -Werten auf.

Je nach Tiefenlage setzte im Anschluß an die See-Phase zwischen 7000 und 5000 BP die Litorina-Transgression ein. Spätestens während der Subborealen Regressionsphase schlossen sich die Außenküsten bis auf die Mündungsräume der Flüsse. Durch das sich bis in die Gegenwart fortsetzende Wachstum der Seesandebene bzw. der Nehrung, die sich nördlich des Gewässers befinden, wurde der Kontaktbereich zwischen Meer und Haff weiter eingengt. Die für die heutigen Boddengewässer charakteristische Schlicksedimentation setzte erst nach erfolgter Schließung der Außenküstennehrungen ein (JANKE et al. 1993).

Eine Darstellung der Gehalte an Schwefel gegen organischen Kohlenstoff für die Sedi-

mentkerne 18112, 18118 und 18120 unter Anwendung des empirischen Diagramms von BERNER & RAISWELL (1983) wurde benutzt, um das Paläomilieu des Oderhaffs zu charakterisieren (Abb. 2). Der punktierte Bereich um die Regressionsgerade kennzeichnet normale marine Sedimente mit oxischem Bodenwasser. Die Begriffe „anoxisch“, „normal marin/oxisch“ und „nicht-marin“ dienen dazu, das bodennahe Wasser zur Zeit der Ablagerung zu charakterisieren (EMEIS & MORSE 1993). Das Diagramm vermittelt bis auf wenige Ausnahmen zunächst den Eindruck, daß die untersuchten Sedimente im Kleinen Haff größtenteils unter Sauerstoffmangelbedingungen im bodennahen Wasser abgelagert wurden. Ein Großteil der Sedimente des Großen Haffs zeigt in diesem Zusammenhang ein gleiches Verhalten wie die Sedimente des Kleinen Haffs. Eine solche Aussage ist jedoch nicht mit den hydrographischen Bedingungen eines polymiktischen Flachgewässers zu vereinbaren (LAMPE & MEYER

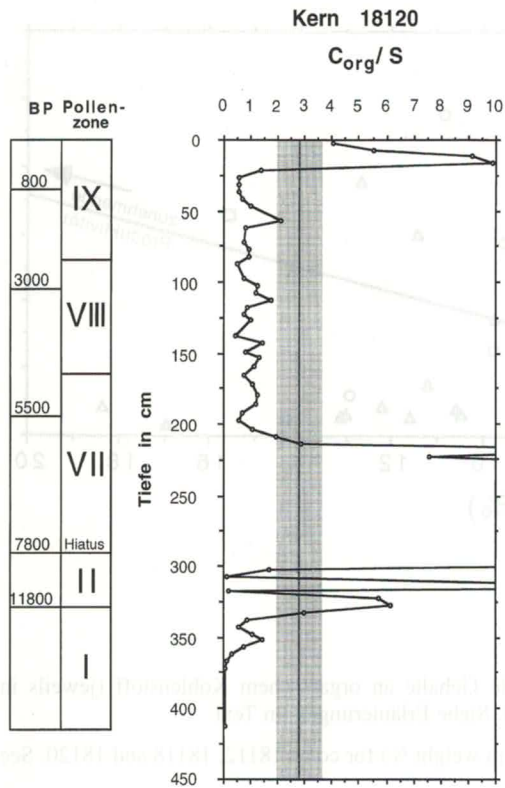


Abb. 3: Darstellung der C_{org}/S -Verhältnisse (von Gewichtsprozenten) gegen die Tiefe für den Sedimentkern 18120 (Großes Haff). Am linken Rand sind eine zeitliche Einordnung in BP und Pollenzonen angegeben. Verhältnisse größer als 10 sind nicht dargestellt. Erklärungen im Text.

Fig. 3: Plot of C_{org}/S ratios (in weight %) versus depth for sediment core 18120 (Großes Haff). Ratios larger than 10 are not shown. On the left margin, years in BP and pollen zones are illustrated. See text for explanation.

1995). Eine mögliche Erklärung wären laterale oder aufwärts gerichtete Einträge von gelöstem Sulfat in das Sediment (z.B. aus dem Grundwasser), wobei die Einbeziehung vollständiger Porenwasserprofile für eine endgültige Interpretation noch erforderlich ist. Gegenwärtig unterstützen aber auch die Ergebnisse von NEUMANN et al. (1997) eine solche Aussage. Diese Autoren zeigten für einen Sedimentkern aus dem Kleinen Haff, daß die Gehalte an gelöstem Sulfat in den Porenwässern in den obersten

zehn Sedimentzentimetern zunächst zwar mit der Tiefe abnehmen, jedoch danach in den darunter befindlichen Sedimentlagen erneut ansteigen.

Für die Sedimente aus dem Großen Haff (Kern 18120) erlaubt eine Darstellung der C_{org}/S -Werte gegen die Tiefe eine zeitliche Differenzierung (Abb. 3): Der schraffierte Bereich kennzeichnet normale marine Sedimente, die unter oxischem Bodenwasser abgelagert wurden. Für diese Sedimente sind nach BERNER & RAISWELL (1983) C_{org}/S -Verhältnisse von 2.8 ± 0.8 typisch. Sedimente, die unter anoxischem Bodenwasser abgelagert wurden, besitzen Verhältnisse, die kleiner als 2.8 sind. Süßwassersedimente haben gewöhnlich höhere C_{org}/S -Verhältnisse, die größer als 10 sein können (BERNER & RAISWELL 1983). Die Datenpunkte des Kerns 18120 deuten darauf hin, daß die Sedimente im Subboreal und Subatlantikum (0.25–2 m Tiefe) sowie in Spätglazial/Prä-Alleröd (unterhalb 3.50 m Tiefe) wahrscheinlich durch zusätzlichen Sulfateintrag beeinflusst sind. Die Sedimente aus dem Älteren und der ersten Hälfte des Jüngeren Atlantikums (zwischen 2 und 3 m Tiefe), d.h. von 7800–5500 BP, haben relativ höhere C_{org}/S -Verhältnisse, die für diesen Zeitabschnitt mit hoher Sicherheit das Vorherrschen von Süßwasserbedingungen und oxischem Bodenwasser anzeigen. Das wird durch die Sedimentart, eine Mudde, bestätigt.

Im Oderhaff ergaben die Verhältnisse von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff Medianwerte von 16.0 und 13.4 (Kleines Haff: Kerne 18112 und 18118) bzw. 12.3 und 11.7 (Großes Haff: Kerne 18120 und 18125). Bei sedimentologischen Arbeiten im ozeanischen Bereich hat man sich des C/N-Verhältnisses zur Unterscheidung organischer Substanz mariner bzw. terrestrischer Herkunft bedient (z.B. MÜLLER 1977, HEBBELN 1991). So gehen BORDOVSKIY (1965) von einem C/N-Ratio von < 8 in mariner und PRAHL et al. (1980) von > 12 in terrestrischer organischer Substanz aus. Das würde bedeuten, daß der überwiegende Teil der organischen Substanz in den untersuchten Kernen terrestrischer Herkunft ist. Andererseits darf nicht übersehen werden, daß in den Bodden und Häfen je nach Eutrophierungsstatus sowohl submerse Makrophyten mit relativ weitem als auch Phytoplankton mit engem C/N-Verhältnis an der Primärproduktion beteiligt sein können. Für

Makrophyten in den Boddengewässern geben CONRAD et al. (1995) ein mittleres C/N-Verhältnis von 13,6 an. Für die Bodden und Haffe kann darüberhinaus angenommen werden, daß emerse Makrophyten, die das Ufer besiedeln, erheblich zum Eintrag organischer Substanz in das Sediment beitragen. Auch Erosionsprozesse von Torf und Böden können für die Bodden und Haffe eine nicht unerhebliche Rolle spielen.

Bei Kern 18118 aus dem Kleinen Haff fällt auf, daß die C/N-Verhältnisse in den oberen 70 cm im Vergleich zu den tieferen Kernabschnitten relativ niedrige Werte zeigen. In nahezu dem gleichen Tiefenabschnitt ist dieser Trend der C/N-Werte auch im Kern 18125 aus dem Großen Haff zu erkennen. Es ist möglich, daß dieser Wechsel Ausdruck einer zunehmenden Eutrophierung und einer höheren Primärproduktion des Phytoplanktons auf Kosten der Makrophyten ist. Für den Greifswalder Bodden und die Darß-Zingster-Gewässer ist der eutrophierungsbedingte Wechsel von makrophyten- zu phytoplanktondominierten Gewässern gut belegt (MESSNER & VON OERTZEN 1991, SCHIEWER 1994). Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um diese Hypothese zu belegen, vor allem was den Zeitpunkt des Übergangs betrifft, der für das Kleine Haff hier etwa auf das Jahr 800 u.Z. datiert wird, während sich die Veränderungen in den anderen Gewässern erst in diesem Jahrhundert ereignet haben. Insbesondere die Rolle der Oder und ihres Einzugsgebietes wäre dabei zu berücksichtigen.

Neben den C/N-Verhältnissen sind auch die stabilen Isotopenverhältnisse organischer Substanz (insbesondere $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, d.h. $\delta^{13}\text{C}$) angewandt worden, um die Herkunftsquellen des in das Sediment eingelagerten organischen Materials zu bestimmen und um so Informationen zu den Sedimentationsvorgängen abzuleiten (z.B. THORNTON & MCMANUS 1994). In gemäßigten Breiten werden $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -25‰ bis -30‰ für den überwiegenden Teil (d.h. von C3-Pflanzen herstammend) der terrigenen organischen Substanz angegeben (FONTUGNE & JOANNEAU 1987, EMERSON & HEDGES 1988). Im marinen Milieu variieren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -19‰ und -22‰ in Abhängigkeit vom hydrologischen Regime (FONTUGNE & JOANNEAU 1987). Für Süßwasserplankton wird davon ausgegangen, daß dieses niedrigere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte hat als marines Plankton, wobei GALIMOV

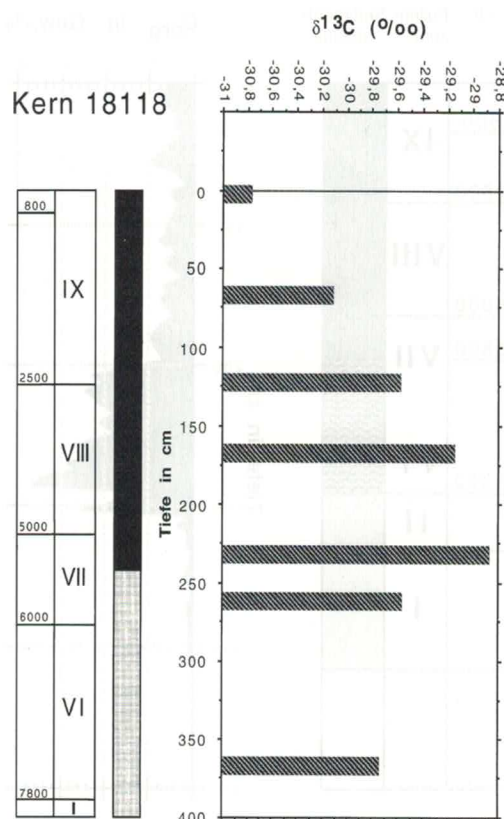


Abb. 4: Darstellung der stabilen Kohlenstoffisotopenverhältnisse ($\delta^{13}\text{C}$) für Proben aus dem Sedimentkern 18118 aus dem Kleinen Haff. Am linken Rand sind die Sedimentabfolge sowie eine zeitliche Einordnung mit Jahren BP und Pollenzonen angegeben. Der obere dunkel gezeigte Teil der Sedimentabfolge stellt Schlicke dar, der untere heller markierte Teil repräsentiert Mittelsande.

Fig. 4: Stable isotope ratios of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}$) for samples from core 18118 (Kleines Haff). On the left margin, years in BP and pollen zones are shown. The next column denotes sediment types, the upper darker unit represents mud, the lower lighter unit represents sand.

(1985) einen Schwankungsbereich von -20‰ bis -30‰ angibt.

Kern 18118 zeigt recht niedrige Kohlenstoffisotopenverhältnisse (Abb. 4). In den Mittelsanden aus dem Älteren Atlantikum liegt mit -29.8‰ ein Wert vor, der auf den Eintrag von C3-Pflanzen zurückgehen muß. Das erscheint für das Sediment eines Seebeckens plausibel,

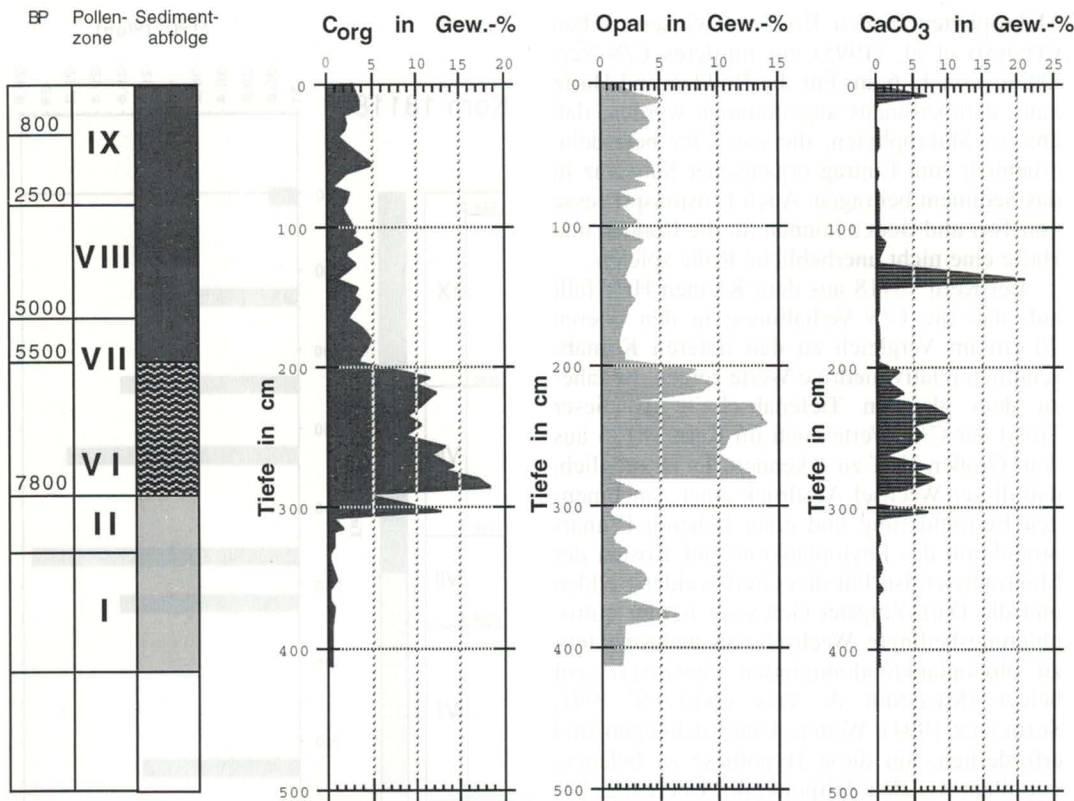


Abb. 5: Vergleichende Darstellung der Gehalte an organischem Kohlenstoff, biogenem Opal und Kalziumkarbonat (jeweils in Gewichtsprozent) gegen die Tiefe für den Kern 18120 aus dem Großen Haff. Es liegen relativ hohe Werte für alle drei Parameter im Tiefenbereich zwischen 2 m und 3 m (Älteres und Jüngeres Atlantikum) vor. Am linken Rand sind die Sedimentabfolge sowie eine zeitliche Einordnung mit Jahren BP und Pollenzonen angegeben. In der Sedimentabfolge werden von oben nach unten Schlicke (dunkel), Mudde (gemustert) und Feinsand (hell) gezeigt.

Fig. 5: Comparison of organic carbon, biogenic opal and calcium carbonate contents (all in weight %) versus depth for core 18120 (Großes Haff). Relatively high values for all three parameters occur in the sediment depth interval between 200 and 300 cm (Older and Younger Atlantic). The left column shows years in BP, pollen zones and the sediment sequence. The sediment sequence shows, from the top, mud (dark), organic rich lacustrine mud (wavy) and fine sand (light).

denn im Gewässer selbst erfolgte zu diesem Zeitpunkt offensichtlich noch keine autochthone Produktion. Die einfließende Sediment- und Wassermenge muß so groß gewesen sein, daß sich Lebewesen im Gewässer selbst nicht halten konnten, d.h. Strömungsgeschwindigkeit und Sedimentationsgeschwindigkeit waren zu hoch. Die für die heutigen Boddengewässer typischen Organismen benötigen jedoch für ihre Ausbreitung und Entwicklung ruhige Gewäs-

serbedingungen (JANKE, pers. Mitt.). Plankton konnte offensichtlich kaum bestehen. Möglicherweise handelt es sich bei den Sedimenten um eine ufernahe Seefazies.

Die Mittelsande des Jüngeren Atlantikums haben einen Wert gleicher Größenordnung (-29.6%). Das relativ höchste Kohlenstoffisotopenverhältnis in diesem Sedimentkern findet sich in den Schlickern aus der zweiten Hälfte des Jüngeren Atlantikums (-28.9%). Es ist

denkbar, daß hier in diesem Gewässer die Produktivität am höchsten war, wie es auch für das Große Haff um diese Zeit beobachtet werden konnte, so daß der Isotopenwert durch Einträge von Plankton und submersen Makrophyten in das Sediment schwerer wurde.

Von der Mitte des Subboreals an (wobei für die erste Hälfte des Subboreals kein Wert vorliegt) nehmen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zur Gegenwart hin ab: Während die Schlicke im Subboreal noch ein Verhältnis von -29.2‰ haben, so liegt dieses zu Beginn des Subatlantikums bei -29.6‰ , um 1400 BP bei -30.1‰ und um 600 BP bei -30.8‰ . Diese Werte sind typisch für einen deutlichen Einfluß von Land.

Eine andere bzw. zusätzliche mögliche Erklärung wäre auch, daß wenn Plankton – abgeleitet von den C/N-Verhältnissen – gegenüber den submersen Makrophyten relativ an Bedeutung gewinnt, die Werte negativer werden aufgrund relativ niedrigerer $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse des Planktons im Vergleich zu den submersen Makrophyten. Diese Hypothese kann jedoch an dieser Stelle noch nicht eindeutig belegt werden, da umfangreiche Studien zu den Kohlenstoffisotopenverhältnissen der submersen Makrophyten in den Bodden und Haffen, die Auskunft über räumliche und zeitliche Variabilität der $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnisse geben könnten, zur Zeit noch ausstehen. Es sei lediglich auf die Beobachtung anderer Autoren verwiesen (z.B. OSMOND et al. 1981), daß verschiedene aquatische Makrophyten sehr hohe Isotopenwerte zeigen können. Allgemein läßt sich jedoch aussagen, daß die Einträge von Land in den Sedimenten des Kleinen Haffs die $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse bestimmen. Offensichtlich waren terrigene Einträge hier immer von Bedeutung.

Im Großen Haff (Kern 18120) erreichen die $\delta^{13}\text{C}$ -Daten allgemein höhere Werte als im Kleinen Haff. Das ist überraschend, da man sich durch den direkten Einfluß der Oder in das Große Haff zumindest in den Oberflächensedimenten ein deutlicheres Signal von Land erwartet hätte als im Kleinen Haff. Allerdings sind die Isotopenverhältnisse im Großen Haff ebenso wie im Kleinen Haff eindeutig durch einen terrigenen Beitrag bestimmt.

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff, biogenem Opal und Kalziumkarbonat deuten darauf hin, daß für das Seebecken des Großen Haffs eine höhere Bioproduktivität vorlag als

für das Becken des Kleinen Haffs. Diese Aussage stimmt mit den aus den Diatomeenuntersuchungen abgeleiteten Schlußfolgerungen in MÜLLER et al. (1996) überein. Auch ist im Kleinen Haff kein Zusammenhang zwischen den Gehalten an organischem Kohlenstoff, biogenem Opal und Kalziumkarbonat zu erkennen. Im Großen Haff dagegen zeigen sich relativ hohe Werte für alle drei Parameter im Älteren und in der ersten Hälfte des Jüngeren Atlantikums, d.h. in dem Zeitraum, in dem die o.g. Süßwasserbedingungen bestanden (Abb. 5). In diesem Zeitabschnitt kam es im Großen Haff offensichtlich zu einer relativ höheren biologischen Produktion kalkschaliger Organismen. Diese erhöhte Produktivität fällt zeitlich zusammen mit dem im Atlantikum einsetzenden Klimaumschwung (um spätestens 8000 BP beginnend) mit seiner starken sommerlichen Erwärmung.

Der in diesem Abschnitt erhöhte CaCO_3 -Gehalt kann auch durch biogene Kalkfällung bedingt sein, die ebenfalls die Folge erhöhter Produktivität, allerdings nicht kalkschaliger Organismen, ist. Characeen-Oogonien als einer der Indikatoren für letztere konnten jedoch bisher nicht nachgewiesen werden.

Danksagung

Für zahlreiche Diskussionen im Verlauf dieser Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr. W. JANKE und Herrn Prof. Dr. R. LAMPE. Herrn Prof. Dr. W. JANKE bin ich zudem für die Durchführung der Pollenanalyse zu Dank verpflichtet. Frau Dr. M. VOSS danke ich für die Durchführung der Isotopenanalysen.

Schriftenverzeichnis

- BERNER, R.A. & RAISWELL, R. (1983): Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 855–862; Oxford.
- BORDOVSKIY, O.K. (1965): Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments. – *Marine Geology*, **2**: 3–114; Amsterdam.
- CONRAD, K., BARTELS, S., EIDAM, J., JÖNSSON, N., KLÜBER, U., LUTHER, T., MEYER, H., MISKE, V., SUCHAU, A., VIETINGHOFF, U. & WINTER, M. (1995): Erfassung des Bewuchses des Greifswalder Boddens mit submersen Makrophyten und der Akkumulation von C, N, P, S, Mg und Spurenele-

- menten durch *Potamogeton pectinatus* und andere Arten. – GOAP 2. Statusseminar: 35–35; Greifswald.
- CORRENS, M., (1972): Beiträge zur Hydrographie des Kleinen Haffs und des Peenestroms. – Diss. Humboldt-Universität Berlin, 239 S.; Berlin. – [Unveröff.].
- EMEIS, K.-C. & MORSE, J.W. (1993): Zur Systematik der Kohlenstoff-Schwefel-Eisen-Verhältnisse in Auftriebssedimenten. – Geol. Rdsch., **82**: 604–618; Stuttgart.
- EMERSON, S. & HEDGES, J.I. (1988): Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. – *Paleoceanography*, **3**: 621–634; Cambridge, Mass.
- FONTUGNE, M.R. & JOANNEAU, J.M. (1987): Modulation of the particulate organic carbon flux to the ocean by a macrotidal estuary – evidence from measurements of carbon isotopes in organic matter from the Gironde system. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **24**, 3: 377–387; London.
- GALIMOV, E.M. (1985): The Biological Fractionation of Isotopes. – 261 S.; Orlando (Academic Press).
- HEBBELN, D. (1991): Spätquartäre Stratigraphie und Paläozooanographie in der Fram-Straße. – Ber. FB Geowiss. Universität Bremen, **22**: 174; Bremen.
- JANKE, W., KLIWE, H. & STERR, H. (1993): Holozäne Genese der Boddenküste Mecklenburg-Vorpommerns und deren künftige klimabedingte Entwicklung. In: SCHELLNHUBER, H.-J. & STERR, H. (Hrsg.): Klimaänderung und Küste: 137–152; Berlin-Heidelberg.
- KLIWE, H. & JANKE, W. (1991): Holozäner Küstenausgleich im südlichen Ostseegebiet bei besonderer Berücksichtigung der Boddenausgleichsküste Vorpommerns. – *Petermanns Geogr. Mitt.*, **1**: 1–14; Gotha.
- LAMPE, R. & MEYER, H. (1995): Räumliche und zeitliche Muster der Verteilung von Wasserinhaltsstoffen im Westteil des Oder-Ästuars. – *Wasser und Boden*, **47**, 9: 14–19; Hamburg.
- MESSNER, U. & VON OERTZEN, J.A. (1991): Long-term changes in the vertical distribution of macrophytobenthic communities in the Greifswalder Bodden. – *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, **21**: 135–143; Szczecin.
- MÜLLER, A., JANKE, W. & LAMPE, R. (1996): Zur Sedimentationsgeschichte des Oderhaffs. – *Bodden*, **3**: 167–172; Kloster/Hiddensee.
- MÜLLER, P.J. (1977): C/N ratios in Pacific deep sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds adsorbed to clays. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **41**: 765–776; Oxford.
- NEUMANN, T., LEIPE, T. & SHIMMIELD, G. (1997): Heavy-metal enrichment in surficial sediments in the Oder River discharge area: source or sink for heavy metals. – *Applied Geochemistry*; Oxford. – [Im Druck]
- OSMOND, C.B., VALAANE, N., HASLAM, S.M., UOTILA, P. & ROKSANDIC, Z. (1981): Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ values in leaves of aquatic macrophytes from different habitats in Britain and Finland; some implications for photosynthetic processes in aquatic plants. – *Oecologia*, **50**: 117–124; Berlin.
- PRÄHL, F.G., BENNETT, J.T. & CARPENTER, R. (1980): The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 1967–1976; London.
- SCHIEWER, U. (1994): Stoffkreisläufe in der Darß-Zingster-Boddenkette: Kohlenstoffkreislauf. – *Rostocker Meeresbiologische Beiträge*, **2**: 121–138; Rostock.
- THORNTON, S.F. & MCMANUS, J. (1994): Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: Evidence from the Tay Estuary, Scotland. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **38**: 219–233; London.

Manuskript eingegangen: 15.1.1997

Nachträge: April 1997

Annahme zum Druck: 1.5.1997