

**VARIABILITY OF PALEOPRODUCTIVITY, PALEO-
TEMPERATURE AND TERRESTRIAL ORGANIC MATTER
SUPPLY IN THE MID-PLEISTOCENE SOUTHERN
SOUTH ATLANTIC: IMPLICATIONS FROM BIOMARKER
RECORDS (ODP-LEG 177)**

**Detaillierte Biomarkeruntersuchungen an
Sedimentkernen von ODP-Leg 177**

Petra Weller

Petra Weller

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Columbusstraße
Haus D
D-27515 Bremerhaven
Germany
pweller@awi-bremerhaven.de

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer Dissertation, die im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen eingereicht wurde.

Bremerhaven, Juli 2006

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Summary	V
Abkürzungen	VII
Abkürzungsverzeichnis der Biomarker	IX
1 Einleitung und Fragestellung	1
1.1 Hydrographie, Meereisverteilung und Primärproduktion im Südatlantik	5
1.2 Biomarker mariner Sedimente als Klimaindikatoren	8
2 Durchgeführte Arbeiten	14
2.1 Probenauswahl	14
2.2 Laborarbeiten	15
2.2.1 TOC-Gehalte	15
2.2.2 Rock-Eval-Pyrolyse	15
2.3 Kontaminationen bei der Biomarkeranalyse	16
2.4 Probenaufbereitung für Biomarker (Site1089 und Site 1093)	23
2.4.1 Herstellung der Gesamtextrakte	24
2.4.2 Säulenchromatographische Trennung	25
2.4.3 Veresterung und Trimethylsilylierung	25
2.5 Qualitative und quantitative Biomarker-Analyse	26
2.5.1 Gaschromatographische (GC) Analytik	26
2.5.2 Gaschromatographisch-massenspektrometrische (GC/MS) Analytik	27
2.5.3 Identifizierung und Quantifizierung der Biomarker	27
2.6 Biomarker und Paläooberflächentemperaturen	30
2.7 Akkumulationsraten und Paläoproduktivität	31
2.8 Statistische Auswertung	32
3 Ergebnisse	36
3.1 Geochemische Basisparameter	36
3.2 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen	39
3.2.1 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (Site 1089)	40
3.2.2 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (PS56/056-4)	45
3.2.3 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (Site 1093)	47
3.3 Paläooberflächenwassertemperaturen (Site 1089)	50
3.4 Statistische Auswertung und kurzfristige Variabilitäten	51

4	Diskussion	54
4.1	Klimarelevante Biomarker und ihre Haupteintragsquellen in den Sites 1089 und 1093.....	54
4.2	Primärproduzenten und Paläoproduktivität.....	62
4.3	Eintrag von terrigener organischer Substanz.....	73
4.4	Paläooberflächentemperaturen und Variabilität (Site 1089)	81
5	Schlussfolgerung, Zusammenfassung und Ausblick	92
6	Literatur	97
7	Anhang	112

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Ruediger Stein für die Überlassung dieser interessanten und anspruchsvollen Themenstellung bedanken. Sein in mich gesetztes Vertrauen und die darüber hinaus überlassene Freiheit, die von ihm immer wieder in die richtige Bahn gelenkt wurde, wenn man ihn brauchte, machten ihn für mich zu einem „wirklichen Doktorvater“.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. Fütterer aussprechen. Danke dafür, dass Sie mir die Möglichkeit zur Promotion gegeben haben. Der Weg war das Ziel. Danke, dass ich ihn gehen durfte und somit die „Lücke in meinem Lebenslauf“ schließen konnte.

Dr. Bernhard Diekmann, Dr. Gerhard Kuhn und Dr. Martina Kunz-Pirung danke ich darüber hinaus für die Überlassung der Altersstratigraphiedaten und für die Bereitstellung diverser anderer geologischer Daten.

Ein ganz besonderer Dank geht an Dr. Jens Hefter, der es immer wieder verstand, all die kleinen Feuer zu löschen, die es zu löschen gab. Danke für Deine unermüdliche Diskussionsbereitschaft, die es mir ermöglichte, von Deinem Ideenreichtum zu profitieren.

Walter Luttmer danke ich für den technischen Support und für jeden ausgetragenen „Streit“, der Früchte trug. Du bist mir im Laufe dieser Arbeit zu einem wahren Freund geworden und dafür danke ich Dir.

An dieser Stelle möchte ich mich bei „meinem ehemaligen Lehrmeister“ Herrn Dr. Kurt Weber bedanken. Danke für die „harte Schule“, die das Auge zur Kritikfähigkeit schärfte, und für all die Fertigkeiten und Kenntnisse, die mich durch mein bisheriges Berufsleben begleitet und erheblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein ganz herzlicher Dank geht an Dr. Sabine Hanisch. Danke für die Durchsicht des Manuskriptes und für die freundschaftliche Unterstützung während der „heißen Endphase“. Engel kann man nicht kaufen, aber man kann ihnen begegnen. „Schön, dass es Dich gibt.“

Dr. Kirsten Fahl und Ilse Stölting danke ich für ihre über Jahre währende Freundschaft. Danke, für alles.

Ich danke Beeke von Seegern, Beate Hollmann, Dr. Daniel Birgel, Dr. Christoph Kierdorf und dem Rest der „Containergemeinschaft“. Sie haben alle auf dem einen oder anderem Weg zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Danke dafür, dass die „Chemie“ in dieser wundervollen Arbeitsgruppe stimmte.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Dr. Dieter Gerdes. Ich danke Dir für den „entscheidenden Tritt“ im richtigen Moment und dafür, dass Du mir vor 20 Jahren die „Geheimnisse“ der Meeresforschung gezeigt hast. Sie haben mich nie wieder losgelassen.

Dr. Frank Niessen danke ich sehr für „die Parole“. Danke, Du weißt wofür.

Leben ist wie das Lieben nur ohne ein kleines "i". Meinem kleinen und meinem großen Mann danke ich für ihre unermessliche Güte und für ihre Geduld, die mit gerade mal sieben Jahren sehr schwer zu tragen war. Marek, du hast mich immer wieder auf die wesentlichen Dinge des Lebens zurückgeworfen und dafür danke ich Dir.

Nicht zuletzt möchte ich meinen lieben Eltern danken, ohne deren liebevolle Kinderbetreuung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Danke, dass Marek bei Euch eine ebenso schöne Kindheit genießen durfte, wie sie uns in all den Jahren zuteil wurde.

Summary

In order to reconstruct changes in paleo-productivity, paleo-sea-surface temperatures, and terrigenous/marine organic carbon input and their relationship to climate change, specific biomarkers (*n*-alkanes, fatty acids, alkenones, sterols), Rock-Eval pyrolysis data, as well as accumulation rates of organic carbon were determined in sediment samples from ODP Sites 1089 and 1093 (Atlantic sector of the Southern Ocean) for the time interval from Marine Oxygen Isotope Stages (MIS) 12 to 5e (i.e., about 450 to 100 ka).

The results can be summarized as follows:

- In general, the concentrations of the marine proxies brassicasterol and C₃₇-alkenones correlate well with the S₂- and TOC-values. However, a correlation between TOC and specific terrigenous biomarker is not obvious. This indicates that TOC is predominantly of marine origin.
- Furthermore, the results of this study suggest that long-chain fatty acids (*n* = 22 - *n* = 30) in the Site 1089 and Site 1093 region can be attributed to a marine rather than to a terrestrial source.
- Based on the biomarker data, marine organic carbon was significantly enriched during glacial stages. Estimated paleoproductivity reached values of about 50 g C m⁻² y⁻¹ during peak interglacials (e.g., MIS 5e and the lowermost MIS 11), which is close to the modern productivity measured in the area of investigation (Site 1089). During glacial intervals, productivity increased to values of about 120-190 g C m⁻² y⁻¹. These glacial/interglacial changes are explained by a northward shift of the high-productivity zone during glacial.
- Multiple Taper Method (MTM) and Wavelet Analysis (WA) applied to the datasets of organic compounds of Site 1089 reveal cyclicities, which are consistent with frequencies detected in to the paleoclimatic record from the Vostok ice core and the foraminiferal δ¹⁸O record of the reversed SPECMAP stack.
- The results from the applied spectral analyses indicate that paleoproductivity in the subantarctic ocean show eccentricity-, obliquity- and precession-related periodicities. Based on the relationship between paleoproductivity values and the position of the high-productivity zone it is probable that changes on Milankovitch time scale affected not only the variability of marine productivity but also the associated position of the high-productivity zone.
- Spectral analyses of the marine records show significant variations with sub-Milankovitch periodicities between 14 kyr and 2 kyr, partly in agreement with the Vostok ΔT record. According to the results of the WA high-frequency oscillations probably occur over the whole analysed time window.

- The observed variations in alkenone-SST indicate significant oceanographic and climatic changes between 450 and 100 ka. During interglacials, alkenone-SST were about 6°C warmer than during glacials.
- During climate optima (stage 11, 9, 7 and 5), SST exceeded present SST at Site 1089. The highest temperature (23°C) at this site was observed during MIS 5 (at 128 ka). Southern Ocean temperatures during MIS 11 seem not to be warmer than during subsequent interglacials.
- Furthermore, a gradual warming in the Southern Ocean during glacial stages was found. The coldest SST were observed in MIS 12 (12°C at 434 ka) and in the upper MIS 11 (12°C at 375 ka and 389 ka). The paleoproductivity values, which were strongly anticorrelated with the SST record at Site 1089, show a glacial maximum during MIS 12 (190 g C m⁻² y⁻¹) and a glacial minimum during MIS 2 (110 g C m⁻² y⁻¹). This is also in agreement with the estimated accumulation rates of TOC. The increase of the paleoproductivity towards older sediments indicates that the northward displacement of the Antarctic Circumpolar Current (ACC) reached its maximum during MIS 12. The biomarker data support the hypothesis that the gradual warming reflects a weakening impact of cold water from the ACC and an enhanced Agulhas leakage during glacial stages (MIS 12 – MIS 6).
- For MIS 10, a warm SST anomaly could be detected. This SST anomaly might be caused by changes in ocean circulation, as the biomarker data indicate a contemporary northwards displacement of the North Atlantic Deep Water (NADW) and a reduction of the Agulhas leakage current to the Cape Basin during this event. This SST anomaly might be caused by a resumption of the thermohaline circulation, triggered by a switch from lower to higher amplitude in the insolation forcing.

Abkürzungen

AABW	Antarktisches Bodenwasser
AASF-Fraktion	Alkenon-, <i>n</i> -Alkohol-, Sterol- und Fettsäurefraktion
ACC	Antarktischer Zirkumpolarstrom
AAIW	Antarktisches Zwischenwasser
BSTFA	N,O-Bis-(trimethylsilyl)-trifluoracetamid mit 1 % Chlorsilan
CDW	Zirkumpolares Tiefenwasser
C _{org}	organischer Kohlenstoffgehalt
Chol-D ₆	Cholest-5-en-3 β -ol-2,2,3,4,4,6-d ₆ (d ₆ -Cholesterol)
Chol.nat	Cholest-5-en-3 β -ol (Cholesterol)
COI	Einflußkegel
DEP	Wassertiefe in m
D-O-Zyklen	Dansgaard-Oeschger-Zyklen
GC	Gaschromatographie
GISP2	Greenland Ice Sheet Project 2
GRIP	Greenland Ice Core Project
GNADW	Glaziales Nordatlantisches Tiefenwasser
HI	Wasserstoffindex
HPA	Erhaltungsgrad terrigener Wachskomponenten
ISTD	interner Standard
IRD	Ice-rafted detritus / debris
j.vH	Jahre vor Heute
YD	Jüngere Dryas
ka	tausend Jahre
FID	Flammenionisationsdetektor
FS	Fettsäuren
KAS	Kaltaufgabesystem
LSR	lineare Sedimentationsrate
MARs	Massenakkumulationsraten
mcd	meters composite depth
MIS	Marine Isotope Stage
m/my	Meter pro Millionen Jahre
MS	Massenspektrometrie
MTM	Multitaper-Spektralanalyse
m/z	Quotient (Masse/Ladung)
na	nicht auswertbar
NADW	Nordatlantisches Tiefenwasser
NG	Nachweisgrenze
OI	Sauerstoffindex
ODP	Ocean Drilling Program
PF	Polarfront
PO	Porosität
PP	Paläoproduktivität
QZ/FSP	Quarz/Feldspat-Verhältnis
R	Korrelationskoeffizient
SAF	Subantarktische Front
SG-Proben	in Braunglasflaschen gelagerte Proben
SIZ	saisonal eisbedeckte Zone
Sq	Squalan (ISTD)
SST	Oberflächenwassertemperatur
STC	Subtropische Konvergenz

STF	Subtropische Front
ST-Proben	in ODP-Tüten gelagerte Proben
Summe <i>n</i> -Alkane	Summe der <i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁)
Summe FS	Summe der Fettsäuren (<i>n</i> -C _{24:0} , <i>n</i> -C _{25:0} , <i>n</i> -C _{26:0} , <i>n</i> -C _{27:0})
SZ-Proben	in ODP-Tüten gefriergetrocknete Proben
TIC	Totalionenstromchromatogramm
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
TOC-AR	Akkumulationsrate der gesamten organischen Substanz
UCM	Unresolved Complex Mixture
U ^k ₃₇ -Index	Alkenonuntersättigungsindex
WA	Wavelet Analyse
WBD	Nassdichte (Wet Bulk Density)

Abkürzungsverzeichnis der Biomarker

Abkürzung	Systematischer Name	Trivialname (bzw. verkürzter Name)
Alkane		
<i>n</i> -C ₁₇	Heptadecan	
<i>n</i> -C ₁₉	Nonadecan	
<i>n</i> -C ₂₇	Heptacosan	
<i>n</i> -C ₂₉	Nonacosan	
<i>n</i> -C ₃₁	Untriacontan	
Alkenone		
C _{37:3}	Heptatriaconta-8E,15E,22E-trien-2-on	C _{37:3} -Alkenon
C _{37:2}	Heptatriaconta-15E,22E-dien-2-on	C _{37:2} -Alkenon
Alkohole		
<i>n</i> -C _{16:OH}	Hexadecanol	
<i>n</i> -C _{18:OH}	Octadecanol	
<i>n</i> -C _{24:OH}	Tetracosanol	
<i>n</i> -C _{25:OH}	Pentacosanol	
<i>n</i> -C _{26:OH}	Hexacosanol	
<i>n</i> -C _{27:OH}	Heptacosanol	
<i>n</i> -C _{28:OH}	Octacosanol	
Fettsäuren		
<i>n</i> -C _{16:0}	Hexadecansäure	Palmitinsäure
<i>n</i> -C _{16:1(n-5)}	11-Hexadecensäure	
<i>n</i> -C _{16:1(n-7)}	9-Hexadecensäure	
<i>n</i> -C _{18:0}	Octadecansäure	Stearinsäure
<i>n</i> -C _{18:1(n-7)}	11-Octadecensäure	
<i>n</i> -C _{18:1(n-9)}	9-Octadecensäure	
<i>n</i> -C _{18:2}	Oktadecadien-(9,12)-säure	Linolsäure
<i>n</i> -C _{18:3}	Oktadecatrien-(9,12,15)-säure	Linolensäure
<i>n</i> -C _{19:0}	Nonadecansäuremethylester (ISTD)	
<i>n</i> -C _{20:0}	Eicosansäure	
<i>n</i> -C _{20:1(n-9)}	11-Eicosensäure	
<i>n</i> -C _{22:0}	Docosansäure	
<i>n</i> -C _{22:1}	Docosensäure	Erucasäure
<i>n</i> -C _{22:1 (n-9)}	13-Docosensäure	
<i>n</i> -C _{22:1(n-11)}	11-Docosensäure	
<i>n</i> -C _{24:0}	Tetracosansäure	
<i>n</i> -C _{25:0}	Pentacosansäure	
<i>n</i> -C _{26:0}	Hexacosansäure	
<i>n</i> -C _{27:0}	Heptacosansäure	
<i>n</i> -C _{28:0}	Octacosansäuremethylester (ISTD)	
<i>n</i> -C _{31:0}	Untriaacosansäuremethylester (ISTD)	

Abkürzung	Systematischer Name	Trivialname (bzw. verkürzter Name)
------------------	----------------------------	---

Sterole

$28^{\Delta 22}$	24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol	
$28^{\Delta 5,22}$	24-Methylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol	Brassicasterol
$29^{\Delta 0}$	24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol	Ethylcholestanol
$29^{\Delta 5}$	24-Ethylcholest-5en-3- β ol	β -Sitosterol
$29^{\Delta 5,22}$	24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol	Stigmasterol
$29^{\Delta 22}$	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol	
4-Me30 $^{\Delta 22}$	4 α -23,24-Trimethyl-5 α -cholest-22-en-3 β -ol	Dinosterol

1. Einleitung und Fragestellung

Die polaren und subpolaren Gebiete der Südhemisphäre nehmen eine wichtige Schlüsselfunktion im globalen Klimageschehen ein (z.B. *Kennett & Barron 1992*). Der große Antarktische Eisschild und die angrenzenden Meereisflächen und deren Änderungen in Raum und Zeit haben einen entscheidenden Einfluss auf den globalen Meeresspiegel, den Wärmehaushalt der Erde, die Oberflächenwasserproduktivität sowie die atmosphärische und ozeanische Zirkulation (*Blunier et al. 1998, Knorr & Lohmann 2003, Rohling et al. 2004*). Der die Antarktis umgebende Ozean, das Südpolarmeer, ist eine der wichtigsten Gebiete für die Bildung von Zwischen-, Tiefen- und Bodenwassermassen (z.B. *Dietrich et al. 1975, Whitworth 1988*). Der Antarktische Kontinent ist thermisch und biogeographisch von den Subtropen durch den Antarktischen Zirkumpolarstrom isoliert, einem Ring kalter Wassermassen, der sich durch komplexe Frontensysteme und ozeanische Konvergenz- bzw. Divergenzzonen auszeichnet (Abb. 1). An den Divergenz- (Auftriebs-) Zonen tritt nährstoffreiches Wasser an die Oberfläche, das zu stark erhöhter Primärproduktion führt. Nach *Berger et al. (1989)* fällt etwa ein Drittel der globalen biologischen Produktivität auf diese Ozeanregion.

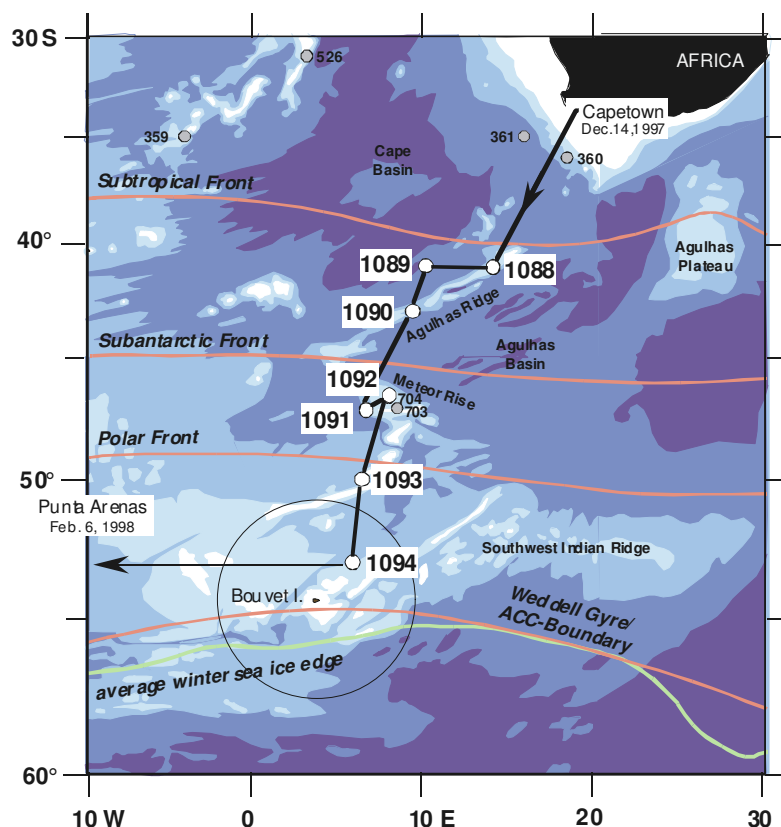


Abb. 1. Lokationen der ODP-Leg 177 Sites und ozeanographische Fronten (*Gersonde et al. 1999, Peterson & Stramma 1991*).

Trotz der Bedeutung des Südpolarmeereres für das globale Klimageschehen sind bisher in dieser Region wenig detaillierte sedimentologische, geochemische und mikropaläontologische Untersuchungen durchgeführt worden, die sich mit hoch auflösenden Rekonstruktionen lang- und kurzfristiger Variationen von

Paläoklima und paläoozeanographischen Verhältnissen beschäftigen. Diese Arbeiten beschränken sich auf Untersuchungen an Kolben- und Schwerelotkernen und liefern wichtige Informationen über die Zusammenhänge zwischen Oberflächentemperatur, Oberflächenproduktivität, ozeanischer Zirkulation und terrigenem Sedimenteintrag (z.B. *Prell et al. 1979, Morley 1989, Howard & Prell 1992, Kumar et al. 1995, Diekmann et al. 1996, Frank et al. 1996, Zielinski & Gersonde 1997, Schmiedel & Mackensen 1997*). Um derartige Untersuchungen auf die ältere Klimageschichte auszudehnen bzw. extrem hochauflösende Klimarekonstruktionen an marinen Sedimentkernen durchzuführen, sind lange, ungestörte Bohrkerne erforderlich, wie sie nur im Rahmen des Ocean Drilling Program (ODP) genommen werden. Entsprechendes Probenmaterial stand für diese Arbeit durch Bohrkerne, die während ODP-Leg 177 auf einem Nord-Süd-Profil über den gesamten Antarktischen Zirkumpolarstrom im Atlantischen Sektor gewonnen wurden (Abb. 1), zur Verfügung (*Gersonde et al. 1999*). Diese Bohrlokationen sind durchgehend gekernt und mittels Isotopenstratigraphie (Abb. 2), Biostratigraphie und Paläomagnetik sehr gut datiert. Für den bearbeiteten Zeitabschnitt zeichnen sich die Sedimentkerne durch sehr hohe Sedimentationsraten aus (Site 1089: 128 m/my; Site 1091: 145 m/my; Site 1093: 250 m/my), was Untersuchungen mit einer zeitlichen Auflösung von 100-1000 Jahren erlaubt.

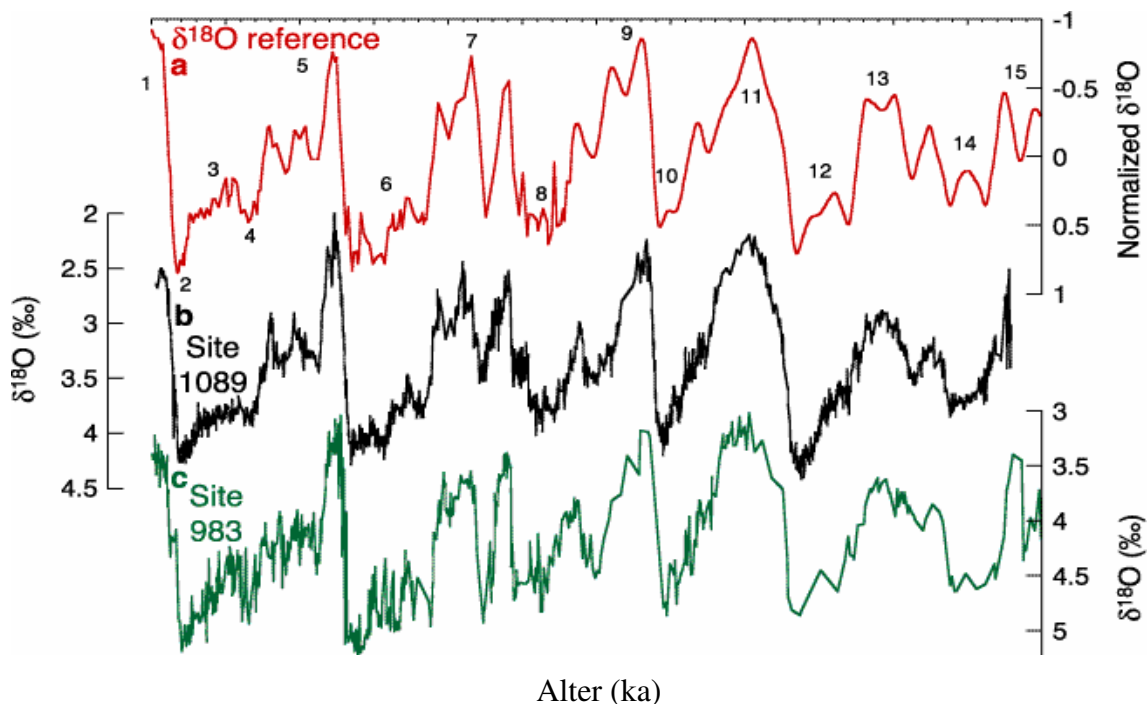


Abb. 2. Isotopenstratigraphie von ODP-Site 1089 (*Hodell & Gersonde et al. 2002*).

Im Zentrum multidisziplinärer Forschungsprojekte, die sich mit der Bearbeitung von Bohrkernen des ODP-Legs 177 beschäftigten, standen u.a. Untersuchungen zur

- Ausbreitung und Variation der Meereisverteilung,
- Oberflächenproduktivität und deren Variation und Auswirkung auf den atmosphärischen CO₂-Gehalt,
- Rekonstruktion von Oberflächenwassertemperaturen,
- Variabilität ozeanischer Fronten und
- terrigenen Sedimentzufuhr im Atlantischen Sektor des Südpolarmeeres.

Während sich die anderen Forschungsprojekte zu diesen Schwerpunktthemen auf Untersuchungen der stabilen Isotope, der Faunen- und Florenvergesellschaftungen, der mineralogischen Zusammensetzung sowie der Korngrößen der siliziklastischen Sedimentkomponenten und anorganisch-geochemischen Parametern konzentrierten (z.B. *Janecek 2001, Latimer & Filippelli 2001, Cortese & Abelmann 2002, Kuhn & Diekmann 2002, Kunz-Pirring et al. 2002, Flores et al. 2003, Hodell et al. 2003*), wurden im Rahmen dieser Arbeit detaillierte organisch-geochemische Untersuchungen an dem Kernmaterial durchgeführt (Abb. 3). Ein Schwerpunkt lag dabei auf Biomarkeranalysen, die einen wichtigen Beitrag zur oben angeführten Problematik und zu den sich daraus ergebenden Fragestellungen liefern können.

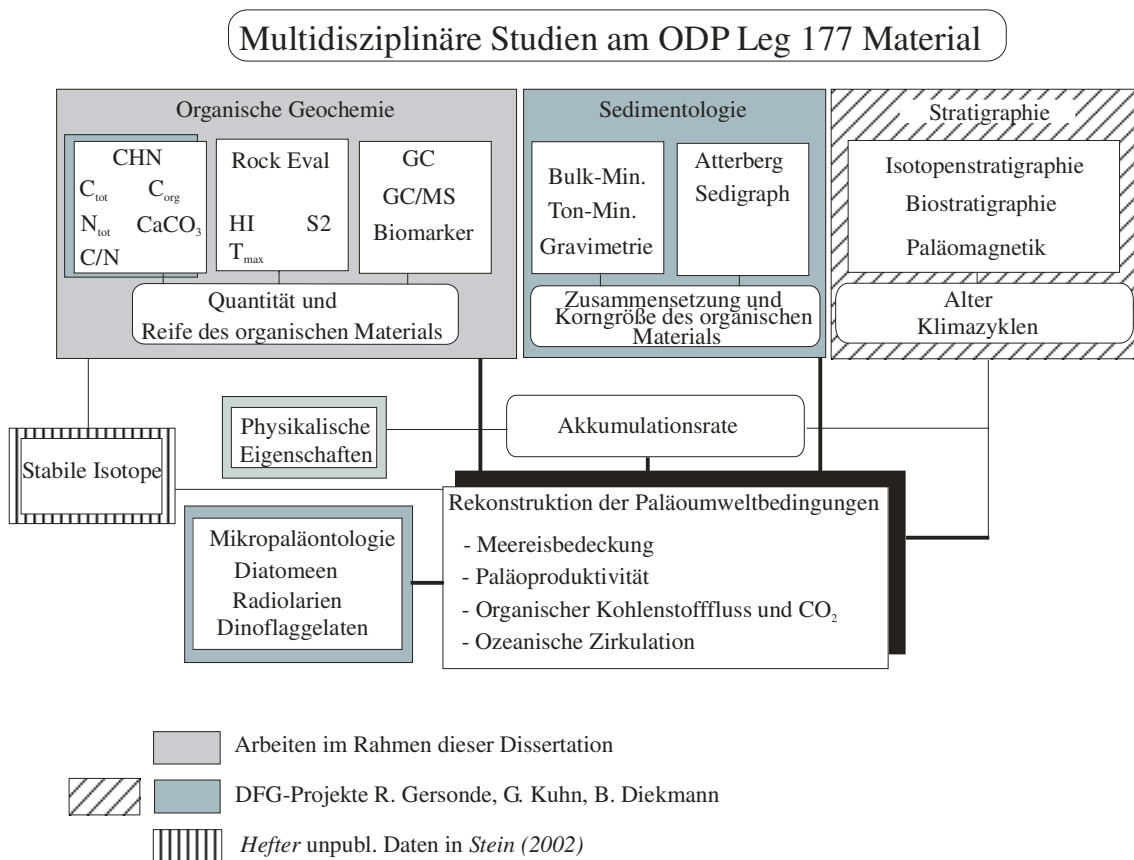


Abb. 3. Multidisziplinäre Arbeiten an ODP-Leg 177 Material.

Die drei vorrangigen Gesamtziele dieser Arbeit waren:

- Aussagen über die Variabilität der Primärproduktion zu machen,
- Abschätzungen über die Variabilität der Oberflächenwassertemperatur durchzuführen, und
- den Eintrag von terrigenem organischem Material und dessen Variabilität zu bestimmen.

Was die zeitliche Variabilität betrifft, standen zum einen die Glazial-/Interglazialwechsel im Vordergrund dieser Arbeit. Zum anderen sollte versucht werden aufzuzeigen, ob in den Datensätzen auch Milankovich- und sub-Milankovich-artige Zyklen nachzuweisen sind. Die im Site 1089 erhaltenen Paläoumwelt-Informationen zeigen ein ausgezeichnetes marin-sedimentäres Analog zu der aus dem Vostok Eiskern bekannten, klimagesteuerten atmosphärischen Variationen der Temperatur (*Mortyn et al. 2003*). Abbildung 4 zeigt die Sauerstoff-Isotopie in planktonischen Foraminiferen aus ODP Site 1089 und den Deuterium-Record aus Vostok. Die Stratigraphie dieses Kerns basiert auf der Korrelation des $\delta^{18}\text{O}$ -Records bentischer Foraminiferen (Site 1089) mit den $\delta^{18}\text{O}$ -Specmap-Daten (*Hodell et al. 2001*).

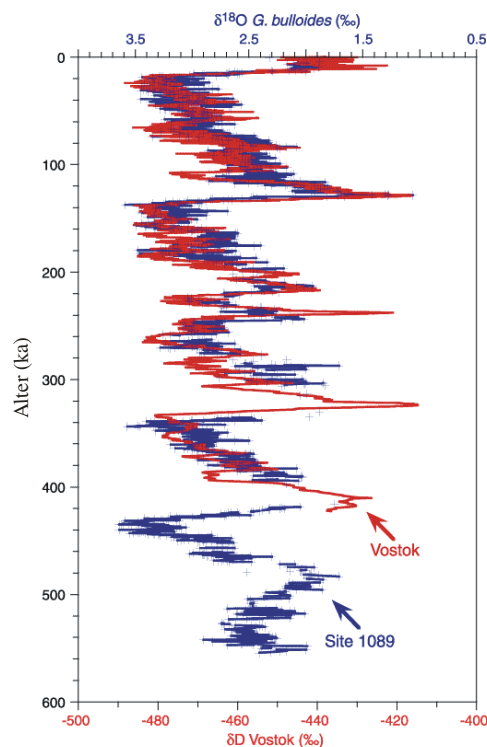


Abb. 4. Korrelation der Sauerstoffisotopenkurve von Site 1089 mit der Klimakurve vom Vostok-Eiskern (*Hodell et al. 2002*).

Im Laufe dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass aufgrund des vorgegebenen Probenmaterials systematische Voruntersuchungen hinsichtlich Optimierung und Weiterentwicklung der Biomarkeranalytik unumgänglich waren. Hier ist insbesondere das Problem der Kontamination der Biomarkerproben zu nennen. Es wurde so als weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit systematische

Untersuchungen zur Kontamination (siehe Kapitel 2.3) mit in die Fragestellung aufgenommen.

1.1 Hydrographie, Meereisverteilung und Primärproduktion im Südatlantik

Hydrographie

Der Südatlantik zeichnet sich durch ein komplexes Oberflächenstromsystem aus (Abb. 5) und spielt eine besondere Rolle im Hinblick auf den Wärmehaushalt der Erde (Peterson & Stramma 1991). Über das Kap der guten Hoffnung gelangen warme Wassermassen aus dem Indischen Ozean mit dem Agulhas-Strom in den Südatlantik. Ein Teil fließt durch das Zusammentreffen mit dem Südatlantik-Strom über den Agulhas-Rückstrom in den Indischen Ozean zurück. Ein beträchtlicher Teil geht jedoch in den Benguela-Strom über, der die Wärme in Richtung Norden transportiert und damit ein entscheidendes Glied in der thermohalinen Zirkulation darstellt. Der größte Teil des Südlichen Ozeans besteht aus einer strömenden Wassermasse, dem sogenannten Antarktischen Zirkumpolarstrom (ACC, **A**ntarctic **C**ircumpolar **C**urrent), der ostwärts um den Antarktischen Kontinent zirkuliert und diesen dadurch thermisch und biogeographisch von den Subtropen isoliert. Das Oberflächenströmungssystem im Süd-Atlantik lässt sich im Allgemeinen aus den großräumigen Windsystemen ableiten, wobei der Windschub die Hauptantriebskraft der Oberflächenströmung ist. Die großräumige Luftdruckverteilung im Meeresniveau zeichnet sich im Untersuchungsgebiet durch den zirkumpolaren Tiefdruckgürtel bei ca. 65°S und das subtropische Hochdrucksystem um 30°S aus. Als Ausgleichströmung zwischen diesen Drucksystemen dient die Westwinddrift, welche als Antriebskraft für die ostwärts strömenden Oberflächenwassermassen des Antarktischen Zirkumpolarstroms fungiert (Schott 1944).

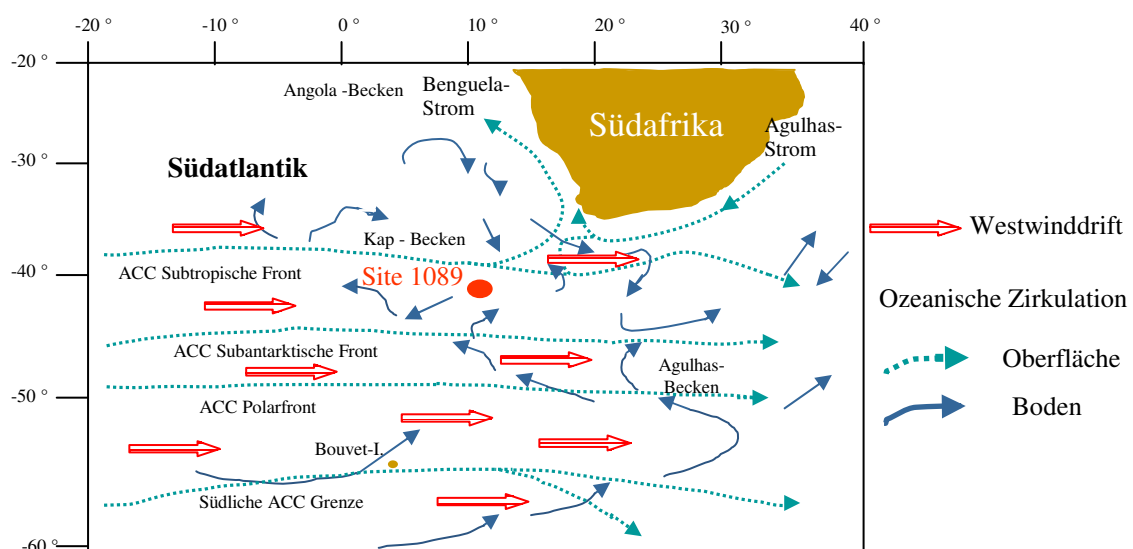


Abb. 5. Ozeanische Zirkulation im Untersuchungsgebiet (nach Kuhn & Diekmann 2002, Peterson & Stramma 1991, Tucholke & Empley 1984).

Der ACC lässt sich aufgrund scharfer Temperatur- und Salinitätsgradienten in verschiedene zonal verlaufende Gürtel unterteilen, die jeweils durch ozeanische Frontensysteme begrenzt sind. Sein nördlicher Rand ist die Subtropische Front (STF) (Abb. 5), die den ACC von dem warmen und salzreichen Wasser des Subtropischen Wirbels trennt. Im Süden wird der ACC durch den Weddelwirbel begrenzt (Schott 1944). Frontensysteme zeichnen sich durch komplexe ozeanische Divergenz- (Auftriebs-) und Konvergenz- (Absink-) Zonen aus. Sie stellen Gebiete hoher biologischer Aktivität dar, da nährstoffreiches Tiefenwasser, welches in den Divergenzzonen an die Oberfläche gelangt, zu einer erhöhten Primärproduktion führt. Gegenüber der sonst tiefen Durchmischung speziell in polaren Breiten können die Algen lange genug in der euphotischen Zone bleiben, um eine Algenblüte zu bilden. Die Lage der ozeanischen Frontensysteme spielt folglich neben der Verbreitung der saisonal eisbedeckten Zone und der Temperatur eine entscheidende Rolle für biologische Parameter wie z.B. den Chlorophyllgehalt oder die Zusammensetzung der Algenpopulation, welche sich in ozeanographischen Frontensystemen kleinräumig um mehrere Größenordnungen unterscheiden können.

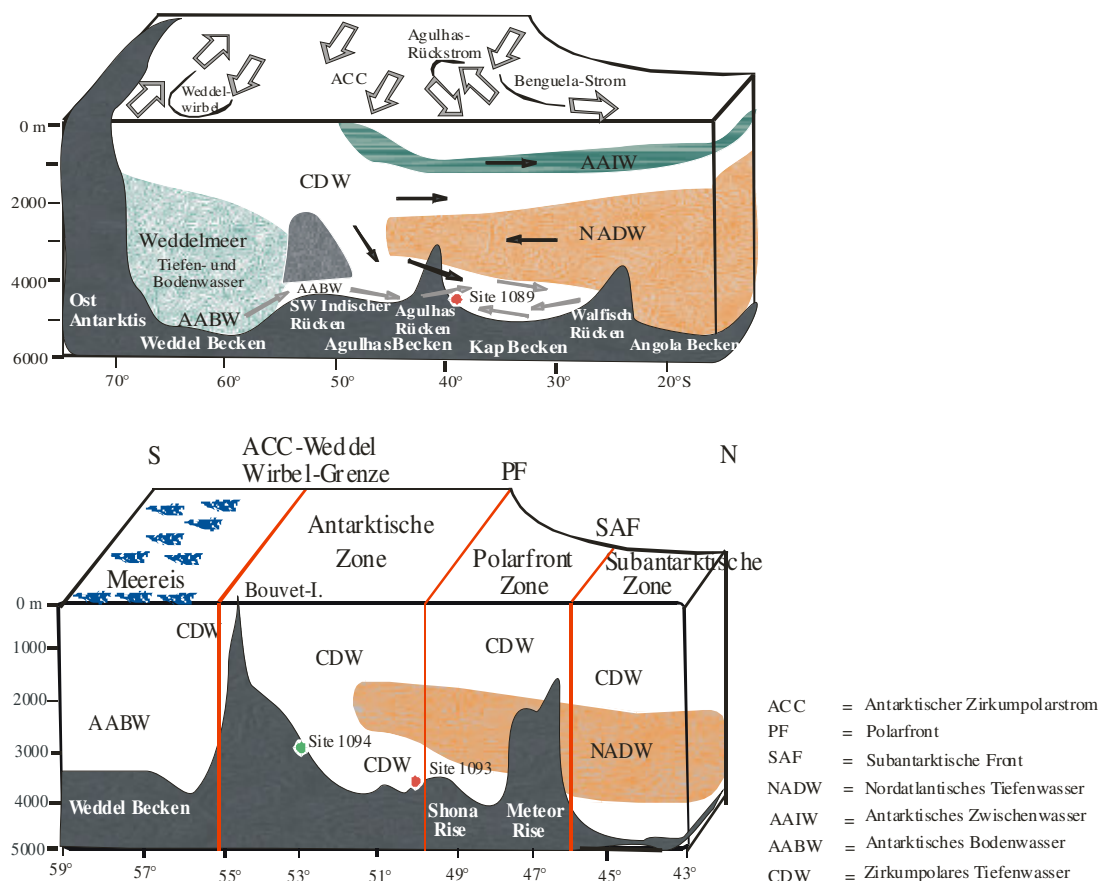


Abb. 6. Vereinfachtes Modell der Ozeanischen Zirkulation im südöstlichen Südatlantik (nach Kuhn & Diekmann 2002 und Kunz-Pirrung et al. 2002).

Die globale Wassermassenzirkulation wird durch den ACC maßgeblich beeinflusst. Das durch Mischung des Weddellmeer-Bodenwassers mit dem darüber liegenden warmen Tiefenwasser (Abb. 6) entstehende nordwestwärts fließende Antarktische Bodenwasser (AABW) lässt sich aufgrund seiner thermohalinen Eigenschaften bis weit auf die nördliche Erdhalbkugel verfolgen (*Dietrich et al. 1975*). Innerhalb der Polarfrontzone taucht weiterhin kaltes, salzarmes Antarktisches Oberflächenwasser unter wärmeres, salzreicheres Subantarktisches Oberflächenwasser und fließt als Antarktisches Zwischenwasser (AAIW) weiter nach Norden (Abb. 6). Das AAIW hat im Zirkumpolarstrom zwischen Subantarktik- und Polarfront Kontakt mit der Atmosphäre. Es schichtet sich nach Norden als salzarme und sauerstoffreiche Wassermasse über dem Nordatlantischen Tiefenwassers (NADW) ein und lässt sich in seinen Eigenschaften bis zum Äquator nachweisen (*Whitworth 1988*). Nördlich der Subtropenfront beträgt die mittlere Tiefe des AAIW etwa 800-1000 m, bei einer mittleren Mächtigkeit von 400 m (*Reid 1989*). Der ACC liegt heute weiterhin im Einflussbereich des NADW (in ca. 2500-3500 m Wassertiefe), welches als Bestandteil der globalen thermohalinen Zirkulation Atlantikwasser in den Indischen Ozean transportiert. Die Erneuerungsgebiete für diese Wassermasse ist der nördliche Nordatlantik im Bereich von Labrador und Irmingersee und die Grönlandsee nördlich des Grönland-Island-Schottland Rückens. Beide Bildungsgebiete machen etwa 90% der NADW-Wassermasse aus (*Emery & Meinke 1986, Gordon 1986*). Der wesentliche Grund dafür, dass typische Merkmale einer Wassermasse noch weit entfernt von der Quellregion und dem Bildungsgebiet erkennbar bleiben, sind die relativ geringen Austauschraten und Vermischungsvorgänge unterhalb der durchmischten Schicht, so dass tiefere Wassermassen weitgehend von der Atmosphäre abgekoppelt sind. Dadurch ergeben sich relativ lange Verweilzeiten (Größenordnung Jahrzehnte bis Jahrhunderte), in denen die charakteristischen Eigenschaften einer Wassermasse nahezu unverändert bleiben. Die Hauptwassermasse des Antarktischen Zirkumpolarstrom wird durch das Zirkumpolare Tiefenwasser (CDW) repräsentiert. Das CDW verkörpert eine Mischung von Wassermassen des Weddellmeeres und des Nordatlantischen-, des Pazifischen- und Indischen Ozeans. Nördlich von 45°S gelangt das CDW unter den Einfluß des Nordatlantischen Tiefenwassers, welches das CDW in eine obere und untere Wasserschicht aufspaltet (Abb. 6). Die potentielle Temperatur des CDWs variiert zwischen 0,1 und 2 °C.

In Abbildung 7 sind die heutigen Oberflächenwassertemperaturen des Antarktischen Zirkumpolarstromes dargestellt. Nach *Olbers et al. (1992)* beträgt die heutige Oberflächenwassertemperatur am Site 1089 18°C, am Site 1093 4°C und am Site 1094 1,5°C.

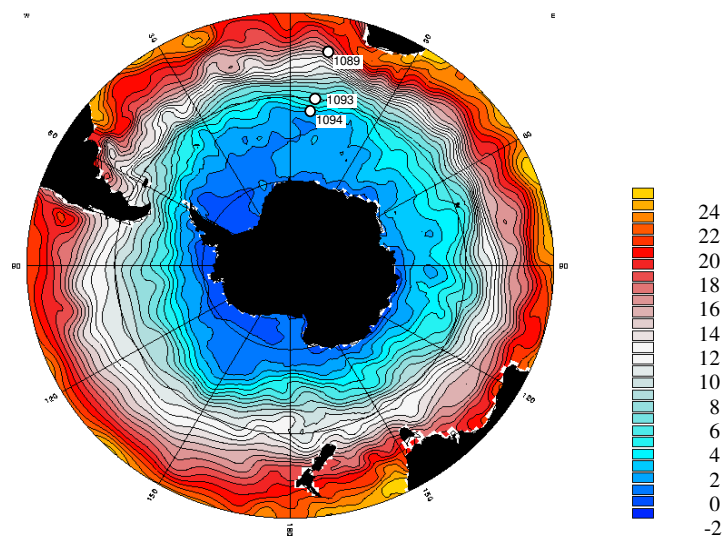


Abb. 7. Heutige Oberflächenwassertemperaturen an den Bohrlokationen 1089, 1093 und 1094 nach *Olbers et al. (1992)*.

Meereisverbreitung und Primärproduktion

Während im Gebiet des Antarktischen Zirkumpolarstroms die Primärproduktion im wesentlichen durch die Lage der ozeanischen Fronten gesteuert wird, spielt die Variation der jährlichen Meereisbedeckung in der saisonal eisbedeckten Zone (SIZ) hinsichtlich der Primär- und Exportproduktion eine fundamentale Rolle (*Grossi et al. 1987, Abelmann & Gersonde 1991*). Das Meereis besteht zu 80% aus einjährigem Eis, das jeweils im antarktischen Herbst und Winter neu gebildet wird. Die maximale winterliche Meereisausdehnung, die sich im Untersuchungsgebiet heute auf bis etwa 57°S erstreckt (Abb. 1), nimmt dabei etwa 5% der Gesamtfläche des Weltozeans ein (*Olbers 1989*). Beim Eisbildungsvorgang werden zunächst kleine nadel- oder plattenförmige Eiskristalle gebildet, welche dann zu größeren Aggregaten zusammenfrieren und dabei salzreiches Meerwasser und Mikroalgen mit einschließen. Weiterhin können sich die Algen an der Eisunterseite anlagern, bzw. auf der Eisoberseite in mit Seewasser gefüllten Vertiefungen wachsen. Das antarktische Meereis stellt folglich ein hochaktives Biotop dar. Die in ihm wachsenden Mikroalgen tragen, neben dem Nährstoff- und Lichtangebot sowie der Stabilität der Wassersäule nach der Eisschmelze, entscheidend zur Primärproduktion in der saisonal eisbedeckten Zone bei und sind daher für den Biomarkerhaushalt in der SIZ von Bedeutung (*Tréguer & Jacques 1992, Nichols et al. 1993*).

1.2 Biomarker mariner Sedimente als Klimaindikatoren

Marine Sedimente stellen durch ihre kontinuierliche Abfolge eine Langzeitaufnahme der jeweils vorherrschenden Ablagerungsbedingungen dar. Die hiermit einher gehende Sedimentation von organischem Kohlenstoff kann ein komplettes zeitliches Archiv der klimatischen Variationen widerspiegeln. Um Aussagen über Herkunft, Transport und Ablagerung von organischem Kohlenstoff sowie eine Interpretation der Daten in Hinblick auf die Paläoumweltbedingungen machen zu können, ist die Differenzierung in den

marinen bzw. terrigenen Anteil des organischen Kohlenstoffs erforderlich (z.B. Schubert & Stein 1996, Stein 1991, Ikehara et al. 2000, Sachs & Anderson 2005). Mittels unterschiedlicher organisch-geochemischer Methoden sollte daher das organische Material näher charakterisiert und bestimmten Quellen zugeordnet werden. Einen ersten Hinweis zur Unterscheidung von marinem und terrigenem organischem Material liefern die Ergebnisse der Rock-Eval-Pyrolyse (Kapitel 2.2.2). Detailliertere Rückschlüsse hinsichtlich der oben genannten Fragestellungen erlauben die molekularen Untersuchungen sedimentärer Biomoleküle. Bestimmte Biomarker haben durch ihr Vorkommen in spezifischen Organismen besondere Bedeutung erlangt. Obwohl ihr Beitrag zur gesamten organischen Substanz im Sediment sehr gering ist, besitzen sie einen hohen Informationsgehalt unter organisch-geochemischen Gesichtspunkten. Da in dieser Arbeit hauptsächlich Untersuchungen der *n*-Alkan-, Alkenon-, Sterol-, Fettsäure- und Alkoholverteilungen im Sediment durchgeführt wurden, soll im Folgenden näher auf diese Komponenten eingegangen werden.

Sterole

Sterole haben als spezifische Biomarker eine fundamentale Bedeutung erlangt (Huang & Meinschein 1976, Gagosian et al. 1983, Volkmann 1986, Mansour et al. 1999). Sie können aufgrund ihrer Stabilität von den Quellen in den Zellen aller lebenden Eukaryonten bis zu den Senken im leblosen organischen Material der Sedimente verfolgt werden (Mühlebach 1999).

Sterole gehören zur Stoffklasse der Steroide. Die Steroide stellen eine wichtige und große Verbindungsklasse der Naturstoffe dar, denen das tetracyclische Ringsystem Cyclopentanoperhydrophenanthren (Abb. 8) zugrunde liegt. Dieses Steroid-Grundgerüst wird als Gonan oder Steran bezeichnet. Steran besteht aus 4 kondensierten Ringen, die durch die Buchstaben A, B, C und D gekennzeichnet sind (Abb. 8).

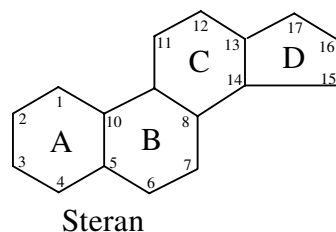


Abb. 8. Strukturformel des Sterans. Die Buchstaben kennzeichnen die kondensierten Ringe. Die Ziffern stellen die Nummerierung der Kohlenstoffatome dar.

Nomenklatur der Sterole (Sterine)

Als Derivate des Steran besitzen die polycyclischen Sterolverbindungen 27, 28, 29 oder 30 Kohlenstoffatome. Sie tragen am Kohlenstoffatom 3 eine Hydroxyl-, an den Kohlenstoffatomen 10 und 13 je eine Methylgruppe und am Kohlenstoffatom 17 eine aliphatische Seitenkette. Der C₂₇-Grundkörper der Sterole wird wie in der marinen Literatur üblich als „Cholesta“ bezeichnet. Enthält ein Molekül eine Doppelbindung, so ändert sich der Name von „-an“ auf „-en“, bzw. auf „-dien“ und „-trien“ bei zwei bzw. drei Doppelbindungen. Die Struktur des Cholestanols stellt somit die Grundstruktur aller beschriebenen Sterole dar (Abb. 9).

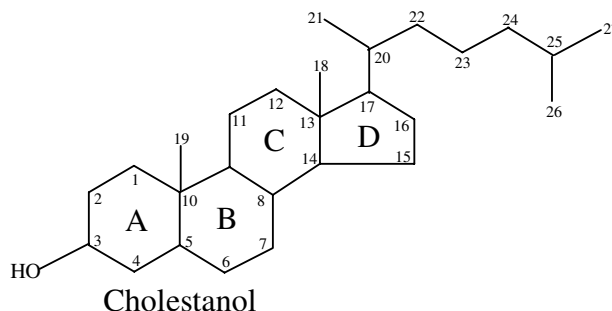


Abb. 9. Gesättigte Grundstruktur der Sterole, Cholestanol.

Enthält ein Sterol mehr Kohlenstoffatome als das Cholestanol, werden die zusätzlich eingeführten Gruppen, mit Angabe des substituierten Atoms, der Stammstruktur vorangestellt, z.B.: 24-Methylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (Brassicasterol).

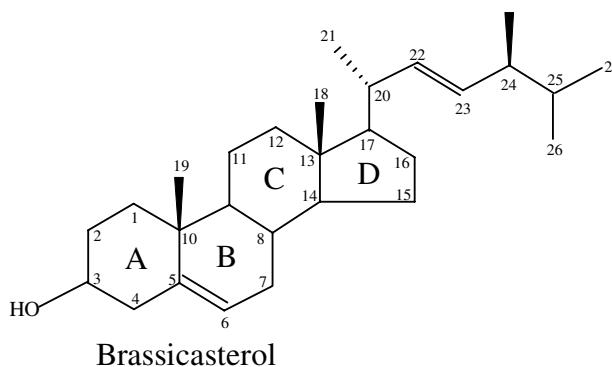


Abb. 10. Strukturformel von 24-Methylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (Brassicasterol).

Neben der Substituentenbezeichnung und deren Stellungsnummer sind die Konfigurationszeichen α und β von Bedeutung. Die Wasserstoffatome oder die Substituenten können ober- oder unterhalb der Ringebene liegen. Nach einem Übereinkommen liegt die Methylgruppe am Kohlenstoffatom 10 oberhalb der Ringebene. Definitionsgemäß gilt diese „ β -Stellung“ als Bezugspunkt. Oberhalb der Ringebene liegende Substituenten werden deshalb als β -ständige- und solche, die unterhalb der Ringebene liegen, als α -ständige Substituenten bezeichnet. Häufig ist die Seitenkette nicht vollständig gesättigt. Durch den Zusatz von E bzw. Z im Sterolnamen können Doppelbindungsisomere unterschieden werden. Liegen beide Substituenten höherer Priorität (*Cahn et al. 1966*) auf derselben Seite der Doppelbindung, so handelt es sich um das Z-Isomer. Beim E-Isomer liegen sich die Substituenten höherer Priorität gegenüber. Die Benennung der Sterole erfolgte gemäß den IUPAC-Nomenklaturregeln (*IUPAC 1972*).

Steroidalkohole werden sowohl von marinen als auch von terrestrischen Organismen synthetisiert. Während in terrestrischen Pflanzen hauptsächlich Sterole mit einer ethylsubstituierten Seitenkette am C-24 gefunden werden (24-Ethylcholest-5-en-3 β -ol, 24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol) (*Huang & Meinschein 1976*), enthält marines Phytoplankton häufig die C₂₄-

methylysubstituierten Sterole (24-Methylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol). Diese Regeln gelten jedoch nicht ohne Ausnahme. C₂₉-Sterole können entgegen früheren Vorstellungen durchaus auch marinen Quellen entstammen (Volkman 1986, Hinrichs et al. 1999). Hanke (1995) detektierte neben Cholesta-5,22E-dien-3 β -ol, 24-Methylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (Brassicasterol) und Methylcholesta-5,24(28)-dien-3 β -ol auch 24-Ethylcholest-5-en-3 β -ol in Meereisalgen des Antarktischen Weddelmeeres. Gleiches gilt für die im Allgemeinen als marin geltenden C₂₈-Sterole. Brassicasterol kann sowohl aquatischen (marinen-lakustrinen) als auch terrigenen Quellen zugeordnet werden (Idler & Wiseman 1971, Gagosian et al. 1983, Volkman et al. 1986, Volkman et al. 1998, Mansour et al. 1999, Fahl et al. 2003).

Alkenone

Alkenone haben als Organismen-spezifische Biomarker in der organischen Geochemie eine große Bedeutung erlangt. Die ungewöhnlich langkettigen, mehrfach ungesättigten Methylketone können als diagnostisches Werkzeug zur Rekonstruktion von Phytoplanktonproduktivität und Paläooberflächenwassertemperaturen dienen.

Alkenone finden ihren Ursprung in einigen Gattungen der Haptophyceen. Zu diesen gehört die Coccolithophoridenart *Emiliana huxleyi* (Volkman et al. 1980). Diese einzellige Alge bildet in nahezu allen Bereichen des modernen Ozeans den größten Anteil des kalkschaligen, photoautotrophen Planktons (Honjo & Okada 1974, Okada & McIntyre 1977). *E. huxleyi* entwickelte sich vor ca. 265 ka und ist in den niedrigeren Breiten seit dem MIS 5 und in den höheren Breiten seit dem MIS 4 die dominierende Coccolithophoridenart (Hay 1977, Thierstein et al. 1977, Müller et al. 1997). Das weltweite Vorkommen dieser Organismen machen die Alkenone zu wichtigen Biomarkern. Ihre paläoklimatische Abhängigkeit wurde zunächst von Brassell et al. (1981) und Brassell & Eglinton (1983) beschrieben und von Prahll & Wakeham (1987) und Prahll et al. (1988) bestätigt. Die Temperatursensitivität dieser Lipide zeigt sich in einem variierenden Untersättigungsverhältnis des für biologische Verbindungen ungewöhnlichen transkonfigurierten (E-) Doppelbindungsgrades (Rechka & Maxwell 1988). E-konfigurierte Doppelbindungen bilden neben der für Ketone ungewöhnlichen Kettenlänge einen Schutz vor bakteriellem Abbau. Diese Strukturmerkmale erklären das relativ konstante Verhältnis von der Bildung bis zur Akkumulation der Alkenone im Sediment. Abbildung 11 stellt exemplarisch die Strukturformeln der C₃₇-Alkenone dar.



C_{37:2}-Alkenon: Heptatriaconta-15E,22E-dien-2-on



C_{37:3}-Alkenon: Heptatriaconta-8E,15E,22E-trien-2-on

Abb. 11. Strukturformeln der untersuchten C₃₇-Methylketone (im Text auch C_{37:2}-, bzw. C_{37:3}-Alkenone oder Alkenone genannt).

Experimente mit Laborkulturen von *E. huxleyi* haben gezeigt, dass der Untersättigungsgrad der Alkenone mit abnehmender Temperatur zunimmt (Marlowe et al. 1984, Brassell et al. 1986). Weitere Studien (z.B. Prah et al. 1988) offenbarten eine lineare Beziehung zwischen dem Untersättigungsgrad und der Wachstumstemperatur. Die daraus resultierende Funktion ist in Kapitel 2.6 dargestellt.

Fettsäuren

Die in der Natur vorkommenden Lipide (früher Lipoide) setzen sich im Wesentlichen aus Fetten, Ölen und Wachsen zusammen. Auch die Sterine kann man aufgrund ihres Verhaltens zu den Lipiden rechnen, sie besitzen jedoch einen anderen Bau (siehe oben). Als Grundbausteine der natürlichen Fette und Öle dienen mit Glycerin veresterte Fettsäuremoleküle. Hierbei ist ein Glycerinmolekül mit drei Fettsäuren verknüpft, die sich hinsichtlich ihrer Kettenlänge und Sättigung unterscheiden können (R, R¹, R²; Abb. 12).

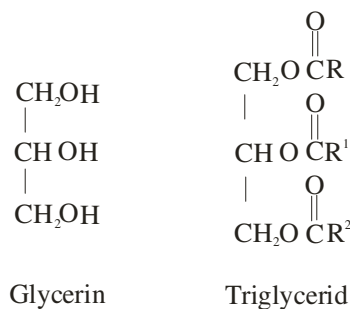


Abb. 12. Strukturformel von 1,2,3- Propantriol (Glycerin) und 1,2,3- Propantrioltriestern (Triglycerid).

Öle enthalten im Gegensatz zu den Fetten eine größere Anzahl ungesättigter Fettsäuren, was sich in einem unterschiedlichen Aggregatzustand äußert. Fette und Öle bestehen zu 97% aus Fettsäureestern. Bei den restlichen Stoffen handelt es sich um Wachse, freie Fettsäuren, Mono- und Diglyceride und um fettlösliche Vitamine, wie Vitamin D und E. Wachse bestehen hauptsächlich aus mit Glycerin veresterten Fettsäuren und *n*-Alkoholen. Sie enthalten außerdem noch freie, langkettige aliphatische Säuren, Ketone und langkettige *n*-Alkane. Natürlich vorkommende Fettsäuren treten mit einer geradzahligen

Bevorzugung der Kohlenstoffatome auf, da sie biosynthetisch aus Essigsäuremolekülen, also aus C_2 -Einheiten, aufgebaut werden. Neben Hexadecansäure ($n-C_{16:0}$) zählen Octadecansäure ($n-C_{18:0}$) und deren ungesättigte Analoga ($n-C_{18:1}$, $n-C_{18:2}$, $n-C_{18:3}$) zu den am häufigsten in der Natur vertretenen Fettsäuren. Lipide stellen lebenswichtige Stoffe für den Organismus dar. Sie dienen als Energiespeicher und sind Bestandteile biologischer Membranen. Hier beeinflussen die Lipide im Wesentlichen die sich an der Zellperipherie abspielenden, elektrischen und osmotischen Vorgänge. Als Wachsester gebunden bilden sie eine schützende Schicht auf Pflanzenblättern. Das Vorkommen von kurzkettigen, gesättigten und ungesättigten C_{14} bis C_{22} Fettsäuren in marinen Sedimenten deutet auf gemischte Einträge aus Phyto- und Zooplankton sowie auf Bakterien hin (Hagen 1988, Volkman et al. 1989, Gong & Hollander 1997, Mansour et al. 1999). Das sedimentäre Vorkommen von längerkettigen (C_{22} - C_{28}) gesättigten Fettsäuren wird in Analogie zu den C_{27} - C_{33} Alkanen und den langkettigen Alkoholen als Anzeiger für Einträge aus Blattwachsen höherer Landpflanzen interpretiert (Eglinton & Hamilton 1967). Es wurden jedoch auch Einträge dieser Verbindungen in marinen Sedimenten gefunden, die aus Mikroalgen und möglicherweise auch aus Bakterien stammen können (Dunstan et al. 1992, Gong & Hollander 1997, Volkman et al. 1998).

Alkohole

Die in sedimentärem organischem Material gefundenen n -Alkohole können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Langkettige gesättigte Alkohole ($CH_3-(CH_2)_nOH$, $n \geq 24$) finden ihren Ursprung in den Blattwachsen höherer Landpflanzen (Eglinton & Hamilton 1967) und eignen sich daher besonders als terrigene Marker. Gagosian & Pelzer (1986) detektierten langkettige Alkohole in über dem Pazifik gesammelten Aerosolproben und lieferten somit einen Beweis für den äolischen Transport dieser Wachskomponenten. Obwohl den langkettigen n -Alkoholen eine überwiegend terrestrische Herkunft zugeschrieben wird, können diese durchaus auch marinen Quellen entstammen. Zu diesen zählt Seegrass, das signifikante Anteile an Tetracosanol ($n-C_{24:OH}$) und Hexacosanol ($n-C_{26:OH}$) enthält (Nichols & Johns 1985). Die in dieser Pflanze ebenfalls vertretenen kurzkettigen Alkohole ($n < C_{20}$) sind typisch für marines organisches Material. Die kurzkettigen n -Alkohole werden ebenfalls als Teil zooplanktonischer Wachsester biosynthetisiert (Cranwell & Volkman 1981, Farrimond et al. 1990). Die n -Alkohole kommen hauptsächlich mit einer geradzahligen Bevorzugung der Kohlenstoffatome vor. Ihre gaschromatische Bestimmung setzt eine Derivatisierung der Hydroxylgruppe voraus. Die Umwandlung der freien Hydroxylgruppe hat, neben der erhöhten thermischen Stabilität der zu untersuchenden Substanz, die Verringerung der Reaktivität des Moleküls zur Folge. Die reaktive Hydroxylgruppe kann sonst verstärkt zur Adsorption an reaktiven Stellen im chromatographischen System oder zu Reaktionen im heißen Injektor führen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde N,O-Bis-(trimethylsilyl)-trifluoracetamid (BSTFA) zur Derivatisierung der Alkohole und Sterole eingesetzt (Kapitel 2.4.3).

Alkane

Das jeweilige Muster der *n*-Alkanverteilung zeigt in den unterschiedlichsten Organismen deutliche Variationen. Während im Phytoplankton kurzkettige (*n*-C₁₅, *n*-C₁₇, *n*-C₁₉) *n*- Alkane vorherrschen (Clark 1966, Blumer et al. 1971, Youngblood & Blumer 1973), dominieren in höheren Pflanzen *n*-Alkane mit mehr als 23 C-Atomen (Eglinton & Hamilton 1963, Simoneit 1978). Langkettige *n*-Alkane mit ungerader Kohlenstoffzahl (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉ und *n*-C₃₁) stellen charakteristische Bestandteile in Blattwachsen höherer Landpflanzen dar (Clark 1966, Eglinton et al. 1975, Brassell et al. 1978). Ihre physikalischen Eigenschaften, wie z.B. geringe Flüchtigkeit und Wasserunlöslichkeit, machen diese langkettigen Verbindungen sehr widerstandsfähig. Dies ermöglicht es, sie zur Rekonstruktion des terrestrischen Eintrags von organischem Material zu verwenden (Simoneit et al. 1977, Cranwell 1982, Gagosian & Peltzer 1986, Pahl & Pinto 1987, Villanueva et al. 1997, Fahl et al. 2003).

Eine zusammenfassende Darstellung der in dieser Arbeit ausgewählten klimarelevanten Biomarker befindet sich in Kapitel 4.1 (Tabelle 6).

2 Durchgeführte Arbeiten

2.1 Probenauswahl

Das für dieses Forschungsvorhaben zur Verfügung stehende Probenmaterial wurde während ODP-Leg 177 erbohrt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Proben der Sites 1089 und 1093 hinsichtlich ihrer organisch-geochemischen Basis-Parameter und Biomarker untersucht. Zusätzlich wurden oberflächennahe Proben aus dem Untersuchungsgebiet (Referenzproben) bearbeitet (Tabelle 1). Site 1089 (40°56'S; 9°54'E) befindet sich im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans und grenzt an die Subtropische Front (Abb.1). Site 1093 (49°58,58'S; 05°51,92'E, 3624 m Wassertiefe) wurde südlich der Polarfront im nördlichen Teil der eisfreien Antarktischen Zone abgeteuft (Abb.1). Die Referenzproben PS56/056-4 wurden während der *Polarstern*-Expeditionen ANT-XVII/3 (Arntz & Brey 2001) gewonnen. Bis zur Beprobung wurden die Bohrkern im ODP-Kernlager Bremen bei einer Temperatur von 4°C archiviert. Die Probennahme, Homogenisierung und Trocknung der Proben erfolgte durch die Arbeitsgruppen Drs. R. Gersonde, G. Kuhn und B. Diekmann (Kuhn & Diekmann 2002). Die gefriergetrockneten Proben wurden in ODP-Plastiktüten abgefüllt und bei 4°C bzw. bei Raumtemperatur gelagert.

2.2 Laborarbeiten

In Tabelle 1 sind alle durchgeführten analytischen Arbeiten zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1. Anzahl der untersuchten Proben.

Methode	Site 1089 (40°56'S; 9°54'E)	Site 1093 (49°58,58'S; 05°51,92'E)	PS56/056-4 (40°94'S; 9°89'E)
CNS-Analysen	<i>Kuhn & Diekmann</i>	<i>G.Kuhn</i>	41
Rock-Eval-Analysen	260	233	-
Biomarker			
Gesamtextrakt	164	86	41
<i>n</i> -Alkane	109	86	41
<i>n</i> -Alkohole	126	65	41
Sterole	91	68	41
Fettsäuren	102	86	41
Alkenone	111	-	41
SST	164	-	41

2.2.1 TOC-Gehalte

An den von den Arbeitsgruppen Drs. G. Kuhn und B. Diekmann zur Verfügung gestellten Proben lagen die TOC-Gehalte bereits vor (*Kuhn & Diekmann 2002; Kuhn*, unpubl. Daten) und brauchten daher nicht mehr bestimmt zu werden. Nur an dem zusätzlich gewonnenen oberflächennahen Referenzproben wurden daher die TOC-Gehalte routinemäßig im Leco-CS-Analysator gemessen (Tabelle 1).

2.2.2 Rock-Eval-Pyrolyse

Um eine erste Information über die Herkunft der organischen Substanz (d.h., marin oder terrigen) zu erhalten, wurden Rock-Eval-Pyrolyse-Messungen durchgeführt (Tabelle 1). Die so bestimmten Wasserstoff- (HI in mgHC/gTOC) und Sauerstoffindexwerte (OI in mgCO₂/gTOC) sowie Tmax-Werte (°C) lassen zum einen die Unterscheidung "Kerogen-Typ I/II" (marin) und "Kerogen-Typ III" (terrigen) zu, zum anderen können erste Information über die Reife der organischen Substanz (und damit über das Vorhandensein von älteren, umgelagerten organischen Partikeln) gewonnen werden (*Tissot & Welte 1984*).

2.3 Kontaminationen bei der Biomarkeranalyse

Für die Qualifizierung und Quantifizierung der organischen Biomoleküle sind Probennahme sowie Probenlagerung von fundamentaler Bedeutung. Die Proben, die für diese Arbeit zur Verfügung standen, wurden für sedimentologische und mineralogische Untersuchungen gewonnen und daher in Plastiktüten gelagert. Da durch die Lagerung von Sedimentproben in Plastiktüten chemische Verbindungen freigesetzt werden können, die mit den zu bestimmenden Biomolekülen gaschromatographisch koeluiieren (*Hesse et al. 1979*), warf sich die Frage nach der Repräsentanz der organisch-chemischen Ergebnisse auf. Wie groß ist der Einfluss der Probenlagerung hinsichtlich Kontamination und Verlust der Biomarker? Zur Beantwortung dieser Frage wurden Oberflächenproben (PS56/065-4) aus dem Gebiet von Site 1089 zum Vergleich herangezogen. Diese wurden während der *Polarstern*-Expedition ANT-XVII/3 (*Arntz & Brey 2001*) mittels eines Multicorers genommen, direkt an Bord von *FS Polarstern* tiefgefroren und bis zur weiteren Aufbereitung bei -21 °C gelagert. Die Probennahme erfolgte am gefrorenen Kern in 4 cm-Schritten. Die Kernabschnitte wurden halbiert, zur Hälfte in gespülte Braunglasflaschen gefüllt, in diesen gefriergetrocknet und bei -21 °C zur weiteren Lagerung eingefroren (SG-Proben). Die andere Hälfte wurde in originalen ODP-Plastiktüten abgefüllt und in diesen gefriergetrocknet. Diese Vorgehensweise entspricht der Probenpräparation für Sedimentproben, die hinsichtlich ihrer Basisparameter analysiert wurden. Die Gefrierdrying erfolgte über fünf Tage unter Verwendung der Anlage Lyovac GT2 bei einem Vakuum von ca. 10^{-2} mbar. Anschließend wurde aus den ODP-Tüten eine Teilmenge des Sediments entnommen und in Schraubdeckelgläschen überführt (SZ-Proben). Die Restproben verblieben in den ODP-Tüten (SZ- und ST-Proben) und wurden bis zu Beginn der Probenaufbereitung bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von sechs Wochen gelagert.

Probenaufbereitung

In Abbildung 13 sind die wesentlichen Probenaufbereitungsschritte für die Sedimente des Kerns PS56/065-4 in Form eines Fließdiagrammes dargestellt.

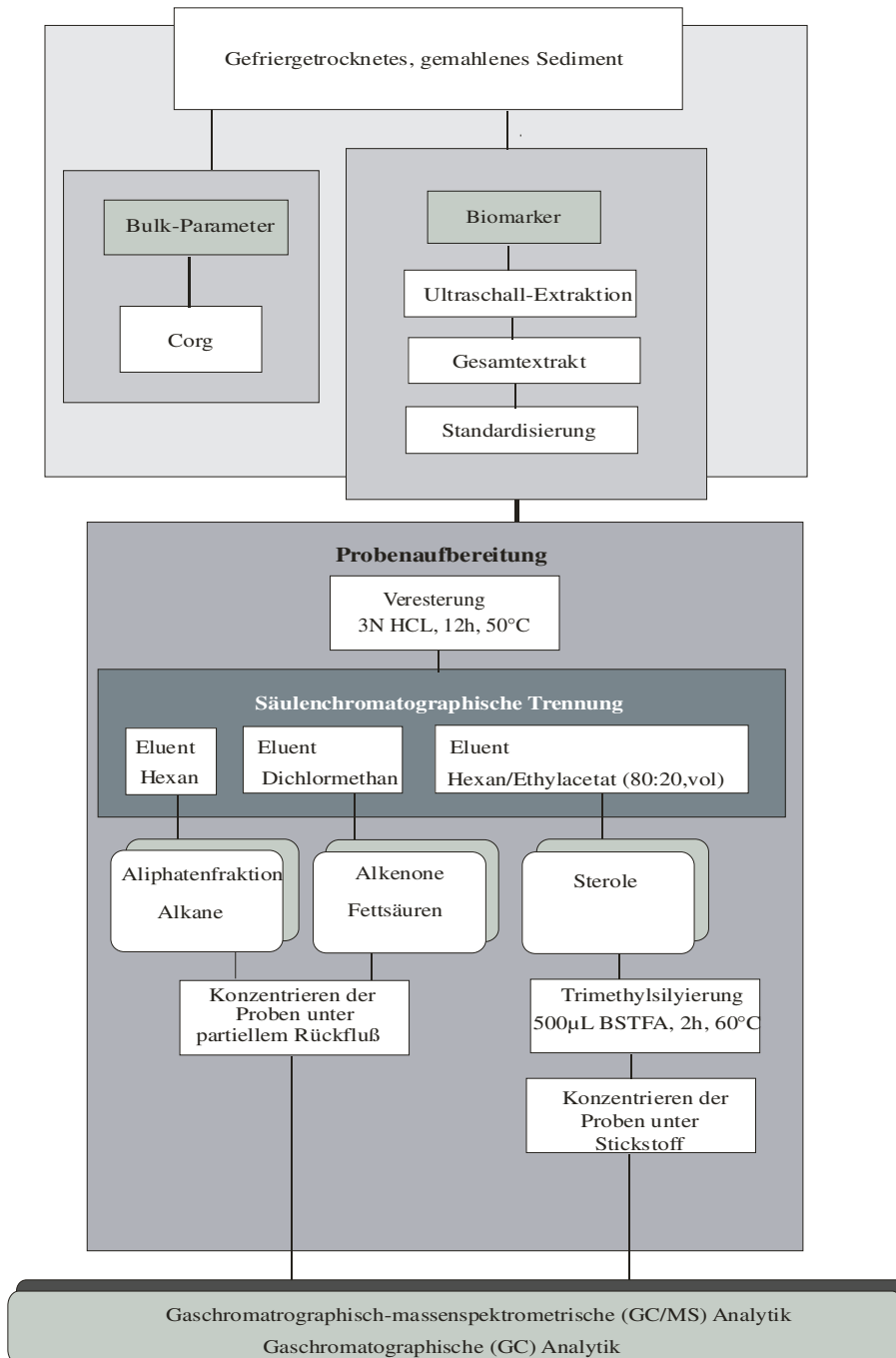


Abb. 13. Vereinfachtes Modell der Probenaufbereitung.

Für die Lipidanalyse wurden 5-8 g des gefriergetrockneten Materials nach *Folch et al. (1957)* und *Bligh & Dyer (1959)* extrahiert und gereinigt. Die Herstellung der Gesamtextrakte erfolgte mittels Ultraschallextraktion. Als Lösungsmittel diente Methanol/Dichlormethan (1+1). Anschließend wurden die mittels einer 0,88% KCL-Lösung gereinigten und über Na₂ SO₄ getrockneten Extrakte am Rotationsverdampfer auf 0,5 ml volumenreduziert und mit 3N methanolischer HCL (12h, 50°C) verestert.

Langkettige trimethylsilylierte Fettsäuremoleküle koeluierten gaschromatographisch mit den Sterolen. Die Anwesenheit langkettiger *n*-Fettsäuren (>*n*-C_{29:0}) setzt folglich eine chromatographische Trennung der Fettsäuren von den Sterol-Fractionen voraus. Hierzu wurden die veresterten, bis auf 1 ml volumenreduzierten Gesamtextrakte über eine wie in Kapitel 2.4.2 beschriebene konditionierte Säule gegeben. Die Trennung der *n*-Alkane erfolgte mittels 5 ml Hexan. Zur anschließenden Eluierung der Fettsäuremethylester wurden 4 ml Dichlormethan verwendet. Die Sterolfractionen wurden mit 5 ml Ethylacetat/Hexan (20% v/v Ethylacetat in Hexan) chromatographiert. Die erhaltenen Alkanfractionen wurden am Rotationsverdampfer (40°C/300 mbar) bis auf einem Rückstand von 0,5-1 ml eingeeengt. Das Aufkonzentrieren der Alkanfractionen auf ca. 100 µl erfolgte im Düngegefäß (siehe unten). Die Fettsäurefractionen wurden mit ca. 2 ml Hexan versetzt und am Rotationsverdampfer (40°C/300 mbar) fast bis zur Trockne (Rückstand 0,5-1 ml) eingeeengt. Das Aufkonzentrieren der Probe auf 100 µl erfolgte im Düngegefäß. Die mittels Hexan/Ethylacetat eluierten Sterolfractionen wurden anschließend einer Trimethylsilylierung unterzogen. Hierzu wurde die Fraktion mit ca. 2 ml Hexan versetzt, am Rotationsverdampfer (40°C/200 mbar) fast bis zur Trockne eingeeengt (Rückstand: 0,5 bis 1 ml), in ein Autosamplergläschen überführt, unter Stickstoff vom restlichen Lösungsmittel befreit, mit 500 µl BSTFA versetzt und im Heizblock über zwei Stunden bei 60°C silyliert. Nach dem Abkühlen wurden die Extrakte unter Stickstoff bis zur Trockne eingeeengt und zur gaschromatographischen Quantifizierung bzw. massenspektrometrischen Identifizierung in 100 µl Hexan aufgenommen.

Die Standardisierung der Extrakte und die gaschromatographische Quantifizierung der einzelnen Komponenten erfolgten in Analogie zu Kapitel 2.5. Die Fettsäureverbindungen wurden jedoch nicht wie in Kapitel 2.5.3 beschrieben über Octacosansäuremethylester (*n*-C_{28:0}), sondern über Nonadecansäuremethylester (*n*-C_{19:0}) quantifiziert, da auch kurzkettige Fettsäuremoleküle mit erfasst werden sollten.

Konzentrieren der Probe bis in den Mikroliterbereich unter partiellem Rückfluss

Eine schonende Aufkonzentrierung der Extrakte bis in den Mikroliterbereich ist für die quantitative Erfassung von kurzkettigen *n*-Alkanen (*n*-C₁₇ und *n*-C₁₉) und kurzkettigen Fettsäuren (*n*-C_{16:0}, *n*-C_{16:1}, *n*-C_{18:0}, *n*-C_{18:1}) von fundamentaler Bedeutung. Das Einengen der Proben unter partiellem Rückfluss gem. *Dünges et al. (1990)* stellt eine schonende Methode dar.

Die Düngesgefäße wurden für dieses Forschungsvorhaben extra von der Firma Jürgens in Bremen angefertigt. Hierzu wurden die säulenchromatographisch getrennten Extrakte fast bis zur Trockne eingengt (Rückstand ca. 0,5 ml) und mittels einer Pasteurpipette in das von Dünges entwickelte Gefäß überführt. Anschließend wurde der Extrakt im Sandbad (Sandbadtemperatur: 120°C) bis zum Sieden erhitzt. Die Öffnung des von Dünges entwickelten Spitzkolbens wurde mit einem leichten Stickstoffstrom besprüht, um gasförmiges Hexan am Kopf der rückfliessenden Flüssigkeit abzublasen. Hierbei war darauf zu achten, dass sich am oberen Rand des Düngesgefäßes (ca. 5 mm unterhalb des Stickstoffstromes) ein konstanter Meniskus einstellte, da die Innenwand des Gefäßes stets mit einem Flüssigkeitsfilm bedeckt sein muss. Würde der Film abreißen, so käme nachströmendes Produkt mit einer überhitzten Oberfläche in Berührung und eine schonende Konzentrierung wäre nicht mehr gewährleistet. Spätestens dann, wenn der Meniskus abreißt, muss die Probe aus dem Sandbad entfernt werden. Das in diesem Fall verbleibende Volumen beträgt 50 µl-100 µl (modifiziert nach *Dünges et al. 1990*). Es hat sich gezeigt, dass ein sicheres Reduzieren der organischen Extrakte von 0,5 ml auf 100 µl unter Verwendung der Dünges-Gefäße gewährleistet werden kann.

Ergebnisse

Die anschließend durchgeführten GC/MS-Analysen (Kapitel 2.5.1, 2.5.2) haben gezeigt, dass die Hauptkomponenten in der Lipidzusammensetzung zum größten Teil aus einem „Bluten“ der ODP-Plastiktüten resultieren (Abb.14-16).

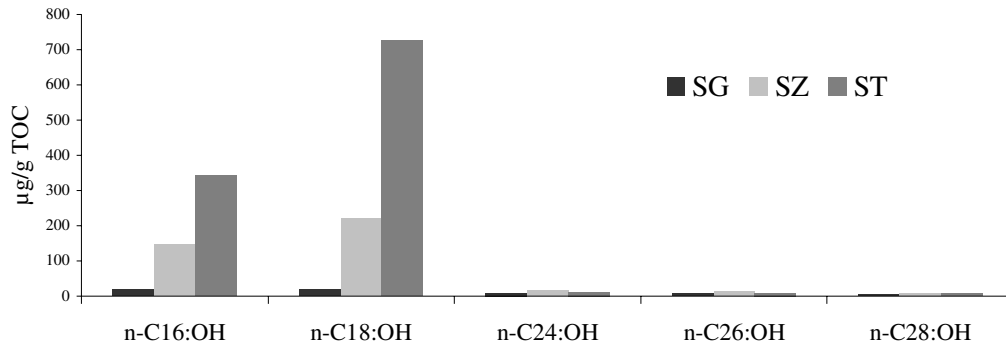


Abb. 14. Summe der $n\text{-C}_{16:0\text{H}^-}$, $n\text{-C}_{18:0\text{H}^-}$, $n\text{-C}_{24:0\text{H}^-}$, $n\text{-C}_{26:0\text{H}^-}$ und $n\text{-C}_{28:0\text{H}^-}$ Alkoholkonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$) in Abhängigkeit von der Probenlagerung.

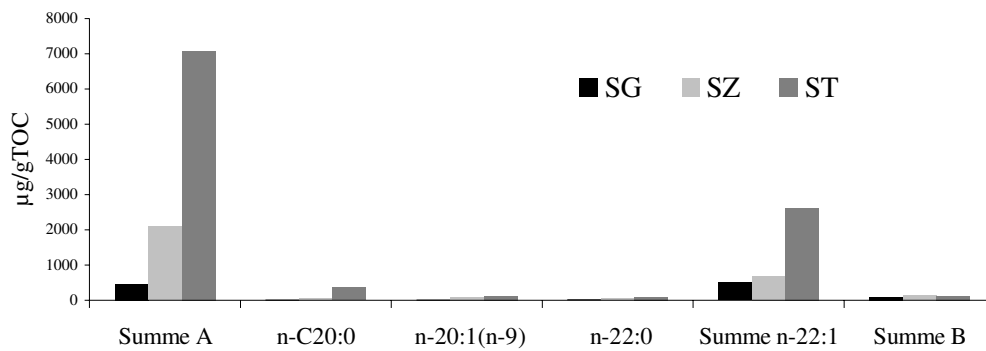


Abb. 15. Fettsäurekonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$), Summe A ($n\text{-C}_{16:0}$, $n\text{-C}_{16:1(n-7)}$, $n\text{-C}_{16:1(n-5)}$, $n\text{-C}_{18:0}$, $n\text{-C}_{18:1(n-9)}$, $n\text{-C}_{18:1(n-7)}$, $n\text{-C}_{20:0}$, $n\text{-C}_{20:1(n-9)}$, $n\text{-C}_{22:0}$, Summe $n\text{-C}_{22:1}$ ($n\text{-C}_{22:1(n-11)}$, $n\text{-C}_{22:1(n-9)}$), Summe B ($n\text{-C}_{24:0}$ bis $n\text{-C}_{27:0}$) in Abhängigkeit von der Probenlagerung.

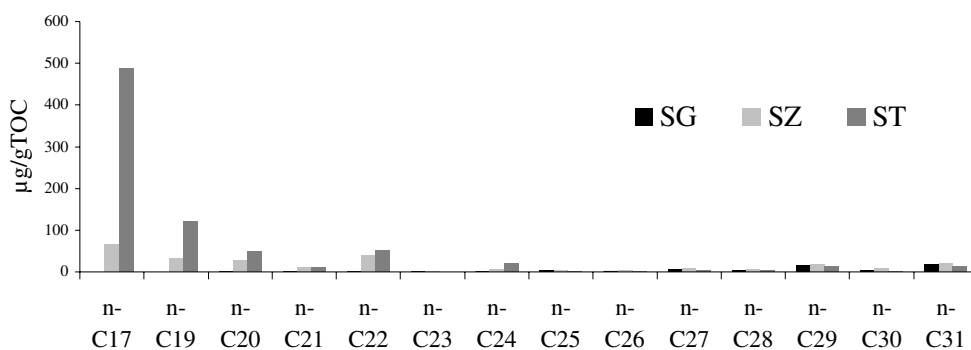


Abb. 16. Summe der $n\text{-C}_{17^-}$ bis $n\text{-C}_{26^-}$ und $n\text{-C}_{27^-}$, $n\text{-C}_{29^-}$, $n\text{-C}_{31^-}$ Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$) in Abhängigkeit von der Probenlagerung.

Die in den Plastiktüten gelagerten Sedimente (ST-Proben) weisen im Mittel vierunddreißigfach höhere Konzentrationen an Hexadecanol ($n\text{-C}_{16:\text{OH}}$) und Octadecanol ($n\text{-C}_{18:\text{OH}}$) auf als die Sedimente, die nie mit den original ODP-Tüten in Berührung gekommen sind (SG). Allein die Gefrieretrocknung der Sedimente in diesen Tüten (SZ) erhöht die Konzentrationen der kurzkettigen Alkohole um das fünfzehnfache (Abb. 14). Kurzkettige Fettsäuren (Summe A aus $n\text{-C}_{16:0}$, $n\text{-C}_{16:1(n-7)}$, $n\text{-C}_{16:1(n-5)}$, $n\text{-C}_{18:0}$, $n\text{-C}_{18:1(n-9)}$ und $n\text{-C}_{18:1(n-7)}$) zeigen bis zu sechzehnfach höhere Konzentrationen, wenn sie in ODP-Tüten gefriergetrocknet und gelagert werden. In den Extrakten der ST-Proben können weiterhin bis zu zehnfach höhere Konzentrationen an Erucasäure ($n\text{-C}_{22:1}$) (Summe aus beiden Isomeren) detektiert werden (Abb. 15). Die Situation bei den kurzkettigen n -Alkanen ($n\text{-C}_{17}+n\text{-C}_{19}$) stellt sich noch drastischer dar. In den Extrakten der ST-Proben konnten im Vergleich zu den in Braunglasflaschen gelagerten Proben (SG) über tausendfach höhere Konzentrationen quantifiziert werden (Abb. 16).

Es hat sich weiterhin gezeigt, dass in den Kohlenwasserstofffraktionen der in ODP-Plastiktüten gelagerten Sedimenten, chromatographisch nicht trennbare Verbindungen dominieren (UCM = **U**nresolved **C**omplex **M**ixture). Das Maximum dieser Verbindungen korreliert mit den Peakflächen der löslichen Kohlenwasserstoffe und findet ihr Maximum bei $n\text{-C}_{18}$ bis $n\text{-C}_{19}$ (Abb. 17).

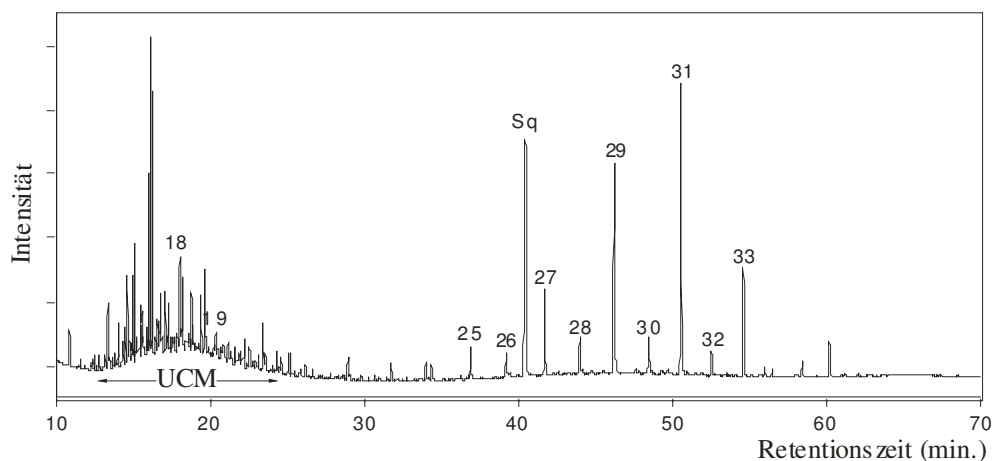


Abb. 17. Repräsentatives Gaschromatogramm einer Aliphatenfraktion aus in ODP-Tüten gelagerten Sedimentextrakten. Die Zahlen entsprechen den Kohlenstoffzahlen der entsprechenden n -Alkane. Der interne Standard ist in diesem Fall Squalan (Sq).

Die Präsenz dieser komplexen Mischung (UCM) wird oft als ein diagnostisches Tool für Petroleum-Kontamination gehalten. *Laureillard et al. (1995)* fanden diesen UCM in Sedimentproben des Indischen Sektors der antarktischen Polarfront. *Venkatesan & Kaplan (1982)* detektierten diese verzweigten und zyklischen Kohlenwasserstoffe in Sedimentproben aus dem Golf von Alaska und schrieben diesen einen biologischen Ursprung zu. Die Untersuchungsergebnisse von *Laureillard et al. (1995)* untermauern die Theorie des natürlichen Ursprungs. *Volkman et al. (1992)* zweifelten diese These jedoch an. Die Präsenz dieser komplexen Mischung (UCM) in den Extrakten der im Rahmen dieser Arbeit analysierten Sedimente belegt eindeutig, dass diese auf Kontaminationen, die durch die ODP-Tüten hervorgerufen wurden, zurückgeführt werden kann, da die SG-Proben im Gegensatz zu den ST-Proben frei von chromatographisch nicht trennbaren Verbindungen (UCM) waren (Abb. 18).

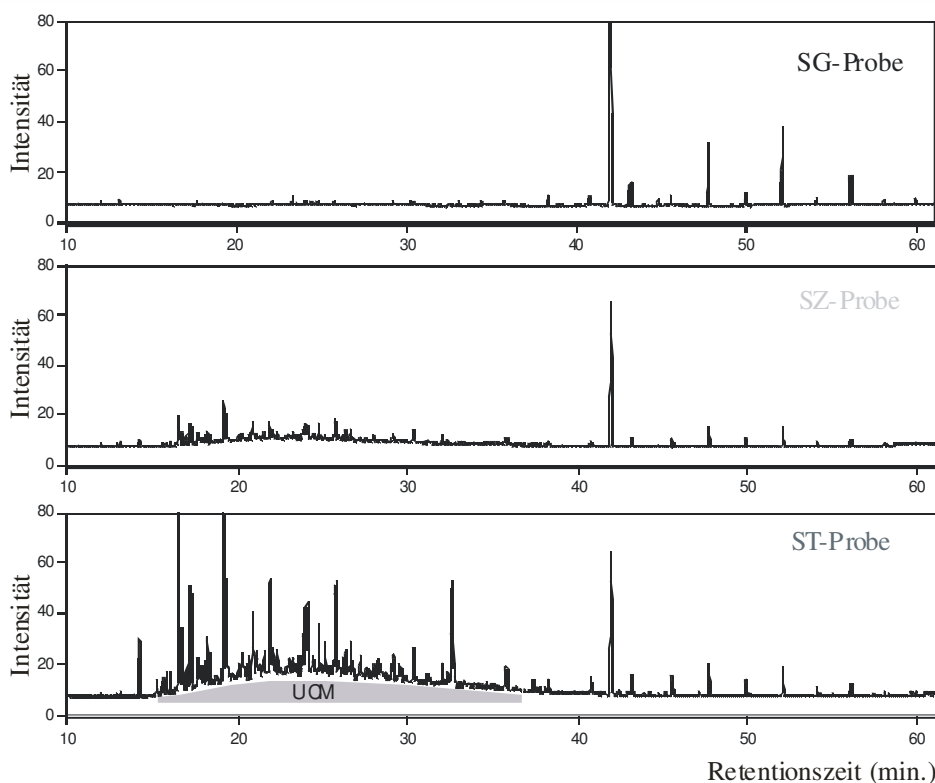


Abb. 18. Repräsentative Gaschromatogramme der Aliphatenfraktionen in Abhängigkeit von der Probenlagerung.

In den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Sedimentproben konnte weiterhin die Komponente Erucamid, die als ein diagnostischer Hinweis für Kontaminationen angesehen werden kann, identifiziert werden. Bereits *Hoefs et al. (2002)* detektierten Erucamid in den Extrakten der während ODP Leg 157 erbohrter Sedimente. Der Extrakt ihrer nicht gebundenen Lipidfraktion weist auch dort einen UCM auf. *Hoefs et al. (2002)* wählten für die Probenlagerung „geochemical bags“. *Sachs und Lehman (1999)* dokumentierten, dass Sedimentkerne, die in Whirl-PAK Plastiktüten gelagert wurden, Verbindungen aufzeigten, die die gleichen Retentionszeiten wie das dreifachungesättigte C₃₇-Alkenon aufwiesen.

Diese Voruntersuchungen zum Einfluß der Kontaminationen haben weiterhin gezeigt, dass die Sterol- und Alkenonkonzentrationen (Abb. 19) sowie die langkettigen Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$ bis $n\text{-C}_{27:0}$) unabhängig von der Probenlagerung waren (Abb. 15) und die Datensätze im Hinblick auf die Paläoumweltbedingungen interpretiert werden können. Zum anderen ließ die Qualität des Probenmaterials die quantitative Bestimmung langkettiger n -Alkane ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$) (Abb. 16) und langkettiger n -Alkohole ($n\text{-C}_{24:\text{OH}}$, $n\text{-C}_{26:\text{OH}}$, $n\text{-C}_{28:\text{OH}}$) (Abb. 14) zu.

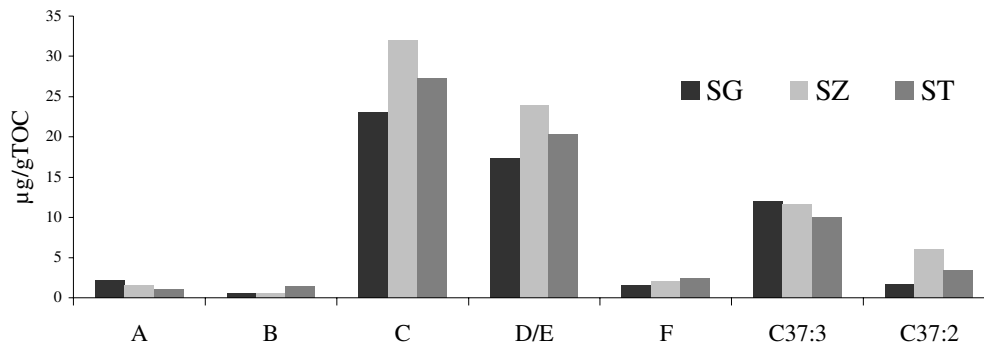


Abb. 19. Sterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), A: Brassicasterol, B: 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol, C: Summe 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol und 24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol, D/E: Summe 24-Ethylcholest-5-en-3 β -ol und 24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol, F: Dinosterol, Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), C_{37:3} (C_{37:3}-Alkenon), C_{37:2} (C_{37:2}-Alkenon) in Abhängigkeit von der Probenlagerung.

2.4 Probenaufbereitung für Biomarker (Site 1089 und 1093)

Die im Kapitel 2.3 beschriebenen Ergebnisse zum Einfluß der Kontaminationen in den Biomarkerdaten haben gezeigt, dass die Qualität des vorhandenen Probenmaterials keine quantitative Bestimmung kurzkettiger Biomoleküle zuließ. Auf ein aufwendiges Konzentrieren der Proben unter partiellem Rückfluss konnte daher verzichtet werden.

Abbildung 20 zeigt die wesentlichen Probenaufbereitungsschritte für die Sedimente der Sites 1089 und 1093 in Form eines Fließdiagrammes.

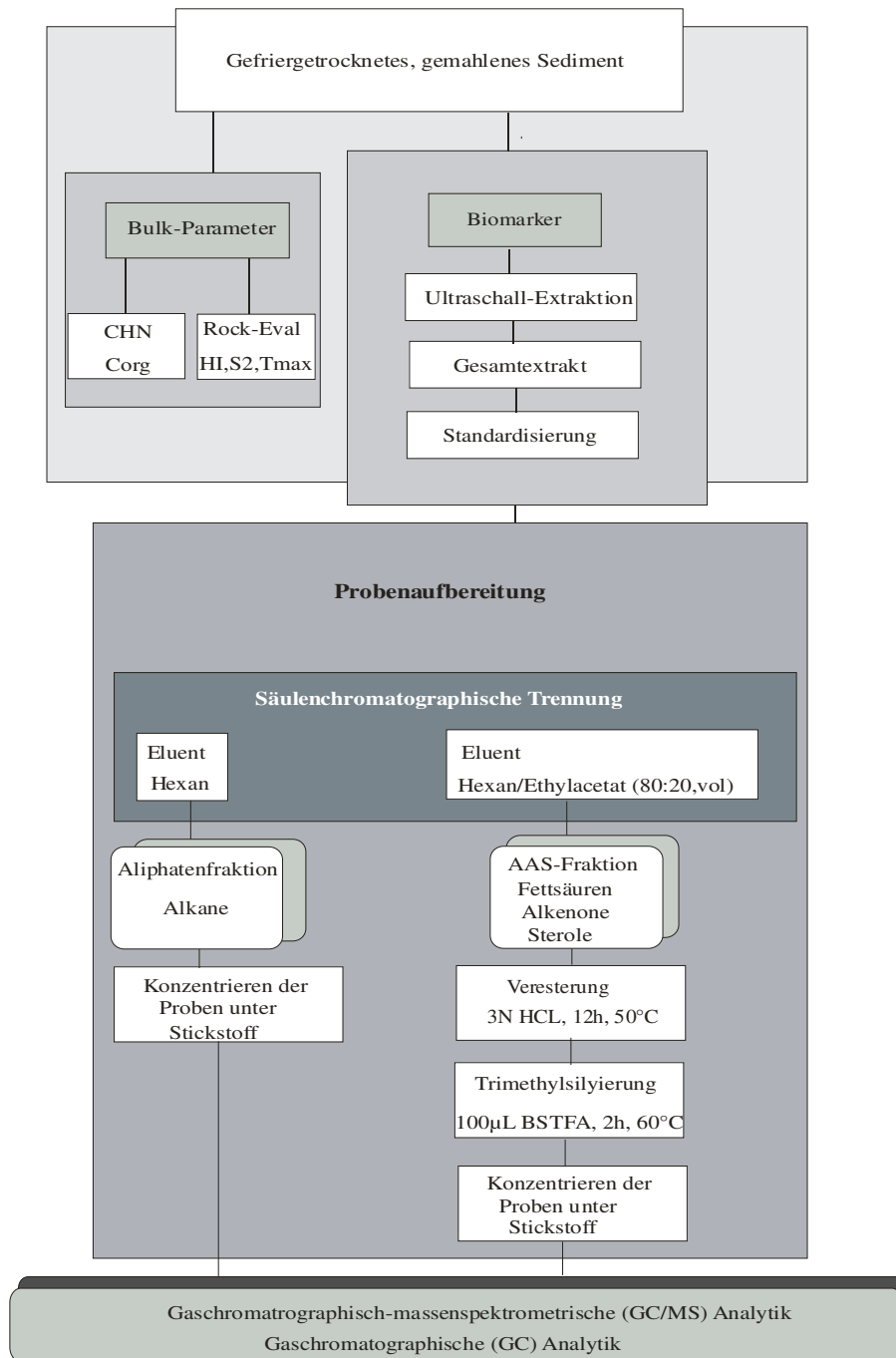


Abb. 20. Vereinfachtes Modell der Probenaufbereitung für die Sedimente von Site 1089 und Site 1093.

2.4.1 Herstellung der Gesamtextrakte

Für die Lipidanalyse wurden 5-8 g des gefriergetrockneten Materials nach *Folch et al. (1957)* und *Bligh & Dyer (1959)* extrahiert und gereinigt. Je ein Aliquot der Gesamtextrakte diente der Analyse von *n*-Alkanen, Sterolen, *n*-Alkoholen, Alkenonen und Fettsäuren.

Die Herstellung der Gesamtextrakte erfolgte mittels Ultraschallextraktion. Hierzu wurden die gefriergetrockneten Sedimente mit 40 ml Methanol versetzt und 15 min im Ultraschallbad extrahiert. Eine Kühlung des Ultraschallbades war

hierbei zwingend erforderlich. Der Extraktionsschritt wurde mit 40 ml eines Lösungsmittelgemisches aus Methanol/ Dichlormethan (1+1) und 40 ml Dichlormethan wiederholt. Zwischen den einzelnen Extraktionsschritten wurde die Probe bei 2000 upm (3 min) zentrifugiert und das Lösungsmittel in einen 250 ml-Schütteltrichter abdekantiert. Anschließend wurden die Extrakte mit 40 ml 0,88% Kaliumchloridlösung (KCl) gereinigt. Die organische Phase wurde über vorextrahierte Watte mit einer darüber liegenden Schicht Natriumsulfat (Na_2SO_4) abfiltriert und die wässrige Phase mit 5 ml Dichlormethan nachextrahiert. Das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Na_2SO_4 wurde zuvor im Muffelofen bei 500 °C ausgeglüht.

Die Extrakte wurden am Rotationsverdampfer zunächst bei 40 °C/700 mbar und anschließend bei 40 °C/200 mbar volumenreduziert, im leichten Stickstoffstrom vom restlichen Lösungsmittel befreit und in 4ml Hexan aufgenommen.

Die Gesamtextrakte wurden anschließend säulenchromatographisch getrennt.

2.4.2 Säulenchromatographische Trennung

Zur Säulenchromatographie wurde eine mit vorextrahierter Watte verschlossene Pasteurpipette ca. 4,5 cm hoch mit Kieselgel gefüllt. Dem folgte eine dünne Trennschicht Watte und eine weitere 1 cm hohe Schicht ausgeglühtes Na_2SO_4 . Die Säule wurde mit 1 ml Hexan/Ethylacetat (80:20, vol.), 1 ml Dichlormethan und 5 ml Hexan konditioniert.

Zur säulenchromatographischen Trennung der *n*-Alkane wurden 4 ml Hexan als Eluent verwendet. Die Alkenon-, *n*-Alkohol-, Sterol- und Fettsäurefraktion (AASF-Fraktion) wurden mittels 4 ml Hexan/Ethylacetat (80:20, vol.) eluiert.

Die erhaltenen Alkanfraktionen wurden im Rotationsverdampfer (40 °C/200 mbar) fast bis zur Trockne eingengt, in ein Autosamplerfläschchen überführt, unter einem leichten Stickstoffstrom bis zur Trockne eingedampft und mit 100 μl Hexan aufgenommen.

Die mittels Hexan/Ethylacetat eluierten Fraktionen wurden anschließend verestert und silyliert. Hierzu wurde die Fraktion am Rotationsverdampfer (40 °C/200 mbar) fast bis zur Trockne eingengt (Rückstand: 0,5 bis 1 ml) und in ein Reagenzglas überführt.

2.4.3 Veresterung und Trimethylsilylierung

Ein Aliquot der entsprechenden Probe (Alkenon-, *n*-Alkohol-, Sterol- und Fettsäurefraktion) wurde nach der säulenchromatographischen Trennung der Gesamtextrakte unter Stickstoff vom Lösungsmittel befreit, mit 1 ml wasserfreier 3N methanolischer Salzsäure versetzt und über 12 Stunden bei 50 °C im Heizblock ver- bzw. umgeestert (modifiziert nach *Christie 1982* und *Conte et al. 1992*).

Nach dem Abkühlen wurden die Proben dreimal mit je 2 ml Hexan extrahiert und am Rotationsverdampfer volumenreduziert. Der Rückstand von ca. 1 ml wurde in ein Autosamplergläschen überführt, unter Stickstoff vom restlichen

Lösungsmittel befreit und in 100 µl Hexan aufgenommen. Die Proben wurden mit 100 µl BSTFA (N,O-Bis-(trimethylsilyl)-trifluoracetamid mit 1 % Chlorsilan) versetzt und im Heizblock über zwei Stunden bei 60 °C silyliert (modifiziert nach *Fahl & Stein 1999*).

Nach dem Abkühlen wurden die Extrakte unter Stickstoff bis zur Trockne eingengt und zur gaschromatographischen Quantifizierung bzw. massenspektrometrischen Identifizierung mit 100 µl Hexan aufgenommen.

2.5 Qualitative und quantitative Biomarker-Analyse

Erste Voruntersuchungen zeigten, dass die Quantifizierung der Biomarker eine massenchromatographische Identifizierung der Komponenten voraussetzte. Eine gaschromatographische Bestimmung der Biomoleküle, wie sie im Routinebetrieb durchgeführt wird, war aufgrund der komplexen Zusammensetzung der Gesamtextrakte nicht möglich.

2.5.1 Gaschromatographische (GC) Analytik

Die gaschromatographischen Analysen wurden mit einem Gaschromatographen (GC) der Firma Hewlett Packard unter folgenden Analysenbedingungen durchgeführt:

GC	HP 6890
Injektor	Gerstel® KAS 4 (Kaltaufgabesystem)
	Temperaturprogramm: 60 °C (10s), 300 °C (60s), Rate 12 °C/s
Inj.-Volumen	1 µl, 2 min splitless (Autosampler)
Trägergas	Helium (1,5 ml/min, constant flow)
Trennsäule	30 m x 0,25 mm ID Quarzkapillare (J & W Scientific) DB5-MS; 0,25 µm Filmstärke Temperaturprogramm: 60 °C (2 min), 150 °C (Rate: 15 °C/min), 320 °C (Rate: 3 °C/min), 320 °C (10 min isotherm)
Detektor	FID; synth. Luft 450 ml/min, H ₂ 40 ml/min

Die Datenaufnahme erfolgte on-line mit einem Rechnersystem und die Datenauswertung mit der Software *HP ChemStation* der Firma Hewlett Packard. Die Nachweisgrenze (NG) wurde auf 1 ng/µl definiert.

2.5.2 Gaschromatographisch-massenspektrometrische (GC/MS) Analytik

Die gaschromatographische-massenspektrometrischen (GC-MS-) Analysen wurden mit einem MSD der Firma Hewlett Packard unter folgenden Analysenbedingungen durchgeführt:

GC	HP 5890 Series II
Injektor	Split/Splitless; Temperatur: 280 °C, 1,5 min splitless bei 60 °C
Trärgas	Helium (1ml/min constant flow)
Trennsäule	30 m x 0,25 mm ID Quarzkapillare (J & W Scientific) DB5-MS; 0,25 µm Filmdicke
	Temperaturprogramm: 60 °C (2 min), 150 °C (Rate: 15 °C/min), 320 °C (Rate: 3 °C/min), 320 °C (10 min isotherm)
MS	MSD, HP 5972
Ionisierungsenergie	70 eV
Scangeschwindigkeit	1 scan/s
Scanbereich	50-650 m/z
GC/MS- Interfacetemp.	280 °C
Ionenquellentemperatur	175 °C

Die Datenaufnahme erfolgte on-line mit einem Rechnersystem und die Datenauswertung mit der Software *HPChemStation* der Firma Hewlett Packard. Die Nachweisgrenze befindet sich bei 10 ng/µl.

2.5.3 Identifizierung und Quantifizierung der Biomarker

Die Quantifizierung der Biomarker erfolgte über eine interne Standardisierung der Gesamtextrakte. Hierbei dienten Squalan, Cholest-5-en-3β-ol-d₆ (d₆-Cholesterol), Untriacosanolsäuremethylester (*n*-C_{31:0}), Octacosansäuremethylester (*n*-C_{28:0}), und Nonadecansäuremethylester (*n*-C_{19:0}) als interne Standards (ISTD). Die Zugabe der internen Standards erfolgte zu Beginn der Probenaufbereitung. Die Zuordnung und Quantifizierung der Biomoleküle erfolgte gaschromatographisch aufgrund von Vergleichen relativer Retentionszeiten mit Standardgemischen. Die Identifizierung der Komponenten wurde anhand charakteristischer Fragmente im Massenspektrum verifiziert.

Quantifizierung der Alkenone und der Fettsäuren

Die Verbindungen wurden über die Flächen ihrer FID-Signale relativ zum internen Standard quantifiziert. Die Quantifizierung der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) und der Alkenone (Fahl & Stein 1999) erfolgte über Octacosansäuremethylester ($n\text{-C}_{28:0}$) bzw. Untriacosanolsäuremethylester ($n\text{-C}_{31:0}$) als interne Standards.

Voruntersuchungen ohne Zugabe von internen Standards haben ergeben, dass $n\text{-C}_{28:0}$ einen natürlichen Anteil in den Fraktionen aufweist. Die Menge an natürlichem $n\text{-C}_{26:0}$ und $n\text{-C}_{28:0}$ wurde in 50 Gesamtextrakten (Tabelle A-18, Anhang) über $n\text{-C}_{31:0}$ quantifiziert. Es hat sich gezeigt, dass die Flächen der $n\text{-C}_{26:0}$ -FID-Signale sehr gut mit den Flächen der $n\text{-C}_{28:0}$ -FID-Signale korrelieren. ($R^2 = 0,9239$, Abb. 21). Damit lässt sich der Anteil des natürlichen $n\text{-C}_{28:0}$ an der Gesamtfläche des internen Standards $n\text{-C}_{28:0}$ relativ genau bestimmen, wodurch eine Korrektur der internen Standardfläche ($n\text{-C}_{28:0}$) um den natürlichen Anteil an Octacosansäuremethylester möglich wird.

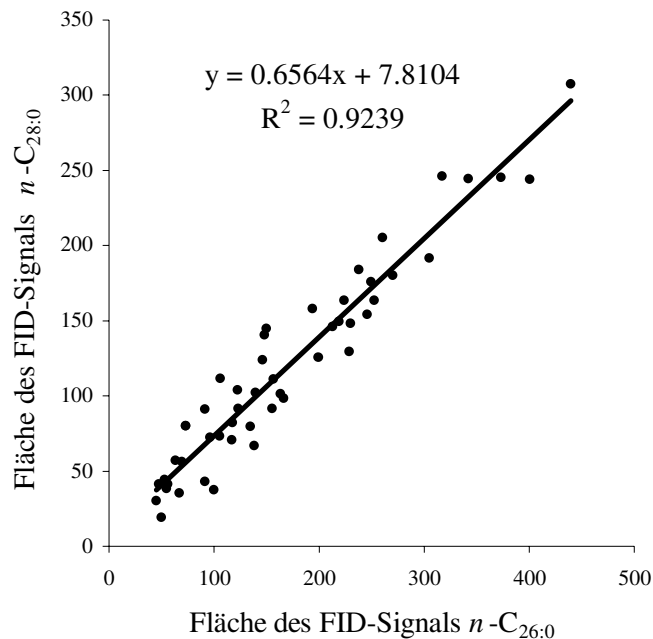


Abb. 21. Regressionsgerade der Flächen der FID-Signale $n\text{-C}_{26:0}$ und $n\text{-C}_{28:0}$.

Zur genaueren Korrektur der internen Standardfläche wurde folgende Gleichung eingesetzt:

$$y = 0,6564x + 7,8104 \quad Z = i - y$$

$$y = \text{Fläche des FID-Signals } n\text{-C}_{28:0} \quad z = \text{korrigierte interne Standardfläche } (n\text{-C}_{28:0})$$

$$x = \text{Fläche des FID-Signals } n\text{-C}_{26:0} \quad i = \text{Fläche des FID-Signals der internen Standardfläche } (n\text{-C}_{28:0})$$

Abb. 22 zeigt, daß die Flächen der natürlichen n -C_{28:0}-FID-Signale (28:0 nat) in etwa 18% der Standard n -C_{28:0} Flächen entsprechen.

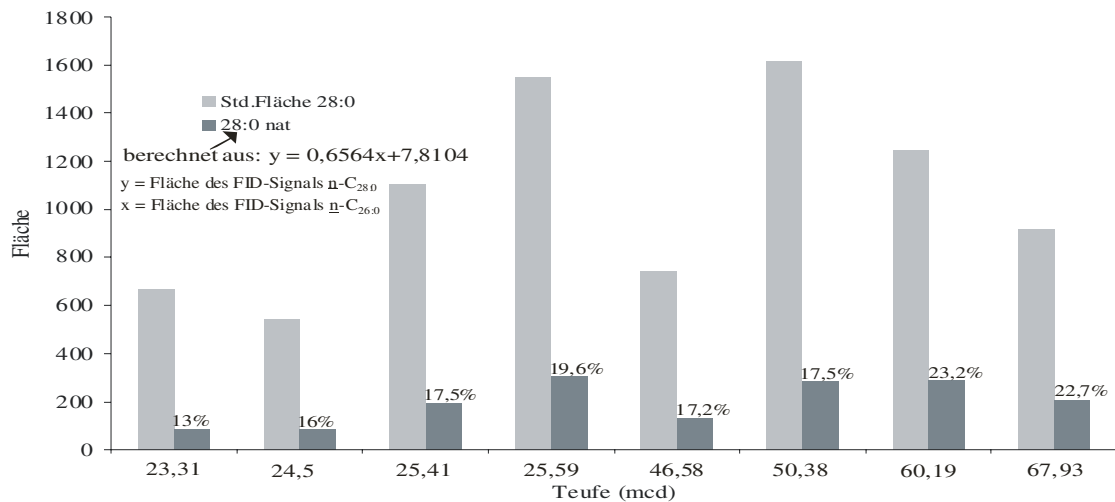


Abb. 22. Natürliches n -C_{28:0} im Site 1089 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd).

Um diese Vorgehensweise zu verifizieren, wurden acht Sedimentproben (Site 1089) mit n -C_{19:0}, d₆-Cholesterol und n -C_{28:0}-Standard versetzt und hinsichtlich ihrer Alkenonkonzentrationen quantifiziert. Abbildung 23 verdeutlicht beispielhaft die Ergebnisse. Die über n -C_{19:0} quantifizierten C_{37:3}-Alkenone weisen im Mittel 13% höhere Gehalte als die über d₆-Cholesterol quantifizierten Alkenone auf (Abb. 23). Abbildung 23 zeigt weiterhin, dass die über den korrigierten n -C_{28:0}-Standard ermittelten C_{37:3}-Konzentrationen mit den über n -C_{19:0} bestimmten Konzentrationen übereinstimmen. Die Abweichungen variieren zwischen 0% und 9%. (Bei der ODP 177-1089C-6H-2, 61,5-64 cm-Probe (mcd 46,58) scheint die Quantifizierung über n -C_{19:0} falsch zu sein, da über n -C_{19:0} und d₆-Cholesterol die gleiche C_{37:3}-Konzentration bestimmt werden konnten.)

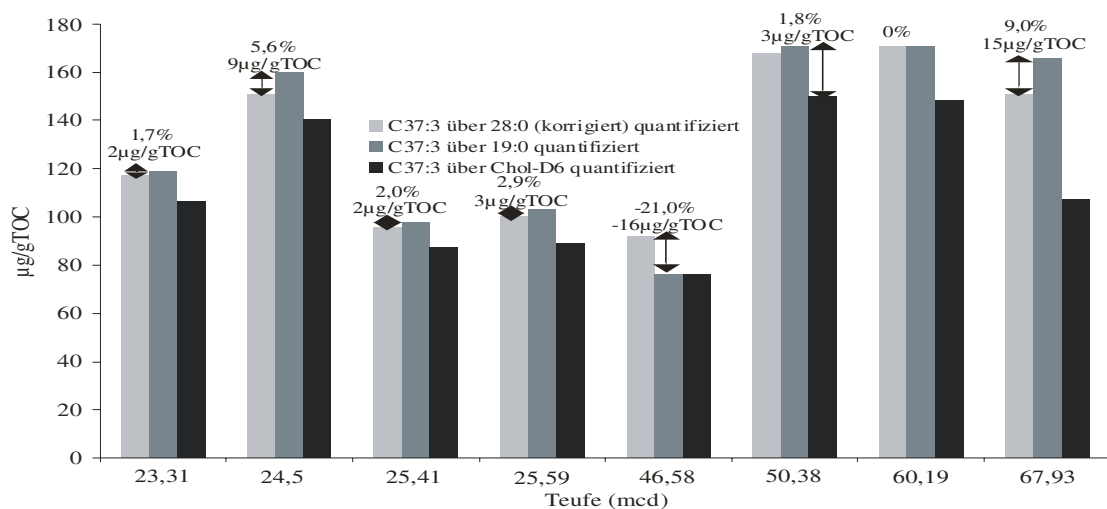


Abb. 23. C_{37:3}-Konzentrationen (µg/gTOC) im Site 1089 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd).

Die Berechnung der Alkenonkonzentrationen mit verschiedenen Standards zeigt, dass sich der korrigierte n -C_{28:0}-Standard zur Quantifizierung der langkettigen Fettsäuren (n -C_{24:0}, n -C_{25:0}, n -C_{26:0}, n -C_{27:0}) und der Alkenone eignet. Octacosansäuremethylester (n -C_{28:0}) weist eine ähnliche Retentionszeit wie n -C_{24:0}, n -C_{25:0}, n -C_{26:0} und n -C_{27:0} auf, wodurch eventuell auftretende Matrixeffekte oder Geräteschwankungen, die einen Einfluß auf die Quantifizierung der organischen Moleküle haben können, ausgeschlossen werden können.

Quantifizierung der n -Alkohole und der Sterole

Die Quantifizierung der n -Alkohole und der Sterole erfolgte über d₆-Cholesterol (Chol-D₆). Die Flächen der FID-Signale des deuterierten Standards koeluierten mit den Flächen von natürlich vorkommendem Cholesterol (Chol.nat). Infolgedessen wurde der prozentuale Anteil von deuteriertem und natürlichem Cholesterol an der Gesamtpeakfläche massenchromatographisch ermittelt. Die Quantifizierung der einzelnen Verbindungen erfolgte über typische Ionenspuren in den Massenchromatogrammen der AASF-Fractionen. Natürliches Cholesterol wurde über die Peakfläche des Fragmentions m/z 368 und d₆-Cholesterol über die Peakfläche des Ions m/z 374 quantifiziert. Die Peakflächen der charakteristischen Massenspuren wurden mit der entsprechenden Gesamtpeakfläche im Totalionenstromchromatogramm (TIC) ins Verhältnis gesetzt.

Identifizierung und Quantifizierung der n -Alkane

Die Zuordnung der n -Alkane erfolgte in den Aliphatenfraktionen aufgrund von Vergleichen relativer Retentionszeiten mit Standardgemischen (n -C₁₄ bis n -C₃₈). Die Verbindungen wurden über die Flächen ihrer FID-Signale relativ zum internen Standard Squalan (Sq) quantifiziert.

2.6 Biomarker und Paläooberflächenwassertemperaturen

Neben den Routinebestimmungen von organischem Kohlenstoff, Karbonat und Rock-Eval-Parametern lag der methodische Schwerpunkt auf der Biomarkerbestimmung mittels Gaschromatographie und Gaschromatographie/Massenspektrometrie. Um genauere Aussagen hinsichtlich der Phytoplanktonproduktivität und der Oberflächenwassertemperatur treffen zu können, wurden die ungesättigten C₃₇-Alkenone bestimmt.

Brassell et al. (1986) beobachteten, dass der Anteil der höher ungesättigten Methylketone zunimmt, wenn die Wassertemperatur abnimmt, bei der die Algen diese Substanzen synthetisieren. Basierend auf dieser beobachteten Temperaturabhängigkeit definierten *Brassell et al. (1986)* den U^K₃₇-Index:

$$U_{37}^K = \frac{[C_{37:2}] - [C_{37:4}]}{[C_{37:2} + C_{37:3} + C_{37:4}]}$$

U^K₃₇ = Untersättigungsgrad der Alkenone

Da das vierfach ungesättigte Keton bevorzugt bei kalten Temperaturen synthetisiert wird und sich somit das Vorkommen der C_{37:4}-Alkenone überwiegend auf die hohen Breiten beschränkt (*Brassell 1993*), vereinfachten *Prahl & Wakeham (1987)* den U^K₃₇-Index zum U^{K'}₃₇-Index.

$$U_{37}^{K'} = \frac{[C_{37:2}]}{[C_{37:2} + C_{37:3}]}$$

Kulturexperimente mit *E. huxleyi* (*Prahl et al. 1988*) zeigten eine sehr gute Korrelation des U^{K'}₃₇-Index mit der Wassertemperatur.

$$T = (U_{37}^{K'} - 0,039) / 0,034 \quad (\text{Prahl et al. 1988})$$

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Berechnung der Temperaturen über den U^{K'}₃₇-Index (*Prahl et al. 1988*), der auf dem Verhältnis zwischen C_{37:2} und C_{37:3} Alkenonen basiert (2 bzw. 3 = Zahl der Doppelbindungen in den C₃₇-Alkenonen).

Die aus dem Alkenonuntersättigungsgrad (U^{K'}₃₇-Index) errechneten Temperaturen (**Sea Surface Temperatures (SST)**) reflektieren die jeweilige Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 0 und 10 m Wassertiefe (*Müller et al. 1998*).

2.7 Akkumulationsraten und Abschätzung der Paläoproduktivität

Aus den TOC-Gehalten (in %) wurden unter Hinzunahme der linearen Sedimentationsrate (LSR in cm/1000y), Nassdichte (WBD in g cm⁻³) und Porosität (PO in %) die Akkumulationsraten der organischen Substanz (TOC-AR) berechnet.

$$\text{TOC-AR (g C cm}^{-2} \text{ ky}^{-1}) = (\text{TOC}/100) \text{ LSR (WBD} - 1,026 (\text{PO}/100))$$

Die für diese Berechnung benötigten Daten wurden von G. Kuhn (*Kuhn & Diekmann 2003*) zur Verfügung gestellt.

Die Abschätzung der Paläoproduktivitätswerte (PP) erfolgte nach *Stein (1986)*:

$$\text{PP (g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}) = 5.31 (\text{C (WBD} - 1,026 \text{ PO}/100))^{0.71} \text{ LSR}^{0.07} \text{ DEP}^{0.45}$$

(DEP = Wassertiefe in m)

Der in die Formel einzusetzende C_{org}-Wert (C), der sich auf den Anteil des marinen organischen Kohlenstoffs bezieht, wurde aus den Rock-Eval- und Biomarkerdaten bestimmt (siehe Kapitel 3.1 und 4.2).

2.8 Statistische Auswertung

Zeitreihenanalyse

Bei der statistischen Analyse von geologischen Zeitreihen hat neben der Bestimmung des Mittelwertes, der Varianz und des Langzeittrends vor allem der Nachweis von Periodizitäten eine herausragende Bedeutung. Auftretende Periodizitäten können Aufschluss über die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse, die die Zeitreihe maßgeblich beeinflussen, geben (Beispiele sind der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus oder die so genannten Milankovich- Zyklen). Im Rahmen dieser Arbeit wurden zur Bestimmung von Periodizitäten die Multi-Taper-Methode (MTM) und Wavelet-Analyse eingesetzt (Kumar 1997, Ghil et al. 2002). Beide Methoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Voraussetzung für die Anwendung dieser Methoden ist, dass die Zeitreihe in der normierten Form $X(t_i) = (x(t_i) - \langle x(t_i) \rangle) / \sigma_x$ vorliegt, mit $x(t_i)$ = Messwert zum Zeitpunkt t_i , $\langle x(t_i) \rangle$ = Mittelwert und σ_x = Standardabweichung der gesamten Zeitreihe. Ferner muss die Zeitreihe in zeitlich äquidistanten Schritten beprobt sein, also $t_{i+1} - t_i = \Delta t = \text{konstant}$. Letzteres war bei den vorliegenden Zeitreihen nicht der Fall. Die zeitlich äquidistanten Messpunkte $x(t_i)$ wurden deshalb über einen kubischen Spline Fit extrapoliert.

Multiple-Taper-Methode

Geologische Zeitreihen haben generell eine endliche Länge $T = nx\Delta t$ (n = Zahl der diskreten Messwerte; im vorliegenden Fall ist T ca. 300 000 a) und eine limitierte Zeitauflösung Δt . Daraus ergeben sich zwangsläufig drei Konsequenzen bzw. Beschränkungen für die Spektralanalyse:

(i) die höchste bestimmbare Frequenz, die so genannte Nyquist-Frequenz f_{Ny} , liegt bei $1/(2x\Delta t)$. In den in hier zu diskutierenden Fällen ist $\Delta t = 1000$ a und damit $f_{Ny} = 5 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$; dies entspricht einer Periode von 2000 a. (ii) Die maximale Frequenzauflösung liegt bei $1/(nx\Delta t)$, hier also bei ca. $3 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$. (iii) Die niedrigste bestimmbare Frequenz (längste Periode) wird durch die Länge T der Zeitreihe determiniert. Um statistisch signifikante Aussagen machen zu können, sollte die größte bestimmbare Periode $t_{max} < 1/3 T$ (<100 000 a) sein (in der Meteorologie und Geophysik werden häufig sogar $T > 10xt_{max}$ als Grenzwert eingesetzt). Diese inhärenten Beschränkungen gelten generell für alle mathematischen Methoden der Spektralanalyse.

Die hier zu analysierenden Zeitreihen sind, gemessen an der Zeitschrittweite Δt und der Gesamtlänge T , als kurz zu bezeichnen (ca. 300 Messpunkte). Durch den abrupten Abbruch der Zeitreihen bei $t < t_0$ und $t > T$ ergibt sich als weiteres Problem dieser Diskontinuitäten, dass die errechnete spektrale Intensität in einem bestimmten Frequenzintervall durch Beiträge der Nachbarlinien erheblich gestört wird (so genannte „Frequenzleckage“). Eine eingehende Diskussion dieser und weiterer so genannter „Beprobungseffekte“ findet sich in Brault & White (1971). Hinzu kommt, dass die direkte Spektralanalyse der endlichen und deshalb diskontinuierlichen Zeitreihe ein stark verrauschtes Spektrum liefern würde. In unserem Fall ergäbe eine Spektralanalyse über die klassischen Fourier-Transformation (FT) praktisch kein statistisch signifikantes Spektrum, d.h. die spektralen Intensitäten der Linien heben sich nicht signifikant von den entsprechenden Linien einer Zufallsreihe („weißes

Rauschen“) ab. Abhilfe bezüglich der Frequenzleckage kann man dadurch schaffen, dass die Zeitreihe vor der Spektralanalyse mit einer geeigneten Funktion multipliziert wird, die Anfangs- und Endwerte der Zeitreihe stetig auf Null abfallen lässt. Zum Beispiel erfüllt eine Trapezfunktion oder auch die Gaußfunktion diese Anforderungen. Solche Filterfunktionen werden auch Taper genannt. Bei der MTM wirken nun mehrere solcher Taper auf die Zeitreihe. Die Taper selbst sind mathematisch auf minimale Frequenzleckage optimiert (*Ghil et al. 2002*). Je mehr Taper auf die Zeitreihe wirken, desto geringer wird das Rauschen des Spektrums (d.h. das Spektrum wird stabiler). Der Preis dafür ist aber eine geringere spektrale Auflösung. Ist zum Beispiel z die Anzahl der Taper, so wird die Frequenzauflösung um ca. $0,5x(z+1)$ geringer als in der klassischen, direkten FT-Analyse (*Ghil et al. 2002*). In dieser Arbeit erwies sich die Verwendung von drei Tapern als günstigster Kompromiss zwischen spektraler Auflösung und Stabilität des Spektrums. Zur MTM-Analyse wurde das Softwarepaket SSA-MTM Toolkit 4.1 der University of California, Los Angeles benutzt (*Ghil et al. 2002*).

Wavelet-Analyse

Die bisher angeführten Methoden der Spektralanalyse liefern nur ein Spektrum der gesamten Zeitreihe. Es lässt sich prinzipiell nicht feststellen, ob die Periodizitäten über die gesamte Zeitreihe wirksam sind oder nur in bestimmten Intervallen (transiente Periodizitäten). Eine zeitlich aufgelöste Spektralanalyse ist dagegen mit der so genannten Wavelet-Analyse (WA) möglich (*Kumar 1997*). Einige weitere Methoden werden bei *Ghil et al. (2002)* diskutiert. Die WA stellt ein modernes Verfahren der Zeitreihenanalyse dar. Gegenüber anderen klassischen Fourier-Analysen bietet die WA die Möglichkeit, die Frequenz-Variationen innerhalb einer Zeitreihe zu untersuchen. So können beispielsweise nur kurzzeitig auftretende Signale detektiert werden. Daher eignet sich die WA besonders zur Untersuchung nichtstationärer Zeitreihen (*Yiou et al. 1996*). Die WA erlaubt neben der Bestimmung dominanter Perioden deren zeitliche Lokalisierung und Veränderung innerhalb einer Zeitserie (ein Beispiel mit einer synthetischen Zeitreihe ist in Abbildung 24 gezeigt).

Der mathematische Hintergrund der Wavelet-Analyse basiert auf einer Faltung der Zeitreihe $X(t)$ mit einer Familie von Funktionen $\Psi_{a,b}(t)$, die sich von einem Stamm-Wavelet $\Psi(t)$ ableiten:

$$\Psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \times \Psi((t-b)/a)$$

Das Wavelet wird bildlich gesprochen über die Zeitreihe „geschoben“ (Abtasten der Zeitreihe durch den Translationsparameter b). Zusätzlich wird das Wavelet gedehnt oder gestaucht (Skalenparameter a ; je größer a ist, desto höhere Frequenzen lassen sich erfassen). Beide Parameter können kontinuierlich variiert werden. Der Skalenparameter a entspricht der Periode, der Translationsparameter b der Position bzw. dem Zeitpunkt in der Zeitreihe. Die eigentliche Wavelet-Transformation (WT) wird durch folgendes Faltungsintegral definiert.

$$WT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

In dieser Arbeit basiert die Berechnung der Wavelet-Spektren auf den Algorithmen von *Torrence & Compo (1998)*, wobei das sogenannte Morlet-Wavelet verwendet wurde:

$$\Psi(t) = \exp(i\omega t) \times \exp(-t^2/2)$$

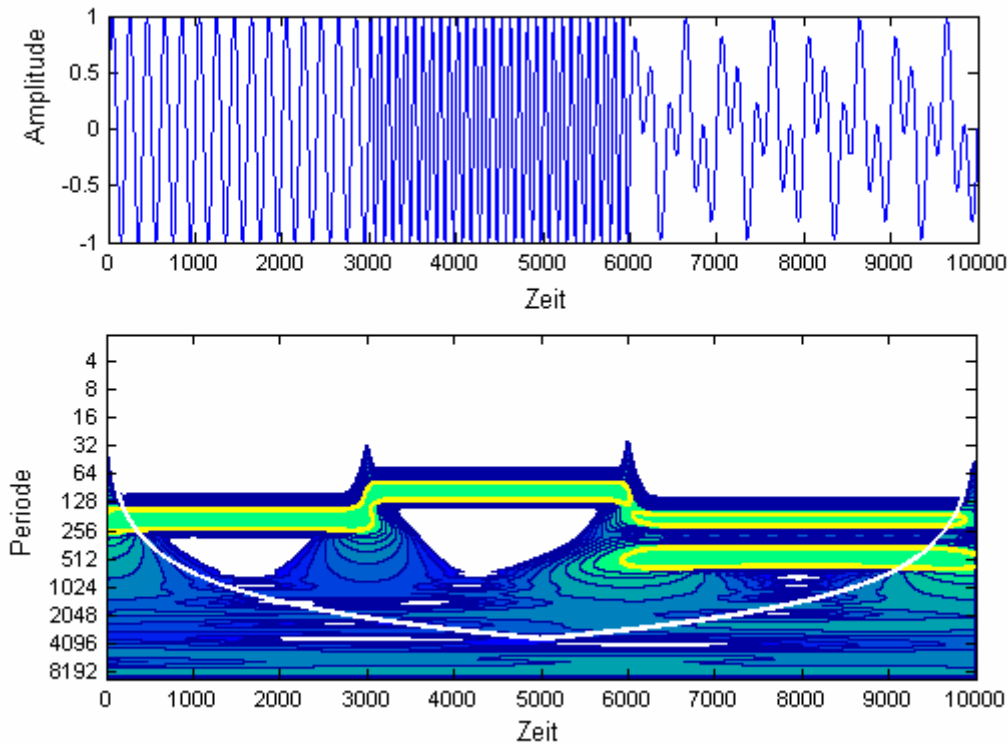


Abb. 24. Wavelet-Power-Spektrum einer synthetischen Zeitreihe (oberer Teil des Bildes) unter Verwendung des Morlet-Wavelet. Die linke Achse gibt die Periode an. Die untere Achse stellt die Zeitachse dar. Die weiße durchgezogene Linie beschreibt den Einflusskegel („Cone of influence“, COI). Werte außerhalb des COI können durch Randeffekte beeinflusst sein. Die Farbskalierung gibt den Logarithmus der Wavelet-Power in Einheiten der Varianz an, wobei blau niedrige und grün hohe Werte bedeuten. In den weißen Flächen ist die Wavelet-Power gleich Null. Innerhalb der gelbumrandeten Zonen weisen die detektierten Perioden ein 95%iges Signifikanzlevel gegen das rote Rauschen auf; lediglich die daraus resultierenden Periodizitäten (F-Test Werte > 0,95) werden interpretiert. Die gefundenen Periodizitäten entsprechen 200 Zeiteinheiten (erster Abschnitt bis zum Zeitpunkt 3000), 100 Zeiteinheiten (mittlerer Abschnitt) und ein Mischsignal aus 500 und 200 Zeiteinheiten (letzter Abschnitt). Man beachte die relativ geringe spektrale Auflösung!

Signifikanztest

Die einfachste Methode, die Signifikanz einer bestimmten Spektrallinie abzuschätzen ist, diese mit dem Spektrum einer normierten Zufallszeitreihe zu vergleichen. Das Spektrum einer solchen Zufallszeitreihe wird auch als weißes Rauschen bezeichnet, wobei hier die Varianz jeder Spektrallinie $1/(2\pi)$ mal der Varianz der ursprünglichen Zeitreihe entspricht (Parseval's Theorem). Weißes Rauschen als Grundlage für einen Signifikanztest ist allerdings nur für Zeitreihen mit vernachlässigbarer Autokorrelation sinnvoll. Geologische Zeitreihen zeigen jedoch gewöhnlich eine ausgeprägte Autokorrelation (z.B. *Hasselmann 1976*), das heißt im einfachsten Fall hängt der Wert x_t vom vorherigen Wert x_{t-1} ab (autoregressiver Prozess). Das Spektrum eines autoregressiven Prozesses zeigt eine kontinuierlich anwachsende spektrale Intensität bei niedrigen Frequenzen („rotes Rauschen“, da im niederfrequenten, roten Teil des Spektrums die Intensität ansteigt). Ein Signifikanztest basierend auf weißem Rauschen würde folglich die Signifikanz bei niedrigen Frequenzen erheblich überschätzen. Deshalb wurde aus der Autokorrelation der vorliegenden Zeitreihen jeweils ein rotes Hintergrundspektrum (Datenadaptiertes rotes Rauschen) abgeleitet und als Signifikanzmaß zugrunde gelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Geochemische Basisparameter (TOC und Rock-Eval)

Die TOC-Werte (*Kuhn & Diekmann 2003; Kuhn unpubl. Daten*) variieren im untersuchten Kernabschnitt (Site 1089) zwischen 0,2 und 0,8%, wobei die Minimalwerte im MIS 5e, MIS 9 und untersten MIS 11 und die Maximalwerte im oberen MIS 11 und MIS 12 vorkommen (Abb. 25).

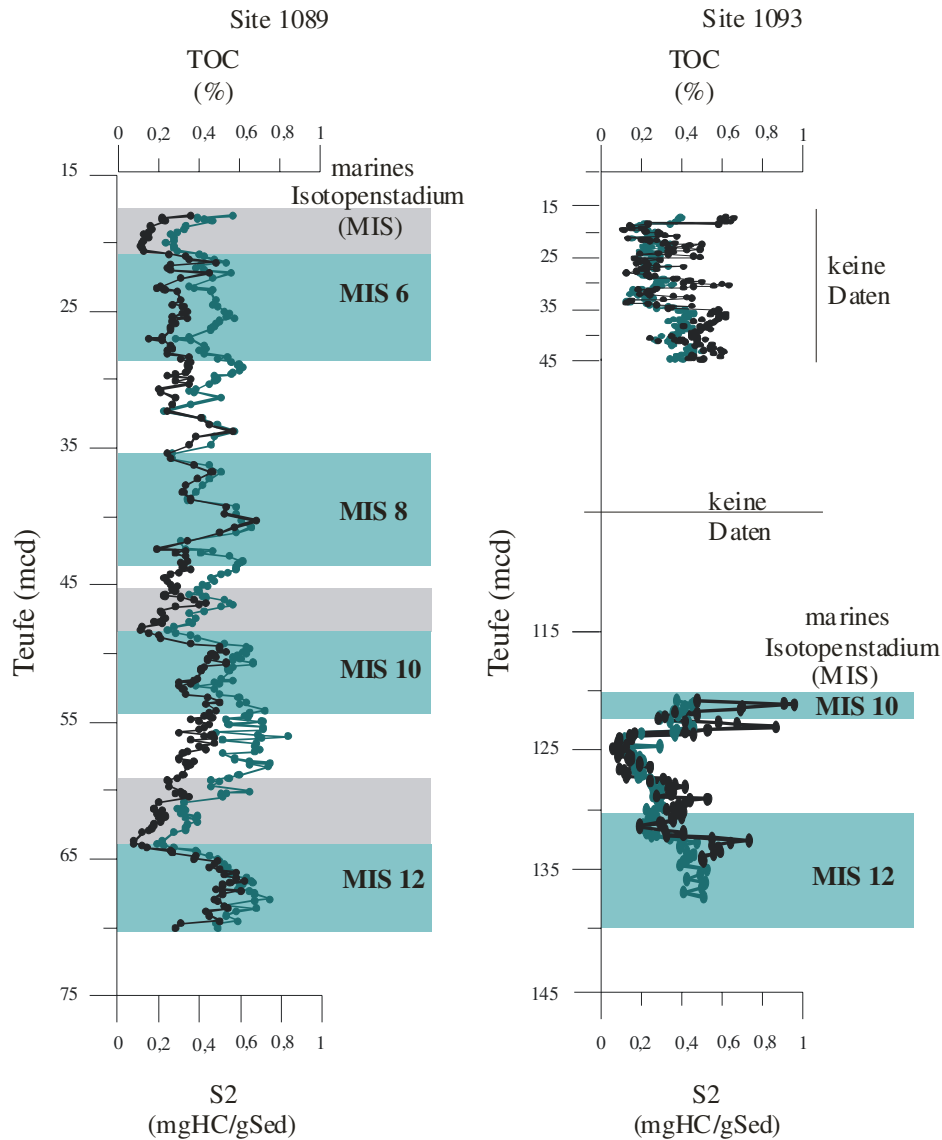


Abb. 25. TOC-Gehalte (%) schwarze Linie (*Kuhn & Diekmann 2003, Kuhn unpubl. Daten*), S2-Werte (mgHC/gSed) der Rock-Eval-Messungen (grüne Linie) in den Sites 1089 und 1093 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die MIS-Kennzeichnung für Site 1089 erfolgte nach *Kuhn & Diekmann (2002)*. Die MIS-Kennzeichnung für Site 1093 erfolgte nach *Kunz-Pirrung et al. (2002)*; für das MIS 5- und MIS 6-Site 1093 (*persönliche Mitteilung von C. Bianchi*) liegt kein Altersmodell vor. Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale.

Abbildung 26 verdeutlicht, dass die TOC-Werte signifikant mit den entsprechenden S2-Werten der Rock-Eval-Pyrolyse ($R=0,844$) korrelieren. Abbildung 26 zeigt weiterhin, dass bei einem S2-Wert von Null immer noch ein TOC-Gehalt von ca. 0,12% vorliegt. Bei diesem organischen Rest handelt es sich um so genanntes „dead carbon“, d.h., refraktäres organisches Material, aus dem keine Kohlenwasserstoffe mehr generiert werden können (z.B. Cornford et al. 1998). Dieser TOC-Anteil sollte sinnvollerweise vor Berechnung der Wasserstoff-Index (HI)-Werte abgezogen werden. Auch für die weitere Auswertung der TOC-Daten in Hinblick auf die Abschätzung der Primärproduktion muss dies berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.2). Die berechneten HI-Werte bleiben trotzdem sehr niedrig und schwanken zwischen 70 und 130 mgHC/gTOC (Abb. 27).

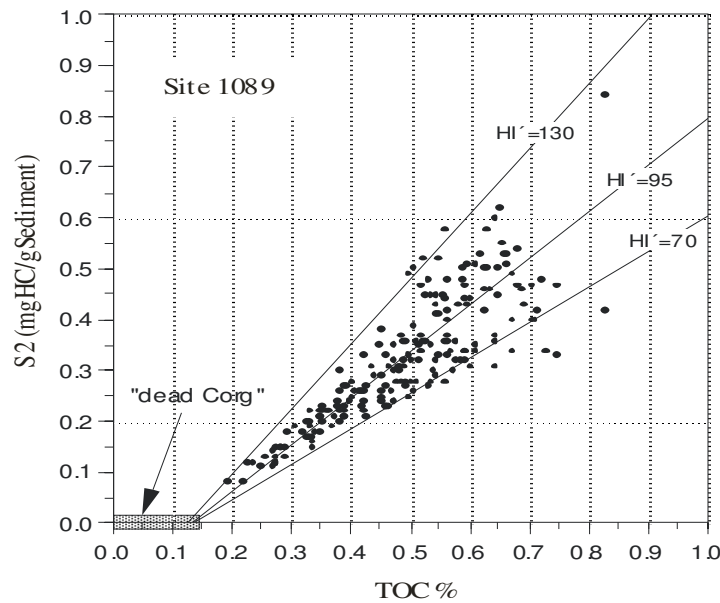


Abb. 26. Korrelation zwischen S2-Werten (mgHC/gSed) der Rock-Eval-Pyrolyse und den TOC-Werten (%) im Site 1089. Die HI'-Werte sind unter Berücksichtigung des „dead carbon“ berechnet worden.

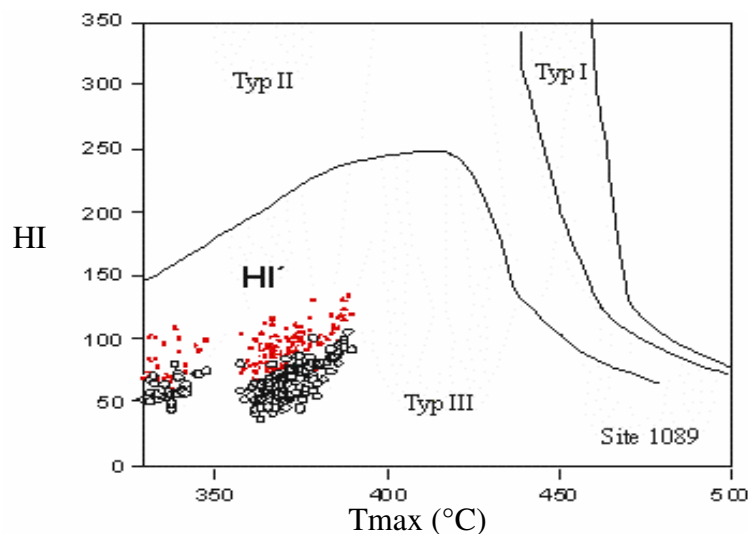


Abb. 27. Wasserstoffindex HI (mgHC/gTOC) /Kreis bzw. HI'-Werte (mgHC/gTOC) /Punkt vs. Tmax-Werte (Site 1089).

Für die Proben von Site 1093 zeigt die Korrelation zwischen TOC-Werten (Kuhn unpubl. Daten) und den S2-Werten der Rock-Eval-Pyrolyse ein ähnliches Verhalten wie für Site 1089 (Abb. 25). Die TOC-Werte korrelieren signifikant mit den entsprechenden S2-Werten, was sich in einem Korrelationskoeffizienten von $R=0,877$ ausdrückt (Abb. 28).

Das Korrelationsdiagramm (Abb. 28) deutet darauf hin, dass die Proben ca. 0,05-0,11% (0,08% im Mittel) „dead carbon“ enthalten. Im Vergleich zum Site 1089 sind die S2-Werte relativ zu den TOC-Gehalten signifikant höher, was sich auch in den deutlich höheren HI-Werten widerspiegelt. Diese erreichen Werte von 50-200 mgHC/gTOC, nach Abzug der „dead carbon“-Gehalte steigen sie auf 100 bis 300 mgHC/gTOC an (Abb. 29).

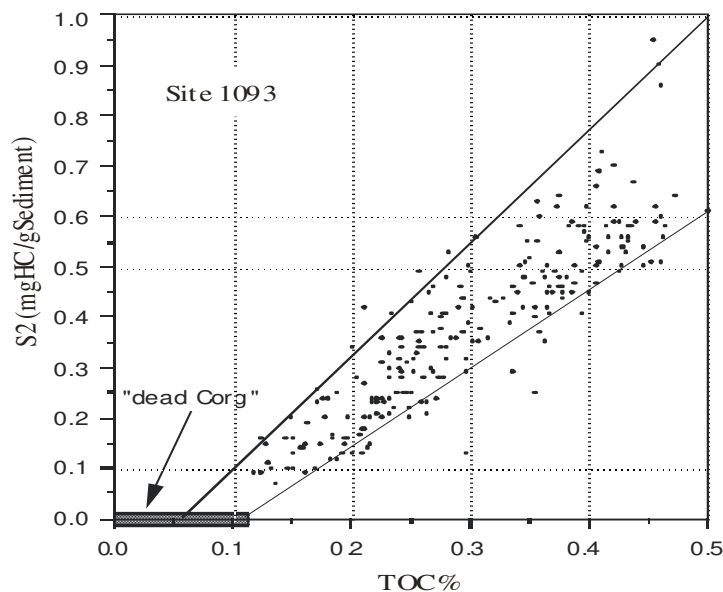


Abb. 28. Korrelation zwischen S2-Werten (mgHC/gSed) der Rock-Eval-Pyrolyse und den TOC-Werten (%) im Site 1093. Die HI'-Werte sind unter Berücksichtigung des „dead carbon“ berechnet worden.

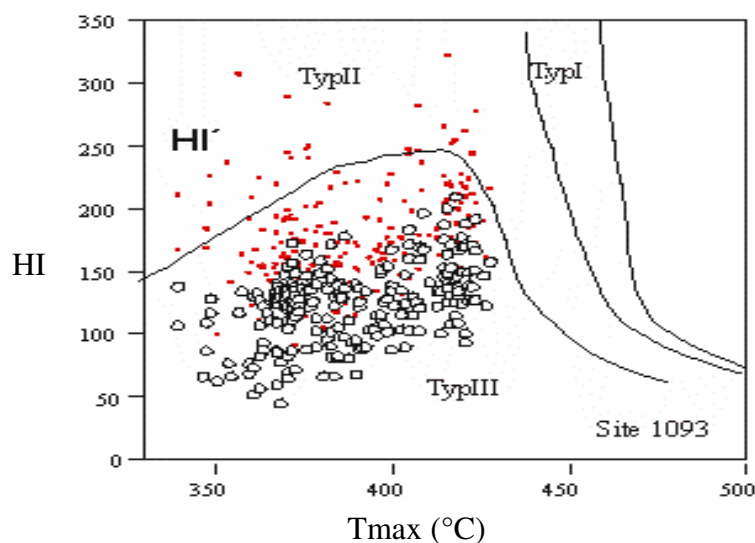


Abb. 29. Wasserstoffindex HI (mgHC/gTOC) /Kreis bzw. HI'-Werte (mgHC/gTOC) /Punkt vs. Tmax-Werte (Site 1093).

3.2 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen

Die Fraktionen der Fettsäuren und der Heterokomponenten (AASF-Fraktionen) setzten sich im Wesentlichen aus *n*-Fettsäuren (*n*-C_{16:0} bis *n*-C_{27:0}), *n*-Alkoholen (*n*-C_{16:OH} bis *n*-C_{27:OH}), und langkettigen Alkenonen (C_{37:3}, C_{37:2}, C₃₈ di- und triungesättigte Methyl- und Ethylketone) zusammen. Sterole spielten quantitativ eine untergeordnete Rolle (Abb. 30).

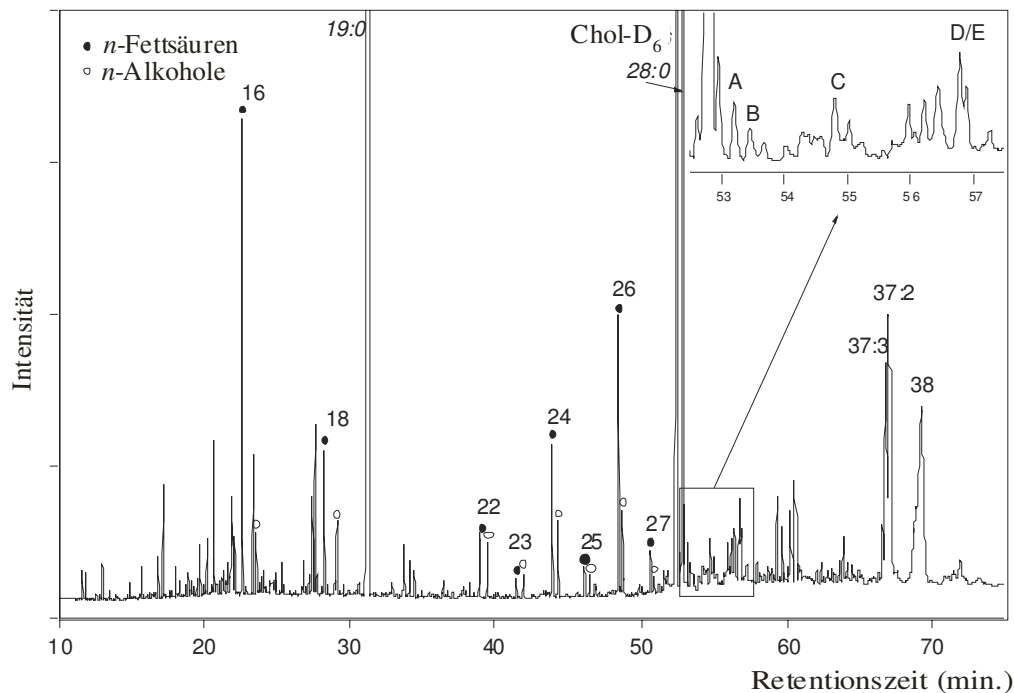


Abb. 30. Repräsentatives Gaschromatogramm einer trimethylsilylierten AASF-Fraktion. Die Zahlen entsprechen den Kohlenstoffzahlen der entsprechenden *n*-Fettsäuren (●), analog (○) = *n*-Alkohole, ISTD **19:0** = Nonadecansäuremethylester (*n*-C_{19:0}), ISTD **28:0** = Octacosansäuremethylester (*n*-C_{28:0}), ISTD **Chol-D₆** = Cholest-5-en-3β-ol-d₆, **37:3** = C_{37:3}-Alkenon, **37:2** = C_{37:2}-Alkenon, **38** = Gesamtpeakfläche der C₃₈-Alkenone, **A** = 24-Methylcholesta-5,22E-dien-3β-ol (Brassicasterol), **B** = 24-Methyl-5α-cholest-22E-en-3β-ol, **C** = Gesamtpeakfläche von 23,24-Dimethyl-5α-cholest-22E3 β-ol und 24-Ethylcholest-5,22E-dien-3β-ol, **D/E** = 24-Ethylcholest-5en-3β-ol und 24-Ethyl-5α-cholestan-3β-ol.

Die in Kapitel 2.3 beschriebenen Ergebnisse zum Einfluß der Kontaminationen in den Biomarkerdaten haben gezeigt, dass die Qualität des Probenmaterials lediglich die quantitative Bestimmung langkettiger Fettsäuren (*n*-C_{24:0} bis *n*-C_{27:0}), langkettiger *n*-Alkane (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁), langkettiger Alkohole (*n*-C_{24:OH}, *n*-C_{26:OH}, *n*-C_{28:OH}), Alkenone (C_{37:3}, C_{37:2}) und Sterole zuließ. Diese Biomarker besitzen jedoch einen hohen Informationsgehalt in Bezug auf die Herkunft des organischen Materials. Die wissenschaftlichen Ziele dieses Projektes konnten daher trotz dieser Einschränkungen unverändert bearbeitet und erreicht werden.

3.2.1 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (Site 1089)

Alkenone

Innerhalb der quantifizierbaren Verbindungen zeigten die langkettigen C₃₇-Alkenone in den Sedimentproben von Site 1089 die höchsten Konzentrationen (Abb. 31). Die Gehalte an C_{37:3} schwanken in der untersuchten Sequenz zwischen 11 µg/g TOC und 360 µg/g TOC um einen Mittelwert von 120 µg/g TOC. C_{37:2} wies eine mittlere Konzentration von 189 µg/g TOC auf (Min = 24 µg/g TOC, Max = 414 µg/g TOC) und zeigte somit 1,6-fach höhere Konzentrationen als das dreifach ungesättigte C₃₇-Alkenon. Vierfach ungesättigte langkettige C₃₇-Alkenone konnten nicht detektiert werden. Starke Schwankungen in der Konzentration der C₃₇-Alkenone treten im Wechsel zwischen Glazial und Interglazial auf, sind aber auch innerhalb eines Marinen Isotopenstadiums (MIS) ausgeprägt. Generell gilt jedoch, dass die Konzentrationen der C₃₇-Alkenone in den Glazialen ihre Maxima erreichen und in den Terminationen II, IV und V rasch abfallen.

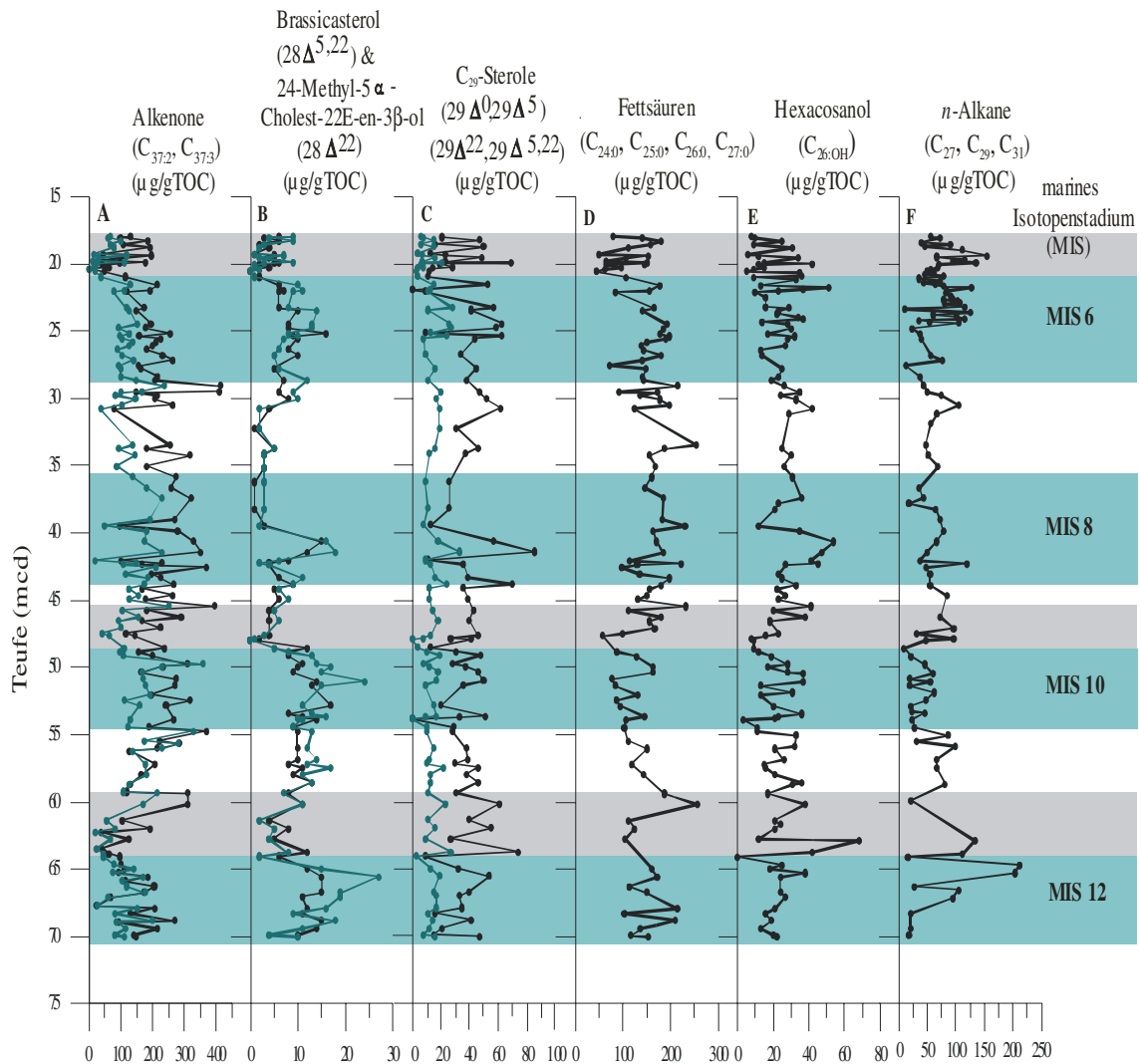


Abb. 31. Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$); A: $C_{37:2}$ - (schwarze Linie) und $C_{37:3}$ - (grüne Linie), Sterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), B: Brassicasterol ($28\Delta^{5,22}$) (grüne Linie) und 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($28\Delta^{22}$) (schwarze Linie); C: Summenkonzentrationen der Sterole $29\Delta^{22}+29\Delta^{5,22}$ (23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol und Stigmasterol) (grüne Linie) und $29\Delta^0+29\Delta^5$ (Ethylcholestanol und β -Sitosterol) (schwarze Linie); Summenkonzentration der Fettsäuren ($\mu\text{g/gTOC}$), D: $n\text{-}C_{24:0}$, $n\text{-}C_{25:0}$, $n\text{-}C_{26:0}$, $n\text{-}C_{27:0}$; Hexacosanolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), E: $n\text{-}C_{26:OH}$ und Summenkonzentrationen der n -Alkane ($\mu\text{g/gTOC}$), F: $n\text{-}C_{27}$, $n\text{-}C_{29}$, $n\text{-}C_{31}$ im Site 1089 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kuhn & Diekmann (2002). Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale.

Sterole

Die Steroidverteilung im Sediment weist eine relativ einfache Zusammensetzung der Komponenten auf. So konnten nur 7 Verbindungen in quantifizierbaren Mengen nachgewiesen werden. Zu den Hauptkomponenten der Sterole gehören in allen untersuchten Proben die Verbindungen Brassicasterol ($28\Delta^{5,22}$), 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($28\Delta^{22}$), 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($29\Delta^{22}$), Stigmasterol ($29\Delta^{5,22}$), Ethylcholestanol ($29\Delta^0$), und β -Sitosterol ($29\Delta^5$).

Die Verteilung von Brassicasterol korreliert mit der Verteilung des $28^{\Delta 22}$ -Sterols (Tabelle 2). Die mittleren Konzentrationen von Brassicasterol (Min = 1 $\mu\text{g/g}$ TOC, Max = 27 $\mu\text{g/g}$ TOC) und $28^{\Delta 22}$ (Min = 1 $\mu\text{g/g}$ TOC, Max = 19 $\mu\text{g/g}$ TOC) sind mit 8-9 $\mu\text{g/g}$ TOC identisch und liegen mit einem Faktor von 4-4,5 unter der Summenkonzentration der Sterole $29^{\Delta 0}/29^{\Delta 5}$. Brassicasterol korreliert weiterhin mit den marinen Markern $C_{37:3}$ und $C_{37:2}$ (Tabelle 2).

Die maximalen Konzentrationen an Brassicasterol und dem $28^{\Delta 22}$ -Sterol werden in den Glazialen erreicht (Abb. 31) und korrelieren mit hohen TOC-Werten ($R=0,6547$ und $R=0,5444$). In den Interglazialen wurden vergleichsweise niedrige Konzentrationen an Brassicasterol und $28^{\Delta 22}$ -Sterol quantifiziert. Erhöhte Brassicasterol-Gehalte fallen meistens mit niedrigen Paläooberflächenwassertemperaturen zusammen, was sich in einem Korrelationskoeffizient von $R=-0,6677$ ausdrückt.

23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($29^{\Delta 22}$) und 24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (Stigmasterol, $29^{\Delta 5,22}$) weisen im Gaschromatogramm eine Koelution auf. Die Quantifizierung erfolgte daher als Summe. Ethylcholestanol ($29^{\Delta 0}$) und β -Sitosterol ($29^{\Delta 5}$) zeigen ebenfalls eine gaschromatographische Koelution. Aufgrund dessen wurden die Konzentrationen von Ethylcholestanol und β -Sitosterol ebenfalls als Summe dargestellt. Die Summenkonzentrationen der Sterole $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ und $29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$ (Abb. 31) weisen über das gesamte Kernintervall eine Korrelationen von $R=0,844$ auf. (Tabelle 2), kommen jedoch in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Die Summenkonzentration der Komponenten $29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$ beträgt im Mittel 36 $\mu\text{g/g}$ TOC (Min = 9 $\mu\text{g/g}$, Max = 86 $\mu\text{g/g}$ TOC) und liegt somit um einen Faktor 2,8 höher als die Summenkonzentration von $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$, dessen durchschnittliche Konzentration einen Wert von 13 $\mu\text{g/g}$ TOC aufweist (Min = 3 $\mu\text{g/g}$ TOC, Max = 33 $\mu\text{g/g}$ TOC).

Organische Verbindungen, die auf einen Biomasseeintrag von Dinoflagellaten (wie z.B. Dinosterol) hinweisen, sind nur in geringen Mengen vorhanden. Die Dinosterolkonzentrationen im untersuchten Kernintervall befanden sich größtenteils unterhalb der Nachweisgrenze.

Fettsäuren

Die Summenkonzentration der langkettigen Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$), schwanken zwischen 44 $\mu\text{g/g}$ TOC und 256 $\mu\text{g/g}$ TOC um eine mittlere Konzentration von 144 $\mu\text{g/g}$ TOC (Abb. 31) und liegen somit wie die Summenkonzentration der langkettigen n -Alkane ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$) in der gleichen Größenordnung wie die der langkettigen Ketone (Abb. 31).

Alkohole

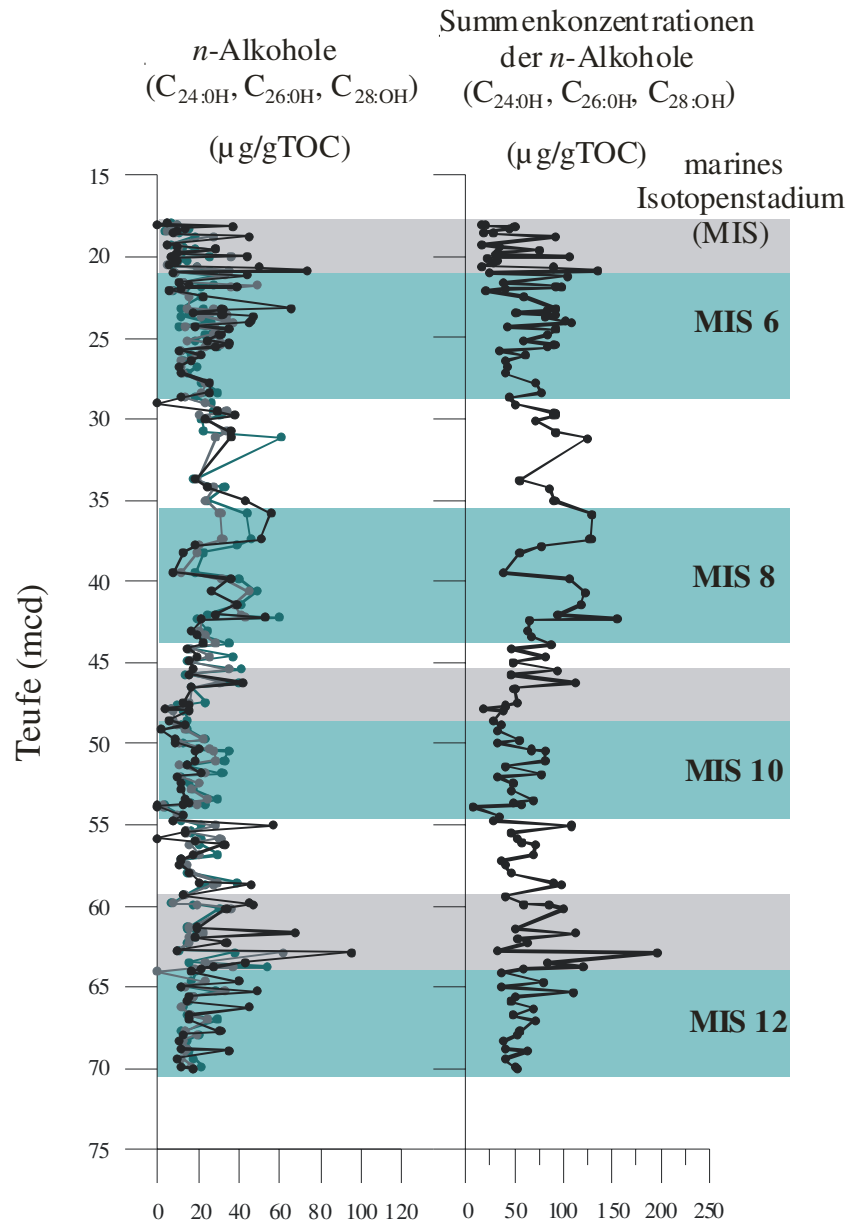


Abb. 32. n - $C_{24:0H}$ (grüne Linie), n - $C_{26:0H}$ (graue Linie), n - $C_{28:0H}$ (schwarze Linie) Alkoholkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summe der n - $C_{24:0H}$, n - $C_{26:0H}$ und n - $C_{28:0H}$ Alkoholkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) im Site 1089 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kuhn & Diekmann (2002). Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale.

Die Analyse des kompletten Spektrums langkettiger Alkohole (Abb. 32) zeigt eine signifikante lineare Korrelation ($R=0,8874$) zwischen Hexacosanol (n - $C_{26:0H}$) und der Summenkonzentration von Tetracosanol (n - $C_{24:0H}$), Hexacosanol und Octacosanol (n - $C_{28:0H}$). Diese Beobachtung rechtfertigte die vereinfachte Darstellung von Hexacosanol als Vertreter des kompletten Spektrums der langkettigen Alkohole. In Abbildung 31 sind die Hexacosanolkonzentrationen in den Sedimenten der Bohrung 1089 dargestellt. Die Gehalte von n - $C_{26:0H}$ schwanken im untersuchten Kernintervall um eine mittlere Konzentration von $24 \mu\text{g/g TOC}$ (Min = $3 \mu\text{g/g}$, Max = $68 \mu\text{g/g TOC}$).

Eine generelle Abhängigkeit von $n\text{-C}_{26:\text{OH}}$ mit der Temperatur war nicht zu beobachten ($R=0,065$). Die Hexacosanolkonzentrationen weisen wie die Summenkonzentrationen der $29\Delta^{22}+29\Delta^{5,22}$ und $29\Delta^0+29\Delta^5$ -Sterole keine signifikanten Korrelationen mit den entsprechenden TOC-Werten auf ($R= -0,011$, $R=0,127$, $R=0,029$; auf $\mu\text{g/gTOC}$ normiert). Abbildung 33 zeigt die auf $\mu\text{g/g}$ normierten $n\text{-C}_{26:0}$ - und $29\Delta^{22}+29\Delta^{5,22}$ -Konzentrationen vs. TOC-Werte. Zwischen den Absolutkonzentrationen und den TOC-Werten konnte ebenfalls keine Abhängigkeit bestimmt werden.

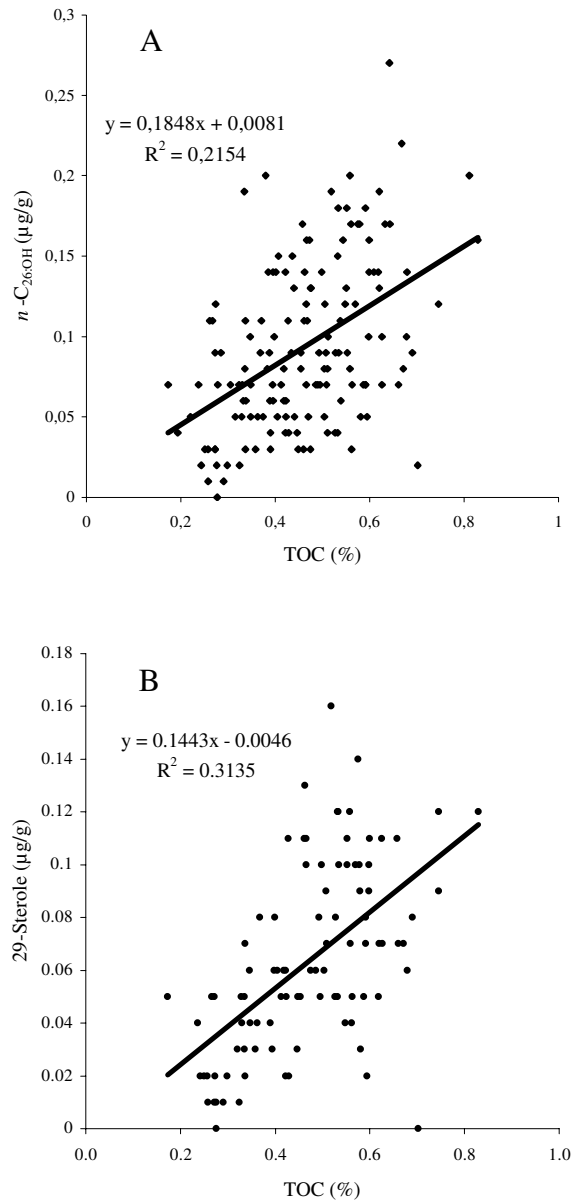


Abb. 33. A: $n\text{-C}_{26:0}$ -Konzentrationen ($\mu\text{g/g}$) vs. TOC-Werte (Site 1089), B: $29\Delta^{22}+29\Delta^{5,22}$ -Sterolkonzentrationen ($\mu\text{g/g}$) vs. TOC-Werte (Site 1089).

Alkane

Die Summenkonzentrationen der langkettigen *n*-Alkane (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) variieren im untersuchten Kernintervall zwischen 9 µg/g TOC und 211 µg/g TOC (Abb. 31) um eine mittlere Konzentration von 67 µg/gTOC. Die höchsten Konzentrationen konnten im MIS 12 bestimmt werden. Das Konzentrationsprofil der terrigenen *n*-Alkane zeigt keine ausgeprägte Abhängigkeit von den globalen Glazial-/Interglazial-Zyklen. Auffallend ist jedoch, dass die Terminationen V, VI und II durch einen rapiden *n*-Alkankonzentrationsanstieg gekennzeichnet sind. Die Summenkonzentrationen der langkettigen *n*-Alkane weisen keine signifikante Korrelation mit den entsprechenden TOC-Werten (R=-0,296) auf. Eine generelle Abhängigkeit zu den ermittelten organisch-geochemischen Parametern war ebenfalls nicht zu beobachten (Tabelle 2). Aus der Korrelation zwischen den *n*-Alkankonzentrationen (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) und den S2-Werten ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von R=-0,492.

Tabelle 2. Korrelationen zwischen Biomarkerkonzentrationen (µg/gTOC) im Site 1089.

	C _{37:3}	C _{37:2}	Brassicasterol (28Δ ^{5,22})	24-Methyl-5α-cholest-22 E-en-3β-ol (28Δ ²²)	23,24-Dimethyl-5α-cholest-22E-en-β-ol + Stigmasterol (29Δ ²² /29Δ ^{5,22})	Ethyl-cholestanol/β-Sitosterol (29Δ ⁰ /29Δ ⁵)	<i>n</i> -C _{24:0}	<i>n</i> -C _{25:0}	<i>n</i> -C _{26:0}	<i>n</i> -C _{27:0}	Summe FS	<i>n</i> -C _{26:OH}	Summe <i>n</i> -Alkane
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	0,838	0,761	0,664	0,414	0,338	0,452	0,094	0,698	0,405	0,619	0,227	-0,185
2	0,838	1	0,550	0,585	0,429	0,371	0,417	0,303	0,684	0,529	0,637	0,325	-0,269
3	0,761	0,550	1	0,777	0,409	0,294	0,370	0,015	0,569	0,269	0,490	0,228	-0,156
4	0,644	0,585	0,777	1	0,268	0,136	0,241	0,177	0,452	0,279	0,400	0,241	-0,481
5	0,412	0,429	0,409	0,268	1	0,844	0,370	0,044	0,666	0,701	0,602	0,740	-0,027
6	0,338	0,371	0,294	0,136	0,844	1	0,262	0,036	0,582	0,670	0,514	0,718	-0,016
7	0,452	0,417	0,370	0,241	0,370	0,262	1	0,428	0,768	0,532	0,878	0,227	0,386
8	0,094	0,303	0,015	0,177	0,044	0,036	0,428	1	0,285	0,350	0,459	0,043	0,061
9	0,698	0,684	0,569	0,452	0,666	0,582	0,768	0,285	1	0,832	0,968	0,551	0,273
10	0,405	0,529	0,269	0,279	0,701	0,670	0,532	0,350	0,832	1	0,820	0,744	0,285
11	0,619	0,637	0,490	0,400	0,602	0,514	0,878	0,459	0,968	0,820	1	0,492	0,319
12	0,227	0,325	0,228	0,241	0,740	0,718	0,227	0,043	0,551	0,744	0,492	1	0,296
13	-0,185	-0,269	-0,156	0,481	-0,027	-0,016	0,386	0,061	0,273	0,285	0,319	0,296	1

3.2.2 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (PS56/056-4)

Im Rahmen dieser Arbeit sollten die Paläoumweltbedingungen der älteren Interglaziale (MIS 5, MIS 7, MIS 11) mit dem heutigen Interglazial verglichen werden. Infolgedessen wurden oberflächennahe Multicorer-Proben, die während der *Polarstern*-Expedition ANT-XVII/3 (Arntz & Brey 2001) abgeteuft wurden und aus demselben Untersuchungsgebiet wie Site 1089 stammen, hinsichtlich ihrer Biomarkerkonzentrationen untersucht. Abbildung 34 verdeutlicht beispielhaft die Ergebnisse.

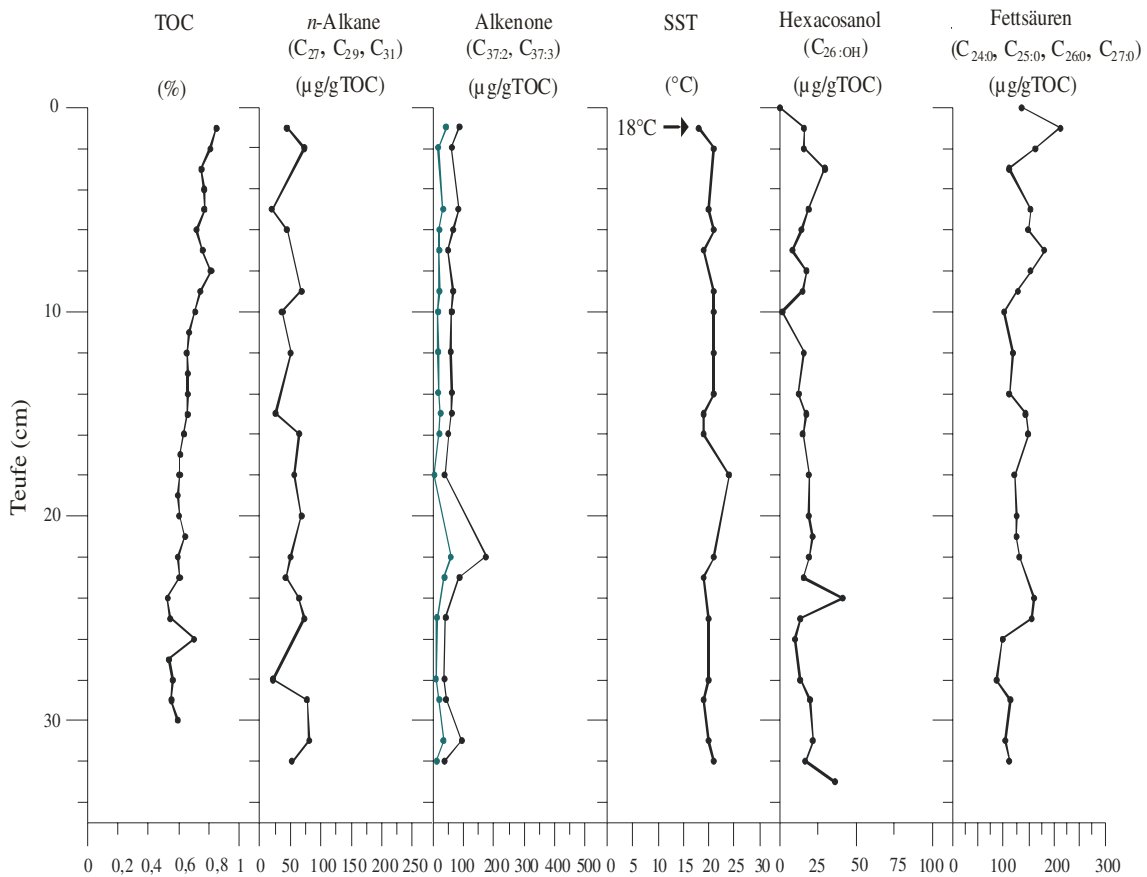


Abb. 34. TOC-Gehalte (%), Summe der n - C_{27} -, n - C_{29} -, n - C_{31} -Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$), $C_{37:2}$ - (schwarze Linie) und $C_{37:3}$ - (grüne Linie) Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$), Alkenonoberflächenwassertemperaturen (SST), $C_{26\text{OH}}$ -Alkoholkonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$), Summe der n - $C_{24:0}$ -, n - $C_{25:0}$ -, n - $C_{26:0}$ -, n - $C_{27:0}$ -Fettsäurekonzentrationen ($\mu\text{g/g TOC}$) im Kern PS56/056-4 in Abhängigkeit von der Tiefe (cm).

TOC

Die TOC-Werte zeigen in den oberflächennahen Multicorer-Proben einen kontinuierlichen Abfall von 0,85% auf 0,5% (Abb. 34).

Alkane

Die n -Alkansummenkonzentrationen (n - C_{27} , n - C_{29} , n - C_{31}) schwanken im untersuchten Kernabschnitt zwischen 20 $\mu\text{g/g TOC}$ und 81 $\mu\text{g/g TOC}$ um einen Mittelwert von 51 $\mu\text{g/g TOC}$ (Abb. 34).

Alkenone

Die Gehalte der marinen $C_{37:3}$ -Alkenone weisen eine mittlere Konzentration von 27 $\mu\text{g/g TOC}$ auf (Min = 7 $\mu\text{g/g TOC}$, Max = 63 $\mu\text{g/g TOC}$). Für das zweifach ungesättigte C_{37} -Keton ($C_{37:2}$) konnten Konzentrationen zwischen 40 $\mu\text{g/g TOC}$ und 177 $\mu\text{g/g TOC}$ bestimmt werden (Mittelwert = 70 $\mu\text{g/g TOC}$) (Abb. 34).

Alkenoberflächenwassertemperaturen (SST)

Die anhand des U_{37}^K -Index ermittelten Oberflächenwassertemperaturen (SST) weisen im untersuchten Kernabschnitt eine mittlere Temperatur von 20 °C auf. Die direkt an der Oberfläche bestimmte SST liegt bei 18 °C (Abb. 34).

Alkohole

Aus der gaschromatographischen Analyse der langkettigen Alkohole konnte für *n*-Hexacosanol (*n*-C_{26:0H}) eine mittlere Konzentration von 24 µg/g TOC (Abb. 34) bestimmt werden.

Fettsäuren

Die Summenkonzentrationen der Fettsäuren (Summe FS), (*n*-C_{24:0}, *n*-C_{25:0}, *n*-C_{26:0}, *n*-C_{27:0}) weisen in dem Referenzprobensatz eine mittlere Konzentration von 143 µg/g TOC auf (Abb. 34).

Sterole

Die Ermittlung der Sterolkonzentrationen im Kern PS56/056-4 wurde exemplarisch an je 4 Sedimentproben durchgeführt (Tabelle 3).

Tabelle 3. $28^{\Delta 5,22}$ -, $28^{\Delta 22}$ -, $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ -, $29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$ -Sterolkonzentrationen (µg/gTOC) im Kern PS56/056-4.

Tiefe (cm)	Brassicasterol ($28^{\Delta 5,22}$) (µg/g TOC)	24-Methyl-5 α -cholest-22 E-en-3 β -ol ($28^{\Delta 22}$) (µg/g TOC)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol + Stigmasterol ($29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$) (µg/g TOC)	Ethylcholestanol/ β -Sitosterol ($29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$) (µg/g TOC)
7-8	4	6	7	16
16-17	4	7	8	12
23-24	3	4	11	17
32-33	5	9	9	16

Die Brassicasterol-Gehalte ($28^{\Delta 5,22}$) weisen eine mittlere Konzentration von 4 µg/gTOC auf und liegen somit in dem gleichen Konzentrationsbereich wie die ermittelten 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -olkonzentrationen ($28^{\Delta 22}$) (mittlere Konz. = 6 µg/g TOC). Die Gehalte der $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ - Sterole schwanken in der untersuchten Sequenz um eine mittlere Konzentration von 11 µg/gTOC und ähneln somit denen der $29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$ -Sterole (mittlere Konz. = 15 µg/g TOC).

3.2.3 Ergebnisse der Biomarker-Untersuchungen (Site 1093)

Alkenone

Die gaschromatographische Lipidanalyse der Sedimentproben von Site 1093 zeigt, dass die Gehalte an C_{37:3} im MIS 5/6 um eine mittlere Konzentration von 12 µg/g TOC schwanken und so eine 1,3fach höhere Konzentration als das zweifach ungesättigte Methylketon aufzeigen. Bei der gaschromatographischen Quantifizierung der entsprechenden Peakflächen für die Sedimentproben aus dem MIS 11 lässt sich für das dreifach ungesättigte Methylketon eine mittlere Konzentration von 45 µg/gTOC und für das zweifach ungesättigte Alkenon von

11 µg/g TOC errechnen. Da eine massenspektroskopische Verifizierung aufgrund der geringen Alkenongehalte nicht möglich war und eine Koelution mit langkettigen Fettsäuren nicht ausgeschlossen werden kann, ist dieses Ergebnis jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Sehr geringe Alkenongehalte führen weiterhin zu einer fehlerhaften Temperaturbestimmung (Harvey 2000, Herbert 2001). Im Zuge dessen wurde im Rahmen dieser Arbeit auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

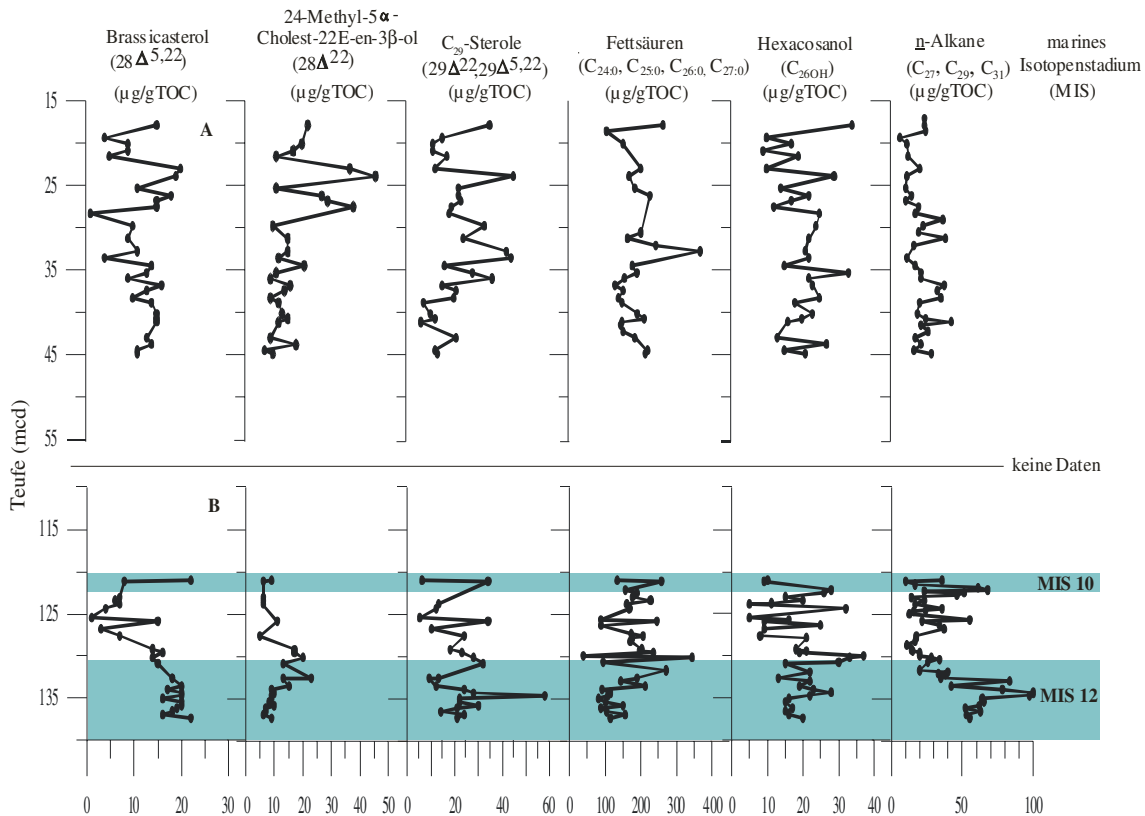


Abb. 35. Sterolkonzentrationen (µg/gTOC), Brassicasterol ($28^{\Delta 5,22}$), 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($28^{\Delta 22}$), Summe 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol und Stigmasterol ($29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$), Summe der n -C $_{24:0}$, n -C $_{25:0}$, n -C $_{26:0}$, n -C $_{27:0}$ -Fettsäurekonzentrationen (µg/gTOC), n -C $_{26:OH}$ -Alkoholkonzentrationen (µg/gTOC), Summe der n -C $_{27}$, n -C $_{29}$, n -C $_{31}$ -Alkankonzentrationen (µg/gTOC) im Site 1093 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd); (A) für das MIS 5- und MIS 6-Site 1093 (*persönliche Mitteilung von C. Bianchi*) liegt kein Altersmodell vor, (B) MIS 10- MIS 12, die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kunz-Pirring *et al.* (2002).

Sterole

Die Verteilung der marinen Sterole in den Sedimentproben von Site 1093 ist in Abbildung 35 dargestellt. Obwohl die durchschnittlichen Konzentrationen von Brassicasterol ($28^{\Delta 5,22}$) und 24-Methyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol ($28^{\Delta 22}$) nahezu identisch sind (13 µg/g TOC bzw. 14 µg/g TOC), weisen die jeweiligen Konzentrationsprofile Unterschiede in den Glazialen auf. Die maximalen Konzentrationen an Brassicasterol (Min = 1 µg/g TOC, Max = 22 µg/g TOC) werden im MIS 12 erreicht und korrelieren mit hohen TOC- und S2-Werten ($R=0,577$ und $R=0,446$). Das $28^{\Delta 22}$ -Sterol zeigt diesen Trend nicht. Die Brassicasterol-Konzentrationen korrelieren im MIS 11 ($R=0,602$) mit den $28^{\Delta 22}$ -Sterolkonzentrationen. Im MIS 12 konnte für die Beziehung der $28^{\Delta 5,22}$ - und $28^{\Delta 22}$ - Gehalte jedoch nur ein Korrelationskoeffizienten von $R=0,043$ ermittelt werden.

Die Gehalte der $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ -Sterole (Abb. 35) schwanken in der untersuchten Sequenz zwischen 5 $\mu\text{g/gTOC}$ und 58 $\mu\text{g/gTOC}$ um einen Mittelwert von 21 $\mu\text{g/gTOC}$ und liegen somit um einen Faktor 1,8 über denen im Site 1089 detektierten $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ -Konzentrationen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus der 1089-Bohrung korrelieren die Summenkonzentrationen der $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ -Sterole nicht mit dem Konzentrationsprofil von Hexacosanol (Tabelle 4).

Die Peakflächen der $29^{\Delta 0}+29^{\Delta 5}$ -Sterole (Ethylcholestanol und β -Sitosterol) koeluierten mit einer unbekanntem Verbindung und wurden infolgedessen nicht quantifiziert.

Fettsäuren

Innerhalb der komplexen Lipidzusammensetzung weisen die Summenkonzentrationen der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) im Site 1093 die höchsten Werte auf. Sie schwanken um einen Mittelwert von 172 $\mu\text{g/gTOC}$ (Min = 38 $\mu\text{g/gTOC}$, Max = 369 $\mu\text{g/gTOC}$) und liegen somit in der gleichen Größenordnung wie die entsprechenden Fettsäurekonzentrationen im Site 1089. Die größten Konzentrationsschwankungen treten in den marinen Isotopenstadien MIS 11 und MIS 12 auf (Abb. 35). MIS 5/MIS 6 wird hingegen überwiegend von einem gleichmäßigem Konzentrationsprofil geprägt. Die ermittelten Fettsäurekonzentrationen weisen keine signifikanten Korrelationen zu den Hexacosanol- und Sterolgehalten auf, zeigen jedoch eine Antikorrelation zu den entsprechenden n -Alkan-Summenkonzentrationen (Tabelle 4).

Alkohole

In Abbildung 35 sind die Hexacosanolkonzentrationen ($n\text{-C}_{26:\text{OH}}$) der Bohrung 1093 dargestellt. Das Konzentrationsprofil schwankt zwischen 5 $\mu\text{g/gTOC}$ und 37 $\mu\text{g/gTOC}$ und zeigt in Analogie zu den Ergebnissen aus Site 1089 keine generelle Abhängigkeit von den globalen Glazial-/Interglazial Zyklen. Die $n\text{-C}_{26:\text{OH}}$ -Gehalte weisen wie die Summenkonzentrationen der $29^{\Delta 22}+29^{\Delta 5,22}$ -Sterole und der Fettsäuren keine signifikanten Korrelationen mit den entsprechenden TOC- ($R=0,006$, $R=-0,024$, $R=-0,166$) und S2-Werten ($R=0,064$, $R=0,080$, $R=0,110$) auf.

Alkane

Die durchschnittlichen Summenkonzentrationen der n -Alkane ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$) betragen im Mittel 31 $\mu\text{g/gTOC}$ (Min = 7 $\mu\text{g/gTOC}$, Max = 100 $\mu\text{g/gTOC}$) und liegen somit um einen Faktor 3,4 (MIS 5/6) bzw. Faktor 2 (MIS 11/12) unter denen im Site 1089 detektierten Werten. Die höchsten n -Alkankonzentrationen treten im MIS 12 auf (Abb. 35). Im Gegensatz zu Brassicasterol korreliert die Summenkonzentration der n -Alkane ($R=0,130$) nicht mit den entsprechenden S2-Werten. Im Isotopenstadien MIS 5/MIS 6 ist die Summenkonzentration der n -Alkane relativ konstant.

Tabelle 4. Korrelationen zwischen Biomarkerkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) im Site 1093.

	$n\text{-C}_{26:\text{OH}}$ ($\mu\text{g/g TOC}$)	Brassica- sterol ($28\Delta^{5,22}$) ($\mu\text{g/g TOC}$)	24-Methyl- 5 α -cholest- 22 E-en-3 β - ol ($28\Delta^{22}$) ($\mu\text{g/g TOC}$)	23,24-Dimethyl- 5 α -cholest-22E- en-3 β -ol +Stigmasterol ($29\Delta^{22}/29\Delta^{5,22}$) ($\mu\text{g/g TOC}$)	Summe n -Alkane ($\mu\text{g/g TOC}$)	Summe FS ($\mu\text{g/g TOC}$)
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,245	0,108	0,260	0,250	0,023
2	0,245	1	0,281	0,265	0,574	-0,359
3	0,108	0,281	1	0,179	-0,312	0,261
4	0,260	0,265	0,179	1	0,308	-0,008
5	0,250	0,574	-0,312	0,308	1	-0,617
6	0,023	-0,359	0,261	-0,008	-0,617	1

3.3 Paläooberflächenwassertemperaturen (Site 1089)

Die anhand des Untersättigungsgrades der C_{37} -Methylketone ermittelten Oberflächenwassertemperaturen (SST) zeigen für den untersuchten Zeitabschnitt große Schwankungen (Abb. 36).

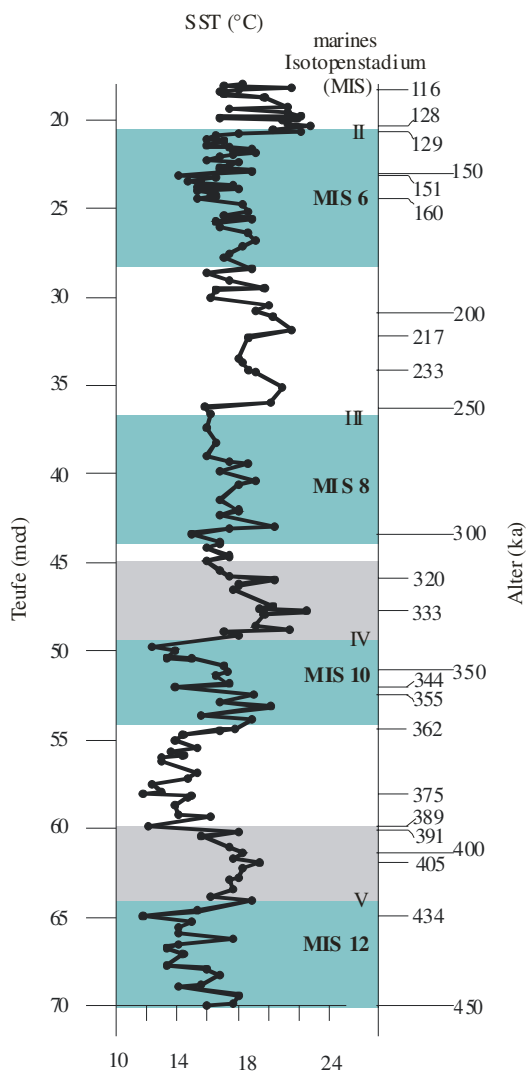


Abb. 36. Alkenon-Paläooberflächenwassertemperaturen (SST) gegen Tiefe (mcd) und Alter (ka) im Site 1089. Unter Verwendung des Altersmodells aus Kuhn & Diekmann (2002). Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale. Die Terminationen II-V sind eingezeichnet

Die Temperaturdaten dokumentieren den Verlauf der globalen Glazial-Interglazial-Klimaschwankungen (Abb. 36). Für die letzten 110 ka bis 450 ka zeigt sich ein Erwärmungstrend mit ansteigenden Oberflächentemperaturen vor allem während der Glaziale (Abb. 36). Die wärmsten interglazialen Temperaturen konnten im MIS 5 und MIS 9 nachgewiesen werden (um ca. 128 ka und 333 ka; 23°C). Die kältesten Temperaturen wurden im oberen MIS 11 und im MIS 12 (um 375 ka, 389 ka und 434 ka; 12°C) bestimmt. An der Termination V zeigen die ermittelten SST eine Erwärmung von 7°C. Bei 405 ka erreichen die SST ihr interglaziales Maximum von ca. 19°C, fallen zwischen 391 und 389 ka auf ein glaziales Temperaturniveau (ca. 14°C) zurück und steigen dann beim Übergang ins MIS 10 abrupt auf 19°C an. Im marinen Isotopenstadium 10 wurden zwischen 362 ka und 355 ka interglaziale SST (19-20°C) detektiert, welche dann bei ca. 344 ka auf ein glaziales Temperaturniveau von 12°C abfallen und dann an der Termination IV auf ca. 21 °C ansteigen. In dem Interglazial MIS 9 zeigen die SST bis ca. 320 ka ein holozänes Temperaturniveau an und pendeln sich dann bis zur Termination III um die 18°C ein, wobei im MIS 8 ähnliche SST wie im MIS 6 nachgewiesen werden konnten. Im MIS 7 konnten ähnliche SST wie im Eem (MIS 5e) bestimmt werden ($T_{\max} = \text{ca. } 22^{\circ}\text{C}$), wobei diese zwischen 233 ka und 217 ka durch einen Kälteevent unterbrochen werden. Im MIS 6 schwanken die SST um 18°C und erreichen zwischen 160 ka und 151 ka ihre Minimaltemperatur von 15°C. In Analogie zur Termination V zeichnet sich die Termination II (letztes Interglazial, Übergang von MIS 6 zu MIS 5) durch eine plötzliche Erwärmung von glazialen zu interglazialen Temperaturen aus. An der Termination II (128,7 ka) steigen die berechneten SST bis auf 22°C und zeigen somit eine Erwärmung von 6°C. Nach 128 ka nehmen die SST dann stetig ab und erreichen bei 116 ka (MIS 5d) glaziale SST von 17°C.

3.4 Statistische Auswertung und kurzfristige Variabilitäten

Im Rahmen dieser Arbeit war von zentralem Interesse, ob sich in den Biomarkerdaten Periodizitäten ableiten lassen, die auf Milankovich- und sub-Milankovich-artige Zyklen hindeuten. Zur Beantwortung dieser Frage wurden ausgewählte Biomarkerdaten des Sites 1089 auf 1 ka mittels einer kubischen spline Extrapolation auf äquidistante Zeitabstände interpoliert („resampled“) und einer Multitaper-Spektralanalyse (MTM) des SSA-MTM Toolkit der University of California, Los Angeles (*Ghil et al. 2002*) unterzogen (Kapitel 2.8). Splinefunktionen eignen sich besonders gut, um eine glatte Kurve zu erhalten. Hierbei wird durch zwei benachbarte Messpunkte jeweils ein Polynom 3. Grades gelegt, wobei die erste und die zweite Ableitung der beiden benachbarten Polynome an ihrem gemeinsamen Messpunkt gleich gesetzt werden. Dadurch sind die zur Charakterisierung aller inneren Polynome nötigen Bedingungen miteinander verknüpft, und man erhält ein gekoppeltes Gleichungssystem.

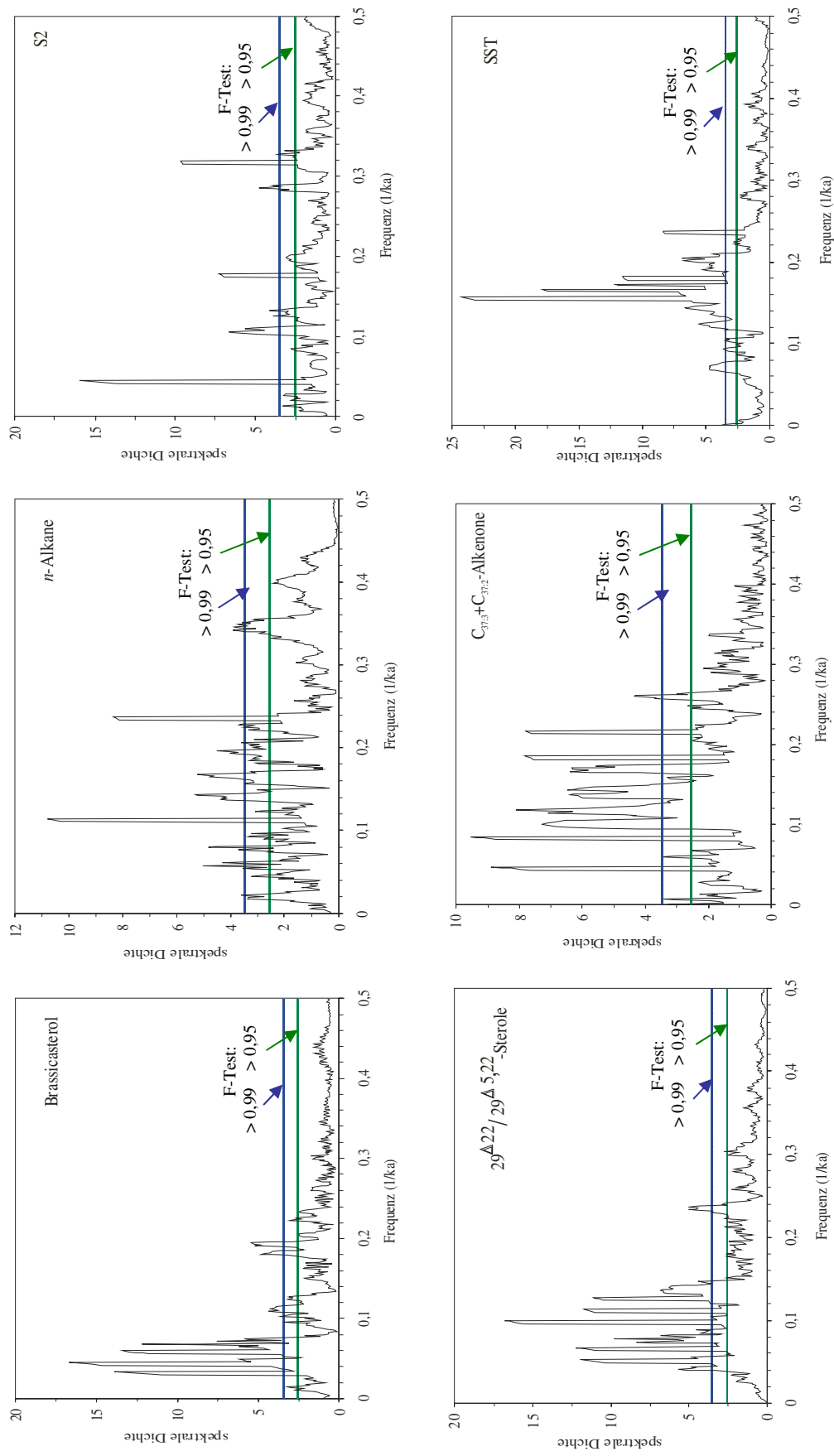


Abb. 37. Mittels MTM ermittelte Frequenzen im Site 1089. Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Spektren zu erreichen, wurde die spektrale Dichte auf den „Level“ des unterliegenden, Daten adaptierten roten Rauschens normiert (Ghil et al. 2002). Eine exemplarische Darstellung der ermittelten Periodizitäten zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5. Exemplarische Darstellung der mittels Multitaper-Spektralanalyse ermittelten Periodizitäten (F-Test Werte > 0,90).

	Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test		Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test
S2	0,014	73	0,95	Brassicasterol	0,015	68	0,95
	0,026	37,9	0,95		0,033	22,3	0,99
	0,046	21,8	0,99		0,067	14,8	0,99
	0,085	11,8	0,99		0,113	9,7	0,99
	0,106	9,5	0,99		0,104	7,5	0,99
	0,133	7,5	0,99		0,182	5,5	0,99
	0,285	3,5	0,99		0,194	5,2	0,95
	Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test		Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test
Alkenone (C _{37:3} , C _{37:2})	0,01	102	0,95	SST	0,073	13,7	0,99
	0,028	35,3	0,99		0,124	8,1	0,99
	0,047	21,3	0,99		0,145	6,9	0,99
	0,084	11,9	0,99		0,182	5,5	0,99
	0,138	7,2	0,99		0,194	5,3	0,99
	0,186	5,4	0,95		0,205	4,9	0,90
	0,26	3,8	0,90		0,238	4,2	0,90
	Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test		Frequenz (1/ka)	Periode (ka)	F-Test
n-Alkane	0,023	44,4	0,99	23,24-Dimethyl-5α-cholest-22E-en-3β-ol/Stigma-sterol (29 Δ^{22} /29 $\Delta^{5,22}$)	0,047	21,3	0,99
	0,045	22,3	0,90		0,070	14,2	0,99
	0,093	10,8	0,95		0,102	9,8	0,99
	0,144	6,96	0,99		0,134	7,5	0,99
	0,168	5,95	0,99		0,213	4,7	0,95
	0,234	4,3	0,99		0,233	4,3	0,99
	0,342	2,9	0,99		0,304	3,3	0,95

Die Spektraldiagramme der *n*-Alkane und der S2-Werte weisen mit einer 95 bzw. 99%igen Signifikanz Frequenzen um die 0,023 und 0,026 (1/ka) auf (Abb. 37), was einer Periodizität von 44 bzw. 38 ka entspricht (Tabelle 5). Weitere signifikante Perioden konnten um 23 ka (21,8 ka für S2; 22,3 ka für die *n*-Alkane und 21,3 ka für 29 Δ^{22} /29 $\Delta^{5,22}$) bestimmt werden. Alle im Rahmen der Spektralanalyse untersuchten Parameter zeigten ebenfalls Periodizitäten zwischen 5 und 10 ka. Aus dem Konzentrationsprofil von Brassicasterol und S2 konnten Perioden von 73 ka und 68 ka abgeleitet werden. Die Summenkonzentrationen der Alkenone (C_{37:3} und C_{37:2}) weisen Periodizitäten von 102 ka, 35,3 ka und 21,3 ka auf. Die größte bestimmte Periode von 102 ka sollte jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da die Länge der Zeitreihe mit $T_{\max} = 1/3T$ (Kapitel 2.8) für eine statistisch signifikante Aussage zu kurz ist. Anschließend wurde der Datensatz einer Wavelet Analyse (WA) (Kapitel 2.8) unterzogen (Torrence & Compo, 1998). Die Ergebnisse der WA decken sich mit denen aus der MTM gewonnen Erkenntnissen (Abb. A-1 bis Abb. A-6).

4. Diskussion

4.1 Klimarelevante Biomarker und ihre Haupteintragsquellen in den Site 1089 und 1093

Da die Diversität innerhalb der Biomarker-Quellen größer als ursprünglich angenommen ist und somit einzelne sedimentierte Biomoleküle nicht mehr uneingeschränkt spezifischen Quellen zugeordnet werden können (Tabelle 6), stellt sich die Frage nach den Haupteintragsquellen für die in dieser Arbeit ausgewählten klimarelevanten Biomarker.

Tabelle 6. Zusammenstellung der in dieser Arbeit ausgewählten klimarelevanten Biomarker und ihre Haupteintragsquellen. In der Tabelle werden neben der vollständigen chemischen Bezeichnung der Sterole auch die Kurz- bzw. Trivialnamen genannt, welche im weiteren Text verwendet werden.

Biomarker	Verbindungs-klasse	Herkunft	Referenz
<i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁)	aliphatische Kohlenwasserstoffe	Blattwachse höherer Landpflanzen	<i>Eglinton & Hamilton (1967)</i> , <i>Kolattukudy (1976)</i>
<i>n</i> -Alkohole (<i>n</i> -C _{24:OH} , <i>n</i> -C _{26:OH} , <i>n</i> -C _{28:OH})	Alkohole	Blattwachse höherer Landpflanzen	<i>Eglinton & Hamilton (1967)</i> , <i>Kolattukudy (1976)</i>
Fettsäuren (<i>n</i> -C _{24:0} , <i>n</i> -C _{25:0} , <i>n</i> -C _{26:0} , <i>n</i> -C _{27:0})	Fettsäuren	Blattwachse höherer Landpflanzen Algen	<i>Eglinton & Hamilton (1963)</i> , <i>Madureira et al. (1995)</i> <i>Volkman et al. (1998)</i>
C ₃₇ -Alkenone (C _{37:3} , C _{37:2})	Ketone	Prymnesiophyceae	<i>Marlowe et al. (1984)</i> , <i>Volkman et al. (1992)</i>
24-Methylcholesta-5,22E-dien-3β-ol Brassicasterol (28 ^{Δ5,22})	Steroidalkohole	Diatomeen Dinoflagellaten Prymnesiophyceae Pflanzen	<i>Gagosian et al. (1983)</i> <i>Mansour et al. (1999)</i> <i>Volkman (1986)</i> <i>Idler & Wiseman (1971)</i>
24-Methyl-5α-cholest-22E-en-3β-ol (28 ^{Δ22})	Steroidalkohole	Dinoflagellaten	<i>Mansour et al. (1999)</i>
23,24-Dimethyl-5α-cholest-22E-en-3β-ol (29 ^{Δ22})	Steroidalkohole	Dinoflagellaten	<i>Mansour et al. (1999)</i>
24-Ethyl-5α-cholestan-3β-ol Ethylcholestanol (29 ^{Δ0})	Steroidalkohole	Algen, höhere Landpflanzen	<i>Volkman (1986)</i> , <i>Huang & Meinschein (1976)</i>
24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3β-ol Stigmasterol (29 ^{Δ5,22})	Steroidalkohole	Algen, höhere Landpflanzen	<i>Volkman (1986)</i>
24-Ethylcholest-5en-3β-ol β-Sitosterol (29 ^{Δ5})	Steroidalkohole	Algen, höhere Landpflanzen	<i>Volkman (1986)</i> , <i>Huang & Meinschein (1976)</i>

Tabelle 6 verdeutlicht, dass sich die organismenspezifischen Alkenone eindeutig marinen Quellen zuordnen lassen. Hinsichtlich der terrigenen Komponenten wurde in der Vergangenheit jedoch kontrovers diskutiert. Als Beispiel seien hier β-Sitosterol und sein gesättigtes Homolog Ethylcholestanol genannt. *Sinsabaugh et al. (1997)* identifizierten β-Sitosterol in verschiedenen Gräsern und Waldpflanzen. Ethylcholestanol und β-Sitosterol konnten außerdem in Kiefernholz und Steppengräsern nachgewiesen werden (*Otto & Simoneit 2002*, *Otto et al. 2005*). In küstennahen Sedimentationsräumen liefern

C₂₉-Sterole somit Hinweise auf einen terrigenen Eintrag des organischen Materials, ihre Zuordnung in der offenen See ist jedoch nicht so eindeutig wie in der Vergangenheit angenommen. Die lange als terrigen interpretierten C₂₉-Steroidalkohole können, wie Studien von *Nichols et al. (1993)*, *Barrett et al. (1995)*, *Volkman et al. (1998)* und *Hinrichs et al. (1999)* gezeigt haben, durchaus auch marinen Ursprungs sein.

C₂₉-Sterole

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse für die Beziehung zwischen den C₂₉-Sterolen und den aus Blattwachsen höherer Landpflanzen stammenden Hexacosanolkonzentrationen dar.

Tabelle 7. Korrelationen zwischen 29^{Δ22}+29^{Δ5,22}- bzw. 29^{Δ0}+29^{Δ5}- und Hexacosanolkonzentrationen (μg/gTOC) im Site 1089 und Site 1093.

Site		Biomarker	Biomarker	R
1089	40°56'S;9°54'E	29 ^{Δ22} + 29 ^{Δ5,22}	Hexacosanol	0,740
1089	40°56'S;9°54'E	29 ^{Δ0} + 29 ^{Δ5}	Hexacosanol	0,718
1093	49°58,58'S;05°51,92'E	29 ^{Δ22} + 29 ^{Δ5,22}	Hexacosanol	0,260

Die relativ hohen linearen Korrelationskoeffizienten für die Beziehung von *n*-C_{26:OH} und den Sterolen 29^{Δ22} + 29^{Δ5,22} bzw. 29^{Δ0} + 29^{Δ5} (Tabelle 7) stützen die These, dass beide Substanzklassen in den Sedimentproben des Sites 1089 terrestrischer Herkunft sind, da den langkettigen *n*-Alkoholen als Bestandteile höherer Landpflanzen ein terrigener Ursprung zugeschrieben werden kann (Tabelle 6). Eine Korrelation für die Beziehung *n*-C_{26:OH}/C₂₉-Sterole konnte im Site 1093 im Gegensatz zu Site 1089 nicht nachgewiesen werden. Der niedrige Korrelationskoeffizient der Beziehung *n*-C_{26:OH}/C₂₉-Sterole weist darauf hin, dass beide Verbindungsgruppen im Site 1093 aus unterschiedlichen biogenen Quellen stammen, wodurch sich die Frage nach den potentiellen Quellen der Steroidalkohole aufwirft.

Terrigene Biomarker, die vom Land ins Meer getragen werden, werden hauptsächlich durch fluviatilen- und äolischen Transport gesteuert. Wie bereits in Kapitel 1.1.1 beschrieben, steht Site 1089 unter dem Einfluss des Agulhas-Stroms und des Nordatlantischen Tiefenwassers (NADW). Die Stärke bzw. Reichweite dieser Strömungen regulieren den Transport terrigenen Materials im Bereich der hier untersuchten Sedimente. Südost- und Äquatorialafrika stellen hier die Haupteintragsquellen für das organische Material dar (siehe hierzu Kapitel 4.3). Es ist anzunehmen, dass die Veränderung der Konzentrationswerte stark mit der Entfernung zur Quelle korreliert. Durch die größere Entfernung zur Quellregion sollten die gemessenen Konzentrationen im Site 1093 daher geringer sein.

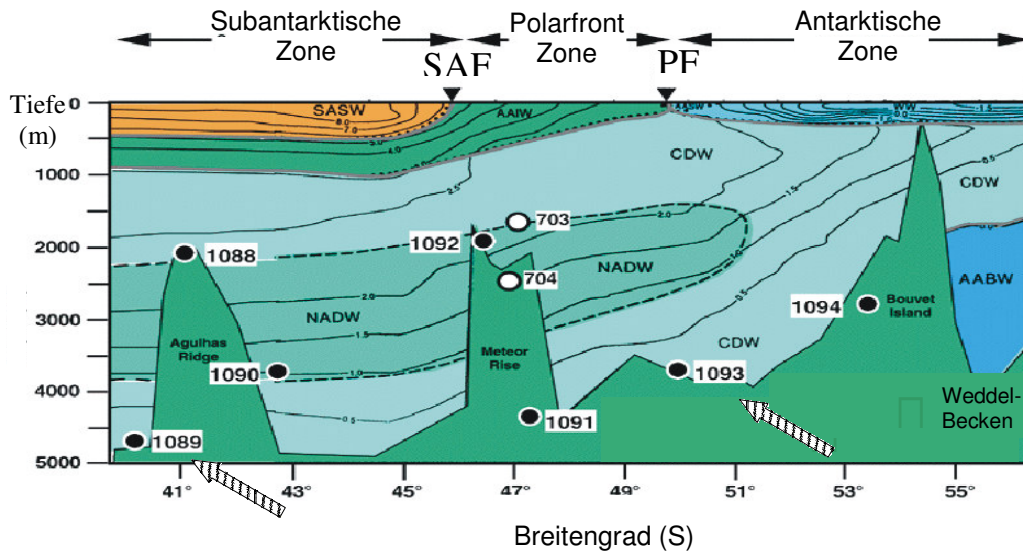


Abb. 38. Vereinfachtes Modell der Ozeanischen Zirkulation im Untersuchungsgebiet (Gersonde et al. 1999). Die Pfeile mit gestrichelter Linie kennzeichnen die diskutierten Bohrlokationen (1089 und 1093).

Vergleicht man die mittleren Hexacosanolkonzentrationen der Sedimentproben beider Sites miteinander, so trifft diese Aussage für die ermittelten Hexacosanolkonzentrationen zu. Am südlichen Rande des Kap-Beckens (Site 1089 Abb. 38) konnten $n\text{-C}_{26}\text{:OH}$ -Werte bis $68 \mu\text{g/g TOC}$ (mittlere Konz. = $23 \mu\text{g/g TOC}$) ermittelt werden. In den Sedimentproben des südlich der Polarfront gewonnenen Kerns (Site 1093 Abb. 38) konnten im MIS 5/6 und MIS 11/12 Maximalkonzentrationen von $37 \mu\text{g/g TOC}$ nachgewiesen werden. Die Konzentrationsprofile der $29^{\Delta 22} + 29^{\Delta 5,22}$ -Sterole zeigen jedoch einen anderen Trend. Während die $29^{\Delta 22} + 29^{\Delta 5,22}$ -Konzentrationen im Site 1089 um eine mittlere Konzentration von $13 \mu\text{g/g TOC}$ schwanken, konnten in den Sedimentextrakten der südlicheren Kernlokation (Site 1093) durchschnittliche Summenkonzentrationen von $21 \mu\text{g/g TOC}$ ermittelt werden. Die relativ erhöhten Steroidkonzentrationen im Site 1093 deuten darauf hin, dass die C_{29} -Sterole wahrscheinlich nicht ausschließlich durch das Nordatlantische Tiefenwasser an die Site-Position transportiert werden. Site 1093 liegt weitab von Kontinenten mit stärkerer Vegetation und ist durch die ozeanischen und meteorologischen Gegebenheiten von diesen isoliert. Die geographische Lage der Bohrlokation 1093 in der Antarktischen Zone des ACC wird vom Zirkumpolaren Tiefenwasser (CDW) und dem Ausläufer des NADWs geprägt (Abb. 38). Die ostwärtsfließenden Oberflächenwassermassen werden von der Westwinddrift angetrieben und können terrigenes Material aus Südamerika und den Falklandinseln an die Kernlokation transportieren. Die Antarktische Halbinsel und Patagonien speisen das CDW mit terrigenem Sediment (Kuhn & Diekmann 2002). Der terrestrische Bewuchs auf der Antarktischen Halbinsel ist gering und damit für die gegebene Fragestellung zu vernachlässigen. Über die Westwinddrift eingetragenes Terrigenmaterial sollte am Site 1089 höher sein, da die Bohrlokation 1089 im Gegensatz zu 1093 zusätzlich unter dem Einfluss des AAIW (Antarktisches Zwischenwasser) steht. Das AAIW hat im Zirkumpolarstrom zwischen Subantarktisch- und Polarfront Kontakt mit der

Atmosphäre. Es handelt sich um vergleichsweise junges Wasser, was sich in eine ältere Wassermasse entsprechend seiner Dichte einschichtet. Dieses geringe Alter spiegelt damit die jeweiligen Atmosphärenkonzentrationen wider. Das sedimentäre Vorkommen der C₂₉-Sterole an der Bohrlokation 1093 scheint folglich nicht auf einen äolischen Eintrag zurückzuführen zu sein.

Hinrichs et al. (1999) detektierten β -Sitosterol (29^{A5}) und Ethylcholestanol (29^{A0}) in Sedimentproben des Südostatlantiks. In Übereinstimmung mit den aus dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen stellten die C₂₉-Sterole die dominierenden Steroidalkohole dar. *Hinrichs et al. (1999)* führten das Vorkommen dieser relativ widerstandsfähigen Verbindung auf eine planktonische Gemeinschaft zurück, wenn auch über die Quelle der eintragenden Organismen zurzeit noch spekuliert wird. *Hanke (1995)* detektierte β -Sitosterol in Meereisalgen aus dem Antarktischen Weddellmeer. Stigmasterol (29^{A5,22}) nimmt in den Diatomeen *Amphora* sp. mit 95,5 % den Hauptsterolanteil ein und ist in *Amphiprora hyalina* zu 33,9 % vertreten (*Barrett et al. 1995*). Des Weiteren wiesen die von *Barrett et al. (1995)* untersuchten Diatomeen 23,24-Dimethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol und in Spuren Ethylcholesterol auf. Ein mariner Ursprung der im Site 1093 detektierten C₂₉-Sterole scheint folglich nicht ausgeschlossen, wenn auch eine Korrelation zu Brassicasterol (R=0,265) nicht nachgewiesen werden konnte. Diese Tatsache ist, obwohl beide Verbindungen aus Diatomeen stammen, nicht verwunderlich, da die Steroidverteilung in Diatomeen je nach Spezies variieren (*Barrett et al. 1995*). In der von *Kunz-Pirrung et al. (2002)* im Site 1093 detektierten Warmwasserspezies *Thalassionema nitzschioides* konnten *Barrett et al. (1995)* Ethylcholestanol (29^{A0}) nachweisen. Diese Diatomeen synthetisieren jedoch kein Brassicasterol. In der Kaltwasserspezies *Chaetoceros* spp. hingegen nimmt Brassicasterol den größten prozentuellen Anteil an der Gesamtsterolverteilung ein (*Barrett et al. 1995*). In den von *Nichols et al. (1993)* untersuchten Meereisalgen variierten das Brassicasterol- und β -Sitosterol- Verhältnis und das Brassicasterol- und Stigmasterol-Verhältnis erheblich.

Langkettige Fettsäuren

Das sedimentäre Vorkommen langkettiger gesättigter Fettsäuren wird in Analogie zu den langkettigen *n*-Alkoholen und den langkettigen *n*-Alkanen als Anzeiger für Einträge aus den Blattwachsen höherer Landpflanzen interpretiert (z.B. *Eglinton & Hamilton 1967*). Mehrere Studien haben jedoch gezeigt, dass insbesondere in Hochproduktivitätsgebieten mit einem hohen Eintrag mariner Biomasse eine vereinfachte Interpretation der Biomarkerverteilung nicht gegeben ist, und es mehren sich Zweifel an einer eindeutigen Zuordnung der *n*-C_{24:0}, *n*-C_{25:0}, *n*-C_{26:0}, *n*-C_{27:0}-Fettsäuren zu terrigenen Quellen (*Volkman et al. 1998*, *Naraoka & Ishiwatari 2000*, *Shi et al. 2001*, *Stein 2002*, *Birgel et al. 2004*).

Die Konzentrationsprofile der langkettigen Fettsäuren zeigen im Site 1089 keine signifikante Korrelation zu den Summenkonzentrationen der langkettigen *n*-Alkane. Im Site 1093 weisen diese sogar eine Antikorrelation (Tabelle 8) auf. Eine Korrelation zwischen dem terrigenen Marker Hexacosanol und der Summenkonzentration der langkettigen Fettsäuren war ebenfalls nicht nachzuweisen (Tabelle 8). Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse lassen die

Schlussfolgerung zu, dass diese Biomoleküle aus unterschiedlichen Quellen stammen. Es gibt bereits einige Hinweise darauf, dass langkettige Fettsäuren durchaus auch aus marinen Quellen entstammen können. *Volkman et al. (1998)* detektierten langkettige Fettsäuren in einzelligen, marinen Algenarten. Beim Vergleich der Konzentrationsprofile der langkettigen Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) mit den eindeutig marinen C_{37} -Alkenonen wird ersichtlich, dass die Summenkonzentrationen einen ähnlichen Kurvenverlauf beschreiben (Abb. 39), erhöhte Gehalte fallen in die Glaziale, niedrige Konzentrationen sind für die Interglaziale typisch. Dieses Ergebnis wird durch die Korrelationsanalyse gestützt (Tabelle 8).

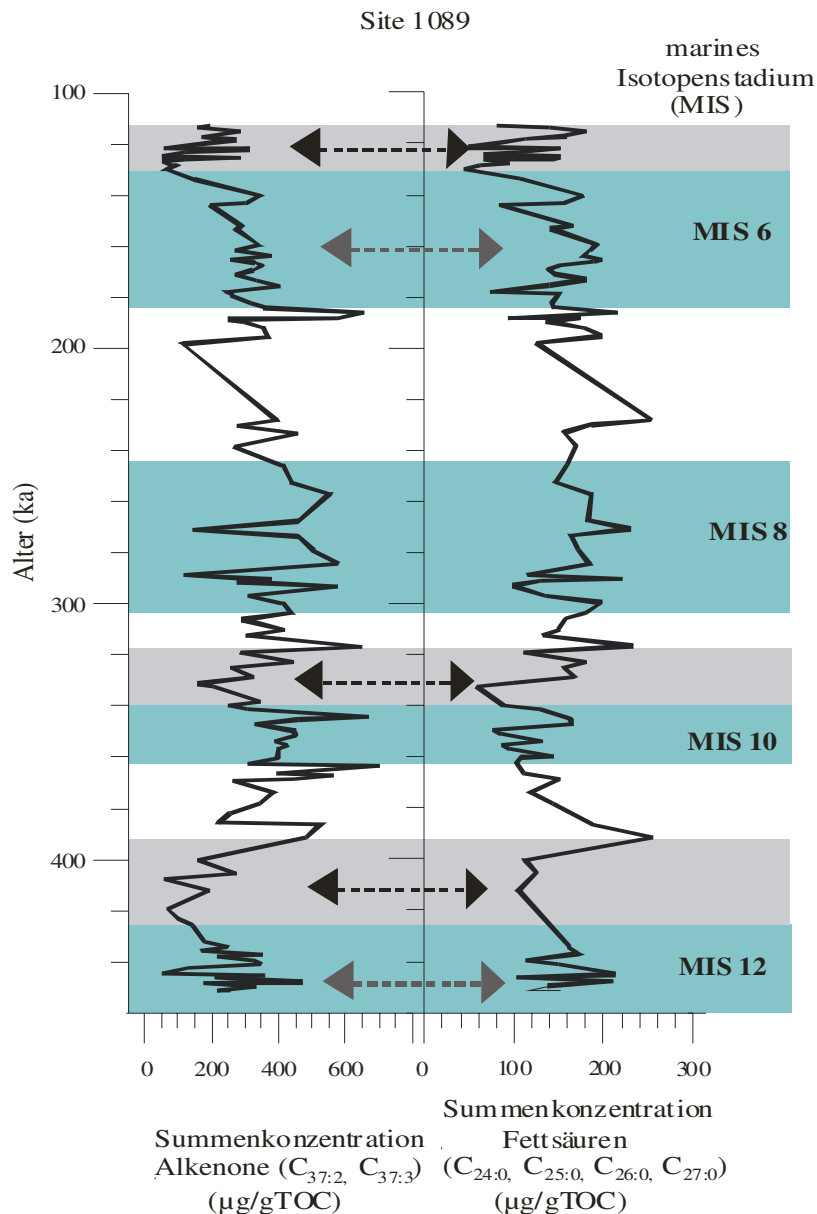


Abb. 39. Summe der $\text{C}_{37:2}$ - und $\text{C}_{37:3}$ -Alkenonkonzentrationen (µg/gTOC), Summe der $n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$ -Fettsäurekonzentrationen (µg/gTOC) im Site 1089 in Abhängigkeit vom Alter (ka), unter Verwendung des Altersmodells aus *Kuhn und Diekmann (2002)*. Die grünen Balken kennzeichnen die Kaltphasen, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale.

Tabelle 8. Korrelation zwischen den Summenkonzentration ($\mu\text{g/gTOC}$) der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) und den Summenkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) der n -Alkane ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$), Korrelationen zwischen den Summenkonzentration ($\mu\text{g/gTOC}$) der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) und den $\text{C}_{37:3}$ -Alkenon- bzw. $\text{C}_{37:2}$ -Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Korrelation zwischen den Summenkonzentration ($\mu\text{g/gTOC}$) der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) und den Hexacosanolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) im Site 1089 und Site 1093.

Site		Biomarker	Biomarker	R
1089	40°56'S;9°54'E	Fettsäuren	n -Alkane	0,319
1093	49°58,58'S;05°51,92'E	Fettsäuren	n -Alkane	-0,617
1089	40°56'S;9°54'E	Fettsäuren	$\text{C}_{37:3}$ -Alkenone	0,619
1089	40°56'S;9°54'E	Fettsäuren	$\text{C}_{37:2}$ -Alkenone	0,637
1089	40°56'S;9°54'E	Fettsäuren	Hexacosanol	0,492
1093	49°58,58'S;05°51,92'E	Fettsäuren	Hexacosanol	0,223

Die hier diskutierten Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass die langkettigen Fettsäuren in diesem Untersuchungsgebiet im Wesentlichen marinen Ursprungs sind. Diese Schlussfolgerung wird durch die von *Hefter* (in *Stein 2002*) gewonnenen Daten gestützt. *Hefter* (in *Stein 2002*) konnte anhand von $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen zeigen, dass sowohl die langkettigen Fettsäuren als auch die Alkenone in allen untersuchten Sedimentproben des Sites 1089 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen, die im Vergleich zu den langkettigen n -Alkanen deutlich an schwerem ^{13}C angereichert sind. Die Fettsäuremoleküle ($n = 22$ bis $n = 30$) weisen durchschnittliche $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von ca. -21% bis -23% auf und zeigen somit ähnliche Werte in der Kohlenstoffisotopie wie die Alkenone (Mittelwert $\text{C}_{37:3} = -23,2\%$; $\text{C}_{37:2} = -22,8\%$, Variation: 4%). Die schweren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der langkettigen Fettsäuren deuten zunächst auf C_4 -Pflanzen als potentielle terrestrische Quellen hin. C_4 - und C_3 -Pflanzen werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Assimilationswege des Kohlenstoffs unterschieden. Die Unterschiede in der Kohlenstoffaufnahme und photosynthetischen C-Fixierung führen zu einer deutlichen Differenz bei der Diskriminierung gegenüber ^{13}C . Organisches Material aus C_3 -Pflanzen ist bedeutend leichter als das der C_4 -Pflanzen (*Collister et al. 1994*, *Chikaraishi & Naraoka. 2003*). Aufgrund der von *Rommerkirchen et al. (2003)* aufgestellten phytogeographischen Zonierung (Abb. 49) und den für das Site 1089 angenommenen Haupteintragswegen des terrigenen Materials (Kapitel 4.3) sind relativ hohe Anteile an langkettigen Fettsäuren aus C_4 -Pflanzen in den Sedimenten der Bohrung 1089 nicht unwahrscheinlich. Die Kohlenstoffisotopie der langkettigen n -Alkane zeigt jedoch ein wesentlich differenzierteres Bild. Die von *Hefter* (unpubl. Daten in *Stein 2002*) bestimmten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der n -Alkane liegen in etwa zwischen denen der C_3 - und C_4 -Pflanzen (Abb. 40) und deuten somit auf eine komplexe Mischung aus unterschiedlichen Quellen hin.

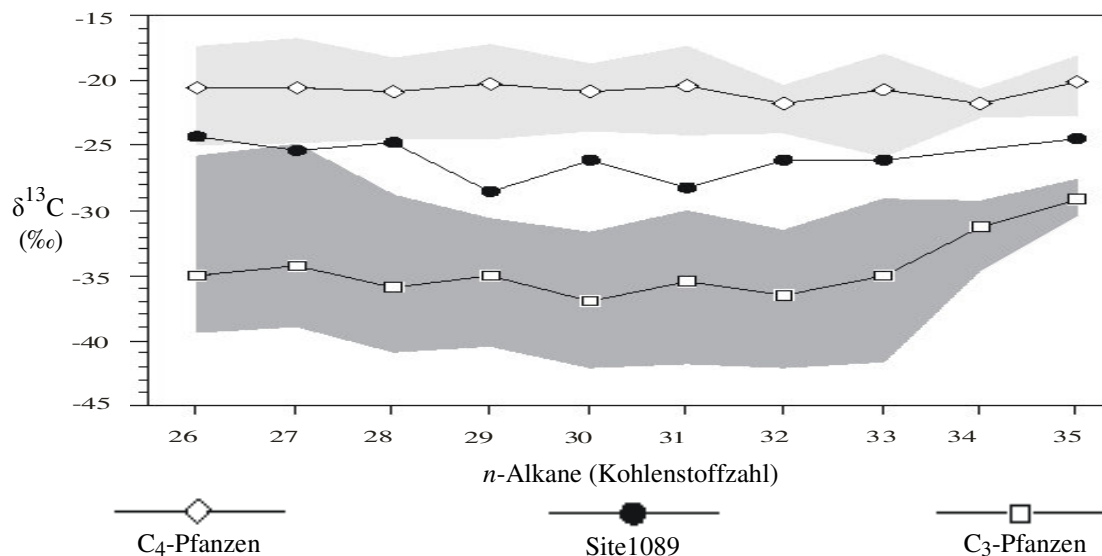


Abb. 40. Von Hefter (unpubl. Daten in Stein 2002) bestimmte mittlere Zusammensetzung der Kohlenstoffisotope in *n*-Alkanen (Site1089), im Vergleich mit der aus Landpflanzen (C₃ und C₄) bekannten δ¹³C-Verteilung. Die grau markierten Bereiche geben die Variationsbereiche für den jeweiligen Pflanzentyp wieder. Zusammengestellt nach Collister et al. (1994) und Chikaraishi & Naraoka (2003).

Der Anteil des aus C₄-Pflanzen transportierten organischen Materials ist somit nicht ausreichend, um die beobachteten schweren δ¹³C-Werte der langkettigen Fettsäuren zu erklären. Würden die Alkyl-Lipide einem gemeinsamen biologischen Ursprung entstammen, so wäre eine einheitliche Fraktionierung der Kohlenstoffisotopie zu erwarten (Collister et al. 1994, Huang et al. 1996, Ficken et al. 1998). Der Vergleich der Kohlenstoffisotopie der langkettigen *n*-Alkanen mit denen der langkettigen Fettsäuren zeigt, dass die Karbonsäuren im Mittel um ca. 5‰ bis 7‰ schwerer sind (Hefter unpubl. Daten in Stein 2002). Die anhand der für Site 1089 bestimmten Kohlenstoffisotopien der langkettigen *n*-Alkane und längerkettigen (*n*-C₂₂ bis *n*-C₃₀) gesättigten Fettsäuren schließt eine gemeinsame terrestrische Quelle jedoch aus. Birgel et al. (2004) konnten ebenfalls eine Differenz von ca. 5‰ zwischen den langkettigen *n*-Alkanen und Fettsäuren in Oberflächensedimenten des Arktischen Ozeans beobachten.

Vergleicht man die mittleren *n*-Alkankonzentrationen der Sedimentproben beider Sites miteinander, so wird ersichtlich, dass die Konzentrationswerte der *n*-Alkane mit der Entfernung zur Quelle (Südafrika, Äquatorialafrika, Kapitel 4.3) abnehmen. Diese weisen südlich der Polarfront (Site 1093) zwischen Faktor 2 (MIS 11/12) und 3,4 (MIS 5/6) geringere Werte als an der Subtropischen Front (Site 1089) auf. Die Summenkonzentrationen der langkettigen Fettsäuren variieren in Site 1089 zwischen 44 µg/g TOC und 256 µg/g TOC. Im Site 1093 schwanken die ermittelten Konzentrationen zwischen 38 µg/g TOC und 396 µg/g TOC. Die relativ erhöhten Fettsäurekonzentrationen im Site 1093 sowie die Korrelationsanalysen der Sedimentproben von Site 1089 und Site 1093 (Tabelle 8) deuten darauf hin, dass der Anteil an marinen Fettsäuren mit zunehmender Entfernung von der afrikanischen Küste steigt, bzw. die Anteile an mariner organischer Substanz im Site 1093 signifikant höher

sind als in Site 1089. Diese Vermutung wird durch die in Abbildung 25 (Kapitel 3.1) dargestellten Ergebnisse gestützt. Im Vergleich zum Site 1089 (Abb. 25) sind im Site 1093 die Gehalte an marinem C_{org} (S2-Werte) relativ zu den TOC-Werten signifikant höher, was sich auch in den deutlich höheren HI' -Werten widerspiegelt. Diese erreichen Werte von 100 mgHC/gTOC' bis 300 mgHC/gTOC'.

Untersuchungen von *Naraoka & Ishiwatari (2000)* zeigen, dass langkettige Fettsäuren in rezenten Oberflächensedimenten des Nordpazifiks mit zunehmender Entfernung von der Küste eine Verschiebung der Kohlenstoffisotopie zu 6‰ schwereren Werten aufzeigen. Ein gleicher Trend wurde auch im Bereich des westlichen Nordatlantiks für die Mündung des Altamaha beobachtet (*Shi et al. 2001*).

Alkenone, Brassicasterol

Der marine Ursprung der langkettigen, mehrfach ungesättigten Alkenone ist bislang unumstritten. Im Gegensatz zu den Alkenonen, welche ihren Ursprung in einigen Gattungen der Prymnesiophyceen haben, ist die Quelle der eintragenden Organismen für Brassicasterol jedoch nicht so eindeutig. *Volkman et al. (1998)* postulierten, dass in marinen Sedimenten autotrophe Primärproduzenten (Diatomeen) die Haupteintragsquelle für Brassicasterol darstellen. *Idler & Wiseman (1971)* zählen Brassicasterol zu den Phytosterolen. *Fahl et al. (2003)* interpretierten Brassicasterol als Indikator für Süßwasseralgeln, die aus den Flüssen Ob und Yenisei in die südliche Kara-See eingetragen werden.

Tabelle 9. Korrelation zwischen den Brassicasterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) und den S2-Werten (mgHC/gSed), Korrelationen zwischen den Brassicasterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) und den $C_{37:3}$ -Alkenon- bzw. $C_{37:2}$ -Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Korrelation zwischen den Brassicasterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) und den Summenkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) der n -Alkane ($n\text{-}C_{27}$, $n\text{-}C_{29}$, $n\text{-}C_{31}$), im Site 1089.

Site		Biomarker	Biomarker	R
1089	40°56'S;9°54'E	Brassicasterol	S2	0,7
1089	40°56'S;9°54'E	Brassicasterol	$C_{37:3}$ - Alkenone	0,761
1089	40°56'S;9°54'E	Brassicasterol	$C_{37:2}$ - Alkenone	0,55
1089	40°56'S;9°54'E	Brassicasterol	n -Alkane	-0,156

Die in Tabelle 9 dargestellten Korrelationskoeffizienten zeigen, dass die Brassicasterolkonzentrationen ($28\Delta^{5,22}$) mit den für das Site 1089 bestimmten S2-Werten (marinem C_{org}) korrelieren. Zu den langkettigen n -Alkankonzentrationen weisen die Brassicasterolkonzentrationen eine negative Korrelation auf. Dieses Ergebnis lässt die Annahme zu, dass die im Kap-Becken bestimmten Brassicasterolkonzentrationen marinen Ursprungs sind. Die im Site 1089 detektierten Brassicasterolkonzentrationen weisen weiterhin eine Korrelation zu den entsprechenden $C_{37:3}$ -Konzentrationen auf, was wiederum auf eine gemeinsame biogene Quelle hindeutet. Obwohl Brassicasterol in der Vergangenheit oft als Anzeiger für Diatomeen interpretiert wurde, wurde dieses

C₂₈-Sterol auch in vielen anderen Algengruppen identifiziert. In *E. huxleyi* nimmt Brassicasterol mit 98% den größten prozentuellen Anteil an der Gesamtsterolverteilung in ein (Volkman 1986). Hinrichs et al. (1999) konnten im Rahmen ihrer Studie zeigen, dass im Kap-Becken trotz der Anwesenheit von Alkenon- produzierenden- Haptophyceen Diatomeen die Hauptquelle für Brassicasterol darstellen.

Die Übereinstimmung der Konzentrationsprofile von Brassicasterol und dem von Kunz-Pirrung et al. (2002) bestimmten Diatomeeintrag in die Sedimente der Bohrung 1093 (Abb. 41) lässt vermuten, dass Diatomeen im Antarktischen Zirkumpolarstrom ebenfalls die Hauptquelle für Brassicasterol sind. Brassicasterol nimmt in der von Kunz-Pirrung et al. (2002) detektierten Kaltwasserspezies *Chaetoceros spp.* den größten prozentuellen Anteil an der Gesamt-Sterolverteilung ein (Barrett et al. 1995).

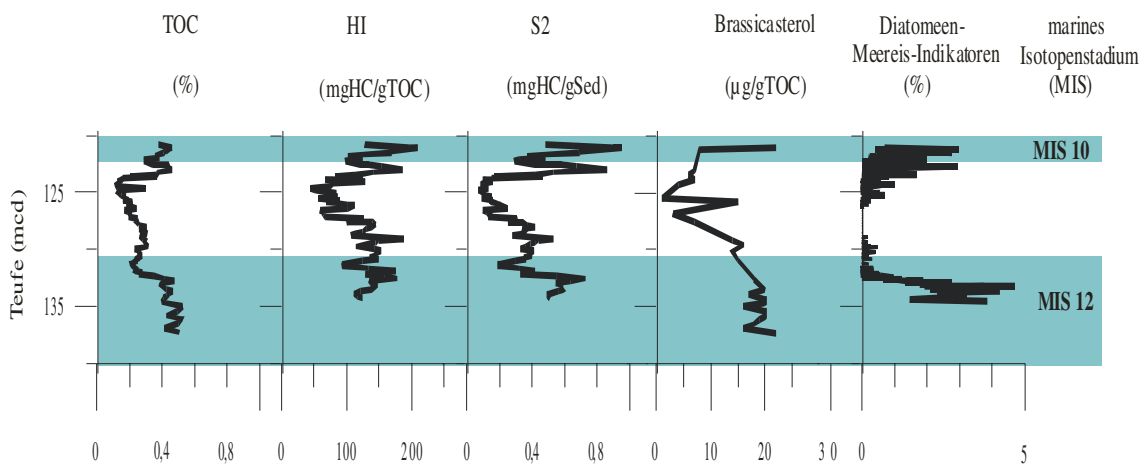


Abb. 41. TOC (%) (Kuhn & Diekmann 2002), HI-Werte (mgHC/gTOC), S2-Werte (mgHC/gSediment), Konzentration von Brassicasterol (µg/gTOC), Diatomeen-Meereis-Indikatoren (%) (Kunz-Pirrung et al. 2002), im Site 1093 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kunz-Pirrung et al. (2002).

4.2 Primärproduzenten und Paläoproduktivität

Betrachtet man die heutige Verteilung der Primärproduktivität im südlichen Südatlantik, ist zu erkennen, dass die beiden im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Sites 1089 und 1093 aus Gebieten unterschiedlicher Produktivität stammen (Abb. 42). Während sich das Gebiet von Site 1089 durch niedrige Produktivitätswerte um $50 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ auszeichnet, werden im Gebiet von Site 1093, das in der Polarfront-Zone liegt, mit $> 90 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ deutlich höhere Werte erreicht (Berger et al. 1989). Wie spiegeln sich diese Verhältnisse in den Sediment- bzw. Biomarkerdaten wider und wie haben sich diese in der Vergangenheit geändert?

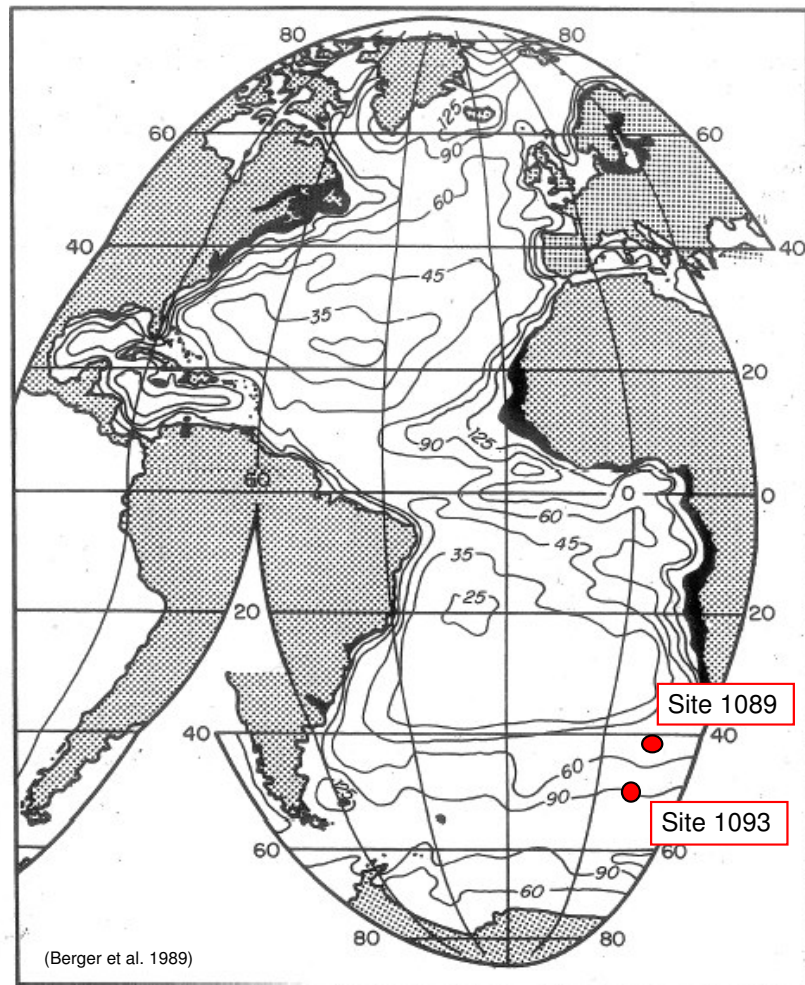


Abb. 42. Heutige Oberflächenwasserproduktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$) im Atlantik (Berger et al. 1989).

Um aus den C_{org} -Daten Aussagen über die Paläoproduktivität und deren Variabilität machen zu können, ist eine genauere Kenntnis der Zusammensetzung der organischen Substanz erforderlich, d.h., es müssen die marinen bzw. terrigenen Anteile der organischen Substanz bestimmt werden. Erste Informationen hierzu können die organisch-geochemischen Basisparameter liefern (C/N-Werte, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte und Wasserstoff-Index-Werte). C/N-Werte um 6 sind typisch für marines organisches Material, hohe C/N-Werte > 15 dagegen Anzeiger für eine terrigene Herkunft (z.B. Meyers 1997). Die C/N-Werte für die Sedimentabfolge von Site 1089 variieren zwischen 4 und 8 und weisen danach auf die Dominanz von mariner organischer Substanz hin (Kuhn & Diekmann 2002). Die C/N-Werte sind hier jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da zum einen die TOC-Werte sehr niedrig sind (0,2-0,8%) und zum anderen das Tonmineral Illit mit 35-45% das häufigste Tonmineral ist (Kuhn & Diekmann 2002). In C_{org} -armen und Illit-reichen Sedimenten kann der Anteil von anorganischem Stickstoff (gebunden im Illit als NH_4^+ ; z.B. Müller 1977) signifikant sein und so zu niedrigen C/N-Verhältnissen führen. Durchgehend schwere $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte um -20‰ (Hefter, in Stein 2002) unterstützen jedoch die Interpretation, dass in den Proben von Site 1089 hohe Anteile an mariner organischer Substanz erhalten sind. Demgegenüber stehen

die niedrigen Wasserstoff-Index-Werte von < 130 mgHC/gTOC, die auf einen hohen Anteil terrigener organischer Substanz hindeuten (z.B. Tissot & Welte 1984).

Die Biomarkerdaten von Site 1089 weisen ebenfalls auf einen hohen Anteil an mariner Substanz hin. Die Summenkonzentrationen der analysierten marinen Biomarker ($C_{37:3}$, $C_{37:2}$, $28^{\Delta 5,22}$, $28^{\Delta 22}$) sind um den Faktor drei bis fünf gegenüber den terrigenen Markern ($n-C_{26:0}$, $29^{\Delta 22}$, $29^{\Delta 5,22}$, $29^{\Delta 0}$, $29^{\Delta 5}$, $n-C_{27}$, $n-C_{29}$, $n-C_{31}$) erhöht (Tabelle 10).

Tabelle. 10. Exemplarische Darstellung der Summenkonzentrationen aller quantifizierten marinen ($C_{37:3}$, $C_{37:2}$, $28^{\Delta 5,22}$, $28^{\Delta 22}$) und terrigenen ($n-C_{26:0}$, $29^{\Delta 22}$, $29^{\Delta 5,22}$, $29^{\Delta 0}$, $29^{\Delta 5}$, $n-C_{27}$, $n-C_{29}$, $n-C_{31}$) Biomoleküle ($\mu\text{g/gTOC}$) aus den Sedimentproben der Bohrung 1089.

Sedimentalter (ka)	Summenkonzentration der marinen Marker ($\mu\text{g/gTOC}$) (marin)	Summenkonzentration der terrigenen Marker ($\mu\text{g/gTOC}$) (terrigen)	Faktor
			marin/terrigen
164	405	76	5,33
284	609	215	2,83
341	328	108	3,04
450	356	67	5,31

Eine Korrelation zwischen den marinen und den terrigenen Anteilen an Site 1089 konnte nicht nachgewiesen werden (Abb. 43).

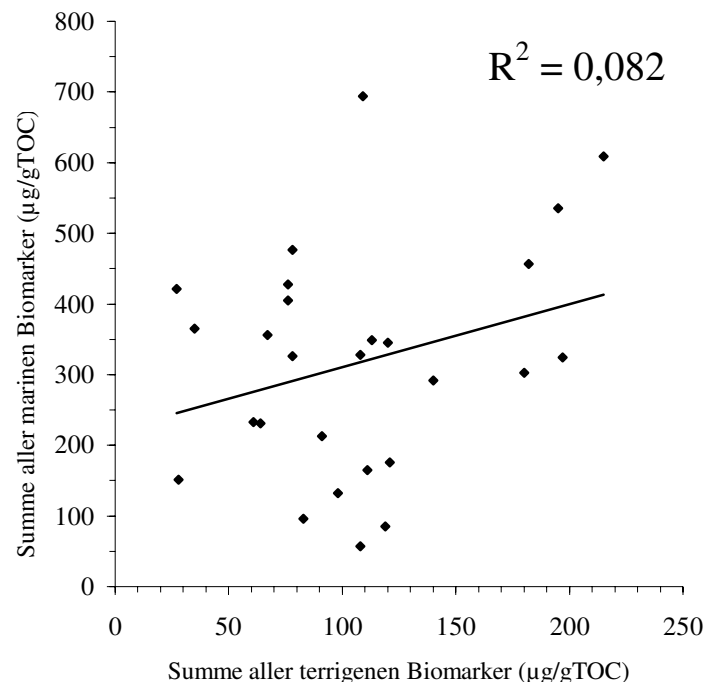


Abb. 43. Korrelationsdiagramm zwischen dem terrigenen Signal (Summe aller quantifizierbaren terrigenen Markern ($n-C_{26:0}$, $29^{\Delta 22}$, $29^{\Delta 5,22}$, $29^{\Delta 0}$, $29^{\Delta 5}$, $n-C_{27}$, $n-C_{29}$, $n-C_{31}$) und dem marinen Signal (Summe aller quantifizierbaren marinen Markern ($C_{37:3}$, $C_{37:2}$, $28^{\Delta 5,22}$, $28^{\Delta 22}$) im Site 1089.

Abbildung 43 zeigt, dass keine Wechselwirkung zwischen der Produktion bzw. Erhaltung des marinen organischen Materials und den eingetragenen terrigenen Biomolekülen besteht. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass die im Rahmen dieser Arbeit bestimmten terrigenen und marinen Biomarkerkonzentrationen durch verschiedene Mechanismen gesteuert werden und somit einen unterschiedlichen Einfluss auf die Ablagerungsbedingungen im Antarktischen Zirkumpolarstrom haben. Der Verlauf der Brassicasterolkonzentrationen (als Anzeiger für autotrophe Primärproduzenten) spiegelt sehr gut die Variationen der Gesamt-TOC-Kurve als auch die Variationen der S₂- und HI-Werte wider (Abb. 44). Auf der anderen Seite besteht keine Korrelation zwischen den terrigenen Biomarkern und den TOC- bzw. S₂-Werten (Kapitel 4.3). Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass die marine Produktivität die Variabilität im TOC-Gehalt steuert. Die qualitativen Proxies für eine erhöhte Diatomeen-Produktivität (Brassicasterol) und für einen erhöhten Anteil an marinem C_{org} (HI-Werte) korrelieren im Site 1089 auch mit den C_{org}-Akkumulationsraten (berechnet aus den TOC-Werten und Gesamttakkumulationsraten von *Kuhn & Diekmann 2002*). Aus dieser guten Korrelation (Abb. 44) lässt sich herleiten, dass es sich hierbei insbesondere um die Akkumulation von marinem organischem Material handelt. Dinosterol, das auf einen Biomasseeintrag von Dinoflagellaten hinweist, konnte in den untersuchten Sedimenten beider Sites nur in Spuren nachgewiesen werden. Daher liegt es nahe, dass Dinoflagellaten bei der Akkumulation des organischen Kohlenstoffs nur eine untergeordnete Rolle spielten.

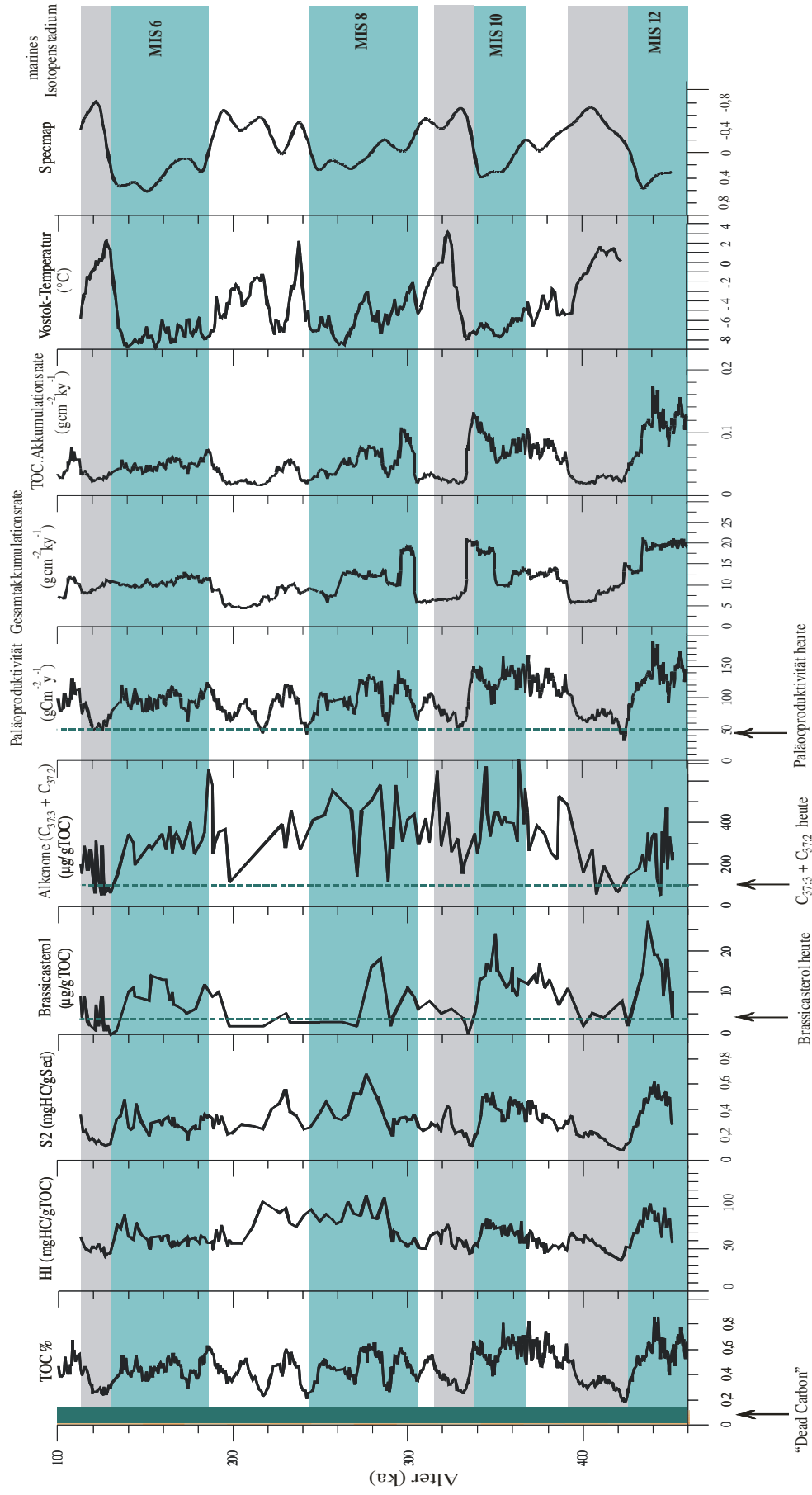


Abb. 44. TOC (%) (Kuhn & Diekmann 2002), HI-Werte (mgHC/gTOC), S2-Werte (mgHC/gSediment), Konzentration von Brassicasterol ($\mu\text{g/gTOC}$), Summenkonzentration der C_{37} -Alkenone ($\mu\text{g/gTOC}$), Paläoproductivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$) (berechnet nach Stein 1986), Gesamttakkumulationsraten ($\text{gcm}^{-2}\text{y}^{-1}$) (Kuhn & Diekmann 2002), TOC-Akkumulationsraten ($\text{gcm}^{-2}\text{y}^{-1}$) im Site 1089 in Abhängigkeit vom Alter (ka); Vostok- und Specmap-Kurven. Der dunkelgrüne Balken kennzeichnet das „dead Carbon“ (Kapitel 3.1). Die in oberflächennahen (rezenten) Proben gemessenen Konzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) sind als gestrichelte Linien gekennzeichnet. Die hellgrünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale, unter Verwendung des Altersmodells aus Kuhn und Diekmann (2002).

Die für das Site 1089 bestimmten Brassicasterol- und Alkenonkonzentrationen spiegeln sehr gut die Glazial- und Interglazial-Zyklen wider (Abb. 44). Abbildung 44 verdeutlicht, dass sich die Glaziale durch hohe Brassicasterol- und Alkenon-Gehalte auszeichnen, niedrige Werte hingegen typisch für die Interglaziale sind. Minima werden dabei im untersten MIS 11 (Temperatur-Optimum), MIS 9 und MIS 5e erreicht. Die Maxima fallen ins MIS 12 und 10. Dies weist darauf hin, dass während der Glaziale die marine Diatomeen- und Coccolithophoriden-Produktivität erhöht und in den Hauptinterglazialphasen die Produktivität niedriger war. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit den von *Ikehara et al. (2000)* gewonnen Erkenntnissen. Die Biomarkeranalysen an Sedimentkernen des Tasman-Plateaus zeigen, dass die Massenakkumulationsraten von Brassicasterol innerhalb der letzten beiden Glaziale (LGM und MIS 6) signifikant ansteigen.

Die Konzentrationen und Massenakkumulationsraten verschiedener mariner Sterole wurden in Sedimentkernen aus unterschiedlichen Ablagerungsräumen zur Rekonstruktion der Primärproduktion herangezogen (*Schubert et al. 1998, Hinrichs et al. 1999, Ikehara et al. 2000, Schulte & Bard 2003*). Diatomeen und Haptophyceen lieferten innerhalb der letzten 110 ka bis 450 ka einen entscheidenden Beitrag zur Primärproduktion im Antarktischen Zirkumpolarstrom. Die gute Übereinstimmung innerhalb der Konzentrationsprofile von Brassicasterol und den langkettigen, mehrfach ungesättigten C_{37:3}-Alkenonen (R=0,761) deutet darauf hin, dass sich die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft im untersuchten Zeitintervall (451 ka bis 113 ka) nicht entscheidend geändert hat. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Biomarkeruntersuchungen aus dem Indischen Ozean (*Schulte & Bard 2003*). Auch *Schubert et al. (1998)* konnten zeigen, dass Schwankungen innerhalb der marinen Produktivität nicht auf eine veränderte planktonische Gemeinschaft, sondern auf ein ansteigendes Upwelling und ein besseres Nährstoffangebot im Arabischen Meer zurückzuführen sind. Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten darauf hin, dass diese Mechanismen auch für das Gebiet um Site 1089 gelten.

Um die Paläoproduktivität und deren Variabilität zu quantifizieren, wurde dem Ansatz von *Stein (1986)* gefolgt. Für die Anwendung der in Kapitel 2.7 angeführten Formel muss der Anteil an mariner organischer Substanz bekannt sein. Aufgrund der oben aufgezeigten Korrelationen wurde für den marinen C_{org}-Anteil der um das "dead carbon" reduzierte TOC-Wert (Kapitel 3.1) genommen. Die so berechneten Werte sind in Abbildung 44 dargestellt. Würde man für die Berechnung der Produktivität die niedrigen HI-Werte zugrunde legen und von einem höheren Terrigenanteil ausgehen (ca. 50% terrigenes C_{org}), würden sich die Absolutwerte der Paläoproduktivität entsprechend erniedrigen. Die Werte würden dann zwischen 25 gCm⁻²y⁻¹ (Interglazial) und 100 gCm⁻²y⁻¹ (Glazial) schwanken. Die dann für die Interglaziale berechneten Werte liegen damit deutlich unter dem von *Berger et al. (1989)* bestimmten Wert (Abb. 42), was eher gegen diese Art der Berechnung der Paläoproduktivität spricht.

Für den Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans konnten im untersuchten Zeitabschnitt Paläoproduktivitätswerte zwischen 40 gCm⁻²y⁻¹ und 190 gCm⁻²y⁻¹ bestimmt werden (Abb. 44). Die Stadiale der Interglaziale weisen ähnliche

Paläoproduktivitätswerte wie die Glaziale ($120 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ und $190 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$) auf. In den Temperatur-Optima der Interglaziale schwanken die Paläoproduktivitätswerte jedoch nur zwischen $50 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ und $80 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$. Die Dynamik der Primärproduktion wird im Antarktischen Ozean stark vom Nährstoffangebot geprägt (Trequer & Jacques 1992).

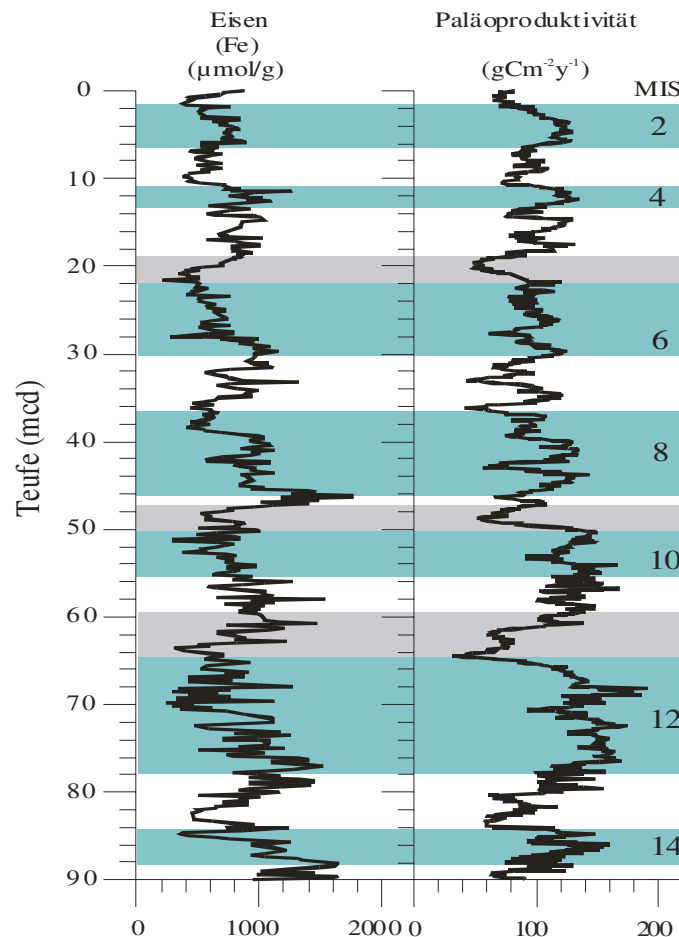


Abb. 45. Eisenkonzentrationen ($\mu\text{mol/g}$) (Latimer & Filippelli, 2001) und Paläoproduktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{ky}^{-1}$) (berechnet nach Stein 1986) im Site 1089 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die grünen Balken kennzeichnen die Kaltphasen, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale. Die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kuhn und Diekmann (2002).

Abbildung 45 verdeutlicht, dass die Eisenkonzentrationen im Site 1089 (Latimer & Filippelli 2001) den gleichen Kurvenverlauf beschreiben wie die nach Stein (1986) bestimmten Paläoproduktivitätswerte (Kapitel 2.7). Die Tatsache, dass eine erhöhte marine Produktivität mit erhöhten Eisengehalten einhergeht, legt die Vermutung nahe, dass Eisen ein limitierender Faktor für die Primärproduktion im Antarktischen Zirkumpolarstrom ist. Wenzel (2003) konnte im Rahmen ihrer Dissertation zeigen, dass die Düngung oberflächennaher Wasserschichten mit äolisch eingetragendem Eisen eine gute Übereinstimmung mit den Akkumulationsraten des organischen Kohlenstoffs im Bereich des Walfischrückens zeigte. Die im Rahmen dieser Arbeit detektierte glaziale Erhöhung der Primärproduktion lässt sich höchstwahrscheinlich auf eine Verschiebung der Polarfrontzone (d.h. der Hochproduktivitätszone) nach

Norden zurückführen. Die biologische Aktivität in Frontensystemen wird durch ozeanische Divergenz und Konvergenz-Zonen geprägt, wobei nährstoffreiches Tiefenwasser in den Divergenzzonen an die Oberfläche gelangt und somit zu einer erhöhten Primärproduktion führt. Bereits *Ikehara et al. (2000)* führten die Änderung innerhalb der Paläoproduktivität während des Kälteeinbruchs im Eem (Kapitel 4.4) auf eine Verschiebung der Antarktischen Polarfront zurück.

Es ist besonders hervorzuheben, dass die für das Site 1089 bestimmten Paläoproduktivitätswerte sowie die qualitativen Proxies für marine Diatomeen- und Coccolithophoriden-Produktivität mit der Vostok-Eiskern-Temperaturkurve (*Petit et al. 1999*) und der Specmap-Klima-Kurve (*Imbrie et al. 1984*) korrelieren (Abb. 44). Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Spektralanalyse (MTM) lassen die Vermutung zu, dass die Brassicasterol-Gehalte und Alkenonkonzentrationen wie die Vostok-Eiskern-Temperaturkurve und der Specmap-Klima-Kurve orbital gesteuert sind (Abb. 46).

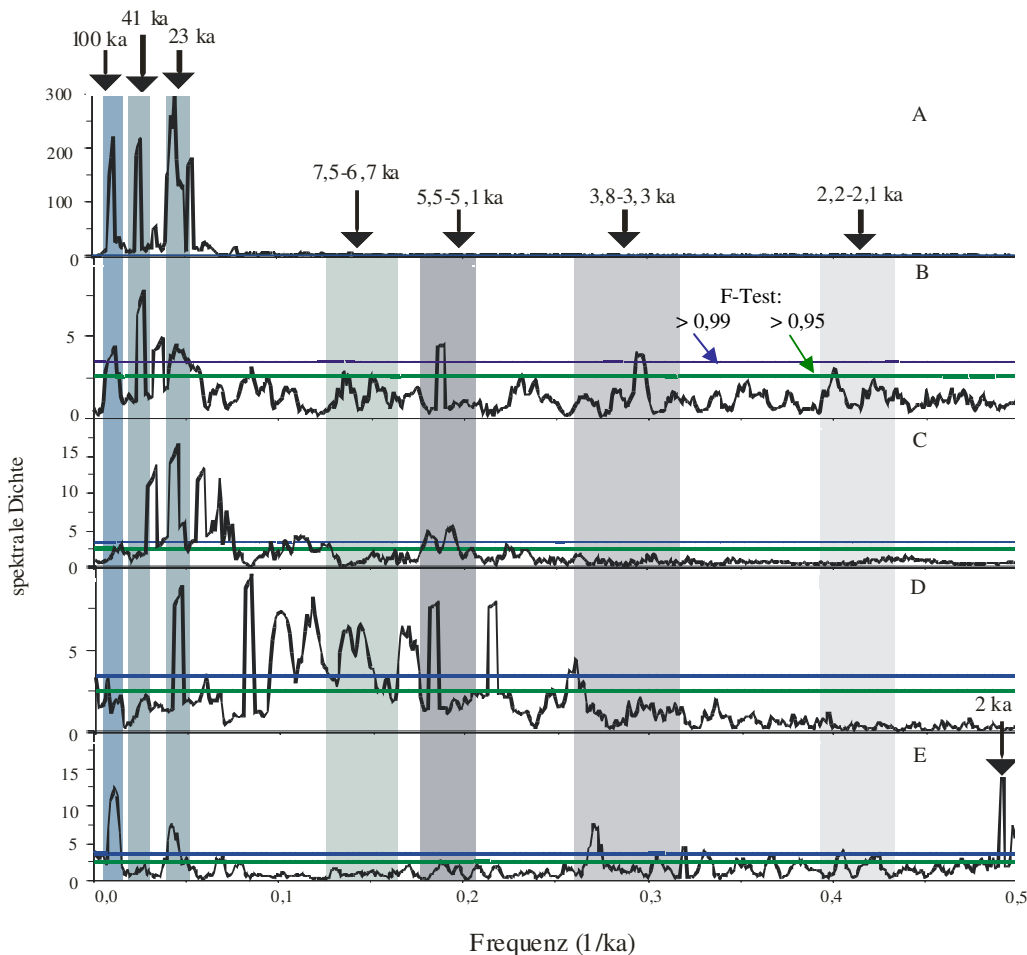


Abb. 46. Mittels Multitaper-Spektralanalyse ermittelte Periodizitäten (*Ghil et al. 2002*): A: Specmap (113-451 ka), B: Vostok ΔD (0-420 ka); C: Brassicasterol (100-450 ka), D: $C_{37:3}$, $C_{37:2}$ Alkenone (100-450 ka), E: nach *Stein (1986)* ermittelte Paläoproduktivität (0-600 ka) im Site 1089. Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Spektren zu erreichen, wurde die spektrale Dichte auf den „Level“ des unterliegenden, Daten adaptierten roten Rauschens normiert (*Ghil et al. 2002*).

Die für das Site 1089 ermittelten Alkenon- und Brassicasterolkonzentrationen (Abb. 46) weisen einen dominanten 23 ka Zyklus auf. *Schubert et al. (1998)* und *Schulte & Bard (2003)* konnten in Untersuchungen aus dem Indischen Ozean und dem Arabischen Meer ebenfalls Periodizitäten von 23 ka in den Brassicasterol- und Alkenonkonzentrationen nachweisen. Die Frage, ob die Biomarkonzentrationen im Site 1089 durch die Exzentrizitätsschwankung gesteuert werden, bleibt jedoch spekulativ. Obwohl diese Periodizität (100 ka) mit einem Signifikanzlevel von 95% -99% bestimmt werden konnte, sind die Datenreihen für Brassicasterol (100 ka bis 450 ka) und für die C₃₇-Alkenone zu kurz (Kapitel 2.8). In Abbildung 47 sind die MTM- Ergebnisse der 600 ka umspannenden TOC-Daten und die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten 300 ka umspannenden TOC-Daten (Site 1089, *Kuhn & Diekmann 2002*) dargestellt.

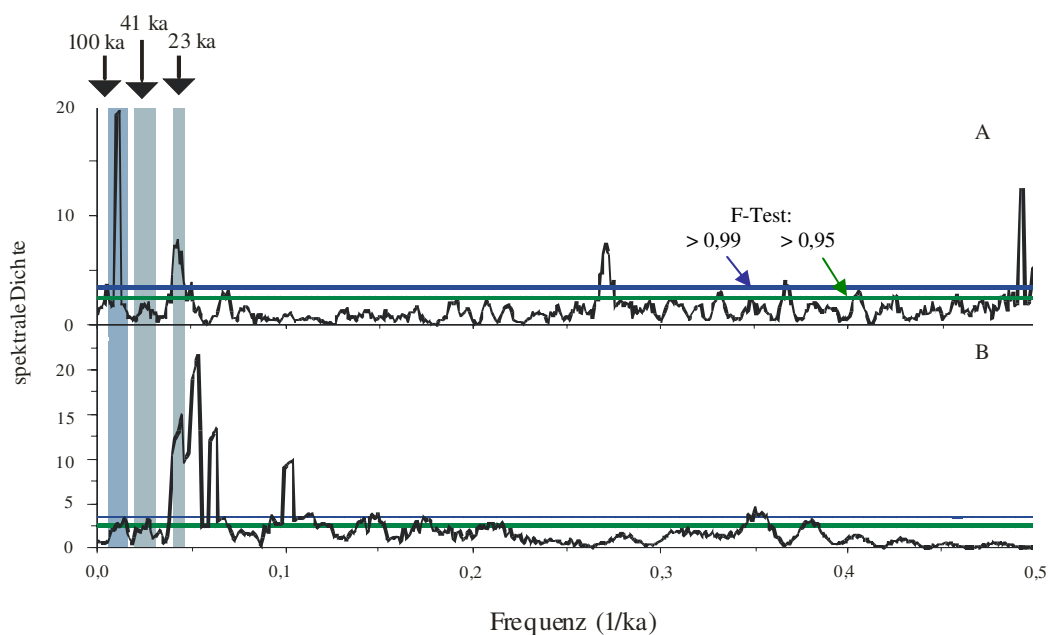


Abb. 47. Mittels MTM ermittelte Frequenzen der **A**: 600 ka umspannenden TOC-Daten (Site 1089, *Kuhn & Diekmann 2002*) und **B**: im Rahmen dieser Arbeit verwendete 300 ka umspannende TOC-Daten (Site 1089, *Kuhn & Diekmann 2002*). Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Spektren zu erreichen, wurde die spektrale Dichte auf den „Level“ des unterliegenden, Daten adaptierten roten Rauschens normiert (*Ghil et al. 2002*).

Im Gegensatz zu den 300 ka umspannenden TOC-Daten erlaubt der 600 ka umspannende Datensatz (Abb. 47) statistisch signifikante Aussagen hinsichtlich der größten bestimmbaren Periode bis 100 ka.

Abbildung 46 zeigt, dass die nach *Stein (1986)* ermittelte Paläoproduktivität (0-600 ka) in Analogie zu den von *Kuhn & Diekmann (2003)* ermittelten TOC-Daten (Abb. 46) einen ausgeprägten 100 ka-, einen abgeschwächten 40 ka- und einen dominanten 23 ka-Zyklus aufweist. Die Ergebnisse der MTM lassen weiterhin die Vermutung zu, dass sich aus den Paläoproduktivitätswerten sub-Milankovich-artige Zyklen (<19 ka) ableiten lassen (Abb. 46; Tabelle 11).

Tabelle 11. Mittels Multitaper-Spektralanalyse ermittelte Periodizitäten der Paläoproduktivität im Site 1089 (F-Test Werte > 0,90).

Paläoproduktivität

Periode (ka)	Frequenz (1/ka)	F-Test
85,5	0,012	0,99
23,8	0,042	0,99
14,4	0,069	0,95
5,3	0,188	0,95
3,7	0,271	0,99
3,1	0,320	0,99
2	0,493	0,99

Die im Rahmen dieser Arbeit bestimmten Brassicasterol- Alkenon- und S2-Werte (Site 1089) weisen ebenfalls Periodizitäten zwischen 5 und 10 ka auf (Tabelle 5). Diese Periodizitäten, die von *Cortijo et al. (1995)* als „quasi-periodische“ Heinrich-Events definiert wurden, konnten auch von *Yiou et al. (1997)* und *Grützner et al. (2002)* in marinen Sedimenten und Eiskernen aus dem Nordatlantischen Ozean nachgewiesen werden. Die in Tabelle 11 dargestellten MTM-Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass rapide klimatische Schwankungen auch einen Einfluss auf die Paläoproduktivität im Südozean gehabt haben könnten. Bereits *Sachs & Anderson (2005)* konnten anhand eines östlich von Neuseeland gewonnenen Sedimentkerns zeigen, dass erhöhte Brassicasterol- und Alkenonkonzentrationen mit enormen Süßwassereintrüben in den Nordatlantik einhergehen. Dabei konnte jedem der 7 Heinrich-Events eine Phase mit erhöhter Produktivität im südlichen Ozean zugeordnet werden. Die Ergebnisse der MTM (Tabelle 11) liefern ein Spektrum der gesamten Zeitreihe. Es lässt sich jedoch nicht feststellen, ob die Periodizitäten über die gesamte Zeitreihe oder nur in bestimmten Intervallen (transiente Periodizitäten) wirksam sind. Eine zeitlich aufgelöste Spektralanalyse ist mit der Wavelet-Analyse (WA) möglich (*Kumar 1997*). Die WA erlaubt neben der Bestimmung dominanter Perioden deren zeitliche Lokalisierung und Veränderung innerhalb einer Zeitserie (Kapitel 2.8). In Abbildung 48 sind die Wavelet-Power-Spektren der Vostok ΔD -Daten und der nach *Stein (1986)* ermittelten Paläoproduktivitätswerte dargestellt.

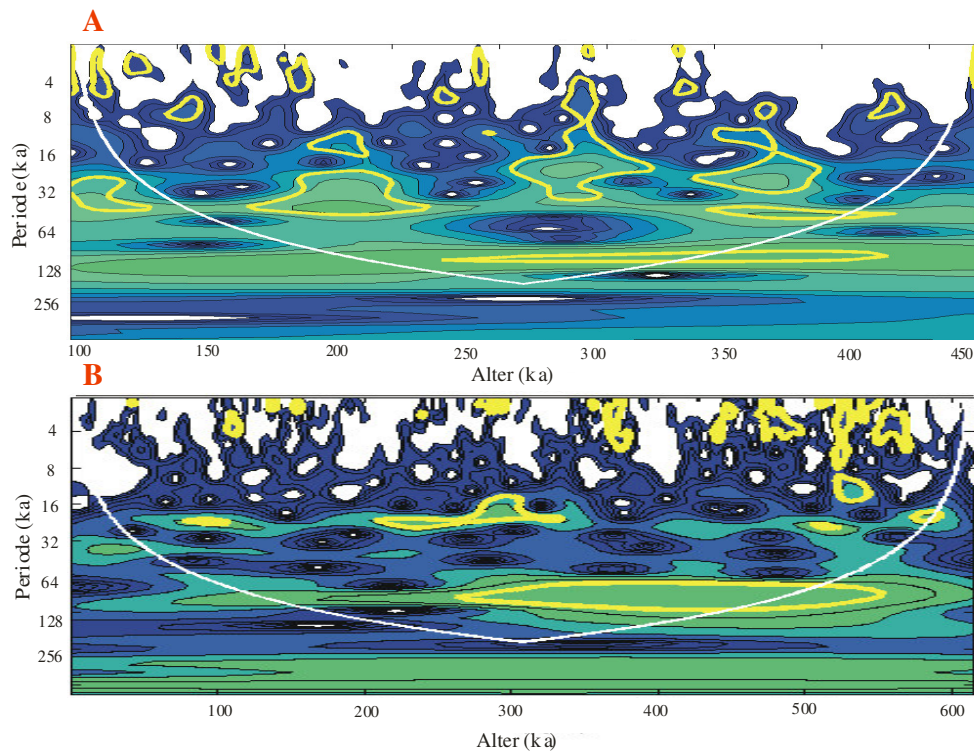


Abb. 48. Lokale Wavelet-Power-Spektren der A: Vostok ΔD -Daten; B: nach *Stein (1986)* ermittelten Paläoproduktivität (PP) im untersuchten Zeitintervall (Site 1089) unter Verwendung des Morlet-Wavelet (*Torrence & Compo 1998*). Die y-Achse gibt die Periode in tausend Jahren an. Die x-Achse stellt die Zeitachse dar. Die weiße durchgezogene Linie beschreibt den Einflusskegel („Cone of influence“, COI). Werte außerhalb des COI können durch Randeffekte beeinflusst sein. Die Farbskalierung gibt den Logarithmus der Wavelet-Power in Einheiten der Varianz an, wobei blau niedrige und grün hohe Werte bedeuten. In den weißen Flächen ist die Wavelet-Power gleich Null. Innerhalb der gelbumrandeten Zonen weisen die detektierten Perioden ein 95%iges Signifikanzlevel gegen das rote Rauschen auf; lediglich die daraus resultierenden Periodizitäten (F-Test Werte > 0,95) wurden interpretiert.

Abbildung 48 verdeutlicht, dass die mittels MTM (Abb. 46) bestimmten transienten Periodizitäten (zwischen 5 ka und 7 ka) über das gesamte untersuchte Kernintervall lokalisiert werden konnten. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass klimatische Schwankungen, die die gleiche Zeitskala wie Heinrich-Events aufweisen über den gesamten untersuchten Zeitabschnitt (100 ka bis 450 ka) einen Einfluss auf die Paläoproduktivität im Südozean gehabt haben könnten.

4.3 Einträge von terrigener organischer Substanz

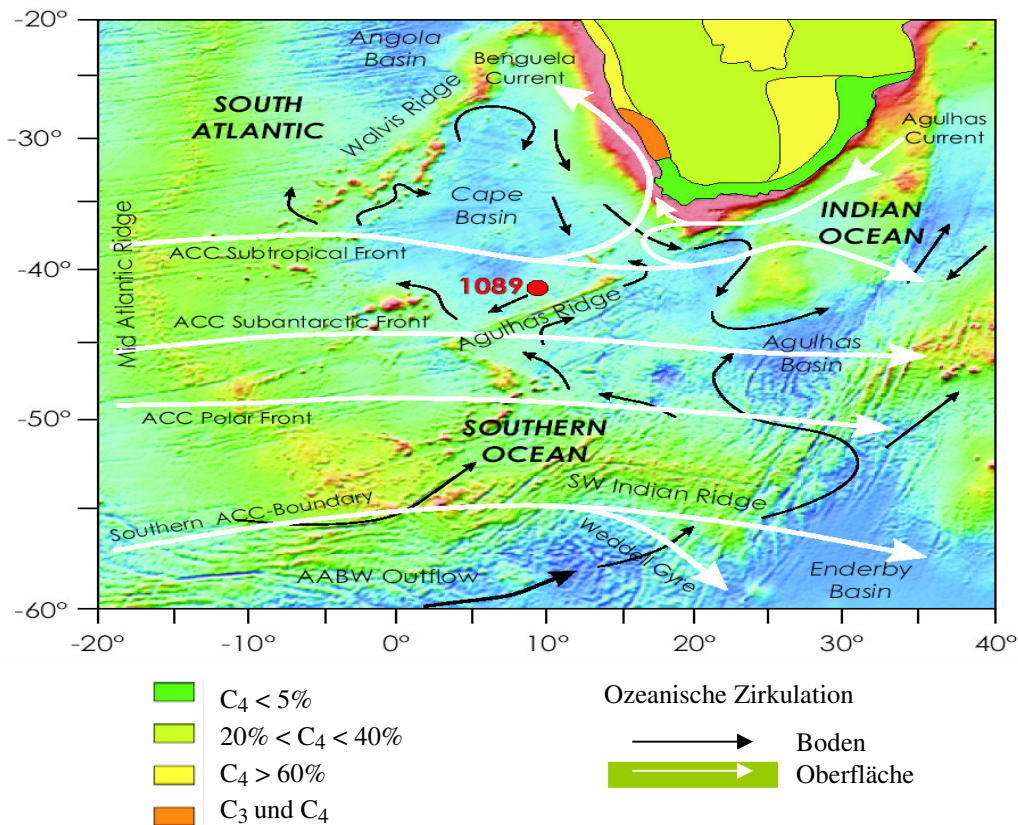


Abb. 49. Ozeanzirkulation sowie vereinfachte phytogeographische Zonierung auf dem südafrikanischen Kontinent. Zusammengestellt aus Kuhn & Diekmann (2002), Rommerskirchen et al. (2003) und Smith & Sandwell (1997).

Die im Rahmen dieser Arbeit bestimmten *n*-Alkankonzentrationen (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) schwanken in dem untersuchten Zeitabschnitt zwischen 9 µg/gTOC und 211 µg/gTOC (Abb 50). Die höchsten *n*-Alkankonzentrationen konnten zwischen 432 ka und 435 ka (MIS 12) quantifiziert werden. Erhöhte Gehalte sind außerdem für das untere MIS 11, MIS 9 und für das MIS 5e typisch. Aus Abbildung 49 ist ersichtlich, dass sowohl südwärts gerichtete, bodennahe Wasserströmungen, als auch der oberflächennahe Agulhas-Strom, der westwärts entlang der Südspitze Afrikas verläuft, geeignete Transportmechanismen für einen Eintrag terrigener Biomoleküle an Site 1089 darstellen. Zusätzlich liegt Site 1089 im Einfluss des Nordatlantischen Tiefenwassers (NADW). Hefter (in Stein 2002) konnte zeigen, dass die Stärke oder Reichweite des NADW und des Agulhas-Stroms wahrscheinlich den Anteil der aus C₄-Pflanzen stammenden *n*-Alkane reguliert hat. Der berechnete Anteil des C₃₁-Alkans aus C₄-Pflanzen schwankt in den Sedimenten der Bohrung 1089 zwischen 40% und 60% (Abb. 50) und liegt somit in der gleichen Größenordnung wie die von Rommerskirchen et al. (2003) ermittelten heutigen C₄-Anteile (Abb. 49).

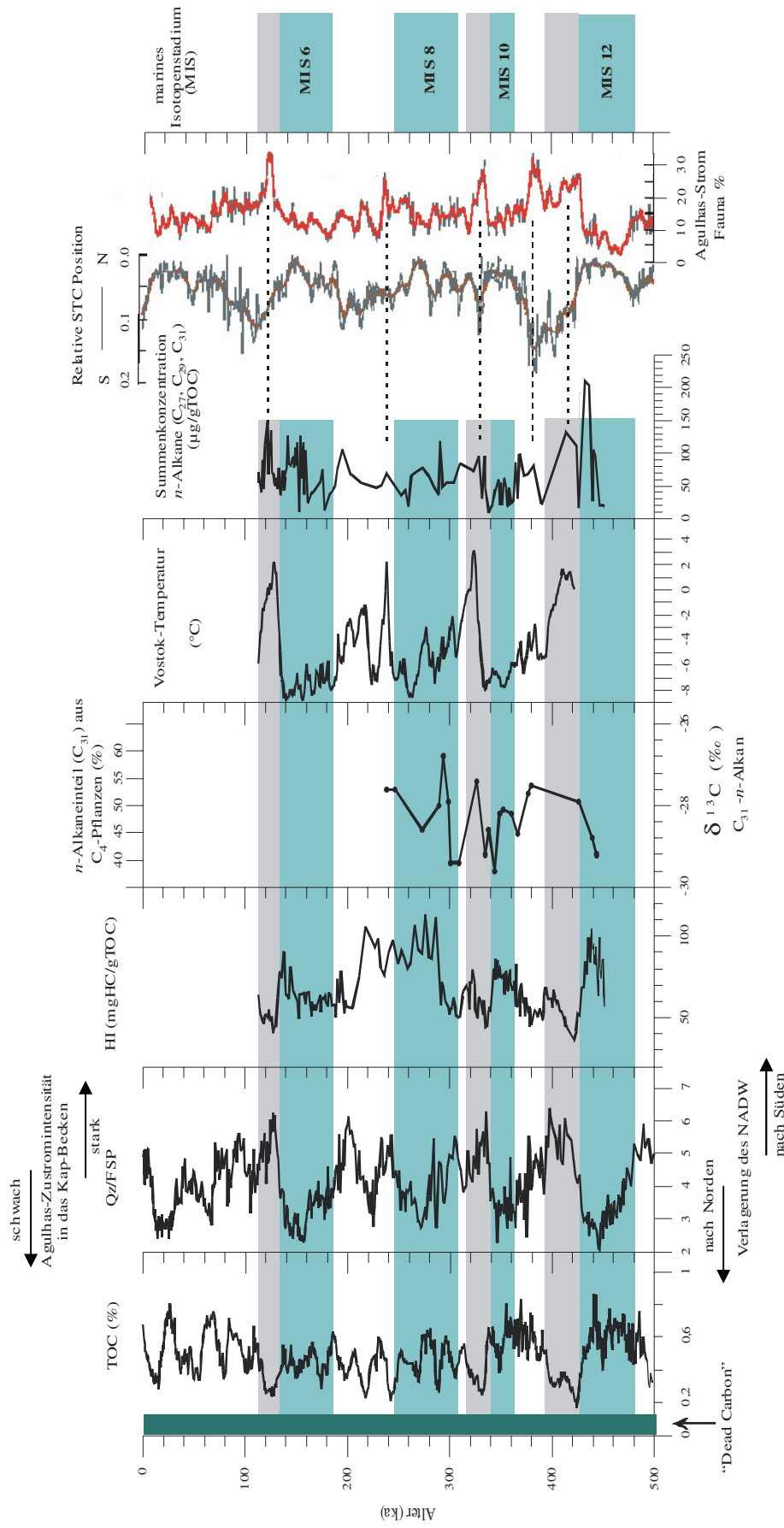


Abb. 50. TOC (%) (Kuhn & Diekmann 2002), Quarz/Feldspat-Verhältnis (QZ/FSP) (Kuhn & Diekmann 2002), HI-Werte (mgHC/gTOC), $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (‰) (Hefter in Stein 2002), berechneter Anteil des C_{31} -Alkans aus C_4 -Pflanzen im Site 1089 (Hefter in Stein 2002), Vostok-Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Summe der $n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$ -Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) im Site 1089 in Abhängigkeit vom Alter (ka). Das Verhältnis von *G. Truncatulinoides*/*N. Pachyderma* *dex* + *G. Inflata* + *G. Truncatulinoides* als Anzeiger für die relative STC-Verschiebung im Kap-Becken und die Agulhas-Strom Fauna (%) als Anzeiger für die Agulhas-Zustromintensität in das Kap-Becken (Peeters et al. 2004). Der dunkelgrüne Balken kennzeichnet das „dead Carbon“ (siehe hierzu Kapitel 3.1). Die hellgrünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale, unter Verwendung des Altersmodells aus Kuhn und Diekmann (2002).

Beim Vergleich der für das Site 1089 bestimmten *n*-Alkankonzentrationen mit der von *Peeters et al. (2004)* bestimmten Agulhas-Zustromintensität wird ersichtlich, dass die im unteren MIS 11, MIS 9 und MIS 5e bestimmten erhöhten *n*-Alkankonzentrationen mit einem intensiveren Agulhas-Zustrom in das Kap-Becken korrelieren (Abb. 50). Vergleicht man die *n*-Alkankonzentrationen mit der HI-Kurve und dem von *Kuhn & Diekmann (2002)* ermittelten Quarz/Feldspat-Verhältnis (QZ/FSP) so ist erkennbar, dass relativ erhöhte Gehalte an terrigener organischer Substanz mit hohen QZ/FSP-Verhältnissen zusammenfallen. Die Änderung des QZ/FSP-Verhältnisses geben den im Wechsel von Glazial zu Interglazial variablen Einfluss des NADW sowie des Agulhas-Stroms auf die Sedimentation der terrestrischen Sedimentfracht wieder (*Kuhn & Diekmann 2002*). Erhöhte QZ/FSP-Gehalte aus afrikanischen kontinentalen Quellen sind als Anzeiger für südwärts propagierende Wassermassen des NADW und weiter westwärts reichende Ausläufer des Agulhas-Stroms in den Interglazialen interpretiert worden (*Kuhn & Diekmann 2002*). Die Reichweite dieser Wassermassen erklärt jedoch nicht die relativ erhöhten glazialen *n*-Alkangehalte (MIS 12, MIS 6), die mit hohen HI-Werten, einer geringen Agulhas-Strom-Fauna und einem geringen QZ/FSP-Verhältnis korrelieren (Abb. 50). Ein geringes QZ/FSP-Verhältnis deutet auf eine erhöhte Relevanz des Zirkumpolarstroms (Abb. 50) sowie des Zirkumpolaren Tiefenwassers und somit Partikeltransport aus west- und südwest-wärtiger Richtung hin (*Kuhn & Diekmann 2002, Kuhn & Diekmann et al. 2003*).

Die Ergebnisse der Biomarkeranalyse (Site 1093) zeigen, dass erhöhte *n*-Alkankonzentrationen im MIS 12 und oberen MIS 11 mit einem erhöhten Vorkommen von Meereisindikatoren (Diatomeen, deren Lebensweise ans Meereis gekoppelt ist) korrelieren. Im unteren MIS 11 (d.h. im Klimaoptimum) dagegen sind die *n*-Alkankonzentrationen niedrig, Diatomeen-Anzeiger für Meereis fehlen (Abb. 51).

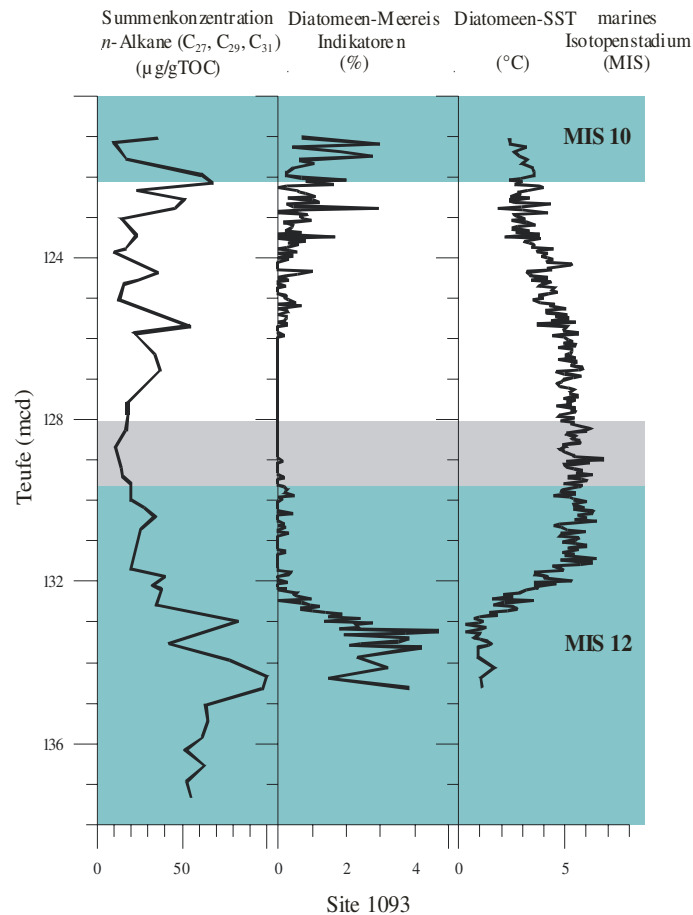
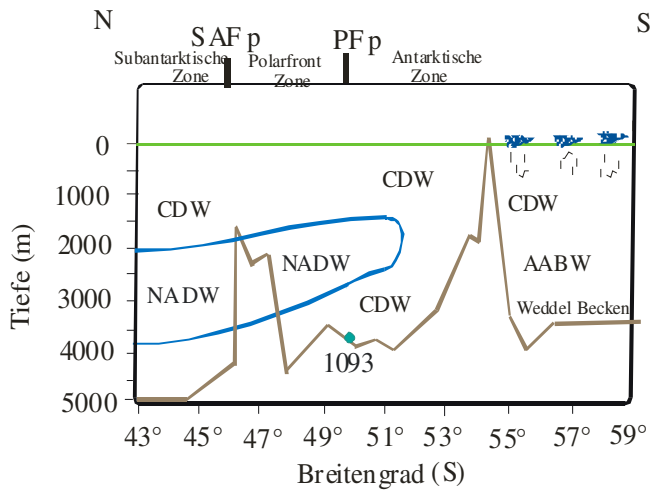


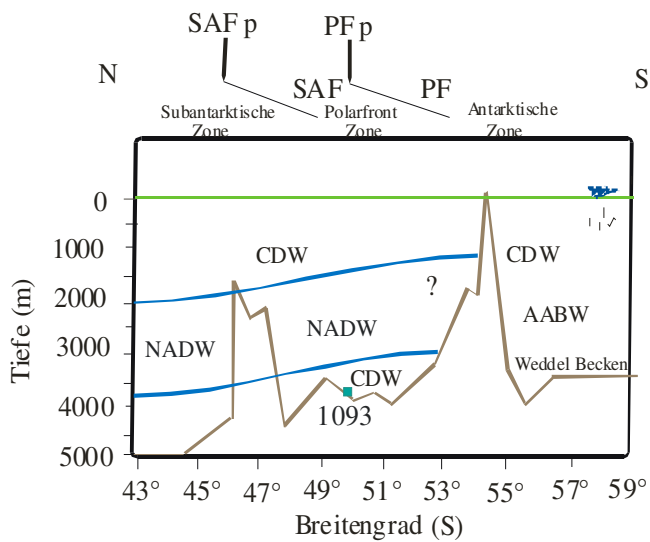
Abb. 51. Summe der n -C₂₇, n -C₂₉, n -C₃₁-Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Diatomeen-Meereis-Indikatoren (%) (Kunz-Pirring et al. 2002), Diatomeen-SST ($^{\circ}\text{C}$) (Kunz-Pirring et al. 2002) im Site 1093 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, der hellgraue Balken kennzeichnet das Klimaoptimum im MIS 11, die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach Kunz-Pirring et al. (2002).

Kunz-Pirring et al. (2002) konnten anhand von Meereisdiatomeen zeigen, dass die heutige eisfreie Antarktische Zone saisonal mit Meereis bedeckt war (Abb. 52). Die Detektion von Kaltwasser-Spezies im Site 1093 ($49^{\circ}58.58'S$; $05^{\circ}51.92'E$) deutet darauf hin, dass die Antarktische Zone im MIS 12 bis hin zur heutigen Polarfront zwischen 49°S und 50°S (Lutjeharms & Valentine 1984) mit Wintermeereis überzogen war. Während dieses Glazials drangen Eisberge, deren Drift der vom Weddellwirbel gesteuerten Oberflächenzirkulation unterliegt, bis in die heutige zentrale Subantarktische Zone vor (Becquey & Gersonde 2002). Hieraus ist abzuleiten, dass während der Glaziale ein erhöhter Eintrag von terrigener organischer Substanz über das Meereis erfolgte, welches das CDW mit terrigenen n -Alkanen speiste. Diese Tatsache erklärt die hohen n -Alkankonzentrationen im Site 1089 (MIS 12). Hinweise für einen potentiellen Hexacosanol- und C₂₉-Sterol-Eintrag über das Meereis fehlen (Abb. A-7).



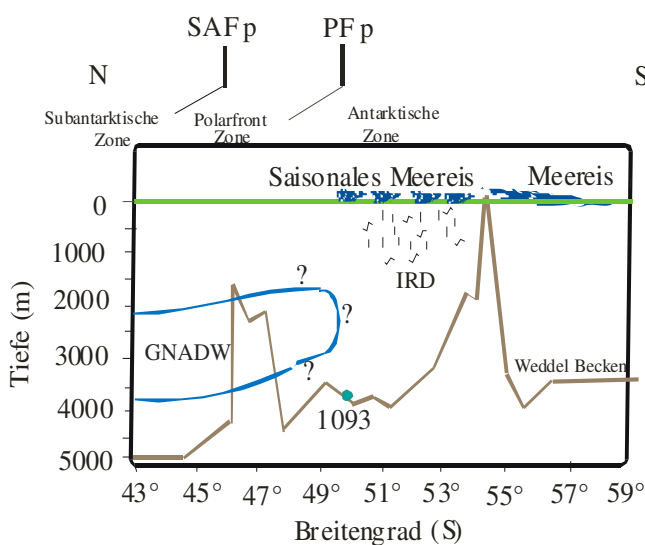
Heutige Situation

- Meereis
- IRD
- PF = Polarfront
- SAF = Subantarktische Front
- NADW = Nordatlantisches Tiefenwasser
- GNADW = glaziales Nordatlantisches Tiefenwasser
- AABW = Antarktisches Bodenwasser
- P = Heutige Situation



Temperaturoptimum im MIS11

- > Meeresspiegel
- < Meereisbedeckung
- > SST
- Rapide SST Fluktuation
- Süderschiebung der Frontenzone
- Süderschiebung des Meereises
- Kein IRD



Glaziale Situation

- < Meeresspiegel
- > Meereisbedeckung
- < SST
- Nordverschiebung der Meereisgrenze
- IRD Akkumulation

Abb. 52. Schematisches Modell der Paläoumweltbedingungen im Glazial und Interglazial am Beispiel MIS 11 (Klimaoptimum im untersten Teil) und MIS 12 (Kunz-Pirring et al. 2002).

Abbildung 53 verdeutlicht, dass die für das Site 1089 bestimmten $29^{\Delta 22} + 29^{\Delta 5,22}$ - und $n\text{-C}_{26:\text{OH}}$ -Konzentrationen in Analogie zu den Summenkonzentrationen der n -Alkane erhöhte glaziale Gehalte (bei ca. 483 ka bis 455 ka, 358 ka bis 341 ka, 282 ka bis 262 ka und 160 bis 138 ka) aufweisen, die beim Einsetzen des darauf folgenden Interglazials rasch abfallen.

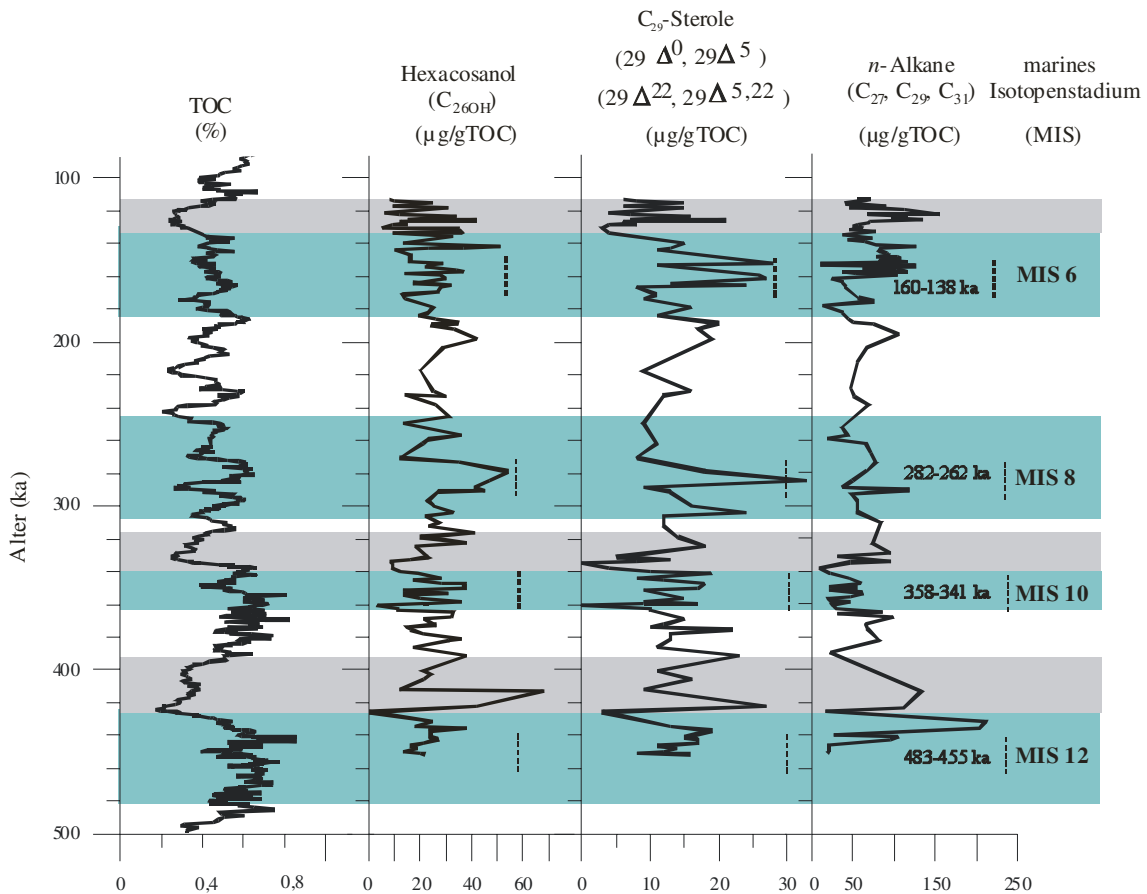


Abb. 53. TOC (%) (Kuhn & Diekmann 2002), $n\text{-C}_{26:\text{OH}}$ -Konzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summenkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) von 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol und Stigmasterol ($29^{\Delta 22} + 29^{\Delta 5,22}$), Summe der ($n\text{-C}_{27}$ -, $n\text{-C}_{29}$ -, $n\text{-C}_{31}$ -Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) im Site 1089 in Abhängigkeit vom Alter (ka). Die schwarzen gestrichelten Linien verdeutlichen die im Text diskutierten erhöhten glazialen Gehalte. Unter Verwendung des Altersmodells aus Kuhn und Diekmann (2002). Die grünen Balken kennzeichnen die Kaltphasen, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale.

Möglicherweise deuten die glazialen n -Alkan-, Hexacosanol- und terrigenen Steroid-Konzentrationen eine Nordverschiebung der Frontenzonen und somit eine erhöhte Bedeutsamkeit des Zirkumpolarstroms bei der Akkumulation des organischen Kohlenstoffs an. Als Antriebskraft für die ostwärts strömenden Oberflächenwassermassen des Antarktischen Zirkumpolarstroms fungiert die Westwinddrift (Schott 1944).

Äolisch, an Staubpartikeln adsorbierte organische Biomoleküle lassen sich auch noch über große Entfernungen in den Sedimenten des offenen Ozeans nachweisen (z.B. Simoneit et al. 1977, Conte & Weber 2002). Die im Rahmen dieser Untersuchung detektierten erhöhten Anteile terrigenen organischen

Materials im Sediment während der Glaziale lassen sich vermutlich auf eine verstärkte Westwinddrift zurückführen (Abb. 54), welche terrigenes Material aus Südamerika an die Kernlokation (Site 1089) transportieren kann (Kuhn & Diekmann 2002). Augustin et al. (2004) konnten in den EPICA Dome C-Daten zeigen, dass sich die Kälteperioden in der Antarktis durch einen erhöhten Staubeintrag auszeichnen.

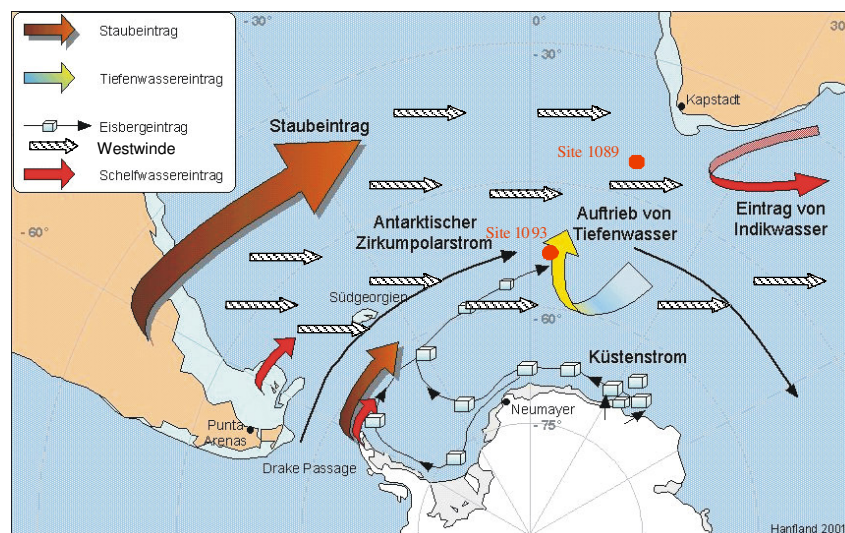


Abb. 54. Vereinfachtes Modell der terrigenen organischen Quellen im Untersuchungsgebiet (nach Hanfland 2001).

Die von Ikehara et al. (2000) an Sedimentproben des Tasman-Plateaus durchgeführten Biomarkeranalysen zeigten ebenfalls ein signifikantes Ansteigen der terrigenen Komponenten (*n*-Alkohole und *n*-Alkane) innerhalb der letzten beiden Glaziale (LGM und MIS 6), welche beim Einsetzen der Termination rasch abfallen. Ikehara et al. (2000) führten die glazial erhöhten terrestrischen Biomarkerkonzentrationen auf eine klimabedingte Änderung des Windsystems im glazialen Südozean und/oder einen Vegetationswechsel auf dem Festland zurück. Auch die Ergebnisse von Güntner (2000) führten zu der Schlussfolgerung, dass während der kalten Perioden verstärkte Winde zu einem erhöhten Staubeintrag und damit zu erhöhten terrigenen Biomarkerkonzentrationen im Kongo- und Angola-Becken führten. Die Massenakkumulationsraten der C₂₅ bis C₃₅ *n*-Alkane in Sedimentproben aus dem Karolinen-Becken des Nordpazifischen Ozeans (Ohkouchi et al. 1997) zeigten ebenfalls einen terrigenen Konzentrationsanstieg im LGM. Ikehara et al. (2000) führte die Ähnlichkeit innerhalb der Variationen des atmosphärischen Transportes (in hohen und niedrigen Breiten) auf einen Änderung des globalen Windsystem während der Glaziale zurück. Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen die Schlussfolgerung zu, dass die von Ikehara et al. (2000) gewonnenen Erkenntnisse auch in den älteren Glazialen (MIS 8, MIS 10 und MIS 12) ihre Gültigkeit finden.

Die hier diskutierten Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass das Kap-Becken während der Interglaziale hauptsächlich durch einen intensiveren Agulhas-Strom und über das Nordatlantische Tiefenwasser mit terrigenem organischem Material aus Südostafrika gespeist wird (Abb. 55). Während glazialer Perioden ist der Terrigeneintrag über den Agulhas-Strom und über das NADW stark reduziert. Unter glazialen Bedingungen scheint eine verstärkte glaziale Westwinddrift terrigenes Material aus Südamerika an die Position von Site 1089 zu transportieren. Unter interglazialen Bedingungen scheint der über die Westwinddrift gesteuerte äolische terrigene Eintrag jedoch gering zu sein.

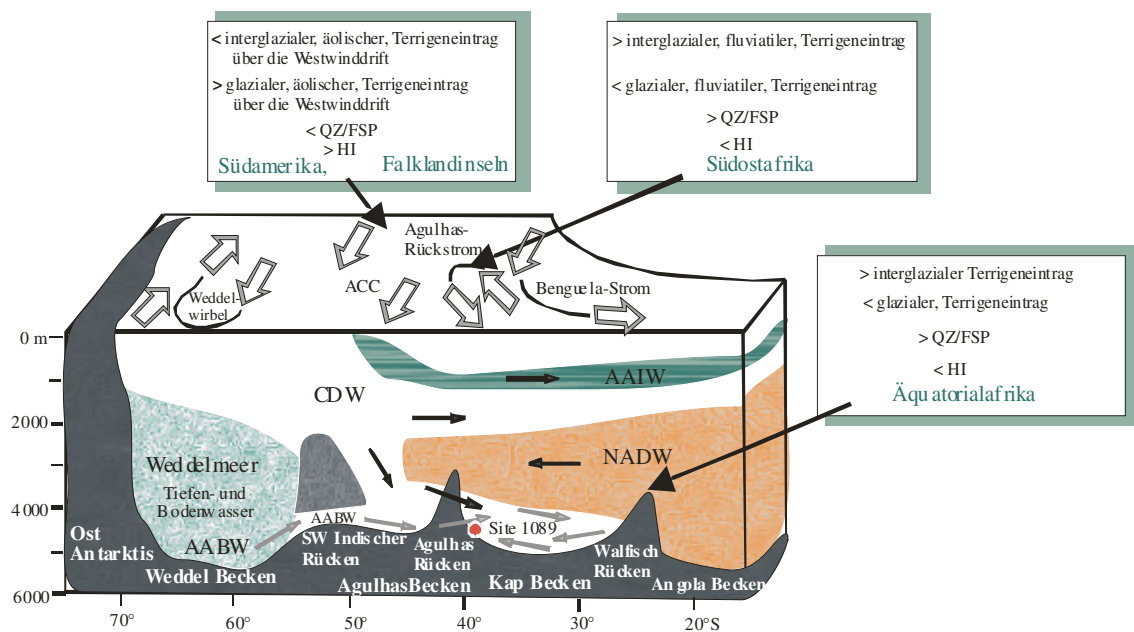


Abb. 55. Vereinfachtes Modell der terrigenen organischen Quellen im südöstlichen Südatlantik (modifiziert nach Kuhn & Diekmann 2002).

Es lässt sich weiterhin vermuten, dass der Eintrag terrigener Biomarker in die Sedimente des Kap-Beckens (Site 1089) sowohl auf die Entwicklung der 41 und 23 ka-Milankovich-Perioden als auch auf sub-Milankovich-Perioden reagiert (Abb. 37, Kapitel 3.4). Diese Annahme wird durch das von Kuhn & Diekmann (2002) ermittelte QZ/FSP-Verhältnis gestützt (Abb. 56). Die in Abbildung 56 dargestellten Ergebnisse decken sich weiterhin mit den von Schubert et al. (1998) gewonnenen Erkenntnissen. Die *n*-Alkanonzentrationen in den Sedimentproben des Arabischen Meers weisen ebenfalls abgeschwächte 41 ka und 23 ka Zyklen auf.

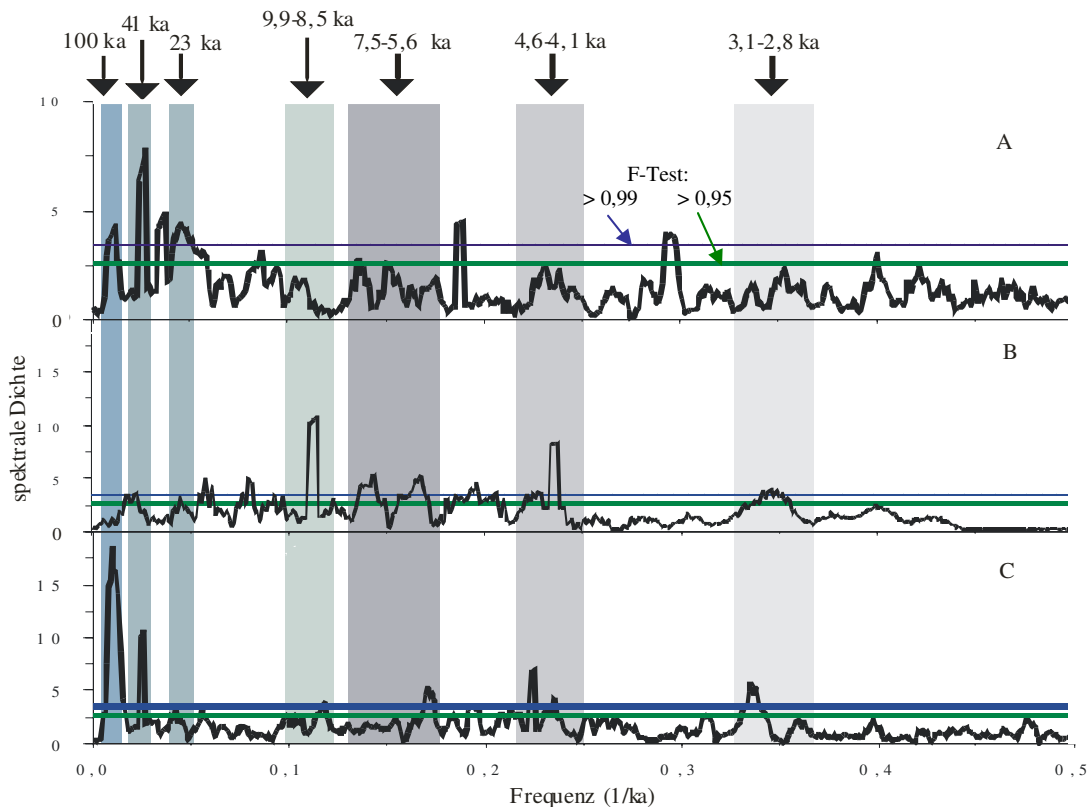


Abb. 56. Mittels Multitaper-Spektralanalyse ermittelte Periodizitäten (Ghil et al. 2002): A: Vostok ΔD (0-420 ka); B: Summenkonzentration der n -Alkane im Site 1089 (100-450 ka), C: QZ/FSP (0-600 ka; Kuhn & Diekmann 2002) im Site 1089.

4.4 Paläooberflächentemperaturen und Variabilität (Site 1089)

Mittels der Gehalte an ungesättigten C_{37} -Alkenonen und dem daraus resultierenden „ U_k^{37} -Index“ können Rückschlüsse hinsichtlich der Paläooberflächentemperaturen (SST) gezogen werden. Die aus den Alkenondaten ermittelten SST spiegeln sehr gut die Glazial- und Interglazial-Zyklen wider (Abb. 57) und korrelieren mit den Brassicasterol-Konzentrationen und TOC-Akkumulationsraten (d.h. erhöhte Gehalte an marinem Corg). Abbildung 57 verdeutlicht weiterhin, dass die aus den Alkenondaten ermittelten SST mit der Vostok-Eiskern-Temperaturkurve (Petit et al. 1999) und der Specmap-Klima-Kurve (Imbrie et al. 1984) korrelieren. Eine Ausnahme bildet hierbei das MIS 10. Dieses Ergebnis soll weiter unten diskutiert werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten SST zeigen (Abb. 57), dass sich der Übergang von glazialen zu interglazialen Temperaturen z.T. innerhalb von wenigen 1000 Jahren vollzieht. An der Termination V, IV und II zeigen die ermittelten SST ähnliche Differenzen, die mit ca. 6°C im erwarteten Bereich liegen (Kirst et al. 1999, Cortese & Abelmann 2002, Kunz-Pirrung et al. 2002, Pahnke et al. 2003, Cortese et al. 2004). Die wärmsten interglazialen SST wurden für das MIS 5 bestimmt. Die maximale Temperatur im Eem (bei ca. 128 ka) liegt etwa 3°C höher als die holozäne Durchschnittstemperatur. Dieses Ergebnis steht im guten Einklang mit SST-Rekonstruktionen aus unterschiedlichsten Ablagerungsräumen (Kirst et al. 1999, Cortese & Abelmann 2002, Wenzel 2003, Peeters et al. 2004). Die von Bianchi & Gersonde (2002)

anhand von Diatomeen rekonstruierten SST (ODP Site 1094) zeigen bei 128 ka ebenfalls 2 bis 3 °C höhere Temperaturen als heute. *Bianchi & Gersonde (2002)* postulierten, dass das Temperaturoptimum in MIS 5e mit einer südlichen Verschiebung der Polarfront um 3° bis 5° Breitengrade einhergeht. In den Interglazialstadien MIS 9 und MIS 7 konnten ähnliche SST wie im Eem (MIS 5e) bestimmt werden. Die von *Pahnke et al. (2003)* anhand der Mg/Ca-Verhältnisse in Muscheln ermittelten Oberflächentemperaturen eines östlich von Neuseeland erbohrten Sedimentkerns weisen die gleichen Tendenzen auf. *Becquey & Gersonde. (2002)* konnten ebenfalls anhand planktonischer Foraminiferen zeigen, dass während der Klimaoptima im MIS 11.3, MIS 9.3, MIS 7.5, MIS 7.1 und MIS 5.5 die heutige Temperatur im zentralen Teil der Subantarktischen Zone (ODP Leg 177, Site 1090) überschritten wurde.

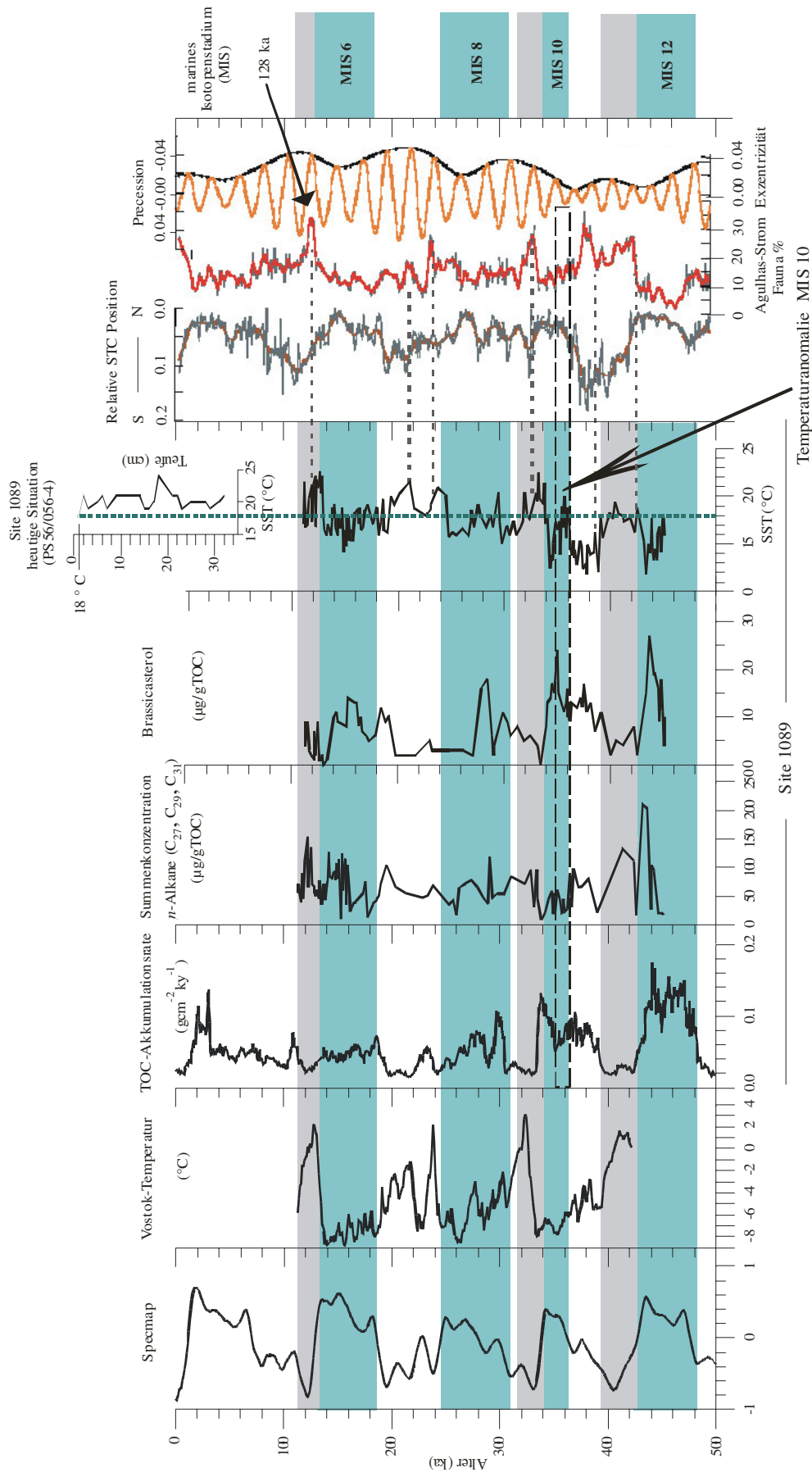


Abb. 57. Specmap- und Vostok-Kurven; TOC-Akkumulationsrate ($\text{gcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$), Summe der $n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$ -Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Brassicasterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Paläooberflächentemperaturen (SST) im untersuchten Zeitintervall (Site 1089). Das Verhältnis von $G. Truncatulinoides/N. Pachyderma$ dex + $G. Inflata$ + $G. Truncatulinoides$ als Indikator für die relative STC-Verschiebung im Kap-Becken und die Agulhas-Strom Fauna (%) als Indikator für die Agulhas-Zustromintensität in das Kap-Becken (Peeters et al. 2004). Orbitale Exzentrizität und Präzessionsschwankungen aus Peeters et al. (2004). Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die hellgrauen Balken kennzeichnen die Temperaturoptima der Interglaziale, unter Verwendung des Altersmodells aus Kuhn & Diekmann (2002).

In zahlreichen anderen Arbeiten wird beschrieben, dass das MIS 11 im Vergleich zu den jüngeren Interglazialen signifikant wärmer war (z.B. *Oppo et al. 1990*, *Howard 1997*). Im Vergleich mit den anderen Warmzeiten lässt sich aus den Alkenondaten die Aussage treffen, dass sich das MIS 11 an Site 1089 nicht durch besonders hohe absolute SST auszeichnet. Untersuchte Sedimentproben der ODP-Bohrung 1075A aus dem Bereich des Kongo-Fächers lassen ebenfalls die Schlussfolgerung zu, dass das Sauerstoffisotopenstadium 11 weder durch besonders hohe absolute Temperaturen noch durch eine extrem lange warme Phase charakterisiert ist (*Güntner 2000*). Die von *Wenzel (2003)* im MIS 11 rekonstruierten SST (ODP-Lokation 1082A) zeigen ähnliche Werte wie die ermittelten SST aus den Interglazialstadien MIS 9 und MIS 7 (Abb. 61). Die Ergebnisse von *Kunz-Pirring et al. (2002)* (ODP Leg 177, Site 1093, 1094) lassen die Vermutung zu, dass das über ca. 8 ka andauernde Klimaoptimum im MIS 11 ca. 1 °C bis 2 °C höhere Temperaturen als heute aufweist und damit nicht signifikant wärmer als jüngere Interglaziale war. *Kunz-Pirring et al. (2002)* führten die relativ erhöhten SST im MIS 11 auf eine Südverschiebung der Polarfront über 3° Breitengrade zurück. Die Ergebnisse von *Cortes et al. (2004)* zeigen, dass die aus Radiolarien-Transfer-Funktionen (ODP 1089) bestimmten Temperaturen im MIS 11 die heutige Temperatur zwischen ca. 420 ka und 410 ka um ca. 1 °C bis 2 °C überschreiten und stützen somit die Ergebnisse von *Kunz-Pirring et al. (2002)*.

Die im Rahmen dieser Arbeit für das MIS 11 bestimmten SST weisen im Zeitintervall zwischen 390 ka und 423 ka ähnliche Temperaturen wie heute auf (Abb. 57 und Abb. 61). Dieses Ergebnis wird durch die temperaturabhängigen marinen Biomarker gestützt: Im MIS 11 konnten ähnliche Brassica- und Alkenonkonzentrationen bestimmt werden, wie sie heute (Kapitel 3.2.2) in dieser Region gemessen werden (Abb. 44). Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass im Atlantischen Sektors des Südlichen Ozeans im MIS 11 ähnliche Paläoumweltbedingungen geherrscht haben könnten wie heute. Die für das Site 1089 bestimmten Paläoproduktivitätswerte untermauern diese Hypothese (Abb. 44). Das marine Isotopenstadium 11 wird unter anderem von *Loutre & Berger (2003)* und *Cortes et al. (2004)* als Analogon für das heutige Interglazial gedeutet. Die flachen Präzessions-Amplituden im MIS 11 (362 ka bis 423 ka) ähneln denen im Holozän (Abb. 57).

Der SST-Verlauf innerhalb der letzten 450 bis 128 ka (Abb. 57) zeigt weiterhin, dass es am Site 1089 immer wieder zu Kälteeinbrüchen während der Warmzeiten kam (z.B. bei 116, 122, 125 ka und 228 ka). Ein Kälteevent während der Eem-Warmzeit (bei ca. 122 ka) wurde unter anderem von *Cortijo et al. (1994)*, *Field et al. (1994)*, *Seidenkrantz et al. (1995)*, *Ikehara et al. (1997)* und *Maslin et al. (1998)* (bei ca. 120 ka) beschrieben. Die von *Cortese & Abelmann (2002)* (ODP Leg 177, Site 1089) aus Radiolarien-Transfer-Funktionen berechneten SST zeigen, dass das MIS 5e durch drei Kälteperioden (bei 114, 124 und 128 ka) gekennzeichnet ist. Derzeit wird noch kontrovers diskutiert, ob diesem Ereignis eine regionale oder eine globale Signifikanz zuzuschreiben ist.

Die Kälteevents im MIS 5 spiegeln sich auch in den Biomarkerkonzentrationen wider (Abb. 58). Möglicherweise reflektieren diese Kälteevents eine Änderung innerhalb der globalen ozeanischen Zirkulation.

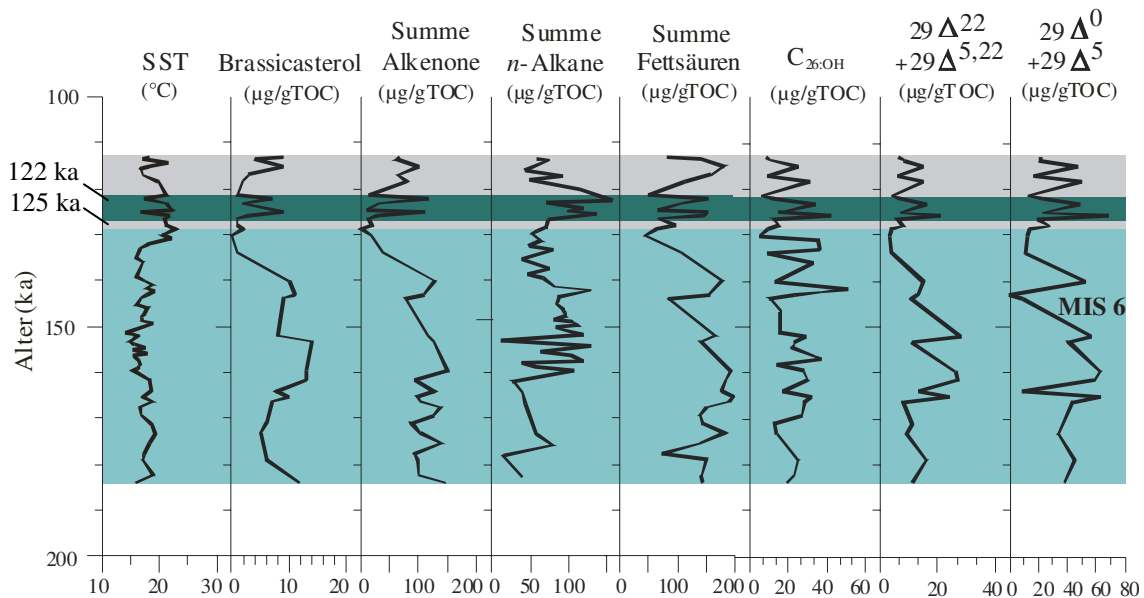


Abb. 58. Brassicasterolkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summe der $\text{C}_{37:2^-}$ und $\text{C}_{37:3^-}$ -Alkenonkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summe der *n*- C_{27^-} , *n*- C_{29^-} , *n*- C_{31^-} -Alkankonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summe der *n*- $\text{C}_{24:0^-}$, *n*- $\text{C}_{25:0^-}$, *n*- $\text{C}_{26:0^-}$, *n*- $\text{C}_{27:0^-}$ -Fettsäurekonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), *n*- $\text{C}_{26:\text{OH}}$ -Alkoholkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$), Summenkonzentrationen ($\mu\text{g/gTOC}$) der Sterole 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol und Stigmasterol ($29\Delta^{22} + 29\Delta^{5,22}$) und Ethylcholestanol und β -Sitosterol ($29\Delta^0 + 29\Delta^5$) im Site 1089 in Abhängigkeit vom Alter (ka) (MIS 5 / MIS 6). Der dunkelgrüne Balken kennzeichnet die Kältereignisse bei 122 ka und 125 ka.

Abbildung 58 verdeutlicht, dass während der Kälteeinbrüche im MIS 5 (122 ka und 125 ka) eine erhöhte Diatomeen- und Haptophyceen-Produktivität nachgewiesen werden konnte. Diese Tatsache spricht wie oben bereits diskutiert für eine Nordverschiebung der Polarfront während dieser Ereignisse. Das Konzentrationsprofil der langkettigen Fettsäuren (*n*- $\text{C}_{24:0}$, *n*- $\text{C}_{25:0}$, *n*- $\text{C}_{26:0}$, *n*- $\text{C}_{27:0}$) zeigt das gleiche Muster (erhöhte Konzentrationen während der Kälteeinbrüche). Wie im Kapitel 4.1 beschrieben, wird für dieses Untersuchungsgebiet den Fettsäuren ein mariner Charakter zugeschrieben, welcher mit zunehmender Entfernung von der afrikanischen Küste steigt. Die Fettsäurekonzentrationen deuten somit eine erhöhte Relevanz des Zirkumpolarstroms sowie des Zirkumpolaren Tiefenwassers und somit Partikeltransport aus west- und südwest-wärtiger Richtung an. Innerhalb der interglazialen Kälteeinbrüche im MIS 5 zeigen die für Site 1089 als terrigen angenommenen Marker (*n*- $\text{C}_{26:\text{OH}}$, $29\Delta^{22} + 29\Delta^{5,22}$, $29\Delta^0 + 29\Delta^5$ (Kapitel 4.1) erniedrigte Konzentrationen, wodurch eine Änderung innerhalb der globalen ozeanischen Zirkulation (geringer Eintrag über das NADW und eine geringere Reichweite bzw. Strömungsintensität des Agulhas-Stroms) zum Ausdruck kommen könnte (siehe oben). Die erhöhten *n*-Alkankonzentrationen (*n*- C_{27} , *n*- C_{29} , *n*- C_{31}) (Abb. 58) innerhalb der Kälteeinbrüche resultieren folglich nicht aus einem intensiveren Agulhas- bzw. NADW-Zustrom. Die Möglichkeit, dass die

allgemein als terrestrisch angenommenen Marker aus anderen Quellen stammen, wurde bereits im Kapitel 4.1 dargelegt. Das Konzentrationsprofil der *n*-Alkane deutet in Analogie zu den Summenkonzentrationen der Fettsäuren (*n*-C_{24:0}, *n*-C_{25:0}, *n*-C_{26:0}, *n*-C_{27:0}) auf eine erhöhte Bedeutung des Zirkumpolarstroms und des Zirkumpolaren Tiefenwassers während dieser Kälteevents hin. Da ein potentieller Eintrag dieser Komponenten über das Meereis für wahrscheinlich gehalten wird (Kapitel 4.3), werden die detektierten interglazialen Kälteeinbrüche am Site 1089 möglicherweise durch den Einstrom großer Schmelzwassereinträge aus dem Antarktischen Eisschild hervorgerufen. *Villanueva et al. (1997)* konnten für den Nordatlantik ebenfalls zeigen, dass langkettige *n*-Alkane ihren Ursprung im Eis- transportierten organischen Material finden.

Wie allgemein akzeptiert, wurde die Termination I von einem Kälteevent unterbrochen. Innerhalb der Terminations II, IV und V (III ist nicht genügend aufgelöst) konnten drei kurze Kälteeinbrüche (bei 130, 338 und 423 ka) bestimmt werden. *Cortese & Abelmann (2002)* detektierten an der Termination II ebenfalls ein Kälteevent (YDII) zwischen 130 und 131 ka und vermuten, dass die Änderung von glazialen zu interglazialen Konditionen von einem ähnlichen Mechanismus gesteuert wird.

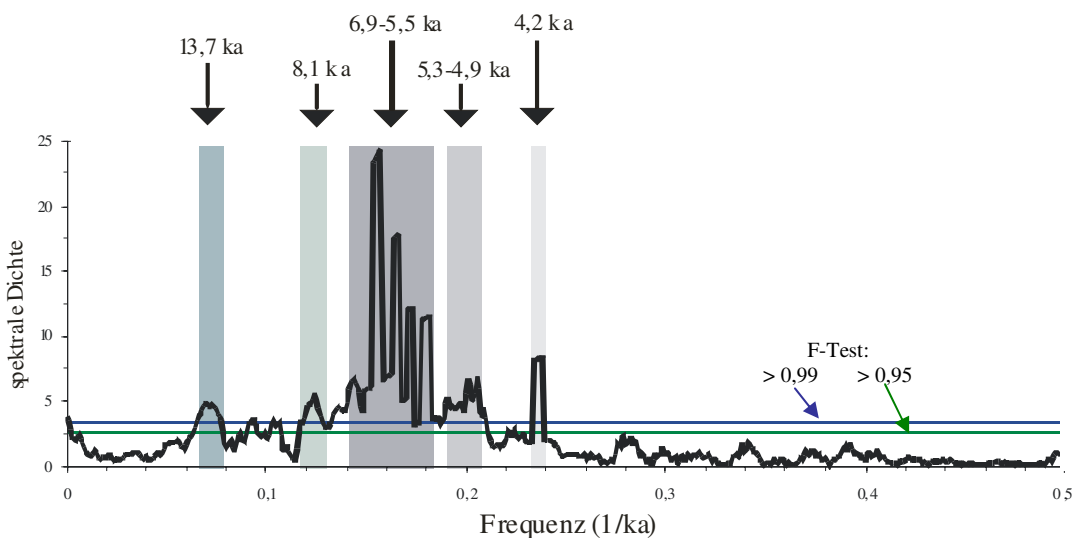


Abb. 59. Mittels Multitaper-Spektralanalyse ermittelte Periodizitäten der SST im Site 1089. Die spektrale Dichte wurde auf den „Level“ des unterliegenden, Daten adaptierten roten Rauschen normiert (*Ghil et al. 2002*).

Die Ergebnisse der MTM-Analyse zeigen (Abb. 59), dass die ermittelten Alkenon-SST neben den Glazial- und Interglazialunterschieden Periodizitäten zwischen 4 ka und 7 ka aufzeigen. Diese transienten Frequenzen konnten im gesamten untersuchten Kernintervall lokalisiert werden (Abb. A-4). Die von *Cortese & Abelmann (2002)* anhand von mikropaläontologischen Anzeigern errechneten Temperaturen (Site 1089, MIS 6 bis heute) zeigen die gleichen Periodizitäten und korrespondieren zu den im Vostok-Eiskern beobachteten

Frequenzen (*Yiou et al. 1994*). *Yiou et al. (1997)* zeigten, dass die MTM Amplituden der in den GRIP- und GISP2-Eiskernen dokumentierten $\delta^{18}\text{O}$ -Profile ebenfalls Periodizitäten zwischen 4 und 7 ka aufzeigen. Die Autoren interpretierten diese als klimatisch gesteuerte Variabilitäten, die mit einem Abschmelzen enormer Massen von Eisbergen einhergeht. Die Variabilitäten der in dieser Arbeit bestimmten Paläooberflächentemperaturen lassen ebenfalls die Vermutung zu, dass sich „Heinrich-Event ähnliche Oszillationen“ (*Cortijo et al. 1995, Grützner et al. 2002*) auch auf das Ökosystem im südlichen Ozean ausgewirkt haben. Dieses Ergebnis wird durch die im Rahmen dieser Arbeit gewonnen Biomarkerdaten (Kapitel 4.2) gestützt.

Die von *Kunz-Pirrung et al. (2002)* im ODP Site 1094 (MIS 10 bis MIS 12) bestimmten SST zeigten Periodizitäten zwischen 1,8 ka und 3 ka. Diese korrespondierten zu den von *Oppo et al. (1998)* und *McManus et al. (1999)* im ODP Leg 162 (Site 980, MIS 12) beobachtenden Frequenzen. *Kunz-Pirrung et al. (2002)* interpretierten diese kurzzeitlichen Variabilitäten als „Dansgaard-Oeschger-ähnliche“ Oszillationen. Die zeitliche Auflösung der im Rahmen dieser Arbeit detektierten SST (MIS 5/MIS 6 und MIS 11/12) erlaubt Rückschlüsse hinsichtlich signifikanter Periodizitäten bis ca. 3 ka und stützt die Hypothese, dass rapide klimatische Schwankungen nicht nur in der nördlichen Hemisphäre auftreten, sondern auch in höheren südlichen Breiten zu finden sind.

Das MIS 12, das älteste von uns im Rahmen des Projekts untersuchte Zeitintervall, gilt als eines der extremsten Glaziale während der letzten 500 ka (*Shackleton, 1987*). Für den hier untersuchten Sedimentationsraum lässt sich ebenfalls die Aussage treffen, dass das MIS 12 das kälteste Glazial zwischen 440 und 128 ka repräsentiert (Abb. 57). Die von *Wenzel (2003)* mittels Alkenondaten rekonstruierten SST der ODP-Bohrung 1082A (diese wurde am äußeren Rand der Namibia-Zelle abgeteuft) liefern einen Beweis dafür, dass das MIS 12 das kälteste Glazial während der letzten 770 ka verkörpert. SST-Aufzeichnungen im subantarktischen ODP-Site 1090 (*Becquey & Gersonde 2002*) zeigen, dass sich das MIS 12 sogar als eines der kältesten Glaziale während der letzten 870 ka auszeichnet. Die ermittelten SST zeigen weiterhin, dass im MIS 8 und MIS 6 (Abb. 57) ähnliche Umweltbedingungen geherrscht haben müssen. Das MIS 10 zeichnet sich im Unterschied zu den jüngeren Glazialen (MIS 8 und MIS 6) durch extreme Temperaturdifferenzen aus. Im oberen MIS 10 (Abb. 57) konnten glaziale SST, die denen aus dem Stadial oberes MIS 11 und dem Glazial MIS 12 gleichkommen, nachgewiesen werden. Im unteren MIS 10 (zwischen 362 ka und 355 ka) erreichen die ermittelten SST ein holozänes Temperaturniveau von 19°C bis 20°C.

Der Agulhas-Strom stellt ein wichtiges Verbindungsglied für den Wärme- und Salztransport aus dem Indischen in den Atlantischen Ozean dar (*McIntry et al. 1989*). *Cortese et al. (2004)* detektierten anhand von mikropaläontologischen Anzeigern ebenfalls eine warme Oberflächentemperatur-Anomalie im MIS 10 (Site 1089) und führten diese auf einen intensiveren Zufluss des Agulhas-Stroms in den Südatlantik zurück. Die Ergebnisse von *Peeters et al. (2004)* deuten hingegen auf einen geringen Agulhas-Zustrom in das Kap-Becken im

MIS 10 hin (Abb. 57). Wie spiegelt sich die für das Site 1089 beobachtete Temperaturanomale in den Biomarkerdaten wider?

Abbildung 57 verdeutlicht, dass der Wärmeeinbruch im MIS 10 mit einer erniedrigten Diatomeen-Produktivität und erniedrigten *n*-Alkankonzentrationen (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) einhergeht. Die geringen *n*-Alkankonzentrationen (Abb. 57) deuten auf einen reduzierten Zufluss des Agulhas-Stroms und einen reduzierten Einfluss des NADW auf den Südatlantik hin (Kapitel 4.3). Wie ein Förderband verteilt das NADW als Bestandteil der thermohalinen Zirkulation kaltes salzreiches Tiefenwasser aus dem Atlantischen in den Indischen Ozean. Zum Ausgleich strömt warmes Oberflächenwasser im Atlantik nordwärts (Abb. 60). Es wird allgemein angenommen, dass es während der Glaziale zu einer extremen Schwächung der thermohalinen Zirkulation (THC) kam und sich die Kaltzeiten durch ein flacheres ozeanisches Zirkulationsmuster auszeichneten (Broecker 1996, Seidov & Haupt 1997). Eine reduzierte NADW-Bildung, die durch den Einstrom großer Mengen von Süßwasser in dem Nordatlantik hervorgerufen werden kann (Broecker 1996, Seidov & Haupt 1997, Manabe & Staufer 1998), führt wiederum zu einer Abnahme des nach Norden gerichteten Wärmetransports (Abb. 60), was wiederum eine Akkumulation von Wärme im Südatlantik während glazialer Perioden bedingt.

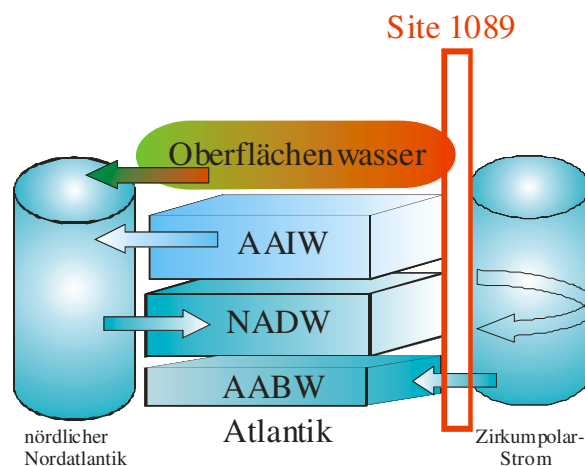


Abb. 60. Schematische Darstellung der heutigen ozeanischen Zirkulation und interoceanischer Austausch.

Zum Zeitpunkt der Temperaturanomale (zwischen 362 ka und 355 ka) zeichnet sich das Gebiet um Site 1089 weiterhin durch geringe Brassicasterol- (Abb. 57) und Alkenonkonzentrationen aus. (Abb. 61). Dieses Ergebnis deutet auf eine Südverschiebung der STC hin (Kapitel 4.2). Abbildung 57 verdeutlicht weiterhin, dass die warme SST-Anomale im MIS 10 mit dem Wechsel von niedrigen zu hohen Präzessions-Amplituden (Intensität der Jahresschwankungen) gekoppelt ist. Eine Störung der atlantischen Zirkulation, ausgelöst durch den Wechsel von niedrigen zu hohen Insolationsvariabilitäten, scheint daher nicht ausgeschlossen.

Abbildung 61 veranschaulicht, dass für die letzten 450 ka ein Erwärmungstrend mit ansteigenden Alkenon-SST vor allem während der Glaziale bestimmt werden konnte. Der Trend zu wärmeren glazialen SST innerhalb der letzten 450 ka konnte ebenfalls von *Wenzel (2003)* und *Becquey & Gersonde (2002)* beobachtet werden (Abb. 61). Die von *Cortese et al. (2004)* aus Radiolarien-Transfer-Funktionen bestimmten SST (ODP 1089) deuten hingegen keinen Erwärmungstrend an (Abb. 61). Die anhand von mikropaläontologischen Anzeigern bestimmten SST-Werte liegen ca. 2-3°C unter den im Rahmen dieses Projektes ermittelten und den von *Sachs & Anderson (2003)* für das Site 1089 bestimmten Alkenon-SST (Abb. 61). *Sachs & Anderson (2003)* vermuten, dass die C₃₇-Alkenone in wärmeren Wassermassen gebildet und durch horizontale Strömungen an die Site-Position transportiert werden. Demgegenüber stehen die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse. Abbildung 61 verdeutlicht, dass ein erhöhter Eintrag warmer Wassermassen aus dem Agulhas-Strom (*Peeters et al. 2004*) mit geringen Alkenonkonzentrationen korreliert. Abbildung 61 zeigt weiterhin, dass die Absolutkonzentrationen der C₃₇-Alkenone (ng/g Sediment) mit einer Nordverschiebung der STC und geringen SST einhergehen. Diese Korrelation deutet darauf hin, dass die Coccolithophoriden-Produktivität in erster Linie durch das regional vorherrschende Nährstoffangebot gesteuert wird (Kapitel 4.2). Die gute Korrelation zwischen der Coccolithophoriden- und Diatomeen-Produktivität (Kapitel 4.2) untermauert diese These. Beim Vergleich zwischen den im Rahmen dieser Arbeit bestimmten Alkenon-SST mit denen von *Cortese et al. (2004)* für das Site 1089 bestimmten Radiolarien-SST (Abb. 61) wird ersichtlich, dass die anhand von mikropaläontologischen Anzeigern bestimmte SST-Werte (im Gegensatz zu den jüngeren untersuchten Zeitintervallen) ab ca. 340 ka die gleichen SST aufzeigen. Das Verhältnis zwischen den für das Site 1089 bestimmten C₃₇- und C₃₈-Alkenonkonzentrationen (Abb. 62) deutet darauf hin, dass zu diesem Zeitpunkt ein Wechsel innerhalb der Coccolithophoridenart stattgefunden hat.

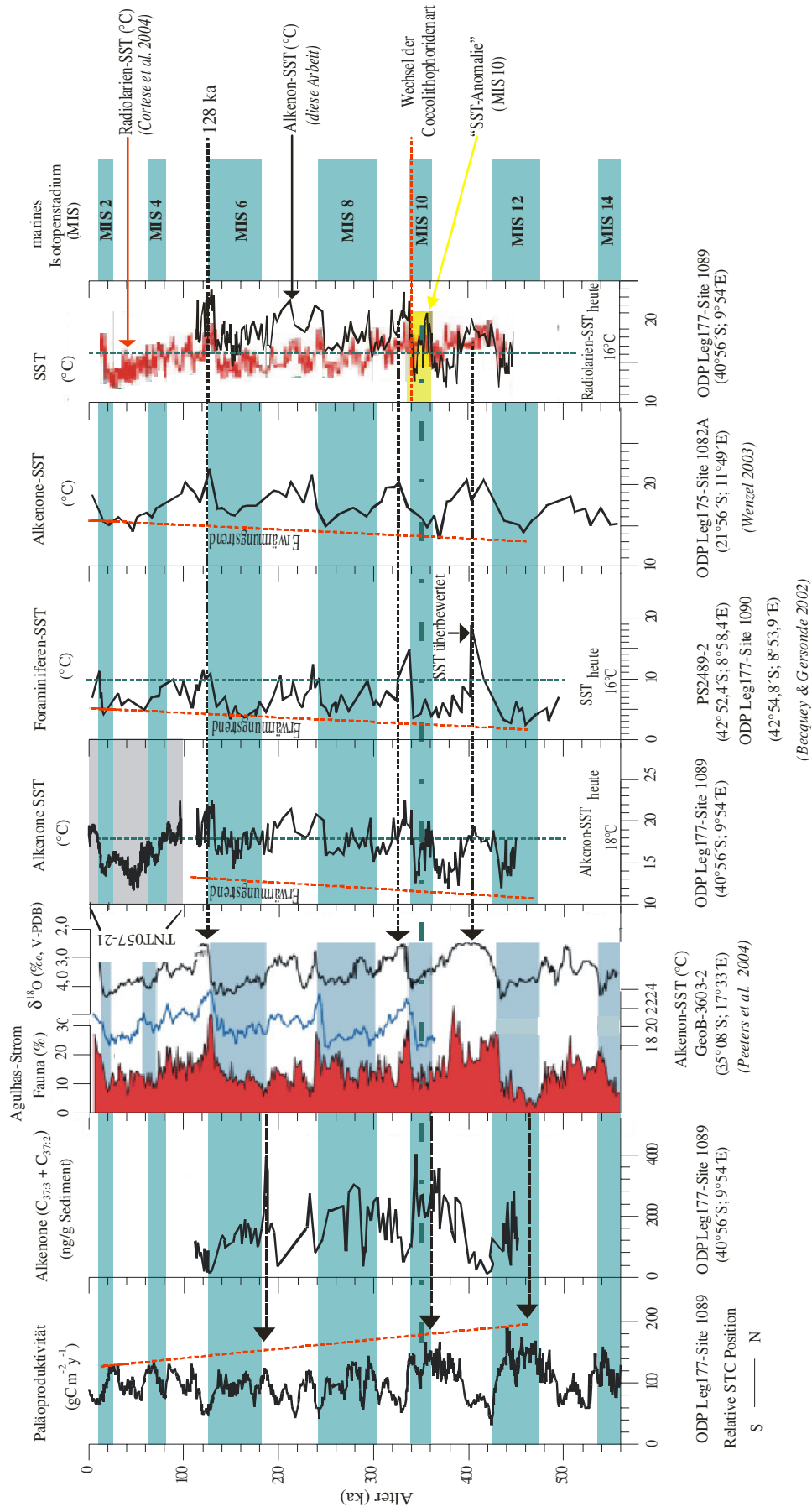


Abb. 61. Paläoproduktivität ($gC\ m^{-2}\ y^{-1}$), Summe der $C_{37:3}$ - und $C_{37:2}$ -Alkenonkonzentrationen (ng/g Sediment) im Site 1089, Agulhas-Strom Fauna als Indikator für die Agulhas-Zuströmintensität in das Kap-Becken, Alkenon-SST (°C), $\delta^{18}O$ -Werte (‰) im GeoB-3603-2 (Peeters et al. 2004). Paläoberflächentemperaturen (SST) im Site 1089 (diese Arbeit) und TNT057-21 (Sachs & Anderson 2003), Altersmodells aus Kuhn und Diekmann (2002). Foraminiferen-SST (°C) im PS2489-2 und ODP Leg 177-Site 1090 (Becquey & Gersonde 2002). Alkenon-SST (°C) im ODP Leg 177-Site 1082A (Wenzel 2003). Vergleich zwischen der Radiolarien- (Cortese et al. 2004) und der Alkenon-SST (°C) im Site 1089. Die grünen Balken kennzeichnen die Glaziale, die gestrichelten Linien verdeutlichen die im Text diskutierten Begebenheiten.

Volkman et al. (1995) konnten zeigen, dass *E. huxleyi* und *G. oceanica* anhand ihres C_{37}/C_{38} -Alkenon-Verhältnis differenziert werden können. Die relativen C_{37}/C_{38} -Alkenonkonzentrationen schwanken in *G. oceanica* zwischen 0,59 und 0,81 (Volkman et al. 1995). Das Verhältnis zwischen den von *E. huxleyi* synthetisierten C_{37}/C_{38} -Alkenonen beträgt 1,16 (Conte et al. 1994). In Abbildung 62 sind die für Site 1089, Site 1087 (McClymont et al. 2005) und GeoB1028 (Müller et al. 1997) bestimmten C_{37} -Methylalkenon und C_{38} -Methyl- und Ethylalkenon-Verhältnisse gegen das Alter dargestellt.

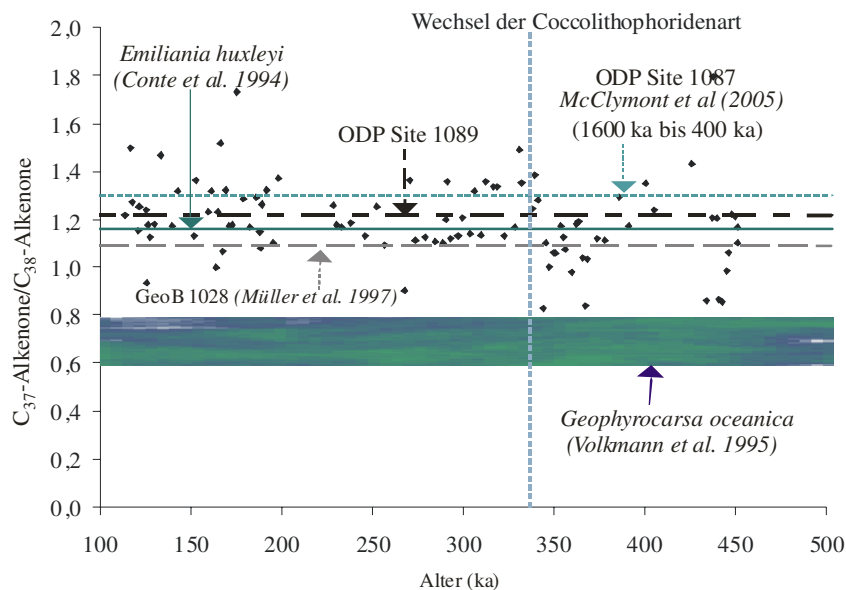


Abb. 62. C_{37} -Methylalkenon und C_{38} -Methyl- und Ethylalkenon-Verhältnisse (C_{37} -Alkenone/ C_{38} -Alkenone) im Site1089, GeoB1089 (Müller et al. 1997) und ODP Site 1087 (McClymont et al. 2005) gegen das Alter (ka). Die hellgrüne Linie verdeutlicht das C_{37}/C_{38} -Alkenon-Verhältnis in *E. huxleyi* (Conte et al. 1994), der blaugrüne Balken stellt das C_{37}/C_{38} -Alkenon-Verhältnis in *Geophyrocapsa oceanica* da (Volkman et al. 1995).

Abbildung 62 verdeutlicht, dass das im Rahmen dieser Untersuchung ermittelte mittlere C_{37}/C_{38} -Verhältnis bei 1,22 liegt. McClymont et al. (2005) konnten zeigen, dass neben *G. oceanica*, *P. lacunosa*, *G. caribbeanica* und *small Geophyrocapsa* die dominierenden Coccolithophoriden zwischen 1700 ka und 500 ka im ODP Site 1087 (31°28'S, 15°19'E) darstellen. Das Verhältnis zwischen den C_{37} - und C_{38} -Alkenonen liegt in dem von McClymont et al. (2005) untersuchten Zeitabschnitt bei 1,3. Müller et al. (1997) und McClymont et al. (2005) postulierten, dass die Anwendbarkeit der auf der Algenart *E. huxleyi* beruhenden Kalibrierfunktion trotz des Wechsels der Coccolithophoridenarten in dem hier untersuchten Zeitraum gegeben ist. Die gute Übereinstimmung zwischen den im Rahmen dieser Arbeit bestimmten Alkenon-SST mit den von Becquey & Gersonde (2002) ermittelten Foraminiferen-SST (Abb. 61) untermauert diese These.

Der für das Site 1089 bestimmte Erwärmungstrend spiegelt sich auch in den Paläoproduktivitätswerten wider (Abb. 61). Betrachtet man ausschließlich die glazialen Paläoproduktivitätswerte im untersuchten Zeitabschnitt (Abb. 61), so wird ersichtlich, dass sich mit abnehmendem Sedimentalter die Paläoproduktivität verringert. Im MIS 12 konnten die höchsten Paläoproduktivitätswerte bestimmt werden ($191 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$), diese schwanken im jüngsten untersuchten Glazial (MIS 2) jedoch nur noch um $110 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$. Die in Abbildung 61 dargestellten Ergebnisse deuten weiterhin darauf hin, dass die STC im MIS 12 ihre nördlichste Position erreicht hat. Hieraus ist abzuleiten, dass der Atlantische Sektor des Südlichen Ozeans im MIS 12 stark unter dem Einfluss kalter zirkumpolarer Wassermassen stand. Diese Annahme wird durch die hohen Eis-transportierten *n*-Alkanonzentralen im MIS 12 gestützt (Abb. 50, Kapitel 4.3). *Peeters et al. (2004)* konnten zeigen, dass sich das extremste Glazial (MIS 12) durch den geringsten Eintrag warmer Wassermassen aus dem Agulhas-Strom in den Südatlantik während der letzten 560 ka auszeichnet.

Die hier diskutierten Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass der im Rahmen dieser Untersuchung beobachtete glaziale Erwärmungstrend aus einem verringerten Eintrag kalter Wassermassen aus dem Antarktischen Zirkumpolarstrom und einer intensiveren glazialen Agulhas-Zustromintensität resultiert. Diese Annahme steht im Einklang mit der von *Wenzel (2003)* aufgestellten Hypothese, dass die Erwärmung der Benguela-Stromregion während der Kaltzeiten durch einen stärkeren Zustrom warmer Wassermassen aus dem Agulhas-Strom hervorgerufen worden sein könnte.

5. Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden organisch-geochemische Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Atlantischen Sektor des Südpolarmeeres durchgeführt. Die polaren und subpolaren Gebiete der Südhemisphäre nehmen eine Schlüsselfunktion im globalen Klimageschehen ein. Der große Antarktische Eisschild und die angrenzenden Meereisflächen und deren Änderungen in Raum und Zeit haben einen entscheidenden Einfluss auf den globalen Meeresspiegel, den Wärmehaushalt der Erde, die Oberflächenwasserproduktivität sowie die atmosphärische und ozeanische Zirkulation. Trotz der Bedeutung des Südpolarmeeres für das globale Klimageschehen sind bisher nur wenige detaillierte sedimentologische, geochemische und mikropaläontologische Untersuchungen in dieser Region durchgeführt worden, die über den letzten Glazial-/Interglazialzyklus hinausgehen. Im Rahmen des Ocean Drilling Program stehen lange, ungestörte Bohrkern zur Verfügung, die es erlauben, hochauflösende Klimarekonstruktionen auch auf die ältere Klimageschichte auszudehnen und somit Informationen hinsichtlich der Paläoumweltbedingungen und deren Variabilität im Atlantischen Sektor des Südpolarmeeres zu erhalten. Das Probenmaterial für dieses Forschungsvorhaben wurde während ODP-Leg 177 erbohrt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Proben der Sites 1089 und 1093 hinsichtlich ihrer organisch-geochemischen Basisparameter und Biomarker untersucht. Site 1089 ($40^{\circ}56'S$; $9^{\circ}54'E$) befindet sich im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans und grenzt an die Subtropische Front. Site 1093 ($49^{\circ}58.58'S$; $05^{\circ}51.92'E$) wurde südlich der Polarfront im nördlichen Teil der

eisfreien Antarktischen Zone abgeteuft. In der vorliegenden Arbeit konnten Informationen über die Paläoproduktivität, die Paläooberflächenwassertemperaturen, den terrigenen Eintrag von organischer Substanz und deren Variabilitäten während der letzten 100 ka bis 450 ka (MIS 12-MIS 5e) im Südozean gewonnen werden.

Die im Site 1089 erhaltenen Paläoumwelt-Informationen zeigen ein ausgezeichnetes marin-sedimentäres Analog zu den aus dem Vostok-Eiskern bekannten, klimagesteuerten atmosphärischen Variationen der Temperatur. Die für den Südlichen Ozean nahe der Subtropischen Front bestimmten Paläoproduktivitätswerte wie auch die Brassicasterol- und Alkenonkonzentrationen korrelieren mit der Vostok-Eiskern-Temperaturkurve (*Petit et al. 1999*) und der Specmap-Klima-Kurve (*Imbrie et al. 1984*). Die Ergebnisse der Spektralanalyse (MTM) lassen die Vermutung zu, dass die Paläoproduktivität im Kap-Becken (Site 1089) orbital gesteuert ist (*Milankovich*). Die qualitativen Proxies für eine erhöhte Diatomeen- (Brassicasterol) und Coccolithophoriden-Produktivität (Alkenone) korrelieren außerdem mit den TOC-Akkumulationsraten. Die Ergebnisse der Biomarkeranalyse lassen darüber hinaus die Schlussfolgerung zu, dass die Variabilität im TOC-Gehalt maßgeblich durch die marine Produktivität im Antarktischen Zirkumpolarstrom gesteuert wird. Erhöhte Produktivitätswerte sind für die Glaziale als auch für die Stadiale der Interglaziale und für das obere MIS 11 typisch. In den Interglazialen konnten hingegen deutlich erniedrigte Paläoproduktivitätswerte bestimmt werden. Im unteren MIS 11, MIS 9, MIS 7 und MIS 5e konnten für Site 1089 Werte ermittelt werden, wie sie heute in dieser Region gemessen werden. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass erhöhte Paläoproduktivitätswerte z.T. mit erhöhten Eisgehalten (*Latimer & Filippelli 2001*) im Kap-Becken einhergehen. Dieses Ergebnis legt die Vermutung nahe, dass Eisen ein limitierender Faktor für die marine Produktivität im Antarktischen Zirkumpolarstrom ist. Eine glaziale Erhöhung der Primärproduktion lässt sich höchstwahrscheinlich auf eine Verschiebung der Polarfrontzone (d.h. der Hochproduktivitätszone) nach Norden zurückführen, da die biologische Aktivität in Frontensystemen durch ozeanische Divergenz- und Konvergenz-Zonen geprägt wird, wobei nährstoffreiches Tiefenwasser in den Divergenzzonen an die Oberfläche gelangt und somit zu einer erhöhten Primärproduktion führt. Im MIS 12 hat die Polarfrontzone wahrscheinlich ihre nördlichste Position erreicht. Für diesen Zeitraum konnten die höchsten Paläoproduktivitätswerte bestimmt werden.

Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass die Diversität innerhalb der Biomarker-Quellen größer als ursprünglich angenommen ist und somit einzelne sedimentierte Biomoleküle nicht mehr uneingeschränkt spezifischen Quellen zuzuordnen sind. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zeigen, dass β -Sitosterol, Stigmasterol, Ethylcholestanol und 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol in den Sedimentproben des an der Subtropischen Front gewonnenen Kerns (Site 1089) terrestrischer Herkunft sind. In dem südlich der Polarfront gewonnenen Sedimentkern (Site 1093) deuten die Korrelationsanalysen hingegen auf einen marinen Ursprung der C₂₉-Sterole hin. Die Korrelationsanalysen zeigen weiterhin, dass die lange als terrigen

interpretierten langkettigen Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$) im Atlantischen Sektor des Südpolarmeeres marinen Ursprungs sind.

Eine Korrelation zwischen der Produktion bzw. Erhaltung des marinen organischen Materials und den terrigen eingetragenen Biomarkern konnte nicht nachgewiesen werden. Die terrestrischen Biomarker scheinen aus unterschiedlichen Regionen in den Atlantischen Sektor des Antarktischen Zirkumpolarstroms transportiert zu werden. Während der Interglaziale wird das Kap-Becken hauptsächlich mit terrigenem Material aus Südafrika und Äquatorialafrika gespeist. Erhöhte n -Alkankonzentrationen ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$) korrelieren im Interglazial mit einer Süd-Verschiebung der Polarfront, einer südlichen Verlagerung des NADW und einer verstärkten Agulhas-Zustromintensität in das Kap-Becken. Unter glazialen Bedingungen scheinen die terrestrischen Biomarker äolisches über eine verstärkte glaziale Westwinddrift aus Südamerika an die Subtropische Front exportiert zu werden, wodurch sich eine klimabedingte Änderung des Windsystems während der Kälteperioden ableiten lässt. An der Subtropischen Front (Site 1089) konnten zwischen 432 ka und 435 ka die höchsten n -Alkankonzentrationen quantifiziert werden. Die hohen n -Alkankonzentrationen im MIS 12 deuten auf eine erhöhte Relevanz des Zirkumpolarstroms und des Zirkumpolaren Tiefenwassers und somit dem Partikeltransport aus west- und südwest-wärtiger Richtung hin. Die Ergebnisse der Biomarkeranalyse zeigen weiterhin, dass erhöhte n -Alkankonzentrationen (im MIS 12 und oberen MIS 11) mit einem erhöhten Vorkommen von Meereisdiatomeen (Site 1093) korrelieren. Hieraus ist abzuleiten, dass langkettige n -Alkane ihren Ursprung im eistransportierten organischen Material finden. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass im MIS 12 Eisberge bis in die heutige Subantarktische Zone vordrangen.

Für den hier untersuchten Sedimentationsraum lässt sich die Aussage treffen, dass das MIS 12 das kälteste Glazial zwischen 440 und 128 ka repräsentiert. Für die letzten 450 ka Jahre konnten ansteigende Oberflächentemperaturen (SST) vor allem während der Glaziale beobachtet werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die glaziale Erwärmung des Atlantischen Sektors des Südlichen Ozeans aus einem verringerten Eintrag kalter Wassermassen aus dem Antarktischen Zirkumpolarstrom und einer intensiveren glazialen Agulhas-Zustromintensität resultiert. Der SST-Verlauf innerhalb der letzten 450 bis 128 ka zeigt weiterhin, dass es immer wieder zu Kälteeinbrüchen während der Warmzeiten kam. Die Kälteevents im MIS 5 (122 ka und 125 ka) spiegeln sich auch in den Biomarkerkonzentrationen wider. So konnte während der interglazialen Kälteevents (im MIS 5) eine erhöhte Diatomeen- und Haptophyceen-Produktivität nachgewiesen werden. Diese Tatsache spricht für eine Nordverschiebung der Polarfront während dieser Events. Innerhalb der interglazialen Kälteeinbrüche zeigen die für Site 1089 als terrigen angenommenen Marker ($n\text{-C}_{26:OH}$, $29^{\Delta 22} + 29^{\Delta 5,22}$, $29^{\Delta 0} + 29^{\Delta 5}$) erniedrigte Konzentrationen, wodurch eine Änderung innerhalb der globalen ozeanischen Zirkulation (geringer Eintrag über das NADW und eine geringere Reichweite bzw. Strömungsintensität des Agulhas-Stroms) zum Ausdruck kommt. Das Konzentrationsprofil der Fettsäuren ($n\text{-C}_{24:0}$, $n\text{-C}_{25:0}$, $n\text{-C}_{26:0}$, $n\text{-C}_{27:0}$), deutet in Analogie zu den Summenkonzentrationen der n -Alkane ($n\text{-C}_{27}$, $n\text{-C}_{29}$, $n\text{-C}_{31}$) auf einen erhöhten Einfluss des Zirkumpolarstroms und des Zirkumpolaren

Tiefenwassers während dieser Kälteevents hin. Da ein potentieller *n*-Alkan-Eintrag über das Meereis für wahrscheinlich gehalten wird, werden die detektierten interglazialen Kälteeinbrüche im Kap-Becken möglicherweise durch den Einstrom großer Schmelzwassereinträge aus dem Antarktischen Eisschild hervorgerufen.

Für den untersuchten Zeitabschnitt lässt sich weiterhin die Aussage treffen, dass die Klimaoptima der Interglaziale (MIS 9, MIS 7, MIS 5) mit ca. 2°C die heutige Durchschnittstemperatur überschreiten und dass sich das MIS 11 weder durch besonders hohe absolute SST noch durch eine extrem lange warme Phase auszeichnet. Im Eem konnten mit ca. 3 °C über der heutigen SST die wärmsten SST abgeleitet werden.

Im unteren MIS 10 (zwischen 361 ka und 355 ka) konnten interglaziale SST von 19°C bis 20°C bestimmt werden. Der Wärmeeinbruch im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans (MIS 10) könnte durch einen reduzierten Wärmetransport über den Äquator ausgelöst worden sein. Die *n*-Alkankonzentrationen deuten darauf hin, dass die Reichweite des NADW während der Temperaturanomalie im MIS 10 reduziert war. Eine Reduzierung oder ein Abbruch des nordwärts gerichteten Transfers, möglicherweise durch den Einstrom großer Mengen von Süßwasser in den Nordatlantik ausgelöst, würde zu einer Erwärmung des Südatlantiks führen. Zum Zeitpunkt der Temperaturanomalie zeichnet sich das Gebiet um Site 1089 weiterhin durch geringe Brassicasterol- und Alkenonkonzentrationen aus, was wiederum auf eine Südverschiebung der STC hindeutet. Eine Störung der atlantischen Zirkulation, die möglicherweise durch den Wechsel von niedrigen zu hohen Insolationsvariabilitäten ausgelöst wurde, scheint nicht ausgeschlossen.

Die Ergebnisse der MTM-Analyse zeigen, dass die für das Kap-Becken ermittelten Paläoproduktivitätswerte sub-Milankovich-artige Zyklen mit Periodizitäten zwischen 10 ka und 2 ka aufweisen. Die Ergebnisse der Wavelet-Analyse lassen weiterhin die Vermutung zu, dass die mittels MTM bestimmten transienten Periodizitäten über den gesamten untersuchten Zeitabschnitt lokalisiert werden konnten. Dieses Ergebnis wird durch die Biomarkerdaten gestützt. Diese Erkenntnis lässt die Hypothese zu, dass rapide Klimaschwankungen nicht nur in der nördlichen Hemisphäre auftreten, sondern auch einen Einfluss auf die Paläoproduktivität im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans gehabt haben könnten.

Die zeitliche Auflösung der im Rahmen dieser Arbeit detektierten SST erlaubt Rückschlüsse hinsichtlich signifikanter Periodizitäten bis ca. 3 ka. Die Frage, ob sich „Dansgaard-Oeschger-ähnliche Oszillationen“ in den Biomarkerdaten aus höheren südlichen Breiten widerspiegeln, bleibt daher spekulativ. Hierzu wären weitere Untersuchungen am vorhandenen Kernmaterial notwendig, in denen der Datensatz auf mindestens 750 a aufgelöst werden müsste. Des Weiteren wäre von zentralem Interesse, ob sich die im Rahmen dieser Arbeit bestimmten sub-Milankovich-artigen Zyklen in Phase mit den von Heinrich und Dansgaard-Oeschger entdeckten kurzzeitlichen Variabilitäten befinden. Rückschlüsse hinsichtlich dieser Fragestellung können aus detaillierten Biomarkerdatensätzen gewonnen werden, die jüngere Zeitscheiben aus dem Atlantischen Sektor des

Südpolarmeeres repräsentieren. Von weiterem Interesse wäre aufzuzeigen, inwieweit die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse mit der älteren Klimageschichte der nördlichen Hemisphäre korrelieren.

6. Literatur

Arntz, W. E. & Brey, T. (Eds.), 2001. The Expedition Antarktis XVII/3 (EASIZ III) of "Polarstern" to the eastern Weddel Sea and Antarctic Peninsula in 2000. Reports on polar and marine research, 402, 1-181.

Augustin, L. & EPICA community members, 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429, 623-628.

Abelmann, A. & Gersonde, R., 1991. Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. *Marine Chemistry* 35, 503-536.

Barrett, S. M., Volkman, J. K., Dunstan, G. A. & Leroi, J. M., 1995. Sterols of 14 species of marine diatoms (bacillariophyta). *Journal of Phycology* 31, 360-369.

Becquey, S. & Gersonde, R., 2002. Past hydrographic and climatic change in the Subantarctic zone-a 1.83 M:Y: record from ODP Site 1090. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, S0031-0182(01)00497-7.

Berger, W. H., Smetacek, V. & Wefer, G., 1989. *Productivity of the Ocean: Past and Present*. Life Sciences Research Report 44, Wiley & Sons, New York, 471 pp.

Bianchi, C. & Gersonde, R., 2002. The Southern Ocean surface between Marine Isotope stage 6 and 5d: Shape and timing of climate changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 187, 151-177.

Birgel, D., Stein, R. & Hefter, J., 2004. Aliphatic lipids in recent sediments of the Fram/Strait/Yermak Plateau (artic Ocean): Composition, sources and transport processes. *Marine Chemistry* 88, (3-4), 127-160.

Bligh, E. G. & Dyer, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 37, 911-917.

Blumer, M., Guillard, R. R. L. & Chase, T., 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton. *Marine Biology* 8, 183-189.

Blunier, T., Chappellaz, J., Schwander, J., Dällenbach, A., Staufer, B., Stocker, T. F., Raynaud, D., Jouzel, J., Clausen, H. B., Hammer, C. U. & Johnson, J., 1998. Asynchrony of Antarctic and Greenland climate change during the last glacial period. *Nature* 394, 739-743.

Brassell, S. C., Eglinton, G., Maxwell, J. R. & Philip, R. P., 1978. Natural background of alkanes in the aquatic environment. In Hutzinger, O., Lelyveld, I.H. & Zoetman, B. C. J. (Eds.), *Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects*. Pergamon Press, 69-86.

Brassell, S. C., Maxwell, J. R & Eglinton, G., 1981. Preliminary lipid analyses of two Quaternary sediments from the Middle America Trench, southern Mexico transect. In Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 66. Washington D. C. (U.S. Government Printing Office), 557-580.

Brassell, S. C. & Eglinton, G., 1983. The potential of organic geochemical compounds as sedimentary indicators of upwelling. In Suess, E. & Thiede, J. (Eds.), Coastal Upwelling: its sedimentary record. Nato Conference Series IV. Marine Science. A. New York (Plenum Press), 454-571.

Brassell, S. C., Eglinton, G., Marlowe, I. T., Pflaumann, U. & Sarntheim, M., 1986. Molecular stratigraphy: A new tool for climatic assessment. *Nature* 320, 129-133.

Brassell, S. C., 1993. Applications of Biomarkers for Delineating Marine Paleoclimatic Fluctuations during Pleistocene. In Engel, M. H. & Macko, S. A. (Eds.), Organic Geochemistry; Principles and Applications. Plenum Press, 699-738.

Brault, J. W. & O. R. White, 1971. The Analysis and Restoration of Astronomical Data via the Fast Fourier Transform, *Astronomy & Astrophysics* 13, 169-189.

Broecker, W. S., 1996. Plötzliche Klimawechsel. *Spektrum der Wissenschaft*, Januar 1996, 86-92.

Cahn, R. S., Ingold, C. K. & Prelog, V., 1966. Spezifikation der Molekularen Chiralität. *Angewandte Chemie* 78, 413.

Chikaraishi, Y. & Naraoka, H., 2003. Compound-specific δD - $\delta^{13}C$ analyses of n-alkanes extracted from terrestrial and aquatic plants. *Phytochemistry*. 63, 361-371.

Christie, W. W., 1982. Lipid Analysis. Pergamon Press, New York.

Clark, R. C., 1966. Saturated hydrocarbons in marine plants and sediments. Dissertation, Department of Geology and Geophysics M.I.T.

Collister, J. W., Rieley, G., Stern, B., Eglinton, G. & Fry, B., 1994. Compound-specific $\delta^{13}C$ analyses of leaf lipids from plants with differing carbon dioxide metabolisms. *Organic Geochemistry* 21(6/7), 619-627.

Conte, M. H., Eglinton, G. & Madureira, L.A.S., 1992. Long-chain alkenoates as palaeotemperature indicators: their production, flux and early sedimentary diagenesis in the Eastern North Atlantic. *Organic Geochemistry* 19, 287-298.

Conte, M. H., Volkman, J. K. & Eglinton, G., 1994. Lipid biomarkers of Haptophyta. In Leadbeater, B. & Green, J. C. (Eds), *The Haptophyte Algae*. Clarendon, Oxford, 351-377.

Conte, M. H., & Weber J. C., 2002. Long-range atmospheric transport of terrestrial biomarkers to the western North Atlantik. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 2002GB001922.

Cornford, Ch., Gardner, P., & Burgess, Ch., 1998. Geochemical truths in large data sets. I: Geochemical screening data. *Organic Geochemistry* 29, 519-530.

Cortese, G. & Abelmann, A., 2002. Radiolarian-based paleotemperatures during the last 106kyr at ODP Site 1089 (Southern Ocean, Atlantic Sector), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 182, 259-286.

Cortese, G., Abelmann, A. & Gersonde, R. 2004. A glacial warm water anomaly in the subantarktic Atlantic Ocean, near the Agulhas Retroflection. *Earth and Planetary Science Letters* 222, 767-778.

Cortijo, E., Duplessy, J. C. Labeyrie, L. Leclaire, H., Duprat, J. & van Weering, T. C. E., 1994. Eemian cooling in the Norwegian Sea and North Atlantic ocean preceding continental ice-sheet growth. *Nature* 372, 446-449.

Cortijo, E., Yiou, P., Labeyrie, L. & Cremer, M., 1995. Sedimentary record of rapide climate variability in the North Atlantic Ocean during the last glacial cycle. *Paleoceanography* 10, 911-926.

Cranwell, P. A. & Volkman, J. K., 1981. Alkyl and steryl esters in a recent lacustrine sediment. *Chemical Geology* 32, 29-43.

Cranwell, P. A., 1982. Lipids of aquatic sediments and sedimenting particulates. *Progress in Lipid Research* 21, 271-308.

Diekmann, B., Petschick, R., Gingele, F. X., Fütterer, D. K., Abelmann, A., Gersonde, R. & Mackensen, A., 1996. Clay mineral fluctuations in Late Quaternary sediments of the southeastern South Atlantic: Implications for past changes of deep-water advection. In Wefer, G., Berger, W. H., Siedler, G. & Webb, D. (Eds.), *The South Atlantic: Present and Past Circulation*, Springer Verlag, 621-644.

Diekmann, B., Fälker, M. & Kuhn, G., 2003. Environmental history of the southeastern South Atlantik since the Middle Miocene: evidence from the sedimentological records of ODP-Sites 1088 and 1092. *Sedimentology* 50, 511-529.

Dietrich, G., Kalle, K., Kraus, W. & Siedler, G., 1975. *Allgemeine Meereskunde*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 3, 593 pp.

Dünges, W., Muno, H., & Unckel, F., 1990. Rationelle prächromatographische Mikromethoden für die ppb- und ppt- Analytik. *DBGW-Schriftenreihe Wasser* 108, 187-207.

Dunstan, G. A., Volkman, J. K., Jeffrey, S. W. & Barrett, S. M., 1992. Biochemical composition of microalgae from the green alga classes Chlorophyceae and Prasinophyceae 2. Lipid classes and fatty acids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161, 115-134.

Espitalié, J., Madec, M., et al., 1977. Source Rock characterisation, method for petroleum exploration. *Proceedings of the 9th Annual Offshore Technology Conference* 3, 439-443.

Eglinton, G. & Hamilton, R. J., 1963. The distribution of alkanes. In Swain, T. (Ed.), *Chemical Plant Taxonomy*. Academic Press, London, 187-217.

Eglinton, G. & Hamilton, R. J., 1967. Leaf epicuticular waxes. *Science* 156, 1322-1335.

Eglinton, G., Maxwell, J. R. & Philip, R. P., 1975. Organic geochemistry of sediments from contemporary aquatic environments. In Tissot, B. & Biener, F., (Eds.), *Advances in Organic Geochemistry*, 941-961.

Emery, W. J. & Meincke, J., 1986. Global water masses: summery and review. *Oceanolog. Acta*, 9 (4), 383-391.

Fahl, K. & Stein, R., 1999. Biomarkers as organic-carbon-source and environmental indicators in the late Quaternary Arctic Ocean: Problems and perspectives. *Marine Chemistry* 63, 293-309.

Fahl, K., Stein, R., Gaye-Haake, B., Gebhard, C., Kodina, L. A., Unger, D. & Ittekkot, V., 2003. Biomarkers in surface sediments from the Ob and Yenisei estuaries and the southern Kara Sea: Evidence from particulate organic carbon sources, pathways, and degradation. In Stein, R., Fahl, K., Fütterer, D. K., Galimov, E. M. & Stepanets, O. V. (Eds), *Siberian river run-off in the Kara Sea. Characterisation, quantification, variability and environmental significance*, *Proceedings in Marine Science*, Elsevier, 331-350.

Farrimond, P., Poynter, J. G. & Eglinton, G., 1990. Molecular composition of sedimentary lipids off the Peru margin, Leg 112. In Sues, E., Huene, R. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 122. Ocean Drilling Program, College Station, TX, 539-546.

Ficken, G., Barber, K. E. & Eglinton, G., 1998. Lipid Biomarker, $\delta^{13}\text{C}$ plant and macrofossil stratigraphy of a Scottish montane peat bog over the last two millenia. *Organic Geochemistry* 28 (3/4), 217-237.

Field, M.H., Huntley, B., & Müller, H., 1994. Eemian climate fluctuations observed in an European pollen record. *Nature* 371, 779-783.

Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226, 497-509.

Flores, J.-A., Marino, M., Sierro, F. J., Hodell, D. A. & Charles, C. D., 2003. Calcareous plankton dissolution pattern and coccolithophore assemblages during the last 600 kyr at ODP Site 1089 (Cape Basin, South Atlantic): paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 196, 409-426.

Frank, M., Gersonde, R., Rutgers van der Loeff, M. M., Kuhn, G. & Mangini, A., 1996. Late Quaternary sediment dating and quantification of lateral sediment redistribution applying ^{230}Th : A study from the eastern Atlantic sector of the Southern Ocean. *Geologische Rundschau* 85, 554-566.

Gagosian, R. B., Peltzer, E. T. & Nigrelli, G. E., 1983. The use of sediment traps to determine sterol sources in coastal sediments off Peru. In M. Bjorøy et al. (Eds.) *Advances in Organic Geochemistry 1981*. Wiley, Chichester, 369-379.

Gagosian, R. B. & Peltzer, E. T., 1986. The importance of atmospheric input of terrestrial organic material to deep sea sediments. In Leythäuser, D. & Rullkötter, J. (Eds.), *Advances in Organic Geochemistry, 1985*. Pergamon Press, Oxford, 661-669.

Gersonde, R., Hodell, D., Blum, P., Anderson, E.C., Austin, W., et al. 1999. *Proc. ODP Int. Repts.*, 177: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Ghil, M., M. R. Allen, M. D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M. E. Mann, A. W. Robertson, A. Saunders, Y. Tian, F. Varadi, & Yiou, P., 2002. Advanced spectral methods for climatic time series, *Reviews of Geophysics* 40(1), 1003, doi:10.1029/2000RG000092, 2002.

Gong, C. & Hollander, D. J., 1997. Differential contribution of bacterial to sedimentary organic matter in oxic and anoxic environments. Santa Monica Basin, California. *Organic Geochemistry* 26, 545-563.

Gordon, A. L., 1986. Interocean exchange of thermocline waters. *Journal of Geophysical Research*, 91 (C4), 5037-5046.

Grossi, S. M., Kottmeier, R. L., Moe, G. T., Tayler, G. T. & Sullivan, C. W., 1987. Sea ice microbial communities VI. Growth and production in bottom ice under graded snow cover. *Marine Ecology-Progress Series*, 35, 153-164.

Grützner, J., Giosan, L., Franz, S. O., Tiedemann, R., Cortijo, E., Chaisson, W. P., Flood, R. D., Hagen, S., Keigwin, L. D., Poli, S., Rio, D. & Williams, T., 2002. Astronomical age models for Pleistocene drift sediments from the western North Atlantic (ODP Sites 1055-1063). *Marine Geology* 189, 5-23.

Güntner, U., 2000. *Geochemische Signale in Tiefseesedimenten des Südafrikanischen Kontinentalrandes: Indikatoren für Paläoklimatische und Paläoozeanographische Bedingungen*. Dissertation Universität Oldenburg, 137 pp.

Hagen W., 1988. Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton. Reports on Polar Research. 49, 129 pp.

Hanfland, C., Rutgers van der Loeff, M. M., 2001. Decoupling of ²²⁶Ra and Si in surface waters of the Atlantic Sector of the Southern Ocean, *Geochimica et cosmochimica acta* 66 (S1), A307.

Hanke, G., 1995. Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern. Reports on Polar Research, 165 pp.

Harvey, H. R., 2000. Alternation processes of alkenons and related lipids in water columns and sediments. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1, 200GC000054.

Hasselmann, K., 1976. Stochastic climate models, *Tellus* 6, 473-485.

Hay, W. W., 1977. Calcareous nannofossils. In Ramsay, A.T.S. (Ed.), *Oceanic Micropaleontology*. Academic Press, London, 1055-1200.

Herbert, T. D., 2001. Review of alkenones calibrations (culture, water column and sediments). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2, 2000GC000055.

Hesse, M., Maier, H. & Zeeh, B., 1979. *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 478 pp.

Hinrichs, K. U., Schneider, R. R., Müller, P. J. & Rullkötter, J., 1999. A biomarker perspective on paleoproductivity variations in the late Quaternary sediment sections from the Southeast Atlantic Ocean. *Organic Geochemistry* 30, 341-366.

Hodell, D. A., Charles, C. D. & Sierro, F. J., 2001. Late Pleistocene evolution of the ocean's carbonate system. *Earth and Planetary Science Letters* 192, 109-124.

Hodell, D. A., Gersonde, R. & Blum, P., 2002. Leg 177 synthesis: insights into Southern Ocean paleoceanography on tectonic to millennial timescales. In Gersonde, R., Hodell, D.A., and Blum, P. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results, 177* [Online]. Available from World Wide Web: <http://www-odp.tamu.edu/publications/177_SR/synth/synth.htm>.

Hodell, D. A., Charles, C.D., Curtis, J. H., Mortyn, P. G., Ninnemann, U. S. & Venz, K. A., 2003. Data Report: Oxygen isotope stratigraphy of ODP Leg 177 Sites 1088, 1089, 1090, 1093 and 1094. In Gersonde, R., Hodell, D. A. & Blum, P. (Eds.), *Proc. ODP, Sci.Results, 177*, 1-14 [Online]. Available from World Wide Web: <http://wwwodp.tamu.edu/publications/177_SR/Volume/Chapters/SR177_01.PDF>.

Hoefs, M.J.L., Rupstra, W.I.C. & Sinnighe Damsté, J.S., 2002. The influence of oxid degradation on the sedimentary biomarker record I: Evidence from Madeira Abyssal Plain turbidites, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66 (15), 2719-2735.

Honjo, S. & Okada, H., 1974. Community structure of coccolithophores in the photic layer of the mid- Pacific. *Micropaleontology* 20, 209-230.

Howard, W. R. & Prell, W. L., 1992. Late Quaternary surface circulation of the southern Indian Ocean and its relationship to orbital variations. *Paleoceanography* 7, 79-117.

Howard, W. R., 1997. A warm future in the past. *Nature* 388, 418-419.

Huang, W. Y. & Meinschein, W. G., 1976. Sterols as source indicators of organic materials in sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40, 323-330.

Huang, Y., Lockheart, M. J., Logan, G. A. & Eglinton, G., 1996. Isotope and molecular evidence for the diverse origins of carboxylic acids in leaf fossils and sediments from the Miocene Lake Clarkia deposit, Idaho, U.S.A., *Organic Geochemistry* 24, 289-299.

Idler, D. R. & Wiseman, P., 1971. Sterols of molluscs. *International Journal of Biochemistry* 2, 91-98.

Ikehara, M., Kawamura, K., Ohkouchi, N., Kimoto, K., Murayama, M., Nakamura, T., Oba & T., Taira, A., 1997. Alkenone sea surface temperature in the Southern Ocean for the two deglaciations. *Geophysical Research Letters* 24, 679-682.

Ikehara, M., Kawamura, K., Ohkouchi, N., Murayama, M., Nakamura & T., Taira, A., 2000. Variation of terrestrial input and marine productivity in the Southern Ocean (48°S) during the last two deglaciations. *Paleoceanography* 15 (2), 170-180.

Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, et al. 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. In Berger, A.L. et al. (Eds.), *Milankovich and Climate, Part I*, Reidel, Norwell, MA., 269-305.

IUPAC-IUB. 1973. Definitive Rules for Nomenclature of Steroids. *Pure and Applied Chemistry* 31, 285, 322 pp.

Jahn B., Donner, B., Müller, P. J., Röhl, U., Schneider, R. R. & Wefer, G., 2003. Pleistocene variations in dust input and marine productivity in the northern Benguela Current: evidence of evolution of global glacial-interglacial cycles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193, 515-533.

Janecek, T. R., 2001. Data Report: Late Pleistocene biogenic opal data for Leg 177 Sites 1093 and 1094. In Gersonde, R., Hodell, D. A. & Blum, P. (Eds.), Proc. ODP, Sci. Results, 177, 1-5. [Online]. Available from World Wide Web: <http://www.odp.tamu.edu/publications/177_SR/Volume/Chapters/SR177_02.D>.

Kennett, J.P. & Barron, J.A., 1992. Introduction. In: Kennett, J.P. & Warnke, D.A. (Eds.), The Antarctic Paleoenvironment: A Perspective on Global Change. Amer. Geophys. Union, 56, 1-6.

Kirst, G. J., Schneider, R. R., von Storch, I. & Wefer, G., 1999. Late Quaternary temperature variability in the Benguela Current System derived from alkenones. Quaternary Research 52, 92-103.

Knorr, G. & Lohmann, G., 2003. Southern Ocean origin for the resumption of Atlantic thermohaline circulation during deglaciation. Nature 424, 532-536.

Kuhn, G. & Diekmann, B., 2002. Late Quaternary variability of ocean circulation in the southeastern South Atlantic inferred from the terrigenous sediment record of a drift deposit in the southern Cape Basin (ODP Site 1089). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 182, 287-303.

Kuhn, G. & Diekmann, B., 2003. Data Report: Bulk sediment composition, grain size, clay, and silt mineralogy of Pleistocene sediments from ODP Leg 177 Sites 1089 and 1090. In: Gersonde, R., Hodell, D. A., Blum, P. (eds.), Proc. ODP, Sci. Results, 177, 1-10. Available from World Wide Web: <http://www.odp.tamu.edu/publications/11_SR/VOLUME/CHAPTERS/SR177_13.PDF>.

Kumar, P., 1997. Wavelet analysis for geophysical applications, Reviews of Geophysics 35, 385-412.

Kumar, P., Anderson, R. F., Mortlock, R. A., Froelich, P. N. et al., 1995. Increased biological productivity and export production in the glacial Southern Ocean. Nature 378, 675-680.

Kolattukudy, P. E., 1976. Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes. Elsevier, Amsterdam, 1-15.

Kunz-Pirrung, M., Gersonde, R. & Hodell, D. A., 2002. Mid-Brunhes century-scale diatom sea surface temperature and sea ice records from the Atlantic sector of the Southern Ocean (ODP Leg 177, sites 1093, 1094 and core PS2089-2). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 182, 305-328.

Latimer, J. C. & Filippelli, G. M., 2001. Data Report: Sediment Geochemistry at Site 1089, Leg 177. In Gersonde, R., Hodell, D. A. & Blum, P. (Eds.), *Proc. ODP, Sci.Results, 177, 1-14* [Online]. Available from World Wide Web: <http://www.odp.tamu.edu/publications/177_SR/Volume/Chapters/SR177_01.PDF>.

Laureillard, J., Pinturier, L., Fillaux, J. & Saliot, A., 1995. Organic geochemistry of marine sediments of the Subantarctic Indian Ocean sector : Lipid classes-sources and fate. *Deep-Sea Research II* 44, 1085-1108.

Loutre, M. F., & Berger, 2003. Marine Isotope Stage 11 as an analogue for present interglacial. *Global and Planetary Change* 36, 209-217.

Lutjeharms, J. R. E. & Valentine, H. R., 1984. Southern Ocean thermal fronts south of Africa. *Deep-Sea Research*, 31, 1461-1475.

Madureira, L. A. S., Conte, M. H., & Eglinton, G., 1995. *Paleoceanography* 10 (3), 627-642.

Marlowe, I. T., Brassell, S. C., Eglinton, G. & Green, J. C., 1984. Long chain unsaturated ketones and esters in living algae and marine sediments. *Organic Geochemistry* 6, 135-141.

Manabe, S. & Stouffer, R. J., 1997. Coupled ocean-atmosphere model response to freshwater input: comparison to Younger Dryas event. *Paleoceanography* 12, 321-336.

Mansour, M. P. Volkman, J. K., Jackson, A. E & Blackburn, S. I., 1999. The fatty acid and sterol composition of five marine dinoflagellates. *Journal of Phycology* 35, 710-720.

Maslin, M. A., Sarnthein, M., Knaack, J. J., Grootes, P., & Tzedakis, C., 1998. Intra-interglacial cold events: An Eemian-Holocene comparison. In Cramp, A., MacLeod, C., Lee, S.V., Jones, E.J. (Eds.), *Geological Evolution of the Ocean Basin: Results from the Ocean Drilling Program 131*. Geological Society London, Spec. Publ., 91-99.

McClymont, E. L., Rosell-Melé, A, Giraudeau, J., Pierre, C. & Loyd, J. M., 2005. Alkenone and coccolith records of the mid-Pleistocene in the south-east Atlantic. Implications for U_{37}^K index and South African climate. *Quaternary Science Reviews* 24, 1559-1572.

McIntyre, A., Ruddiman, W. F., Karlin, K. & Mix, A. C., 1989. Surface water response of the equatorial Atlantic Ocean to orbital forcing. *Paleoceanography* 4, 19-55.

- McManus, J. F., Oppo, D. W., & Cullen, J. L., 1999. A 0.5-million-year record of millennial-scale climate variability in the North Atlantic. *Science* 283, 971-975.
- Meyers, P.A., 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* 27, 213-250.
- Mortyn, P. G., Charles, C. D., Ninnemann, U. S., Ludwig, K. & Hodell, D. A., 2003. Deep sea sedimentary analogs for the Vostok ice core. *Geochemistry Geophysics Geosystems (G³)* 4 (8), 21 pp.
- Morley, J. J., 1989. Variations in high-latitude oceanographic fronts in the southern Indian Ocean: an estimation based on faunal changes. *Paleoceanography* 4, 547-554.
- Mühlebach, A., 1999. Sterole im herbstlichen Weddelmeer (Antarktis): Großräumige Verteilung, Vorkommen und Umsatz. *Reports on Polar Research* 302, 156 pp.
- Müller, P. J., 1977. C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica Cosmochimica Acta* 41, 765-776.
- Müller, P. J., Cepek, M., Ruhland, G. & Schneider, R. R., 1997. Alkenone and coccolithophorid species changes in late Quaternary sediments from the Walvis Ridge: implications for the alkenone paleotemperature method. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 135, 71-96.
- Müller, P. J., Kirst, G., Ruhland, G., von Storch, I. & Rosell-Melé, A., 1998. Calibration of the alkenone paleotemperature index U^k_{37} based on core-tops from the eastern South Atlantic and the global ocean (60°N-60°S). *Geochimica Cosmochimica Acta* 62, 1757-1772.
- Naraoka, H. & Ishiwatari, R., 2000. Molecular and isotopic abundances of long-chain n-fatty acids in open marine sediments of the North Pacific. *Chemical Geology* 165, 23-36.
- Nichols, P. D. & Johns, R. B., 1985. Lipids of the tropical seagrass *Thalassia hemprichii*. *Phytochemistry* 24, 81-84.
- Nichols, D. S., Nichols, P. D. & Sullivan, C.W., 1993. Fatty Acids, Sterol and Hydrocarbon Composition of Antarctic Sea Ice Diatom Communities during the spring Bloom in Mc Murdo Sound. *Antarctic Science*, 5 (3), 271-278.
- Ohkouchi, N., Kawamura, K. & Taira, A. 1997. Fluctuations of terrestrial and marine biomarkers in the western tropical Pacific during the last 23,000 years. *Paleoceanography* 12, 623-630.
- Okada, H. & McIntyre, A., 1977. Modern coccolithophorids of the Pacific and North Atlantic Oceans. *Micropaleontology* 23, 1-55.

Olbers, D., 1989. Das Südpolarmeer. Zünglein an der Klima-Waage.- AGF Forschungsthemen, 2, 20-22.

Olbers, D., Gouretski, V., Seiß, G., & Schröder, J., 1992. Hydrographic Atlas of the Southern Ocean. Alfred Wegener Inst. For Polar and Mar. Res., Bremerhaven, 82 pp.

Oppo, D.W., Fairbanks, R.G., & Gordon, A.L., Shchleton, N. J., 1990. Late Pleistocene Southern Ocean $\delta^{13}\text{C}$ variability. *Paleoceanography* 5, 43-54.

Oppo, D. W., McManus, J. F., & Cullen, J. L., 1998. Abrupt climate events 500,000 to 340,000 years ago: Evidence from subpolar North Atlantic sediments. *Science* 279, 1335-1338.

Otto, A. & Simoneit, B. R. T., 2002. Biomarkers of holocene buried conifer logs from Bella Coola and north Vancouver, British Columbia, Canada. *Organic Geochemistry* 33, 1241-1251.

Otto, A., Shunthirasingham, C. & Simpson, M. J., 2005. A comparison of plant and microbial biomarkers in grassland soils from the Prairie Ecozone of Canada. *Organic Geochemistry* 36, 425-448.

Pahnke, K, Zahn, R., Elderfield, H., & Schulz, M., 2003. 340,000-Year Centennial-Scale Marine Record of Southern Hemisphere Climatic Oscillation. *Science* 301, 948-952.

Paillard, D., Lategyrie, L. & Yiou, P., 1996. Macintosh program performs time-series analysis. *EOS Trans. AGU* 77. 379.

Peterson, R. G. & Stramma, L., 1991. Upper-level circulation in the south Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography* 26, 1-73.

Peeters, J. C., Acheson, R., Brummer, G.-J. A., de Ruijter, W. P. M., Schneider, R. R., Ganssen, G. M., Ufkes, E. & Kroon, D., 2004. Vigorous exchange between the Indian and Atlantic oceans at the end of the past five glacial periods. *Nature* 430, 661-665.

Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., et al., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.

Prahl, F. G. & Pinto, L. A., 1987. A geochemical study of long-chain n-aldehydes in Washington coastal sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta* 51, 1573-1582.

Prahl, F. G. & Wakeham, S. G., 1987. Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for palaeotemperature assessment. *Nature* 320, 367-367.

Prahl, F. G., Muehlhausen, L. A. & Zahnle, D. L., 1988. Further evaluation of long-chain alkenones as indicators of paleoceanographic conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2303-2310.

Prell, W. L., Husten, W. H. & Williams, D. F., 1979. The Subtropical Convergence and late Quaternary circulation in the southern Indian Ocean. *Marine Micropaleontology* 4, 225-234.

Rechka, J. A. & Maxwell, J. R., 1988. Characterization of alkenone temperature indicators in sediments and organisms. *Organic Geochemistry* 13, 717-734.

Reid, J. L., 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracer and transports. *Progress in Oceanography* 23, 149-244.

Rommerskirchen, F., Eglinton, G., Dupont, L., Güntner, U., Wenzel, C. & Rullkötter, J., 2003. A north to south transect of Holocene southeast Atlantic continental margin sediments: Relationship between aerosol transport and compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ landplant biomarker and pollen records. *Geochemistry Geophysics Geosystems (G³)* 4 (12), doi:10.1029/2003GC000541.

Rohling, E. J., Marsh, R., Wells, N. C., Siddali, M. & Edwards, N. R., 2004. Similar meltwater contributions to glacial sea level changes from Antarctic and northern ice sheets. *Nature* 430, 1016-1021.

Sachs, J., P. & Anderson, R., F., 2003. Fidelity of alkenone paleotemperatures in southern Cape Basin sediments drifts. *Paleoceanography* 18 (4), 1082, doi:10.1029/2002PA000862.

Sachs, J., P. & Anderson, R., F., 2005. Increased productivity in the subantarctic ocean during Heinrich events. *Nature* 434, 1118-1121.

Schmiedel, G. & Mackenson, A., 1997. Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: Evidence from benthic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 130 (1-3), 43-80.

Schubert, C. J., Villanueva, J., Calvert, S. E., Cowie, G. L., von Rad, U., Schulz, H., Berner, U. & Erlenkeuser, H., 1998. Stable phytoplankton community structure in the Arabian Sea over the past 200,000 years. *Nature* 394, 563-566.

Schubert, C. J., 1995. Organischer Kohlenstoff in spätquaternären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität. *Reports on Polar Research* 177, 178 pp.

Schubert, C., & Stein, R., 1996. Deposition of organic carbon in Arctic Ocean sediments: Terrigenous supply vs marine productivity. *Organic Geochemistry* 24, 421-436.

Schulte, S. & Bard, B., 2003. Past changes in biologically mediated dissolution of calcite above the chemical lysocline recorded in Indian Ocean sediments. *Quaternary Science Reviews* 22, 1757-1770.

Schott, G., 1944, In Tschernia, P., 1980. Descriptive regional oceanography. Pergamon Press, Oxford, 253 pp.

Seidenkrantz, M. S., Kristensen, P., & Knudsen, K. L., 1995. Marine evidence for climatic instability during the last interglacial in shelf records from northwest Europe. *Journal of Quaternary Science* 10, 77-82.

Seidov, D. & Haupt, B. J., 1997. Global ocean thermohaline conveyor at present and in the late Quaternary. *Geophysical Research Letters* 24, 2871-2820.

Shackleton, N. J., 1987. Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews* 6, 183-190.

Shi, W., Sun, M.-Y., Molina, M. & Hudson, R., E., 2001. Variability in the distribution of lipid biomarkers and their molecular isotopic composition in Altamaha estuarine sediments: implications for the relative contribution of organic matter from various sources. *Organic Geochemistry* 32, 453-467.

Simoneit, B. R. T., 1978. The organic chemistry of marine Sediments. In Riley, J. P. & Chester, R. (Eds), *Chemical Oceanography*. New York (Academic Press), 233-311.

Simoneit, B. R. T., Chester, R. & Eglinton, G., 1977. Biogenic lipids in particulates from the lower atmosphere over the eastern Atlantic. *Nature* 367, 682-685.

Sinsabaugh, R.L., Antibus, R.K., Jackson, C.R., Karpanty, S., Robinson, M., Piptak, M. & Franchini, P., 1997. A β -sitosterol assay for fine-root mass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 29, 39-44.

Stein, R., 1986. Surface-water paleo-productivity as inferred from sediments deposited in oxic and anoxic deep-water environments of the Mesozoic Atlantic Ocean. In Degens ET et al. (eds), *Biochemistry of Black Shales*, Mitt Geol Paläont Inst Univ Hamburg 60, 55-70.

Stein, R., 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. *Lecture Notes in Earth Science* 34. Springer Verlag, 217 pp.

Stein, R., 2002. Klimagesteuerte Variabilität der Kohlenstoffisotopie in diatomeenspezifischen organischen Verbindungen (Biomarker) aus Sedimenten des Südpolarmeeres. Abschlussbericht zum DFG-Projekt STE 412716-1.

Tissot, B. P. & D. H. Welte, 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer Verlag, New York, 699 pp.

Thierstein, H. R., Geitzenauer, K. R. & Molfino, B., 1977. Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: Validation oxygen isotopes. *Geology* 5, 400-404.

Torrence, C. & G.P. Compo, 1998: A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin. Of the American Meteorological Society*. 79, 61-78.

Tréguer, P. & Jacques, G., 1992. Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. *Polar Biology* 12, 149-162.

Tucholke, B. E. & Embley, R. W., 1984. Cenozoic regional erosion of the abyssal sea floor off South Africa. In: Schlee, J. S. (Eds.), *Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation*. AAPG Memoir 36. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, 145-164.

Venkatesan, M. I. & Kaplan, I. R., 1982. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan Outer Continental Shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 2135-2149.

Villanueva, J., Grimalt, J. O., Cortijo, E., Vidal, L. & Labeyrie, 1997. A biomarker approach to the organic matter deposited in the North Atlantic during the last climatic cycle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61 (21), 4633-4646.

Volkman, J. K., Eglinton, G., Corner, E. D. S. & Forsberg, T. E. V., 1980. Long-chain alkenes and alkenones in the marine coccolithophorid *Emiliania huxleyi*. *Phytochemistry* 19, 2619-2622.

Volkman, J. K., 1986. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Organic Geochemistry* 9, 83-99.

Volkman, J. K., Jeffrey, S. W., Nichols, G. I., Rogers, G. I. & Garland, C. D., 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology. Ecology* 128, 219-240.

Volkman, J. K., Holdsworth, D. G., Neil, G. P. & Bavor, H. J., 1992 a. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. *The Science of the Total Environment* 112, 203-219.

Volkman, J. K., Barrett, S. M., Dunstan, G. A. & Jeffrey, S. W., 1992 b. C₃₀-C₃₂ alkyl diols and unsaturated alcohols in microalgae of the class Eustigmatophyceae. *Organic Geochemistry* 18, 131-138.

Volkman, J. K., Barrett, S. M., Blackburn, S. I. & Sikes, E. L., 1995. Alkenones in *Gephyrocapsa oceanica*: Implications for studies of paleoclimate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (3), 513-520.

Volkman, J. K., Barrett, S. M., Blackburn, S. I., Mansour, M. P., Sikes, E. L. & Gelin, F., 1998. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments. *Organic Geochemistry* 29, 1163-1179.

Wefer, G., Berger, W. H., Richter, C., et al., 1998. Proceeding of the Ocean Drilling Program, Initial Reports 175. Ocean Drilling Program, College Station, TX.

Wenzel, C., 2003. Geochemische Signale in spätpleistozänen Tiefseesedimenten aus dem nördlichen Benguela-Stromsystem: Indikatoren für paläoklimatische und paläoozeanographische Bedingungen. Dissertation Universität Oldenburg, 154 pp.

Whitworth III, T., 1988. The Antarctic Circumpolar Current. *Oceanus*, 31, 53-58.

Yiou, P., Ghil, M., Jouzel, J., Paillard, D., & Vautard, R., 1994. Nonlineare variability of the climate system from singular and power spectra of Late Quaternary records. *Climate Dynamics* 9, 371-389.

Yiou, P., Baert. E. & Loutre, M., 1996. Spectral analysis of climate data. *Surveys in Geophysics* 17, 619-663.

Yiou, P., Fuhrer, K., Meeker, L.D., Jouzel, J., Johnson, S., & Mayewski, P. A., 1997. Paleoclimatic variability interferred from the spectral analyses of Greenland and Antarctic ice-core data. *Journal of Geophysical Research* 102, 26441-26454.

Youngblood, W.W. & Blumer, M., 1973. Alkanes and Alkenes in Marine Benthic Algae. *Marine Biology* 21, 163-172.

Zielinski, U. & Gersonde, R., 1997. Diatom distribution in Southern Ocean surface sediments: Implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 129, 213-250.

6. Anhang

Tabellenanhang Datensammlung

Tabelle A-1. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (*Wefer et al. 1998*), AWI-No., mcd, Alter (ka), TOC (%) (*Kuhn & Diekmann 2002*), Hexacosanolkonzentrationen im Site 1089.

AWI-No.	mcd	Alter (ka)	TOC (%)	n-C _{26:0H}
89-44	18	113,024	0,6	8
89-46	18,09	113,618	0,4	10
89-50	18,3	115,014	0,4	25
89-56	18,59	116,944	0,4	9
89-60	18,8	118,339	0,3	31
89-70	19,3	121,4	0,3	6
89-72	19,4	122	0,3	12
89-76	19,59	123,14	0,3	34
89-82	19,9	125,108	0,3	15
89-84	20	125,822	0,2	42
89-86	20,09	126,464	0,3	12
89-90	20,3	127,964	0,2	15
89-92	20,4	128,68	0,3	9
89-96	20,59	130,109	0,3	5
89-98	20,69	130,925	0,3	35
89-02	20,91	132,972	0,4	36
89-03	21	133,877	0,4	9
89-05	21,2	135,942	0,5	33
89-09	21,6	140,043	0,4	13
89-11	21,81	141,674	0,4	51
89-12	21,91	142,384	0,4	37
89-13	22	143,022	0,4	23
89-14	22,1	143,734	0,5	10
89-18	22,5	146,577	0,5	16
89-25	23,2	151,216	0,3	16
89-26	23,31	151,942	0,4	29
89-28	23,5	153,185	0,5	23
89-29	23,6	153,828	0,4	23
89-30	23,7	154,473	0,4	22
89-33	24	156,394	0,5	34
89-34	24,1	157,037	0,4	37
89-36	24,31	158,387	0,5	14
89-38	24,5	159,581	0,5	28
89-41	24,81	161,515	0,4	30
89-47	25,2	163,951	0,5	17
89-51	25,41	165,216	0,5	32
89-55	25,6	166,331	0,5	28
89-65	26,1	169,276	0,5	27
89-71	26,41	171,008	0,4	13
89-79	26,81	173,198	0,4	14
89-99	27,81	178,96	0,4	25
89-105	28,4	182,36	0,5	23
89-108	28,69	184,018	0,6	19
89-112	29,09	186,137	0,6	26
89-117	29,59	188,505	0,6	35
89-119	29,8	189,52	0,5	24
89-122	30,09	191,854	0,5	33
89-129	30,8	198,199	0,3	42
89-134	31,19	203,414	0,5	29
89-338	32,29	217,361	0,2	20
89-137	33,76	230,022	0,6	25
89-363	34,26	233,114	0,6	30
89-362	34,17	232,554	0,5	14
89-371	35,06	238,381	0,3	26
89-379	35,87	245,792	0,3	31
89-383	36,26	249,535	0,4	13
89-395	37,44	256,795	0,4	36
89-399	37,83	259,416	0,4	23
89-403	38,24	262,242	0,4	21
89-415	39,47	270,724	0,6	12
89-419	39,88	273,551	0,6	35
89-427	40,67	278,999	0,6	54

AWI-No.	mcd	Alter (ka)	TOC (%)	n-C_{26:OH}
89-435	41,47	284,516	0,5	47
89-441D	42,08	288,889	0,3	41
89-443	42,28	290,464	0,3	45
89-444	42,38	291,285	0,3	27
89-451	43,08	297,072	0,6	23
89-454	43,38	299,559	0,6	25
89-459	43,88	303,696	0,6	33
89-462	44,17	306,084	0,5	22
89-467	44,67	310,163	0,5	27
89-470	44,97	312,583	0,4	23
89-475	45,47	316,548	0,4	41
89-478	45,78	318,96	0,4	20
89-483	46,28	322,751	0,5	38
89-486	46,58	324,967	0,5	18
89-495	47,47	331,193	0,3	23
89-497	47,67	332,515	0,5	16
89-499	47,88	333,861	0,4	8
89-500	47,97	334,427	0,3	9
89-506	48,58	338,115	0,3	9
89-509	48,88	339,783	0,4	12
89-512	49,17	341,345	0,6	19
89-518	49,78	344,384	0,6	28
89-520	49,97	345,262	0,6	17
89-524	50,38	347,188	0,6	28
89-525	50,47	347,506	0,6	37
89-531	51,06	349,963	0,6	37
89-534	51,37	351,191	0,6	13
89-539	51,87	353,092	0,5	31
89-541	52,06	353,795	0,5	13
89-549	52,87	356,711	0,5	20
89-555	53,47	358,829	0,8	36
89-557	53,67	359,537	0,6	23
89-558	53,76	359,856	0,7	21
89-559	53,87	360,249	0,7	3
89-565	54,47	362,413	0,7	11
89-568	54,76	363,493	0,5	11
89-571b	55,06	364,626	0,6	33
89-579	55,87	367,876	0,7	32
89-581	56,06	368,683	0,8	21
89-589	56,88	372,395	0,6	26
89-592	57,19	373,893	0,7	15
89-595	57,49	375,411	0,5	16
89-600	57,99	378,035	0,7	21
89-606	58,58	381,348	0,6	36
89-607a	58,69	381,994	0,6	31
89-614	59,38	386,209	0,5	17
89-622	60,19	391,589	0,5	38
89-634	61,38	400,384	0,3	21
89-637	61,69	402,87	0,3	24
89-640	61,99	405,329	0,3	21
89-648	62,78	412,248	0,3	12
89-649	62,88	413,19	0,3	68
89-658	63,78	422,399	0,2	42
89-661	64,08	425,705	0,3	0
89-667	64,68	431,744	0,4	25
89-670	64,99	434,218	0,5	18
89-673b	65,29	435,838	0,5	38
89-676	65,58	436,995	0,5	24
89-687	66,74	441,162	0,7	24
89-690	67,04	442,178	0,6	27
89-699	67,93	445,064	0,7	21
89-703	68,33	446,312	0,7	16
89-708	68,83	447,936	0,6	19
89-714	69,43	449,625	0,6	13
89-719	69,93	451,093	0,4	20
89-720	70,04	451,414	0,5	22

Tabelle A-2. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (*Wefer et al. 1998*), AWI-No., mcd, Alter (ka), C_{37:3}- und C_{37:2}-Alkenonkonzentrationen im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	C _{37:3} (µg/gTOC)	C _{37:2} (µg/gTOC)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,024	66	131
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,618	60	98
177	1089	D	3	H	4	11,5	114	89-50	18,3	115,014	100	186
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,944	65	106
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,339	79	192
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	14	45
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122	117	195
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,14	30	95
177	1089	D	3	H	5	11,5	114	89-80	19,8	124,425	11	40
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,108	111	177
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,822	27	96
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,464	14	41
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,964	19	61
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	89-92	20,4	128,68	0	0
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,109	18	48
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-03	21	133,877	38	113
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-09	21,6	140,043	128	215
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-13	22	143,022	110	192
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-14	22,1	143,734	77	118
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-26	23,31	151,942	117	172
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-28	23,5	153,185	126	149
177	1089	B	3	H	4	26,5	29	89-38	24,5	159,581	151	194
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,515	93	178
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,951	127	255
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,216	96	157
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,331	104	225
177	1089	B	3	H	5	6,5	9	89-59	25,81	167,57	138	210
177	1089	B	3	H	5	36,5	39	89-65	26,1	169,276	126	199
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,008	88	182
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,198	103	231
177	1089	B	3	H	5	146,5	149	89-87	27,2	175,377	139	264
177	1089	B	3	H	6	36,5	39	89-95	27,6	177,726	93	156
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	178,96	99	163
177	1089	C	4	H	1	141,5	144	89-105	28,4	182,36	100	216
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,018	148	207
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	89-112	29,09	186,137	238	414
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	89-116	29,5	188,077	167	411
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,505	100	148
177	1089	C	4	H	2	131,5	134	89-119	29,8	189,52	83	216
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,854	146	208
177	1089	C	4	H	3	51,5	54	89-126	30,5	195,342	102	264

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	C _{37:3} (µg/gTOC)	C _{37:2} (µg/gTOC)
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,199	36	79
177	1089	C	4	H	5	51,5	54	89-350	33,49	228,328	138	254
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,022	94	182
177	1089	B	4	H	4	36,5	39	89-363	34,26	233,114	143	317
177	1089	B	4	H	4	116,5	119	89-371	35,06	238,381	87	181
177	1089	B	4	H	5	46,5	49	89-379	35,87	245,792	138	274
177	1089	B	4	H	5	126,5	129	89-387	36,67	252,496	181	257
177	1089	C	5	H	1	111,5	114	89-395	37,44	256,795	229	321
177	1089	C	5	H	2	121,5	124	89-411	39,03	267,69	191	269
177	1089	B	5	H	2	21,5	39,47	89-415	39,47	270,724	47	96
177	1089	B	5	H	2	61,5	64	89-419	39,88	273,551	180	279
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,999	175	330
177	1089	B	5	H	3	71,5	74	89-435	41,47	284,516	228	352
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,889	18	100
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,464	148	230
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,285	108	166
177	1089	B	5	H	4	31,5	34	89-446	42,58	292,934	209	369
177	1089	B	5	H	4	81,5	84	89-451	43,08	297,072	114	195
177	1089	B	5	H	4	111,5	114	89-454	43,38	299,559	185	226
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-459	43,88	303,696	172	267
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,084	124	168
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	89-467	44,67	310,163	154	264
177	1089	B	5	H	6	121,5	124	89-470	44,97	312,583	127	178
177	1089	B	5	H	6	21,5	24	89-475	45,47	316,548	251	396
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	89-478	45,78	318,96	105	181
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	89-483	46,28	322,751	156	290
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	324,967	92	166
177	1089	C	6	H	2	111,5	114	89-491	47,08	328,529	100	224
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-495	47,47	331,193	42	116
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,515	62	145
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,115	109	238
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	89-509	48,88	339,783	97	155
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,345	108	199
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,384	360	309
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,262	228	233
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,188	168	163
177	1089	B	6	H	2	36,5	39	89-529	50,87	349,602	169	275
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,191	178	271
177	1089	B	6	H	3	5,5	8	89-541	52,06	353,795	191	196
177	1089	B	6	H	3	46,5	49	89-545	52,47	355,283	111	317
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-549	52,87	356,711	158	242
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,249	128	267
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,413	121	188

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	C _{37:3} (µg/gTOC)	C _{37:2} (µg/gTOC)
177	1089	B	6	H	4	1265	129	89-568	54,76	363,493	330	371
177	1089	B	6	H	5	46,5	49	89-575	55,47	366,236	173	220
177	1089	B	6	H	5	66,5	69	89-577	55,67	367,046	280	285
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,683	230	215
177	1089	C	7	H	1	81,5	84	89-583	56,24	369,465	137	127
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,893	176	208
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,035	181	164
177	1089	C	7	H	3	26,5	29	89-607	58,69	381,994	126	130
177	1089	C	7	H	3	86,5	89	89-613	59,28	385,58	107	117
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,209	215	310
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,589	171	311
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,384	54	105
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,329	82	192
177	1089	C	7	H	5	86,5	89	89-643	62,28	407,793	20	38
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,248	68	124
177	1089	C	7	H	6	56,5	59	89-655	63,49	419,287	24	42
177	1089	B	7	H	3	116,5	119	89-659	63,88	423,505	43	61
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,705	46	97
177	1089	B	7	H	4	46,5	49	89-667	64,68	431,744	78	99
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,218	140	110
177	1089	B	7	H	4	106,5	109	89-673a	65,29	435,838	75	92
177	1089	B	7	H	4	136,5	139	89-676	65,58	436,995	170	184
177	1089	B	7	H	5	16,5	19	89-679	65,89	438,149	103	113
177	1089	C	8	H	1	101,5	104	89-683	66,29	439,593	117	205
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,162	176	172
177	1089	C	8	H	2	36,5	39	89-691	67,14	442,508	60	68
177	1089	C	8	H	2	96,5	99	89-697	67,74	444,642	25	24
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,064	151	206
177	1089	C	8	H	3	6,5	9	89-703	68,33	446,312	82	130
177	1089	C	8	H	2	56,5	59	89-708	68,83	447,936	200	270
177	1089	C	8	H	2	66,5	69	89-709	68,93	448,136	85	93
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,625	115	216
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,093	80	140
177	1089	C	8	H	4	26,5	29	89-720	70,04	451,414	110	149

Tabelle A-3. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Summenkonzentrationen der Alkenone (C_{37:3} und C_{37:2}) im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	SummeC ₃₇ (µg/gTOC)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,024	198
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,618	158
177	1089	D	3	H	4	11,5	114	89-50	18,3	115,014	286
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,944	171
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,339	271
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	60
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122	312
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,14	125
177	1089	D	3	H	5	11,5	114	89-80	19,8	124,425	51
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,108	288
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,822	123
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,464	54
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,964	80
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	89-92	20,4	128,68	92
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,109	65
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-03	21	133,877	151
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-09	21,6	140,043	343
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-13	22	143,022	302
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-14	22,1	143,734	195
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-26	23,31	151,942	289
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-28	23,5	153,185	275
177	1089	B	3	H	4	26,5	29	89-38	24,5	159,581	344
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,515	271
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,951	381
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,216	253
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,331	328
177	1089	B	3	H	5	36,5	39	89-59	25,81	167,57	348
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-65	26,1	169,276	325
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,008	270
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,198	334
177	1089	B	3	H	5	146,5	149	89-87	27,2	175,377	403
177	1089	B	3	H	6	36,5	39	89-95	27,6	177,726	249
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	178,96	261
177	1089	C	4	H	1	141,5	144	89-105	28,4	182,36	317
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,018	355
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	89-112	29,09	186,137	653
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	89-116	29,5	188,077	578
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,505	247
177	1089	C	4	H	2	131,5	134	89-119	29,8	189,52	299
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,854	354

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	SummeC ₃₇ (µg/gTOC)
177	1089	C	4	H	3	51,5	54	89-126	30,5	195,342	367
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,199	115
177	1089	C	4	H	5	51,5	54	89-350	33,49	228,328	392
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,022	277
177	1089	B	4	H	4	36,5	39	89-363	34,26	233,114	460
177	1089	B	4	H	4	116,5	119	89-371	35,06	238,381	268
177	1089	B	4	H	5	46,5	49	89-379	35,87	245,792	412
177	1089	B	4	H	5	126,5	129	89-387	36,67	252,496	438
177	1089	C	5	H	1	111,5	114	89-395	37,44	256,795	550
177	1089	C	5	H	2	121,5	124	89-411	39,03	267,69	460
177	1089	B	5	H	2	21,5	39,47	89-415	39,47	270,724	143
177	1089	B	5	H	2	61,5	64	89-419	39,88	273,551	458
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,999	504
177	1089	B	5	H	3	71,5	74	89-435	41,47	284,516	579
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,889	118
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,464	378
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,285	274
177	1089	B	5	H	4	31,5	34	89-446	42,58	292,934	578
177	1089	B	5	H	4	81,5	84	89-451	43,08	297,072	309
177	1089	B	5	H	4	111,5	114	89-454	43,38	299,559	411
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-459	43,88	303,696	439
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,084	292
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	89-467	44,67	310,163	418
177	1089	B	5	H	6	121,5	124	89-470	44,97	312,583	305
177	1089	B	5	H	6	21,5	24	89-475	45,47	316,548	647
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	89-478	45,78	318,96	286
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	89-483	46,28	322,751	446
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	324,967	258
177	1089	C	6	H	2	111,5	114	89-491	47,08	328,529	324
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-495	47,47	331,193	158
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,515	207
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,115	348
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	89-509	48,88	339,783	251
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,345	307
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,384	669
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,262	461
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,188	331
177	1089	B	6	H	2	36,5	39	89-529	50,87	349,602	444
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,191	449
177	1089	B	6	H	3	5,5	8	89-541	52,06	353,795	386
177	1089	B	6	H	3	46,5	49	89-545	52,47	355,283	427
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-549	52,87	356,711	400
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,249	396

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	SummeC ₃₇ (µg/gTOC)
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,413	308
177	1089	B	6	H	4	1265	129	89-568	54,76	363,493	701
177	1089	B	6	H	5	46,5	49	89-575	55,47	366,236	392
177	1089	B	6	H	5	66,5	69	89-577	55,67	367,046	564
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,683	445
177	1089	C	7	H	1	81,5	84	89-583	56,24	369,465	263
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,893	385
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,035	344
177	1089	C	7	H	3	26,5	29	89-607	58,69	381,994	256
177	1089	C	7	H	3	86,5	89	89-613	59,28	385,58	224
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,209	525
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,589	482
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,384	159
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,329	274
177	1089	C	7	H	5	86,5	89	89-643	62,28	407,793	58
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,248	192
177	1089	C	7	H	6	56,5	59	89-655	63,49	419,287	67
177	1089	B	7	H	3	116,5	119	89-659	63,88	423,505	104
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,705	143
177	1089	B	7	H	4	46,5	49	89-667	64,68	431,744	177
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,218	250
177	1089	B	7	H	4	106,5	109	89-673a	65,29	435,838	167
177	1089	B	7	H	4	136,5	139	89-676	65,58	436,995	354
177	1089	B	7	H	5	16,5	19	89-679	65,89	438,149	217
177	1089	C	8	H	1	101,5	104	89-683	66,29	439,593	323
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,162	348
177	1089	C	8	H	2	36,5	39	89-691	67,14	442,508	129
177	1089	C	8	H	2	96,5	99	89-697	67,74	444,642	50
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,064	357
177	1089	C	8	H	3	6,5	9	89-703	68,33	446,312	211
177	1089	C	8	H	2	56,5	59	89-708	68,83	447,936	470
177	1089	C	8	H	2	66,5	69	89-709	68,93	448,136	177
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,625	331
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,093	219
177	1089	C	8	H	4	26,5	29	89-720	70,04	451,414	259

Tabelle A-5. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (*Wefer et al. 1998*), AWI-No., mcd, Alter (ka), Brassicasterolkonzentrationen, 24-Methyl-5 α -cholest-E-en-3 β -olkonzentrationen im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Brassicasterol ($\mu\text{g/g TOC}$)	24-Methyl-5 α -cholest-22 E-en-3 β -ol ($\mu\text{g/g TOC}$)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,024	9	6
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,618	4	3
177	1089	D	3	H	4	11,5	114	89-50	18,3	115,014	9	6
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,944	3	2
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,339	2	4
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	1	1
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122	7	5
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,14	2	4
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,108	9	6
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,822	3	5
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,464	1	2
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,964	1	4
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	89-92	20,4	128,68	2	2
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,109	<NG	0
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-03	21	133,877	1	2
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-09	21,6	140,043	10	6
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-13	22	143,022	11	7
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-14	22,1	143,734	9	6
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-26	23,31	151,942	8	6
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-28	23,5	153,185	14	10
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-38	24,5	159,581	13	8
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,515	13	8
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,951	8	16
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,216	10	9
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,331	7	10
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,008	6	8
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,198	5	10
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	178,96	6	5
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,018	12	7
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,505	9	6
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,854	10	8
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,199	2	4
177	1089	C	4	H	4	81,5	84	89-338	32,29	217,361	2	1
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,022	5	5
177	1089	B	4	H	4	26,5	29	89-362	34,17	232,554	3	3
177	1089	B	4	H	5	86,5	89	89-383	36,26	249,535	3	1
177	1089	C	5	H	2	41,5	44	89-403	38,24	262,242	3	1
177	1089	B	5	H	2	21,5	39,47	89-415	39,47	270,724	2	3
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,999	16	15

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Brassicasterol (µg/g TOC)	24-Methyl- 5α-cholest- E-en- 3β-ol (µg/gTOC)
177	1089	B	5	H	3	71,5	41,47	89-435	41,47	284,516	18	12
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441D	42,08	288,889	6	8
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,464	2	4
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,285	4	4
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-454	43,38	299,559	11	6
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-459	43,88	303,696	9	9
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,084	6	5
177	1089	B	5	H	6	121,5	124	89-470	44,97	312,583	8	6
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	89-478	45,78	318,96	5	4
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	324,967	6	4
177	1089	C	6	H	3	1,5	4	89-495	47,47	331,193	4	na
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,515	3	4
177	1089	C	6	H	3	41,5	44	89-499	47,88	333,861	1	2
177	1089	C	6	H	3	51,5	54	89-500	47,97	334,427	<NG	0
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,115	5	12
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	89-509	48,88	339,783	8	8
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,345	13	8
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,384	14	11
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,262	17	10
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,188	15	9
177	1089	B	6	H	2	56,5	59	89-531	51,06	349,963	24	14
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,191	15	13
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-549	52,87	356,711	11	17
177	1089	B	6	H	3	146,5	149	89-555	53,47	358,829	13	8
177	1089	B	6	H	4	16,5	19	89-557	53,67	359,537	16	11
177	1089	B	6	H	4	26,5	29	89-558	53,76	359,856	10	10
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,249	11	14
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,413	9	9
177	1089	B	6	H	4	126,5	129	89-568	54,76	363,493	13	10
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,683	12	10
177	1089	C	7	H	1	146,5	149	89-589	56,88	372,395	14	10
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,893	12	8
177	1089	C	7	H	2	56,5	59	89-595neu	57,49	375,411	17	11
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,035	11	9
177	1089	C	7	H	3	16,5	19	89-606	58,58	381,348	13	13
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,209	7	8
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,589	11	11
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,384	2	4
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,329	5	8
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,248	4	5
177	1089	B	7	H	3	116,5	119	89-658	63,78	422,399	8	12

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Brassicasterol (µg/g TOC)	24-Methyl- 5α-cholest- E-en- 3β-ol (µg/gTOC)
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,705	2	6
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,218	15	12
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-676	65,58	436,995	27	15
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,162	19	15
177	1089	C	8	H	2	26,5	29	89-690	67,04	442,178	19	11
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,064	16	12
177	1089	C	8	H	3	6,5	9	89-703	68,33	446,312	9	11
177	1089	C	8	H	2	56,5	59	89-708	68,83	447,936	18	15
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,625	11	14
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,093	4	10
177	1089	C	8	H	4	26,5	29	89-720	70,04	451,414	10	10

Tabelle A-6. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -olkonzentrationen, 24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol + 24-Ethylcholest-5en-3 β -olkonzentrationen im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (μ g/gTOC)	24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol + 24-Ethylcholest-5en-3 β -ol (μ g/gTOC)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,024	6	21
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,618	8	21
177	1089	D	3	H	4	11,5	114	89-50	18,3	115,014	15	47
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,944	6	16
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,339	15	50
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	4	13
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122	7	23
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,14	16	49
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,108	7	23
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,822	21	69
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,464	6	19
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,964	8	28
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	89-92	20,4	128,68	4	14
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,109	3	12
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-03	21	133,877	4	11
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-09	21,6	140,043	15	53
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-13	22	143,022	13	0
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-14	22,1	143,734	11	9
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-26	23,31	151,942	28	57
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-28	23,5	153,185	11	41
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-38	24,5	159,581	26	63
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,515	27	59
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,951	13	9
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,216	24	63
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,331	8	44
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,008	11	na
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,198	9	34
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	178,96	16	45
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,018	11	38
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,505	20	47
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,854	17	52
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,199	19	62
177	1089	C	4	H	4	81,5	84	89-338	32,29	217,361	9	31
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,022	16	46
177	1089	B	4	H	4	26,5	29	89-362	34,17	232,554	12	37

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (μ g/gTOC)	24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol + 24-Ethylcholest-5en-3 β -ol (μ g/gTOC)
177	1089	B	4	H	5	86,5	89	89-383	36,26	249,535	9	26
177	1089	C	5	H	2	41,5	44	89-403	38,24	262,242	11	26
177	1089	B	5	H	2	21,5	39,47	89-415	39,47	270,724	8	13
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,999	18	57
177	1089	B	5	H	3	71,5	41,47	89-435	41,47	284,516	33	86
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,889	9	11
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,464	na	22
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,285	13	36
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-454	43,38	299,559	16	39
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-459	43,88	303,696	24	70
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,084	12	36
177	1089	B	5	H	6	121,5	124	89-470	44,97	312,583	12	39
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	89-478	45,78	318,96	14	43
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	324,967	18	40
177	1089	C	6	H	3	1,5	4	89-495	47,47	331,193	5	na
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,515	13	46
177	1089	C	6	H	3	41,5	44	89-499	47,88	333,861	8	27
177	1089	C	6	H	3	51,5	54	89-500	47,97	334,427	<NG	41
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,115	4	13
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	89-509	48,88	339,783	10	31
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,345	19	48
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,384	8	28
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,262	12	37
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,188	18	46
177	1089	B	6	H	2	56,5	59	89-531	51,06	349,963	17	50
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,191	9	36
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-549	52,87	356,711	15	20
177	1089	B	6	H	3	146,5	149	89-555	53,47	358,829	9	na
177	1089	B	6	H	4	16,5	19	89-557	53,67	359,537	17	51
177	1089	B	6	H	4	26,5	29	89-558	53,76	359,856	9	33
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,249	<NG	0
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,413	10	29
177	1089	B	6	H	4	126,5	129	89-568	54,76	363,493	10	28
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,683	15	38
177	1089	C	7	H	1	146,5	149	89-589	56,88	372,395	12	39
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,893	10	30
177	1089	C	7	H	2	56,5	59	89-595	57,49	375,411	22	46
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,035	13	38
177	1089	C	7	H	3	16,5	19	89-606	58,58	381,348	13	46

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (μ g/gTOC)	24-Ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol + 24-Ethylcholest-5en-3 β -ol (μ g/gTOC)
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,209	11	31
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,589	23	61
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,384	11	40
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,329	16	55
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,248	9	27
177	1089	B	7	H	3	116,5	119	89-658	63,78	422,399	27	74
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,705	3	9
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,218	13	32
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-676	65,58	436,995	19	54
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,162	15	40
177	1089	C	8	H	2	26,5	29	89-690	67,04	442,178	17	33
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,064	17	35
177	1089	C	8	H	3	6,5	9	89-703	68,33	446,312	11	16
177	1089	C	8	H	2	56,5	59	89-708	68,83	447,936	14	41
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,625	12	21
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,093	8	15
177	1089	C	8	H	4	26,5	29	89-720	70,04	451,414	16	47

Tabelle A-7. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Summenkonzentration der *n*-Alkane (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe <i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,02	56,00
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,32	72,00
177	1089	D	3	H	4	121,5	124	89-52	18,4	115,68	40,00
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,94	90,00
177	1089	D	3	H	5	1,5	4	89-58	18,69	117,61	46,00
177	1089	D	3	H	5	31,5	34	89-64	19	119,60	112,00
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122,00	155,00
177	1089	D	3	H	5	81,5	84	89-74	19,5	122,60	67,00
177	1089	D	3	H	5	101,5	104	89-78	19,69	123,74	116,00
177	1089	D	3	H	5	111,5	114	89-80	19,8	124,43	96,00
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,11	135,00
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,46	71,00
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,96	68,00
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	89-92	20,4	128,68	56,00
177	1089	D	3	H	6	31,5	34	89-94	20,5	129,40	50,00
177	1089	D	3	H	6	51,5	54	89-98	20,69	130,93	62,00
177	1089	B	3	H	1	106,5	109	89-01	20,81	132,02	45,00
177	1089	B	3	H	1	116,5	119	89-02	20,91	132,97	78,00
177	1089	B	3	H	1	136,5	139	89-04	21,1	134,91	36,00
177	1089	B	3	H	2	6,5	9	89-06	21,31	137,08	73,00
177	1089	B	3	H	2	16,5	19	89-07	21,41	138,12	43,00
177	1089	B	3	H	2	26,5	29	89-08	21,5	139,05	64,00
177	1089	B	3	H	2	46,5	49	89-10	21,7	140,87	78,00
177	1089	B	3	H	2	56,5	59	89-11	21,81	141,67	127,00
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-13	22	143,02	84,00
177	1089	B	3	H	2	96,5	99	89-15	22,2	144,45	82,00
177	1089	B	3	H	2	116,5	119	89-17	22,41	145,94	91,00
177	1089	B	3	H	2	126,5	129	89-18	22,5	146,58	92,00
177	1089	B	3	H	2	136,5	139	89-19	22,6	147,26	94,00
177	1089	B	3	H	2	146,5	149	89-20	22,7	147,92	78,00
177	1089	B	3	H	3	6,5	9	89-21	22,81	148,64	103,00
177	1089	B	3	H	3	16,5	19	89-22	22,91	149,30	108,00
177	1089	B	3	H	3	26,5	29	89-23	23	149,90	81,00
177	1089	B	3	H	3	46,5	49	89-25	23,2	151,22	116,00
177	1089	B	3	H	3	66,5	69	89-27	23,41	152,60	10,00
177	1089	B	3	H	3	86,5	89	89-29	23,6	153,83	126,00
177	1089	B	3	H	3	106,5	109	89-31	23,81	155,18	61,00
177	1089	B	3	H	3	116,5	119	89-32	23,91	155,82	102,00
177	1089	B	3	H	3	136,5	139	89-34	24,1	157,04	116,00

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe n-Alkane (n-C ₂₇ , n-C ₂₉ , n-C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1089	B	3	H	3	146,5	149	89-35	24,2	157,68	36,00
177	1089	B	3	H	4	6,5	9	89-36	24,31	158,39	54,00
177	1089	B	3	H	4	16,5	19	89-37	24,41	159,02	105,00
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,52	24,00
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,95	37,00
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,33	40,00
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,20	56,00
177	1089	B	3	H	6	6,5	9	89-87	27,2	175,38	76,00
177	1089	B	3	H	6	36,5	39	89-95	27,6	177,73	13,00
177	1089	C	4	H	1	141,5	144	89-105	28,4	182,36	37,00
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	89-112	29,09	186,14	44,00
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	89-116	29,5	188,08	50,00
177	1089	C	4	H	2	131,5	134	89-119	29,8	189,52	74,00
177	1089	C	4	H	3	51,5	54	89-126	30,5	195,34	105,00
177	1089	C	4	H	3	121,5	124	89-134	31,19	203,41	67,00
177	1089	C	4	H	4	41,5	44	89-334	31,9	212,62	56,00
177	1089	C	4	H	5	51,5	54	89-350	33,49	228,33	47,00
177	1089	B	4	H	4	36,5	39	89-363	34,26	233,11	51,00
177	1089	B	4	H	4	116,5	119	89-371	35,06	238,38	69,00
177	1089	B	4	H	5	126,5	129	89-387	36,67	252,50	36,00
177	1089	C	5	H	1	111,5	114	89-395	37,44	256,80	43,00
177	1089	C	5	H	2	1,5	4	89-399	37,83	259,42	18,00
177	1089	C	5	H	2	41,5	44	89-403	38,24	262,24	65,00
177	1089	C	5	H	2	121,5	124	89-411	39,03	267,69	72,00
177	1089	B	5	H	2	61,5	64	89-419	39,88	273,55	78,00
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,99	66,00
177	1089	B	5	H	3	71,5	74	89-435	41,47	284,52	49,00
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,89	37,00
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,46	119,00
177	1089	B	5	H	4	31,5	34	89-446	42,58	292,93	48,00
177	1089	B	5	H	4	81,5	84	89-451	43,08	297,07	55,00
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-459	43,88	303,70	55,00
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	89-467	44,67	310,16	84,00
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	89-483	46,28	322,75	73,00
177	1089	C	6	H	2	111,5	114	89-491	47,08	328,53	96,00
177	1089	C	6	H	3	1,5	4	89-495	47,47	331,19	31,00
177	1089	C	6	H	3	41,5	44	89-499	47,88	333,96	96,00
177	1089	C	6	H	3	61,5	54	89-500	47,97	334,43	47,00
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,12	9,00
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,35	22,00
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,38	45,00
177	1089	C	6	H	4	1,5	4	89-525	50,47	347,51	60,00

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe <i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1089	B	6	H	2	36,5	39	89-529	50,87	349,19	20,00
177	1089	B	6	H	2	56,5	59	89-531	51,06	349,96	55,00
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,19	20,00
177	1089	B	6	H	2	136,5	139	89-539	51,87	353,09	62,00
177	1089	B	6	H	3	46,5	49	89-545	52,47	355,29	47,00
177	1089	B	6	H	3	86,5	89	89-549	52,87	356,71	21,00
177	1089	B	6	H	3	126,5	129	89-553	53,26	358,09	23,00
177	1089	B	6	H	3	136,5	139	89-554	53,37	358,48	46,00
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,25	24,00
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,41	28,00
177	1089	B	6	H	5	6,5	9	89-571	55,06	364,63	86,00
177	1089	B	6	H	5	46,5	49	89-575	55,47	366,24	31,00
177	1089	B	6	H	5	86,5	89	89-579	55,87	367,88	99,00
177	1089	C	7	H	1	146,5	149	89-589	56,88	372,40	66,00
177	1089	C	7	H	2	56,5	59	89-595	57,49	375,41	67,00
177	1089	C	7	H	3	26,5	29	89-607	58,69	381,99	81,00
177	1089	C	7	H	3	146,5	149	89-619	59,88	389,48	22,00
177	1089	C	7	H	5	146,5	149	89-649	62,88	413,19	133,00
177	1089	B	7	H	3	116,5	119	89-659	63,88	423,51	112,00
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,71	16,00
177	1089	B	7	H	4	46,5	49	89-667	64,68	431,74	211,00
177	1089	B	7	H	4	106,5	109	89-673	65,29	435,84	204,00
177	1089	C	8	H	1	101,5	104	89-683	66,29	439,59	27,00
177	1089	C	8	H	1	136,5	139	89-685	66,54	440,47	105,00
177	1089	C	8	H	2	36,5	39	89-691	67,14	442,51	95,00
177	1089	C	8	H	3	6,5	9	89-703	68,33	446,31	21,00
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,63	21,00
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,09	18,00

Tabelle A-8. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Summenkonzentration der Fettsäuren (Summe FS (C_{24:0}, C_{25:0}, C_{26:0}, C_{27:0}) im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,024	80
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,618	140
177	1089	D	3	H	4	111,5	114	89-50	18,3	115,014	181
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,944	159
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,339	112
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	49
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122	153
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,14	106
177	1089	D	3	H	5	11,5	114	89-80	19,8	124,425	65
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,108	152
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,822	145
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,464	66
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	127,964	96
177	1089	D	3	H	6	51,5	24	89-92	20,4	128,68	62
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,109	44
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	89-03	21	133,877	106
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-09	21,6	140,043	177
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-13	22	143,022	156
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-14	22,1	143,734	84
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-26	23,31	151,942	166
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-28	23,5	153,185	141
177	1089	B	3	H	4	26,5	29	89-38	24,5	159,581	192
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,515	185
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	163,951	178
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,216	198
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,331	190
177	1089	B	3	H	5	6,5	9	89-59	25,81	167,57	150
177	1089	B	3	H	5	36,5	39	89-65	26,1	169,276	139
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,008	144
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,198	181
177	1089	B	3	H	5	146,5	149	89-87	27,2	175,377	140
177	1089	B	3	H	6	36,5	39	89-95	27,6	177,726	73
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	178,96	149
177	1089	C	4	H	1	141,5	144	89-105	28,4	182,36	142
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,018	144
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	89-112	29,09	186,137	215
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	89-116	29,5	188,077	92
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,505	173
177	1089	C	4	H	2	131,5	134	89-119	29,8	189,52	136
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,854	177

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)
177	1089	C	4	H	3	51,5	54	89-126	30,5	195,342	198
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,199	125
177	1089	C	4	H	5	51,5	54	89-350	33,49	228,328	254
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,022	187
177	1089	B	4	H	4	36,5	39	89-363	34,26	233,114	156
177	1089	B	4	H	4	116,5	119	89-371	35,06	238,381	169
177	1089	B	4	H	5	46,5	49	89-379	35,87	245,792	160
177	1089	B	4	H	5	126,5	129	89-387	36,67	252,496	147
177	1089	C	5	H	1	111,5	114	89-395	37,44	256,795	186
177	1089	C	5	H	2	121,5	124	89-411	39,03	267,69	183
177	1089	B	5	H	2	21,5	24	89-415	39,47	270,724	231
177	1089	B	5	H	2	61,5	64	89-419	39,88	273,551	164
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	278,999	171
177	1089	B	5	H	3	71,5	74	89-435	41,47	284,516	185
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,889	114
177	1089	B	5	H	4	1,5	4	89-443	42,28	290,464	222
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,285	130
177	1089	B	5	H	4	31,5	34	89-446	42,58	292,934	98
177	1089	B	5	H	4	81,5	84	89-451	43,08	297,072	135
177	1089	B	5	H	4	111,5	114	89-454	43,38	299,559	198
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-459	43,88	303,696	180
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,084	157
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	89-467	44,67	310,163	150
177	1089	B	5	H	5	121,5	124	89-470	44,97	312,583	132
177	1089	B	5	H	6	21,5	24	89-475	45,47	316,548	233
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	89-478	45,78	318,96	111
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	89-483	46,28	322,751	180
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	324,967	156
177	1089	C	6	H	2	111,5	114	89-491	47,08	328,529	167
177	1089	C	6	H	3	1,5	4	89-495	47,47	331,193	99
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,515	58
177	1089	C	6	H	3	141,56	144	89-509	48,88	339,783	88
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,345	128
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,262	163
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,188	164
177	1089	B	6	H	2	36,5	39	89-529	50,87	349,602	77
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,191	85
177	1089	B	6	H	3	5,5	8	89-541	52,06	353,795	131
177	1089	B	6	H	3	46,5	49	89-545	52,47	355,283	86
177	1089	B	6	H	3	86,45	89	89-549	52,87	356,711	95
177	1089	B	6	H	4	16,5	19	89-557	53,67	359,537	145
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,249	107
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,413	103

Leg	Site	ole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)
177	1089	B	6	H	5	46,5	49	89-575	55,47	366,236	111
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,683	151
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,893	118
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,035	144
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,209	187
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,589	256
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,384	112
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,329	125
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,248	105
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,218	161
177	1089	B	7	H	4	136,5	139	89-676	65,58	436,995	172
177	1089	C	8	H	1	101,5	104	89-683	66,29	439,593	113
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,162	150
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,064	214
177	1089	C	8	H	3	65	9	89-703	68,33	446,312	103
177	1089	C	8	H	3	56,5	59	89-708	68,83	447,936	210
177	1089	C	8	H	3	66,5	69	89-714	69,43	449,625	137
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-719	69,93	451,093	117
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-720	70,04	451,414	153

Tabelle A-9. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), U^{K}_{37} , Temperatur (C°) im Site 1089.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-Nr.	mcd	Alter (ka)	U^{K}_{37}	Temperatur (C°)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	89-44	18	113,0	0,66	18,3
177	1089	D	3	H	4	91,5	94	89-46	18,09	113,6	0,62	17,1
177	1089	D	3	H	4	101,5	104	89-48	18,19	114,3	0,77	21,5
177	1089	D	3	H	4	111,5	114	89-50	18,3	115,0	0,65	18,0
177	1089	D	3	H	4	121,5	124	89-52	18,4	115,7	0,61	16,8
177	1089	D	3	H	4	141,5	144	89-56	18,59	116,9	0,62	17,1
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	89-60	18,8	118,3	0,71	19,7
177	1089	D	3	H	5	61,5	64	89-70	19,3	121,4	0,76	21,2
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	89-72	19,4	122,0	0,63	17,4
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	89-76	19,59	123,1	0,76	21,2
177	1089	D	3	H	5	11,5	114	89-80	19,8	124,4	0,79	22,1
177	1089	D	3	H	5	121,5	124	89-82	19,9	125,1	0,61	16,8
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	89-84	20	125,8	0,78	21,8
177	1089	D	3	H	5	141,5	144	89-86	20,09	126,5	0,75	20,9
177	1089	D	3	H	6	11,5	14	89-90	20,3	128,0	0,76	21,2
177	1089	D	3	H	6	51,5	24	89-92	20,4	128,7	0,81	22,7
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	89-96	20,59	130,1	0,73	20,3
177	1089	D	3	H	6	51,5	54	89-98	20,69	130,9	0,79	22,1
177	1089	B	3	H	1	106,5	109	89-1	20,81	132,0	0,65	18,0
177	1089	B	3	H	1	116,5	119	89-2	20,91	133,0	0,60	16,5
177	1089	B	3	H	1	136,5	139	89-4	21,1	134,9	0,58	15,9
177	1089	B	3	H	1	146,5	149	89-5	21,2	135,9	0,62	17,1
177	1089	B	3	H	2	26,5	29	89-8	21,5	139,1	0,58	15,9
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	89-9	21,6	140,0	0,63	17,4
177	1089	B	3	H	2	46,5	49	89-10	21,7	140,9	0,68	18,9
177	1089	B	3	H	2	56,5	59	89-11	21,81	141,7	0,64	17,7
177	1089	B	3	H	2	66,5	69	89-12	21,91	142,4	0,69	19,1
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	89-13	22	143,0	0,64	17,7
177	1089	B	3	H	2	86,5	89	89-14	22,1	143,7	0,61	16,8
177	1089	B	3	H	2	106,5	109	89-16	22,31	145,2	0,58	15,9
177	1089	B	3	H	2	116,5	119	89-17	22,41	145,9	0,65	18,0
177	1089	B	3	H	2	136,5	139	89-19	22,6	147,3	0,63	17,4
177	1089	B	3	H	2	146,5	149	89-20	22,7	147,9	0,61	16,8
177	1089	B	3	H	3	6,5	9	89-21	22,81	148,6	0,61	16,8
177	1089	B	3	H	3	16,5	19	89-22	22,91	149,3	0,68	18,9
177	1089	B	3	H	3	46,5	49	89-25	23,2	151,2	0,52	14,1
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	89-26	23,31	151,9	0,60	16,5
177	1089	B	3	H	3	66,5	69	89-27	23,41	152,6	0,57	15,6
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	89-28	23,5	153,2	0,54	14,7
177	1089	B	3	H	3	86,5	89	89-29	23,6	153,8	0,57	15,6
177	1089	B	3	H	3	96,5	99	89-30	23,7	154,5	0,64	17,7
177	1089	B	3	H	3	106,5	109	89-31	23,81	155,2	0,56	15,3

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-Nr.	mcd	Alter (ka)	U^{K}_{37}	Temperatur (°C)
177	1089	B	3	H	3	116,5	119	89-32	23,91	155,8	0,65	18,0
177	1089	B	3	H	3	126,5	129	89-33	24	156,4	0,56	15,3
177	1089	B	3	H	3	136,5	139	89-34	24,1	157,0	0,59	16,2
177	1089	B	3	H	3	146,5	149	89-35	24,31	158,4	0,60	16,5
177	1089	B	3	H	4	6,5	9	89-37	24,41	159,0	0,59	16,2
177	1089	B	3	H	4	26,5	29	89-38	24,5	159,6	0,56	15,3
177	1089	B	3	H	4	56,5	59	89-41	24,81	161,5	0,66	18,3
177	1089	B	3	H	4	96,5	99	89-47	25,2	164,0	0,67	18,6
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	89-51	25,41	165,2	0,62	17,1
177	1089	B	3	H	4	136,5	139	89-55	25,6	166,3	0,68	18,9
177	1089	B	3	H	5	6,5	9	89-59	25,81	167,6	0,60	16,5
177	1089	B	3	H	5	36,5	39	89-65	26,1	169,3	0,61	16,8
177	1089	B	3	H	5	66,5	69	89-71	26,41	171,0	0,67	18,6
177	1089	B	3	H	5	106,5	109	89-79	26,81	173,2	0,69	19,1
177	1089	B	3	H	5	146,5	149	89-87	27,2	175,4	0,66	18,3
177	1089	B	3	H	6	36,5	39	89-95	27,6	177,7	0,63	17,4
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	89-99	27,81	179,0	0,62	17,1
177	1089	C	4	H	1	141,5	144	89-105	28,4	182,4	0,68	18,9
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	89-108	28,69	184,0	0,58	15,9
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	89-112	29,09	186,1	0,63	17,4
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	89-116	29,5	188,1	0,71	19,7
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	89-117	29,59	188,5	0,60	16,5
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	89-122	30,09	191,9	0,59	16,2
177	1089	C	4	H	3	51,5	54	89-126	30,5	195,3	0,72	20,0
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	89-129	30,8	198,2	0,69	19,1
177	1089	C	4	H	3	121,5	124	89-134	31,19	203,4	0,73	20,3
177	1089	C	4	H	4	41,5	44	89-334	31,9	212,6	0,77	21,5
177	1089	C	4	H	4	81,5	84	89-338	32,29	217,4	0,67	18,7
177	1089	C	4	H	5	51,5	54	89-350	33,49	228,3	0,65	18,0
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	89-137	33,76	230,0	0,66	18,3
177	1089	B	4	H	4	26,5	29	89-362	34,17	232,6	0,67	18,7
177	1089	B	4	H	4	36,5	39	89-363	34,26	233,1	0,69	19,1
177	1089	B	4	H	4	126,5	129	89-372	35,17	239,1	0,75	20,9
177	1089	B	4	H	5	56,5	59	89-380	35,97	246,8	0,72	20,1
177	1089	B	4	H	5	86,5	89	89-383	36,26	249,5	0,57	15,8
177	1089	B	4	H	5	126,5	129	89-387	36,67	252,5	0,59	16,2
177	1089	C	5	H	1	111,5	114	89-395	37,44	256,8	0,58	15,9
177	1089	C	5	H	2	51,5	54	89-403	38,24	262,2	0,60	16,6
177	1089	C	5	H	2	121,5	124	89-411	39,03	267,7	0,58	15,9
177	1089	C	5	H	3	1,5	4	89-414	39,33	269,8	0,63	17,4
177	1089	B	5	H	2	21,5	24	89-415	39,47	270,7	0,67	18,6
177	1089	B	5	H	2	61,5	64	89-419	39,88	273,6	0,61	16,8
177	1089	B	5	H	2	111,5	114	89-424	40,38	277,0	0,69	19,1
177	1089	B	5	H	2	141,5	144	89-427	40,67	279,0	0,65	18,0
177	1089	B	5	H	3	71,5	74	89-435	41,47	284,5	0,61	16,8

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-Nr.	mcd	Alter (ka)	U ^K _{37'}	Temperatur (°C)
177	1089	B	5	H	3	131,5	134	89-441	42,08	288,9	0,66	18,0
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	89-444	42,38	291,3	0,61	16,8
177	1089	B	5	H	4	71,5	74	89-450	42,97	296,2	0,73	20,4
177	1089	B	5	H	4	81,5	84	89-451	43,08	297,1	0,63	17,4
177	1089	B	5	H	4	111,5	114	89-454	43,38	299,6	0,55	15,0
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	89-459	43,88	303,7	0,61	16,8
177	1089	B	5	H	5	21,5	24	89-460	43,97	304,4	0,61	16,8
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	89-462	44,17	306,1	0,58	15,9
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	89-467	44,67	310,2	0,63	17,4
177	1089	B	5	H	5	121,5	124	89-470	44,97	312,6	0,58	15,9
177	1089	B	5	H	6	21,5	24	89-475	45,47	316,5	0,61	16,8
177	1089	C	6	H	2	131,5	134	89-478	45,78	319,0	0,63	17,4
177	1089	C	6	H	2	1,5	4	89-480	45,97	320,4	0,73	20,4
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	89-483	46,28	322,8	0,65	18,0
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	89-486	46,58	325,0	0,64	17,7
177	1089	C	6	H	3	1,5	4	89-495	47,47	331,2	0,73	20,3
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	89-497	47,67	332,5	0,70	19,4
177	1089	C	6	H	3	31,5	34	89-498	47,78	333,2	0,80	22,5
177	1089	C	6	H	3	51,5	54	89-500	47,97	334,4	0,71	19,7
177	1089	C	6	H	3	111,5	114	89-506	48,58	338,1	0,69	19,1
177	1089	C	6	H	3	131,5	134	89-508	48,78	339,2	0,77	21,4
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	89-509	48,88	339,8	0,62	17,1
177	1089	C	6	H	4	21,5	24	89-512	49,17	341,3	0,65	18,0
177	1089	C	6	H	4	81,5	84	89-518	49,78	344,4	0,46	12,4
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	89-520	49,97	345,3	0,51	13,9
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	89-524	50,38	347,1	0,49	13,3
177	1089	C	6	H	5	1,5	4	89-525	50,47	347,5	0,55	15,0
177	1089	B	6	H	2	36,5	39	89-529	50,87	349,2	0,62	17,1
177	1089	B	6	H	2	66,5	69	89-532	51,17	350,4	0,63	17,3
177	1089	B	6	H	2	86,5	89	89-534	51,37	351,2	0,60	16,5
177	1089	B	6	H	2	136,5	139	89-539	51,87	353,1	0,63	17,4
177	1089	B	6	H	3	5,5	8	89-541	52,06	353,8	0,51	13,9
177	1089	B	6	H	3	46,5	49	89-545	52,47	355,3	0,70	19,0
177	1089	B	6	H	3	96,5	89	89-549	52,87	356,7	0,61	16,8
177	1089	B	6	H	3	116,5	119	89-552	53,17	357,8	0,72	20,1
177	1089	B	6	H	4	16,5	19	89-557	53,67	359,5	0,57	15,6
177	1089	B	6	H	4	36,5	39	89-559	53,87	360,2	0,68	18,9
177	1089	B	6	H	4	86,5	89	89-564	54,37	362,0	0,65	17,8
177	1089	B	6	H	4	96,5	99	89-565	54,47	362,4	0,61	16,8
177	1089	B	6	H	4	126,5	129	89-568	54,76	363,5	0,53	14,4
177	1089	B	6	H	5	6,5	9	89-571	55,06	364,6	0,51	13,9
177	1089	B	6	H	5	46,5	49	89-575	55,47	366,2	0,56	15,3
177	1089	B	6	H	5	66,5	69	89-577	55,67	367,0	0,50	13,6
177	1089	B	6	H	5	86,5	89	89-579	55,87	367,9	0,53	14,4
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	89-581	56,06	368,7	0,48	13,0

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-Nr.	mcd	Alter (ka)	U^{K}_{37}	Temperatur (°C)
177	1089	C	7	H	1	81,5	84	89-583	56,24	369,5	0,48	13,0
177	1089	C	7	H	1	146,5	149	89-589	56,88	372,4	0,56	15,3
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	89-592	57,19	373,9	0,54	14,7
177	1089	C	7	H	2	56,5	59	89-595	57,49	375,4	0,46	12,4
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	89-600	57,99	378,0	0,48	13,0
177	1089	C	7	H	2	116,5	119	89-601	58,08	378,5	0,44	11,8
177	1089	C	7	H	2	126,5	129	89-602	58,19	379,1	0,55	14,9
177	1089	C	7	H	2	136,5	139	89-603	58,28	379,6	0,54	14,7
177	1089	C	7	H	3	26,5	29	89-607	58,69	382,0	0,51	13,9
177	1089	C	7	H	3	86,5	89	89-613	59,28	385,6	0,52	14,1
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	89-614	59,38	386,2	0,59	16,2
177	1089	C	7	H	3	146,5	149	89-619	59,88	389,5	0,45	12,1
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	89-622	60,19	391,6	0,65	18,0
177	1089	C	7	H	4	56,5	59	89-625	60,49	393,7	0,57	15,6
177	1089	C	7	H	4	116,5	119	89-631	61,08	398,1	0,63	17,4
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	89-634	61,38	400,4	0,66	18,3
177	1089	C	7	H	5	26,5	29	89-637	61,69	402,9	0,64	17,7
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	89-640	61,99	405,3	0,70	19,4
177	1089	C	7	H	5	86,5	89	89-643	62,28	407,8	0,66	18,3
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	89-648	62,78	412,2	0,65	18,0
177	1089	C	7	H	5	146,5	149	89-649	62,88	413,2	0,63	17,4
177	1089	C	7	H	6	56,5	59	89-655	63,49	419,3	0,64	17,7
177	1089	B	7	H	3	106,5	109	89-659	63,88	423,5	0,59	16,2
177	1089	B	7	H	3	136,5	139	89-661	64,08	425,7	0,68	18,9
177	1089	B	7	H	4	46,5	49	89-667	64,68	431,7	0,56	15,3
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	89-670	64,99	434,2	0,44	11,8
177	1089	B	7	H	4	106,5	109	89-673	65,29	435,8	0,55	15,0
177	1089	B	7	H	4	136,5	139	89-676	65,58	437,0	0,52	14,1
177	1089	B	7	H	5	16,5	19	89-679	65,89	438,1	0,52	14,1
177	1089	C	8	H	1	101,5	104	89-683	66,29	439,6	0,64	17,7
177	1089	C	8	H	1	126,5	129	89-685	66,54	440,5	0,52	14,1
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	89-687	66,74	441,2	0,49	13,3
177	1089	C	8	H	2	36,5	39	89-691	67,14	442,5	0,53	14,4
177	1089	C	8	H	2	96,5	99	89-697	67,74	444,5	0,49	13,3
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	89-699	67,93	445,1	0,58	15,9
177	1089	C	8	H	3	65	9	89-703	68,33	446,3	0,61	16,8
177	1089	C	8	H	3	56,5	59	89-708	68,83	447,8	0,57	15,6
177	1089	C	8	H	3	66,5	69	89-709	68,93	448,1	0,52	14,1
177	1089	C	8	H	3	116,5	119	89-714	69,43	449,6	0,65	18,0
177	1089	C	8	H	4	16,5	19	89-719	69,93	451,1	0,64	17,7
177	1089	C	8	H	4	116,5	119	89-720	70,04	451,4	0,58	15,9

Tabelle A-10. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), S2 (mgHC/gSediment), HI (mgHC/gSediment), Tmax (C°) im Site 1089. Die kursiv gekennzeichneten Werte sind durch einen Gerätewechsel überbewertet.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/gSediment)	HI (mgHC/gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	D	3	H	4	81,5	84	44	18	113,024	0,36	64,1	366
177	1089	D	3	H	4	101,5	104	48	18,19	114,284	0,22	56,4	360
177	1089	D	3	H	4	111,5	114	50	18,3	115,014	0,22	52,06	331
177	1089	D	3	H	4	121,5	124	52	18,4	115,68	0,23	50,03	362
177	1089	D	3	H	5	11,5	14	60	18,8	118,339	0,16	46,13	326
177	1089	D	3	H	5	31,5	34	64	19	119,599	0,17	51,8	371
177	1089	D	3	H	5	51,5	54	68	19,19	120,74	0,15	51,87	372
177	1089	D	3	H	5	71,5	74	72	19,4	122	0,13	50,45	328
177	1089	D	3	H	5	91,5	94	76	19,59	123,14	0,15	55,13	373
177	1089	D	3	H	5	111,5	114	80	19,8	124,425	0,13	47,67	368
177	1089	D	3	H	5	131,5	134	84	20	125,822	0,12	50,59	364
177	1089	D	3	H	6	1,5	4	88	20,19	127,179	0,11	40,56	362
177	1089	D	3	H	6	21,5	24	92	20,4	128,68	0,12	44,09	362
177	1089	D	3	H	6	41,5	44	96	20,59	130,109	0,13	44,78	364
177	1089	B	3	H	1	106,5	109	1	20,81	132,021	0,25	62,3	369
177	1089	B	3	H	1	126,5	129	3	21	133,877	0,33	78,22	374
177	1089	B	3	H	1	146,5	149	5	21,2	135,942	0,35	74,15	375
177	1089	B	3	H	2	16,5	5	7	21,41	138,118	0,48	90,55	384
177	1089	B	3	H	2	36,5	39	9	21,6	140,043	0,26	64,21	364
177	1089	B	3	H	2	56,5	59	11	21,81	141,674	0,24	63,27	366
177	1089	B	3	H	2	76,5	79	13	22	143,022	0,26	61,48	368
177	1089	B	3	H	2	96,5	99	15	22,2	144,449	0,45	81,11	375
177	1089	B	3	H	2	136,5	139	19	22,6	147,262	0,31	67,01	372
177	1089	B	3	H	3	46,5	49	25	23,2	151,216	0,21	60,43	361
177	1089	B	3	H	3	56,5	59	26	23,31	151,942	0,19	51,25	359
177	1089	B	3	H	3	66,5	69	27	23,41	152,601	0,23	49,5	363
177	1089	B	3	H	3	76,5	79	28	23,5	153,185	0,29	63,9	365
177	1089	B	3	H	3	146,5	149	35	24,2	157,683	0,31	64,87	367
177	1089	B	3	H	4	26,5	29	38	24,5	159,581	0,27	58,39	370
177	1089	B	3	H	4	36,5	39	39	24,6	160,205	0,32	64,51	368
177	1089	B	3	H	4	76,5	5	43	25	162,704	0,34	65,45	367
177	1089	B	3	H	4	86,5	89	45	25,1	163,33	0,32	58,93	367
177	1089	B	3	H	4	116,5	119	51	25,41	165,216	0,27	50,72	368
177	1089	B	3	H	4	126,5	129	53	25,5	165,746	0,34	59,71	373
177	1089	B	3	H	4	146,5	149	57	25,7	166,92	0,27	54,69	367
177	1089	B	3	H	5	16,5	19	61	25,91	168,156	0,28	57,86	366
177	1089	B	3	H	5	36,5	39	65	26,1	169,276	0,26	54,55	366
177	1089	B	3	H	5	56,5	59	69	26,31	170,462	0,26	57,55	366
177	1089	B	3	H	5	116,5	119	81	26,91	173,747	0,22	63,66	362
177	1089	B	3	H	5	126,5	129	83	27	174,237	0,15	52,97	365
177	1089	B	3	H	5	136,5	139	85	27,1	174,794	0,22	61,33	364

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	B	3	H	6	26,5	29	93	27,5	177,139	0,26	61,9	369
177	1089	B	3	H	6	46,5	49	97	27,7	178,311	0,27	63,2	370
177	1089	B	3	H	6	56,5	59	99	27,81	178,96	0,24	60,35	367
177	1089	C	4	H	1	111,5	114	102	28,09	180,59	0,24	57,02	370
177	1089	C	4	H	1	131,5	134	104	28,3	181,788	0,35	65,49	371
177	1089	C	4	H	2	1,5	4	106	28,5	182,935	0,31	63,66	364
177	1089	C	4	H	2	21,5	24	108	28,69	184,018	0,36	63,59	364
177	1089	C	4	H	2	41,5	44	110	28,9	185,211	0,34	57,56	358
177	1089	C	4	H	2	61,5	64	112	29,09	186,137	0,35	57,41	340
177	1089	C	4	H	2	81,5	84	114	29,3	187,131	0,34	57,33	341
177	1089	C	4	H	2	101,5	104	116	29,5	188,077	0,33	58,38	
177	1089	C	4	H	2	111,5	114	117	29,59	188,505	0,28	50,21	368
177	1089	C	4	H	2	121,5	124	118	29,69	188,978	0,24	50,89	330
177	1089	C	4	H	2	141,5	144	120	29,9	190,248	0,36	73,41	348
177	1089	C	4	H	3	11,5	14	122	30,09	191,854	0,28	58,82	342
177	1089	C	4	H	3	31,5	34	124	30,3	193,638	0,35	78,3	339
177	1089	C	4	H	3	71,5	74	128	30,69	196,998	0,2	52,52	372
177	1089	C	4	H	3	81,5	84	129	30,8	198,199	0,21	60,57	375
177	1089	C	4	H	3	91,5	94	130	30,9	199,519	0,21	56,27	332
177	1089	C	4	H	3	131,5	134	136	31,3	204,888	0,28	55,74	342
177	1089	C	4	H	4	31,5	34	333	31,8	211,404	0,27	75,21	389
177	1089	C	4	H	4	81,5	84	338	32,29	217,361	0,24	105,73	368
177	1089	C	4	H	4	131,5	134	343	32,79	222,564	0,41	98,56	372
177	1089	C	4	H	5	31,5	34	348	33,29	226,714	0,45	92,78	369
177	1089	B	4	H	3	136,5	139	137	33,76	230,022	0,56	98,42	358
177	1089	B	4	H	4	26,5	29	362	34,17	232,554	0,38	80,17	325
177	1089	B	4	H	4	86,5	89	368	34,76	236,386	0,35	76,25	328
177	1089	B	4	H	4	146,5	149	374	35,37	240,704	0,24	89,89	372
177	1089	B	4	H	5	36,5	39	378	35,76	244,672	0,26	97,38	366
177	1089	B	4	H	5	86,5	89	383	36,26	249,535	0,37	82,77	364
177	1089	B	4	H	5	136,5	139	388	36,76	253,13	0,46	91,09	366
177	1089	B	4	H	6	36,5	39	393	37,26	256,058	0,39	86,47	367
177	1089	C	5	H	1	141,5	144	398	37,74	258,795	0,33	79,90	363
177	1089	C	5	H	2	41,5	44	403	38,24	262,242	0,32	83,55	358
177	1089	C	5	H	2	91,5	94	408	38,74	265,69	0,36	106,51	357
177	1089	C	5	H	2	141,5	144	413	39,24	269,138	0,53	92,01	370
177	1089	B	5	H	2	51,5	54	418	39,78	272,862	0,52	89,66	334
177	1089	B	5	H	2	101,5	104	423	40,28	276,309	0,68	113,14	346
177	1089	B	5	H	3	1,5	4	428	40,78	279,757	0,57	86,89	334
177	1089	B	5	H	3	41,5	44	432	41,17	282,447	0,5	86,06	335
177	1089	B	5	H	3	101,5	104	438	41,78	286,653	0,34	111,11	372
177	1089	B	5	H	4	11,5	14	444	42,38	291,285	0,19	57,52	368
177	1089	B	5	H	4	21,5	24	445	42,47	292,027	0,33	71,49	369
177	1089	B	5	H	4	41,5	44	447	42,67	293,678	0,28	69,48	371

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/gSediment)	HI (mgHC/gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	B	5	H	4	61,5	64	449	42,88	295,415	0,33	60,36	370
177	1089	B	5	H	4	101,5	104	453	43,28	298,73	0,34	55,9	340
177	1089	B	5	H	4	111,5	114	454	43,38	299,559	0,31	51,79	337
177	1089	B	5	H	4	121,5	134	455	43,47	300,304	0,32	54,79	338
177	1089	B	5	H	4	141,5	144	457	43,67	301,96	0,32	55,64	337
177	1089	B	5	H	5	11,5	14	459	43,88	303,696	0,36	62,57	342
177	1089	B	5	H	5	31,5	34	461	44,08	305,344	0,3	55,67	339
177	1089	B	5	H	5	41,5	44	462	44,17	306,084	0,26	51,64	331
177	1089	B	5	H	5	71,5	74	465	44,47	308,537	0,23	50,2	368
177	1089	B	5	H	5	91,5	94	467	44,67	310,163	0,24	50,59	334
177	1089	B	5	H	5	121,5	124	470	44,97	312,583	0,26	63,09	367
177	1089	B	5	H	5	131,5	134	471	45,08	313,461	0,29	66,18	372
177	1089	B	5	H	6	1,5	4	473	45,28	316,051	0,27	69,41	368
177	1089	B	5	H	6	21,5	24	475	45,47	316,548	0,28	69,86	333
177	1089	C	6	H	1	121,5	124	477	45,67	318,108	0,23	65,68	332
177	1089	C	6	H	1	131,5	134	478	45,78	318,96	0,23	55,02	334
177	1089	C	6	H	1	141,5	144	479	45,88	319,727	0,31	71,43	340
177	1089	C	6	H	2	11,5	14	481	46,08	321,249	0,37	71,25	345
177	1089	C	6	H	2	31,5	34	483	46,28	322,751	0,43	79,13	358
177	1089	C	6	H	2	51,5	54	485	46,47	324,159	0,4	71,1	346
177	1089	C	6	H	2	61,5	64	486	46,58	324,967	0,28	55,22	340
177	1089	C	6	H	2	91,5	94	489	46,88	327,123	0,21	49,56	332
177	1089	C	6	H	2	111,5	114	491	47,08	328,529	0,22	62,59	336
177	1089	C	6	H	2	141,5	144	494	47,38	330,592	0,23	59,45	373
177	1089	C	6	H	3	21,5	24	497	47,67	332,515	0,18	51,66	376
177	1089	C	6	H	3	31,5	34	498	47,78	333,233	0,22	60,56	375
177	1089	C	6	H	3	61,5	64	501	48,08	335,118	0,12	44,2	375
177	1089	C	6	H	3	81,5	84	503	48,28	336,346	0,11	44,79	368
177	1089	C	6	H	3	101,5	104	505	48,47	337,473	0,15	53,27	367
177	1089	C	6	H	3	121,5	124	507	48,67	338,624	0,2	56,47	365
177	1089	C	6	H	3	141,5	144	509	48,88	339,783	0,21	53,8	361
177	1089	C	6	H	4	31,5	34	513	49,28	341,91	0,36	69,12	371
177	1089	C	6	H	4	51,5	54	515	49,47	342,872	0,5	79,88	382
177	1089	C	6	H	4	71,5	74	517	49,67	343,853	0,5	77,36	381
177	1089	C	6	H	4	91,5	94	519	49,88	344,846	0,53	85,98	386
177	1089	C	6	H	4	101,5	104	520	49,97	345,262	0,46	73,44	377
177	1089	C	6	H	4	111,5	114	521	50,08	345,771	0,47	79,61	381
177	1089	C	6	H	4	131,5	134	523	50,28	346,675	0,48	84,91	375
177	1089	C	6	H	4	141,5	144	524	50,38	347,118	0,44	73,48	377
177	1089	C	6	H	5	1,5	4	525	50,47	347,506	0,44	78,43	378
177	1089	B	6	H	2	16,5	19	527	50,67	348,359	0,53	79,96	379
177	1089	B	6	H	2	26,5	29	528	50,76	348,738	0,53	80,32	383
177	1089	B	6	H	2	46,5	49	530	50,97	349,602	0,42	74,35	376
177	1089	B	6	H	2	66,5	69	532	51,17	350,405	0,41	75,7	372

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	B	6	H	2	76,5	79	533	51,26	350,759	0,41	74,64	373
177	1089	B	6	H	2	136,5	139	539	51,87	353,092	0,39	76,18	374
177	1089	B	6	H	2	146,5	149	540	51,97	353,465	0,37	65,79	372
177	1089	B	6	H	3	5,5	8	541	52,06	353,795	0,3	63,83	370
177	1089	B	6	H	3	16,5	19	542	52,17	354,199	0,36	73,04	375
177	1089	B	6	H	3	36,5	39	544	52,37	354,922	0,3	78,55	367
177	1089	B	6	H	3	56,5	59	546	52,56	355,608	0,32	67,78	371
177	1089	B	6	H	3	96,5	99	550	52,97	357,065	0,33	66,44	371
177	1089	B	6	H	3	116,5	119	552	53,17	357,771	0,44	74,51	376
177	1089	B	6	H	4	5,5	8	556	53,56	359,147	0,5	79,52	380
177	1089	B	6	H	4	16,5	19	557	53,67	359,537	0,43	71,91	376
177	1089	B	6	H	4	66,5	69	562	54,17	361,321	0,48	66,45	382
177	1089	B	6	H	4	86,5	89	564	54,37	362,046	0,45	69,44	379
177	1089	B	6	H	4	106,5	109	566	54,56	362,743	0,42	67,36	372
177	1089	B	6	H	4	116,5	119	567	54,67	363,155	0,46	72,42	375
177	1089	B	6	H	4	126,5	129	568	54,76	363,49	0,36	68,39	370
177	1089	B	6	H	4	146,5	149	570	54,97	364,28	0,4	56,68	374
177	1089	B	6	H	5	16,5	19	572	55,17	365,05	0,45	83,01	371
177	1089	B	6	H	5	36,5	39	574	55,37	365,835	0,42	58,33	371
177	1089	B	6	H	5	56,5	59	576	55,56	366,596	0,4	56,35	372
177	1089	B	6	H	5	76,5	79	578	55,76	367,415	0,3	62,53	370
177	1089	B	6	H	5	96,5	99	580	55,97	368,296	0,46	66,77	379
177	1089	B	6	H	5	106,5	109	581	56,06	368,683	0,42	50,61	376
177	1089	B	6	H	5	116,5	119	582	56,17	369,157	0,47	67,06	375
177	1089	C	7	H	1	91,5	94	584	56,33	369,862	0,36	70,69	368
177	1089	C	7	H	1	116,5	119	586	56,58	370,991	0,47	69,19	370
177	1089	C	7	H	1	136,5	139	588	56,78	371,919	0,4	58,81	368
177	1089	C	7	H	2	6,5	89	590	56,99	372,918	0,43	62,07	372
177	1089	C	7	H	2	26,5	29	592	57,19	373,893	0,34	50,66	367
177	1089	C	7	H	2	36,5	39	593	57,28	374,343	0,32	62,52	364
177	1089	C	7	H	2	76,5	79	597	57,69	376,445	0,3	52,27	369
177	1089	C	7	H	2	96,5	99	599	57,88	377,446	0,37	56,92	337
177	1089	C	7	H	2	106,5	109	600	57,99	378,035	0,33	44,22	338
177	1089	C	7	H	2	116,5	119	601	58,08	378,529	0,36	56,03	369
177	1089	C	7	H	2	136,5	139	603	58,28	379,638	0,34	45,74	366
177	1089	C	7	H	3	46,5	49	609	58,88	383,123	0,32	54,12	370
177	1089	C	7	H	3	66,5	69	611	59,08	384,337	0,29	53,5	372
177	1089	C	7	H	3	86,5	89	613	59,28	385,58	0,24	52,9	325
177	1089	C	7	H	3	96,5	99	614	59,38	386,209	0,25	50,52	329
177	1089	C	7	H	3	126,5	129	617	59,69	388,215	0,25	55,08	368
177	1089	C	7	H	4	16,5	19	621	60,08	390,834	0,31	48,24	338
177	1089	C	7	H	4	26,5	29	622	60,19	391,589	0,28	52,51	336
177	1089	C	7	H	4	36,5	39	623	60,28	392,219	0,32	63,66	333
177	1089	C	7	H	4	56,5	59	625	60,49	393,707	0,35	68,36	340

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/gSediment)	HI (mgHC/gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	C	7	H	4	96,5	99	629	60,88	396,559	0,2	61,22	327
177	1089	C	7	H	4	136,5	139	633	61,28	399,614	0,18	61,22	324
177	1089	C	7	H	4	146,5	149	634	61,38	400,384	0,18	56,18	377
177	1089	C	7	H	5	6,5	9	635	61,49	401,266	0,22	66,93	378
177	1089	C	7	H	5	26,5	29	637	61,69	402,87	0,19	62,17	324
177	1089	C	7	H	5	46,5	49	639	61,88	404,419	0,23	59,22	377
177	1089	C	7	H	5	56,5	59	640	61,99	405,329	0,2	60,83	320
177	1089	C	7	H	5	66,5	69	641	62,08	406,089	0,22	57,7	379
177	1089	C	7	H	5	86,5	89	643	62,28	407,793	0,21	54,07	322
177	1089	C	7	H	5	106,5	109	645	62,49	409,63	0,18	53,27	380
177	1089	C	7	H	5	126,5	129	647	62,69	411,428	0,17	49,73	371
177	1089	C	7	H	5	136,5	139	648	62,78	412,248	0,17	50,57	370
177	1089	C	7	H	5	146,5	149	649	62,88	413,19	0,15	44,88	371
177	1089	C	7	H	6	16,5	19	651	63,08	415,122	0,12	44,09	370
177	1089	C	7	H	6	76,5	79	657	63,69	421,433	0,08	36,46	364
177	1089	B	7	H	3	106,5	109	659	63,88	423,505	0,08	41,49	367
177	1089	B	7	H	3	126,5	129	660	63,99	424,722	0,12	52,59	365
177	1089	B	7	H	3	146,5	149	662	64,18	426,797	0,14	51,64	364
177	1089	B	7	H	4	16,5	19	664	64,39	429,001	0,26	68,24	367
177	1089	B	7	H	4	36,5	39	666	64,58	430,862	0,27	68,84	373
177	1089	B	7	H	4	56,5	59	668	64,79	432,714	0,38	84,26	378
177	1089	B	7	H	4	76,5	79	670	64,99	434,218	0,37	76,08	378
177	1089	B	7	H	4	96,5	99	672	65,18	435,363	0,49	98,83	388
177	1089	B	7	H	4	116,5	119	674	65,39	436,27	0,47	90,35	390
177	1089	B	7	H	4	136,5	139	676	65,58	436,995	0,45	84,11	385
177	1089	B	7	H	5	6,5	9	678	65,79	437,781	0,5	98,85	388
177	1089	B	7	H	5	26,5	29	680	65,99	438,516	0,58	104,04	389
177	1089	B	7	H	5	46,5	49	682	66,18	439,203	0,52	95,05	388
177	1089	C	8	H	1	116,5	119	684	66,43	440,089	0,58	91,9	388
177	1089	C	8	H	1	136,5	139	686	66,64	440,82	0,62	95,37	387
177	1089	C	8	H	1	146,5	149	687	66,74	441,162	0,55	83,69	384
177	1089	C	8	H	2	6,5	9	688	66,83	441,47	0,51	82,96	385
177	1089	C	8	H	2	16,5	19	689	66,93	441,807	0,51	88,27	386
177	1089	C	8	H	2	46,5	49	692	67,24	442,838	0,48	81,8	377
177	1089	C	8	H	2	56,5	59	693	67,33	443,135	0,6	93,6	386
177	1089	C	8	H	2	76,5	79	695	67,54	443,82	0,51	76,6	378
177	1089	C	8	H	2	116,5	119	699	67,93	445,064	0,47	63,08	380
177	1089	C	8	H	2	126,5	129	700	68,04	445,411	0,49	72,92	384
177	1089	C	8	H	3	16,5	19	704	68,43	446,62	0,52	99,43	379
177	1089	C	8	H	3	36,5	39	706	68,64	447,261	0,54	79,63	386
177	1089	C	8	H	3	56,5	59	708	68,83	447,836	0,43	74,23	376
177	1089	C	8	H	3	86,5	89	711	69,14	448,764	0,45	85,18	374
177	1089	C	8	H	3	126,5	129	715	69,54	449,949	0,5	85,22	385
177	1089	C	8	H	3	146,5	149	717	69,74	450,537	0,31	64,69	374

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1089	C	8	H	4	26,5	29	720	70,04	451,414	0,28	56,88	365

Tabelle A-11. Alter (ka), Paläoproduktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$) (berechnet nach *Stein 1986*) im Site 1089.

Alter (ka)	Paläo-produktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$)	Alter (ka)	Paläo-produktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$)	Alter (ka)	Paläo-produktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$)	Alter (ka)	Paläo-produktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$)	Alter (ka)	Paläo-produktivität ($\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$)
0,220	89	27,429	118	55,448	71	95,270	112	137,598	104
0,958	84	27,892	113	56,121	76	96,366	100	138,346	96
1,623	81	28,337	120	56,785	94	97,360	96	139,036	115
2,333	78	28,800	116	57,516	99	98,350	98	139,650	95
3,047	82	29,248	113	58,257	102	99,224	83	140,338	88
3,763	73	29,555	115	58,999	108	100,164	99	141,020	87
4,470	69	29,857	119	59,743	115	101,188	80	141,776	82
5,169	75	30,160	125	60,485	122	102,128	80	142,466	93
5,887	73	30,465	129	61,227	120	103,064	83	143,080	92
6,610	72	30,768	122	61,968	116	103,904	107	143,768	105
7,319	68	31,070	110	62,709	129	104,774	97	144,448	115
8,177	65	31,372	104	63,550	121	105,524	86	145,196	100
8,750	76	31,796	98	64,288	118	106,112	99	145,876	89
9,766	69	32,424	97	65,027	117	106,658	86	146,488	96
10,697	71	33,061	88	65,755	122	107,132	100	147,168	98
11,604	65	33,689	90	66,494	128	107,652	98	147,848	97
12,511	82	34,327	95	67,230	125	108,224	132	148,596	77
13,395	74	34,955	101	67,887	126	108,754	118	149,276	80
14,340	72	35,592	87	68,700	135	109,288	125	149,888	79
14,786	87	36,220	87	69,428	127	109,786	105	150,554	100
15,175	73	36,734	80	70,148	124	110,346	112	151,204	78
15,507	69	37,209	84	70,729	115	112,380	114	151,912	81
15,823	79	37,693	83	71,282	121	112,946	91	152,562	101
16,164	99	38,170	95	71,836	108	113,604	74	153,154	100
16,491	91	38,652	90	72,390	101	114,350	82	153,796	82
16,811	84	39,136	91	72,990	101	115,054	90	154,446	81
17,155	94	39,611	89	73,590	105	115,778	92	155,162	99
17,480	97	40,095	87	74,190	109	116,446	86	155,812	92
17,812	101	40,575	94	74,790	106	117,206	79	156,392	97
18,131	96	41,058	107	75,390	85	118,032	67	157,024	82
18,470	92	41,584	92	75,990	89	118,734	60	157,654	99
18,928	99	42,118	93	76,600	80	119,154	66	158,348	105
19,236	97	42,651	100	77,200	96	119,328	54	158,984	101
19,544	105	43,184	104	77,800	105	119,536	58	159,554	102
19,844	105	43,717	83	78,400	83	119,870	49	160,184	104
20,170	107	44,250	81	78,710	76	120,442	49	160,814	91
20,463	103	44,834	96	79,190	78	121,554	51	161,514	89
20,757	110	45,418	103	79,790	77	122,694	54	162,134	95
21,048	117	46,001	110	80,450	76	123,718	58	162,680	109
21,347	114	46,615	107	81,002	81	124,474	55	163,280	114
21,730	125	47,231	103	81,908	101	125,116	50	163,890	108
22,160	127	47,858	94	82,754	107	125,810	49	164,550	101
22,498	115	48,474	92	83,694	129	126,450	65	165,154	116
23,006	118	49,100	78	84,732	129	127,152	59	165,700	119
23,450	115	49,716	75	85,584	124	127,934	54	166,300	111
23,881	122	50,335	81	87,464	120	128,640	63	166,910	103
24,310	125	50,959	83	88,404	118	129,350	74	167,562	114
24,744	122	51,580	85	89,438	121	129,990	67	168,126	106
25,158	119	52,218	83	90,310	124	130,700	78	168,636	109
25,623	124	52,845	86	91,500	118	134,945	92	169,206	103
26,066	128	53,483	84	92,298	116	135,625	92	169,766	105
26,530	128	54,110	72	93,290	111	136,238	93	170,392	101
26,986	128	54,784	75	94,380	104	136,918	121	170,956	83

Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)
171,466	86	211,328	73	256,906	94	291,310	96	327,422	75
172,084	81	212,598	81	257,734	97	291,930	90	328,288	57
172,596	83	213,864	62	258,762	95	292,690	121	329,356	52
173,222	81	215,128	55	263,148	99	293,380	120	330,226	59
173,792	79	216,222	52	263,624	100	294,000	105	331,292	54
174,306	61	217,230	43	264,162	88	294,760	144	332,256	62
174,878	80	218,314	51	264,748	89	295,380	123	333,128	63
175,448	95	219,206	57	265,224	95	296,072	132	334,072	73
176,076	94	220,294	65	265,814	84	296,435	128	334,386	86
176,646	95	221,180	74	266,294	83	296,765	131	334,778	85
177,158	93	222,166	87	266,824	103	297,165	123	335,132	94
177,728	94	223,254	97	267,414	87	297,488	125	335,832	116
178,308	95	224,140	96	267,894	89	297,890	127	336,154	130
178,946	89	225,188	99	268,478	89	298,255	128	336,542	124
179,526	83	225,850	105	268,962	84	298,585	112	336,892	134
180,052	88	226,554	104	269,494	74	298,980	119	337,214	141
180,626	91	227,330	92	270,078	79	299,308	116	337,602	147
181,196	106	227,960	90	270,562	85	299,712	103	337,916	150
181,834	112	228,454	85	271,148	94	300,075	120	338,308	144
182,414	110	229,230	103	271,624	104	300,398	107	338,658	143
182,994	99	229,860	120	272,162	112	300,800	111	338,976	143
183,474	100	230,214	113	272,748	125	301,127	107	339,365	140
183,984	109	231,340	121	273,227	130	301,526	113	339,684	145
184,550	116	231,948	117	273,970	125	301,890	100	340,080	132
185,066	115	232,662	100	274,560	128	302,216	95	340,470	138
185,580	125	233,242	120	275,043	121	302,622	95	340,828	130
186,044	117	233,958	111	275,628	124	302,946	87	341,260	129
186,560	122	234,602	108	276,160	126	303,342	88	341,616	146
187,126	118	235,188	108	276,642	103	303,712	89	341,970	148
187,636	114	235,898	97	277,225	126	304,096	84	342,400	146
188,264	104	236,482	90	277,705	133	305,162	67	342,796	130
188,890	113	237,192	100	278,294	135	306,036	66	343,150	128
189,580	96	237,944	98	278,825	131	307,096	80	343,580	126
190,340	94	238,736	69	279,305	130	308,062	81	343,938	127
191,034	99	239,704	60	279,895	130	308,936	87	344,370	128
191,730	81	241,464	59	280,373	130	310,002	102	344,766	121
192,350	99	242,338	41	280,958	134	310,868	92	345,120	117
193,040	80	243,126	57	281,495	120	311,936	106	345,550	120
193,804	88	244,094	59	281,973	111	312,902	99	345,908	113
194,712	77	244,886	61	282,560	122	313,776	109	346,340	116
195,852	81	245,832	64	283,043	123	314,842	101	346,730	127
196,878	64	246,666	77	284,160	106	315,708	89	347,088	114
198,014	77	247,414	75	284,642	109	316,772	84	347,520	118
199,262	64	248,322	74	285,225	127	317,742	87	347,870	116
200,402	67	249,068	98	285,705	89	318,616	78	348,310	90
201,542	75	249,976	106	286,294	70	319,676	71	348,700	119
202,568	71	250,806	108	286,825	74	320,548	82	349,058	114
203,698	83	251,554	104	287,305	71	321,612	75	349,490	91
204,998	91	252,478	106	287,895	61	322,582	75	349,840	122
206,264	91	253,252	106	288,480	77	323,448	63	350,480	119
207,528	99	254,204	80	289,240	56	324,516	65	351,170	112
208,672	84	255,090	96	289,930	75	325,386	71	351,790	117
209,936	81	255,900	96	290,550	104	326,452	77	352,550	128

Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)
353,170	131	381,990	127	424,616	41	447,142	129	465,426	158
353,930	133	382,550	140	425,232	52	447,466	136	465,786	157
354,620	167	383,002	136	425,736	67	447,824	138	466,182	153
355,240	135	383,510	132	426,286	64	448,212	132	466,532	164
356,000	128	384,070	117	426,902	89	448,572	127	466,856	156
356,620	145	384,530	126	427,462	92	448,932	111	467,216	162
357,380	147	385,084	108	428,022	84	449,246	102	467,574	157
358,070	136	385,542	103	428,526	93	449,606	93	467,962	146
358,690	136	386,064	108	429,086	101	450,002	116	468,322	153
359,450	151	386,758	114	429,702	106	450,358	119	468,646	146
360,050	153	387,324	103	430,258	109	450,712	129	468,996	165
360,610	138	388,018	103	430,812	114	451,036	142	469,356	155
361,120	143	388,592	110	431,316	125	451,396	136	469,752	159
361,572	130	389,222	119	431,876	115	451,782	142	470,108	162
362,134	136	389,918	109	432,492	112	452,142	123	470,426	169
362,590	112	390,484	139	433,052	123	452,502	115	470,786	152
363,150	136	391,178	116	433,612	119	452,824	130	471,146	131
363,654	148	391,744	107	434,074	125	453,176	142	471,532	130
364,112	133	392,660	106	434,426	130	453,572	151	471,892	140
364,670	116	393,880	103	434,822	126	453,932	152	472,250	115
365,130	139	394,870	90	435,182	122	454,282	146	472,660	114
365,690	152	396,080	80	435,532	132	454,606	154	473,070	119
366,194	155	397,080	73	435,856	128	454,966	149	473,524	137
366,652	152	398,180	68	436,216	131	455,358	164	473,934	114
367,210	117	399,390	70	436,608	134	455,712	159	474,302	126
367,670	108	400,390	64	437,106	137	456,072	175	474,712	145
368,224	143	401,600	65	437,502	141	456,396	168	475,130	157
368,734	147	402,590	60	437,858	142	456,746	163	475,580	101
369,190	168	403,700	67	438,212	142	457,142	145	475,994	102
369,750	155	404,910	68	438,536	134	457,502	150	476,482	139
370,104	129	405,900	74	438,896	133	457,858	149	476,900	101
370,562	102	407,120	64	439,282	131	458,176	141	477,350	111
371,120	107	408,080	68	439,642	130	458,538	125	477,760	120
371,832	136	408,880	82	440,002	129	458,646	129	478,132	110
372,390	125	409,760	70	440,324	144	458,926	125	478,542	148
372,850	133	410,480	76	440,676	191	459,032	126	478,952	108
373,352	127	411,360	77	441,072	151	459,392	146	479,410	116
373,914	140	412,080	83	441,432	152	459,716	149	479,820	101
374,370	111	412,880	73	441,782	173	460,074	145	480,190	106
374,930	136	413,760	71	442,106	179	460,426	150	480,602	113
375,390	113	414,480	77	442,466	167	460,822	150	481,012	116
375,892	100	415,360	75	442,858	151	461,182	160	481,464	102
376,454	102	416,080	78	443,212	186	461,496	156	481,874	134
376,910	109	416,880	73	443,572	145	461,856	149	482,744	121
377,470	123	417,760	59	443,896	152	462,216	151	483,994	139
377,922	115	418,480	62	444,246	121	462,608	149	485,234	155
378,432	130	419,360	67	444,642	151	462,962	148	486,608	102
378,990	148	420,080	66	445,002	153	463,286	155	487,848	103
379,450	135	420,880	60	445,358	133	463,646	155	488,966	122
380,010	132	421,760	48	445,676	127	463,996	148	490,214	109
380,462	148	422,480	42	446,036	151	464,392	157	491,456	105
380,972	124	423,360	48	446,432	157	464,752	133	492,828	101
381,530	132	424,056	32	446,782	122	465,074	139	494,068	69

Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)	Alter (ka)	Paläo- produktivität (gCm ⁻² y ⁻¹)
495,194	61	543,662	132	591,786	68
496,434	83	544,344	137	592,366	63
497,684	71	544,968	151	592,950	65
499,048	65	545,594	124	593,478	54
501,414	84	546,152	111	594,080	57
502,656	72	546,772	139	594,960	55
503,904	89	547,454	111	595,760	51
505,268	87	548,084	114	596,560	71
506,518	90	548,704	95	597,280	66
507,634	96	549,262	123	598,080	78
508,884	85	549,882	86	598,960	77
510,072	105	550,568	108	599,760	93
510,864	117	551,194	80	600,560	92
511,584	85	551,814	99	601,280	106
512,232	95	552,710	121	602,080	115
512,952	101	553,900	93	602,960	118
513,672	81	555,210	75	603,760	99
514,464	87	556,400	117	604,500	99
515,184	99	557,590	93	605,142	88
515,832	77	558,660	96	605,860	86
516,552	66	559,848	130	606,644	108
517,272	89	561,156	92	607,354	112
518,064	59	562,346	99	608,074	105
518,784	62	563,536	112	608,712	99
519,432	76	564,608	81	609,430	101
521,664	65	565,798	78	610,214	100
522,384	62	567,100	123	610,930	99
523,032	59	568,290	83	611,644	96
526,552	60	569,480	65	612,282	92
527,344	115	571,740	64	613,002	101
528,064	65	573,050	75	613,784	100
528,784	97	574,546	65	614,500	106
529,432	108	577,544	74	615,214	97
530,152	118	580,116	90		
530,944	119	580,696	91		
531,664	116	581,286	102		
532,384	122	581,808	103		
533,032	148	582,388	102		
533,752	130	583,036	118		
534,544	122	583,616	111		
535,264	123	584,196	112		
535,984	101	584,728	117		
536,632	99	585,308	112		
537,352	114	585,946	113		
538,124	104	586,536	124		
538,744	93	587,116	97		
539,368	134	587,640	102		
539,932	95	588,228	101		
540,552	119	588,866	107		
541,234	160	589,450	100		
541,854	125	590,036	93		
542,484	134	590,558	82		
543,042	155	591,140	78		

Tabelle A-12. Alter (ka), TOC Akkumulationsrate ($\text{gCcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$) im Site 1089.

Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate ($\text{gCcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate ($\text{gCcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate ($\text{gCcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate ($\text{gCcm}^{-2}\text{ky}^{-1}$)
100,164	0,034	160,814	0,044	224,14	0,031	284,642	0,062
101,188	0,027	161,514	0,042	225,188	0,036	285,225	0,074
102,128	0,027	162,134	0,046	225,85	0,045	285,705	0,051
103,064	0,027	162,68	0,055	226,554	0,045	286,294	0,041
103,904	0,037	163,28	0,057	227,33	0,04	286,825	0,044
104,774	0,039	163,89	0,054	227,96	0,039	287,305	0,042
105,524	0,041	164,55	0,051	228,454	0,038	287,895	0,034
106,112	0,053	165,154	0,059	229,23	0,045	288,48	0,037
106,658	0,048	165,7	0,061	229,86	0,053	289,24	0,027
107,132	0,057	166,3	0,056	230,214	0,048	289,93	0,035
107,652	0,055	166,91	0,052	231,34	0,054	290,55	0,047
108,224	0,077	167,562	0,06	231,948	0,055	291,31	0,044
108,754	0,066	168,126	0,057	232,662	0,047	291,93	0,041
109,288	0,07	168,636	0,058	233,242	0,057	292,69	0,055
109,786	0,056	169,206	0,056	233,958	0,052	293,38	0,055
110,346	0,057	169,766	0,057	234,602	0,051	294	0,047
112,38	0,057	170,392	0,055	235,188	0,052	294,76	0,071
112,946	0,042	170,956	0,045	235,898	0,045	295,38	0,058
113,604	0,032	171,466	0,045	236,482	0,041	296,072	0,081
114,35	0,035	172,084	0,044	237,192	0,044	296,435	0,105
115,054	0,037	172,596	0,047	237,944	0,038	296,765	0,108
115,778	0,038	173,222	0,044	238,736	0,025	297,165	0,101
116,446	0,035	173,792	0,043	239,704	0,023	297,488	0,102
117,206	0,031	174,306	0,034	241,464	0,023	297,89	0,104
118,032	0,028	174,878	0,043	242,338	0,018	298,255	0,105
118,734	0,025	175,448	0,05	243,126	0,023	298,585	0,092
119,154	0,028	176,076	0,05	244,094	0,024	298,98	0,097
119,328	0,024	176,646	0,051	244,886	0,024	299,308	0,095
119,536	0,026	177,158	0,05	245,832	0,025	299,712	0,084
119,87	0,022	177,728	0,05	246,666	0,03	300,075	0,1
120,442	0,023	178,308	0,05	247,414	0,029	300,398	0,088
121,554	0,023	178,946	0,047	248,322	0,029	300,8	0,09
122,694	0,025	179,526	0,044	249,068	0,037	301,127	0,087
123,718	0,027	180,052	0,047	249,976	0,04	301,526	0,093
124,474	0,026	180,626	0,048	250,806	0,041	301,89	0,081
125,116	0,025	181,196	0,055	251,554	0,04	302,216	0,077
125,81	0,024	181,834	0,059	252,478	0,039	302,622	0,076
126,45	0,029	182,414	0,057	253,252	0,039	302,946	0,069
127,152	0,028	182,994	0,053	254,204	0,026	303,342	0,071
127,934	0,027	183,474	0,056	255,09	0,033	303,712	0,066
128,64	0,03	183,984	0,062	255,9	0,033	304,096	0,035
129,35	0,034	184,55	0,067	256,906	0,032	305,162	0,021

Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)
129,99	0,031	185,066	0,066	257,734	0,033	306,036	0,02
130,7	0,036	185,58	0,073	258,762	0,033	307,096	0,025
134,945	0,042	186,044	0,067	263,148	0,056	308,062	0,025
135,625	0,042	186,56	0,071	263,624	0,057	308,936	0,027
136,238	0,042	187,126	0,069	264,162	0,05	310,002	0,033
136,918	0,056	187,636	0,06	264,748	0,05	310,868	0,029
137,598	0,048	188,264	0,046	265,224	0,055	311,936	0,034
138,346	0,043	188,89	0,05	265,814	0,048	312,902	0,031
139,036	0,052	189,58	0,042	266,294	0,048	313,776	0,035
139,65	0,043	190,34	0,041	266,824	0,059	314,842	0,032
140,338	0,04	191,034	0,043	267,414	0,05	315,708	0,028
141,02	0,039	191,73	0,035	267,894	0,051	316,772	0,027
141,776	0,037	192,35	0,044	268,478	0,05	317,742	0,028
142,466	0,042	193,04	0,033	268,962	0,048	318,616	0,025
143,08	0,041	193,804	0,033	269,494	0,044	319,676	0,023
143,768	0,048	194,712	0,023	270,078	0,047	320,548	0,026
144,448	0,052	195,852	0,022	270,562	0,048	321,612	0,024
145,196	0,045	196,878	0,018	271,148	0,054	322,582	0,024
145,876	0,04	198,014	0,021	271,624	0,059	323,448	0,02
146,488	0,043	199,262	0,017	272,162	0,064	324,516	0,021
147,168	0,044	200,402	0,018	272,748	0,072	325,386	0,023
147,848	0,044	201,542	0,02	273,227	0,075	326,452	0,025
148,596	0,035	202,568	0,019	273,97	0,072	327,422	0,024
149,276	0,037	203,698	0,022	274,56	0,073	328,288	0,02
149,888	0,037	204,998	0,023	275,043	0,069	329,356	0,018
150,554	0,048	206,264	0,022	275,628	0,072	330,226	0,021
151,204	0,038	207,528	0,024	276,16	0,071	331,292	0,02
151,912	0,039	208,672	0,02	276,642	0,057	332,256	0,022
152,562	0,047	209,936	0,02	277,225	0,073	333,128	0,024
153,154	0,047	211,328	0,018	277,705	0,076	334,072	0,037
153,796	0,039	212,598	0,021	278,294	0,08	334,386	0,074
154,446	0,038	213,864	0,016	278,825	0,076	334,778	0,072
155,162	0,046	215,128	0,015	279,305	0,075	335,132	0,08
155,812	0,043	216,222	0,016	279,895	0,075	335,832	0,1
156,392	0,046	217,23	0,016	280,373	0,075	336,154	0,112
157,024	0,038	218,314	0,018	280,958	0,077	336,542	0,107
157,654	0,047	219,206	0,019	281,495	0,069	336,892	0,115
158,348	0,051	220,294	0,022	281,973	0,062	337,214	0,121
158,984	0,049	221,18	0,023	282,56	0,069	337,602	0,128
159,554	0,049	222,166	0,028	283,043	0,07	337,916	0,132
160,184	0,05	223,254	0,031	284,16	0,06	338,308	0,125

Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)
338,658	0,125	380,01	0,08	437,502	0,118
338,976	0,123	380,462	0,091	437,858	0,121
339,365	0,122	380,972	0,074	438,212	0,121
339,684	0,125	381,53	0,081	438,536	0,112
340,08	0,108	381,99	0,077	438,896	0,112
340,47	0,108	382,55	0,087	439,282	0,112
340,828	0,101	383,002	0,084	439,642	0,109
341,26	0,1	383,51	0,08	440,002	0,108
341,616	0,114	384,07	0,07	440,324	0,124
341,97	0,117	384,53	0,077	440,676	0,174
342,4	0,115	385,084	0,065	441,072	0,129
342,796	0,101	385,542	0,061	441,432	0,132
343,15	0,1	386,064	0,057	441,782	0,153
343,58	0,098	386,758	0,057	442,106	0,158
343,938	0,098	387,324	0,051	442,466	0,146
344,37	0,099	388,018	0,051	442,858	0,131
344,766	0,093	388,592	0,054	443,212	0,167
345,12	0,09	389,222	0,059	443,572	0,123
345,55	0,091	389,918	0,053	443,896	0,132
345,908	0,086	390,484	0,07	444,246	0,102
346,34	0,089	391,178	0,057	444,642	0,128
346,73	0,098	391,744	0,043	445,002	0,132
347,088	0,088	392,66	0,033	445,358	0,114
347,52	0,092	393,88	0,029	445,676	0,106
347,87	0,089	394,87	0,026	446,036	0,129
348,31	0,069	396,08	0,023	446,432	0,138
348,7	0,092	397,08	0,021	446,782	0,104
349,058	0,089	398,18	0,02	447,142	0,108
349,49	0,07	399,39	0,02	447,466	0,115
349,84	0,076	400,39	0,019	447,824	0,118
350,48	0,059	401,6	0,019	448,212	0,112
351,17	0,051	402,59	0,018	448,572	0,107
351,79	0,053	403,7	0,02	448,932	0,093
352,55	0,058	404,91	0,02	449,246	0,087
353,17	0,06	405,9	0,022	449,606	0,077
353,93	0,061	407,12	0,019	450,002	0,097
354,62	0,08	408,08	0,024	450,358	0,102
355,24	0,063	408,88	0,032	450,712	0,111
356	0,058	409,76	0,028	451,036	0,122
356,62	0,068	410,48	0,029	451,396	0,117
357,38	0,068	411,36	0,03	451,782	0,122
358,07	0,063	412,08	0,032	452,142	0,103
358,69	0,064	412,88	0,029	452,502	0,098

Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)	Alter (ka)	TOC Akkumulationsrate (gCcm ⁻² ky ⁻¹)
359,45	0,072	413,76	0,028	452,824	0,111
360,05	0,085	414,48	0,03	453,176	0,122
360,61	0,084	415,36	0,03	453,572	0,13
361,12	0,089	416,08	0,031	453,932	0,134
361,572	0,078	416,88	0,029	454,282	0,126
362,134	0,082	417,76	0,024	454,606	0,132
362,59	0,066	418,48	0,026	454,966	0,128
363,15	0,083	419,36	0,028	455,358	0,145
363,654	0,092	420,08	0,028	455,712	0,14
364,112	0,08	420,88	0,026	456,072	0,155
364,67	0,069	421,76	0,022	456,396	0,149
365,13	0,085	422,48	0,021	456,746	0,145
365,69	0,095	423,36	0,023	457,142	0,124
366,194	0,098	424,056	0,023	457,502	0,128
366,652	0,095	424,616	0,03	457,858	0,13
367,21	0,071	425,232	0,034	458,176	0,122
367,67	0,065	425,736	0,041	458,538	0,105
368,224	0,088	426,286	0,039	458,646	0,111
368,734	0,091	426,902	0,051	458,926	0,107
369,19	0,106	427,462	0,052	459,032	0,105
369,75	0,097	428,022	0,048	459,392	0,125
370,104	0,077	428,526	0,052	459,716	0,128
370,562	0,058	429,086	0,056		
371,12	0,062	429,702	0,059		
371,832	0,082	430,258	0,061		
372,39	0,074	430,812	0,064		
372,85	0,08	431,316	0,07		
373,352	0,076	431,876	0,064		
373,914	0,085	432,492	0,063		
374,37	0,065	433,052	0,07		
374,93	0,082	433,612	0,069		
375,39	0,067	434,074	0,089		
375,892	0,059	434,426	0,111		
376,454	0,06	434,822	0,108		
376,91	0,064	435,182	0,104		
377,47	0,074	435,532	0,113		
377,922	0,069	435,856	0,109		
378,432	0,077	436,216	0,112		
378,99	0,09	436,608	0,113		
379,45	0,081	437,106	0,115		

Tabelle A-13. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Hexacosanolkonzentrationen im Site 1093.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	n-C _{26:0H} (µg/gTOC)
177	1093	B	2	H	3	102	104,5	2444	17,86		34
177	1093	B	2	H	4	82	84,5	2452	19,36		10
177	1093	B	2	H	5	2	4,5	2456	20,06		17
177	1093	B	2	H	5	82	84,5	2460	20,86		9
177	1093	B	2	H	6	2	2,5	2464	21,56		19
177	1093	A	3	H	3	62	64,5	2279	23		10
177	1093	A	3	H	4	2	4,5	2284	23,9		29
177	1093	A	3	H	4	142	144,5	2291	25,3		14
177	1093	A	3	H	5	82	84,5	2296	26,2		22
177	1093	A	3	H	5	142	144,5	2299	26,8		17
177	1093	A	3	H	6	62	64,5	2303	27,5		12
177	1093	A	3	H	6	142	144,5	2307	28,3		25
177	1093	C	3	H	2	62	64,5	2473	29,76		24
177	1093	C	3	H	3	62	64,5	2481	31,26		22
177	1093	C	3	H	4	62	64,5	2489	32,76		21
177	1093	C	3	H	5	142	144,5	2493	33,56		22
177	1093	C	3	H	5	82	84,5	2497	34,46		15
177	1093	A	4	H	3	82	84,5	2313	35,3		33
177	1093	A	4	H	4	2	4,5	2317	36		22
177	1093	A	4	H	4	82	84,5	2321	36,8		23
177	1093	A	4	H	5	82	84,5	2329	38,3		25
177	1093	F	1	H	2	42	44,5	5052	38,84		18
177	1093	F	1	H	3	22	24,5	5059	40,14		23
177	1093	F	1	H	3	82	84,5	5062	40,74		20
177	1093	F	1	H	3	122	124,5	5064	41,14		16
177	1093	C	4	H	4	2	4,5	5079	42,98		13
177	1093	C	4	H	4	82	84,5	5083	43,78		27
177	1093	C	4	H	5	2	4,5	5087	44,48		15
177	1093	C	4	H	5	42	44,5	5089	44,88		21
177	1093	A	12	H	4	142	144,5	5166	121,05	350,565	10
177	1093	A	12	H	5	2	4,5	5167	121,15	351,696	9
177	1093	A	12	H	5	102	104,5	5172	122,15	363	28
177	1093	A	12	H	5	142	144,5	5174	122,55	369,834	26
177	1093	A	12	H	6	40	42,5	5177	123,03	378,035	15
177	1093	A	12	H	6	82	85	5179	123,45	385,21	20
177	1093	A	12	H	6	122	124,5	5181	123,77	390,678	11
177	1093	B	12	H	2	62	64,5	5184	123,85	392,044	5
177	1093	B	12	H	2	122	124,5	5187	124,37	402,092	32
177	1093	A	13	H	1	82	84,5	5196	125,49	407,725	5

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	n-C _{26:OH} (µg/gTOC)
177	1093	A	13	H	1	102	104,5	5197	125,69	408,276	16
177	1093	A	13	H	1	120	122,5	5198	125,87	408,771	9
177	1093	A	13	H	2	42	44,5	5201	126,39	410,203	25
177	1093	A	13	H	2	62	64,5	5203	126,79	411,304	9
177	1093	A	13	H	2	142	144,5	5207	127,59	413,506	8
177	1093	A	13	H	3	20	22,5	5209	127,87	414,277	21
177	1093	A	13	H	4	2	4,5	5216	129,19	418,375	18
177	1093	A	13	H	4	22	24,5	5217	129,39	419,022	21
177	1093	A	13	H	4	42	44,5	5218	129,59	419,668	19
177	1093	A	13	H	4	82	84,5	3092	129,99	420,961	37
177	1093	A	13	H	4	102	104,5	3093	130,19	421,608	33
177	1093	A	13	H	5	2	4,5	3096	130,69	424,228	30
177	1093	A	13	H	5	22	24,5	3097	130,89	425,048	15
177	1093	A	13	H	5	122	124,5	3102	131,89	428,584	22
177	1093	A	13	H	6	42	44,5	3106	132,59	429,719	13
177	1093	A	13	H	6	82	84,5	3108	132,99	430,37	22
177	1093	B	13	H	3	42	44,5	3364	133,55	441,182	19
177	1093	B	13	H	3	82	84,5	3366	133,95	443,75	23
177	1093	B	13	H	3	122	124,5	3368	134,35	447,833	28
177	1093	B	13	H	4	2	4,5	3370	134,65		22
177	1093	B	13	H	4	42	44,5	3372	135,05		16
177	1093	B	13	H	4	82	84,5	3374	135,45		15
177	1093	B	13	H	5	2	4,5	3378	136,15		17
177	1093	B	13	H	5	42	44,5	3380	136,55		15
177	1093	B	13	H	5	82	84,5	3382	136,95		16
177	1093	B	13	H	5	122	124,5	3384	137,35		20

Tabelle A-14. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Brassicasterolkonzentrationen, 24-Methyl-5 α -cholest-E-en-3 β -olkonzentrationen im Site 1093.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Brassicasterol ($\mu\text{g/g TOC}$)	24-Methyl-5 α -cholest-22 E-en-3 β -ol ($\mu\text{g/g TOC}$)
177	1093	B	2	H	3	102	104,5	2444	17,86		15	22
177	1093	B	2	H	4	82	84,5	2452	19,36		4	na
177	1093	B	2	H	5	2	4,5	2456	20,06		9	20
177	1093	B	2	H	5	82	84,5	2460	20,86		9	17
177	1093	B	2	H	6	2	2,5	2464	21,56		5	11
177	1093	A	3	H	3	62	64,5	2279	23		20	37
177	1093	A	3	H	4	2	4,5	2284	23,9		19	46
177	1093	A	3	H	4	142	144,5	2291	25,3		11	11
177	1093	A	3	H	5	82	84,5	2296	26,2		18	27
177	1093	A	3	H	5	142	144,5	2299	26,8		15	29
177	1093	A	3	H	6	62	64,5	2303	27,5		15	38
177	1093	A	3	H	6	142	144,5	2307	28,3		1	na
177	1093	C	3	H	2	62	64,5	2473	29,76		10	10
177	1093	C	3	H	3	62	64,5	2481	31,26		9	15
177	1093	C	3	H	4	62	64,5	2489	32,76		11	15
177	1093	C	3	H	5	142	144,5	2493	33,56		4	12
177	1093	C	3	H	5	82	84,5	2497	34,46		14	21
177	1093	A	4	H	3	82	84,5	2313	35,3		13	11
177	1093	A	4	H	4	2	4,5	2317	36		9	9
177	1093	A	4	H	4	82	84,5	2321	36,8		16	16
177	1093	A	4	H	4	142	144,5	2324	37,4		13	14
177	1093	A	4	H	5	82	84,5	2329	38,3		10	9
177	1093	F	1	H	2	42	44,5	5052	38,84		14	12
177	1093	F	1	H	3	22	24,5	5059	40,14		15	13
177	1093	F	1	H	3	82	84,5	5062	40,74		15	15
177	1093	F	1	H	3	122	124,5	5064	41,14		15	12
177	1093	C	4	H	4	2	4,5	5079	42,98		13	9
177	1093	C	4	H	4	82	84,5	5083	43,78		14	18
177	1093	C	4	H	5	2	4,5	5087	44,48		11	7
177	1093	C	4	H	5	42	44,5	5089	44,88		11	10
177	1093	A	12	H	4	142	144,5	5166	121,05	350,565	22	9
177	1093	A	12	H	5	2	4,5	5167	121,15	351,696	8	6
177	1093	A	12	H	5	102	104,5	5172	122,15	363	na	na
177	1093	A	12	H	5	142	144,5	5174	122,55	369,834	na	na
177	1093	A	12	H	6	40	42,5	5177	123,03	378,035	7	6
177	1093	A	12	H	6	82	85	5179	123,45	385,21	6	6
177	1093	A	12	H	6	122	12,45	5181	123,77	390,678	na	na
177	1093	B	12	H	2	62	64,5	5184	123,85	392,044	7	6
177	1093	B	12	H	2	122	124,5	5187	124,37	402,092	4	na
177	1093	A	13	H	1	82	84,5	5196	125,49	407,725	1	na

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Brassicasterol (µg/g TOC)	24-Methyl- 5α-cholest- 22 E-en- 3β-ol (µg/gTOC)
177	1093	A	13	H	1	102	104,5	5197	125,69	408,276	na	na
177	1093	A	13	H	1	120	122,5	5198	125,87	408,771	15	11
177	1093	A	13	H	2	42	44,5	5201	126,39	410,203	na	na
177	1093	A	13	H	2	62	64,5	5203	126,79	411,304	3	na
177	1093	A	13	H	2	142	144,5	5207	127,59	413,506	7	5
177	1093	A	13	H	3	20	22,5	5209	127,87	414,277	na	na
177	1093	A	13	H	4	2	4,5	5216	129,19	418,375	14	17
177	1093	A	13	H	4	22	24,5	5217	129,39	419,022	na	na
177	1093	A	13	H	4	42	44,5	5218	129,59	419,668	16	17
177	1093	A	13	H	4	82	84,5	3092	129,99	420,961	na	na
177	1093	A	13	H	4	102	104,5	3093	130,19	421,608	14	20
177	1093	A	13	H	5	2	4,5	3096	130,69	424,228	na	na
177	1093	A	13	H	5	22	24,5	3097	130,89	425,048	15	13
177	1093	A	13	H	5	122	124,5	3102	131,89	428,584	na	na
177	1093	A	13	H	5	142	144,5	3103	132,59	428,905	18	23
177	1093	A	13	H	6	42	44,5	3106	132,59	429,719	18	13
177	1093	A	13	H	6	82	84,5	3108	132,99	430,37	na	na
177	1093	B	13	H	3	42	44,5	3364	133,55	441,182	20	15
177	1093	B	13	H	3	82	84,5	3366	133,95	443,75	17	9
177	1093	B	13	H	3	122	124,5	3368	134,35	447,833	20	10
177	1093	B	13	H	4	2	4,5	3370	134,65		20	9
177	1093	B	13	H	4	42	44,5	3372	135,05		16	9
177	1093	B	13	H	4	82	84,5	3374	135,45		20	8
177	1093	B	13	H	4	122	124,5	3376	135,85		20	10
177	1093	B	13	H	5	2	4,5	3378	136,15		19	7
177	1093	B	13	H	5	42	44,5	3380	136,55		18	7
177	1093	B	13	H	5	82	84,5	3382	136,95		16	6
177	1093	B	13	H	5	122	124,5	3384	137,35		22	9

Tabelle A-15. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), 23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -olkonzentrationen im Site 1093.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (μ g/gTOC)
177	1093	B	2	H	3	102	104,5	2444	17,86		35
177	1093	B	2	H	4	82	84,5	2452	19,36		15
177	1093	B	2	H	5	2	4,5	2456	20,06		11
177	1093	B	2	H	5	82	84,5	2460	20,86		11
177	1093	B	2	H	6	2	2,5	2464	21,56		17
177	1093	A	3	H	3	62	64,5	2279	23		12
177	1093	A	3	H	4	2	4,5	2284	23,9		45
177	1093	A	3	H	4	142	144,5	2291	25,3		22
177	1093	A	3	H	5	82	84,5	2296	26,2		22
177	1093	A	3	H	5	142	144,5	2299	26,8		23
177	1093	A	3	H	6	62	64,5	2303	27,5		19
177	1093	A	3	H	6	142	144,5	2307	28,3		18
177	1093	C	3	H	2	62	64,5	2473	29,76		33
177	1093	C	3	H	3	62	64,5	2481	31,26		24
177	1093	C	3	H	4	62	64,5	2489	32,76		42
177	1093	C	3	H	5	142	144,5	2493	33,56		44
177	1093	C	3	H	5	82	84,5	2497	34,46		16
177	1093	A	4	H	3	82	84,5	2313	35,3		28
177	1093	A	4	H	4	2	4,5	2317	36		36
177	1093	A	4	H	4	82	84,5	2321	36,8		15
177	1093	A	4	H	4	142	144,5	2324	37,4		21
177	1093	A	4	H	5	82	84,5	2329	38,3		20
177	1093	F	1	H	2	42	44,5	5052	38,84		7
177	1093	F	1	H	3	22	24,5	5059	40,14		10
177	1093	F	1	H	3	82	84,5	5062	40,74		12
177	1093	F	1	H	3	122	124,5	5064	41,14		6
177	1093	C	4	H	4	2	4,5	5079	42,98		21
177	1093	C	4	H	4	82	84,5	5083	43,78		na
177	1093	C	4	H	5	2	4,5	5087	44,48		12
177	1093	C	4	H	5	42	44,5	5089	44,88		13
177	1093	A	12	H	4	142	144,5	5166	121,05	350,565	6
177	1093	A	12	H	5	2	4,5	5167	121,15	351,696	34
177	1093	A	12	H	5	102	104,5	5172	122,15	363	na
177	1093	A	12	H	5	142	144,5	5174	122,55	369,834	na
177	1093	A	12	H	6	40	42,5	5177	123,03	378,035	na
177	1093	A	12	H	6	82	85	5179	123,45	385,21	na
177	1093	A	12	H	6	122	12,45	5181	123,77	390,678	na
177	1093	B	12	H	2	62	64,5	5184	123,85	392,044	13
177	1093	B	12	H	2	122	124,5	5187	124,37	402,092	12

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-en-3 β -ol+24-Ethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol (μ g/gTOC)
177	1093	A	13	H	1	82	84,5	5196	125,49	407,725	5
177	1093	A	13	H	1	102	104,5	5197	125,69	408,276	na
177	1093	A	13	H	1	120	122,5	5198	125,87	408,771	34
177	1093	A	13	H	2	42	44,5	5201	126,39	410,203	na
177	1093	A	13	H	2	62	64,5	5203	126,79	411,304	10
177	1093	A	13	H	2	142	144,5	5207	127,59	413,506	24
177	1093	A	13	H	3	20	22,5	5209	127,87	414,277	na
177	1093	A	13	H	4	2	4,5	5216	129,19	418,375	18
177	1093	A	13	H	4	22	24,5	5217	129,39	419,022	na
177	1093	A	13	H	4	42	44,5	5218	129,59	419,668	23
177	1093	A	13	H	4	82	84,5	3092	129,99	420,961	na
177	1093	A	13	H	4	102	104,5	3093	130,19	421,608	28
177	1093	A	13	H	5	2	4,5	3096	130,69	424,228	na
177	1093	A	13	H	5	22	24,5	3097	130,89	425,048	32
177	1093	A	13	H	5	122	124,5	3102	131,89	428,584	na
177	1093	A	13	H	5	142	144,5	3103	132,59	428,905	13
177	1093	A	13	H	6	42	44,5	3106	132,59	429,719	9
177	1093	A	13	H	6	82	84,5	3108	132,99	430,37	na
177	1093	B	13	H	3	42	44,5	3364	133,55	441,182	12
177	1093	B	13	H	3	82	84,5	3366	133,95	443,75	24
177	1093	B	13	H	3	122	124,5	3368	134,35	447,833	28
177	1093	B	13	H	4	2	4,5	3370	134,65		58
177	1093	B	13	H	4	42	44,5	3372	135,05		22
177	1093	B	13	H	4	82	84,5	3374	135,45		22
177	1093	B	13	H	4	122	124,5	3376	135,85		30
177	1093	B	13	H	5	2	4,5	3378	136,15		21
177	1093	B	13	H	5	42	44,5	3380	136,55		14
177	1093	B	13	H	5	82	84,5	3382	136,95		24
177	1093	B	13	H	5	122	124,5	3384	137,35		21

Tabelle A-16. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, Alter (ka), Summenkonzentrationen der Fettsäuren (Summe FS (C_{24:0}, C_{25:0}, C_{26:0}, C_{27:0}), Summenkonzentrationen der *n*-Alkane (*n*-C₂₇, *n*-C₂₉, *n*-C₃₁) im Site 1093.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)	Summe <i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1093	B	2	H	3	2	4,5	2440	17,06		na	24
177	1093	B	2	H	3	102	104,5	2444	17,86		266	24
177	1093	B	2	H	4	2	4,5	2448	18,56		106	25
177	1093	B	2	H	4	82	84,5	2452	19,36		na	7
177	1093	B	2	H	5	2	4,5	2456	20,06		153	12
177	1093	B	2	H	6	2	2,5	2464	21,56		na	13
177	1093	A	3	H	3	62	64,5	2279	23		203	21
177	1093	A	3	H	4	2	4,5	2284	23,9		171	12
177	1093	A	3	H	4	142	144,5	2291	25,3		185	11
177	1093	A	3	H	5	82	84,5	2296	26,2		229	15
177	1093	A	3	H	5	142	144,5	2299	26,8		na	11
177	1093	A	3	H	6	62	64,5	2303	27,5		na	20
177	1093	A	3	H	6	142	144,5	2307	28,3		na	18
177	1093	C	3	H	1	142	144,5	2469	29,06		na	37
177	1093	C	3	H	2	62	64,5	2473	29,76		na	23
177	1093	C	3	H	2	142	144,5	2477	30,56		204	20
177	1093	C	3	H	3	62	64,5	2481	31,26		165	39
177	1093	C	3	H	3	142	144,5	2485	32,06		245	17
177	1093	C	3	H	4	62	64,5	2489	32,76		369	/
177	1093	C	3	H	5	142	144,5	2493	33,56		na	12
177	1093	C	3	H	5	82	84,5	2497	34,46		178	18
177	1093	A	4	H	3	82	84,5	2313	35,3		191	22
177	1093	A	4	H	4	2	4,5	2317	36		158	22
177	1093	A	4	H	4	82	84,5	2321	36,8		131	38
177	1093	A	4	H	4	142	144,5	2324	37,4		154	33
177	1093	A	4	H	5	82	84,5	2329	38,3		140	36
177	1093	F	1	H	2	42	44,5	5052	38,84		150	21
177	1093	F	1	H	3	22	24,5	5059	40,14		194	19
177	1093	F	1	H	3	82	84,5	5062	40,74		212	25
177	1093	F	1	H	3	122	124,5	5064	41,14		151	43
177	1093	C	4	H	2	2	4,5	5071	41,48		147	22
177	1093	C	4	H	3	82	84,5	5075	42,28		153	27
177	1093	C	4	H	4	2	4,5	5079	42,98		187	18
177	1093	C	4	H	4	82	84,5	5083	43,78		na	22
177	1093	C	4	H	5	2	4,5	5087	44,48		221	17
177	1093	C	4	H	5	42	44,5	5089	44,88		215	29
177	1093	A	12	H	4	142	144,5	5166	121,05	350,565	133	36
177	1093	A	12	H	5	2	4,5	5167	121,15	351,696	257	10
177	1093	A	12	H	5	42	44,5	5169	121,55	369,834	na	17

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)	Summe n-Alkane (n-C ₂₇ , n-C ₂₉ , n-C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1093	A	12	H	5	82	84,5	5171	121,95		na	61
177	1093	A	12	H	5	102	104,5	5172	122,15	363	156	68
177	1093	A	12	H	5	122	124,5	5173	122,35		na	23
177	1093	A	12	H	5	142	144,5	5174	122,55	369,834	189	51
177	1093	A	12	H	6	16	20	5176	122,79	373,934	181	46
177	1093	A	12	H	6	40	42,5	5177	123,03	378,035	177	14
177	1093	A	12	H	6	82	85	5179	123,45	385,21	227	23
177	1093	B	12	H	2	62	64,5	5184	123,85	392,044	161	17
177	1093	B	12	H	2	122	124,5	5187	124,37	402,092	168	36
177	1093	B	12	H	2	142	144,5	5188	124,57		na	24
177	1093	B	12	H	3	0	2,5	5189	124,65		na	16
177	1093	B	12	H	3	40	42,5	5191	125,05		na	13
177	1093	A	13	H	1	102	104,5	5197	125,69	408,276	87	55
177	1093	A	13	H	1	120	122,5	5198	125,87	408,771	245	22
177	1093	A	13	H	2	42	44,5	5201	126,39	410,203	89	34
177	1093	A	13	H	2	62	64,5	5203	126,79	411,304	na	37
177	1093	A	13	H	2	122	124,5	5206	127,39	412,955	173	/
177	1093	A	13	H	2	142	144,5	5207	127,59	413,506	207	18
177	1093	A	13	H	3	20	22,5	5209	127,87	414,277	175	18
177	1093	A	13	H	3	60	62,5	5211	128,27	415,402	171	17
177	1093	A	13	H	3	102	105	5213	128,69		na	11
177	1093	A	13	H	4	2	4,5	5216	129,19	418,375	202	14
177	1093	A	13	H	4	22	24,5	5217	129,39	419,022	197	15
177	1093	A	13	H	4	42	44,5	5218	129,59	419,668	235	20
177	1093	A	13	H	4	82	84,5	3092	129,99	420,961	38	20
177	1093	A	13	H	4	102	104,5	3093	130,19	421,608	345	28
177	1093	A	13	H	4	122	124,5	3094	130,39		na	34
177	1093	A	13	H	5	2	4,5	3096	130,69	424,228	95	26
177	1093	A	13	H	5	102	104,5	3101	131,69	418,268	270	20
177	1093	A	13	H	5	122	124,5	3102	131,89	428,584	na	40
177	1093	A	13	H	6	142	144,5	3103	132,09	428,905	671	33
177	1093	A	13	H	6	2	4,5	3104	132,19		na	38
177	1093	A	13	H	6	42	44,5	3106	132,59	429,719	190	35
177	1093	A	13	H	6	82	84,5	3108	132,99	430,37	143	83
177	1093	B	13	H	3	42	44,5	3364	133,55	441,182	211	42
177	1093	B	13	H	3	82	84,5	3366	133,95	443,75	92	78
177	1093	B	13	H	3	122	124,5	3368	134,35	447,833	115	100
177	1093	B	13	H	4	2	4,5	3370	134,65		108	97
177	1093	B	13	H	4	42	44,5	3372	135,05		80	64
177	1093	B	13	H	4	82	84,5	3374	135,45		100	65
177	1093	B	13	H	4	122	124,5	3376	135,85		149	62
177	1093	B	13	H	5	2	4,5	3378	136,15		87	52
177	1093	B	13	H	5	42	44,5	3380	136,55		104	63

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	Alter (ka)	Summe FS (C _{24:0} , C _{25:0} , C _{26:0} , C _{27:0}) (µg/g TOC)	Summe <i>n</i> -Alkane (<i>n</i> -C ₂₇ , <i>n</i> -C ₂₉ , <i>n</i> -C ₃₁) (µg/g TOC)
177	1093	B	13	H	5	82	84,5	3382	136,95		155	53
177	1093	B	13	H	5	122	124,5	3384	137,35		115	55

Tabelle A-17. Probenbezeichnung gemäß der ODP-Nomenklatur (Wefer et al. 1998), AWI-No., mcd, S2(mgHC/gSediment), HI(mgHC/gSediment), Tmax (°C) im Site 1093.

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	B	2	H	3	2	4,5	2440	17,06	0,62	155,62	372
177	1093	B	2	H	3	22	24,5	2441	17,26	0,66	162,56	376
177	1093	B	2	H	3	62	64,5	2442	17,46	0,59	153,01	371
177	1093	B	2	H	3	82	84,5	2444	17,86	0,64	170,53	383
177	1093	B	2	H	3	102	104,5	2445	18,06	0,62	166,44	419
177	1093	B	2	H	3	122	124,5	2446	18,26	0,24	108,01	348
177	1093	B	2	H	3	122	124,5	2447	18,46	0,58	169,29	420
177	1093	B	2	H	4	142	144,5	2448	18,56	0,24	106,57	398
177	1093	B	2	H	4	2	4,5	2449	18,76	0,15	76,80	369
177	1093	B	2	H	4	22	24,5	2450	18,96	0,16	86,81	364
177	1093	B	2	H	4	42	44,5	2451	19,16	0,21	94,59	382
177	1093	B	2	H	4	62	64,5	2452	19,36	0,16	81,18	383
177	1093	B	2	H	4	82	84,5	2453	19,56	0,12	66,01	384
177	1093	B	2	H	4	102	104,5	2454	19,76	0,22	93,14	389
177	1093	B	2	H	5	122	124,5	2455	19,96	0,23	100,83	399
177	1093	B	2	H	5	142	144,5	2456	20,06	0,29	107,77	419
177	1093	B	2	H	5	2	4,5	2457	20,26	0,3	129,42	406
177	1093	B	2	H	5	22	24,5	2458	20,46	0,29	119,64	408
177	1093	B	2	H	5	42	44,5	2459	20,66	0,32	126,38	422
177	1093	B	2	H	5	62	64,5	2460	20,86	0,38	138,28	422
177	1093	B	2	H	5	122	124,5	2462	21,26	0,14	87,45	322
177	1093	B	2	H	5	142	144,5	2463	21,46	0,23	88,56	392
177	1093	B	2	H	6	2	4,5	2464	21,56	0,21	90,21	383
177	1093	B	2	H	6	102	104,5	2461	21,6	0,28	120,64	413
177	1093	B	2	H	6	22	24,5	2465	21,76	0,25	104,87	385
177	1093	B	2	H	6	42	44,5	2466	21,96	0,32	114,45	406
177	1093	B	2	H	6	62	64,5	2467	22,16	0,37	125,68	424
177	1093	A	3	H	2	142	144,5	2275	22,3	0,31	136,68	340
177	1093	A	3	H	3	2	4,5	2276	22,4	0,5	145,86	426
177	1093	A	3	H	3	22	24,5	2277	22,6	0,44	149,61	424
177	1093	A	3	H	3	42	44,5	2278	22,8	0,42	199,71	416
177	1093	A	3	H	3	62	64,5	2279	23	0,34	132,66	393
177	1093	A	3	H	3	83	86	2280	23,21	0,36	159,01	408
177	1093	A	3	H	3	103	106	2281	23,41	0,49	163,06	416
177	1093	A	3	H	3	122	124,5	2282	23,6	0,43	133,42	413
177	1093	A	3	H	3	142	144,5	2283	23,8	0,34	169,41	408
177	1093	A	3	H	4	2	4,5	2284	23,9	0,36	147,72	416
177	1093	A	3	H	4	22	24,5	2285	24,1	0,29	114,49	396

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	A	3	H	4	42	44,5	2286	24,3	0,2	88,30	391
177	1093	A	3	H	4	62	64,5	2287	24,5	0,34	123,37	420
177	1093	A	3	H	4	82	84,5	2288	24,7	0,46	157,21	428
177	1093	A	3	H	4	102	104,5	2289	24,9	0,49	191,18	424
177	1093	A	3	H	4	122	124,5	2290	25,1	0,17	91,99	321
177	1093	A	3	H	5	2	4,5	2292	25,4	0,3	111,86	397
177	1093	A	3	H	5	22	24,5	2293	25,6	0,22	88,07	392
177	1093	A	3	H	5	42	44,5	2294	25,8	0,2	80,39	385
177	1093	A	3	H	5	62	64,5	2295	26	0,23	87,42	400
177	1093	A	3	H	5	82	84,5	2296	26,2	0,18	85,23	328
177	1093	A	3	H	5	102	104,5	2297	26,4	0,24	88,53	404
177	1093	A	3	H	5	122	124,5	2298	26,6	0,28	100,43	421
177	1093	A	3	H	5	142	144,5	2299	26,8	0,41	122,28	427
177	1093	A	3	H	6	2	4,5	2300	26,9	0,22	88,64	393
177	1093	A	3	H	6	22	24,5	2301	27,1	0,21	79,61	388
177	1093	A	3	H	6	42	44,5	2302	27,3	0,28	102,00	405
177	1093	A	3	H	6	62	64,5	2303	27,5	0,23	105,89	340
177	1093	A	3	H	6	82	84,5	2304	27,7	0,18	86,21	368
177	1093	A	3	H	6	102	104,5	2305	27,9	0,13	62,02	351
177	1093	A	3	H	6	122	124,5	2306	28,1	0,13	64,94	347
177	1093	A	3	H	6	142	144,5	2307	28,3	0,24	109,79	388
177	1093	A	3	H	7	2	4,5	2308	28,4	0,23	103,28	394
177	1093	A	3	H	7	22	24,5	2309	28,6	0,27	127,06	349
177	1093	C	3	H	1	122	124,5	2468	28,86	0,25	101,42	383
177	1093	C	3	H	1	142	144,5	2469	29,06	0,38	122,66	404
177	1093	C	3	H	2	2	4,5	2470	29,16	0,36	127,16	399
177	1093	C	3	H	2	22	24,5	2471	29,36	0,44	133,98	403
177	1093	C	3	H	2	42	44,5	2472	29,56	0,44	138,32	400
177	1093	C	3	H	2	62	64,5	2473	29,76	0,5	166,94	400
177	1093	C	3	H	2	82	84,5	2474	29,96	0,41	147,54	397
177	1093	C	3	H	2	102	104,5	2475	30,16	0,6	167,22	409
177	1093	C	3	H	2	122	124,5	2476	30,36	0,63	176,92	420
177	1093	C	3	H	2	142	144,5	2477	30,56	0,56	183,37	405
177	1093	C	3	H	2	2	4,5	2478	30,66	0,46	171,07	405
177	1093	C	3	H	3	22	24,5	2479	30,86	0,41	153,90	399
177	1093	C	3	H	3	42	44,5	2480	31,06	0,28	135,99	391
177	1093	C	3	H	3	62	64,5	2481	31,26	0,19	115,78	349
177	1093	C	3	H	3	82	84,5	2482	31,46	0,26	151,60	382
177	1093	C	3	H	3	102	104,5	2483	31,66	0,24	136,44	377
177	1093	C	3	H	3	122	124,5	2484	31,86	0,23	133,18	376
177	1093	C	3	H	3	142	144,5	2485	32,06	0,24	133,56	377
177	1093	C	3	H	4	2	4,5	2486	32,16	0,2	134,14	371
177	1093	C	3	H	4	22	24,5	2487	32,36	0,25	132,07	385
177	1093	C	3	H	4	42	64,5	2488	32,56	0,36	159,50	405

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	C	3	H	4	62	64,5	2489	32,76	0,43	171,38	417
177	1093	C	3	H	4	82	84,5	2490	32,96	0,45	169,94	423
177	1093	C	3	H	4	102	104,5	2491	33,16	0,31	136,87	423
177	1093	C	3	H	4	12	124,5	2492	33,36	0,16	110,12	371
177	1093	C	3	H	4	142	144,5	2493	33,56	0,15	116,37	357
177	1093	C	3	H	5	22	24,5	2494	33,86	0,13	86,32	348
177	1093	C	3	H	5	42	44,5	2495	34,06	0,24	103,05	395
177	1093	C	3	H	5	62	64,5	2496	34,26	0,28	114,99	397
177	1093	C	3	H	5	82	84,5	2497	34,46	0,45	132,59	400
177	1093	A	4	H	3	22	24,5	2310	34,7	0,35	96,58	387
177	1093	A	4	H	3	42	44,5	2311	34,9	0,34	121,34	391
177	1093	A	4	H	3	62	64,5	2312	35,1	0,58	139,46	390
177	1093	A	4	H	3	82	84,5	2313	35,3	0,58	151,36	397
177	1093	A	4	H	3	102	104,5	2314	35,5	0,56	140,28	385
177	1093	A	4	H	3	122	124,5	2315	35,7	0,55	126,58	386
177	1093	A	4	H	3	142	144,5	2316	35,9	0,58	125,05	391
177	1093	A	4	H	4	2	4,5	2317	36	0,62	135,76	387
177	1093	A	4	H	4	22	24,5	2318	36,2	0,54	121,27	374
177	1093	A	4	H	4	42	44,5	2319	36,4	0,59	140,24	375
177	1093	A	4	H	4	62	64,5	2320	36,6	0,62	147,37	379
177	1093	A	4	H	4	82	84,5	2321	36,8	0,58	133,43	358
177	1093	A	4	H	4	102	104,5	2322	37	0,58	146,43	376
177	1093	A	4	H	4	122	124,5	2323	37,2	0,5	137,17	373
177	1093	A	4	H	4	142	144,5	2324	37,4	0,57	143,87	383
177	1093	A	4	H	5	2	4,5	2325	37,5	0,46	136,99	382
177	1093	A	4	H	5	22	24,5	2326	37,7	0,56	134,49	373
177	1093	A	4	H	5	42	44,5	2327	37,9	0,54	132,94	376
177	1093	A	4	H	5	62	64,5	2328	38,1	0,53	122,97	377
177	1093	A	4	H	5	82	84,5	2329	38,3	0,41	111,38	366
177	1093	F	1	H	2	2	4,5	5050	38,44	0,41	104,25	371
177	1093	A	4	H	5	102	104,5	2330	38,5	0,49	115,00	372
177	1093	F	1	H	2	22	24,5	5051	38,64	0,51	112,78	372
177	1093	A	4	H	5	122	124,5	2331	38,7	0,53	127,19	374
177	1093	F	1	H	2	42	44,5	5052	38,84	0,5	128,83	369
177	1093	F	1	H	2	62	64,5	5053	39,04	0,54	125,61	363
177	1093	F	1	H	2	82	84,5	5054	39,24	0,49	124,21	367
177	1093	F	1	H	2	102	104,5	5055	39,44	0,47	115,74	372
177	1093	F	1	H	2	122	124,5	5056	39,64	0,45	116,37	373
177	1093	F	1	H	2	142	144,5	5057	39,84	0,47	120,95	371
177	1093	F	1	H	3	2	4,5	5058	39,94	0,45	123,09	373
177	1093	F	1	H	3	22	24,5	5059	40,14	0,45	121,82	384
177	1093	F	1	H	3	42	44,5	5060	40,34	0,35	115,74	372
177	1093	F	1	H	3	62	64,5	5061	40,54	0,48	132,12	367
177	1093	F	1	H	3	82	84,5	5062	40,58	0,45	119,43	371

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	F	1	H	3	102	104,5	5063	40,74	0,48	138,89	368
177	1093	F	1	H	3	122	124,5	5064	40,78	0,25	70,60	373
177	1093	F	1	H	3	142	144,5	5065	40,94	0,4	112,49	372
177	1093	C	4	H	2	62	64,5	5066	40,98	0,52	148,15	373
177	1093	C	4	H	2	82	84,5	5067	41,14	0,37	136,88	368
177	1093	C	4	H	2	102	104,5	5068	41,18	0,48	171,80	372
177	1093	C	4	H	2	122	124,5	5069	41,34	0,29	86,52	376
177	1093	C	4	H	2	142	144,5	5070	41,38	0,39	116,77	374
177	1093	C	4	H	3	2	4,5	5071	41,48	0,42	118,51	372
177	1093	C	4	H	3	22	22,5	5072	41,68	0,48	138,53	372
177	1093	C	4	H	3	42	44,5	5073	41,88	0,55	154,15	371
177	1093	C	4	H	3	62	64,5	5074	42,08	0,49	135,58	375
177	1093	C	4	H	3	82	84,5	5075	42,28	0,47	133,56	369
177	1093	C	4	H	3	102	104,5	5076	42,48	0,54	120,81	371
177	1093	C	4	H	3	122	124,5	5077	42,68	0,56	128,85	361
177	1093	C	4	H	3	142	144,5	5078	42,88	0,54	126,11	372
177	1093	C	4	H	4	2	4,5	5079	42,98	0,59	128,99	370
177	1093	C	4	H	4	22	24,5	5080	43,18	0,51	110,61	372
177	1093	C	4	H	4	42	44,5	5081	43,38	0,61	122,17	370
177	1093	C	4	H	4	62	64,5	5082	43,58	0,6	129,93	373
177	1093	C	4	H	4	82	84,5	5083	43,78	0,56	131,09	371
177	1093	C	4	H	4	102	104,5	5084	43,98	0,45	112,61	373
177	1093	C	4	H	4	122	124,5	5085	44,18	0,46	122,57	368
177	1093	C	4	H	4	142	144,5	5086	44,38	0,59	134,24	370
177	1093	C	4	H	5	2	4,5	5087	44,48	0,46	122,15	364
177	1093	C	4	H	5	22	24,5	5088	44,68	0,44	116,25	365
177	1093	A	5	H	3	142	144,5	2332	44,78	0,51	147,14	370
177	1093	A	5	H	4	2	4,5	2333	44,88	0,49	132,08	362
177	1093	C	4	H	5	42	44,5	5089	44,88	0,5	122,94	367
177	1093	A	12	H	4	119,5	122	5165	120,82	0,48	127,66	386
177	1093	A	12	H	4	142	144,5	5166	121,05	0,9	196,08	409
177	1093	A	12	H	5	2	4,5	5167	121,15	0,95	209,25	418
177	1093	A	12	H	5	22	24,5	5168	121,35	0,7	165,88	424
177	1093	A	12	H	5	42	44,5	5169	121,55	0,69	169,12	421
177	1093	A	12	H	5	62	64,5	5170	121,75	0,37	102,78	403
177	1093	A	12	H	5	82	84,5	5171	121,95	0,48	125,33	407
177	1093	A	12	H	5	102	104,5	5172	122,15	0,32	108,11	368
177	1093	A	12	H	5	122	124,5	5173	122,35	0,29	97,97	396
177	1093	A	12	H	6	142	144,5	5174	122,55	0,42	122,09	401
177	1093	A	12	H	6	0	2,5	5175	122,63	0,58	133,03	414
177	1093	A	12	H	6	16	20	5176	122,79	0,67	153,32	415
177	1093	A	12	H	6	40	42,5	5177	123,03	0,86	186,55	415
177	1093	A	12	H	6	62	64,5	5178	123,25	0,53	140,96	411
177	1093	A	12	H	6	82	85	5179	123,45	0,42	115,07	403

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	A	12	H	6	42	44,5	5183	123,57	0,17	82,13	363
177	1093	A	12	H	6	100	102,5	5180	123,63	0,46	125,34	398
177	1093	B	12	H	2	62	64,5	5184	123,77	0,15	92,59	364
177	1093	A	12	H	6	122	124,5	5181	123,85	0,16	105,96	363
177	1093	B	12	H	2	82	84,5	5185	123,97	0,1	66,23	355
177	1093	A	12	H	6	142	144,5	5182	124,05	0,16	128,00	368
177	1093	B	12	H	2	102	104,5	5186	124,17	0,1	75,76	360
177	1093	B	12	H	2	122	124,5	5187	124,37	0,09	76,27	354
177	1093	B	12	H	2	142	144,5	5188	124,57	0,09	73,17	361
177	1093	B	12	H	3	0	2,5	5189	124,65	0,13	43,77	369
177	1093	B	12	H	3	20	22,5	5190	124,85	0,07	51,09	361
177	1093	B	12	H	3	40	42,5	5191	125,05	0,11	84,62	368
177	1093	B	12	H	3	60	62,5	5192	125,25	0,1	68,03	360
177	1093	B	12	H	3	80B	82,5	5193	125,45	0,15	85,71	372
177	1093	A	13	H	1	B82	84,5	5196	125,49	0,09	55,90	363
177	1093	B	12	H	3	122B	124,5	5194	125,65	0,16	82,05	385
177	1093	A	13	H	1	102	104,5	5197	125,69	0,14	89,17	379
177	1093	A	13	H	1	120	122,5	5195	125,87	0,15	69,44	371
177	1093	A	13	H	1	140	142,5	5199	126,07	0,2	101,52	379
177	1093	A	13	H	2	2	4,5	5200	126,19	0,2	111,73	379
177	1093	A	13	H	2	22	24,5	5201	126,39	0,25	102,04	408
177	1093	A	13	H	2	42	44,5	5202	126,59	0,1	59,17	368
177	1093	A	13	H	2	62	64,5	5203	126,79	0,12	63,83	371
177	1093	A	13	H	2	82	84,5	5204	126,99	0,14	65,73	381
177	1093	A	13	H	2	102	104,5	5205	127,19	0,13	67,36	390
177	1093	A	13	H	2	122	124,5	5206	127,39	0,31	126,02	423
177	1093	A	13	H	2	142	144,5	5207	127,59	0,25	99,60	414
177	1093	A	13	H	3	0	2,5	5208	127,67	0,34	139,34	416
177	1093	A	13	H	3	20	22,5	5209	127,87	0,37	145,10	419
177	1093	A	13	H	3	40	42,5	5210	128,07	0,42	138,61	416
177	1093	A	13	H	3	60	62,5	5211	128,27	0,34	130,27	419
177	1093	A	13	H	3	80	82,5	5212	128,47	0,36	125,00	418
177	1093	A	13	H	3	102	105	5213	128,69	0,35	113,64	418
177	1093	A	13	H	3	120	122,5	5214	128,87	0,28	106,87	417
177	1093	A	13	H	3	140	142,5	5215	129,07	0,53	187,94	421
177	1093	A	13	H	4	2	4,5	5216	129,19	0,44	149,15	420
177	1093	A	13	H	4	22	24,5	5217	129,39	0,42	144,83	419
177	1093	A	13	H	4	42	44,5	5218	129,59	0,39	130,43	417
177	1093	A	13	H	4	62	64,5	5219	129,79	0,36	114,29	418
177	1093	A	13	H	4	82	84,5	3092	129,99	0,33	142,24	421
177	1093	A	13	H	4	102	104,5	3093	130,19	0,41	152,99	417
177	1093	A	13	H	4	122	124,5	3094	130,39	0,37	142,86	418
177	1093	A	13	H	4	142	144,5	3095	130,59	0,4	145,45	415
177	1093	A	13	H	5	42	4,5	3096	130,69	0,35	135,66	416

Leg	Site	Hole	Core	CT	Section	Top	Bottom	AWI-No.	mcd	S2 (mgHC/ gSediment)	HI (mgHC/ gSediment)	Tmax (°C)
177	1093	A	13	H	5	22	24,5	3097	130,89	0,36	149,38	422
177	1093	A	13	H	5	42	44,5	3098	131,09	0,3	124,48	416
177	1093	A	13	H	5	62	64,5	3099	131,29	0,2	94,79	390
177	1093	A	13	H	5	82	84,5	3100	131,49	0,2	92,59	421
177	1093	A	13	H	5	102	104,5	3101	131,69	0,32	133,33	419
177	1093	A	13	H	5	122	124,5	3102	131,89	0,41	175,21	415
177	1093	A	13	H	5	142	144,5	3103	132,09	0,41	146,95	404
177	1093	A	13	H	6	2	4,5	3104	132,19	0,33	129,41	384
177	1093	A	13	H	6	22	24,5	3105	132,39	0,55	158,05	380
177	1093	A	13	H	6	42	44,5	3106	132,59	0,73	177,62	387
177	1093	A	13	H	6	62	64,5	3107	132,79	0,64	135,02	382
177	1093	A	13	H	6	82	84,5	3108	132,99	0,55	138,19	385
177	1093	A	13	H	6	102	104,5	3109	133,19	0,58	147,96	380
177	1093	B	13	H	3	42	44,5	3364	133,55	0,59	138,82	379
177	1093	B	13	H	3	62	64,5	3365	133,75	0,56	120,95	377
177	1093	B	13	H	3	82	84,5	3366	133,95	0,5	112,01	382
177	1093	B	13	H	3	102	104,5	3367	134,15	0,5	116,82	374
177	1093	B	13	H	3	122	124,5	3368	134,35	0,51	124,88	378

Tabelle A-18. Flächen die zur Ermittlung der Regressionsgeraden $C_{26:0}$ / $C_{28:0}$ herangezogen wurden.

AWI-Nr.	mcd	Fläche 26:0	Fläche 28:0	AWI-Nr.	mcd	Fläche 26:0	Fläche 28:0
89-44	18	167	99	89-366	34,56	305	192
89-56	18,59	194	158	89-374	35,37	246	154
89-60	18,8	92	91	89-391	37,03	155	92
89-70	19,3	50	19	89-408	38,74	53	44
89-72	19,4	147	124	89-424	40,08	117	71
89-76	19,59	73	80	89-432	41,17	100	37
89-80	19,8	48	41	89-444	42,38	123	91
89-82	19,9	148	140	89-462	44,17	270	180
89-84	20	67	35	89-470	44,97	140	102
89-86	20,09	73	80	89-478	45,78	150	145
89-90	20,3	56	42	89-497	47,67	91	43
89-92	20,4	55	38	89-509	48,88	118	82
89-96	20,59	45	30	89-520	49,97	229	130
89-03	21	64	57	89-541	52,06	199	125
89-09	21,6	252	164	89-557	53,67	224	163
89-13	22	213	146	89-568	54,76	138	67
89-14	22,01	135	79	89-592	57,19	250	176
89-65	26,1	96	72	89-600	57,99	317	246
89-87	27,2	157	111	89-614	59,38	219	149
89-99	27,81	260	205	89-634	61,39	123	104
89-108	28,69	230	148	89-640	61,99	70	56
89-122	30,09	342	244	89-648	62,78	106	73
89-129	30,8	106	111	89-670	64,99	440	307
89-342	32,69	401	244	89-708	68,83	164	101
89-137	33,76	238	184	89-720	70,04	373	245

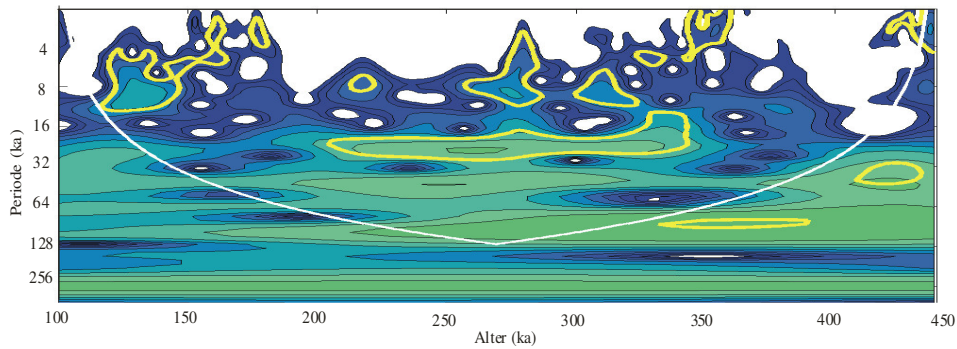


Abb. A-1. Lokale Wavelet-Power-Spektren der S2-Werte im untersuchten Zeitintervall (Site1089) unter Verwendung des Morlet-Wavelet (Torrence & Compo 1998). Die linke Achse gibt die Periode in tausend Jahren an. Die untere Achse stellt die Zeitachse dar. Die weiße durchgezogene Linie beschreibt den Einflusskegel (Cone of influence, COI). Werte außerhalb des COI können durch Randeffekte beeinflusst sein. Die Farbskalierung gibt den Logarithmus der Wavelet-Power in Einheiten der Varianz an, wobei blau niedrige und grün hohe Werte bedeuten. In den weißen Flächen ist die Wavelet-Power gleich Null. Innerhalb der gelbumrandeten Zonen weisen die detektierten Perioden ein 95%iges Signifikanzlevel gegen das rote Rauschen auf; lediglich die daraus resultierenden Periodizitäten (F-Test Werte > 0.95) wurden interpretiert.

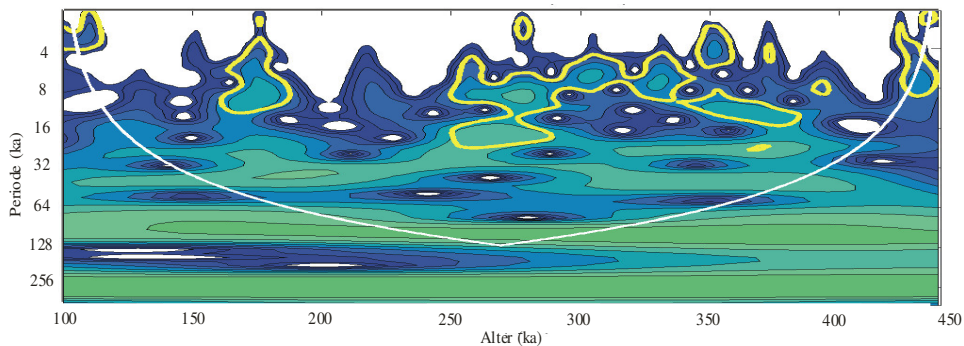


Abb. A-2. Lokale Wavelet-Power-Spektren der C_{37:2}- und C_{37:3}- Alkenonkonzentrationen im untersuchten Zeitintervall (Site1089). Weitere Erklärungen unter Abb. A-1.

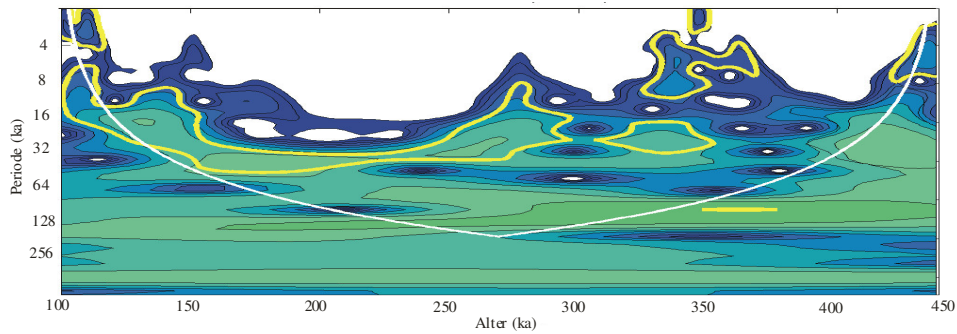


Abb. A-3. Lokale Wavelet-Power-Spektren der Brassicasterol-Konzentrationen ($28^{\Delta 5,22}$) im untersuchten Zeitintervall (Site1089). Weitere Erklärungen unter A-1.

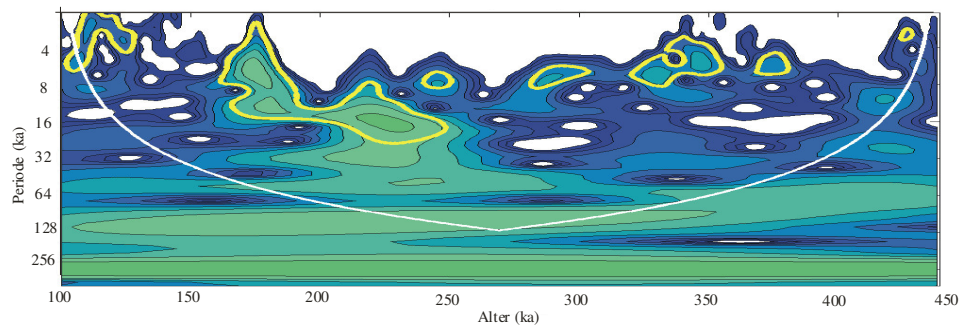


Abb. A-4. Lokale Wavelet-Power-Spektren der Alkenon-Paläooberflächenwassertemperaturen (SST) im untersuchten Zeitintervall (Site1089). Weitere Erklärungen unter Abb. A-1.

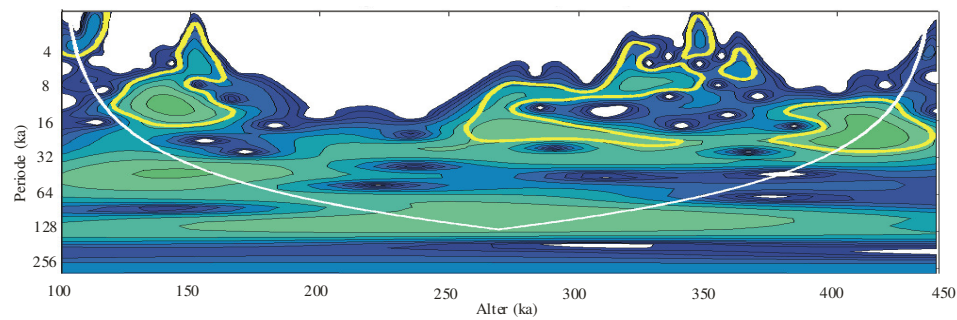


Abb. A-5. lokale Wavelet-Power-Spektren der $29^{\Delta 22}/29^{\Delta 5,22}$ -Summenkonzentrationen (23,24-Dimethyl-5 α -cholest-22E-3 β -ol/Stigmasterol) im untersuchten Zeitintervall (Site1089). Weitere Erklärungen unter Abb. A-1.

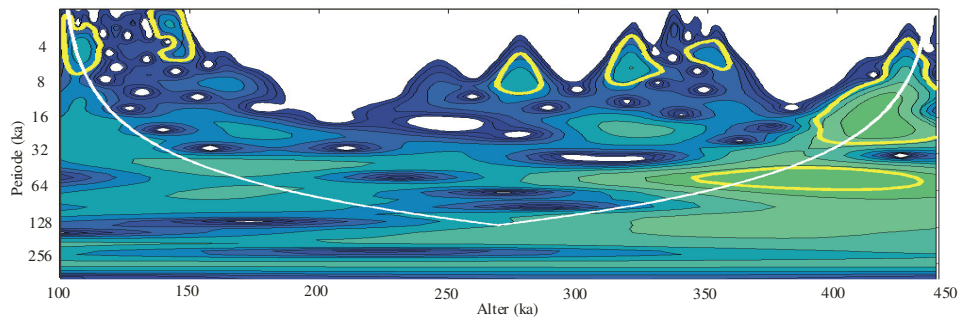


Abb. A-6. lokale Wavelet-Power-Spektren der n -Alkansummenkonzentrationen (n -C₂₇, n -C₂₉, n -C₃₁) im untersuchten Zeitintervall (Site 1089). Weitere Erklärungen unter Abb. A-1.

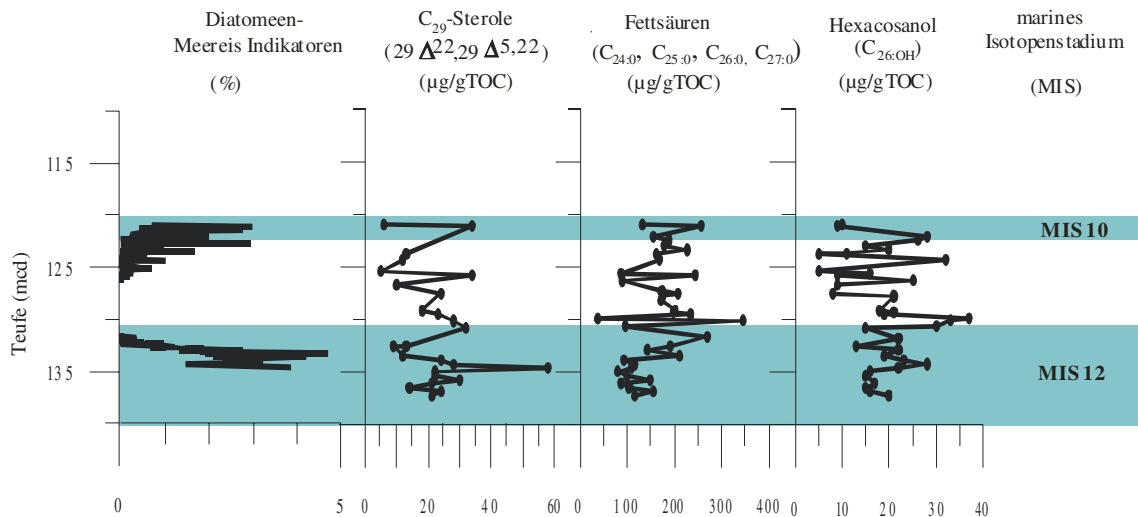


Abb. A-7. Diatomeen-Meereis-Indikatoren (*Kunz-Pirring et al. 2002*), Summenkonzentration der C₂₉-Sterole ($29\Delta^{22}+29\Delta^{5,22}$), Summenkonzentrationen der Fettsäuren (C_{24:0}, C_{25:0}, C_{26:0}, C_{27:0}), Hexacosanolkonzentrationen (C_{26:OH}) im Site 1093 in Abhängigkeit von der Teufe (mcd). Die grauen Balken kennzeichnen die Glaziale, die MIS-Kennzeichnung erfolgte nach *Kunz-Pirring et al. (2002)*.

