

**Zeitliche Variationen im peruanischen Küstenauftrieb  
seit dem Letzten Glazialen Maximum –  
Steuerung durch globale Klimadynamik**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
Anja Wolf

Kiel 2002

## DANKSAGUNG

Bei Herrn Prof. Dr. W.-Chr. Dullo möchte ich mich für die Vergabe und Betreuung der vorliegenden Arbeit bedanken, ebenso bei Herrn Prof. Dr. W. Kuhnt und Herrn Dr. habil. W. Brenner, die sich freundlicherweise für die Übernahme der Zweitgutachten bereit erklärten.

Ein lieber Dank gebührt meinen Kollegen Natasja Brughmans, Carolyn Wegner, Nicole Biebow, Arne Sturm, Reinhard Kozdon, Dirk Nürnberg und Joachim Schönfeld. Bei Problemen jeglicher Art standen sie mir mit hilfreichen Tipps und praktischer Unterstützung zur Seite. Unsere Gespräche und Diskussionsrunden lieferten immer wieder neue Anregungen und schafften Perspektiven.

Ganz herzlich möchte ich mich bei den Technikern des GEOMAR Bettina Domeyer, Anke Bleyer, Jutta Pagel, Silvia Koch, Sebastian Fessler und Lulzim Haxhiaj bedanken, ohne deren Hilfe und Unterstützung viele Labormessungen nicht möglich gewesen wären.

Ein Dankeschön gilt auch der Besatzung des Forschungsschiffs SONNE sowie allen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen, die zur erfolgreichen Beprobung der peruanischen Auftriebsfazies während der SO147-Fahrt beitrugen. An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei Angelika Bruns, Lutz Reinhardt, Andreas Lückge und Michael Wiedicke-Hombach (Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe BGR Hannover); Katja Schaber und Bert Rein (Johannes Gutenberg-Universität Mainz), Philipp Boening, (Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg) und Jens Wunderlich (Universität Rostock) bedanken. Nur durch den unkomplizierten und regen Austausch von Proben, Daten und Interpretationshypothesen konnte der jetzige Wissensstand erreicht werden.

Für die liebevolle Unterstützung meiner Familie kann ich mich nicht oft genug bedanken. Allen Freunden einen lieben Dank für die steten Aufmunterungen.

Finanziell unterstützt wurde diese Arbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung – Projekt ALPAKKA.

## INHALTSVERZEICHNIS

### Kurzfassung

### Abstract

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Verbreitung und Bedeutung von Küstenauftriebsgebieten.....	1
1.2	Beschreibung der Auftriebszirkulation.....	2
1.3	Sedimentation im Auftriebsgebiet .....	3
1.4	Paläoproduktivitätsproxies – Parameter für Rekonstruktionen .....	5
1.4.1	TOC-Konzentration .....	6
1.4.2	Opalkonzentration .....	6
1.4.3	Karbonatkonzentration .....	7
1.4.4	Verhältnis von Karbonat zu TOC .....	8
1.4.5	Chlorinkonzentration .....	9
<b>2</b>	<b>Regionale Gegebenheiten .....</b>	<b>10</b>
2.1	Atmosphärische Zirkulation und Klima.....	10
2.2	Hydrographische Zirkulation .....	10
2.2.1	Oberflächenströmung .....	10
2.2.2	Tiefenströmung.....	11
2.3	Bathymetrie und Geologie .....	12
2.4	Das Auftriebsgebiet vor der Küste Perus.....	13
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>15</b>
3.1	Material.....	15
3.2	Geochemische Untersuchungen .....	16
3.3	Sedimentologische Untersuchungen .....	17
3.4	Messung stabiler Sauerstoff-Isotope.....	18

---

<b>3.5</b>	<b>Altersmodelle .....</b>	<b>18</b>
<b>3.6</b>	<b>Statistische Datenaufbereitung .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Oberflächenproben als Schlüssel zur Paläorekonstruktion .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Sedimentverteilungskarten.....</b>	<b>21</b>
4.1.1	Ergebnisse.....	24
4.1.2	Auswertung.....	25
<b>4.2</b>	<b>Bezug zur Wassertiefe und geographischen Position der Oberflächenproben .....</b>	<b>28</b>
4.2.1	Ergebnisse.....	29
4.2.2	Auswertung.....	32
<b>4.3</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>34</b>
4.3.1	Differenzierung der verschiedenen Faziesbereiche .....	34
4.3.2	Beschreibung der Auftriebsedimente und ihrer Produktivitätsmerkmale .....	38
4.3.3	Auswertung.....	41
<b>4.4</b>	<b>Einschätzung der Merkmale in Bezug auf Paläo-Rekonstruktionen .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>Sedimentkerne aus dem Auftriebsgebiet.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Kernlokationen und Lithologie.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse der Laboranalysen.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b>Stratigraphische Einordnung der Sedimentkerne .....</b>	<b>54</b>
5.4.1	Altersmodell für den Kern SO147-106KL .....	55
5.4.2	Altersmodell für den Kern SO147-4SL.....	57
5.4.3	Altersmodell für den Kern SO147-41SL.....	58
<b>5.5</b>	<b>Sedimentkerne als Paläo-Archive.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Schwankungen in der Produktivität des Küstenauftriebs.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1</b>	<b>Rekonstruktion der Auftriebsproduktivität anhand von Proxiedaten .....</b>	<b>61</b>
6.1.1	SO147-106KL .....	61
6.1.2	SO147-4SL .....	63
6.1.3	SO147-41SL .....	64



---

<b>6.2</b>	<b>Glaziale/interglaziale Produktivitätsschwankungen.....</b>	<b>65</b>
<b>6.3</b>	<b>Betrachtung der Auftriebsproduktivität in definierten Zeitscheiben – vom Letzten Glazialen Maximum bis heute.....</b>	<b>67</b>
6.3.1	Letztes Glaziales Maximum (22 bis 15 kyr BP).....	67
6.3.2	Termination I (15 bis 10 kyr BP).....	68
6.3.3	Holozän (10 kyr BP bis heute) .....	68
<b>6.4</b>	<b>Zyklische Variationen der Paläoproduktivität – Überlieferung kurzskaliger Klimaschwankungen .....</b>	<b>69</b>
6.4.1	Ergebnisse.....	70
6.4.2	Auswertung.....	72
<b>6.5</b>	<b>Überlieferung des El Niño-Signals in den Auftriebsedimenten.....</b>	<b>73</b>
6.5.1	Beschreibung von El Niño und ENSO .....	73
6.5.2	El Niño-Zyklizität in den Produktivitätsproxies der Auftriebsfazies .....	74
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>81</b>

**Tabellenverzeichnis**

**Abbildungsverzeichnis**

**Anhang**

## KURZFASSUNG

Die bedeutendsten Küstenauftriebsgebiete erstrecken sich entlang der Westflanken der Kontinente, wo küstenparallele Winde die Ozeanzirkulation beeinflussen. Im Gegensatz zu anderen Gebieten, vollzieht sich vor Peru der Auftrieb nährstoffreichen Tiefenwassers ganzjährig. Paläoozeanographische Rekonstruktionen werden hier durch extrem hohe Sedimentationsraten organischen Materials am Meeresboden begünstigt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden quartäre Sedimente untersucht, die während der SONNE-147-Fahrt vor der Küste Perus beprobt wurden. Die Untersuchungen umfassten eine Bestimmung der TC-, TOC-, N-, Karbonat-, Opal- und Chlorin-Konzentrationen im Sediment sowie deren Korngrößenzusammensetzung. Über die Analyse von Oberflächenproben konnten typische Sedimentationsmuster für das peruanische Auftriebsgebiet definiert werden. Eine statistische Analyse der Messwerte brachte genauere Erkenntnisse zur Beziehung zwischen den einzelnen Proxy-Daten und deren Bedeutung für Paläo-Rekonstruktionen.

Die Rekonstruktion der Auftriebsproduktivität basiert auf drei Sedimentkernen, in denen unterschiedliche Zeitabschnitte überliefert sind: 20,8 bis 17,2 kyr BP (*SO147-41SL*); 16,2 bis 1,5 kyr BP (*SO147-106KL*) und 10,4 bis 0,8 kyr BP (*SO147-4SL*). Die zeitlichen Variationen in den gemessenen Proxy-Daten geben Auskunft über Veränderungen der Auftriebsintensität seit dem Letzten Glazialen Maximum. Für die glaziale Epoche (*SO147-41SL*) und das Späte Holozän (*SO147-106KL*) kann eine erhöhte Produktivität verzeichnet werden, die an einen intensivierten Küstenauftrieb infolge gesteigerter Atmosphärenzirkulation gekoppelt ist. Intervalle kalt-ariden Klimas wie bei 8,2 kyr BP oder während der Jüngeren Dryas sind in reduzierten Produktivitätswerten der Auftriebssedimente überliefert. In Kern *SO147-106KL* werden die Signale der Paläoproduktivität teilweise vom linearen Trend des deglazialen Meeresspiegelanstiegs überlagert, an der küstennahen Kernstation *SO147-4SL* vom erhöhten Eintrag terrigenen Materials.

Über Spektralanalysen konnten zyklische Variationen in den Produktivitätswerten sichtbar gemacht werden. Markante Perioden liegen bei 1500, 1000, 590, 570, 380, 333, 314, 280, 242, 218, 157, 32, 23, 20, 17 und 11 Jahren. Diese sind nachweislich an solar gesteuerte Klimaschwankungen gekoppelt. Kleinerskalige Zyklen zwischen 7 und 14 Jahren markieren in den Auftriebssedimenten die Überlieferung von El Niño.

## ABSTRACT

The major coastal upwelling regions are situated along the west coasts of continents where alongshore trade winds influence the ocean circulation. In contrast to other upwelling areas, the Peruvian coast is characterized by a permanent upwelling throughout the year. The extreme high sedimentation rates in this area are favourable for paleo-oceanographic reconstructions.

Within this study Quaternary sediments recovered during the SONNE-147-cruise were analysed with different approaches. Grain size distributions and geochemical contents of TC, TOC, N, carbonate, biogenic silica and chlorines were determined to examine changes in sedimentary composition. By analysing surface samples, sedimentary patterns in the upwelling area could be defined. A statistical approach was used to get better insight in the relations between the different proxy data and their importance for paleo-reconstructions.

The reconstruction of upwelling productivity is based on three sediment cores recording different times: 20,8 to 17,2 kyr BP (*SO147-41SL*); 16,2 to 1,5 kyr BP (*SO147-106KL*) and 10,4 to 0,8 kyr BP (*SO147-4SL*). The temporal variations of measured proxy data give information on shifts in paleoproductivity defining the pattern of upwelling since the Last Glacial Maximum. An increased productivity is shown for the glacial period (*SO147-41SL*) and the late Holocene epoch (*SO147-106KL*) where intensified atmospheric circulation pattern result in strengthened coastal upwelling. Intervals of cold-arid climate like the prominent “8,2 kyr BP – event” and the Younger Dryas are indicated by reduced productivity values in the upwelling sediments. In core *SO147-106KL* the signals of paleoproductivity are partly overlapped by the linear trend of deglacial sea level rise, in the nearshore core *SO147-4SL* by a heightened input of terrigenous material.

Using spectral analysis, cyclic variations of 1500, 1000, 590, 570, 380, 333, 314, 280, 242, 218, 157, 32, 23, 20, 17 and 11 years were examined. Those are related to global climatic variability induced by changes in solar radiation. Smaller cycles, between 7 and 14 years, are attributed to El Niño activity.

# 1 EINLEITUNG

Um den Einstieg in das Themengebiet zu erleichtern, sollen im Vorab ein paar einleitende Gedanken zur Bedeutung und Verbreitung von Küstenauftriebsgebieten sowie deren Charakteristika gegeben werden.

## 1.1 *Verbreitung und Bedeutung von Küstenauftriebsgebieten*

Die größten Küstenauftriebsgebiete der Erde erstrecken sich entlang der Westflanken der Kontinente, in den *eastern boundary currents* des Atlantiks und Pazifiks, wo äquatorgerichtete Winde parallel zur Küste verlaufen. Diese nehmen zusammengefasst eine Fläche von 500.000 km<sup>2</sup> ein, bei 10.000 km kummulativer Länge und einer durchschnittlichen Breite von 50 km (BATURIN 1983). Trotz der vergleichsweise geringen Flächenausbreitung, nur 0,14 % der globalen Meeresbedeckung (BATURIN 1983), mißt man den Auftriebsgebieten im globalen Kontext große Bedeutung bei:

- Jährlich werden rund 200.000 km<sup>3</sup> Wasser vom Auftrieb erfasst, mehr als der Ausstrom aller Flüsse weltweit (RYTHER 1969, BURKOV 1972).
- In den Oberflächenwassermassen sorgt der Auftrieb von Tiefenwasser nicht nur für negative Temperaturanomalien, sondern auch für erhöhte Nährstoffgehalte (BOGOYAVLENSKY & SHISHKINA 1971, CALVERT & PRICE 1971). Der daraus resultierende biologische Effekt ist u. a. für die regionale Fischereiwirtschaft von großer Bedeutung (HARTLINE 1981, WALSH 1981).
- Die gesteigerte Bioproduktion in der euphotischen Zone bewirkt hohe Sedimentationsraten von organischem Material am Meeresboden. Die abgelagerten Sedimente erlauben so stratigraphische Untersuchungen und Paläo-Rekonstruktionen in höchster zeitlicher Auflösung.
- Für den globalen Kohlenstoff-Kreislauf spielt der in den Auftriebsgebieten stattfindende Austausch von CO<sub>2</sub> zwischen Ozean und Atmosphäre eine entscheidende Rolle. Über die Photosynthese der im Oberflächenwasser lebenden Organismen wird atmosphärisches CO<sub>2</sub> in den Ozean transportiert; BERGER et al. (1989) spricht in diesem Zusammenhang von einer „biologischen Pumpe“. Ein umgekehrter CO<sub>2</sub>-Transfer, vom Ozean in die Atmosphäre, wird von der „physikalischen Pumpe“ angetrieben. Dieser Prozess beschreibt die Erwärmung des aufgetriebenen kalten, CO<sub>2</sub>-reichen Tiefenwassers an der Meeresoberfläche, wo-

bei  $\text{CO}_2$  an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Menge an  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre wird somit maßgeblich von der Intensität und biologischen Produktivität des Auftriebsgeschehens beeinflusst. Auf die Bewertung von  $\text{CO}_2$  als Treibhausgas und dessen Einfluss auf das globale Klima soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Es sei auf BARNOLA et al. (1987), BROECKER (1994), HOUGHTON et al. (1996), MANN et al. (1998) bzw. SIGMAN & BOYLE (2000) verwiesen.

## 1.2 Beschreibung der Auftriebszirkulation

Als Küstenauftrieb, *upwelling*, bezeichnet man die vertikale Aufwärtsbewegung von kaltem, nährstoffreichem Tiefenwasser, welche aus Interaktionen atmosphärischer Winde, küstennaher Meeresströmungen und der Coriolis-Kraft resultiert (GUNTHER 1936, HART & CURIE 1960, WOOSTER & REID 1963, SMITH 1983). Letztgenannte bewirkt, dass wind-induzierter Stress an der Meeresoberfläche durch eine Strömung orthogonal zur vorherrschenden Windrichtung ausgeglichen wird (EKMAN 1905).

Ein dreidimensionales Modell (Abb. 1.1) wird benötigt, um den Auftriebsprozess in seinen Grundzügen zu verdeutlichen (SVERDRUP et al. 1942):

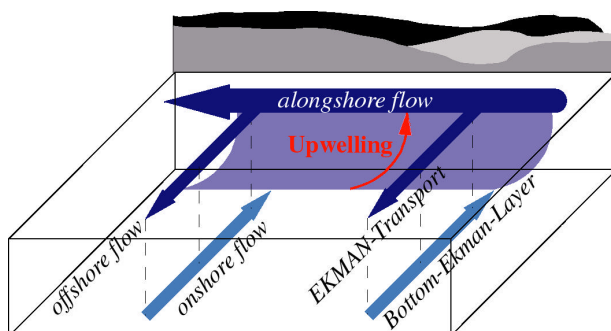


Abb. 1.1 Dreidimensionales upwelling-Modell.

In den Auftriebsgebieten bewirken küstenparallele Winde einen Transport des Oberflächenwassers in Richtung des Windes (*alongshore*) sowie infolge der Coriolis-Kraft seewärtig (*offshore*, *Ekman transport*). An Letztgenannten ist ein landwärts gerichteter Ausgleichstrom am Meeresboden gekoppelt (*onshore*, *bottom Ekman layer*). Das abtransportierte Oberflächenwasser wird durch den Auftrieb von Tiefenwasser, *upwelling*, ersetzt.

Die lokalen Zirkulationsmuster in den einzelnen Auftriebsgebieten werden in hohem Maße von der Morphologie des Untergrundes bestimmt. So ist beispielweise die Auftriebszelle im Bereich des steilen Schelfs vor Peru näher an der Küste gelegen als auf dem weiten, flachen Schelf vor NW-Afrika (SMITH 1983). Durch Messungen von

Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Kontinentalhänge Oregons, NW-Afrikas und Perus (SMITH 1983) konnten weitere Charakteristika herausgearbeitet werden:

- In allen Regionen ist der küstenparallele *alongshore*-Transport des Oberflächenwassers stärker als der *offshore*-Ekman-Transport, was bedeutet, dass das Tiefenwasser während seines Auftriebs auch größere Distanzen *alongshore* zurücklegt.
- In allen drei Gebieten existiert ein polwärts gerichteter Unterstrom, dessen Zentrum im Bereich der Schelfkante liegt. Für das Auftriebsgeschehen ist dieser von zentraler Bedeutung - als Quelle des auftreibenden Tiefenwassers und als Faktor, der die Sedimentation einer *upwelling*-Fazies erlaubt oder verhindert. Bei Kontakt des Unterstroms mit dem Meeresboden werden feine Sedimentpartikel aufgewirbelt, mit der Strömung wegtransportiert und weit entfernt von ihrer eigentlichen Herkunft abgelagert (KARLIN 1980). Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten können auch größere Sedimentpartikel umgelagert werden.
- Die Oberflächenzirkulationen sind in allen untersuchten Gebieten vergleichbar. Unterschiede in den Strömungsmustern treten nur in tiefergelegenen Bereichen auf. Für den flachen Schelf vor Afrika findet das oben beschriebene 3-D-Modell seine Anwendung, d. h. mit einem äquator-gerichteten *alongshore*-Strom, einem *offshore*-Transport im *surface-Ekman-layer* sowie einem landwärtigen Ausgleichstrom im *bottom-Ekman-layer* (MITTELSTAEDT et al. 1975, SMITH 1983). An den steileren Schelfen vor Oregon und Peru ist der Transport im *bottom-Ekman-layer* entgegen dem Idealmodell seewärts gerichtet, beeinflusst durch den im Bereich der Schelfkante liegenden, küstenparallelen Unterstrom. Der *onshore*-gerichtete Ausgleichstrom ist in diesen Regionen direkt unterhalb des *surface-Ekman-layers* zu finden. Sein Maximum liegt vor Oregon zwischen 40 m und 100 m Wassertiefe, vor Peru zwischen 60 m und 120 m (SMITH 1983).

### **1.3 Sedimentation im Auftriebsgebiet**

Sedimente verschiedenster Auftriebsgebiete zeigen trotz unterschiedlicher morphologischer und ozeanographischer Gegebenheiten gleiche Sedimentstrukturen, Texturen, chemische bzw. physikalische Eigenschaften. Durch ihre Charakteristika grenzen sich in hohem Maße von anderen marinen Ablagerungen ab.

Der Nährstoffreichtum in den Oberflächenwassermassen der Auftriebsgebiete führt zu

erhöhter biologischer Primärproduktion im Bereich der euphotischen Zone (RYTHER 1969, WALSH 1981). Die hohen Akkumulationsraten von organischem Material am Meeresboden sind von großem Vorteil für die Überlieferung des ozeanographischen Signals in den Sedimenten. Diese sind im Vergleich zu anderen marinen Ablagerungen angereichert an organischem Kohlenstoff (*TOC, total organic carbon*), biogenem Opal, Chlorinen, Phosphorit und anderen assoziierten Elementen wie Mo, Ni, Zn, Cd und U. Schwankungen in den Konzentrationen der organischen Bestandteile reflektieren Variationen in der Intensität und Produktivität des Küstenauftriebs. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Menge an organischem Material, die den Meeresboden erreicht und sedimentiert wird, nur einen minimalen Rest der ursprünglichen Primärproduktion im Oberflächenwasser darstellt. Ein großer Teil wird während des Sinkprozesses remineralisiert. So zeigten Experimente mit Sedimentfallen, dass während des Absinkens etwa 90 Prozent der Primärproduktion in den obersten 1000 m der Wassersäule recycelt werden (SUESS 1980). In den hochproduktiven Küstenauftriebsgebieten ist die Remineralisation jedoch um die Hälfte niedriger als im offenen Ozean (EPPLEY & PETERSON 1979). Während vor Peru etwa 20–60 % der organischen Biomasse aus dem Oberflächenwasser eine Wassertiefe von 100 m erreichen, sind es in den neritischen Zonen der Ozeane nur 15–35 % (SUESS & THIEDE 1983). Auch nach der Sedimentation des organischen Materials am Meeresboden können Alterationen infolge Temperatur- und Druckveränderungen sowie durch Interaktionen mit dem Porenwasser der Sedimente auftreten. Der Erhalt und die Überlieferung des organischen Materials können jedoch durch bestimmte Faktoren positiv beeinflusst werden:

- Ein schnelles Absinken der organischen Partikel in Form von **Kotpillen** (*fecal pellets*) grenzt die Remineralisation in der Wassersäule stark ein (HONJO 1976). Kotpillen erreichen Sinkraten von 1700m/Tag (DUNBAR & BERGER 1981), während das organische Material in Form von „marinem Schnee“ nur 95 Meter pro Tag absinkt (SHANKS & TRENT 1980).
- Eine hohe Produktivität im Oberflächenwasser und das Absinken großer Massen organisch gebundenen Kohlenstoffs senken die Konzentration von gelöstem Sauerstoff in der Wassersäule. Dies führt zur Ausbildung einer **Sauerstoffminimumzone** (*OMZ, oxygen minimum zone*) mit Sauerstoffgehalten kleiner 0,5 ml/l im Bereich des Schelfs und oberen Kontinentalhangs. Nach DEMAISON & MOORE (1980) bleibt unter anoxischen Bedingungen ( $O_2$ -Konzentration kleiner 0,5 ml/l) mehr organisches Material erhalten als in dys-

aeroben (0,5 – 1,0 ml/l O<sub>2</sub>) oder oxischen (größer 1,0 ml/l O<sub>2</sub>) Milieus.

- Hohe **Akkumulationsraten** reduzieren die Zeit, in der das organische Material ungeschützt mikrobakterieller Zersetzung an der Sedimentoberfläche ausgeliefert ist (HEATH 1977, MÜLLER & SUESS 1979, FROEHLICH et al. 1979, LERMAN 1979).

Außere Bedingungen erlauben nicht immer und nicht überall eine über große Zeitintervalle reichende Archivierung des *upwelling*-Signals. Steil abfallende Schelfplattformen, ein hoher Terrigeneintrag durch Flüsse oder Wind, starke Bodenströmungen, Bioturbationen durch benthische Fauna am Meeresboden sowie weitflächige Erosionen infolge Transgressions- und Regressionszyklen können die Überlieferung der Auftriebsfazies stark einschränken. Gute Voraussetzungen für den Erhalt des Produktivitätssignals bieten hingegen Sedimente der Sauerstoffminimumzone. Die anoxischen Bedingungen in dieser Zone begrenzen benthische Aktivitäten bzw. Bioturbationen am Meeresboden auf ein Minimum und unterstützen den Erhalt des organischen Materials sowie der primären Sedimentstrukturen. Die feinlaminierten Sedimentsequenzen ermöglichen so hochauflösende stratigraphische Untersuchungen.

#### ***1.4 Paläoproduktivitätsproxies – Parameter für Rekonstruktionen***

Wie schon angesprochen, reflektieren Wechsel in der Zusammensetzung der Sedimente Änderungen in der Produktivität des Küstenauftriebs. Diese Variationen können mit Hilfe verschiedenster *Proxies* rekonstruiert werden. Aussagen zur Paläoproduktivität erlauben die Konzentrationen von organischem Kohlenstoff (MÜLLER & SUESS 1979, SARNTHEIN et al. 1982, 1988), biogenem Opal (MORTLOCK et al. 1991, SCHNEIDER et al. 1997), biogenem Karbonat (RÜHLEMANN et al. 1996, VAN KREVELD et al. 1996), biogenem Barium (NÜRNBERG et al. 1997, BONN et al. 1998, KLUMP 1999) sowie stabile Kohlenstoffisotope planktischer (KROON & GANSSEN 1989, STEENS et al. 1992) und benthischer Foraminiferen (MACKENSEN et al. 1993, MACKENSEN & BICKERT 1999). Oberflächenwassertemperaturen, welche ebenso die Intensität des Auftriebs kalter Wassermassen reflektieren, können über Messungen stabiler Sauerstoffisotope in planktischen Foraminiferen (STEENS et al. 1992, MARCHANT et al. 1998) bzw. über U<sup>K</sup>37-Alkenone (ROSELL-MELÉ et al. 1995, MÜLLER et al. 1998) abgeschätzt werden. Im Folgenden werden die Proxies beleuchtet, die in der vorliegenden Arbeit zur Rekonstruktion herangezogen wurden.



### 1.4.1 TOC-Konzentration

Die meisten Kalkulationen zur Auftriebsintensität bzw. -produktivität basieren auf der Bestimmung von TOC (*total organic carbon*) in den Sedimenten. Der hohe Anteil an organischem Kohlenstoff zählt zu den charakteristischsten Merkmalen der Auftriebsfazies und dies, obwohl nur etwa 0,1 % – 1,0 % des in der Wassersäule befindlichen organischen Kohlenstoffs in den Sedimenten überliefert werden (BERGER et al. 1989). Der Rest wird durch mikrobielle Aktivitäten in der Wassersäule oder an der Sedimentoberfläche zersetzt bzw. unterliegt postsedimentären Umwandlungen. Faktoren, die positiv auf den Erhalt des organischen Materials wirken, wurden bereits angesprochen: Kotpillen, Sauerstoffminimumzone sowie hohe Akkumulationsraten (*Kapitel 1.3*). Hohe TOC-Konzentrationen im Sediment stehen für eine gesteigerte Bioproduktion in der euphotischen Zone. Ein zusätzlicher Terrigeneintrag über Flüsse kann jedoch in den küstennahen Zonen nicht immer ausgeschlossen werden. Eine Differenzierung ist beispielsweise mit dem atomaren Verhältnis aus TOC zu N ( $\text{TOC}/12 : \text{N}/14$ ) möglich, wobei hohe Indexwerte (größer 14) einen terrigenen Eintrag, niedrige Werte (kleiner 12) eine marine Produktion des organischen Materials widerspiegeln. Es ist zu beachten, dass sich mit wachsender Tiefe im Sediment ein konstanter Trend zu höheren Werten vollzieht. Diese Zunahme ist auf diagenetische Alterationen zurückzuführen (REIMERS & SUESS 1983a), d. h. Veränderungen in der atomaren Zusammensetzung des organischen Materials infolge mikrobieller Zersetzung des Kohlenstoffs.

Bei der Interpretation gemessener TOC-Konzentrationen in den Sedimenten müssen Verdünnungseffekte, z. B. durch gesteigerte Opalakkumulation im inneren Schelfbereich, sowie strömungsbedingte Umlagerungen der organischen Feinfraktion mit berücksichtigt werden.

### 1.4.2 Opalkonzentration

Diatomeen bilden die Hauptquelle für biogenen Opal in den Sedimenten der Auftriebsgebiete; Radiolarien sind von weitaus geringerer Bedeutung. Die Blüte des opalinen Phytoplanktons ist auf das nährstoffreiche Zentrum der Auftriebszelle konzentriert. Nach RICHERT (1975), BLASCO et al. (1980) und ARMSTRONG et al. (1987) ist für alle Auftriebsgebiete eine typische Phytoplankton-Zonierung von Zentrum der Zelle über den Randbereich bis hin zum offenen Ozean charakteristisch. Mit wachsender Entfernung vom Zentrum und abnehmendem Nährstoffreichtum sinkt die Biomassenproduktion in der euphotischen Zone und opaline Diatomeen werden von kalzitischem

Phytoplankton, z. B. Coccolithophoriden, abgelöst (Abb. 1.2).

Der biogene Opal stellt hinter dem organischen Kohlenstoff den zweitwichtigsten Biogenanteil im Sediment dar, ist jedoch in seiner Verbreitung stark auf einen küstennahen Streifen im inneren Schelfbereich beschränkt. Als Ursache hierfür werden die hohen Sinkgeschwindigkeiten der relativ schweren Diatomeen-Partikel herangeführt sowie die zunehmende Lösung des Opals mit steigender Wassertiefe (RICHERT 1975). Nach BATURIN (1983) werden etwa 8 % des primär produzierten Opals in den Sedimenten überliefert. Der Erhalt der opalinen Partikel wird, ähnlich dem organischen Kohlenstoff, von Akkumulationsraten beeinflusst. Durch hohe Raten kann eine Lösung des Opals im Si-untersättigten Bodenwasser verhindert werden (DIESTER-HAASS & MÜLLER 1979).

Bei der Interpretation von gemessenen Opalgehalten in den Sedimenten dürfen Verdünnungseffekte nicht außer Acht gelassen werden. An der landwärtigen Seite des Diatomeen-Gürtels kann fluviatiler oder äolischer Terrigeneintrag das primäre Produktivitätssignal verfälschen. Auf der seewärtigen Seite sind es steigende Prozentanteile von Karbonat und TOC.

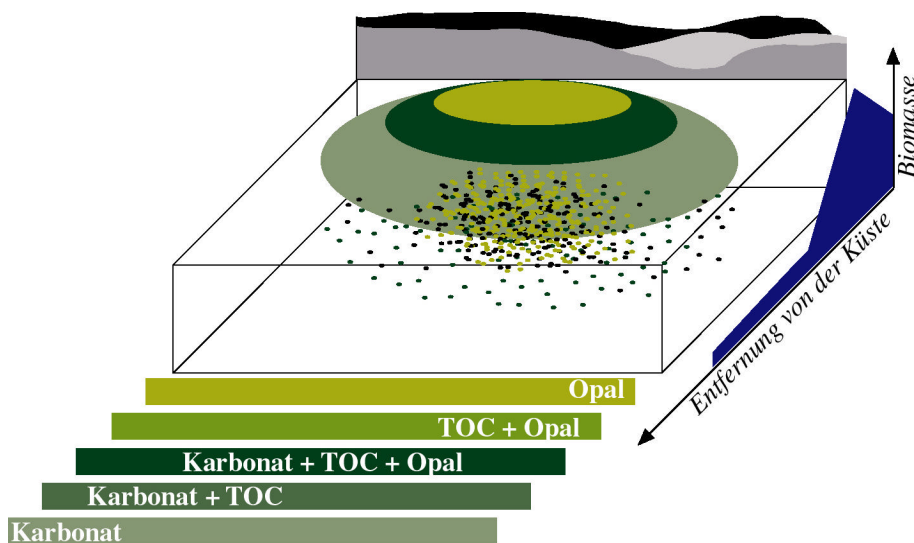


Abb. 1.2 Zonierung der Auftriebszelle und deren Beziehung zu dominierenden Biogenanteilen in den abgelagerten Sedimenten (vom inneren Schelfbereich bis zum Kontinentalhang).

#### 1.4.3 Karbonatkonzentration

Über Karbonatkonzentrationen in den Sedimenten kann die Karbonatschalenproduktivität im Untersuchungsgebiet gemessen werden. Gesteuert wird diese vom Foraminiferenreichtum im Oberflächenwasser (planktische Foraminiferen) bzw. am Meeresboden

(benthische Foraminiferen) sowie der Biomasse an Coccolithophoriden im Phytoplankton der euphotischen Zone.

BREMNER (1978) beschrieb im Auftriebsgebiet vor Namibia eine positive Korrelation zwischen Karbonatgehalten und Wassertiefe, welche an die Verteilung planktischer Foraminiferen gekoppelt ist. Ihre Populationen verzeichnen eine Zunahme vom Schelfbereich zur offenen See. Im Untersuchungsgebiet vor der Küste Perus kann dieser Trend bestätigt werden. In seewärtigen Gebieten (mit abnehmender Beeinflussung vom Küstenauftrieb) nehmen die Populationen planktischer Foraminiferen zu.

Im Bereich der Auftriebszelle wird jedoch der Karbonatgehalt in den Sedimenten von der Verteilung der Coccolithophoriden bzw. der benthischen Foraminiferen (hauptsächlich *Bolivina seminuda*, *Bolivina costata*, *Nonionella auris*, HEINZE 1990) gesteuert. Erhöhte Karbonatgehalte weisen auf Ablagerungen im Randbereich der Auftriebszelle hin. Neben wachsender Population kalzitischer Coccolithophoriden im Phytoplankton sind hier Verdünnungseffekte durch erhöhte TOC- bzw. Opalakkumulationen, wie im Zentrum der Auftriebszelle, stark minimiert.

Bei der Interpretation gemessener Karbonatgehalte muss folgendes beachtet werden: Das primäre Produktivitätssignal kann im Bereich des oberen Kontinentalhangs durch postsedimentäre Umlagerungen infolge verstärkter Bodenströmung oder Rutschungen verfälscht werden. In den untersuchten Oberflächenproben der Perufazies wurden beispielsweise die höchsten Konzentrationen im Einflussbereich verstärkter Bodenströmungen gemessen. Hier führt die postsedimentäre Ausblasung von feinem organischen Material zur relativen Anreicherung größerer Karbonatschaler.

#### 1.4.4 Verhältnis von Karbonat zu TOC

Während TOC einen Indikator für die Gesamtproduktion im Oberflächenwasser darstellt, spiegelt der Karbonatgehalt der Sedimente ausschließlich die Produktion von karbonatschaligen Organismen wider. Setzt man beide ins Verhältnis, kann eine Abschätzung getroffen werden zur Veränderung der Karbonatproduktion im Vergleich zur Gesamtproduktion. In den Sedimentkernen kann die Berechnung von Karbonat/TOC Auskunft geben über ökologische Wechsel im Bereich der Beprobungsstation (MORTYN & THUNELL 1997). So markieren hohe Gehalte an Karbonat und relativ geringe TOC-Werte eine Position im Randbereich der Auftriebszelle, wo neben wachsender Population planktischer Foraminiferen kalzitische Coccolithophoriden die Phytoplankton-Flora dominieren (Abb. 1.2). Sedimente mit höherem TOC-Gehalt und reduziertem Karbonat-

anteil stehen demgegenüber für Ablagerungen im zentralen Bereich der Auftriebszelle. Variationen zwischen karbonat-reicherer und karbonat-ärmerer Sedimentation spiegeln Expansionen bzw. Kontraktionen der Auftriebszelle wider und geben Auskunft über Schwankungen der Auftriebsintensität.

#### 1.4.5 Chlorinkonzentration

Chlorine (Dihydroporphyrine) stellen pflanzliche Abbauprodukte in den biogenen Sedimenten der Auftriebsfazies dar. Sie gehören zur Gruppe der Tetrapyrrole, die in allen lebenden Organismen, mit Ausnahme von einigen anaeroben Bakterien, als essentieller Bestandteil enthalten sind (BATTERSBY 1985, AVISSAR & MOBERG 1995). Das Grundgerüst der Tetrapyrrole besteht aus vier Pyrrolringen, die im Fall der Chlorine eine Ringstruktur (Porphyrine) bilden. Die bekanntesten Vertreter der Chlorine sind mit zentral eingebautem Magnesiumatom die Chlorophyll-Moleküle *a* und *b* (7,8-Dihydroporphyrine) bzw. ohne Metallion die Phaephytine (Phäopigmente).

Chlorophylle sind die zweifelsohne wichtigsten Pigmente der Photosynthese (WALLERSTEIN-ZIELASKO 2000). Über die lichtabsorbierenden Moleküle kann Strahlungsenergie aufgenommen werden, die zur Umwandlung einfacher anorganischer Verbindungen ( $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ) in hochwertige organische Verbindungen, den Kohlenhydraten, benötigt wird:  $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{O}_2$ . Die photosynthetisch hergestellten Kohlenhydrate sind Energiequelle für phototrophe Organismen, wie höhere Pflanzen, Algen, Phytoplankton, Dinoflagellaten und Bakterien, aber auch für alle anderen Lebewesen, die sich direkt oder indirekt von phototrophen Organismen ernähren.

Von geschätzten  $10^9$  Tonnen Jahresproduktion an Chlorophyll weltweit werden etwa 75% im aquatischen Milieu der Ozeane, Seen und Flüsse gebildet (HENDRY et al. 1987). Die Chlorinkonzentrationen in den abgelagerten Sedimenten, sprich die erhalten gebliebene Menge an Chlorophyllen und deren Abbauprodukten (Phäopigmente), geben wie auch TOC-, Opal- und Karbonatgehalte Auskunft über die biologische Produktion im Oberflächenwasser (MANTOURA & LLEWELLYN 1983, SCHEER 1991, JEFFREY et al. 1997).

Aufgrund ihres sehr geringen Anteils am Gesamtsediment (Angabe in mg/g) bleiben ihre gemessenen Konzentrationen von Verdünnungseffekten unbeeinflusst. Sie nehmen somit eine Sonderstellung in dem System der konkurrierenden Proxies „TOC-Opal-Karbonat“ (Angaben in Gewichtsprozent) ein.

## 2 REGIONALE GEGEBENHEITEN

Nach den allgemeinen Ausführungen zu *upwelling*-Prozessen und Küstenauftriebsregionen soll nun auf regionale Gegenbenheiten vor der Küste Südamerikas, speziell im Untersuchungsgebiet vor Peru, eingegangen werden.

### 2.1 Atmosphärische Zirkulation und Klima



Abb. 2.1 Vereinfachtes Modell der Windzirkulation über dem SE-Pazifik (nach NOAA, <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/>). Der rot umrandete Bereich markiert das Untersuchungsgebiet.

Das Hochdruckgebiet über dem Südpazifik steuert die Bewegung der Luftmassen entlang der südamerikanischen Westküste (Abb. 2.1). Aus ihr resultiert der für den peruanischen Auftrieb entscheidende SE-Passatwind. Das Klima der Küstenregion ist eng an dieses Auftriebsgeschehen gekoppelt. Die Nebel, die durch das Aufsteigen des kalten Tiefenwassers über der Meeresoberfläche entstehen, verhindern in den Luftmassen einen landwärts gerichteten Feuchtigkeitstransport. Diese Situation ist auch für andere *eastern boundary currents*, beispielsweise vor N- und S-Afrika, typisch. Die ariden Bedingungen im kontinentalen Hinterland führten in Chile zur Entstehung der Atacama-Wüste.

### 2.2 Hydrographische Zirkulation

STRUB et al. (1998) publizierten detaillierte Beschreibungen zur Zirkulation der Wassermassen vor der Westküste Südamerikas. In Abb.2.2 sind die charakteristischen Strömungsmuster in vereinfachter Form wiedergegeben.

#### 2.2.1 Oberflächenströmung

Der Peru-Chile-Strom (*PCC*, *Peru-Chile Current*), besser bekannt als Humboldt-Strom, prägt am markantesten die regionale Hydrographie. Er ist der nordwärts gerichtete Ausläufer des Antarktischen Zirkumpolarstroms (*ACC*, *Antarctic Circumpolar Cur-*

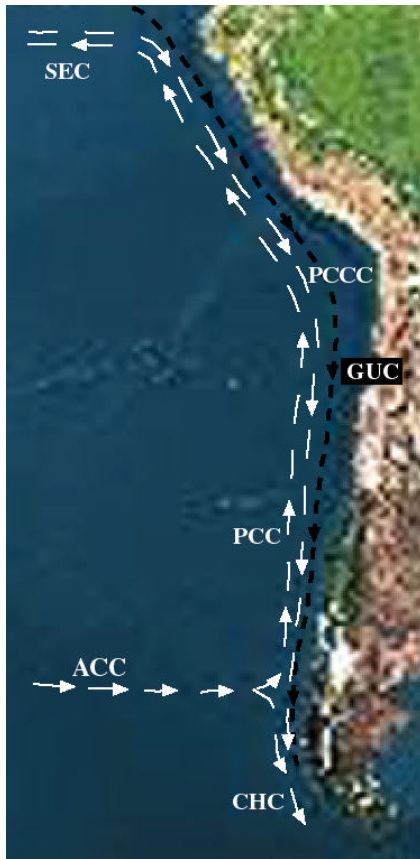


Abb. 2.2 Strömungsregime entlang der Westküste Südamerikas. Weiße Pfeile markieren Oberflächenströmungen, die schwarze Linie den Verlauf des Unterstroms.

(BROCKMANN et al. 1980, SMITH 1983), sondern er verhindert oder erlaubt, je nach Intensität und Verlauf, die Sedimentation der Auftriebsfazies im Schelfbereich bzw. in den oberen Teilen des Kontinentalhangs. Ihm entgegengesetzt fließt in 400 bis 1200 m Wassertiefe Antarktisches Zwischenwasser (AAIW, *Antarctic Intermediate Water*) nach Norden (Abb. 2.3). Die in noch tiefer gelegenen Bereichen anzutreffenden Strömungen des Pazifischen Tiefenwassers (PDW, *Pacific Deep Water*) bzw. des Antarktischen Bodenwassers (AABW, *Antarctic Bottom Water*) sind für den Küstenauftrieb nicht ausschlaggebend. Die Tiefenwasserprofile in Abb. 2.3 verdeutlichen die Lage bzw. den Verlauf der einzelnen Strömungen. Zur Hervorhebung der unterschiedlichen Charakteristika wurden die in der Wassersäule gemessenen Konzentrationen an gelöstem Sauerstoff (in ml/l), Phosphatgehalte (in  $\mu\text{mol/l}$ ) sowie Salinitäten (in PSU) abgebildet (SE-Pazifik bei  $80,5^\circ\text{W}$ , LEVITUS et al. 1994).

rent), welcher bei etwa  $45^\circ\text{S}$  orthogonal auf den südamerikanischen Kontinent trifft und sich dort in einen nördlichen, den PCC, und einen südlichen Strom, den Kap Horn-Strom (CHC, *Cap Horn Current*), teilt (BOLTOVSKOY 1976). Der PCC ändert seinen nordwärts gerichteten Verlauf zwischen  $10^\circ\text{S}$  und  $5^\circ\text{S}$ , biegt nach Westen ab und bildet hier den Südäquatorial-Strom (SEC, *South Equatorial Current*). Zwischen dem PCC und der südamerikanischen Küste fließt ein polwärts gerichteter Gegenstrom, der PCCC (*Peru-Chile-Countercurrent*) (PICKARD & EMERY 1990, STRUB et al. 1998).

### 2.2.2 Tiefenströmung

Als einflussreichste Tiefenströmung muss der polwärts gerichtete Gunther-Unterstrom (GUC, *Gunther Undercurrent*) genannt werden, der sich in Wassertiefen kleiner 400 m ausbreitet. Er ist nicht nur Quelle des vom Küstenauftrieb erfassten Tiefenwassers

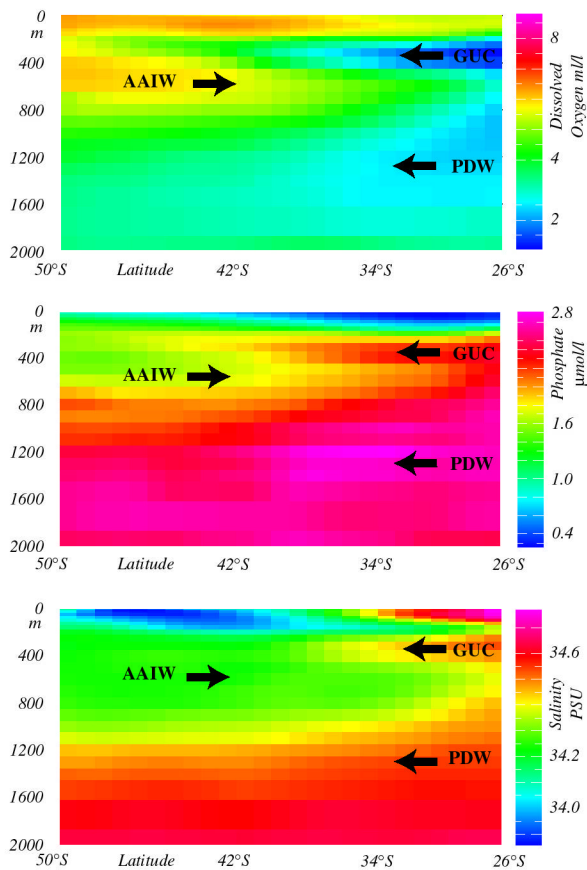


Abb. 2.3 Tiefenwasserprofile (bis 2000 m) im N-S-Transpekt bei 80,5°W. Die unterschiedlichen Sauerstoff- und Phosphatgehalte bzw. Salinitäten (nach LEVITUS et al. 1994) charakterisieren die Strömungen des GUC (Gunther-Unterstrom), AAIW (Antarktisches Zwischenwasser), und PDW (Pazifisches Tiefenwasser).

<http://ingrid.ldeo.columbia.edu/>

### 2.3 Bathymetrie und Geologie

Seit dem Frühen Mesozoikum ist der Kontinentalrand Südamerikas Teil einer aktiven Subduktionszone (ZEIL 1996), welche die Geologie und Bathymetrie der Region stark prägt. Durch die Kollision der Nazca-Platte mit dem südamerikanischen Kontinent entstanden parallel zur Küste eine markanter Tiefseegraben und eine Bruchzone mit sich senkenden *Fore-arc-Becken* (VON HUENE et al. 1987) (Abb. 2.4). Letztgenannte werden im Bereich des äußeren Schelfs (OSH, *outer shelf high*) und oberen Kontinentalhangs von NW-SE-streichenden Höhenzügen begrenzt (THORNBURG & KULM 1981). Die strömungsgeschützte Lage in den Becken bietet beste Voraussetzungen für eine Sedimentation der Auftriebsfazies und somit für die Überlieferung des *upwelling*-Signals in den Sedimenten.

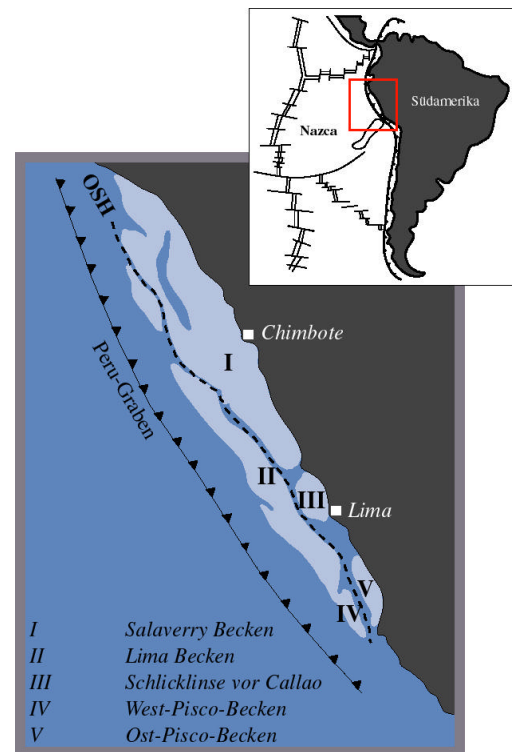


Abb. 2.4 *Fore-arc-Becken* des aktiven Kontinentalrandes prägen die Morphologie im Untersuchungsgebiet. Die küstennahen Becken (I, III, V) werden von den seewärtigen Becken (II und IV) durch eine strukturelle Hochzone, das OSH (*outer shelf high*), voneinander getrennt (nach THORNBURG & KULM 1981).

## 2.4 *Das Auftriebsgebiet vor der Küste Perus*

Im Gegensatz zu anderen Auftriebsgebieten vollzieht sich der Auftrieb von Tiefenwasser entlang der peruanischen Küste **ganzjährig**, mit saisonalen Schwankungen in seiner Intensität (HEINZE 1990). Die Variationen werden von der Position und Stärke des SE-Passatwindes gesteuert (SHAFFER 1982). Gekoppelt an Verlagerungen der Innertropischen Konvergenz-Zone (*ITCZ, Inner-tropical Convergence Zone*) pendelt dieser von 3°N während des Südhemispäre-Winters und 13°S in den Sommermonaten (ROMINE & MOORE 1981, PHILANDER 1983, GRAF 1986, RAMAGE 1986). Im Südhemispäre-Winter ist seine Intensität am stärksten (ROMINE 1982), was zu einer Ausbreitung der Auftriebszelle bis 60 km *offshore* führt (MAEDA & KISHIMOTO 1970). Im Sommer reduziert sich der Auftrieb auf 10 km bis 20 km Küstenentfernung. Es muss darauf hingewiesen werden, dass sich Veränderungen in der Auftriebsintensität nur auf die Größe der Auftriebszelle auswirken, nicht aber auf deren Position relativ zur Küste (JOHNSON et al. 1980, ARMSTRONG et al. 1987, STRUB et al. 1998).

Der küstenparallel verlaufende Windstress an der Meeresoberfläche resultiert in einem seewärtigen *Ekman*-Transport, der sich in den Oberflächenwassermassen bis in 30 m Wassertiefe auswirkt. Von ihm werden sowohl der nordwärts gerichtete Oberflächenstrom (in 0 bis 20 m Tiefe) als auch der obere Teil des nach Süden fließenden Gunther-Unterstroms erfasst (SMITH 1983).

Über Messungen von Wassertemperaturen und -salinitäten (MONTEIRO et al. 1983) konnte gezeigt werden, dass der Küstenauftrieb Wasser des Gunther-Unterstroms aus 60 m bis 120 m Tiefe an die Oberfläche bringt; bei anormal hoher Intensität kann auch Antarktisches Zwischenwasser erfasst werden (STRUB et al. 1998). Der Gunther-Unterstrom ist jedoch nicht nur Quelle des auftreibenden Tiefenwassers, sondern beeinflusst auch in hohem Maße die Sedimentverteilung im Schelfbereich und oberen Kontinentalhang vor der peruanischen Küste (REIMERS & SUESS 1983b). Sein fehlender Bodenkontakt im Bereich zwischen 11°S und 14°S erlaubt die Akkumulation sehr feinen Materials in der „Schlicklinse vor Callao“.

Die Auftriebsfazies vor der Küste Perus besteht weitestgehend aus biogenem Material:

- organisches Material, das sich zu mehr als 90 % aus amorphem Kerogen zusammensetzt (POWELL et al. 1990) und sich in den TOC-Konzentrationen der Sedimente widerspiegelt;
- biogener Opal der Diatomeen, welche die Phytoplankton-Flora im Zentrum der Auftriebszelle dominieren (MENDIOLA 1981);



- Kalziumkarbonat von kalkschaligen Organismen (Coccolithophoriden sowie benthische und planktische Foraminiferen).

Der Anteil an terrigenen Komponenten in den Sedimenten wird hauptsächlich vom ariden Klima des kontinentalen Hinterlandes gesteuert. Bei dem äolisch eingetragenen Terrigenmaterial handelt es sich hauptsächlich um kleinste Quarz- und Feldspat-Bruchstücke (DIESTER-HAASS 1983), die keinen Einfluss auf die TOC-Konzentrationen der Sedimente nehmen. Unter dem Aspekt fehlenden Flusseintrags können gemessene Konzentrationen an organischem Kohlenstoff gleichgesetzt werden mit der biologischen Produktion im Oberflächenwasser. Ein wichtiges Verbindungsglied zur Sedimentation des organischen Materials am Meeresboden stellen die schnell sinkenden Kotpillen von *Engraulis ringens* (STARESINIC et al. 1983) dar.

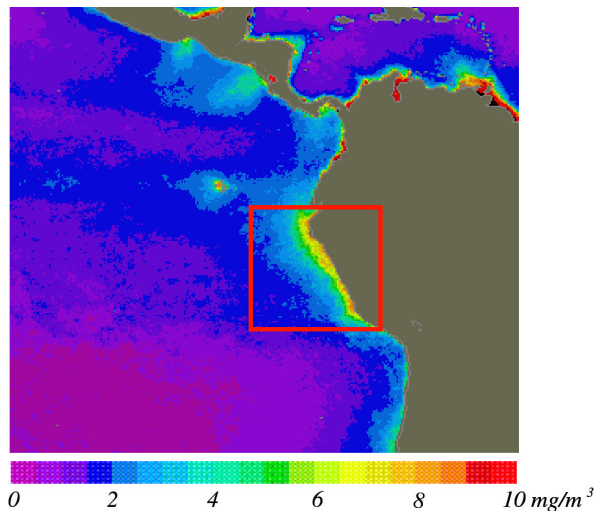


Abb. 2.5 Erhöhte Phytoplankton-Pigment-Konzentration im Auftriebsgebiet (NASA/GSFC, NIMBUS 7 coastal zone color scanner data).

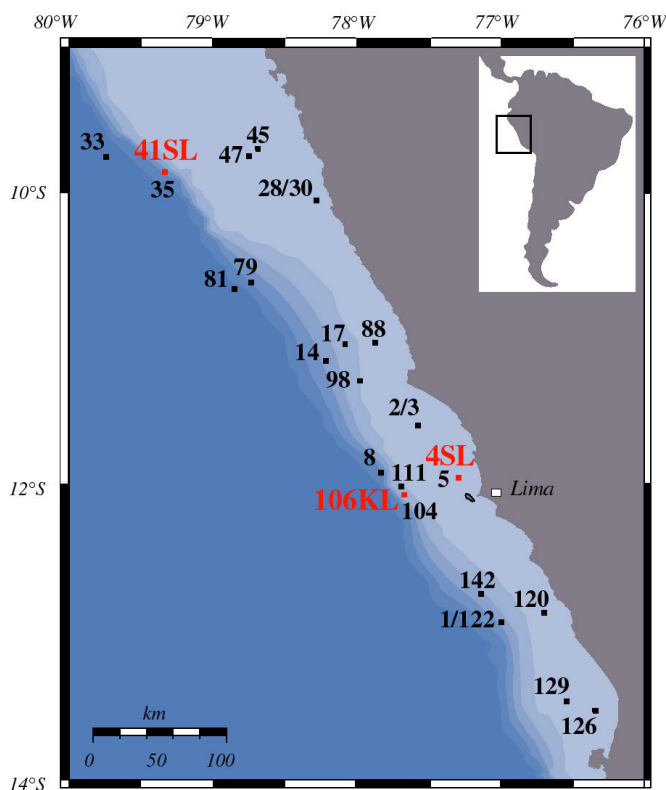
Die erhöhte Bioproduktion in der euphotischen Zone (Abb. 2.5), die bis zu 1000g TOC/m<sup>2</sup>/Jahr betragen kann (REIMERS & SUESS 1983b), führt in der Wassersäule zur Ausbildung einer Sauerstoffminimumzone (BROCKMANN et al. 1980), die lokal von 50 m bis 650 m Wassertiefe reicht (LÜCKGE & REINHARDT 2000). Die anoxischen Bedingungen im Bodenwasser reduzieren benthische Aktivitäten und Bioturbationen auf ein Minimum, so dass primäre Sedimentstrukturen erhalten bleiben. Eine Mil-

limeter-Lamination (BRODIE & KEMP 1994) ist charakteristisch für Sedimente, die im Bereich der Sauerstoffminimumzone mit kleiner 0,2 ml/l O<sub>2</sub> abgelagert wurden. Dabei handelt es sich keinesfalls um Jahresschichtungen (Warven). Vielmehr resultiert das feine Wechselspiel hellerer und dunklerer Lagen aus Schwankungen der Küstenauftriebsintensität. In Zeiten abgeschwächter Windintensität wird der Auftriebsprozess stark reduziert und infolgedessen weniger Biogenmaterial (TOC, Opal, Chlorine) sedimentiert.

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 Material

Während der SONNE-147-Fahrt im Mai bis Juli 2000 (KUDRASS 2000) konnte das schon bestehende Beprobungsnetz früherer Expeditionen (WECOMA-7706, ODP-Leg-112, SONNE-78) weiter verdichtet werden. Aus dem umfangreichen Probenmaterial der Ausfahrt wurden drei Sedimentkerne ausgewählt, die für die gesetzte Fragestellung am besten geeignet schienen. Ihre Stationspunkte bilden einen Transekt vom küstennahen Bereich über den Schelf hin zum oberen Teil des Kontinentalhangs: **SO147-4SL** ( $77^{\circ}18'03''\text{W}$ ,  $11^{\circ}56'95''\text{S}$ ) aus 96 m, **SO147-106KL** ( $77^{\circ}39'86''\text{W}$ ,  $12^{\circ}03'00''\text{S}$ ) aus 187 m und **SO147-41SL** ( $79^{\circ}20'31''\text{W}$ ,  $9^{\circ}51'08''\text{S}$ ) aus 587 m Wassertiefe. Mit Teufen von 18,75 m (SO147-106KL), 9,75 m (SO147-4SL) bzw. 8,90 m (SO147-41SL) stellen diese gleichzeitig auch die längsten gekernteten Sedimentsequenzen dar. Die Lage der Stationspunkte kann *Abb. 3.1* entnommen werden. Anhand ihrer Archive kann das Auftriebsgeschehen vor Peru sowohl in seiner zeitlichen als auch räumlichen Entwicklung rekonstruiert werden. Für die erforderlichen geochemischen und sedimentologischen Untersuchungen wurden die Sedimentkerne aller 5 cm beprobt.



*Abb. 3.1 Geographische Position der relevanten Stationspunkte im Untersuchungsgebiet vor der Küste Perus, zwischen  $9^{\circ}\text{S}$  und  $14^{\circ}\text{S}$  bzw.  $76^{\circ}\text{W}$  und  $80^{\circ}\text{W}$ . Die Positionen der untersuchten Kerne SO147-106KL, SO147-4SL und SO147-41SL wurden rot markiert, während die Stationen der Oberflächenproben mit schwarzen Punkten gekennzeichnet sind. Die Abstufung der Blautöne bezieht sich auf 200m-Isolinien (bis 1000 m Wassertiefe).*

Um eine bessere Vorstellung von den steuernden Sedimentationsfaktoren zu erlangen, Ablagerungsprozesse besser verstehen und charakteristische Verteilungsmuster im Untersuchungsgebiet herausfiltern zu können, wurden zusätzlich alle während der Ausfahrt SONNE-147 gewonnenen Oberflächenproben in die Untersuchungen einbezogen (Abb. 3.1). Der Begriff "Oberflächensediment" bezeichnet die obersten zwei Zentimeter der rezenten Sedimentbedeckung am Meeresboden, die mit Hilfe des Multicorers und Großkastengreifers geborgen wurden.

In Abb. 3.2 sind alle Arbeitsschritte, von der Probenaufbereitung bis hin zu den einzelnen Analysemethoden, schematisch dargestellt. Bei der Aufbereitung der Proben wurde das gefriergetrocknete Material in zwei Portionen aufgeteilt. Etwa 150 mg mussten für die geochemischen Messungen zerkleinert und homogenisiert werden, das restliche Material blieb unzerkleinert für die sedimentologischen Untersuchungen.

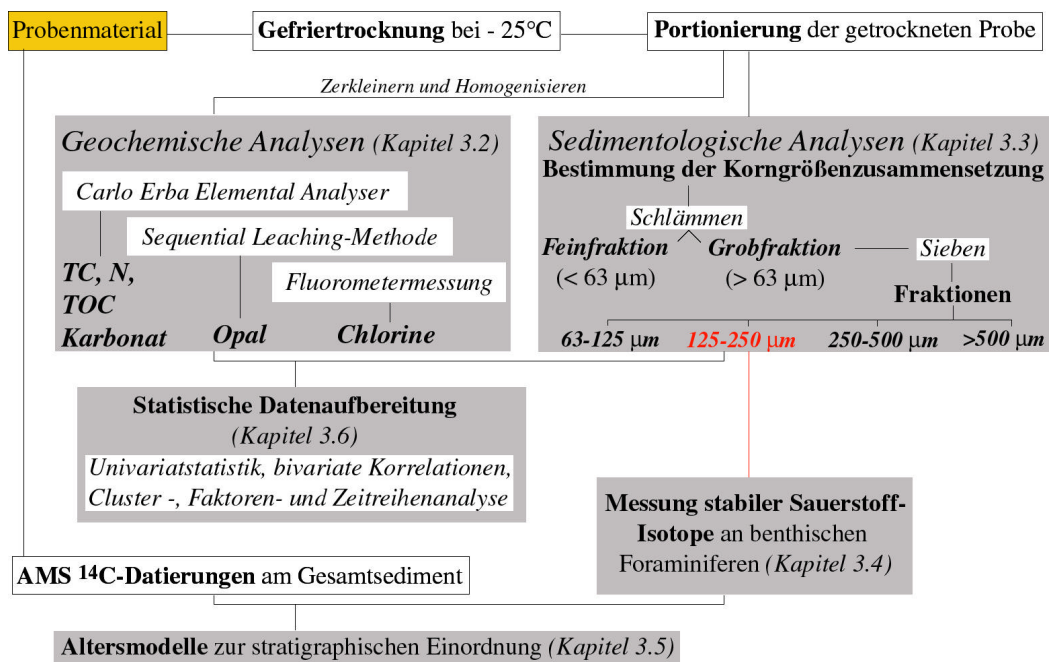


Abb. 3.2 Schematisches Modell zur Aufbereitung und Analyse des Probenmaterials.

### 3.2 Geochemische Untersuchungen

Die geochemischen Untersuchungen umfassten die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts im Sediment (*TC*, *total carbon*), der Konzentration an organischem Kohlenstoff (*TOC*, *total organic carbon*), Stickstoff (*N*, *nitrogen*), Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), biogenem Opal sowie Chlorinen.

Die Messung der TC-, N-, TOC- bzw. Karbonatgehalte in den Sedimenten erfolgte mittels *Carlo Erba NA-1500 Elemental Analyser*. 7-10 mg der homogenisierten Probe wurden in einer Verbrennungssäule, bestehend aus Chromtrioxid und Kobaltoxid, bei einer konstanten Temperatur von 1050°C verbrannt. Die dabei entstehenden Gasprodukte CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> konnten mittels Chromatographen getrennt und über ihre unterschiedlichen thermalen Eigenschaften gemessen werden. Als Kalibrierungsstandard für die Messungen wurde Acetanilid verwendet. Um den Gehalt an rein organischem Kohlenstoff zu messen, wurde das eingewogene Probenmaterial vor der Verbrennung mit Salzsäure (HCl) versetzt, um das Karbonat im Sediment zu lösen und somit den Anteil von anorganischem Kohlenstoff zu entfernen. Der Gehalt an Kalziumkarbonat in den Sedimenten konnte nach VERARDO et al. (1990) wie folgt berechnet werden:

$$\text{CaCO}_3 = 8,333 * (\text{TC} - \text{TOC}).$$

Die Bestimmung des Opalgehaltes in den Sedimenten erfolgte nach der *Sequential Leaching*-Methode nach DE MASTER (1981), verfeinert von MÜLLER & SCHNEIDER (1993). 20 mg des Probenmaterials wurden in 100 ml einmolarer Natronlauge (1 mol NaOH) bei konstanter Temperatur von 85°C gelöst. Über eine Zeitspanne von 40 Minuten konnte dann mittels *Molybdat-Blau-Spektrometer* eine „Lösungskurve“ für jede Probe erstellt werden, die es ermöglichte, den Anteil an biogenem Opal im Sediment graphisch zu ermitteln. Aufgrund des hohen Zeit- und Kostenaufwandes wurde nur jede vierte Probe (alle 20 cm im Kern) in die Messung einbezogen.

Das gleiche trifft für die Bestimmung der Chloringehalte in den Sedimenten zu. Von jeder vierten Probe (alle 20 cm) wurden 10 mg entnommen und über zwei Extraktionen mit je 8 ml 90%-igem Aceton versetzt. Nach 3 Minuten Kugelmühle und 15 Minuten Zentrifuge wurde dem Extrakt je 1,5 ml entnommen, so dass insgesamt 3 ml für die Messung im *Turner-Fluorometer TD-700* zur Verfügung standen. Detaillierte Ausführungen zur fluorometrischen Bestimmung von Chlorinkonzentrationen sind in BOTO & BUNT (1978), WELSCHMEYER (1994) sowie CHEN et al. (2000) zu finden.

### 3.3 *Sedimentologische Untersuchungen*

Zur Erfassung der Korngrössenzusammensetzung wurde das gefriergetrocknete, eingewogene Probenmaterial durch ein 63µm-Sieb geschlämmt, wobei die Feinfraktion (kleiner 63 µm) ausgewaschen wurde. Die aufgefangene Grobfraktion *GF* wurde bei konstanten 60°C getrocknet, zurückgewogen und durch Siebe unterschiedlicher Größe (500 µm, 250 µm bzw. 125 µm) gerüttelt. Die einzelnen Fraktionen wurden wiederum

gewogen und über Prozentsätze ihre Gewichtsanteile am Gesamtsediment bestimmt. Unter dem Mikroskop zeigte sich, dass sich die Grobfraction der peruanischen Auftriebsfazies hauptsächlich aus Kotpillen, Fischresten, benthischen und planktischen Foraminiferen sowie kleineren phosphoritisierten Sedimentkugeln zusammensetzt. Vereinzelt traten auch terrigene Bruchstücke, Diatomeenplättchen oder Radiolarien auf.

### 3.4 *Messung stabiler Sauerstoff-Isotope*

Für die Bestimmung der stabilen Sauerstoffisotopenverhältnisse  $^{18}\text{O}$  wurden je Probe 28 benthische Foraminiferen der Gattung *Bolivina seminuda* aus der Fraktion 125  $\mu\text{m}$  bis 250  $\mu\text{m}$  gepickt. Die Messung erfolgte in einem *Finnigan MAT 251 Massenspektrometer*. Nach Lösung der Kalkschalen in 100%-iger Phosphorsäure, bei konstanter Temperatur von 75°C, konnte die Isotopenzusammensetzung im  $\text{CO}_2$ -Gasprodukt bestimmt werden. Die Angabe der Isotopenwerte erfolgt in Relation zum PDB-(*Pee Dee Belemnite*)-Standard (*National Bureau of Standards*).

### 3.5 *Altersmodelle*

Grundlage für die Stratigraphie der Sedimentkerne bilden 28 AMS  $^{14}\text{C}$ -Messungen (21 in *SO147-106KL*, fünf in *SO147-4SL*, zwei in *SO147-41SL*) und eine lineare Interpolation zwischen den datierten Punkten. Für die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen wurden Proben vom Gesamtsediment im *AMS Accelerator Mass Spectrometer* (Leibniz-Labor der Christian-Albrechts-Universität Kiel) gemessen. Die Altersangaben erfolgen in Kilo-Jahren vor heute (*kyr BP*), wobei die konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Alter um einen marinen Reservoir-Effekt von 550 Jahren (TAYLOR & BERGER 1967, BIEBOW 1996) korrigiert sind.

Für die stratigraphische Einordnung älterer Zeitabschnitten im Kern *SO147-106KL* (größer 50.000 Jahre) wurde eine Korrelation zwischen den gemessenen  $^{18}\text{O}$ -Werten und der Deuterium-Klima-Kurve des Vostok-Eiskerns (JOUZEL et al. 1993, 1996) hergestellt (*AnalySeries*, PAILLARD et al. 1996).

### 3.6 *Statistische Datenaufbereitung*

Statistische Methoden sind notwendig, um die „quantitative Natur“ der Realität zu verstehen, wie es NISBETT et al. (1987) so schön beschrieb. Nur mit Hilfe der verschiedenen Statistikverfahren (Univariatstatistiken, bivariate Korrelationen sowie Faktoren- und Clusteranalyse) können relevante Informationen aus den umfangreichen Datenmat-

rizen der Analyse-Ergebnisse herausgefiltert werden. Einführende Texte zu statistischen Methoden sind in RUNYON & HABER (1976) und KACHIGAN (1986) zu finden. Detailliertere Informationen geben KENDALL & STUART (1979) sowie HAYS (1988). Ein hilfreiches und umfangreiches Glossar statistischer Begriffe und Methoden ist auch auf der Internetseite <http://www.statsoft.com> veröffentlicht.

**Univariatstatistiken** stützen sich auf die Beschreibung einer Merkmalsmenge (univariat) mit Hilfe bestimmter Maßzahlen: Minimal- und Maximalwert *min/max*, Spannweite *R*, Mittelwert  $\bar{x}$ , Median *md* oder Standardabweichung *s*. Über die graphische Auswertung in Form von Histogrammen kann die Verteilung der Datenmenge visuell erfasst und Abweichungen von der statistischen Normalverteilung (z. B. Modalität und Schiefe) erkannt werden.

Mit Hilfe der **bivariaten Korrelationsanalyse** kann die Beziehung zwischen zwei Merkmalen näher beleuchtet werden. Der berechnete lineare Korrelationskoeffizient *r* gibt Auskunft zur Stärke und Polarität der Merkmalsbeziehung: Er variiert zwischen Zahlen von  $-1 < 0 < 1$ , wobei ein positiver Wert für ein analoges Verhalten der beiden Variablen spricht, d.h. eine Steigerung des einen bewirkt eine Zunahme des anderen, negative Zahlen hingegen für eine gegenläufige Merkmalsentwicklung. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind nur aussagekräftig unter Berücksichtigung der Signifikanzgrenze, welche angibt, inwieweit ein Ergebnis der Wahrheit entspricht. Im Allgemeinen wird ein Signifikanzwert (*p-value*) von 0,05 angenommen, d. h. es besteht eine 5%-ige Wahrscheinlichkeit, dass der berechnete Merkmalszusammenhang nicht repräsentativ ist für das Gesamtsystem.

Bei der **Clusteranalyse** werden die einzelnen Merkmale - unter Berücksichtigung ihrer Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede - zu größeren Gruppen (*Cluster*) zusammengefasst. Je höher das Fusionsniveau, desto weniger ähnlich sind sich die Merkmale der jeweiligen Gruppierung. Die graphische Darstellung kann in Form eines Baumdiagramms (*Hierarchical Tree Plot*) erfolgen, in dem von links nach rechts mehr und mehr Objekte zusammengeführt werden. Auf den verschiedenen Fusionsebenen bilden sich immer größere Cluster - mit wachsender „Un-Ähnlichkeit“. Der Fusionierung können verschiedene Rechenalgorithmen zu Grunde liegen. Bei der angewendeten *Single Linkage*-Methode wurde der Abstand zwischen sich am nächsten liegender Merkmale verschiedener Cluster gemessen. Die Angabe der Abstände erfolgte in Euklidischen Distanzen (*Euclidean distances*) – einem geometrischen Maß im multidimensionalen Raum.

Die **Faktorenanalyse** dient dem Herausfiltern einzelner übergeordneter Faktoren aus

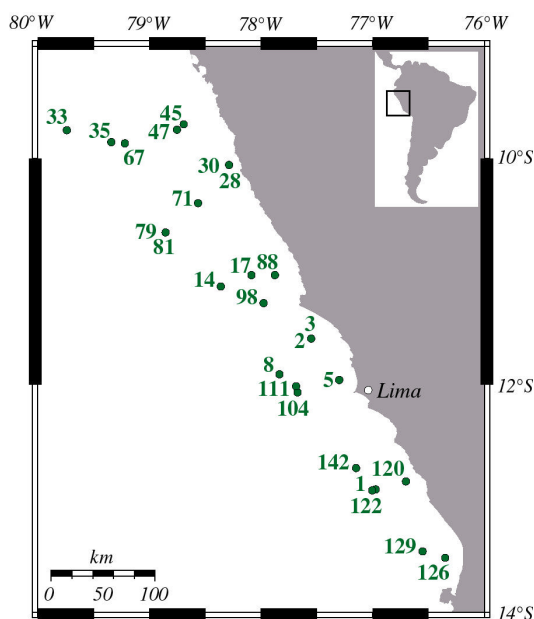
umfangreichen Datenmatrizen. Detaillierte Beschreibungen hierzu finden sich in HARMAN (1967), WHERRY (1984) bzw. STEVENS (1986). Die multivariate Datenanalyse basiert auf Korrelationsberechnungen zwischen den verschiedenen Merkmalen, wobei die einzelnen Regressionsgeraden im Raum rotiert werden, um eine maximale Varianz der neu entstandenen Faktoren zu erreichen (VARIMAX, *variance maximizing method*). Die Korrelationen zwischen den Merkmalen und den extrahierten Faktoren werden *Faktorladungen* genannt. Merkmale mit hohen Faktorladungen stehen zum jeweiligen Faktor in engem Zusammenhang.

Neben der Beschreibung von Merkmalsverteilungen (Univariatstatistik), deren Korrelationsbeziehungen (bivariate Korrelationsanalyse), dem Herausfiltern von Gemeinsamkeiten (Clusteranalyse) bzw. von übergeordneten Faktoren (Faktorenanalyse) kann mit Hilfe statistischer Analysen auch die zeitliche Entwicklung in den Merkmalsreihen untersucht werden (Zeitreihenanalyse). Das Ziel von **Zeitreihenanalysen** ist es, Muster in den Zeitreihen der einzelnen Merkmale zu identifizieren, wie Trends oder periodische Zyklizitäten. Voraussetzung für diese Analysen sind Messungen in konstanten Zeitabständen, sprich „Zeitreihen“. Die *Spektralanalyse* (oder auch Fourier-Analyse) beschäftigt sich speziell mit der Aufdeckung zyklischer Muster, wobei die zu untersuchenden Zeitreihen in Sinus- bzw. Cosinusfunktionen unterschiedlicher Wellenlänge zerlegt werden. Ziel ist es, die Frequenzen mit den höchsten Spektraldichten herauszufiltern, d.h. Frequenzregionen mit möglichst vielen charakteristischen Frequenzen. Eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form von Periodogrammen, in denen die Frequenzen  $f$  (in  $\text{kyr}^{-1}$ ) gegen die berechneten Spektraldichten (*SDP*, *spectral density power*) aufgetragen werden. Detaillierte Beschreibungen hierzu finden sich in PRIESTLEY (1981), ELLIOTT & RAO (1982), SHUMWAY (1988) bzw. WEI (1989). Für die Identifizierung periodischer Zyklen in den Sedimenten der peruanischen Auftriebsfazies wurden die speziell vorbereiteten Messreihen (Beseitigung linearer Trends sowie Normierung der Daten auf ihren Mittelwert) einer Spektralanalyse nach BLACKMAN & TUKEY (1958) unterzogen. Die Periode  $T$ , d. h. die zeitliche Spannbreite eines Zyklus, erhält man über:  $T = 1 / f$ .

## 4 OBERFLÄCHENPROBEN ALS SCHLÜSSEL ZUR PALÄO-REKONSTRUKTION

Um die Verteilung von Sedimentfaziestypen im Auftriebsgebiet vor Peru zu untersuchen, sedimentationssteuernde Faktoren herauszufiltern und charakteristische Merkmale der Auftriebsfazies hervorzuheben, wurden alle während der SONNE-147-Fahrt (KUDRASS 2000) gewonnenen Oberflächenproben auf ihre geochemischen Gehalte (TOC-, N-, Opal-, Chlorin-, Karbonatkonzentrationen) und sedimentologischen Merkmale (Wassergehalt und Grobfraktionsanteil) untersucht. Zur Auswertung und Interpretation der Messergebnisse wurden:

- Sedimentverteilungskarten erstellt;
- der Bezug zur geographischen Position und Wassertiefe hergestellt;
- statistische Analysen durchgeführt.



Als "Oberflächenproben" werden im folgenden die ersten beiden Zentimeter der rezenten Sedimentdecke auf dem Meeresboden bezeichnet, die mittels Multicorerer bzw. Großkastengreifer beprobt wurden. Die geographische Position der einzelnen Stationen kann Abb. 4.1 entnommen werden. Für die Untersuchungen standen pro Beprobungstation zwei Oberflächenproben zur Verfügung, von 0 bis 1 cm bzw. 1 bis 2 cm Sedimenttiefe - von 26 Stationen also insgesamt 52 Proben.

Abb. 4.1 Geographische Position der untersuchten Oberflächensedimente, benannt nach den Stationsnummern der SO147-Fahrt.

### 4.1 Sedimentverteilungskarten

Die gemessenen Konzentrationen an TOC, N, Chlorinen, Opal und Kalziumkarbonat in den Oberflächensedimenten, deren Grobfraktionsanteil *GF* und Wassergehalt *WG* sowie der berechnete TOC/N-Index wurden benutzt, um Sedimentverteilungskarten zu erstellen.



Zur Steigerung der Verlässlichkeit und Aussagekraft wurde für die visuelle Darstellung ein Mittelwert aus den jeweiligen Oberflächenpaaren gebildet, der somit einen Gesamtbereich von 0 bis 2 cm Sedimenttiefe abdeckt. Aus der Datenmatrix wurde eine Klassenanzahl  $k$  gemäß dem Stichprobenumfang  $n$  berechnet ( $k = \sqrt{n}$ ) und anhand der Median-, Minimal- und Maximalwerte die Klassenbreite für jedes Merkmal festgelegt.

Um eine bestmögliche Differenzierung zwischen den Stationen sichtbar zu machen, mussten z. T. in den Klassen 1 und 5 (abweichend von der konstanten Klassenbreite der restlichen Klassen) Extremwerte zusammengefasst werden, d. h. besonders niedrige bzw. besonders hohe Konzentrationen. In der Übersichtstabelle (Tab. 4.1) sind diese mit einem „<“ oder „>“ markiert.

Es ist zu beachten, dass der Wassergehalt als einziges Merkmal in umgekehrter Größenordnung dargestellt ist, d. h. die höchsten Gehalte finden sich in Klasse 1, die niedrigsten in Klasse 5. Aufgrund der Vielzahl von sehr wasserreichen Proben, als Folge des hohen Tonanteils im Sediment, wurde diese Lösung gewählt, um die visuelle Darstellung überschaubarer zu gestalten und den Vergleich mit anderen Merkmalen zu erleichtern.

<i>Merkmal</i>	<i>Klasse 1</i>	<i>Klasse 2</i>	<i>Klasse 3</i>	<i>Klasse 4</i>	<i>Klasse 5</i>
TOC in %	3 – 6	6 – 9	9 – 12	12 – 15	15 – 18
N in %	0.3 – 0.7	0.7 – 1.1	1.1 – 1.5	1.5 – 1.9	1.9 – 2.3
Opal in %	0 – 3	3 – 6	6 – 9	9 – 12	> 12
Chlorine in mg/g	< 0.7	0.7 – 0.8	0.8 – 0.9	0.9 – 1.0	> 1.0
Karbonat in %	0 – 4	4 – 8	8 – 12	12 – 16	> 16
TOC/N	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	> 12
WG in %	68 – 74	62 – 68	56 – 62	50 – 56	44 – 50
GF in %	0 – 6	6 – 12	12 – 18	18 – 24	> 24

Tab. 4.1 Klasseneinteilung der einzelnen Merkmale: TOC-, N-, Opal-, Chlorin- und Karbonatkonzentrationen, berechneter TOC/N-Index sowie Wassergehalte und Grobfraktionsanteile in den Oberflächensedimenten.

Für jede Beprobungsstation wurden die gemessenen Gehalte der jeweiligen Klasse zugeordnet und in den spezifischen Karten abgebildet. Die mit dem Auftriebsgeschehen direkt in Verbindung stehenden Produktivitätsproxies TOC, N, Chlorine, Opal sind in Abb. 4.2a zusammengefasst. Abb. 4.2b zeigt die Verteilungen von Karbonat, Wassergehalt und Grobfraktion (kleiner 63 µm) nebst berechnetem TOC/N-Index in den untersuchten Sedimenten.

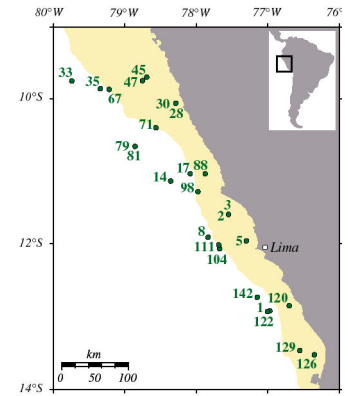
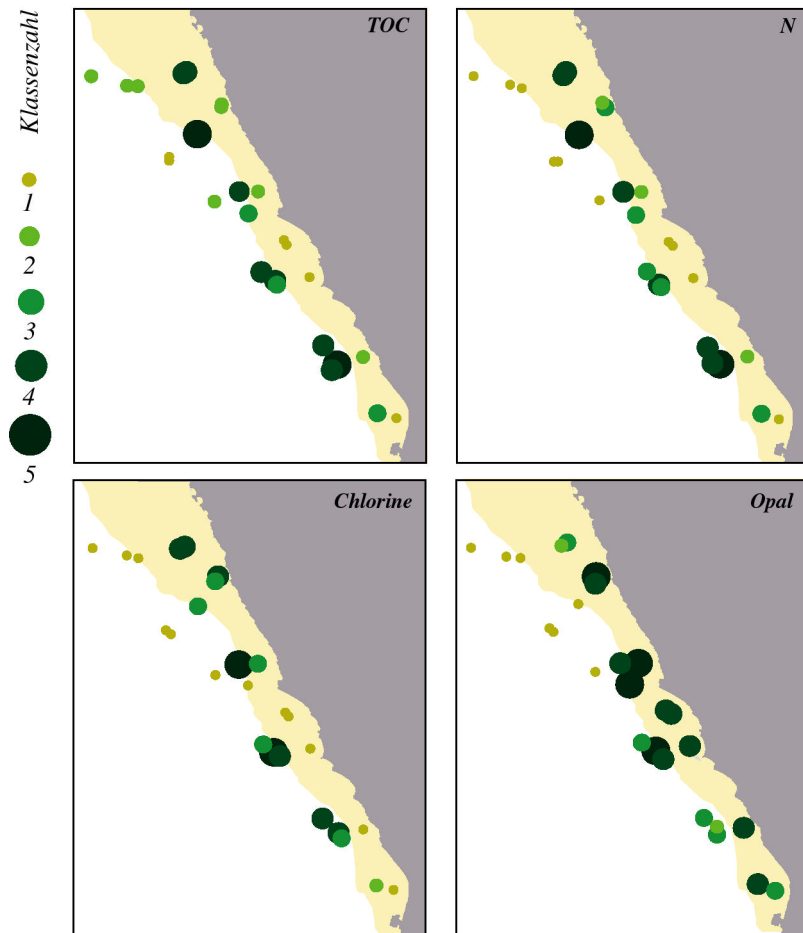


Abb. 4.2a Sedimentverteilungskarten. Gemessene TOC-, N-, Chlorin- und Opalkonzentrationen wurden entsprechend ihrer Klassenzahl  $k$  abgebildet. Die gelb hinterlegte Fläche markiert den Schelfbereich.

Die Verteilung der biogenen Anteile in den Sedimenten wird von der Bioproduktion im Bereich der Auftriebszelle gesteuert.

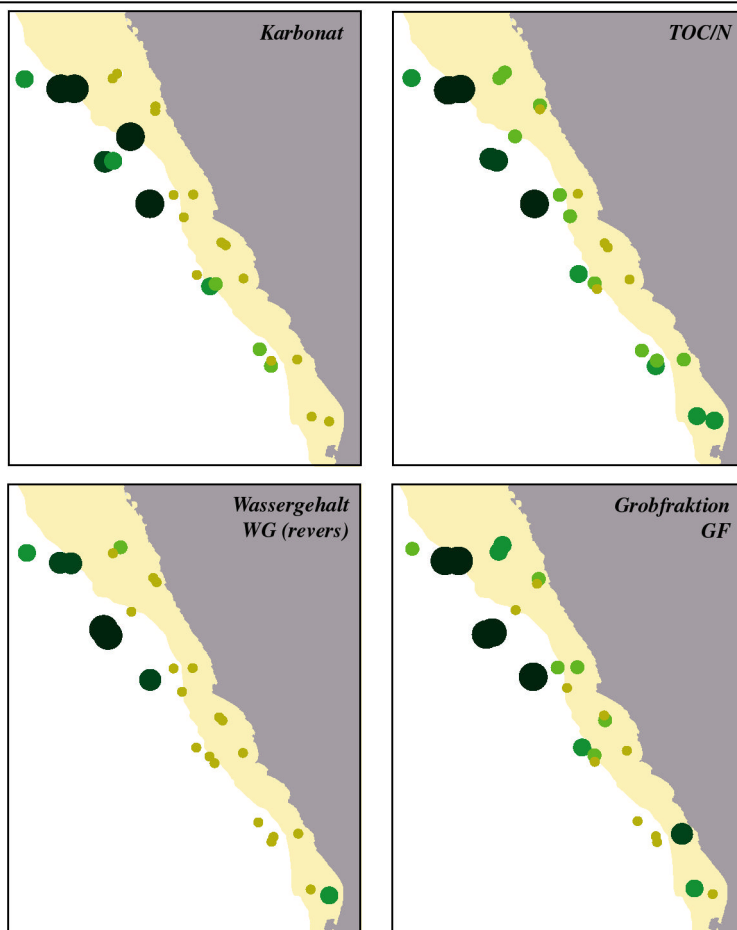


Abb. 4.2b Sedimentverteilungskarten. Gemessene Karbonat-, Wasser- und Grobfractionsgehalte sowie berechnete TOC/N-Indizes wurden entsprechend ihrer Klassenzahl  $k$  abgebildet. Die gelb hinterlegte Fläche markiert den Schelfbereich.

Die **höchsten** Klassenzahlen finden sich an den Stationen mit den **geringsten** Gehalten an TOC, N, Opal und Chlorinen (Abb. 4.2a).

#### 4.1.1 Ergebnisse

Die Analyse der SO147-Oberflächenproben brachte eine küstenparallele Zonierung der Sedimentfazies zu Tage. Vergleichbare Ergebnisse sind auch von anderen Küstenauftriebsgebieten bekannt (CALVERT 1983), was auf ähnliche sedimentationssteuernde Prozesse schließen lässt. So beschrieb CALVERT (1983) die Sedimentverteilung vor Namibia wie folgt: Im Küstenbereich, bis 70 Kilometern seewärts und in Wassertiefen flacher als 140 m, erstreckt sich ein Gürtel von organikreichem Diatomeenschlamm, in dem vereinzelt Fischreste und Phosphoritkonkretionen zu finden sind. Der zentrale und äußere Schelf wird von benthischen und planktischen Karbonaten, aufgearbeiteten Phosphoriten sowie karbonatischem Schlamm bedeckt. Insgesamt werden die Sedimente zur Schelfkante hin foraminiferenreicher.

Die untersuchten Faziestypen vor der peruanischen Küste zeigen eine analoge Zonierung. In Küstennähe erstreckt sich ein organikreicher Gürtel aus Diatomeenschlamm mit hohen Gehalten an TOC, N, Opal und Chlorinen in den Oberflächensedimenten. Die *Diatomeenschlämme* sind aufgrund ihres hohen Tonanteils (Anteil der Grobfraction maximal 1 – 15 %) sehr wasserreich. Ihre Karbonatkonzentrationen sind mit 1 % bis 7 % sehr niedrig. Die Verteilung der Diatomeenschlämme reflektiert die *Hochproduktionszone des Küstenauftriebs*.

Seewärts schließen sich *karbonatreichere* Sedimente an - Stationen 14, 33, 35, 67, 71, 79, 81, 104 (*Abb. 4.2b*). Unterschiede in deren Grobfractionsanteilen, Wassergehalten und TOC/N-Indizes charakterisieren *verschiedene Sedimentationsmilieus*, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll. Ihre einwandfreie Zuordnung konnte durch mikroskopische Untersuchungen verifiziert werden:

- Bei Station 71 und 104 wird deutlich, dass sich der Wechsel in der Sedimentation, d.h. wachsender Foraminiferenreichtum in den Sedimenten, *langsam* vollzieht und zwar mit einem relativen Anstieg der Karbonatgehalte (11,0 % bzw. 17,6 %) auf Kosten der Produktivitätswerte von Opal und Chlorinen. Die Prozentanteile von TOC und Grobfraction bleiben noch konstant. Die TOC/N-Verhältnisse von 8,6 bzw. 9,5 bezeichnen ein rein marines Ablagerungsmilieu. Unter dem Mikroskop erkennt man, dass sich die Grobfraction hauptsächlich aus feinem Foraminiferensand zusammensetzt, in dem nur vereinzelt Kotpillen (Station 104) oder kleinere schwarze Phosphoritkugeln (Station 71) auftreten.
- Betrachtet man die Sedimente der Stationen 14, 35, 67, 79 und 81, so heben sich

diese in den Verteilungskarten doch deutlich von denen der Auftriebsfazies ab. Geringe Wassergehalte (45,3 bis 55,5 %), enorm *hohe Grobfraktionsanteile* (34,5 bis 63,9 %) sowie TOC/N-Indizes grösser 11 sind ihre charakteristischsten Merkmale. Bei diesen Sedimenten handelt es sich um *aufgearbeitetes Material*, mehr oder weniger umgelagert.

- Die höchsten Karbonatgehalte finden sich in den Sedimenten der Stationen 14 (24,2 %), 35 (24,5 %) und 67 (27,2 %). Die Grobfraktion dieser Sedimente setzt sich zum Großteil aus karbonatschaligen Foraminiferengehäusen zusammen. Während die Grobfraktion der Station 14 fast ausschließlich aus reinem Foraminiferensand besteht, ist in den Sedimenten der Stationen 35 und 67 ein merklich höherer Anteil an schwarzen, phosphorisierten Sedimentkügelchen zu erkennen; ihre Foraminiferenschalen sind stärker alteriert. Für Station 14 wurde mit 17,7 der höchste TOC/N-Index berechnet, die zweithöchsten Werte zeigen Station 35 und 67 (12,6 und 12,8), was für eine postsedimentäre Überprägung der Sedimente spricht.
- Betrachtet man sich die tieferliegenden Stationen 79 und 81, so fällt auf, dass der Karbonatgehalt in den Sedimenten wieder deutlich reduziert ist (8,6 % bzw. 13,8 %). Die Grobfraktion der Sedimente besteht zum größten Teil aus *phosphorisierten Sedimentkügelchen*. Vermischt sind diese mit Glimmerblättchen, Terrigenbruchstücken und Schwammnadeln. Nur *vereinzelt* treten Foraminiferengehäuse auf. Die TOC-Konzentrationen sind mit 3,4 % bzw. 3,8 % die niedrigsten aller untersuchten Oberflächenproben.
- Den grobkörnigen folgen seewärts *feinkörnigere* Sedimente (Station 33). Ihr Karbonatgehalt ist deutlich geringer, dominiert aber mit 9,9 % auch hier gegenüber den Konzentrationen von TOC (6,0 %) und Opal (3,0 %). Der Grobfraktionsanteil im Sediment ist ebenfalls deutlich reduziert (9,0 %), setzt sich aber prozentual aus den gleichen Bestandteilen zusammen wie bei den Stationen 79 und 81.

#### 4.1.2 Auswertung

Die verschiedenen Faziesbereiche im Auftriebsgebiet vor Peru sind küstenparallel zoniert. Die Diatomeenschlämme sind entlang der Hochproduktionszone im küstennahen Gebiet konzentriert. Seewärts werden diese von karbonatreicheren Sedimenten abgelöst. Bei der Betrachtung der *küstennahen Hochproduktionszone* muss folgendes festgestellt

werden: Die Produktivitätsproxies TOC, N, Opal und Chlorine korrelieren in ihren küstenparallelen Verteilungsmustern sehr gut. Im direkten Vergleich fällt jedoch auf, dass Opal im inneren Schelfbereich (Stationen 2, 3, 5, 28, 30, 88, 120, 129 in Wassertiefen zwischen 86 – 123 m) weit mehr angereichert ist. Nach SCHUETTE & SCHRAEDER (1981) sind die hohen Opalkonzentrationen in Küstennähe direkt mit dem Bereich der höchsten Diatomeenproduktion in Verbindung zu setzen. Die Maximalgehalte an TOC, N und Chlorinen treten hingegen in einem seewärtigeren Streifen, in größeren Wassertiefen auf. Dieses Phänomen kann wie folgt erklärt werden:

- Nach KRISSEK et al. (1980) und CALVERT (1983) spielt zum einen der “Verdünnungseffekt” eine entscheidende Rolle. Betrachtet man das Gesamtsediment bestehend aus 100 Gewichtsprozent als geschlossenes System, so wirkt sich die relative Erhöhung einer Merkmalskonzentration reduzierend auf die anderen Komponenten aus.
- GIRAUDEAU et al. (2000) setzt die Opal-TOC-Zonierung mit unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten der organischen Partikel und den vorherrschenden Strömungen in Verbindung. Aufgrund hoher Sinkgeschwindigkeiten erreichen die Diatomeen-Partikel in den flachen Bereichen des inneren Schelfs schnell den Meeresboden. Das sich in Suspension befindliche organische Material sinkt wesentlich langsamer und kann somit von Strömungen erfasst und wegtransportiert werden. Die Ablagerung des organischen Materials findet also nicht direkt unterhalb der Hochproduktionszone statt.
- Hohe Opalkonzentrationen im Vergleich zu niedrigeren TOC-Gehalten können auf unterschiedliche Planktonvergesellschaftungen im Bereich der Auftriebszelle zurückzuführen sein. Solch eine Zonierung der Auftriebszelle wurde beispielsweise bei BIEBOW (1996) in Bezug auf Dinoflagellaten-Zysten beschrieben. HEINZE (1990) wies darauf hin, dass die Akkumulation von organischer Substanz stark von der Zusammensetzung der Planktonvergesellschaftung beeinflusst wird. So führen Blüten von Dinoflagellaten, im Gegensatz zu planktischen Foraminiferen oder Diatomeen, zwar zu einer erhöhten Sedimentation von organischer Substanz (TOC), jedoch ohne einen zusätzlichen Eintrag von Karbonat oder Opal. Auch MÜLLER et al. (1986) beobachtete im Bereich der Polarfront das Verhältnis von TOC zu Opal bei wechselnder Florenvergesellschaftung. Setzte sich das Plankton nur aus Diatomeen zusammen, sank der TOC-Gehalt in den Planktonproben um mehr als die Hälfte, während der Opalgehalt sprunghaft

von 2 auf 65 % stieg. Nach ZHUZE (1971) und BREMNER (1983) können die abweichenden Areale größter Opal- und TOC-Konzentrationen aus der unterschiedlichen Silifizierung bestimmter Florenvergesellschaftungen resultieren. Wechsel in den Florengemeinschaften wirken sich somit auf die überlieferten Opalkonzentrationen aus.

Für die karbonatreicheren Sedimente der seewärtigen Gebiete kann folgendes festgestellt werden: Die höheren Karbonatgehalte an den Stationen 71 und 104 resultieren aus der steigenden Karbonatproduktion im Randbereich der Auftriebszelle (Zonierung der Auftriebszelle, *Abb. 1.2*). Das Produktivitätssignal wird hier unverfälscht wiedergegeben. Bei den Sedimenten der Stationen 14, 33, 35, 67, 79, 81 handelt es sich demgegenüber um aufgearbeitetes und umgelagertes Material. Ihre Entstehung kann auf verschiedene sedimentäre Prozesse zurückgeführt werden. Bei Bodenkontakt des Gunther-Unterstroms, der nach BROCKMANN et al. (1980) in 75 bis 100 km Küstenentfernung verläuft, werden feine Sedimentpartikel, vorwiegend organisches Material der Tonfraktion, ausgespült (Station 14). Bei stärkerer Strömung kann ebenfalls gröberes Material erfasst und umgelagert werden (Station 35 und 67). Die stark alterierten und zerstörten Foraminiferegehäuse, die hohe Anzahl an Phosphoritkugeln, die eingebetteten Schwammnadeln, Fischreste und Glimmerblättchen in den Sedimenten der Stationen 79 und 81 charakterisieren demgegenüber eine weitaus stärkere Aufarbeitung bzw. Umlagerung des Materials. Postsedimentären Rutschungen am Kontinentalhang können dabei eine große Rolle gespielt haben. Bei nachlassender Transportkraft werden dabei zuerst gröbere und schwerere Bestandteile wie phosphoritisierte Sedimentpartikel, Foraminiferegehäuse oder Terrigenbruchstücke abgelagert, während das feinere Material vorläufig in Suspension verbleibt und je nach Strömungsrichtung weitertransportiert wird. Der *Prozess der Fraktionierung* wird sehr gut deutlich in den Sedimenten des Kontinentalhangs: Im Vergleich zu den Stationen 79 und 81 wurde an der tieferliegenden Station 33 mehr feinkörniges Material abgelagert. Dafür sprechen die wesentlich geringeren Grobfraktionsanteile (9,0 % im Gegensatz zu 55,7 % bzw. 44,5 %) sowie die verstärkte Sedimentation von organischem Material, welche sich in den TOC-Konzentrationen widerspiegelt (6,0 % zu 3,4 % bzw. 3,8 %).

Auffällig ist, dass die von Aufarbeitung betroffenen Stationen im Norden in weitaus flacheren Gebieten anzutreffen sind (Station 67 mit 270 m Wassertiefe) als im Süden (Station 14 mit 654 m Wassertiefe). Ursache hierfür ist die sich verändernde Morpholo-

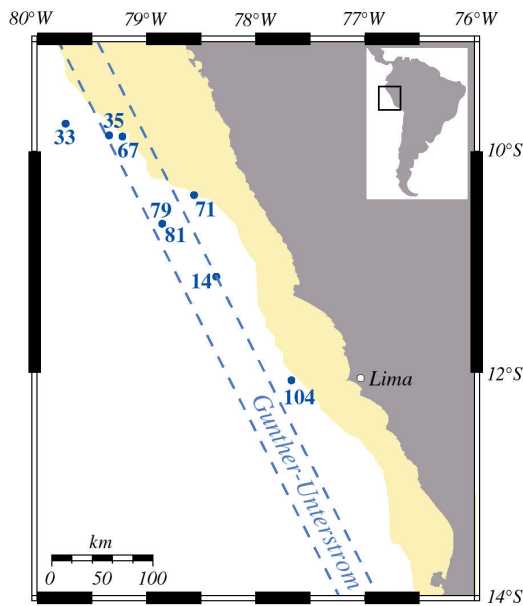


Abb. 4.3 Verteilung der karbonatreichen Sedimente, die im Kontrast zur TOC- und Opal-reichen Auftriebsfazies stehen. Die gelb hinterlegte Fläche kennzeichnet den nach Norden flacher auslaufenden Schelfbereich. Die blau-gestrichelten Linien grenzen den Einflussbereich des Gunther-Unterstroms ein.

#### 4.2 Bezug zur Wassertiefe und geographischen Position der Oberflächenproben

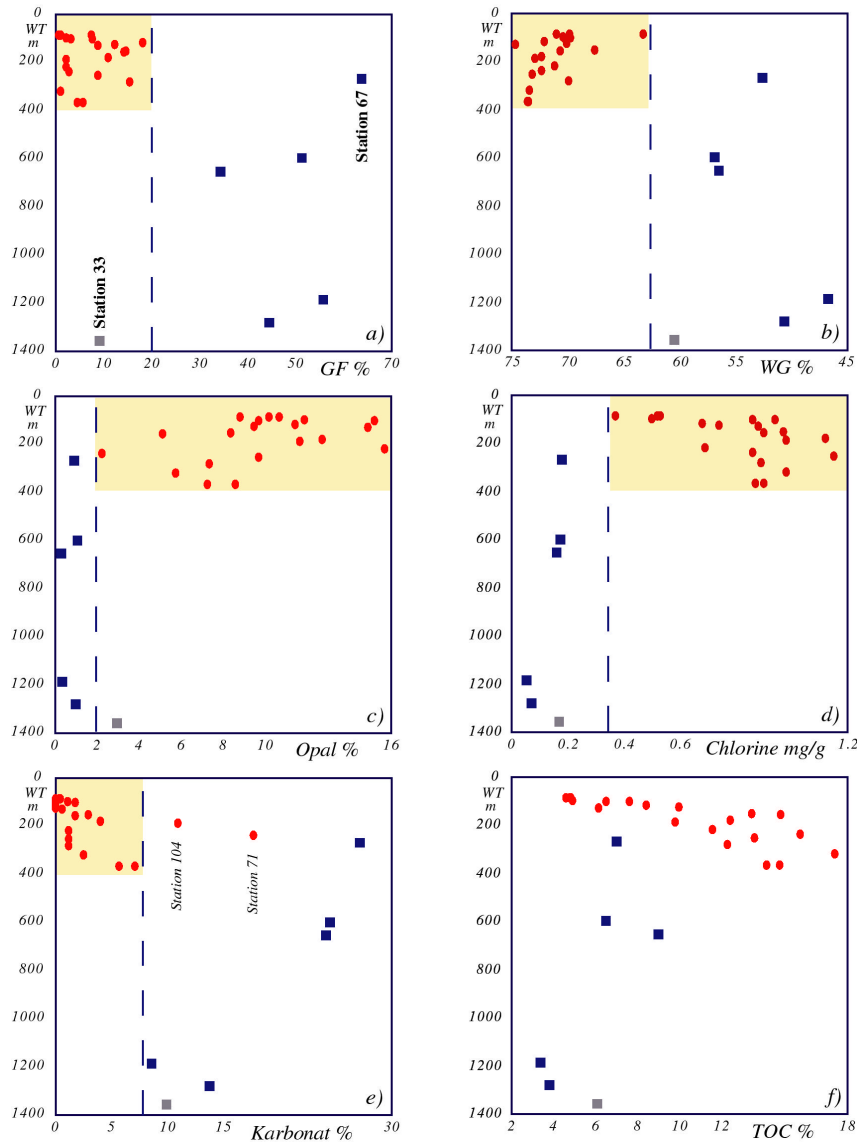
Um die Merkmale der verschiedenen Faziesbereiche noch stärker hervorzuheben, wurden die gemittelten Gehalte der Oberflächenproben zur geographischen Position (**Latitude/Longitude**) und Wassertiefe (**WT**) der Beprobungsstationen in Beziehung gesetzt. Relevante Merkmalsbeziehungen werden in den Konzentrationen von TOC, Opal, Chlorinen bzw. Karbonat, Wassergehalt *WG* und Grobfraktionsanteil *GF* deutlich. Im Vorab sei auf Folgendes hingewiesen:

- Die Wassergehalte der Sedimente wurden auch hier zur besseren Vergleichbarkeit revers abgebildet.
- Auf die Darstellung der Stickstoffkonzentrationen wurde verzichtet, da ihre Verteilung eng an die des TOC gekoppelt ist.
- Soweit es die Merkmalsverteilungen zuließen, sind in den Diagrammen die Charakteristika der Auftriebsfazies mit einem gelben Rechteck farbig hervorgehoben. Die aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimente der Stationen 14, 35, 67, 79, 81 sind demgegenüber mit dunkelblauen Quadraten markiert.
- Station 33, mit einem grauen Quadrat gekennzeichnet, nimmt in den Abbildungen eine Sonderstellung ein. Die Station liegt in 1357 m Wassertiefe am weitesten vom peruanischen Küstenauftrieb entfernt und ist für die Abgrenzung bzw. Differenzierung von „Auftriebsmerkmalen“ unbrauchbar.

gie im Untersuchungsgebiet. Im Norden verläuft der Schelf sehr flach und erstreckt sich bis zu 100 km Küstenentfernung. Der Schelf im Süden ist steiler, die Schelfkante befindet sich bereits in weniger als 40 km Küstenentfernung. Die vorherrschenden küstenparallelen Strömungen, speziell der in einer Küstenentfernung von 75 km bis 100 km verlaufende Gunther-Unterstrom, wirken sich somit im Norden auf flacheren Bereiche aus als im Süden (Abb. 4.3).

### 4.2.1 Ergebnisse

In *Abb. 4.4* wurden die Merkmale der Oberflächensedimente in Beziehung zur Wassertiefe der beprobten Stationen gesetzt.



*Abb. 4.4* Gemessene Gehalte versus Wassertiefe *WT*. Die gelb hinterlegten Felder markieren die für die peruanische Auftriebsfazies typischen Konzentrationen.

Stationen in denen aufgearbeitete bzw. umgelagerte Sedimente des Kontinentalhangs aufgeschlossen sind, wurden mit blauen Quadraten gekennzeichnet.

Die gestrichelten Linien dienen zur besseren Orientierung bei der Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche.

Station 33 (graues Quadrat) nimmt in den Abbildungen eine Sonderstellung ein, auf die im Text näher eingegangen wird.

In den Grobfraktionsanteilen und Wassergehalten unterscheiden sich die Sedimente der Auftriebsfazies (GF: < 20 %, WG: > 62 %) am auffälligsten von den strömungs- bzw. rutschungsbeeinflussten Stationen (*Abb. 4.4a und b*). Doch nicht nur in den sedimentologischen Merkmalen wird dieser Unterschied deutlich. Auch in den Opal- und Chlorkonzentrationen können die beiden Faziesbereiche deutlich voneinander abgegrenzt werden (*Abb. 4.4c und d*). Die aufgearbeiteten Sedimente zeigen wesentlich geringere Werte in den Produktivitätsproxies (Opal: < 2 %, Chlorine: < 0,3 mg/g). Demgegenüber scheint eine einwandfreie Unterscheidung in den Karbonat- und TOC-Konzentrationen erschwert (*Abb. 4.4e und f*). Hohe Karbonatkonzentrationen finden sich beispielsweise



nicht nur in den aufgearbeiteten und umgelagerten Sedimenten, sondern auch im Randbereich der Auftriebszelle, wo eine Zunahme in der Foraminifernpopulation für einen Anstieg in den Karbonatkonzentrationen der Sedimente (Station 71 und 104) führt. Die sehr niedrigen TOC-Gehalte (4 – 9 %) in Wassertiefen kleiner als 200 m werden zum Großteil dem „Verdünnungseffekt“, aufgrund enorm hoher Opalkonzentrationen im Sediment, zugeschrieben. Weitere Faktoren wurden in *Kapitel 4.1.2* beschrieben.

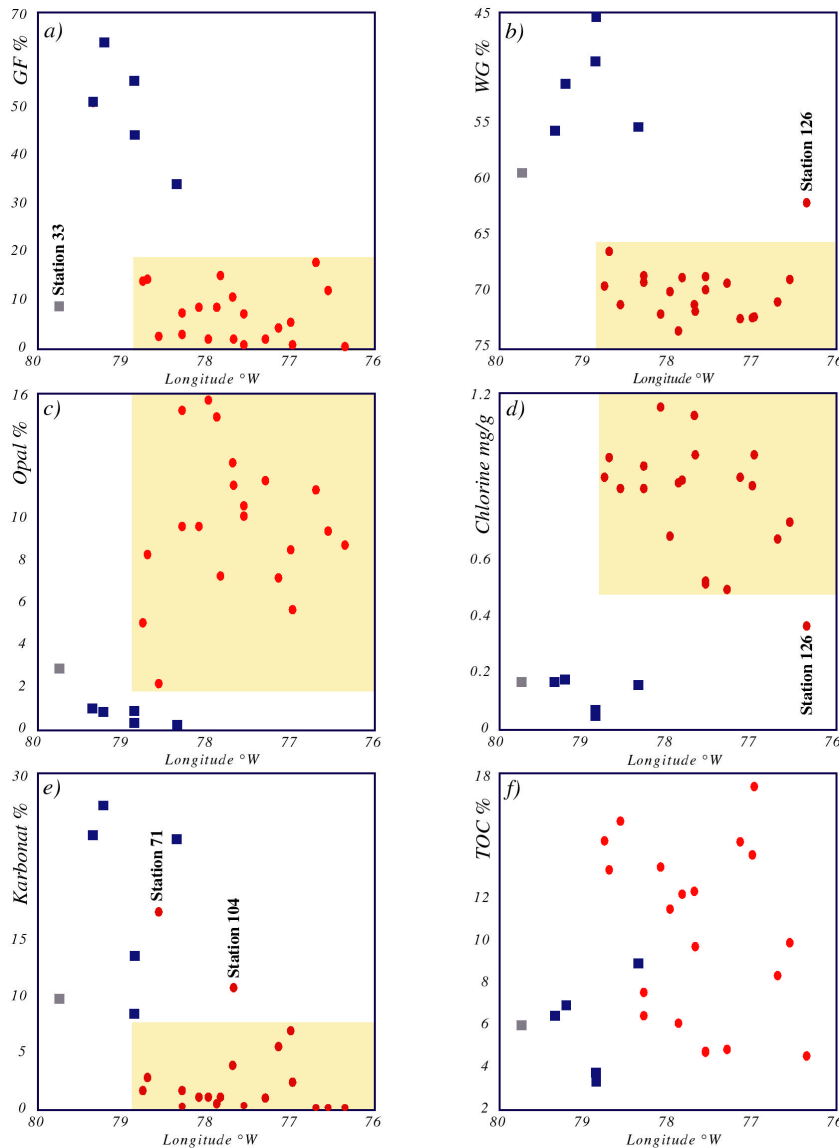


Abb. 4.5 Gemessene Gehalte versus **Longitude**. Die gelb hinterlegten Felder markieren die für die peruanische Auftriebsfazies typischen Konzentrationen. Stationen in denen aufgearbeitete bzw. umgelagerte Sedimente des Kontinentalhangs aufgeschlossen sind, wurden mit blauen Quadraten gekennzeichnet. Die Stationen 33 (graues Quadrat), 71, 104 und 126 nehmen eine Sonderstellung ein, auf die im Text näher eingegangen wird.

Da die Wassertiefen vom Schelf zum Kontinentalhang mehr oder weniger konstant in Richtung Westsüdwest (WSW) zunehmen, d.h. von 76°W nach 80°W, zeigen die gemessenen Gehalte der Oberflächenproben in Bezug zum Längengrad (Longitude) vergleichbare Verteilungsmuster (Abb. 4.5). Auch hier kann die Auftriebsfazies anhand der Grobfraktionsanteile, Wassergehalte bzw. Opal- und Chlorinkonzentrationen in den

Sedimenten abgegrenzt werden. Karbonat- und TOC-Gehalte sind für die Differenzierung weniger geeignet.

In der Darstellung der Längengrade fällt auf, dass Station 126 eine Ausnahme in der vom Auftrieb beeinflussten Sedimentation darstellt. Mit 85 m Wassertiefe ist diese Station die flachste aller Beprobungsstationen. Schaut man sich die Sedimentverteilungskarten (Abb. 4.2a und b) an, so wird deutlich, dass *sowohl* die Produktivitätsproxies TOC, N, Opal, Chlorine *als auch* Karbonat- und Grobfraktionsanteile vergleichsweise niedrige Werte aufweisen. Dieser Fakt und die küstennahe Lage der Station lassen darauf schließen, dass die marinen Sedimente durch erhöhten Terrigeneintrag verdünnt wurden. Aufgrund der Ausgrenzung von Station 126, können die Charakteristika der Auftriebsfazies, die in den Abbildungen durch gelbe Rechtecke farbig hervorgehoben sind, neu definiert und enger begrenzt werden.

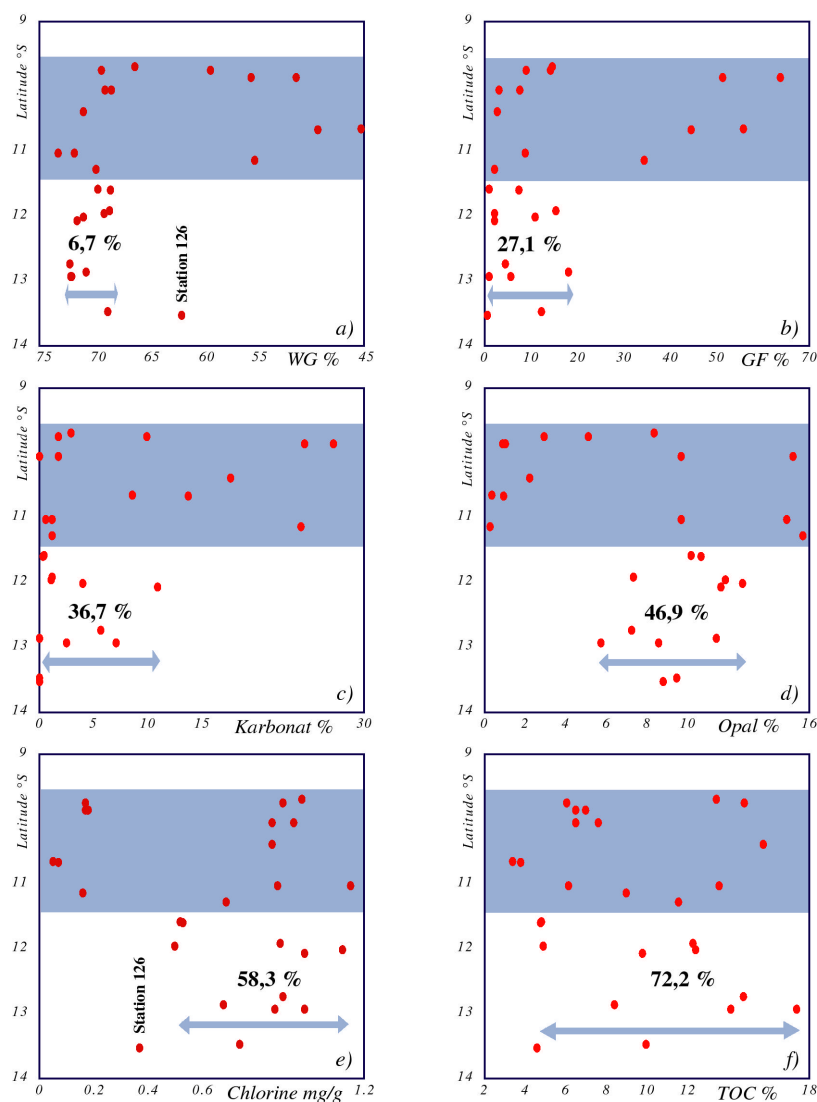


Abb. 4.6 Gemessene Gehalte versus **Latitude**. Da im nördlichen Gebiet, zwischen 9,5°S und 11,5°S, verschiedenste Faziesbereiche beprobt wurden, zeigt sich in den gemessenen Konzentrationen ein sehr breites Spektrum (blau hinterlegt). Die im südlichen Gebiet durch Pfeile markierten Prozentanteile beziehen sich auf diese "Gesamtspektren" im nördlichen Gebiet. Station 126 nimmt eine Sonderstellung ein, auf die im Text näher eingegangen wird.

In *Abb. 4.6* wurden die Merkmale der Oberflächenproben in Bezug zu ihre N-S-Verteilung, d. h. gegen die geographische Breite der Beprobungsstationen, dargestellt. Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, zwischen 9,5°S und 11,5°S, wurden in Wassertiefen zwischen 100 m und 1370 m die unterschiedlichsten Faziesbereiche angeschnitten. Dies spiegelt sich in den *breiten* Spektren der einzelnen Konzentrationen wider, die im folgenden als „Gesamtspektren“ bezeichnet werden. Im südlicheren Bereich (Wassertiefen zwischen 85 m und 365 m) wurden keine Proben von aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimenten genommen. Abgesehen von der terrigen beeinflussten Station 126 in unmittelbarer Küstennähe wurden *nur Sedimente der Auftriebsfazies* beprobt. Diese Tatsache reflektiert sich in den eng begrenzten Prozenspannen der gemessenen Konzentrationen - relativ zum jeweiligen „Gesamtspektrum“ aus dem nördlichen Bereich. So betragen die Wassergehalte der Sedimente im südlichen Bereich nur noch 9,3 % des Gesamtspektrums. Bei der Grobfraction sind es 27,1 %, Karbonat 36,7 %, Opal 46,9 %, Chlorine 58,3 % und TOC 72,2 %. **Je kleiner der Prozentsatz am Gesamtspektrum, desto stärker sind die angegebenen Konzentrationen an spezifische Sedimentationsmilieus geknüpft.** Auch hier erfolgt die deutlichste Differenzierung der verschiedenen Faziesbereiche durch den Wassergehalt bzw. Grobfractionsanteil im Sediment (*Abb. 4.6a und b*), gefolgt von den Karbonat- und Opalkonzentrationen (*Abb. 4.6c und d*). **Je größer der Prozentsatz am Gesamtspektrum, desto komplexer sind die Einflussgrößen bzw. Faktoren, welche die Verteilung des Merkmals steuern.**

#### 4.2.2 Auswertung

Setzt man die Merkmale der Oberflächenproben in Beziehung zur Wassertiefe bzw. geographischen Position der Beprobungsstationen, so können die verschiedenen Faziesbereiche noch besser voneinander abgegrenzt werden. Die deutlichste Differenzierung zwischen den Diatomeenschlämmen der Auftriebsfazies und dem aufgearbeiteten Material im Einflussbereich des Gunther-Unterstroms erlauben die Wassergehalte WG und Grobfractionsanteile GF der Sedimente.

Die Sedimente der Auftriebsfazies fallen durch spezifische Charakteristika auf (*GF: < 19 %, WG: > 65 %, Opal: > 2 %, Chlorine > 0,45 mg/g, TOC: > 4 %*) und konzentrieren sich im Untersuchungsgebiet auf Wassertiefen *kleiner 400 m*. In tieferen Bereichen des Kontinentalhangs, d. h. in Gebieten westlich des 79. Längengrads, spiegelt sich das Signal des hochproduktiven Küstenauftriebs nur noch abgeschwächt wider.

Die Abgrenzung eines hochproduktiven Zentrums des peruanischen Küstenauftriebs

war anhand der Latitude-Diagramme nicht möglich. Die Produktivitätsproxies TOC, Opal und Chlorine erreichen Maximalkonzentrationen verteilt über die *gesamte* N-S-Erstreckung des Untersuchungsgebietes, zwischen 9,5°S bis 14°S. Ein Auftriebszentrum wird erst sichtbar, wenn man die untersuchten Oberflächenproben im **überregionalen Kontext** sieht. Zu diesem Zweck wurde die Matrix der Oberflächensedimente mit Ergebnissen früherer Arbeiten (ROWE 1979, REIMERS & SUESS 1983b) vervollständigt. So war es möglich, ein größeres Gebiet zu betrachten, welches sich von 73°W bis 83°W bzw. 3°S bis 18°S erstreckt und Sedimente aus Wassertiefen bis 7500 m umfasst (Abb. 4.7).

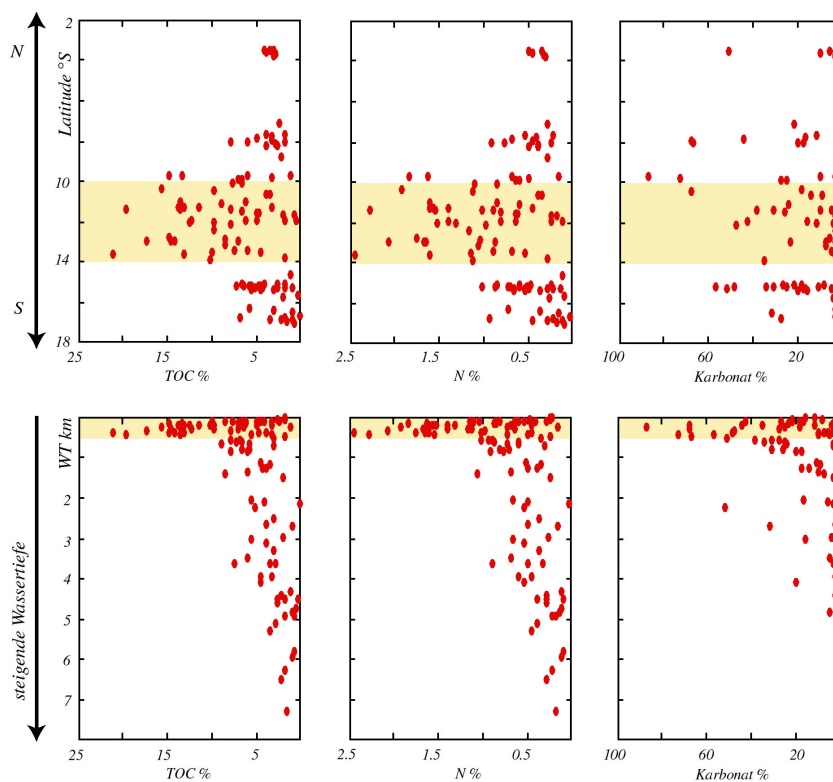


Abb. 4.7 Oberflächenproben im überregionalen Kontext. Gemessene Konzentrationen von TOC, N und Karbonat wurden mit Ergebnissen früherer Arbeiten (ROWE 1979, REIMERS & SUESS 1983b) vervollständigt, um Beziehungen zur N-S-Verteilung bzw. Wassertiefe noch besser hervorzuheben.

Gelb hinterlegte Bereiche markieren das hochproduktive Zentrum des Auftriebs zwischen 10°S und 14°S bzw. die daraus resultierenden, organikreichen Sedimente in Wassertiefen bis 500 m.

In den Abbildungen erkennt man ein *Zentrum des Küstenauftriebs* von 9,5°S bis 14°S, also genau dem Bereich der in dieser Studie untersuchten Stationen. Nördlich und südlich dieser Auftriebszelle nehmen die Konzentrationen von TOC und N in den Sedimenten rapide ab. Karbonatgehalte sind im Randbereich der Zelle am höchsten. Die Gegenüberstellung von gemessenen Konzentrationen und Wassertiefen der Stationen verifizieren die bereits beschriebene Hypothese: Der hochproduktive Küstenauftrieb spiegelt sich in den Sedimenten bis maximal 500 m Wassertiefe wider. In tieferen Bereichen sind die Gehalte an TOC, N und Karbonat deutlich geringer und nehmen mit zunehmender Wassertiefe weiterhin kontinuierlich ab.

### 4.3 Statistische Auswertung

Neben der visuellen Datenauswertung über Sedimentverteilungskarten (*Kapitel 4.1*) bzw. Diagramme (*Kapitel 4.2*) wurde eine statistische Analyse durchgeführt, um die Merkmalsbeziehungen noch detaillierter zu beleuchten und sie mathematisch zu hinterlegen. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der statistisch fundierten *Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche*, ein zweiter auf der *Beschreibung der Auftriebssedimente und ihrer Produktivitätsmerkmale*.

Für die statistische Analyse wurde eine Datenmatrix aus *allen* gemessenen Originaldaten der Oberflächenproben, d. h. 0 – 1 cm und 1 – 2 cm getrennt, erstellt. Der höhere Stichprobenumfang von 52 Proben je Merkmalsreihe (bei gemittelten Oberflächenwerten nur 26) steigert die Zuverlässigkeit und Aussagekraft der statistischen Ergebnisse, eine Glättung und Verfälschung durch Mittelwertbildung wird ausgeschlossen.

Einleitende Erklärungen zu den verwendeten statistischen Methoden sind in Kapitel 3.6 zu finden.

#### 4.3.1 Differenzierung der verschiedenen Faziesbereiche

Das weitflächige, den peruanischen Schelf und oberen Kontinentalhang umfassende Beprobungsnetz schneidet verschiedene, küstenparallel verlaufende Faziesbereiche an. Dies spiegelt sich in der stark variierenden Zusammensetzung der Oberflächenproben wider. Mittels *Einmerkmalsstatistik*, speziell durch die Berechnung von statistischen Maßzahlen, können die Schwankungen in den einzelnen Konzentrationen gut sichtbar gemacht werden (*Tab. 4.2*).

<i>n</i> = 52	<i>TOC</i> in %	<i>N</i> in %	<i>Opal</i> in %	<i>Chlorine</i> in mg/g	<i>WG</i> in %	<i>GF</i> in %	<i>Karbonat</i> in %	<i>TOC/N</i>
$\bar{x}$	9.35	1.10	7.80	0.66	65.82	15.46	6.47	10.2
md	8.78	1.02	8.76	0.70	68.69	7.55	2.41	9.7
min	3.32	0.33	0.00	0.05	42.95	0.38	0.00	7.4
max	18.17	2.18	17.52	1.35	75.82	71.42	32.39	17.8
R	14.86	1.86	17.52	1.30	32.87	71.03	32.39	10.4
s	4.250	0.530	4.857	0.370	8.148	18.520	8.671	1.932

Tab. 4.2 Statistische Maßzahlen der einzelnen Merkmale für das Gesamtsystem: Mittelwert  $\bar{x}$ , Median md, Minimal- und Maximalwerte (min, max), Spannweite R, Standardabweichung s. Für die Einmerkmalsstatistik wurden alle untersuchten Oberflächenproben (*n* = 52) herangezogen.

Betrachtet man die geochemischen Proxies, so fällt auf: Die gemessenen Gehalte an TOC in den Oberflächenproben liegen zwischen 3,3 % und 18,2 %, Opal in einem vergleichbaren Spektrum zwischen 0 bis 17,52 %. Wesentlich höhere Maximalkonzentra-

tionen erreichen demgegenüber die Karbonatwerte mit bis zu 32,4 %. Die N-Konzentrationen schwanken in einer vergleichsweise kleinen Spannbreite zwischen 0,3 % bis 2,12 %, was sich auch in der geringen Standardabweichung  $s$  von 0,530 ausdrückt. Noch enger konzentriert sind die gemessenen Chloringehalte in den Proben. Sie liegen in einem Bereich von 0 bis 1,4 mg/g und zeigen die kleinste Standardabweichung  $s$  (0,370) aller untersuchten Merkmale. Das Ausmaß der Schwankungen in den einzelnen Konzentrationen lässt sich auch gut in den angegebenen Spannbreiten  $R$  erkennen: Karbonat zeigt mit 32,4 % die stärksten Variationen, gefolgt von Opal mit 17,5 %, TOC (14,9 %) und N (1,9 %).

Die sedimentologischen Merkmale präsentieren sich wie folgt: Die Wassergehalte in den Sedimenten schwanken zwischen 43,0 % und 75,8 % ( $R = 32,9$  %), die Grobfraktionsgehalte zwischen 0,4 % und 71,4 %, was einem  $R$  von 71,0 % entspricht! Die berechneten Maßzahlen  $R = 32,9$  % und  $s = 8,148$  der Wassergehalte sind in Bezug auf ihre Größenordnung mit denen der Karbonatgehalte vergleichbar, wohingegen die Grobfraktionsanteile 2,2 mal höhere Streuungen aufweisen ( $s = 18,520$ ).

**Die höchsten Spannweiten  $R$  und Standardabweichungen  $s$  zeigen die Merkmale, die zwischen den verschiedenen Faziesbereichen am stärksten variieren und somit einwandfreie Unterscheidungskriterien darstellen, also Wassergehalte, Grobfraktions- und Karbonatanteile.**

Ein Augenmerk sollte auch auf den Vergleich der berechneten Mittel- und Medianwerte gelegt werden. Als *Mittelwert* wird das arithmetische Mittel einer Datenreihe bezeichnet. Dieser soll als Durchschnittswert für die Beurteilung einer Zahlenmenge dienen. Jedoch kann das Ergebnis stark verfälscht werden, wenn einzelne Ausreißer, z. B. die sehr hohen Grobfraktionsanteile in den umgelagerten Sedimenten des Kontinentalhanghangs, in die Merkmalsreihe eingeschaltet sind, d. h., um das Beispiel fortzuführen, den sonst sehr feinkörnigen Sedimenten der Auftriebsfazies gegenüberstehen. Der *Median* bleibt von solchen Ausreißern unberührt. Er gibt die Zahl an, die genau in der Mitte der nach Größe geordneten Zahlenreihe liegt. Das heißt, die Hälfte der Messdaten sind kleiner bzw. größer als der berechnete Medianwert. Ausreißer am Ende der Datenreihe sind somit nicht von Bedeutung. Liegen Mittel- und Medianwert sehr eng beieinander, so ist die Merkmalsreihe annähernd normalverteilt, was für eine Homogenität in der Sedimentation spricht. Sind sie hingegen deutlich verschieden voneinander, so weist dies auf unterschiedliche Sedimentationsbedingungen, z. B. in verschiedenen Faziesbe-

reichen hin. **Auch hier heben sich Wassergehalt, Grobfraktions- und Karbonatanteile markant von den anderen Merkmalen ab.**

Wie bereits in den Sedimentverteilungskarten bzw. WT-Latitude-Longitude-Diagrammen beschrieben, charakterisieren hohe TOC-, N-, Opal- und Chlorinkonzentrationen die Sedimente der hochproduktiven Auftriebszelle. Ihr feinkörniges, wasserreiches Material steht im krassen Gegensatz zu den aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimenten, die durch erhöhte Grobfraktions- und Karbonatgehalte sowie TOC/N-Indizes gekennzeichnet sind. **Dieses Muster konnte mit Hilfe bivariater Korrelationskoeffizienten und Clusterdiagrammen mathematisch hinterlegt werden.**

Durch einen *Vergleich der bivariaten Korrelationsbeziehungen* (Tab. 4.3) können klare Zusammenhänge zwischen den gemessenen Konzentrationen hergestellt werden. Je höher der angegebene Korrelationskoeffizient  $r$ , desto enger sind die Merkmalsbeziehungen. Merkmale, die eine einwandfreie Unterscheidung zwischen Auftriebsfazies und aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimenten zulassen, weisen sowohl *signifikante* Negativkorrelationen zu dem einen und gleichzeitig *signifikante* Positivkorrelationen zu dem anderen auf. Eine kurze Erläuterung am Beispiel der Chlorinkonzentrationen soll dies verdeutlichen: Ihre Gehalte sind zu den Merkmalen der Auftriebsfazies (TOC-, N-, Opal-, Wassergehalt) positiv korreliert, negativ hingegen zu den charakteristischen Größen der aufgearbeiteten Sedimente (GF, Karbonatgehalt, TOC/N). **Neben den Chlorinen stehen auch WG und GF zu allen anderen Merkmalen im signifikanten Zusammenhang. Sie zeichnen sich damit erneut als treffliche Unterscheidungsmerkmale für eine Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche aus.**

Auch in den anderen Proxies wird das Muster von TOC, N, Opal, Chlorinen und Wassergehalt auf der einen Seite sowie Karbonat, Grobfraktion und TOC/N-Index auf der entgegengesetzten Seite deutlich. Dabei fällt auf:

- TOC und N korrelieren unter allen Merkmalen am stärksten miteinander (0,966). Beide Proxies sind an die Produktion von organischem Material im Bereich der Auftriebszelle gebunden, jedoch zeigt schon die fehlende Korrelation zu Opal, dass die Überlieferung des Produktivitätssignals von komplexeren Faktoren gesteuert wird, z. B. Verdünnungseffekte. Die ebenfalls sehr abgeschwächten Negativkorrelationen zu GF, Karbonat und TOC/N deklarieren sie als ungeeignet für eine einwandfreie Fazies-Unterscheidung.

- Unter den Produktivitätsproxies zeigt der Opalgehalt die höchsten Negativkorrelationen zu den Merkmalen der aufgearbeiteten Sedimente: -0,692 zum Karbonatgehalt, -0,682 zum Grobfraktionsanteil, -0,668 zum TOC/N-Index. Der Grund hierfür liegt in ihrem stark fixierten Auftreten. Opal-Maximalwerte sind in einem küstennahen Streifen (kleiner 200 m Wassertiefe) konzentriert, was in krassem Gegensatz zur Sedimentation in küstenferneren Gebieten, speziell den aufgearbeiteten Sedimenten des tieferen Kontinentalhangs (größer 400 m Wassertiefe), steht.

	<i>TOC</i>	<i>N</i>	<i>Opal</i>	<i>Chlorine</i>	<i>WG</i>	<i>GF</i>	<i>Karbonat</i>	<i>TOC/N</i>
TOC		<b>0.966</b>	0.047	<b>0.685</b>	<b>0.547</b>	<b>-0.349</b>	-0.095	-0.093
N	<b>0.966</b>		0.205	<b>0.802</b>	<b>0.663</b>	<b>-0.484</b>	-0.219	<b>-0.336</b>
Opal	0.047	0.205		<b>0.588</b>	<b>0.711</b>	<b>-0.682</b>	<b>-0.692</b>	<b>-0.668</b>
Chlorine	<b>0.685</b>	<b>0.802</b>	<b>0.588</b>		<b>0.810</b>	<b>-0.626</b>	<b>-0.470</b>	<b>-0.575</b>
WG	<b>0.547</b>	<b>0.663</b>	<b>0.711</b>	<b>0.810</b>		<b>-0.841</b>	<b>-0.605</b>	<b>-0.632</b>
GF	<b>-0.349</b>	<b>-0.484</b>	<b>-0.682</b>	<b>-0.626</b>	<b>-0.841</b>		<b>0.663</b>	<b>0.655</b>
Karbonat	-0.095	-0.219	<b>-0.692</b>	<b>-0.470</b>	<b>-0.605</b>	<b>0.663</b>		<b>0.627</b>
TOC/N	-0.093	<b>-0.336</b>	<b>-0.668</b>	<b>-0.575</b>	<b>-0.632</b>	<b>0.655</b>	<b>0.627</b>	

Tab. 4.3 Bivariate Korrelationskoeffizienten  $r$  für das Gesamtsystem. Signifikante Merkmalsbeziehungen ( $p = 0,05$ ) wurden **fett** gedruckt.

Mittels *Clusteranalyse (Single Linkage/Euclidean distances)* konnten die Merkmale je nach Stärke ihrer gegenseitigen Abhängigkeit in übergeordnete Gruppen zusammengefasst werden (Abb. 4.8). Als erstes fusionieren Paare, die in einer sehr engen Beziehung zueinander stehen. Je höher die Fusionsebenen in ihrer Rangfolge angeordnet sind, desto verschiedener sind sich die Merkmale der betroffenen Gruppen.

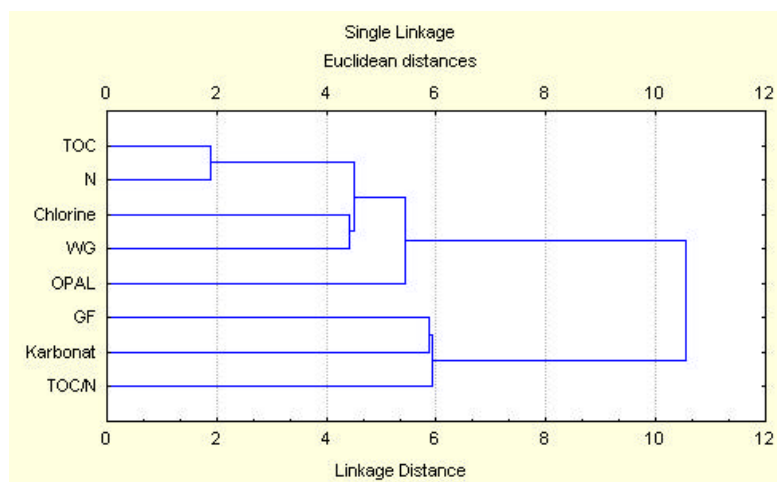


Abb. 4.8 Clusterdiagramm zur Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche. TOC, N, Chlorine, Wassergehalt (WG) und Opalkonzentrationen sind charakteristische Merkmale der Auftriebsfazies, wohingegen Grobfraktionsanteile (GF), TOC/N und Karbonatgehalte die aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimente des Kontinentalhangs kennzeichnen.



Auch im Clusterdiagramm wird der enge Zusammenhang zwischen TOC und N deutlich. Beide Proxies fusionieren auf Ebene 1, gefolgt von Chlorinen und WG. Auf Ebene 3 schliessen sich diese vier Merkmale zusammen und reflektieren als Gesamtsystem die *Produktion von organischem Material im Bereich der Auftriebszelle*. Zu diesen Produktivitätsproxies gesellt sich in Ebene 4 der Opalgehalt, welcher die *Diatomeenproduktion im Zentrum des Küstenauftriebs* widerspiegelt. Diese, die Auftriebsfazies charakterisierenden Merkmale sind deutlich von den Grobfraktions- und Karbonatgehalten (Fusions-ebene 5) sowie den TOC/N-Verhältnissen (Ebene 6) verschieden.

#### 4.3.2 Beschreibung der Auftriebssedimente und ihrer Produktivitätsmerkmale

Um die Sedimente der Auftriebsfazies richtig beschreiben und die Zusammenhänge zwischen den Produktivitätsproxies eindeutig klären zu können, muss die Datenmatrix der Oberflächensedimente auf die Proben begrenzt werden, die das Signal des Küstenauftriebs *unverfälscht* wiedergeben. Zu diesem Zweck wurden die gemessenen Konzentrationen der Stationen 14, 33, 35, 67, 79, 81 (aufgearbeitete Sedimente des Kontinentalhangs) sowie der Station 126 (küstennahe Station mit Terrigenbeeinflussung) aus der Datentabelle eliminiert. Die berechneten TOC/N-Indizes der Oberflächenproben können bei der gesetzten Aufgabenstellung ebenfalls vernachlässigt werden.

In den *statistischen Maßzahlen* der einzelnen Merkmale sind nun deutliche Veränderungen zu erkennen (Tab. 4.4). Die Variationen in den einzelnen Konzentrationen sind wesentlich geringer - ein Fakt, der sich in den reduzierten Spannweiten  $R$  und Standardabweichungen  $s$  widerspiegelt. Die stärkste Reduzierung findet in den Merkmalen statt, deren Konzentrationen sich in den verschiedenen Faziesbereichen so stark voneinander abgrenzten – wie Wassergehalt ( $s$  von 8,148 auf 2,411), Karbonatanteil ( $s$  von 8,671 auf 4,941) und Grobfraktion ( $s$  von 18,520 auf 6,228).

$n = 38$	<b>WG</b> <i>in %</i>	<b>TOC</b> <i>in %</i>	<b>N</b> <i>in %</i>	<b>Chlorine</b> <i>in mg/g</i>	<b>Opal</b> <i>in %</i>	<b>Karbonat</b> <i>in %</i>	<b>GF</b> <i>in %</i>
$\bar{x}$	70.18	10.68	1.31	0.84	9.87	3.16	7.51
md	70.27	11.02	1.38	0.85	9.70	1.33	5.41
min	65.61	4.04	0.53	0.37	1.98	0.00	0.38
max	75.82	18.17	2.18	1.35	17.52	21.54	20.99
R	10.21	14.13	1.65	0.98	15.54	21.54	20.61
s	2.411	4.091	0.466	0.245	3.607	4.942	6.228

Tab. 4.4 Statistische Maßzahlen der einzelnen Merkmale für die Sedimente der Auftriebsfazies: Mittelwert  $\bar{x}$ , Median  $md$ , Minimal- und Maximalwerte ( $min$ ,  $max$ ), Spannweite  $R$ , Standardabweichung  $s$ .

Die Gehalte von TOC in den Sedimenten schwanken von 4,0 % bis 18,2 %, Opalkonzentrationen liegen in einem vergleichbaren Bereich (2,0 % bis 17,5 %). Karbonat- und Grobfraktionsanteile zeigen etwas höhere Maximalwerte, die Spanne ihrer Gehalte erstreckt sich von 0 bis 21,5 % bzw. 0,4 bis 21,0 %. Die mengenmässig untergeordneten N-Konzentrationen variieren zwischen 0,5 % und 2,2 %, Chlorine zwischen 0,4 und 1,4 mg/g. Der Wassergehalt beträgt je nach Tonanteil im Sediment 65,6 % bis 75,8 %.

Vergleicht man die Mittel- und Medianwerte, so kann festgestellt werden, dass durch die Abgrenzung der Auftriebsfazies die Merkmale TOC, N, Opal, Chlorine und Wassergehalt insgesamt zu höheren Werten tendieren, während die Gehalte an Karbonat und Grobfraktionsanteilen merklich abgeschwächt sind. Der Grobfraktionsgehalt sank im Mittel beispielsweise von 15,5 % auf 7,5 %, Karbonat von 6,5 % auf 3,1 %. Die immer noch existierende Abweichung von Mittelwert und Median in beiden Merkmalen resultiert aus deren stark zu kleineren Werten tendierenden Verteilung.

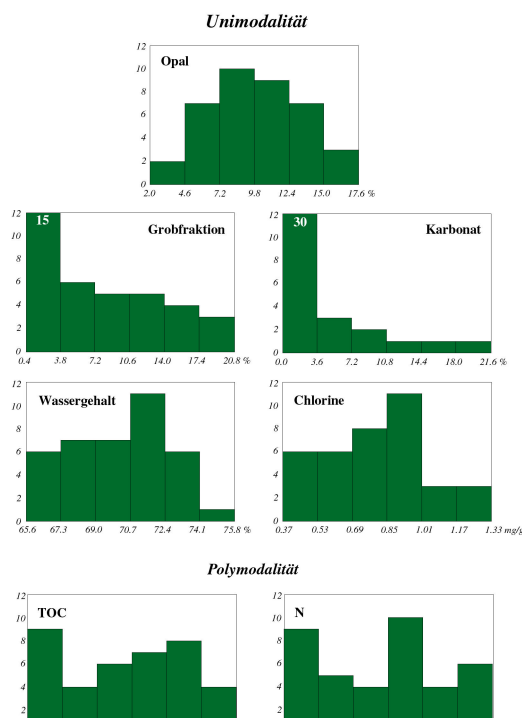


Abb. 4.9 Einmerkmalstatistik zur Beschreibung der Auftriebsfazies in Form von Histogrammen. Die gemessenen Konzentrationen in den Oberflächenproben wurden den entsprechenden Klassen zugeordnet und die Anzahl der beobachteten Fälle in den Diagrammen abgetragen. Unimodale Verteilungsmuster von Opal, Wassergehalt, Grobfraktion, Karbonat und Chlorinen (A) stehen polymodalen Verteilungen der gemessenen TOC- und N-Gehalte (B) gegenüber.

Eine schnelle Einschätzung zu *Form und Homogenität in den Merkmalsverteilungen* kann durch die Auswertung von Histogrammen erfolgen (Abb. 4.9). Die Klassenanzahl  $k = 6$  der Histogramme wurde analog des Stichprobenumfangs  $n = 38$  festgelegt ( $k = \sqrt{n}$ ). Beim Vergleich der einzelnen Merkmale erkennt man deutlich Unterschiede. So zeigt der Opalgehalt in den Sedimenten eine fast perfekte Normalverteilung, während Karbonat- und Grobfraktionsanteile durch ihre negative Schiefen, d. h. mit einem Trend zu kleineren Werten, auffallen. Eine nur sehr leichte, positive Schiefe zeigen demgegenüber Wassergehalt und Chlorine. **Die Unimodalität von Opal, GF, Karbonat, WG und Chlorinen steht für Homogenität in der Verteilung dieser Merkmale, d.h. für konstante Bedingungen bei der Sedimentation.**

**Demgegenüber reflektieren die deutlich polymodalen Verteilungen von TOC und N zusätzliche Faktoren, die auf die Sedimentation und Überlieferung des Produktivitätssignals Einfluss nehmen.** Solche Faktoren sind beispielsweise Verdünnungseffekte oder Strömungstransport während der Suspension.

Durch die vorangegangene Abgrenzung der Auftriebsfazies konnten bei der *bivariaten Korrelationsanalyse* die Merkmalsbeziehungen zwischen den einzelnen Proxies unverfälscht beleuchtet werden (Tab. 4.5). Durch die Betrachtung von nur *einem* Faziesraum treten ganz andere Korrelationsbeziehungen zutage. So zeigen beispielsweise die vorher zu allen anderen Merkmalen signifikant in Beziehung stehenden GF und WG keinerlei signifikante Korrelationen mehr. Die signifikanten Beziehungen der Chlorinkonzentrationen beschränken sich nur noch auf TOC bzw. N. Darüberhinaus wandelt sich der negative Zusammenhang zwischen TOC bzw. N und Karbonat in einen signifikant positiven. Die Negativkorrelation von Opal zu TOC bzw. N reflektiert die durch Verdünnungseffekte oder aus unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten der organischen Partikel resultierenden TOC-Opal-Zonierung in küstenparallelen Streifen (Kapitel 4.1.2).

	<i>WG</i>	<i>TOC</i>	<i>N</i>	<i>Chlorine</i>	<i>Opal</i>	<i>Karbonat</i>	<i>GF</i>
WG		0.237	0.275	0.302	0.011	0.277	-0.230
TOC	0.237		<b>0.984</b>	<b>0.551</b>	<b>-0.588</b>	<b>0.397</b>	0.076
N	0.275	<b>0.984</b>		<b>0.625</b>	<b>-0.553</b>	<b>0.472</b>	0.019
Chlorine	0.302	<b>0.551</b>	<b>0.625</b>		-0.076	0.271	0.072
Opal	0.011	<b>-0.558</b>	<b>-0.553</b>	-0.076		<b>-0.388</b>	-0.125
Karbonat	0.277	<b>0.397</b>	<b>0.472</b>	0.271	<b>-0.388</b>		-0.265
GF	-0.230	0.076	0.019	0.072	-0.125	-0.265	

Tab. 4.5 Bivariate Korrelationskoeffizienten  $r$  für die Sedimente der Auftriebsfazies. Signifikante Merkmalsbeziehungen ( $p = 0,05$ ) wurden **fett** gedruckt.

<i>Merkmal</i>	<i>Faktor 1</i>	<i>Faktor 2</i>
WG	0.214	0.709
TOC	<b>0.948</b>	0.061
N	<b>0.954</b>	0.150
Chlorine	0.626	0.237
Opal	<b>-0.707</b>	0.202
Karbonat	0.511	0.504
GF	0.196	<b>-0.784</b>
Expl. Varianz in %	30.5	15.0

Tab. 4.6 Ergebnisse der Faktorenanalyse für die Sedimente der Auftriebsfazies. Signifikante Faktorladungen wurden **fett** gedruckt.

Um aus den Merkmalsgruppen die dominierenden Sedimentationsfaktoren herauszufiltern, wurde eine Faktorenanalyse (VARIMAX) durchgeführt (Tab. 4.6). Im *Faktor 1* finden sich hochladend positiv TOC und N, hochladend negativ die Gehalte an Opal im Sediment, d. h. die an TOC bzw. N gekoppelte Sedimentation von organischem Material steht im Gegensatz zur Opalakkumulation. Gründe

für diese scheinbare *TOC-Opal-Konkurrenz* wurden bereits mehrfach beschrieben. Im *Faktor 2* wird die Wechselwirkung von Grobfraktionsanteil und Wassergehalt im Sediment hervorgehoben. Hohe Wassergehalte (positive Faktorladung) sind an tonreiche Schlämme gebunden. Je höher der Grobfraktionsanteil in den Sedimenten desto niedriger ist deren Wassergehalt. Die sedimentologischen Merkmale GF und WG stehen jedoch in keinerlei signifikanten Zusammenhang zu den geochemischen Produktivitätsproxies, sind also *ausschließlich* für das Erkennen von aufgearbeiteten bzw. erodierten Sedimenten von Bedeutung.

#### 4.3.3 Auswertung

In den statistischen Analysen konnte die „Faziesbezogenheit“ der einzelnen Merkmale bestätigt werden, wobei hohe TOC-, N-, Opal-, Chlorin- und Wassergehalte für Sedimente der Auftriebsfazies stehen, hohe Karbonat- und Grobfraktionsanteile sowie ein höherer TOC/N-Index für aufgearbeitetes bzw. umgelagertes Material. Anhand der vorgegebenen Unterscheidungsmerkmale konnten Oberflächenproben, die nicht das Signal der Auftriebsproduktivität widerspiegeln, ausgegrenzt werden. Erst so war es möglich, typische Charakteristika für die peruanische Auftriebsfazies sichtbar zu machen: Wassergehalte von 65,6 - 75,8 %, TOC von 4,0 - 18,2 %, N von 0,5 - 2,2 %, Opal von 2,0 - 17,5 %, Chlorine von 0,4 - 1,4 mg/g, Karbonat von 0 - 21,5 % sowie Grobfraktionsanteile von 0,4 - 21,0 %.

Die unimodalen Merkmalsverteilungen in den Histogrammen sprechen für eine ungestörte, homogene Sedimentation im Auftriebsgebiet, d. h. für eine Überlieferung des primären Produktivitätssignals in den Oberflächensedimenten. Eine Ausnahme bilden hier, wie auch in den Korrelationsmatrizen, die Gehalte von TOC und N im Sediment. Ihre Verteilung scheint von komplexeren Faktoren gesteuert. Neben der biologischen Produktivität im Oberflächenwasser werden ihre Konzentrationen von Verdünnungseffekten (z. B. aufgrund enorm hoher Opalakkumulation in Wassertiefen kleiner 200 m) bzw. strömungsbedingtem Transport der langsam sinkenden, feinen organischen Partikel beeinflusst.

Die sedimentologischen Merkmale WG und GF der Auftriebssedimente zeigen keinerlei signifikanten Zusammenhang zu den geochemischen Proxies und damit zur biologischen Produktivität im Bereich der Auftriebszelle. Grobfraktions- und Wassergehalte dienen somit ausschließlich der Faziesabgrenzung, d. h. dem Erkennen von aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimenten.

Die beschriebenen Ergebnisse der statistischen Analysen sind umfangreich, die angewendeten Methoden sehr komplex - eine Zusammenfassung soll mit Hilfe vereinfachter Modelle erfolgen (Abb. 4.10). Sie erlauben einen generellen Überblick zur Faziesabgrenzung und Charakterisierung der Auftriebsedimente inklusive deren Produktivitätsproxies.

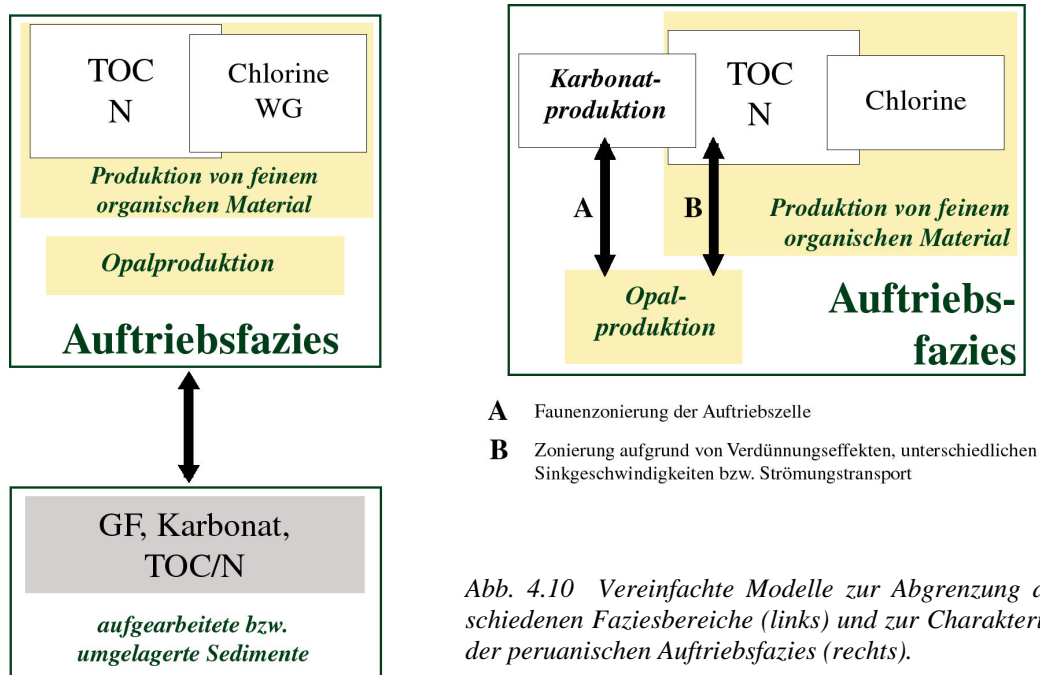


Abb. 4.10 Vereinfachte Modelle zur Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche (links) und zur Charakterisierung der peruanischen Auftriebsfazies (rechts).

#### 4.4 Einschätzung der Merkmale in Bezug auf Paläo-Rekonstruktionen

Die Oberflächenproben wurden nicht nur untersucht, um derzeitige Sedimentationsmuster im Auftriebsgebiet aufzudecken. Ziel war es auch, die Verlässlichkeit und Aussagekraft der einzelnen Sedimentmerkmale zu testen und bivariate Zusammenhänge sichtbar zu machen. Nur so war es möglich, geeignete Proxies für die Untersuchung von Sedimentkernen herauszufiltern, die eine einwandfreie Rekonstruktion der Auftriebsintensität bzw. -produktivität ermöglichen.

Die sedimentologischen Merkmale GF und WG zeigen sich in den Oberflächenproben als bestmögliche Unterscheidungskriterien zwischen den verschiedenen Faziesbereichen. Hohe **Wassergehalte (65,6 % - 75,8 %)** kennzeichnen die feinen organikreichen Schlämme im Bereich der Auftriebszelle, wohingegen erhöhte **Grobfraktionsanteile (größer 21 %)** aufgearbeitete bzw. umgelagerte Sedimente des Kontinentalhangs charakterisieren. **In Sedimentkernen können somit Hiaten, aufgearbeitete Horizonte bzw. Rutschungsereignisse anhand der Grobfraktionsanteile identifiziert werden.**

Wassergehalte sind infolge Kompaktion der Sedimente (Einregelung von Tonmineralen, Zerstörung ursprünglicher Sedimentstrukturen und biogenen Hohlräumen durch steigende Auflast) bzw. eventuelle Austrocknung nach der Probenahme für eine Abgrenzung weniger verlässlich. Wie in den Korrelations- und Faktoranalysen der Auftriebsedimente beschrieben wurde, stehen die sedimentologischen Merkmale WG und GF in keinem signifikantem Zusammenhang zur Produktivität des Küstenauftriebs.

Wie aus anderen Arbeiten bekannt (*Kapitel 1.4*), können die in den Sedimenten gemessenen Gehalte von **TOC**, **N**, **Karbonat**, **Opal** und **Chlorinen** zur Abschätzung der biologischen Produktivität im Oberflächenwasser herangezogen werden. Hauptsächlich aufgrund von Verdünnungseffekten aber auch durch unterschiedliche Sinkgeschwindigkeiten der organischen Partikel, Strömungstransport und Faunazonierung der Auftriebszelle kann es zu Abweichungen in den Signalen der einzelnen Proxies kommen.

In Sedimenten aus Wassertiefen kleiner 200 m spiegelt sich die hohe biologische Produktivität vorrangig in den Opalgehalten wider, während sie in Wassertiefen zwischen 200 m und 400 m von den erhöhten TOC-Konzentrationen (analog dazu N) reflektiert wird. Die Chloringehalte nehmen zwischen Opal und TOC eine Mittlerstellung ein. Aufgrund ihres wesentlich geringeren Anteils im Sediment (Angaben in mg/g), bleiben Chlorinkonzentrationen von Verdünnungseffekten weitaus unberührt, so dass hohe Gehalte sowohl in Opal- als auch TOC-dominierten Sedimenten auftreten.

Hohe Karbonatgehalte sind auf den Randbereich der Auftriebszelle konzentriert, wo kalzitische Coccolithophoriden die Phytoplankton-Flora dominieren (Zonierung der Auftriebszelle, *Abb. 1.2*). Erhöhte Karbonatanteile sind aber auch ein Charakteristikum für aufgearbeitetes bzw. umgelagertes Material wie z. B. in Bereichen starker Bodenströmung. Hier sorgt das Ausblasen feinen organischen Materials für eine relative Anreicherung gröberer Komponenten, u. a. kalkschalige Gehäuse von Foraminiferen. Eine Unterscheidung der beiden Faziesbereiche (Randbereich der Auftriebszelle bzw. aufgearbeitetes Material) kann unter Hinzunahme der Grobfraktionsanteile im Sediment (kleiner oder größer 19 %, *Kapitel 4.2.2*) erfolgen.

## 5 SEDIMENTKERNE AUS DEM AUFTRIEBSGEBIET

### 5.1 Kernlokationen und Lithologie

Wie in *Kapitel 3.1* beschrieben, richten sich die Untersuchungen zur Rekonstruktion der Paläoproduktivität auf *drei* Sedimentkerne aus dem Schelfbereich bzw. oberen Kontinentalhang vor der Küste Perus.

Alle drei Kernstationen, *SO147-4SL* in 96 m, *SO147-106KL* in 184 m und *SO147-41SL* in 587 m Wassertiefe, liegen im Bereich der heutigen Sauerstoffminimumzone (BROCKMANN et al. 1980, ARNTZ 1986, EMEIS et al. 1991). Auf deren positiven Einfluss in Hinblick auf die Überlieferung des *upwelling*-Signals wurde bereits eingegangen (*Kapitel 1.3*). Die lebensfeindlichen anoxischen Bedingungen am Meeresboden reduzieren benthische Aktivitäten auf ein Minimum und sorgen für den Erhalt des primären Sedimentationssignals. Bei Sauerstoffgehalten  $< 0,2$  ml/l kommt es zur Ausbildung einer typischen Feinlamination der Sedimente im cm- bis mm-Bereich.

Vor der Probennahme in 5cm-Abständen wurden die Kerne makroskopisch beschrieben. Als Gemeinsamkeit muss hervorgehoben werden, dass in allen drei Kernen die Auftriebsfazies durch siltig-tonige, grünlichgraue bis -braune Diatomeenschlämme charakterisiert ist. Je nach Sauerstoffangebot im Bodenwasser sind diese laminiert oder homogen mit leichten Bioturbationen. Anhand der aufgenommenen Merkmale wie Materialzusammensetzung (siltiger Ton, toniger Silt, Silt, Sand), Sedimentstrukturen (Lamination, Erosionsdiskordanzen) oder Einlagerungen (Phosphoritkonkretionen oder Muschelschalen) konnten Unterschiede in der Lithologie der Sedimentkerne sichtbar gemacht werden (*Abb. 5.1*).

Der Kern *SO147-106KL* entstammt der Schlicklinse vor Callao (*Abb. 2.4*), wo aufgrund der geschützten Lage im Schatten des OSH (*outer shelf high*) eine mächtige Abfolge feinlaminiertes Sedimente erhalten blieb. Der mit 18,75 m längste Kern der SONNE-147-Fahrt besteht größtenteils aus olivgrünem bis – braunem Diatomeenschlamm (siltiger Ton). Größere Silthorizonte sind nur vereinzelt (in 955 bis 1060 cm bzw. 1360 bis 1460 cm Sedimenttiefe) eingeschaltet. Zwischen 963 bis 967 cm tritt eine markante Muschelschill-Lage auf. Strukturell zeichnet sich die Auftriebsfazies durch eine feine Lamination der Sedimente aus, die sich im Kern jedoch nicht kontinuierlich fortsetzt, sondern ab und zu von homogen ausgebildeten Abschnitten unterbrochen ist. Die Wechsel

von laminierten und homogenen, leicht bioturbat gestörten Abschnitte deuten auf Veränderungen in der Bodenwasserdurchlüftung hin.

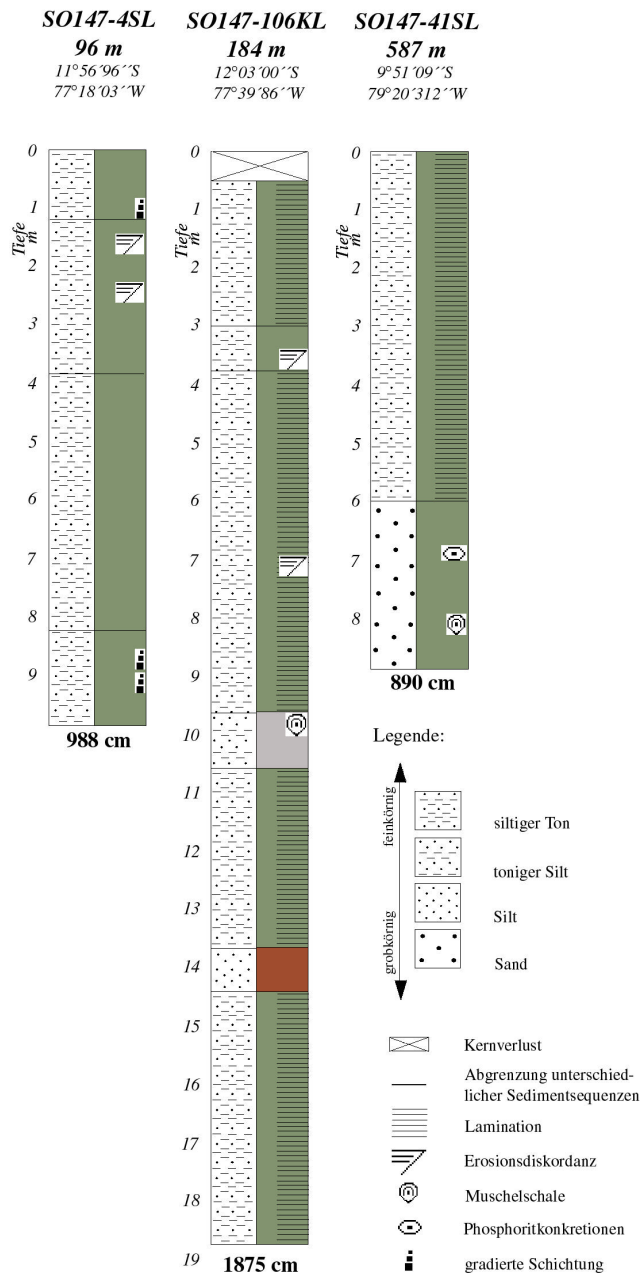


Abb. 5.1 Lithologie der untersuchten Sedimentkerne *SO147-4SL*, *SO147-106KL* und *SO147-41SL*.

Ist im oberen Teil trotz fehlender Lamination eine Stratifizierung der Sedimente zu erkennen, fehlt diese im unteren Kernabschnitt gänzlich. Die homogenen, karbonatreicheren Sedimente zeichnen sich durch Einschaltungen von glimmerführenden Schlammlagen aus, die zum Großteil aus terrigenem Material bestehen.

Die fehlende Feinlamination in Kern *SO147-4SL* spricht für eine Bodenwasserdurchlüftung  $> 0,2 \text{ ml/l O}_2$ . Dies deckt sich mit Darstellungen von EMEIS et al. (1991) bzw. BIEBOW (1996), wonach in küstennahen Gebieten Bodenwasser mit Sauerstoffgehalten  $< 0,2 \text{ ml/l O}_2$  erst in Wassertiefen größer 100 m auftritt.

Die Ablagerung des biogenen Materials an der küstennahen Kernstation des *SO147-4SL* wird in hohem Maße von vorherrschenden Bodenströmungen beeinflusst. In der Lithologie des Sedimentkerns werden Umlagerungsereignisse durch eine Vielzahl siltiger Horizonte sichtbar. Die 0,5 bis 3 cm mächtigen Lagen, die z. T. eine deutlich gradierte Schichtung erkennen lassen, sind auf die oberen 1,4 m des Kerns begrenzt. Weitere Indizien für Umlagerungen und Resuspensionen geben vermehrt auftretende Erosionskontakte im Bereich zwischen 1,4 bis 3,7 m Sedimenttiefe.

In 8,2 m Tiefe setzt ein deutlicher



Die Kernstation *SO147-41SL* hebt sich in zweierlei Hinsicht von den bereits beschriebenen Stationspunkten *SO147-4SL* und *SO147-106KL* ab. Während die beiden letztgenannten im Schelfbereich vor Callao positioniert sind, entstammt der Kern *SO147-41SL* dem nördlich gelegenen Salaverry-Becken, aus dem Bereich des oberen Kontinentalhangs (587 m Wassertiefe). Die oberen 6 m des Kerns bestehen aus feinem olivgrünem Diatomeenschlamm, der in den ersten 15 cm homogen ausgebildet ist, darunter aber eine feine Lamination im cm- bis mm-Bereich aufweist. In 6 m Tiefe vollzieht sich ein abrupter Wechsel zu homogenen Foraminiferensanden, denen kleine Phosphoritkongregationen eingeschaltet sind. Diese reichen bis zur Basis des Kerns in 8,90 m Tiefe. Für die weiterführenden Untersuchungen wurden ausschließlich die oberen 6 m des Kerns betrachtet, da nur in diesem Bereich das *upwelling*-Signal in den feinlaminierten Diatomeenschlämmen archiviert ist.

## 5.2 *Ergebnisse der Laboranalysen*

Die durchgeführten Untersuchungen umfassten geochemische Analysen (Messung von TC-, N-, TOC-, Karbonat-, Opal- und Chlorinkonzentrationen) sowie sedimentologische Arbeiten (Bestimmung des Grobfraktionsanteils). Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Analysemethoden erfolgte bereits in *Kapitel 3*.

Bei der Untersuchung der drei Kerne wurde analog vorgegangen. Generell wurden alle gewonnenen Proben (Beprobung in 5cm-Abständen) analysiert: **362** Proben in Kern *SO147-106KL*, **199** Proben in Kern *SO147-4SL* und **119** Proben in Kern *SO147-41SL*. Bei der Opal- und Chlorinbestimmung musste sich aus Zeit- und Kostengründen auf jede vierte Probe beschränkt werden, d. h. alle 20 cm liegt ein Messwert vor.

Bei der Auswertung der Analysedaten wurden nicht nur die gemessenen TC-, N-, TOC-, Karbonat-, Opal-, Chlorin- und Grobfraktionsanteile einbezogen, sondern zusätzlich Indizes wie TOC/N und Karbonat/TOC berechnet. Zur Abschätzung des variierenden Terrigeneintrags in den Sedimentkernen wurde eine Maßzahl aus den gemessenen TOC-, Opal- und Karbonatgehalten ermittelt. Die Prozentanteile der Biogenanteile wurden addiert und zu 100 Gewichtsprozent des Trockensediments in Beziehung gesetzt. Da nur die marine Bioproduktion und der terrigene Eintrag für die Sedimentation im Untersuchungsgebiet verantwortlich sind, kann der Terrigeneintrag wie folgt berechnet werden:  $\text{Terrigeneintrag} = 100\% - (\text{TOC \%} + \text{Opal \%} + \text{Karbonat \%})$ .

In Abbildung 5.2, 5.3 und 5.4 wurden die gemessenen Konzentrationen bzw. berechneten Indizes gegen die Tiefe im Sedimentkern aufgetragen. Der graphische Überblick

zeigt auf, wie stark die Sedimente in ihrer Zusammensetzung variieren. So werden nicht nur Unterschiede zwischen den drei Sedimentkernen deutlich, beispielsweise durch die Spannweiten der gemessenen Konzentrationen, sondern auch Veränderungen innerhalb der Kernsequenzen.

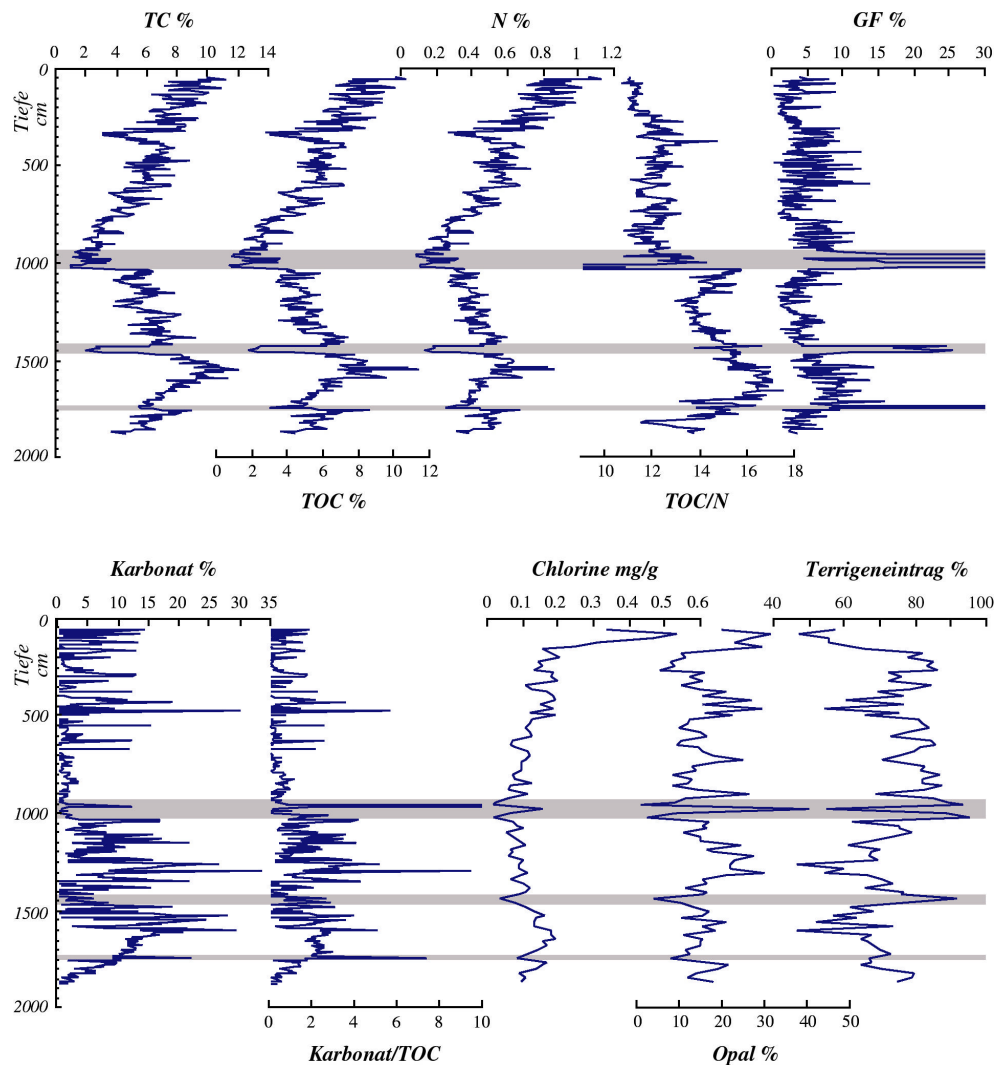


Abb. 5.2 Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern SO147-106KL. Graue Lagen markieren Umlagerungs- bzw. Erosionshorizonte mit enorm hohen Grobfraktionsanteilen GF im Sediment.

In Kern **SO147-106KL** fallen drei Horizonte mit erhöhten Grobfraktionsanteilen auf (in Abb. 5.2 grau hinterlegt). In Anbindung an Ergebnisse der Oberflächenproben (Kapitel 4) stellen diese, für Sedimente der Auftriebsfazies untypisch hohen Grobfraktionsanteile (GF größer 21 %) Umlagerungs- bzw. Erosionshorizonte dar. Die markanten Lagen spiegeln sich auch in den anderen Merkmalen wider. Besonders in den TC-, N-, TOC- und Karbonatkonzentrationen aber auch im TOC/N-Index werden sprunghafte Trend-

wechsel an diesen Erosionshorizonten deutlich, was darauf schließen lässt, dass es sich um größere Schichtlücken (Hiaten) handeln muss. Die Zunahme der TOC/N-Werte mit steigender Tiefe ist auf diagenetische Alterationen zurückzuführen (REIMERS & SUESS 1983a), d. h. Veränderungen in der atomaren Zusammensetzung des organischen Materials infolge mikrobieller Zersetzung des Kohlenstoffs.

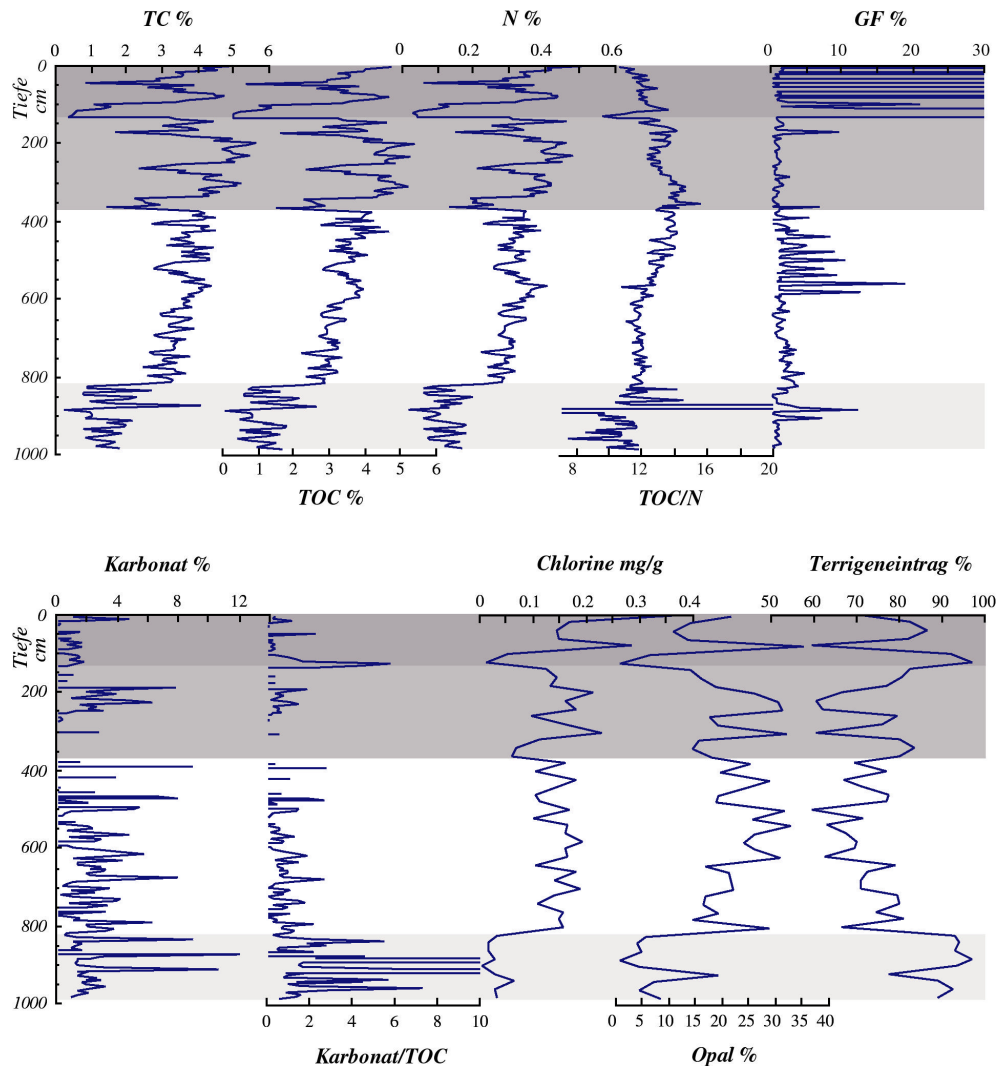


Abb. 5.3 Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern SO147-4SL. Die in den Textausführungen näher beleuchteten Bereiche wurden grau hinterlegt.

Der bereits in der lithologischen Beschreibung des Kerns **SO147-4SL** sichtbare Sedimentationswechsel in 8,2 m Tiefe (Kapitel 5.1) zeigt sich auch in den gemessenen Konzentrationen und Indizes (Abb. 5.3). Im Liegendbereich steigt der Karbonatanteil in Bezug zur Gesamtproduktion organischen Materials (Karbonat/TOC-Index) sprunghaft an. Die in den oberen 1,4 m gehäuft auftretenden Siltlagen werden von den anormal hohen,

stark variierenden Grobfraktionsanteilen im Topbereich des Kerns (bis 1,4 cm Sedimenttiefe) reflektiert. Im Bereich von 1,4 bis 3,7 m Sedimenttiefe, für den bereits vermehrt auftretende Erosionskontakte beschrieben wurden, markieren stark reduzierte Biogenanteile (TC, N, TOC, Opal, Chlorine) der Sedimente Umlagerungsereignisse.

Kern *SO147-41SL* (Abb. 5.4) unterscheidet sich durch auffallend konstante Konzentrationsschwankungen von den beiden anderen Kernen. Dies spricht für eine sehr ausgewogene, kontinuierliche Sedimentation des biogenen Materials. Große Erosionsdiskordanzen und Trends (*SO147-106KL*) bzw. Sedimentationswechsel, eingeschaltete Siltlagen oder Umlagerungshorizonte (*SO147-4SL*) fehlen gänzlich.

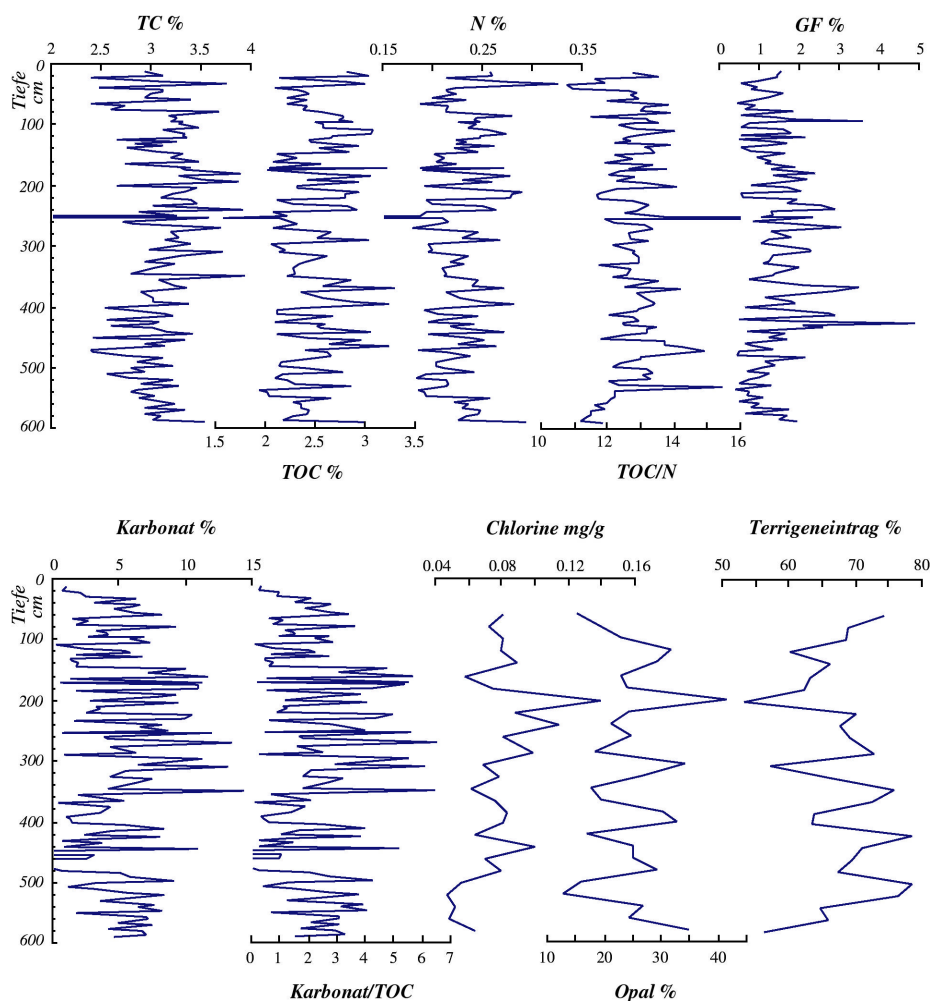


Abb. 5.4 Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern *SO147-41SL*.

**In allen drei Kernen geben die TC-, N- und TOC-Konzentrationen nahezu identische Signale wider. Bei der Rekonstruktion der Paläoproduktivität (Kapitel 6) wird sich nur noch auf den TOC-Gehalt als repräsentativen Proxie bezogen.**

### 5.3 Statistische Auswertung

	<i>TC</i>	<i>N</i>	<i>TOC</i>	<i>Karbonat</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karbonat TOC/</i>	<i>GF</i>	<i>Opal</i>	<i>Chlo- rine mg/g</i>	<i>Terrig- en %</i>
	%	%	%	%			%	%		%
<b>SO147-106KL</b>										
$\bar{x}$	6.09	0.48	5.40	5.81	13.27	1.15	6.33	16.07	0.13	67.02
md	6.18	0.46	5.43	3.09	12.81	0.70	4.41	15.32	0.12	67.01
min	1.01	0.08	0.78	0.00	6.89	0.00	0.36	1.17	0.02	39.87
max	12.10	1.13	11.39	33.67	17.53	13.44	72.22	40.70	0.54	94.25
R	11.09	1.05	10.62	33.67	10.64	13.44	71.86	39.53	0.52	54.38
<b>SO147-4SL</b>										
$\bar{x}$	3.20	0.28	3.02	1.73	12.37	1.08	4.05	18.49	0.13	77.12
md	3.40	0.31	3.23	1.15	12.32	0.40	1.29	19.02	0.14	77.31
min	0.26	0.02	0.08	0.00	4.50	0.00	0.12	0.64	0.00	59.48
max	5.64	0.52	5.40	12.05	28.64	27.29	53.84	35.03	0.36	97.10
R	5.38	0.50	5.32	12.05	24.14	27.29	53.72	34.39	0.36	37.62
<b>SO147-41SL</b>										
$\bar{x}$	3.10	0.23	2.50	5.04	12.80	2.16	1.43	24.44	0.08	67.08
md	3.13	0.22	2.44	4.46	12.76	1.81	1.31	24.62	0.08	67.62
min	1.67	0.10	1.58	0.00	10.77	0.00	0.42	12.92	0.05	50.48
max	3.94	0.33	3.31	14.33	17.85	6.54	4.89	44.22	0.14	78.39
R	2.26	0.22	1.73	14.33	7.08	6.54	4.47	31.30	0.09	27.91

Tab. 5.1 Statistische Maßzahlen zur Beschreibung der Kerne. ( $\bar{x}$ ) definiert den Mittelwert, (md) den Medianwert, (min) den kleinsten Wert, (max) den größten Wert der Datenreihe. (R) gibt die Spannweite an.

Zur besseren Beschreibung der Verteilungsmuster wurden für die Datenreihen der einzelnen Merkmale statistische Maßzahlen berechnet. Mit Hilfe der Mittel- ( $\bar{x}$ ), Median- (md), Maximal- bzw. Minimalwerte (min, max) sowie der Spannweiten (R) kann der Vergleich zwischen den drei Sedimentkernen weiter vertieft werden (Tab. 5.1).

Im Kern *SO147-106KL* schwanken die gemessenen TC-Konzentrationen im Sediment zwischen 1,0 % und 12,1 %, die des TOC zwischen 0,8 % und 11,4 %. Der Stickstoffgehalt N liegt im Bereich von 0,1 % bis 1,1 %. Die berechneten Mittel- und Medianwerte (Tab. 5.1) sind in den drei Datenreihen annähernd identisch (TC:  $\bar{x} = 6,1$  %; md = 6,2 %; N:  $\bar{x} = md = 0,5$  %; TOC:  $\bar{x} = md = 5,4$  %), was für eine homogene Verteilung der Merkmale spricht. Die Werte des Terrigeneintrags schwanken zwischen 39,9 % und 94,3 %. Der berechnete Mittelwert gleicht dem Medianwert, was auf eine homogene Verteilung in der Merkmalsreihe hindeutet. Ebenfalls homogen verteilt erscheinen die zwischen 1,2 % und 40,7 % schwankenden Opalgehalte ( $\bar{x} = 16,1$  %; md = 15,3 %), die berechneten Indizes TOC/N (min = 6,9; max = 17,5;  $\bar{x} = 13,3$ ; md = 12,8) bzw. Karbonat/TOC (min = 0,0; max = 13,4;  $\bar{x} = 1,2$ ; md = 0,7) sowie die Chloringehalte (min = 0,02 mg/g; max = 0,54 mg/g;  $\bar{x} = 0,13$  mg/g; md = 0,12 mg/g). Karbonat-

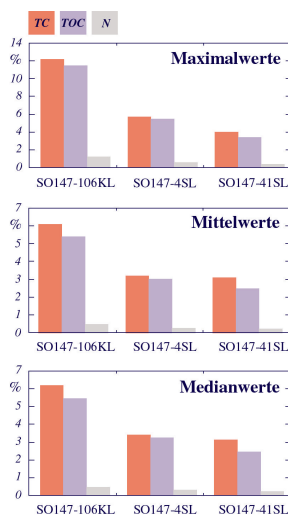
und Grobfraktionsanteile zeigen deutlich inhomogene Verteilungen, markiert durch große Differenzen zwischen dem berechneten Mittel- und Medianwert der jeweiligen Datenreihe. Der Karbonatgehalt schwankt in den Sedimenten zwischen 0 % und 33,7 %. Die abweichenden Maßzahlen  $\bar{x} = 5,8$  % und  $md = 3,1$  % charakterisieren eine deutlich zu kleineren Werten tendierende Verteilung. Gleiches gilt für den Grobfraktionsanteil im Sediment. Seine Werte variieren zwischen 0,4 % und 72,2 %, wobei der hohe Mittelwert  $\bar{x} = 6,3$  %, in Relation zu dem deutlich niedrigeren Medianwert  $md = 4,4$  %, von den drei „Ausreißerlagen“ mit enorm hohen Grobfraktionsanteilen (bei etwa 1000 cm, 1450 cm bzw. 1800 cm Sedimenttiefe, *Abb. 5.1*) verursacht wird. Auch hier tendieren die Daten generell zu niedrigeren Werten.

Im Vergleich zu *SO147-106KL* sind die Anteile an TC-, TOC- und N im Kern *SO147-4SL* wesentlich geringer. Der Gehalt an TC liegt zwischen 0,3 % und 5,6 %, der des TOC bei 0,1 % bis 5,4 % und N bei 0,0 % bis 0,5 %. Der reduzierte Anteil an biogenem Material in den Sedimenten wird ebenfalls in den Mittel- und Medianwerten der gemessenen Konzentrationen deutlich (TC:  $\bar{x} = 3,2$  %;  $md = 3,4$  %; N:  $\bar{x} = md = 0,3$  %; TOC:  $\bar{x} = 3,0$  %;  $md = 3,2$  %). Schon die geringen  $\bar{x}$ - $md$ -Differenzen bei den TC- und TOC-Konzentrationen machen deutlich, dass die biogenarmen Horizonte in den oberen 3,7 m des Kerns die Verteilung in den Merkmalsreihen negativ beeinflussen. Die größeren Mediangehalte geben die Tendenz der Messdaten zu generell höheren Werten wieder. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Verteilung der Opalgehalte ( $min = 0,6$  %;  $max = 35,0$  %;  $\bar{x} = 18,5$  %;  $md = 19,0$  %) und Chlorinkonzentrationen ( $min = 0,00$  mg/g;  $max = 0,36$  mg/g;  $\bar{x} = 0,13$  mg/g;  $md = 0,14$  mg/g) wider. Demgegenüber zeigen die gemessenen Karbonatgehalte ( $min = 0,0$  %;  $max = 12,1$  %;  $\bar{x} = 1,7$  %;  $md = 1,2$  %), der Karbonat/TOC-Index ( $min = 0,0$ ;  $max = 27,3$ ;  $\bar{x} = 1,1$ ;  $md = 0,4$ ) sowie die Grobfraktionsanteile ( $min = 0,1$  %;  $max = 53,8$  %;  $\bar{x} = 4,1$  %;  $md = 1,3$  %) eine generell zu niedrigeren Werten tendierende Verteilung. Der berechnete TOC/N-Index variiert zwischen 4,5 und 28,6 mit  $\bar{x} = 12,4$  und  $md = 12,3$ , der geschätzte Terrigeneintrag zeigt Werte zwischen 59,5 % und 97,1 % mit  $\bar{x} = 77,1$  % und  $md = 77,3$  %. In beide Merkmalsreihen scheint der Mittelwert von „Ausreißern“ unberührt.

Im Kern *SO147-4ISL* sind die gemessenen TC-, TOC- und N-Konzentrationen noch niedriger als in *SO147-4SL*. TC schwankt zwischen 1,7 % und 3,9 % ( $\bar{x} = md = 3,1$  %), TOC zwischen 1,6 % und 3,3 % ( $\bar{x} = 2,5$  %;  $md = 2,4$  %) und N zwischen 0,1 % und 0,3 % ( $\bar{x} = md = 0,2$  %). Mittel- und Medianwerte der einzelnen Konzentrationen sind

annähernd gleich, was für eine homogene Verteilung der Merkmale spricht. Auffällig in Kern *SO147-41SL* ist, dass auch die Mittel- und Medianwerte **aller** anderen Merkmale auf eine homogene Verteilung in der Merkmalsreihe deuten: TOC/N ( $min = 10,8$ ;  $max = 17,9$ ;  $\bar{x} = md = 12,8$ ), Grobfraktionsanteil GF ( $min = 0,4$  %;  $max = 4,9$  %;  $\bar{x} = 1,4$  %;  $md = 1,3$  %), Karbonatgehalt ( $min = 0,0$  %;  $max = 14,3$  %;  $\bar{x} = 5,0$  %;  $md = 4,5$  %), Karbonat/TOC-Index ( $min = 0,0$ ;  $max = 6,5$ ;  $\bar{x} = 2,2$ ;  $md = 1,8$ ), Chloringehalt ( $min = 0,05$  mg/g;  $max = 0,14$  mg/g;  $\bar{x} = md = 0,08$  mg/g), Opalgehalt ( $min = 12,9$  %;  $max = 44,2$  %;  $\bar{x} = 25,4$  %;  $md = 24,6$  %) und geschätzter Terrigeneintrag ( $min = 50,5$  %;  $max = 78,4$  %;  $\bar{x} = 67,1$  %;  $md = 67,6$  %).

Beim Vergleich der statistischen Maßzahlen fällt auf:



- Die höchsten **TC-, N- und TOC-Konzentrationen** sind in Kern *SO147-106KL* zu finden, gefolgt von *SO147-4SL* und *SO147-41SL* (Abb. 5.5). Dieser Trend zeichnet sich in den homogenen Merkmalsreihen sowohl in den Maximalwerten (TC: 12,10 % > 5,64 % > 3,94 %; N: 1,13 % > 0,52 % > 0,33 %; TOC: 11,39 % > 5,40 % > 3,31 %) als auch Mittelwerten (TC: 6,09 % > 3,20 % > 3,10 %; N: 0,48 % > 0,28 % > 0,23 %; TOC: 5,40 % > 3,02 % > 2,50 %) und Medianwerten (TC: 6,18 % > 3,40 % > 3,13 %; N: 0,46 % > 0,31 % > 0,22 %; TOC: 5,43 % > 3,23 % > 2,44 %) ab.

Abb. 5.5 Gegenüberstellung der Maximal-, Mittel- und Medianwerte in den gemessenen TC-, TOC- und N-Konzentrationen der Kerne (Tab. 5.1).

- Die höchsten **Karbonatgehalte** sowie **Karbonat/TOC-Verhältnisse** wurden im Kern *SO147-41SL* gemessen, gefolgt von *SO147-106KL* und *SO147-4SL*. In den inhomogen verteilten Merkmalsreihen (Diskrepanz zwischen Mittel- und Medianwert durch „Ausreißer“ in der Merkmalsreihe, d. h. einzelne untypische Lagen mit extrem hohen Konzentrationen) wird dieser Trend jedoch nur durch die Berechnung des Medianwertes sichtbar (Karbonat: 4,46 % > 3,09 % > 1,15 %; Karbonat/TOC: 1,81 > 0,70 > 0,40).
- Die höchsten **Opalgehalte** zeigen sich in Kern *SO147-41SL*, gefolgt von *SO147-4SL* und *SO147-106KL*. Hier bezieht sich die Rangverteilung auf die berechne-

ten Mittel- (24,44 % > 18,49 % > 16,07 %) und Medianwerte (24,62 % > 19,02 % > 15,32 %). Durch „Ausreißerlagen“ wird dieser Trend nicht in den berechneten Maximalwerten deutlich.

- Der **Grobfraktionsanteil** *GF* im Kern *SO147-41SL* ist sehr gering ( $\bar{x} = 1,43$  %;  $md = 1,31$  %) und zeigt, über die Minimal- und Maximalwerte definiert ( $min = 0,42$  %;  $max = 4,89$  %), nur eine ausgesprochen kleine Spannweite ( $R = 4,47$  %) im Vergleich zu *SO147-106KL* ( $R = 71,86$  %) bzw. *SO147-4SL* ( $R = 53,72$  %). Wenn man die „Ausreißerlagen“ (besonders hohe Grobfraktionsanteile in Horizonten umgelagerten bzw. aufgearbeiteten Materials) über die Berechnung des Medianwertes eliminiert, so zeigt sich, dass auch Kern *SO147-4SL* aus sehr feinkörnigen Sedimenten ( $md = 1,29$  %) besteht. In Kern *SO147-106KL* bleibt der Grobfraktionsanteil um 3,1 % höher ( $md = 4,41$  %).
- Der geschätzte **Terrigeneintrag** ist in den Sedimenten der Kerne ziemlich homogen verteilt, d.h. berechnete Mittel- und Medianwerte gleichen sich. Sein Durchschnittswert beträgt in den Kernen *SO147-106KL* und *SO147-41SL* etwa 67 %, wohingegen er in Kern *SO147-4SL* auf 77 % ansteigt. In diesem Fakt spiegelt sich die küstennahe Position des *SO147-4SL* wider. Betrachtet man die Maximalwerte in den einzelnen Sedimentkernen, so wird die Beziehung zwischen Küstenentfernung und Höhe des terrigenen Eintrags noch deutlicher: *SO147-4SL* ( $max = 97,10$  %) > *SO147-106KL* ( $max = 94,25$  %) > *SO147-41SL* ( $max = 78,39$  %). An dieser Stelle sei noch einmal darauf verwiesen, dass es sich bei dem Terrigeneintrag hauptsächlich um äolisches Material handelt (*Kapitel 2.4*).

Eine Frage ergibt sich bei der Betrachtung der *Karbonat- und Opalgehalte* in den Sedimentkernen, da beide im Kern *SO147-41SL* am höchsten sind:

- Die hohen Karbonatgehalte (und die gleichzeitig extrem niedrigen Grobfraktionsanteile) sprechen für eine Sedimentation im *Randbereich der Auftriebszelle*, wo kalzitische Coccolithophoriden die Phytoplanktonpopulation dominieren.
- Demgegenüber lassen die hohen Opalgehalte darauf schließen, dass die Sedimente im Bereich der *küstennahen Hochproduktionszone der Auftriebszelle* abgelagert wurden.

Eine einwandfreie Interpretation der Daten ist nur möglich, wenn man die bivariaten Beziehungen zwischen den gemessenen Karbonat- und Opalgehalten im Detail be-



leuchtet. Zu diesem Zweck wurden die originalen Messdaten der Produktivitätsproxies Opal, Chlorine, Karbonat und TOC einer bivariaten Korrelationsanalyse unterzogen (Tab. 5.2).

	<i>Chlorine</i>	<i>TOC</i>	<i>Opal</i>	<i>Karbonat</i>
Chlorine		<b>0,710</b>	0,330	<b>-0,391</b>
TOC	<b>0,710</b>		-0,005	-0,354
Opal	0,330	-0,005		-0,335
Karbonat	<b>-0,391</b>	-0,354	-0,335	

Tab. 5.2 Bivariate Korrelationskoeffizienten  $r$  für die Produktivitätsproxies Chlorine, TOC, Opal und Karbonat im Kern *SO147-41SL*. Signifikante Merkmalszusammenhänge ( $p = 0,05$ ) wurden **fett** gedruckt.

Signifikante Merkmalszusammenhänge ( $p = 0,05$ ) bestehen zwischen Chlorinen und TOC (0,710) sowie Chlorinen und Karbonat (-0,391). Abgeschwächt, doch immer noch deutlich, sind die Beziehungen zwischen TOC und Karbonat (-0,354), Opal und Karbonat (-0,335) bzw. Opal und Chlorinen (0,330). Stellt man sich die Ergebnisse in einem Modell vor, so stehen Chlorine, TOC und Opal (als Proxies für die biologische Produktivität im nährstoffreichen Zentrum der Auftriebszelle) dem Karbonatgehalt (als Proxie für die gesteigerte Karbonatproduktion im Randbereich der Auftriebszelle) gegenüber. Das bedeutet, Lagen, die sich durch hohe Opalgehalte auszeichnen, besitzen nur sehr geringe Anteile an Karbonat und umgekehrt. Wechsel in den Anteilen der biogenen Komponenten markieren Expansionen bzw. Kontraktionen der Auftriebszelle, deren Größe an die Intensität des Küstenauftriebs gekoppelt ist. Generell lassen die erhöhten Anteile an Opal und Karbonat im Kern *SO147-41SL* auf eine gesteigerte Produktivität im peruanischen Küstenauftrieb schließen.

#### 5.4 *Stratigraphische Einordnung der Sedimentkerne*

Mit Hilfe von AMS  $^{14}\text{C}$ -Messungen (Leibniz-Labor der Christian-Albrechts-Universität Kiel) war es möglich, ausgewählte Sedimentlagen zu datieren und Altersmodelle für die untersuchten Kerne *SO147-106KL*, *SO147-4SL* bzw. *SO147-41SL* zu erarbeiten. Bei den Altersangaben (in *kyr BP*) wurde ein Reservoireffekt von 550 Jahren (TAYLOR & BERGER 1967, BIEBOW 1996) berücksichtigt. In Tab. 5.3 befindet sich eine Übersicht zu den datierten Punkten. Für die stratigraphische Einordnung älterer Sedimentsequenzen (> 50000 Jahre) wurden gemessene Sauerstoffisotopenwerte an die Deuterium-Temperatur-Kurve des Vostok-Eiskerns (BARNOLA et al. 1987, JOUZEL et al. 1993, 1996) angepasst.

Tiefe in cm	<sup>14</sup> C-Alter in yr	s in yr	Alter in kyr BP
<b>SO147-106KL</b>			
55	2105	± 30	1.555
120	2490	± 30	1.940
170	2745	± 30	2.195
226	3500	± 30	2.950
260	4060	± 30	3.510
280	4305	± 30	3.755
290	4430	± 30	3.880
300	4635	± 30	4.085
310	4830	± 30	4.280
320	4955	± 30	4.405
440	9085	± 45	8.535
460	9240	± 45	8.690
480	9310	± 45	8.760
510	9470	± 50	8.920
520	9585	± 50	9.035
530	9740	± 50	9.190
540	9795	± 50	9.245
550	9815	± 55	9.265
700	11090	± 55	10.540
950	15180	± 60	14.630
965	16700	± 100	16.150
<b>SO147-4SL</b>			
20	1655	± 30	1.105
144	3720	± 35	3.170
804	10080	± 60	9.530
820	10370	± 70	9.820
980	10920	± 90	10.370
<b>SO147-41SL</b>			
20	17780	± 130	17.230
320	19680	± 160	19.130

Tab 5.3 Altersfixpunkte für die stratigraphische Einordnung der Sedimentkerne. Bei der Berechnung der Alter (in kyr BP) wurde ein Reservoirereffekt von 550 Jahren berücksichtigt.

#### 5.4.1 Altersmodell für SO147-106KL

Mit Hilfe von 21 AMS <sup>14</sup>C-Messungen und einer linearen Interpolation zwischen den datierten Punkten konnte für die oberen 9,5 m des Kerns *SO147-106KL* ein zuverlässiges Altersmodell erarbeitet werden, d. h. für einen Zeitabschnitt von **1,585** (± 0,030) bis **16,150** (± 0,100) kyr BP. Die stratigraphische Einordnung der tieferliegenden Sedimente basiert auf dem Vergleich der gemessenen Sauerstoffisotopen-Verhältnisse mit D-Temperatur-Werten des Vostok-Eiskerns (JOUZEL et al. 1993, 1996), wie in *Abb. 5.6* dargestellt. Mit dem Software-Programm *AnalySeries* (PAILLARD et al. 1996) war es möglich, die <sup>18</sup>O des Kerns *SO147-106KL* an die D-Temperatur-Daten des Vostok-Eiskerns anzuhängen. Unter Berücksichtigung der gemessenen Alkenondaten im Kern *SO147-106KL* (LÜCKGE, unveröffentlichte Daten) wurden die tieferen Sedimentabschnitte des Kerns (1050 bis 1875 cm Tiefe)

dem Isotopenstadium MIS 5e zugeordnet. Die Alkenondaten zeigen für diesen Bereich bis zu 2,4°C wärmere Oberflächenwassertemperaturen (*SST, sea surface temperature*) als für holozäne Zeiten. **Aufgrund der verbleibenden Unsicherheiten in Bezug zur Verlässlichkeit des Altersmodells (fehlende Altersfixpunkte) wird in den weiteren Ausführungen der tiefere Abschnitt nicht mit berücksichtigt.**

Wie in *Abb. 5.6* zu erkennen, weist der Kern *SO147-106KL* große Sedimentationsdiskordanzen (Hiaten) auf. Ein Großteil der MIS 2 und 5 sowie die dazwischen liegenden Stadien 3 und 4 sind nur noch fragmental in einem 1 Meter mächtigen Silthorizont (von 955 bis 1059 cm) enthalten, dem bei 964 bis 967 cm eine Schilllage eingeschaltet ist. Dieser Hiatus erstreckt sich insgesamt von 16,2 – 124,7 kyr BP. Der ebenfalls knapp 1 Meter mächtige Silthorizont zwischen 1357 bis 1440 cm Sedimenttiefe wird auf 126,2 – 128,5 kyr BP geschätzt.

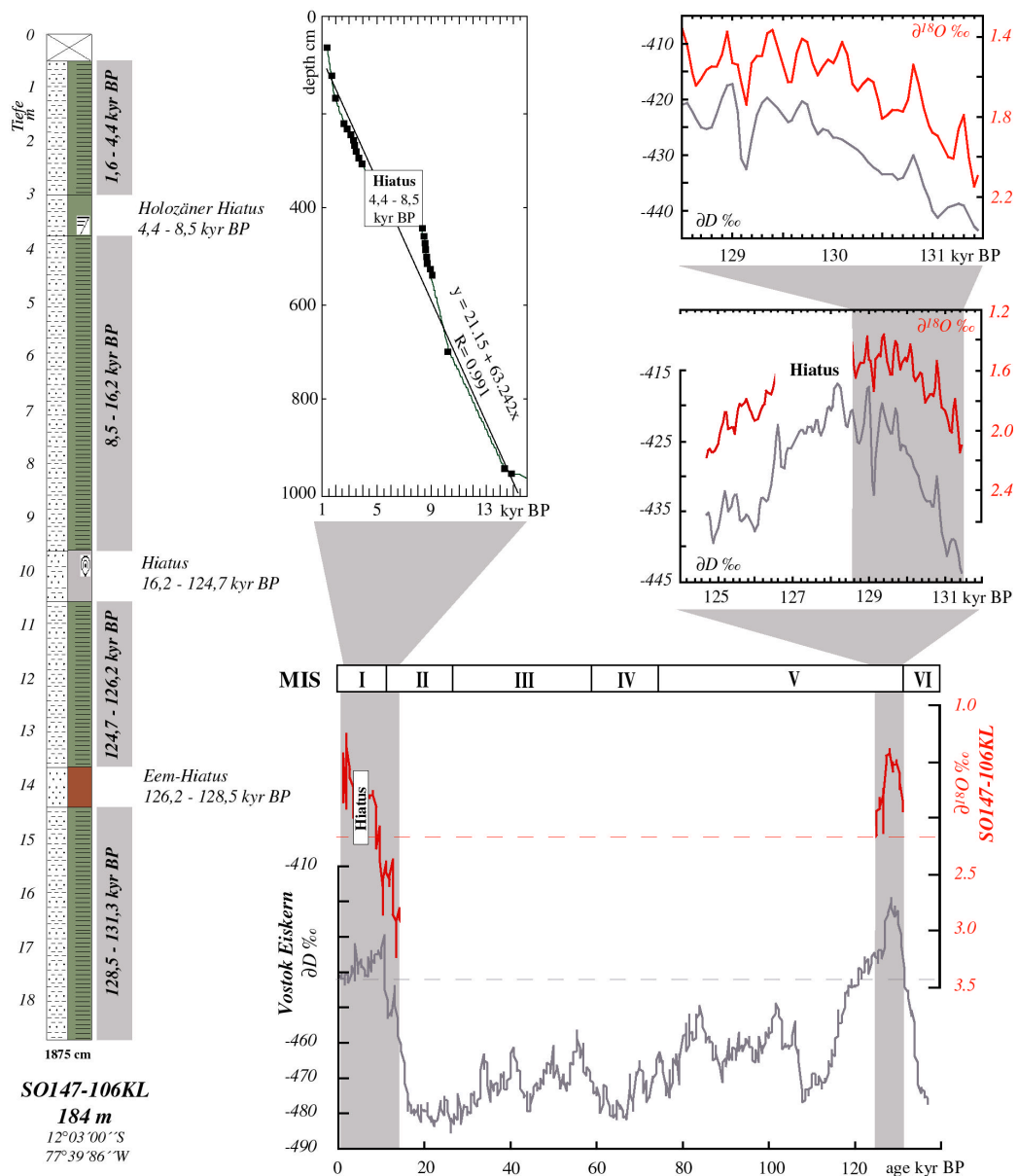


Abb. 5.6 Altersmodell für den Kern SO147-106KL.

Eine weitere Sedimentationsdiskordanz findet sich im oberen Teil des Kerns, in 298 cm bis 371 cm Sedimenttiefe (Abb. 5.6), die über AMS  $^{14}\text{C}$ -Alter auf 4,405 ( $\pm 0,030$ ) bis 8,535 ( $\pm 0,045$ ) kyr BP datiert ist. Im Lithologieprofil des Kerns (Abb. 5.1) ist dieser Bereich als homogener Horizont mit erosivem Kontakt an der Basis ausgewiesen. Schon in früheren Arbeiten (REIMERS & SUESS 1983b, BIEBOW 1996) wurde auf diese Sedimentationslücke in den holozänen Ablagerungen vor der Küste Perus hingewiesen. So beschrieb BIEBOW (1996) anhand dreier Sedimentkerne aus Wassertiefen von 204 m (SO78-173), 237 m (SO78-158) bzw. 373 m (SO78-159) einen Hiatus zwischen 6 und 10 kyr BP. Auch zwei von REIMERS & SUESS (1983b) beschriebene

Kerne, aus 186 m und 411 m Wassertiefe, weisen diese markante Sedimentationsdiskordanz (4 bis 9 kyr BP) auf. Fasst man die Beobachtungen zusammen, so ist der holozäne Hiatus in Kernen aus Wassertiefen zwischen 184 m und 411 m beschrieben. Er beschränkt sich also auf einen Bereich von rund 220 m in der Tiefe. Es wird angenommen, dass eine Zunahme der atmosphärischen Zirkulation (verstärkte Passatwinde) während des Holozänen Wärmeoptimums zu einer verstärkten Bodenströmung, d. h. einem in seiner Intensität gesteigerten Gunther-Unterstrom führte, der eine Sedimentation in diesen Wassertiefen verhinderte und ältere Sedimente erodierte.

#### 5.4.2 Altersmodell für den Kern SO147-4SL

Fünf AMS  $^{14}\text{C}$ -Datierungen dienten als Grundlage für die zeitliche Einordnung des Kerns SO147-4SL (Tab. 5.3). Top und Basis des Kerns umfassen Zeitbereich von **0,796** ( $\pm 0,030$ ) bis **10,366** ( $\pm 0,090$ ) kyr BP.

Schon bei der lithologischen Beschreibung des Kerns (Kapitel 5.1) und auch in den Tiefendiagrammen der gemessenen Konzentrationen (Kapitel 5.2) wurde auf Umlagerungshorizonte in den oberen 3,8 m des Kerns hingewiesen. Durch zwei platzierte AMS- $^{14}\text{C}$ -Datierungen aus einem Umlagerungshorizont (133,5 – 134,0 cm Tiefe =  $3,425 \pm 0,040$  kyr BP) und dem darunterliegenden Bereich der ungestört abgelagerten Auftriebsfazies (143,0 – 143,5 cm Tiefe =  $3,170 \pm 0,035$  kyr BP) konnte gezeigt werden, dass es sich bei den biogen-armen Umlagerungshorizonten um aufgearbeitetes älteres Sedimentmaterial handelt. In Anbetracht der küstennahen Position des Stationspunktes in 96 m Wassertiefe sind diese Horizonte als Relikte von Erosionsereignissen infolge verstärkter Bodenströmung zu interpretieren.

Der Basisbereich des Kerns (8,2 bis 9,9 m Tiefe), welcher sich durch glimmerführende, karbonatreichere Sedimente auszeichnet, konnte durch die AMS  $^{14}\text{C}$ -Messungen auf  $9,81 (\pm 0,07)$  bis  $10,37 (\pm 0,09)$  kyr BP datiert werden. Nach FAIRBANKS (1989) lag der Meeresspiegel in der Karibik zu dieser Zeit 45 bis 40 m unter dem heutigen Niveau. Die Übertragbarkeit von Meeresspiegelkurven aus anderen Seeregionen muss mit einem gewissen kritischen Abstand betrachtet werden. Diesen Umstand berücksichtigend kann man jedoch folgendes Szenario mit einer Abweichung von maximal 10 m ( $\pm 5$  m) diskutieren: Die Kernposition SO147-4SL lag zu dieser Zeit landnah in einer Wassertiefe von etwa 50 - 55 m ( $\pm 5$  m). Die Position des Sedimentkerns war damals weniger vom hochproduktiven Küstenauftrieb als vielmehr vom Eintrag terrigenen Materials beeinflusst.

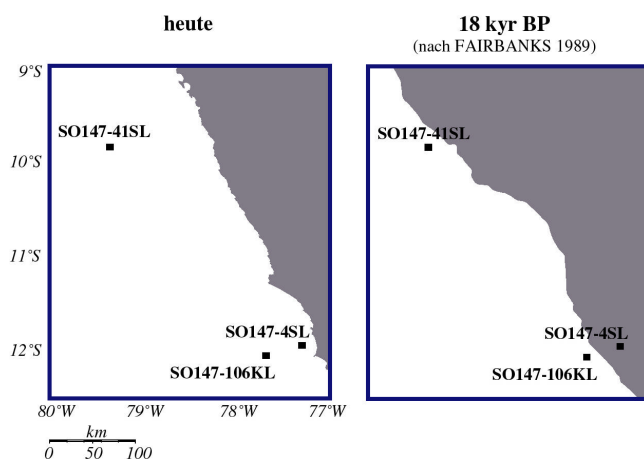
### 5.4.3 Altersmodell für den Kern SO147-41SL

Das Altersmodell für den Kern *SO147-41SL* stützt sich auf zwei AMS  $^{14}\text{C}$ -Messungen und einer linearen Interpolation zwischen den datierten Punkten (*Tab. 5.3*). Die laminierte Sedimentsequenz umfasst einen Bereich von **17,198** ( $\pm 0,130$ ) bis **20,840** ( $\pm 0,160$ ) kyr BP – eine Zeitscheibe des Letzten Glazialen Maximums.

## 5.5 Sedimentkerne als Paläo-Archive

Die untersuchten Sedimentkerne zeigen neben ihren textuellen und strukturellen Unterschieden (*Kapitel 5.1*) ebenfalls deutliche Variationen in ihren geochemischen und sedimentologischen Merkmalen (*Kapitel 5.2*). Unterschiede wurden auch in den Spannweiten der gemessenen Konzentrationen (Minimal- und Maximalwerte), den Mittel- bzw. Medianwerten sowie in den Homogenitäten der Merkmalsverteilungen sichtbar (*Kapitel 5.3*). Dies alles deutet auf ungleiche Sedimentationsbedingungen in unterschiedlichen Milieus hin.

Mit der stratigraphischen Einordnung der Sedimentkerne anhand von AMS  $^{14}\text{C}$ -Datierungen (*Kapitel 5.4*) wurde deutlich, dass die Kerne verschiedene Zeitabschnitte archivieren. *SO147-106KL* deckt einen Bereich von 1,59 ( $\pm 0,03$ ) bis 16,15 ( $\pm 0,10$ ) kyr BP ab, wobei eine größere Schichtlücke von 4,40 ( $\pm 0,03$ ) bis 8,54 ( $\pm 0,05$ ) kyr BP eingeschaltet ist. In *SO147-4SL* wurden Sedimente von 0,80 ( $\pm 0,03$ ) bis 10,37 ( $\pm 0,09$ ) kyr BP überliefert. In *SO147-41SL* sind es Ablagerungen aus dem Letzten Glazialen Maximum von 17,20 ( $\pm 0,13$ ) bis 20,84 ( $\pm 0,16$ ) kyr BP.



Ein Gesamtbild aus den angeführten Ergebnissen ergibt sich erst, wenn man die Position der Stationenpunkte mit glazialen/interglazialen Schwankungen des Meeresspiegels (nach FAIRBANKS 1989  $\pm 5$  m, siehe *Kapitel 5.4.2*) in Beziehung setzt (*Abb. 5.7, 5.8*).

*Abb. 5.7 Geographische Lage der Kernstationen in Relation zum Küstenverlauf: Situation heute und 18 kyr BP. Nach FAIRBANKS (1989) war der Meeresspiegel im Letzten Glazialen Maximum 120 m ( $\pm 5$  m) niedriger als heute.*

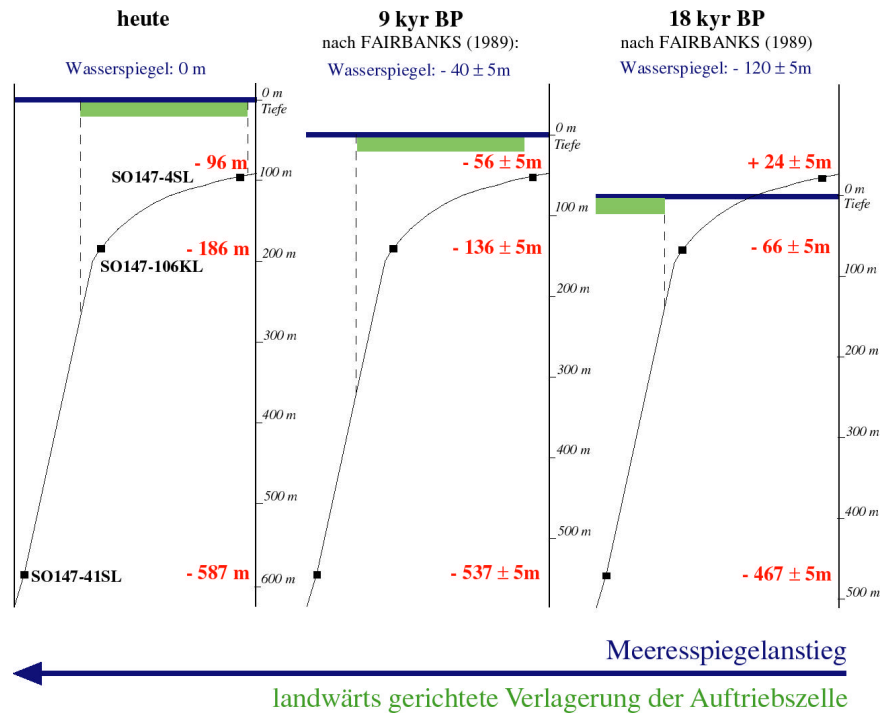


Abb. 5.8 Sich verändernde Kernpositionen in Relation zum Meeresspiegel: Situation 18 kyr BP, 9 kyr BP und heute. Der Einflussbereich der hochproduktiven Auftriebszelle (grünes Rechteck) wurde mit gestrichelten Linien markiert. Nur in diesem Bereich kann die Auftriebsfazies überliefert werden. Die aus dem deglazialen Meeresspiegelanstieg resultierende landwärtige Verlagerung der Auftriebszelle ist deutlich zu erkennen.

Im Letzten Glazialen Maximum (**18 kyr BP**) lag der Meeresspiegel etwa  $120 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$  unter seinem heutigen Niveau. Der Stationspunkt des Kerns *SO147-4SL* war damals nicht vom Meer überflutet, sondern lag etwa  $24 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$  über der Küstenlinie. Die Position des *SO147-106KL* befand sich in rund  $66 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$  Wassertiefe, kurz unterhalb der Wellenbasis (BREMNER 1983) und außerhalb des Einflussbereichs der hochproduktiven Auftriebszelle. Verstärkte Bodenströmungen und Wellenaktivitäten sorgten dafür, dass keine Sedimente zum Absatz kamen, sondern vielmehr älteres Material vom Meeresboden erodiert wurde (Hiatus von 16,2 bis 124,7 kyr BP, Abb. 5.6). Einziges Zeugnis über diese Zeit liefern die knapp 6 m mächtigen Sedimente des Kerns *SO147-41SL*. Die feinlaminierten Diatomeenschlämme wurden innerhalb der Sauerstoffminimumzone abgelagert und dokumentieren die Auftriebsproduktivität im Letzten Glazialen Maximum.

Die deglaziale Erwärmung führte zum Schmelzen der Eiskappen und somit zum kontinuierlichen Anstieg des Meeresspiegels. In diesem Prozess verlagerte sich auch die Auftriebszelle in landwärtige Richtung. Am Stationspunkt *SO147-106KL* wurden ab

16,2 ( $\pm 0,100$ ) kyr BP feinlaminierte Diatomeenschlämme der Auftriebsfazies sedimentiert; zu dieser Zeit befand sich die Station in rund 70 m ( $\pm 5$  m) Wassertiefe. Bezieht man sich weiter auf die Angaben von FAIRBANKS (1989), wurde die Kernstation *SO147-4SL* bei etwa 12,5 kyr BP geflutet.

Bei **9 kyr BP** lag der Meeresspiegel 40 m ( $\pm 5$  m) unter seinem heutigen Niveau, d. h. die Kernstationen befanden sich in 56 m ( $\pm 5$  m), 136 m ( $\pm 5$  m) bzw. 537 m ( $\pm 5$  m) Wassertiefe. Der Stationspunkt *SO147-41SL* lag zu dieser Zeit bereits außerhalb des Einflussbereichs der Auftriebszelle. Die küstennahe Position des Kerns *SO147-4SL* diente vorzugsweise als Auffangbecken für terrigenes Material (glimmerführender, karbonatreicher Horizont im Liegendbereich des Kerns). Erst ab 9,820 ( $\pm 0,070$ ) kyr BP (in einer Sedimenttiefe von 8,2 m) vollzieht sich ein Wechsel in der Sedimentation – feine Diatomeenschlämme der Auftriebsfazies beginnen sich abzulagern.

## 6 SCHWANKUNGEN IN DER PRODUKTIVITÄT DES KÜSTENAUFTRIEBS

### 6.1 *Rekonstruktion der Auftriebsproduktivität anhand von Proxiedaten*

An rezenten Oberflächenproben aus dem peruanischen Auftriebsgebiet (*Kapitel 4*) konnte deutlich gemacht werden, dass sich die biologische Primärproduktion im Oberflächenwasser in den Biogenanteilen der Sedimente (TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen) widerspiegelt. Ähnliche Beziehungen zwischen Oberflächenwasserproduktivität und Verteilung der Proxyparameter am Meeresboden wurden für ein Gebiet im südlicheren Peru-Chile-Strom beschrieben. Biogener Opal (ROMERO et al. 2001), biogenes Barium (KLUMP et al. 2000) sowie TOC- und Karbonatgehalte (HEBBELN et al. 2000) sind danach direkt an die Stärke der Oberflächenproduktivität gebunden.

Die folgende Rekonstruktion der biologischen Produktivität im peruanischen Auftriebsgebiet basiert auf den gemessenen TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen der Sedimente. Für eine anschauliche Darstellung und Auswertung wurden die originalen Messdaten normiert (*AnalySeries*, PAILLARD et al. 1996), d. h. zum Mittelwert der Datenreihe in Beziehung gesetzt. Dieses war nötig, da die unterschiedlich hohen Konzentrationen und Einheiten der drei Merkmale (TOC: 0,1 – 11,4 %, Opal: 0,6 – 44,2 % bzw. Chlorine: 0,004 – 0,536 mg/g) keine direkte Gegenüberstellung erlauben.

In den Abb. 6.1 – 6.3 zeigt sich, dass die drei Proxies ausgesprochen gut miteinander korrelieren, d. h. ein **einheitliches Produktivitätssignal** widerspiegeln. Im folgenden wird näher auf die einzelnen Paläo-Archive eingegangen.

#### 6.1.1 *SO147-106KL*

Die Sedimente des Kerns *SO147-106KL* (*Abb. 6.1*) decken einen Bereich von 16,150 ( $\pm 0,100$ ) bis 1,585 ( $\pm 0,030$ ) kyr BP ab, wobei die Zeit zwischen 8,535 ( $\pm 0,045$ ) und 4,405 ( $\pm 0,030$ ) kyr BP nicht überliefert ist (*Kapitel 5.4.1*). Eine Rekonstruktion der Paläoproduktivität ist somit nur für die Bereiche **16,150** ( $\pm 0,100$ ) **bis 8,535** ( $\pm 0,045$ ) kyr BP bzw. **4,405** ( $\pm 0,030$ ) bis **1,585** ( $\pm 0,030$ ) kyr BP möglich.

Die negativsten Produktivitätswerte wurden in den glazialen Sedimenten des Kerns gemessen (16,2 – 15,0 kyr BP). Bezogen auf die Meeresspiegelkurve von FAIRBANKS (1989) befand sich die Kernstation *SO147-106KL* in 70 bis 75 m ( $\pm 5$ m) Wassertiefe.



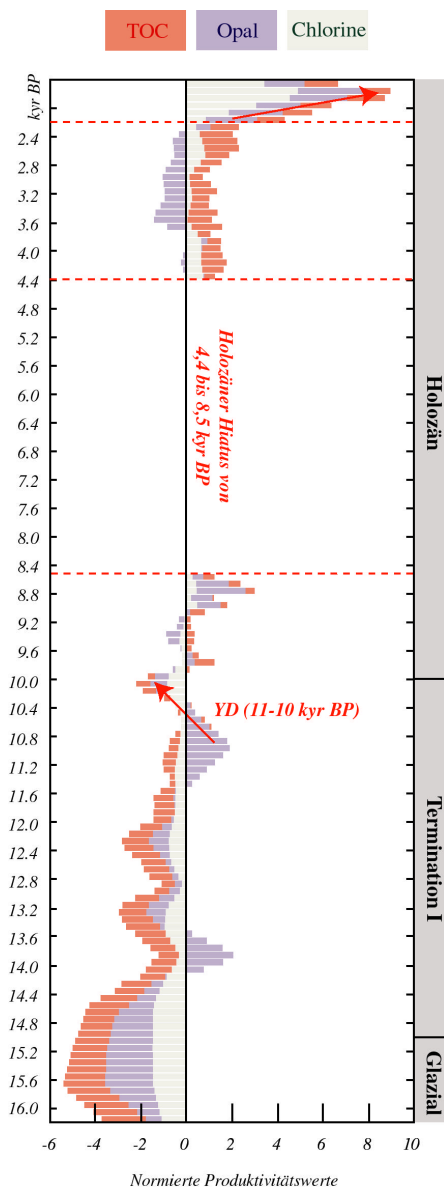


Abb. 6.1 Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chloringehalte im Kern SO147-106KL. Gestrichelte Linien markieren Wechsel in der Sedimentation. Rote Pfeile stehen für markante Schwankungen in den Produktivitätswerten.

Betrachtet man die Produktivitätswerte oberhalb des holozänen Hiatus, von 4,4 bis 2,2 kyr BP, so fällt auf, dass die Opalgehalte (negative Produktivitätswerte) gegenüber den TOC- und Chloringehalten (positive Produktivitätswerte) verringert sind. Ab 2,2 kyr BP, ist eine deutliche Zunahme in allen drei Proxies zu erkennen. Bei der Interpretation dieser Beobachtungen können Veränderungen des Meeresspiegels außer Acht gelassen werden, da dieser sein heutiges Niveau bereits erreicht hatte. Beachtung finden muss die

Die niedrigen Biogenanteile (TOC-, Opal- und Chloringehalte) in den glazialen Sedimenten resultieren hier aus dem erhöhten Terrigeneintrag an der küstennahen Kernstation. **Sie geben keinesfalls das Signal erniedrigter glazialer Produktivität wider.**

Die allmähliche Zunahme in den Biogenanteilen von 16,2 bis 8,5 kyr BP reflektiert den kontinuierlichen Anstieg des Meeresspiegels, d. h. die stetige Verlagerung der Kernstation in eine küstenfernere, weniger vom Terrigeneintrag beeinflusste Position. In Abb. 6.1 werden - neben diesem Trend des Meeresspiegelanstiegs - Zeiten maximaler Auftriebsproduktivität deutlich: bei 13,8; 12,8; 10,9 und 8,7 kyr BP.

Die kalt-aride Phase der Jüngeren Dryas (YD, *younger dryas*) ist in *reduzierten Produktivitätswerten* der Auftriebsedimente zwischen 11 und 10 kyr BP überliefert. Fraglich bleibt, ob diese Reduzierung tatsächlich eine Verringerung der Auftriebsproduktivität widerspiegelt. Bei ariden Klimabedingungen im kontinentalen Hinterland und einer erhöhten atmosphärischen Zirkulation ist es auch denkbar, dass ein gesteigerter äolischer Terrigeneintrag die Anteile marin produzierten Materials im Sediment verdünnt.

Tatsache, dass die Größe der Küstenauftriebszelle eng an die Intensität der SE-Passatwinde gekoppelt ist. Bei Variationen im lokalen Windstress verbleibt die Auftriebszelle an ihrer Position, jedoch verändert sich ihre Größe (JOHNSON et al. 1980, ARMSTRONG et al. 1987, STRUB et al. 1998). Für die Sedimente des *SO147-106KL* bedeutet dies: Zwischen 4,4 und 2,2 kyr BP befand sich die Kernstation im Randbereich der Auftriebszelle, außerhalb des Diatomeen-dominierten Zentrums. Dies spiegelt sich in den niedrigen Opalgehalten der Sedimente wider. Ab 2,2 kyr BP bewirkte die Intensivierung der SE-Passatwinde eine Vergrößerung der Auftriebszelle, so dass die Kernposition des *SO147-106KL* in den Einflussbereich des hochproduktiven Auftriebszentrums gelangte.

### 6.1.2 *SO147-4SL*

Top und Basis des Kerns *SO147-4SL* (Abb. 6.2) umspannen einen Zeitbereich von 0,796 ( $\pm 0,030$ ) bis 10,366 ( $\pm 0,090$ ) kyr BP (Kapitel 5.4.2). Für die Rekonstruktion der Paläoproduktivität kommt jedoch nur der Zeitbereich zwischen 9,723 ( $\pm 0,070$ ) bis 5,386 ( $\pm 0,035$ ) kyr BP in Frage:

- In der Zeit von **10,4 bis 9,7 kyr BP** lag die Station des *SO147-4SL* in 64 - 58 m ( $\pm 5$ m) Wassertiefe (nach FAIRBANKS 1989) und diente in erster Linie als Auffangbecken terrigenen Materials. Marin produzierte Komponente (Paläoproduktivitätsproxies) werden durch den hohen Terrigeneintrag enorm verdünnt und sind in Abb. 6.2 mit negativen Produktivitätswerten ausgewiesen.
- Sedimente, die **nach 5,4 kyr BP** abgelagert wurden, sind durch häufig auftretende Umlagerungs- und Erosionsereignisse in ihrer kontinuierlichen Abfolge gestört. Die hohen Amplituden in den Schwankungen der Produktivitätswerte (Abb. 6.2) bestätigen die in der Lithologie des Sedimentkerns (Kapitel 5.1) beschriebenen Erosionsdiskordanzen in den obersten vier Kernmetern (Abb. 5.1). **Dies alles sind Indizien für eine Intensivierung des Bodenstroms.** Sich verändernde Strömungsmuster sind auch bei McGLONE et al. (1992), MARTIN et al. (1993), SANDWEISS et al. (1996) und SHULMEISTER (1999) beschrieben, die ab 5 kyr BP eine Zunahme in der Frequenz und Intensität von El Niño-Ereignissen postulieren. **Die Zeitmarke für den Wechsel im lokalen Strömungssystem wird also bei ~ 5,0 kyr BP gesetzt.** Durch die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten wurden ältere Sedimentablagerungen (Sedimente bis 5,4 kyr BP) erodiert.

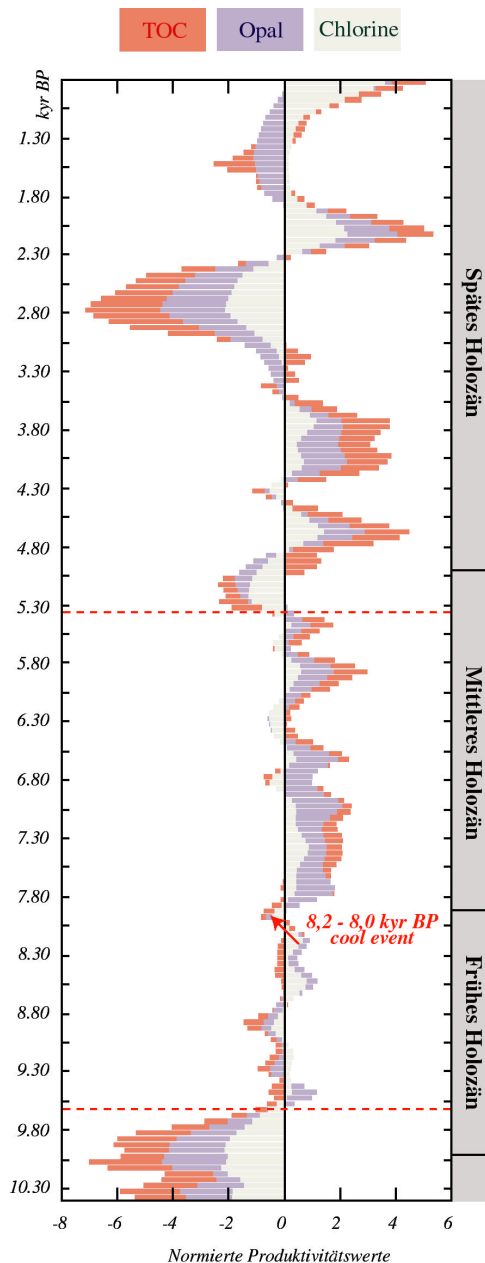


Abb. 6.2 Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chloringehalte im Kern SO147-4SL. Die rot-gestrichelten Linien grenzen den Bereich ein, in dem Schwankungen unverfälscht wiedergegeben werden. Der rote Pfeil markiert die Abnahme der Produktivitätswerte in der ariden Kaltphase bei 8,2 - 8,0 kyr BP.

### 6.1.3 SO147-41SL

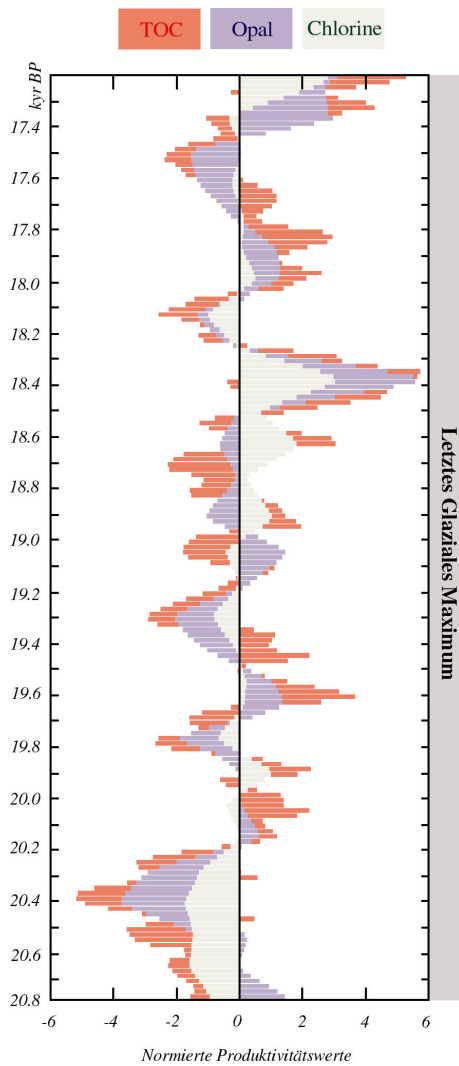
Abb. 6.3 zeigt die gemessenen Produktivitätswerte im Kern SO147-41SL. Dieser dokumentiert eine Zeitspanne von **17,198** ( $\pm 0,130$ ) bis **20,840** ( $\pm 0,170$ ) kyr BP.

Wie schon in den Tiefendiagrammen des Kerns beschrieben (Abb. 5.4), schwanken die Produktivitätswerte sehr kontinuierlich. Markante Minima der Auftriebsproduktivität

Im Bereich zwischen **9,7 und 5,4 kyr BP** werden die Schwankungen der Produktivitätswerte unverfälscht wiedergegeben.

Die von STREET-PERROTT & PERROTT (1990) für Afrika, von VAN CAMPO & GASSE (1993) für Asien und von BOND et al. (1997) für den N-Atlantik beschriebene Phase kalt-ariden Klimas bei 8,2 kyr BP ist in den peruanischen Auftriebssedimenten in reduzierten Produktivitätswerten überliefert. Zur Erinnerung, in Kern SO147-106KL spiegelt sich die kalt-aride Phase der Jüngerer Dryas auch in reduzierten Produktivitätswerten wider. Gegenüber dem Frühen Holozän war die Intensität des Küstenauftriebs während des *Holozänen Wärmeoptimums* (8 bis 5 kyr BP) deutlich erhöht, was sich in den positiven Produktivitätswerten widerspiegelt. Ihre Maxima liegen bei 7,1; 6,6; 5,9 und 5,4 kyr BP.

Bei der küstennahen Position der Kernstation SO147-4SL muss unbedingt beachtet werden, dass sich eine Veränderung im Terrigeneintrag auf die Produktivitätswerte der Sedimente auswirkt (Verdünnungseffekte).



liegen bei 20,4; 19,8; 19,3; 18,7; 18,1 und 17,5 kyr BP, markante Maxima bei 19,6 und 18,4 kyr BP.

In der Literatur konnten leider keine vergleichbar hochauflösenden Referenzdaten gefunden werden, die diesen Zeitbereich abdecken. Die Überprüfung der Verlässlichkeit der Produktivitätswerte bzw. deren Kopplung an relevante Klima-Ereignisse muss daher ausbleiben.

**Die Bedeutung des Kerns SO147-41SL liegt für die weitere Interpretation nicht in seiner zeitlichen Hochauflösung. Vielmehr dient er als Schlüsselglied beim Nachweis erhöhter Auftriebsproduktivität in glazialen Zeiten (Kapitel 6.2).**

Abb. 6.3 Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chloringehalte im Kern SO147-41SL.

## 6.2 Glaziale/interglaziale Produktivitätsschwankungen

Eine Vielzahl von Sedimentkernen aus äquatorialen oder küstennahen Auftriebsgebieten geben Hinweise auf eine erhöhte Bioproduktion und Auftriebsintensität während der Glaziale (LYLE 1988, LYLE et al. 1988, PEDERSEN 1988, PEDERSEN et al. 1988, REA et al. 1991, OHKOUCHI et al. 1997, PATRICK & THUNELL 1997, PERKS & KEELING 1998). Die Intensivierung der Auftriebsprozesse ist an eine Erhöhung der atmosphärischen Zirkulation gekoppelt, die auch in anderen Klima-Archiven nachgewiesen werden kann, z. B. in CLIMAP-Daten (MANABE & HAHN 1977) oder der Verteilung von Sand-Dünen in der Sahara (SARNTHEIN & WALGER 1974, SARNTHEIN 1978). MIX et al. (1986) setzen den gesteigerten Küstenauftrieb in Beziehung zu verstärkten Passatwinden, die aus erhöhten latitudinalen Temperaturgradienten resultieren. NEWELL et al. (1975) sowie MANABE & HAHN (1977) sprechen

von einer glazialen Erhöhung der meridionalen Windgeschwindigkeiten um 40 % im Vergleich zu heute. Diese resultieren nach SARNTHEIN et al. (1982) in einer 50%-igen Steigerung der Auftriebsintensität während der Glaziale. HERGUERA & BERGER (1991) postulierten an Akkumulationsraten benthischer Foraminiferen im äquatorialen Pazifik, dass die Produktivität während des Letzten Glazialen Maximums um einen Faktor 1,5 – 2,0 höher war als die heutige. MIX (1989) sprach von einem Faktor von 1,4 im äquatorialen Atlantik.

Die gemessenen Produktivitätsproxies in Kern *SO147-41SL* geben Auskunft über die *glaziale Produktivität im peruanischen Auftriebsgebiet*. Um Unterschiede zu interglazialen Phasen festzustellen, wurden für Kernsequenzen, die das Produktivitätssignal widerspiegeln, Medianwerte der TOC-, Karbonat-, Opal- und Chloringehalte berechnet und gegenübergestellt (*Tab. 6.1*). In Kern *SO147-4SL* wird sich dabei auf den Zeitbereich zwischen 9,72 ( $\pm 0,07$ ) und 5,39 ( $\pm 0,04$ ) kyr BP bezogen (*Kapitel 6.1.2*), in Kern *SO147-106KL* auf die holozänen Sedimente von 10,00 ( $\pm 0,06$ ) bis 1,59 ( $\pm 0,03$ ) kyr BP (*Kapitel 6.1.1*), in Kern *SO147-41SL* auf die gesamte Sedimentsequenz von 20,84 ( $\pm 0,17$ ) bis 17,20 ( $\pm 0,13$ ) kyr BP.

<i>Proxies</i>	<i>SO147-41SL</i> 20,84 – 17,20 kyr BP	<i>SO147-4SL</i> 9,72 – 5,39 kyr BP	<i>SO147-106KL</i> 10,00 bis 1,59 kyr BP
Opal in %	24,62	22,06	15,06
Karbonat	4,46	1,60	2,19
TOC in %	2,44	3,28	6,86
Chlorine in mg/g	0,08	0,15	0,16

*Tab. 6.1 Medianwerte der gemessenen Proxies in den Kernen SO147-41SL, -4SL und -106KL.*

Beim Vergleich der berechneten Maßzahlen fallen deutliche Unterschiede zwischen den interglazialen (*SO147-4SL* bzw. *SO147-106KL*) und glazialen (*SO147-41SL*) Sedimenten auf. **Die höchsten Opal- und Karbonatgehalte wurden in Kern *SO147-41SL* gemessen – Indiz für einen hochproduktiven Küstenauftrieb im Glazial.** Die dazu sehr geringen TOC- und Chlorinkonzentrationen, welche weitaus niedriger sind als in den interglazialen Sedimenten der Kerne *SO147-4SL* bzw. *SO147-106KL*, resultieren aus der großen Wassertiefe der Kernstation. Nach FAIRBANKS (1989) befand sich diese während des Letzten Glazialen Maximums in einer Wassertiefe von 467 m, also 371 m bzw. 281 m tiefer als die Kernstationen *SO147-4SL* und *SO147-106KL* heute. Die mikrobakterielle Zersetzung in der Wassersäule und der Strömungseinfluss auf das langsam absinkende organische Material waren hier wesentlich höher.

Die Medianwerte lassen aber auch Unterschiede zwischen den beiden holozänen Sedimentsequenzen *SO147-4SL* und *SO147-106KL* erkennen:

- Die TOC-Gehalte im Kern *SO147-106KL* sind mit 6,86 % mehr als doppelt so hoch wie in Kern *SO147-4SL* mit 3,28 % TOC. Bei Letztgenanntem verdünnt der erhöhte Terrigeneintrag an der küstennahen Position die Anteile des marin produzierten Materials.
- Der um sieben Gewichtsprozent höhere Opalgehalt in den Sedimenten des *SO147-4SL* reflektiert die Position des Stationspunktes im küstennahen Diatomengürtel (*Kapitel 4*) und dies trotz erhöhter terrigener Verdünnung.

### **6.3 *Betrachtung der Auftriebsproduktivität in definierten Zeitscheiben – vom Letzten Glazialen Maximum bis heute***

#### **6.3.1 *Letztes Glaziales Maximum (22 bis 15 kyr BP)***

Geringere Niederschläge und 4°C bis 5°C kältere Temperaturen (VAN DER HAMMEN et al. 1981, HOOGHMSTRA 1984, MELIEF 1985, CLAPPERTON 1993b) bestimmten zu dieser Zeit das Klima im SE-pazifischen Raum. Die kalten und trockenen Bedingungen wurden in Päläoklima-Archiven weltweit nachgewiesen – in Indonesien (VAN DER KAARS & DAM 1997), Papua Neuguinea (HOPE 1996, HABERLE 1998), Australien (KERSHAW 1994) oder Südamerika (MARKGRAF 1991, LEDRU et al. 1998). Eine Intensivierung der atmosphärischen Zirkulation in glazialen Zeiten und die damit verbundene Erhöhung der Küstenauftriebsintensität wurden von verschiedenen Autoren postuliert (*Kapitel 6.2*). Für das peruanische Auftriebsgebiet südlich von 12°S beschrieben DE VRIES & SCHRADER (1981), ROMINE (1982) sowie MOLINA-CRUZ (1984) eine gesteigerte Produktivität des Küstenauftriebs.

Im Kern *SO147-41SL* war die glaziale Intensivierung des peruanischen Auftriebsgeschehens anhand erhöhter Opal- und Karbonatgehalte der Sedimente nachweisbar. Der aus 10°S stammende Kern widerlegt die Hypothese von BIEBOW (1996), wonach das Eindringen warmer, nährstoffarmer äquatorialer Wassermassen zu einer Erniedrigung der Auftriebsproduktivität nördlich von 12°S führten.

#### **6.3.2 *Termination I (15 bis 10 kyr BP)***

Nach CLAPPERTON (1990, 1993a) und THOMPSON et al. (1995) erwärmte sich das Klima im SE-pazifischen Raum stetig, mit einer kurzfristigen Abkühlungsphase zwi-

schen 11 und 10 kyr BP – der Jüngeren Dryas. Dieses Klima-Ereignis ist auch in den Sedimenten der peruanischen Auftriebsfazies überliefert (*SO147-106KL*). Eine Erniedrigung in den Produktivitätswerten, d. h. in den gemessenen TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen der Sedimente, markiert diesen Bereich.

Mit der deglazialen Erwärmung stieg der Meeresspiegel und sorgte für eine landwärtige Verlagerung der Auftriebszelle. In Kern *SO147-106KL* spiegelt sich der Anstieg des Meeresspiegels in den wachsenden Produktivitätswerten, d. h. in dem kontinuierlich abnehmenden Terrigeneintrag wider.

Gegenüber dem LGM waren die Niederschlagsmengen deutlich erhöht, wie in Pollenstudien an Seesedimenten aus den peruanischen Anden gezeigt werden konnte (HANSEN & RODBELL 1995). Der Eintrag terrigenen Materials nahm aufgrund der gesteigerten Süßwasserzufuhr von Land zu. BIEBOW (1996) wies dies an relativen Häufigkeiten terrestrischer Palynomorphen in den marinen Sedimenten nach.

### 6.3.3 *Holozän (10 kyr BP bis heute)*

Von 10 bis 7 kyr BP stiegen die Temperaturen im SE-pazifischen Raum weiter kontinuierlich an, wie in Sauerstoffisotopenverhältnissen der Huascarán-Eiskerne (THOMPSON et al. 1995) bzw. palynologischen Studien in den peruanischen Anden (MARKGRAF 1993, HANSEN & RODBELL 1995) dokumentiert ist. Die kurzfristige Phase kalt-ariden Klimas bei 8,2 kyr BP (STREET-PERROTT & PERROTT 1990, VAN DER CAMPO & GASSE 1993, BOND et al. 1997) wurde, wie die Jüngere Dryas im Kern *SO147-106KL*, in reduzierten Produktivitätswerten (Kern *SO147-4SL*) überliefert.

Für den Zeitraum zwischen 8 und 5 kyr BP, dem *Holozänen Wärmeoptimum*, kann ein warmes und arides Klima in verschiedenen terrestrischen Archiven nachgewiesen werden – in den Eiskernen der Huascarán-Eiskappe (THOMPSON et al. 1995), in palynologischen Studien aus Peru und Columbien (MARKGRAF 1993, HANSEN & RODBELL 1995) sowie in Wasserniedrigständen des Titicaca-Sees und anderer Seen in N-Chile (MOURGUIRAT et al. 1995, VALERO-GARCÉS et al. 1996, GROSJEAN et al. 1997). Die untersuchten Sedimentkernen *SO147-106KL* und *SO147-4SL* weisen für das Mittlere Holozän eine erhöhte atmosphärische Zirkulation aus. Die daran gekoppelte Intensivierung der hydrographischen Strömungen bewirkte:

1. einen gesteigerten Küstenauftrieb, der sich in den positiven Produktivitätswerten des Kerns *SO147-4SL* widerspiegelt.
2. eine erhöhte Bodenströmung, die in Wassertiefen zwischen 180 m und 420 m

(*Kapitel 5.4.1*) eine Sedimentation der Auftriebsfazies verhinderte und ältere Sedimente erodierte. Dies wird durch den Hiatus in *SO147-106KL* (8,5 bis 4,4 kyr BP, *Kapitel 5.4.1*) belegt.

Ab 5 kyr BP kühlte sich das Klima im SE-pazifischen Raum deutlich ab (THOMPSON et al. 1995). Die an Kernposition *SO147-4SL* gehäuft auftretenden Umlagerungs- und Erosionsereignisse (ab 5,0 kyr BP) und das Wiedereinsetzen der Sedimentation am Stationspunkt *SO147-106KL* (ab 4,4 kyr BP) deuten auf hydrographische Veränderungen im Untersuchungsgebiet hin. Diese könnten mit der von McGLONE et al. (1992), SHULMEISTER & LEES (1995), SANDWEISS et al. (1996), RODBELL et al. (1999) bzw. SHULMEISTER (1999) postulierten Häufung von El Niño-Ereignissen (Zunahme in Frequenz und Intensität) ab 5 kyr BP in Verbindung stehen.

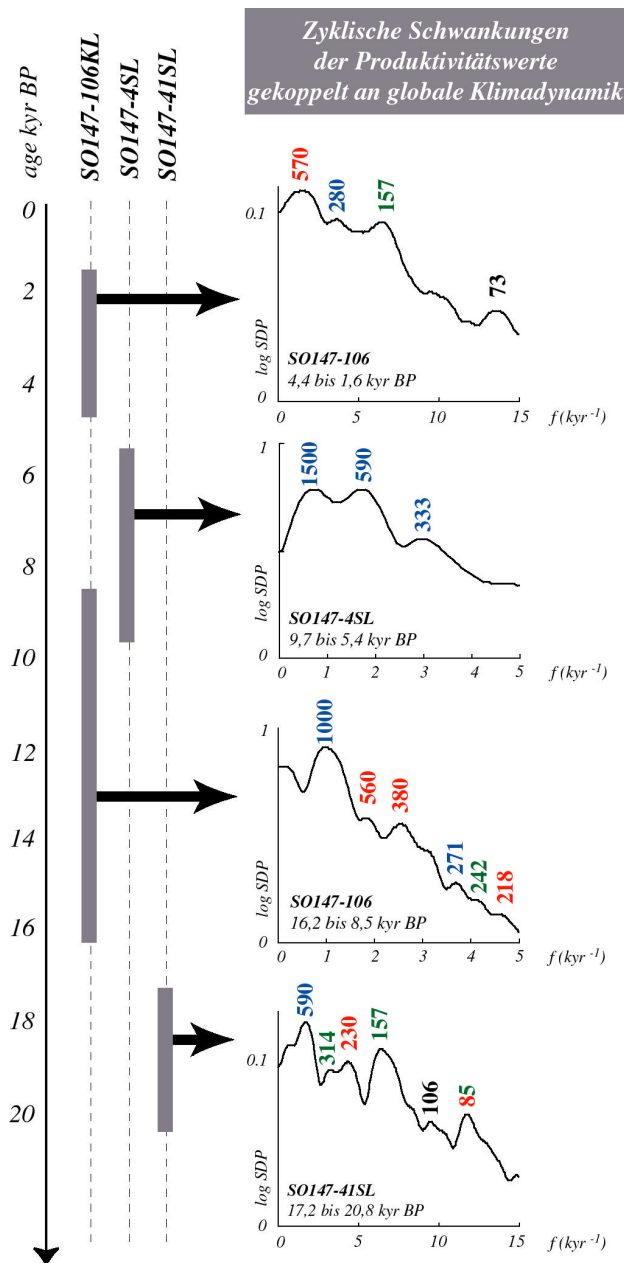
Ab 2,2 kyr BP nahm die Produktivität und Intensität des peruanischen Küstenauftriebs enorm zu, wie die Produktivitätsproxies in Kern *SO147-106KL* zeigen. Dieser Anstieg in der Bioproduktion ist auch in den Arbeiten von BIEBOW (1996) und KLUMP (1999) beschrieben und wird auf intensivierete atmosphärische Zirkulationen zurückgeführt.

#### **6.4 Zyklische Variationen der Paläoproduktivität – Überlieferung kurzskaliger Klimaschwankungen**

Wie bereits in den beiden vorangegangenen Kapiteln gezeigt wurde, spiegeln sich Klimaveränderungen in der Zusammensetzung der Auftriebssedimente wider. So konnten markante Klima-Ereignisse wie die Jüngere Dryas (11,0 bis 10,0 kyr BP) oder die aride Kaltphase bei 8,2 kyr BP in den Produktivitätswerten der Sedimentkerne identifiziert werden. Um eine Kopplung der Auftriebsintensität an globale Klimadynamiken noch besser untersuchen zu können, wurden periodische Schwankungen in den Produktivitätswerten der Auftriebssedimente mit bekannten Klimazyklen verglichen.

Der Nachweis zyklischer Variationen in den Sedimenten der Auftriebsfazies basiert auf Zeitreihenanalysen der hochauflösend gemessenen TOC-Werte (*Spektralanalyse nach Blackman-Tukey, compromise level*). Für eine bessere Identifizierung wurden die originalen Messwerte von linearen Trends beseitigt und auf ihren Mittelwert normiert. Die Untersuchung bezieht sich nur auf Kernsequenzen, die das Produktivitätssignal unverfälscht wiedergeben, d. h. von 9,72 ( $\pm 0,07$ ) und 5,39 ( $\pm 0,04$ ) kyr BP in *SO147-4SL*, von 16,15 ( $\pm 0,10$ ) bis 8,54 ( $\pm 0,05$ ) bzw. 4,41 ( $\pm 0,03$ ) bis 1,59 ( $\pm 0,03$ ) kyr BP in *SO147-106KL*, von 20,84 ( $\pm 0,17$ ) bis 17,20 ( $\pm 0,13$ ) kyr BP in *SO147-41SL*.





Die Ergebnisse sind in Abb. 6.4 zusammengefasst dargestellt. Berechnete Spektraldichten (SDP, *spectral density power*) wurden gegen die jeweiligen Frequenzen ( $f$  in  $\text{kyr}^{-1}$ ) abgetragen. Die herausgefilterten Perioden (Angabe in Jahren) wurden farbig gekennzeichnet, um den Vergleich bzw. deren Kopplung an globale Klimaschwankungen zu erleichtern.

Abb. 6.4 Spektralanalyse der hochauflösend gemessenen TOC-Konzentrationen in den untersuchten Kernabschnitten des SO147-106KL, SO147-4SL bzw. SO147-41SL. Die zyklischen Schwankungen der Produktivitätswerte sind an globale Klimaveränderungen gekoppelt.

### 6.4.1 Ergebnisse

CAMPBELL et al. (1998) konnten anhand holozäner Niederschlagsmengen in W-Kanada nachweisen, dass markante Klima-Ereignisse wie die Kleine Eiszeit oder die Jüngere Dryas in einem 1500-Jahre-Zyklus eingebettet sind. Dieser Zyklus ist weltweit auch aus anderen Klima-Archiven bekannt. BIANCHI & McCAVE (1999) beschrieben ihn für die Geschwindigkeit des Tiefenwasserstroms im N-Atlantik; SIROCKO et al.

(1996) für den an arid/humid-Zeiten gekoppelten Staubeintrag in Sedimente des Arabischen Meeres; MAYEWSKI et al. (1997) für die im GISP2-Eiskern archivierten Windstärkevariationen; DANSGAARD et al. (1984) für den Camp-Century-Eiskern in Grönland. Betrachtet man die Studien in ihrer Gesamtheit, so wird deutlich, dass der definierte 1500-Jahre-Zyklus an intensivierte atmosphärische und ozeanographische Strömungen während arider Zeiten gekoppelt ist. Im Auftriebsgebiet vor Peru ist er in den Sedimenten des Kerns *SO147-4SL* überliefert (Abb. 6.4).

Der Einfluss ariden Klimas bzw. gesteigerter atmosphärischer Zirkulation auf die Produktivitätswerte der Sedimente konnte auch in kleinerenkaligen Zyklen nachgewiesen werden. Ein von CAMPBELL et al. (1998) und SIROCKO et al. (1996) beschriebener *1000-Jahre-Zyklus* wurde in Kern *SO147-106KL* herausgefiltert; *590-Jahre-Zyklus* (CAMPBELL et al. 1998) in den Kernen *SO147-4SL* und *SO147-41SL*, ein *333-Jahre-Zyklus* (CAMPBELL et al. 1998) in Kern *SO147-4SL*, ein *280-Jahre-Zyklus* (CAMPBELL et al. 1998) in den Sedimenten des Kerns *SO147-106KL*.

Eine verstärkte atmosphärische Zirkulation kann, wie in *Kapitel 6.1* beschrieben, eine Intensivierung des Küstenauftriebs bewirken (Zunahme in den Produktivitätswerten). Bei ariden Klimabedingungen im kontinentalen Hinterland kann sie aber auch für einen erhöhten äolischen Terrigeneintrag sorgen, der die Anteile marin produzierten Materials im Sediment verdünnt (reduzierte Produktivitätswerte). Es ist schwer zu sagen, welcher dieser Prozesse die herausgefilterten 1500-, 1000-, 590-, 333- oder 280-Jahre-Zyklen steuert.

Eine andere Kopplung des Küstenauftriebs an die globale Klimadynamik basiert auf dem Vergleich der Produktivitätswerte mit Schwankungen der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration der Atmosphäre, gemessen in Baumringen (*Tab. 6.2*, STUIVER & BRAZIUNAS 1989, PETERSON et al. 1991, STUIVER & BECKER 1993, ROIG et al. 2000, RASPOPOV et al. 2001). Diese Variationen sind nach SONETT (1984), STUIVER & BRAZIUNAS (1989) bzw. PETERSON et al. (1991) solar gesteuert (z. B. durch variierende Sonnenaktivitäten). STUIVER et al. (1991) postulierten, dass die atmosphärische  $^{14}\text{C}$ -Produktion mit dem 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus schwankt, wobei eine hohe  $^{14}\text{C}$ -Produktion an abgeschwächte Sonnenaktivitäten gekoppelt ist. Wie in *Tab. 6.2* aufgeführt, gibt es viele übereinstimmende Perioden zwischen den Produktivitätswerten der peruanischen Auftriebssedimente und der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration der Atmosphäre. **Die analog auftretende Zyklen im 570-, 380-, 230-, 218-, 88-Jahre-Rhythmus deuten dar-**

**auf hin, dass auch die Intensität des Küstenauftriebs von diesem extra-terrestrischen Steuerungsfaktor (Sonnenaktivität) abhängig ist.**

<i>Auftriebsproduktivität</i>		<i><sup>14</sup>C-Konzentration der Atmosphäre</i>	
<i>Zyklen in yr</i>	<i>Kern</i>	<i>Zyklen in yr</i>	<i>Referenzen</i>
560/570	SO147-106KL	570	STUIVER & BECKER (1993)
380	SO147-106KL	381	PETERSON et al. (1991)
230	SO147-41SL	230	STUIVER & BECKER (1993)
218	SO147-106KL	218	STUIVER & BRAZIUNAS (1989)
85	SO147-41SL	88	RASPOPOV et al. (2001), ROIG et al. (2000)

Tab. 6.2 Vergleich der zyklischen Variationen in den Produktivitätswerten der untersuchten Kerne mit periodischen Schwankungen der atmosphärischen <sup>14</sup>C-Konzentration.

Es wurden desweiteren Zyklen herausgefiltert, die mit periodischen Schwankungen in der globalen Temperatur- <sup>18</sup>O-Kurve des GISP2-Eiskerns (STUIVER et al. 1995) in Verbindung gebracht werden können (Tab. 6.3). Gemeinsame Perioden liegen bei 314, 242, 157 und 88 Jahren.

<i>Auftriebsproduktivität</i>		<i>δ<sup>18</sup>O-Klimadaten</i>	
<i>Zyklen in yr</i>	<i>Kern</i>	<i>Zyklen in yr</i>	<i>Referenzen</i>
314	SO147-41SL	314	STUIVER et al. (1995)
242	SO147-106KL	242	STUIVER et al. (1995)
157	SO147-106KL	155	STUIVER et al. (1995)
88, 90	SO147-4SL, -41SL	88	STUIVER et al. (1995)

Tab. 6.3 Vergleich der zyklischen Variationen in den Produktivitätswerten der untersuchten Kerne mit periodischen Schwankungen der δ<sup>18</sup>O-Klimadaten.

#### 6.4.2 Auswertung

Über das Herausfiltern zyklisch auftretender Schwankungen in den Produktivitätswerten der Kerne, kann eine Kopplung des Auftriebssignals an globale Klimaschwankungen erfolgen:

- Kopplung an aride Zeiten mit verstärkter atmosphärischer Zirkulation (SIROCKO et al. 1996, CAMPBELL et al. 1998);
- Kopplung an atmosphärische <sup>14</sup>C-Konzentration (STUIVER & BRAZIUNAS 1989, PETERSON et al. 1991, STUIVER & BECKER 1993, ROIG et al. 2000, RASPOPOV et al. 2001);
- Kopplung an <sup>18</sup>O-Temperatur-Kurve des GISP2-Eiskerns (STUIVER et al. 1995).

All diese Zyklen scheinen von einer extra-terrestrischen Steuerungsgröße abhängig zu sein – unserer Sonne. Veränderungen in der Sonnenaktivität, Sonneneinstrahlung oder

Sonnenkonstante wirken sich auf die  $^{14}\text{C}$ -Produktion in der Atmosphäre aus (SONETT 1984, STUIVER & BRAZIUNAS 1989 und PETERSON et al. 1991, STUIVER et al. 1991) und können eine globale Erwärmung oder Abkühlung ( $^{18}\text{O}$ -Daten, STUIVER et al. 1995) bewirken. Bezogen auf die Produktivitätswerte in den peruanischen Auftriebs-sedimenten stellt sich die Kopplung wie folgt dar: Bei erhöhter Sonneneinstrahlung steigen die Temperaturgradienten, was eine Intensivierung der Luftmassenzirkulationen bewirkt. Eine erhöhte atmosphärische Zirkulation kann, wie bereits ausgeführt, in verstärkten hydrographischen Strömungen resultieren, d. h. in einem intensivierten Küstenauftrieb und hohen Produktivitätswerten der Sedimente. Bei ariden Klimabedingungen im kontinentalen Hinterland kann es aber genauso gut zu einem verstärkten äolischen Terrigeneintrag kommen, der die Anteile marin produzierten Materials im Sediment verdünnt (niedrigere Produktivitätswerte).

## 6.5 Überlieferung des *El Niño*-Signals in den Auftriebsedimenten

### 6.5.1 Beschreibung von *El Niño* und ENSO

Wie von SCOR (*Scientific Committee on Oceanic Research*) definiert, versteht man unter einem „**El Niño**“ das jahreszeitlich zu frühe Eindringen anormal warmer Oberflächenwassermassen entlang der Küsten Ecuadors und Perus, bis  $12^{\circ}\text{S}$  (QUINN et al. 1987). Dieses Phänomen ist gekoppelt an veränderte atmosphärische Zirkulationen über dem Pazifik (*Southern Oscillation*), weswegen man häufig von **ENSO** (*El Niño/Southern Oscillation*) als Kombination beider Prozesse spricht. Nach RUTTLANT & FUENZALIDA (1991) werden Variationen der ENSO von der Stärke des SE-pazifischen Hochs gesteuert. Weniger intensive SE-Passatwinde bewirken, dass warme äquatoriale Oberflächenströmungen (aus dem *western pacific warm water pool*) in ihrem ostwärts gerichteten Verlauf bis an die Westküste Südamerikas vordringen können. Dies verursacht in den Küstengebieten ein Herabsetzen der  $15^{\circ}\text{C}$ -Isotherme von generell 70 m auf 150 m Wassertiefe (LEETMA et al. 1987). Bei der Küstenauftriebsbewegung wird so nun wärmeres, nährstoffärmeres Wasser erfasst, was die biologische Bioproduktion im Oberflächenwasser stark reduziert (PICKARD & EMERY 1982, BARBER & CHAVEZ 1983).

Im peruanischen Auftriebsgebiet bewirken die in unregelmäßigen Intervallen von 2 bis 8,5 Jahren (MARKGRAF & DIAZ 2000) auftretenden *El Niño*-Ereignisse:

- eine flächenhafte Reduzierung der Auftriebszelle: nach BARBER & KOGEL-

SCHATZ (1990) auf 10 % ihrer normalen Größe;

- eine Umstrukturierung der Phytoplankton-Gemeinschaft (BARBER & CHAVEZ 1983), wobei nach BIEBOW (1996) die Population der Diatomeen stark abnimmt, die der Dinoflagellaten und Coccolithophoriden dagegen deutlich zunimmt;
- das Auftreten von „red tides“ („aguajes“), die durch Blüten des Dinoflagellaten *Gymnodinium sanguineum* oder des Ciliaten *Mesodinium rubrum* verursacht werden (DUGDALE et al. 1977, BARBER & CHAVEZ 1983, OCHOA & GOMEZ 1987);
- eine Intensivierung der Bodenströmung: nach SMITH (1983) steigt die Geschwindigkeit des Gunther-Unterstroms im Bereich der Schlicklinse vor Callao von < 1cm/s auf > 36 cm/s;
- starke Regenfälle an der peruanischen Küste, die den fluviatilen Eintrag terrigener Materials in den Schelfbereich erhöhen.

Während in terrestrischen Gebieten ein Anstieg der biologischen Produktion durch hohe Niederschlagsmengen verzeichnet werden kann („years of abundance“, PHILANDER 1990), ist die Bioproduktion im marinen Milieu deutlich herabgesetzt. Diese Reduzierung basiert auf dem geringeren Nährstoffangebot der äquatorialen Wassermassen und keinesfalls auf einer Abschwächung der Auftriebsintensität, die im Gegenteil noch zunehmen kann (ENFIELD 1981).

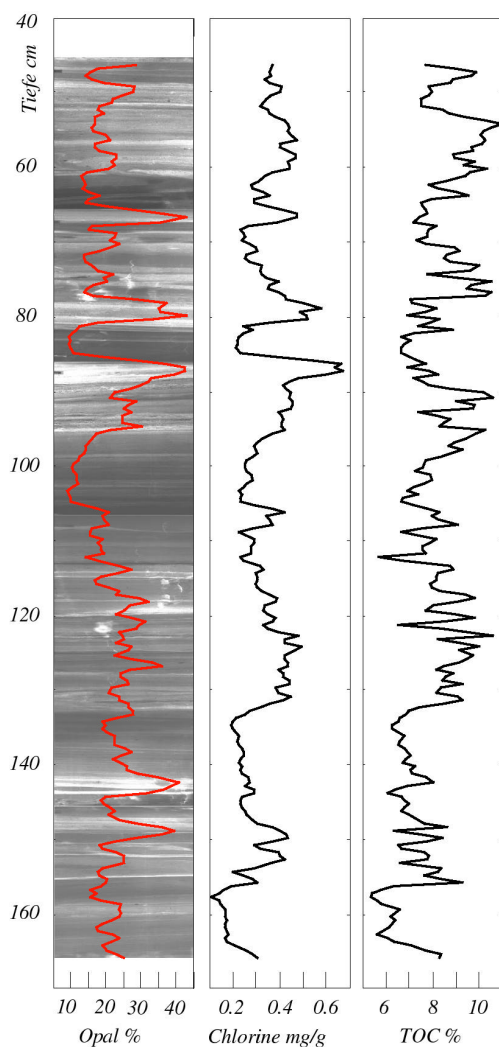
### 6.5.2 *El Niño-Zyklizität in den Produktivitätsproxies der Auftriebsfazies*

Auf die Kopplung des Auftriebsgeschehens an globale Klima-Ereignisse und die Überlieferung von zyklischen Klimavariationen in den Produktivitätsproxies der Auftriebsfazies wurde bereits in *Kapitel 6.4* eingegangen.

Um sehr kurzfristige Klimaschwankungen wie El Niño-Ereignisse nachweisen zu können, reichte die zeitliche Auflösung der bisherigen Analysen nicht aus. Diese basierten auf der Beprobung der Sedimentkerne in 5cm-Abständen. Deshalb wurde aus dem oberen, zuverlässig über AMS <sup>14</sup>C-Messungen datierten Kernbereich des *SO147-106KL* die Hangendsequenz (von 46 cm bis 166 cm Tiefe) nochmals beprobt und zwar hochauflösend alle 5 mm. Der 1,20 Meter lange Abschnitt dokumentiert die Auftriebsfazies von 1,503 (± 0,030) bis 2,174 (± 0,030) kyr BP, sprich 671 (± 30) Jahre. Drei AMS <sup>14</sup>C-Messungen decken diesen Bereich ab (*Tab. 5.3*). Bei 240 genommenen Proben in 5mm-Abständen bedeutet dies eine zeitliche Auflösung von 2,8 Jahren.

Die über geochemische Analyseverfahren (*Kapitel 3.2*) gemessenen Gehalte an TOC, Opal und Chlorinen sind in *Abb. 6.5* gegen die Tiefe im Sedimentkern abgetragen. Beim Vergleich der Produktivitätsproxies mit der Radiographie-Aufnahme der Kernsequenz (BGR, REINHARDT, unveröffentlichte Daten) fällt auf:

- Die Maxima der Opalkonzentration sind an helle Diatomeenlagen im Sediment gekoppelt, die Relikte außergewöhnlich starker Diatomeen-Blüten darstellen. Nach BRODIE & KEMP (1994) sind diese isoliert und in unregelmäßigen Abständen auftretenden Lagen charakteristisch für die peruanischen Auftriebsfazies. Aufgrund der übermäßig hohen Opalakkumulation werden andere Biogenanteile stark verdünnt, wie in den reduzierten TOC-Gehalten zu erkennen ist.



- Etwas geringere, aber immer noch hohe Opalgehalte werden in den Abschnitten regelmäßig wechselnder Silt- und Tonlagen gemessen (mm-Lamination), denen unregelmäßig Diatomeen-Horizonte eingeschaltet sind. In diesen Sequenzen sind auch die gemessenen Chlorin- und TOC-Konzentrationen am höchsten.
- In den dunklen, homogen ausgebildeten Zonen der Kernsequenz sind die Biogenanteile (Opal, TOC und Chlorine) am niedrigsten. Nach BRODIE & KEMP (1994) reflektieren diese Horizonte Phasen erhöhter Durchlüftung der Wassermassen sowie verringerter Auftriebsintensität und -produktivität.

*Abb. 6.5* Gehalte der gemessenen Produktivitätsproxies Opal, Chlorine und TOC gegen die Tiefe im Sediment aufgetragen und zur Radiographie-Aufnahme der Kernsequenz (BGR, REINHARDT, unveröffentl. Daten) in Beziehung gesetzt. Maxima in den Opalkonzentrationen markieren helle Diatomeenlagen im Sediment.

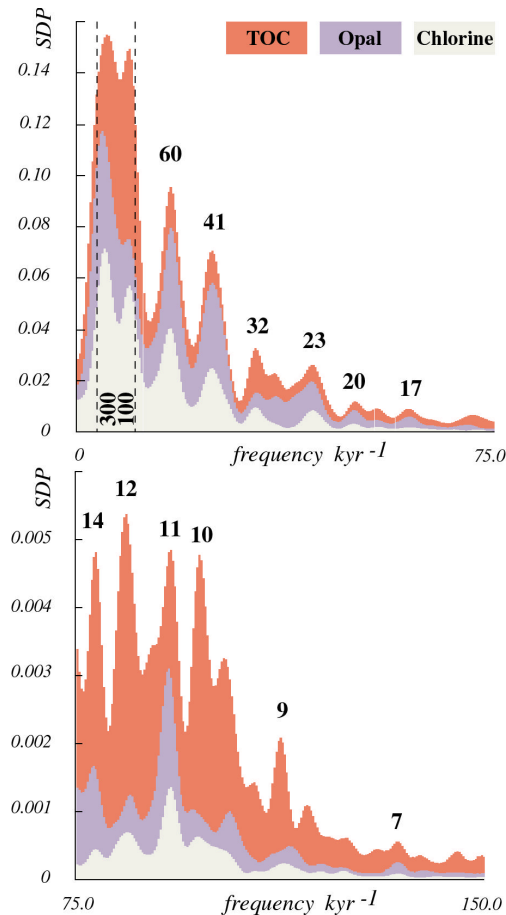


Abb. 6.6 Ergebnisse der Spektralanalyse für die hochauflösend gemessenen TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen im Kern SO147-106KL. Ermittelte Spektraldichten (SDP) sind gegen die jeweiligen Frequenzen abgetragen. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Frequenzbereiche 0-75 kyr<sup>-1</sup> bzw. 75-150 kyr<sup>-1</sup> getrennt dargestellt. Als markante Perioden wurden nur die hervorgehoben, in denen alle drei Proxies erhöhte SDP zeigen.

Unterzieht man die gemessenen Paläoproduktivitätsproxies (TOC-, Opal- und Chlorin-Konzentrationen) einer Spektralanalyse (*Blackman-Tukey, high resolution level*), so werden in den Zeitreihen übereinstimmende Perioden bei 60, 41, 32, 23, 20, 17 und 11 Jahren sichtbar.

Der sehr markante Pik bei **11 Jahren** im Frequenzbereich von 75 bis 150 kyr<sup>-1</sup> deutet auf die Überlieferung des Sonnenflecken-Zyklus in den Sedimenten der Auftriebsfazies hin.

Die herausgefilterten Perioden **zwischen 14 und 7 Jahren** werden, bezogen auf die Arbeit von MOY et al. (2002), der Aktivität von El Niño zugeschrieben. **Die Überlieferung des El Niño-Signals in den peruanschen Auftriebsedimenten ist somit nachgewiesen.** Die breite Varianz der Zyklen resultiert aus der Tatsache, dass nur die starken El Niño-Ereignisse ein deutliches Zeichen in den Sediment-Klima-Archiven hinterlassen.

Zur Erläuterung der höheren Perioden sei aufzuführen:

- In allen drei Zeitreihen werden die höchsten Spektraldichten im Bereich zwischen 300 und 100 Jahren gemessen. Vermutlich sind diese an den solar gesteuerten 200-Jahre-Zyklus der atmosphärischen <sup>14</sup>C-Konzentration (PETERSON et al. 1991) gekoppelt.
- Auch für die anderen Produktivitätszyklen lassen sich Referenzen finden, über die ein Zusammenhang zwischen Auftriebsproduktivität und globalem Klima hergestellt werden kann (Tab. 6.4). Die Ergebnisse von SCHIMEL & SULZMAN (1995), ROIG et al. (2000) und RASPOPOV et al. (2001) beziehen sich

auf atmosphärische  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen gemessen in Baumringen, die von STUIVER et al. (1995) auf  $^{18}\text{O}$ -Messungen im GISP2-Eiskern, die von REA et al. (1991) auf Messungen von  $^{18}\text{O}$ -Werten, Oberflächenwassertemperaturen, Staubeintrag bzw. Sinkraten von TOC und Karbonat im äquatorialen Pazifik.

---

*Zyklische Schwankungen in Jahren*

*SO147-106KL Literatur-Recherche*

---

32	<b>31</b> (SCHIMEL & SULZMAN 1995), <b>33</b> (RASPOPOV et al. 2001), <b>33</b> (REA et al. 1991)
23	<b>23</b> (RASPOPOV et al. 2001), <b>23</b> (REA et al. 1991), <b>24</b> (ROIG et al. 2000)
20	<b>21</b> und <b>19</b> (STUIVER et al. 1995), <b>20</b> (REA et al. 1991)
17	<b>18</b> (RASPOPOV et al. 2001), <b>18</b> (REA et al. 1991), <b>18</b> (ROIG et al. 2000),
11	<b>11</b> (RASPOPOV et al. 2001), <b>11</b> (STUIVER et al. 1995)
7 - 14	<b>4 – 15</b> (MOY et al. 2002)

---

Tab. 6.4 Markante Perioden in den Produktivitätsproxies der peruanischen Auftriebsfazies und deren Kopplung an globale Klimazyklen.

- Für die Herkunft der herausgefilterten *60-* und *41-Jahre-Zyklen* wurden keine entsprechenden Literatur-Referenzen gefunden. Sie scheinen harmonische Vielfache anderer Perioden zu sein, z. B.  $3 * 20 = 60$ ;  $2 * 20 = 40$ .

Fazit:

Auch in den nachträglich hochauflösend gemessenen TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen des Kerns *SO147-106KL* konnten zyklische Schwankungen herausgefiltert werden, die eine Kopplung der Küstenauftriebsproduktivität an die globale Klimadynamik erlauben. Die hohe zeitliche Auflösung von einer Messung pro 2,8 Jahren machte es möglich, selbst den sehr kurzskaligen **11-Jahre-Sonnefleckenzyklus** aufzudecken und die Überlieferung von **El Niño-Signalen** in den Auftriebssedimenten nachzuweisen (7- bis 14-Jahre-Zyklen).



## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden spätquartäre Sedimente aus dem Auftriebsgebiet vor der peruanischen Küste untersucht. Die Ergebnisse wurden bereits in den einzelnen Kapiteln diskutiert und ausgewertet. An dieser Stelle soll eine kurze Zusammenfassung erfolgen.

Um die Verteilung von Sedimentfaziestypen im Auftriebsgebiet vor Peru zu untersuchen, sedimentationssteuernde Faktoren herauszufiltern und charakteristische Merkmale der Auftriebsfazies hervorzuheben, wurden alle während der SONNE-147-Fahrt gewonnenen *Oberflächenproben* auf ihre geochemischen Gehalte (Konzentrationen an TC, TOC, N, Karbonat, Opal und Chlorinen) und sedimentologischen Merkmale (Wassergehalt und Grobfraktionsanteil) untersucht. Die erstellten Sedimentverteilungskarten lassen eine küstenparallele Zonierung der verschiedenen Faziesbereiche erkennen. Im Schelfbereich erstreckt sich ein Gürtel organik-reicher Diatomeenschlämme. Die sehr feinen, wasserreichen Sedimente, die sich durch hohe Biogenanteile auszeichnen, reflektieren die Hochproduktionszone des Küstenauftriebs. An die küstennahe Zone der Diatomeenschlämme schließen sich seewärts karbonatreichere Sedimente an. Diese resultieren aus der steigenden Karbonatproduktion im Randbereich der Auftriebszelle, wo kalzitische Coccolithophoriden die Phytoplanktonpopulation dominieren. Erhöhte Karbonatgehalte finden sich auch in den aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimenten im Einflussbereich des Gunther-Unterstroms. Eine Abgrenzung kann über den Grobfraktionsanteil im Sediment (größer oder kleiner 21 %) erfolgen. Die sedimentologischen Merkmale Grobfraktionanteil und Wassergehalt stellen sich in den Oberflächenproben als beste Kriterien für die Unterscheidung der verschiedenen Faziesbereiche heraus. Hohe Wassergehalte (65,6 % bis 75,8 %) kennzeichnen die feinen organik-reichen Schlämme im Bereich der Auftriebszelle, wohingegen erhöhte Grobfraktionsanteile aufgearbeitete und umgelagerte Sedimente charakterisieren. Anhand der vorgegebenen Unterscheidungsmerkmale konnten Oberflächenproben, die nicht das Signal der Auftriebsproduktivität widerspiegeln, ausgegrenzt werden. Erst so war es möglich, typische Charakteristika für die peruanische Auftriebsfazies sichtbar zu machen: 65,6 - 75,8 % Wassergehalt; 0,4 - 21,0 % Grobfraktion; 4,0 - 18,2 % TOC; 0,5 - 2,2 % N; 0,0 - 21,5 % Karbonat; 2,0 - 17,5 % Opal und 0,4 - 1,4 mg/g Chlorine. Die statistische Analyse der in den Oberflächen-

proben gemessenen Gehalte brachte genauere Erkenntnisse zur Beziehung zwischen den einzelnen Proxy-Daten und deren Bedeutung für Paläo-Rekonstruktionen. Anhand der Untersuchungen konnte belegt werden, dass die Konzentrationen an TOC, Opal und Chlorinen im Sediment die biologische Produktivität im Oberflächenwasser reflektieren und somit eine Rekonstruktion der Paläo-Auftriebsintensität erlauben.

Die Erfassung zeitlicher Variationen im Auftriebsgeschehen vor Peru beruht auf der Untersuchung dreier Sedimentkerne: *SO147-4SL* aus 96 m, *SO147-106KL* aus 184 m und *SO147-41SL* aus 587 m Wassertiefe. Diese zeigen neben ihren textuellen und strukturellen Unterschieden ebenfalls deutliche Variationen in ihren geochemischen und sedimentologischen Merkmalen – Indizien für unterschiedliche Sedimentationsmilieus. Mit der stratigraphischen Einordnung der Sedimentkerne anhand von AMS  $^{14}\text{C}$ -Datierungen wurde deutlich, dass in den Kernen verschiedene Zeitabschnitte überliefert sind. *SO147-106KL* deckt einen Bereich von 1,59 ( $\pm 0,03$ ) bis 16,15 ( $\pm 0,10$ ) kyr BP ab, wobei eine größere Schichtlücke von 4,40 ( $\pm 0,03$ ) bis 8,54 ( $\pm 0,05$ ) kyr BP eingeschaltet ist. In *SO147-4SL* wurden Sedimente von 0,80 ( $\pm 0,03$ ) bis 10,37 ( $\pm 0,09$ ) kyr BP überliefert. In *SO147-41SL* sind es Ablagerungen aus dem Letzten Glazialen Maximum von 17,20 ( $\pm 0,13$ ) bis 20,84 ( $\pm 0,16$ ) kyr BP. Ein chronologisches Gesamtbild aus den überlieferten Sedimenten ergibt sich nur, wenn man die Positionen der Kernstationen mit glazialen/interglazialen Schwankungen des Meeresspiegels (nach FAIRBANKS 1989,  $\pm 5$  m) in Beziehung setzt:

- Im Letzten Glazialen Maximum war die Station des Kerns *SO147-4SL* nicht überflutet, sondern lag ca. 24 m ( $\pm 5$  m) über der Küstenlinie. Während des deglazialen Meeresspiegelanstiegs diente die Kernposition vorzugsweise als Auffangbecken terrigenen Materials, wofür der glimmerführende, karbonatreiche Horizont an der Basis des Sedimentkerns spricht. Erst ab 9,7 kyr BP beginnen sich hier feine Diatomeenschlämme der Auftriebsfazies abzulagern. Diese sind bis 5,4 kyr BP überliefert. Die weltweit beschriebene Phase kalten ariden Klimas bei 8,2 kyr BP ist in den reduzierten Produktivitätswerten der Sedimente archiviert. Die ab 5,0 kyr BP einsetzende Intensivierung des Bodenstroms verhindert eine weitere kontinuierliche Sedimentation. Ab dieser Zeit treten gehäuft Umlagerungs- und Erosionsereignissen auf. Generell darf bei der Interpretation der gemessenen Produktivitätswerte in den Sedimenten die küstennahe Kernposition nicht außer Acht gelassen werden. Das Paläoproduktivitätssignal wird hier vom erhöhten Eintrag terrigenen Materials überlagert.

- Die niedrigen Biogenanteile (TOC-, Opal- und Chloringehalte) in den glazialen Sedimenten des Kerns *SO147-106KL* resultieren aus dem erhöhten Eintrag terrigenen Materials an der küstennahen Station (nach FAIRBANKS 1989 in  $66 \pm 5$  m Wassertiefe). Sie geben keinesfalls das Signal erniedrigter glazialer Produktivität wieder. Die Zunahme in den Biogenanteilen von 16,2 bis 8,5 kyr BP reflektiert den kontinuierlichen Anstieg des Meeresspiegels, d. h. die stetige Verlagerung der Kernstation in eine küstenfernere, weniger vom Terrigeneintrag beeinflusste Position. Zwischen 11,0 und 10,0 kyr BP ist die kalt-aride Phase der Jüngeren Dryas in reduzierten Produktivitätswerten der Auftriebssedimente überliefert. Die Sedimentationsdiskordanz zwischen 8,5 und 4,4 kyr BP im Kern reflektiert eine Intensivierung der atmosphärischen und ozeanographischen Strömungen während des Holozänen Wärmeoptimums. Ab 2,2 kyr BP ist eine deutliche Zunahme in allen Produktivitätsproxies zu verzeichnen, die auf einen gesteigerten Küstenauftrieb im Späten Holozän schließen lassen.
- In Kern *SO147-41SL* sind Sedimente des Letzten Glazialen Maximums überliefert. Nach FAIRBANKS (1989) befand sich der Stationspunkt während des glazialen Meeresspiegeltiefstandes in 467 m ( $\pm 5$  m) Wassertiefe. Die Bedeutung des Kerns *SO147-41SL* liegt nicht primär in seiner zeitlichen Hochauflösung oder den herausgefilterten Maxima und Minima der Produktivitätswerte. Vielmehr dient er als Schlüsselglied für den Nachweis erhöhter Auftriebsproduktivität während des Letzten Glazialen Maximums.

An den hochauflösend gemessenen TOC-Daten der Kerne konnten über *Spektralanalysen* periodisch auftretende Schwankungen in den Zeitreihen erfasst werden. Auffallende Zyklen der Produktivitätswerte in den untersuchten Kernen liegen bei 1500, 1000, 590, 570, 380, 333, 314, 280, 242, 218, 157, 32, 23, 20, 17 und 11 Jahren. Die Kopplung dieser Zyklen an periodische Schwankungen der atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Konzentration (STUIVER & BRAZIUNAS 1989, PETERSON et al. 1991, STUIVER & BECKER 1993, SCHIMEL & SULZMAN 1995, ROIG et al. 2000, RASPOPOV et al. 2001) und  $^{18}\text{O}$ -Temperatur-Daten des GISP2-Eiskerns (STUIVER et al. 1995) belegte, dass Variationen in der Produktivität und Intensität des peruanischen Küstenauftriebs von der globalen Klimadynamik gesteuert werden. Durch hochauflösende Untersuchungen konnte in den Auftriebssedimenten selbst die Überlieferung der kurzskaligen El Niño-Ereignisse belegt werden (7- bis 14-Jahre-Zyklen).

## 8 LITERATUR

- Armstrong, D. A. et al. (1987): Physical and biological features across an upwelling front in the southern Benguela. *South African Journal of Marine Sciences*, 5, 171-190.
- Arntz, W. E. (1986): The two faces of El Niño 1982-83. *Meeresforschung*, 31, 1-46.
- Avissar, Y. J., Moberg, P. A. (1995): The common origin of the pigments of life – early steps of chlorophyll biosynthesis. *Photosyn. Res.*, 44, 221-242.
- Barber, R. T., Chavez, F. C. (1983): Biological consequences of El Niño. *Science*, 222, 1203.
- Barber, R. T., Kogelschatz, J. E. (1990): Nutrients and productivity during the 1982/83 El Niño. In: P. W. Glynn (ed.), *Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 21-53.
- Barnola, J. M. et al. (1987): Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 329, 408-414.
- Battersby, A. R. (1985): Biosynthesis of the pigments of life. *Proc. R. Soc. Lond.*, B225, 1-26.
- Baturin, G. N. (1983): Some unique sedimentological and geochemical features of deposits in coastal upwelling regions. In: E. Suess, J. Thiede (eds.), *Coastal upwelling – its sediment record, Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling*, Plenum Press, NY, 11-27.
- Berger, W. H. et al. (1989): Ocean productivity and paleoproductivity – an overview. In: W. H. Berger et al. (eds.), *Productivity of the Ocean: Present and Past, Dahlem Workshop Reports*, Wiley-Interscience Publ., Chichester, 1-34.
- Bianchi, G. G., McCave, N. (1999): Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. *Nature*, 397, 515-517.
- Biebow, N. (1996): Dinoflagellatenzysten als Indikatoren der spät- und postglazialen Entwicklung des Auftriebsgeschehens vor Peru. *GEOMAR Reports 57*, Kiel.
- Blackman, R. B., Tukey, J. (1958): *The measurement of power spectral from the point of view of communication engineering*. Dover, NY.
- Blasco, D. et al. (1980): Relationship between the phytoplankton distribution and composition and the hydrography in the northwest African upwelling region near Cabo Corbeiro. *Deep-Sea Res.*, 27, 799-821.
- Blunier, T. et al. (1995): Variations in atmospheric methane concentration during the Holocene epoch. *Nature*, 374, 46-49.
- Bogoyavlensky, A. N., Sishkina, O. V. (1971): Major features of the hydrochemistry of the Peru-Chile region. *Trudy Institute Oceanology, Academy of Sciences U.S.S.R.*, 89, 96-105.
- Boltovskoy, E. (1976): Distribution of recent foraminifera of the South America region. In: R. H. Hedley, C. G. Adams (eds.), *Foraminifera*. Academy Press, NY, 171-236.
- Bond, G. et al. (1997): A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278, 1257-1266.
- Bonn, W. J. et al. (1998): Paleoproductivity at the Antarctic continental margin: opal and barium records for the last 400 ka. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 139, 195-211.
- Boto, K. G., Bunt, J. S. (1978): Selective Excitation Fluorometry for the Determination of Chlorophylls and Pheophytins. *Anal. Chem.*, 50(3), 392-395.
- Bremner, J. M. (1978): *Sediments on the continental margin off South West Africa between latitudes 17° and 25°S*. Ph.D. Dissertation, University of Cape Town.
- Bremner, J.M. (1983): Biogenic sediments on the South-West-Africa (Namibia) continental margin. In: J. Thiede & E. Suess (eds.), *Coastal upwelling – its sediment record, Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling*, Plenum Press, NY, 73-103.
- Brockmann, C. et al. (1980): The poleward undercurrent along the Peru coast: 5 to 15°S. *Deep-Sea Res.*, 27A, 847-856.
- Brodie, I., Kemp, A. E. S. (1994): Variations in biogenic and detrital fluxes and formation of laminae in late Quaternary sediments from the Peruvian coastal upwelling zone. *Marine Geology*, 116, 385-398.
- Broecker, W. S. (1994): Massive iceberg discharge as triggers for global climate change. *Nature*, 372, 421-424.

- Burkov, V. A. (1972): General circulation of waters of the Pacific. Nauka, Moscow.
- Calvert, S. E., Price, N. B. (1971): Upwelling and nutrient regeneration in the Benguela current. *Deep-Sea Res.*, 18, 505-523.
- Calvert, S.E. (1983): Geochemistry of Namibian shelf sediments. – In: E. Suess, J. Thiede, (Eds.): Coastal upwelling – its sediment record, Part A: Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling. Plenum Press, NY, 337-375.
- Campbell, I. D. et al. (1998): Late Holocene ~ 1500 yr climatic periodicities and their implications. *Geology*, 26(5), 471-473.
- Chen, R. F. et al. (2000): Solid-phase fluorescence determination of chlorins in marine sediments. *Organic Geochem.*, 31, 1755-1763.
- Clapperton, C. M. (1990): Quaternary glaciations of the Southern Hemisphere: An overview. *Quaternary Science Rev.*, 9, 299-304.
- Clapperton, C. M. (1993a): Quaternary geology and geomorphology of South America. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Clapperton, C. M. (1993b): Nature of environmental changes in South America at the Last Glacial Maximum. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 101, 189-208.
- Dansgaard, W. et al. (1984): North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores. In: J. E. Hansen & T. Takahashi (eds.), *Climate Processes and Climate Sensitivity*, *Geophys. Monogr.*, 29(5), 288-298.
- Demaison, G. J., Moore, G. T. (1980): Anoxic environments and oil source bed genesis. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 64, 1179-1209.
- De Master, D.J. (1981): The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 1715-1732.
- De Vries, T. J., Schrader, H. (1981): Variations of upwelling/oceanic conditions during the latest Pleistocene trough Holocene off central Peruvian coast: a diatom record. *Marine Micropaleontol.*, 6, 157-167.
- Diester-Haass, L., Müller, P. J. (1979): Processes influencing sand fraction composition and organic matter content in surface sediments off West Africa (12-19°N). *METEOR-Forschungsergebnisse*, C31, 21-47.
- Diester-Haass, L. (1983): Differentiation of high oceanic fertility in marine sediments caused by coastal upwelling and/or river discharge off northwest Africa during the late Quaternary. In: J. Thiede & E. Suess (eds.), *Coastal upwelling – its sediment record, Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling*, Plenum Press, NY, 399-420.
- Dugdale, R. C. et al. (1977): Denitrification and hydrogen sulfide in the Peru upwelling region during 1976. *Deep-Sea Res.*, 24, 601-608.
- Dunbar, R. B., Berger, W. H. (1981): Fecal pellet flux to modern bottom sediment of Santa Barbara Basin (California) based on sediment trapping. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 92, 212-218.
- Eglinton, G. et al. (1992): Molecular record of secular sea surface temperature changes on 100-year timescales for glacial terminations I, II, and IV. *Nature*, 356, 423-426.
- Ekman, V. W. (1905): On the influence of the earth's rotation on ocean currents. *Arkiv för Matematik, Astronomi, och fysik*, 2, 1-53.
- Elliott, D. F., Rao, K. R. (1982): *Fast transforms: Algorithms, analyses, applications*. Academic Press, NY.
- Emeis, K.-C. et al. (1991): Sedimentary and geochemical expression of oxic and anoxic conditions on the Peru shelf. In: R. V. Tyson, T. H. Pearson (eds.), *Modern and ancient continental shelf anoxia*, *Geol. Soc.*, London, 155-170.
- Enfield, D. B. (1981): Thermally driven wind variability in the planetary boundary layer above Lima, Peru. *Jour. Geophys. Res.*, 86 (C3), 2005-2016.
- Eppley, R.W., Peterson, B.J. (1979): Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 282, 677-680.
- Fairbanks, R. G. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.
- Froehlich, P. N. et al. (1979): Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern Equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 1075-1090.
- Giraudeau, J. et al. (2000): A high-resolution time series analyses of particle fluxes in the Northern Benguela coastal upwelling system: carbonate record of changes in biogenic

- production and particle transfer processes. *Deep-Sea Res.*, II47, 1999-2028.
- Graf, H.-F. (1986): Abkühlung der Nordhemisphäre: ein möglicher Trigger für El Niño/Southern-Oscillation-Episoden. *Naturwissenschaften*, 73, 258-263.
- Grimm, E. C. et al. (1993): A 50,000-year record of climate oscillations from Florida and its temporal correlation with Heinrich events, *Science*, 261, 198-200.
- Grosjean, M. et al. (1997): Mid-Holocene climate and culture change in the Atacama Desert, northern Chile. *Quat. Res.*, 48, 239-246.
- Gunther, E. R. (1936): A report on oceanographical investigations in the Peru coastal current. *Discovery Report*, 13, 107-276.
- Haberle, S. (1998): Late Quaternary vegetation change in the Tari Basin, Papua New Guinea. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 137, 1-24.
- Hansen, B. C., Rodbell, D. T. (1995): A Late Glacial/Holocene pollen record from the eastern Andes of northern Peru. *Quaternary Res.*, 44, 216-227.
- Harman, H. H. (1967): *Modern factor analysis*. University of Chicago Press, Chicago.
- Hart, T. Y., Currie, R. J. (1960): The Benguela Current. *Discovery Report*, 31, 123-298.
- Hartline, B. K. (1981): Coastal upwelling: Physical factors feed fish. *Science*, 208, 38-40.
- Hays, W. L. (1988): *Statistics (4th ed.)*. CBS College Publishing, NY.
- Heath, G. R. (1977): Organic carbon in deep-sea sediments. In: N. R. Andersen, A. Malhoff (eds.), *The fate of fossil fuel CO<sub>2</sub> in the oceans*, Plenum Press, NY.
- Hebbeln, D. et al. (2000): Surface sediment distribution along the Chilean continental slope related to upwelling and productivity. *Marine Geology*, 164, 119-137.
- Hendry, G. A. F. et al. (1987): The degradation of chlorophyll – a biological enigma. *New Phytol.*, 107, 255-302.
- Heinze, P.-M. (1990): *Das Auftriebsgeschehen vor Peru im Spätquartär*. Berichte Fachbereich Geowissenschaften, University Bremen.
- Herguera, J. C., Berger, W. H. (1991): Paleoproductivity from benthic foraminifera abundance: Glacial to postglacial change in the west-equatorial Pacific. *Geology*, 19, 1173-1176.
- Honjo, S. (1976): Coccoliths: Production, transportation and sedimentation. *Marine Micropaleontol.*, 1, 65-79.
- Hooghiemstra, H. (1984): Vegetational and climatic history of the high plain of Bogota, Colombia: A continuous record of the last 3,5 million years. *Dissertationes Botanicae*, 79, 1.
- Hope, G. S. (1996): History of *Nothofagus* in New Guinea and New Caledonia. In: T. T. Veblen et al. (eds.), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forests*. Yale University Press, New Haven, 257-270.
- Houghton, J.T. et al. (1996): *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jeffrey, S. W. et al. (1997): *Phytoplankton Pigments in the Oceanography*. UNESCO Publishing, NY.
- Johnson, D. R. et al. (1980): Upwelling in the Humboldt Coastal Current near Valparaiso, Chile. *Jour. Mar. Res.*, 38, 1-16.
- Jouzel, J. et al. (1993): Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, 364, 407-412.
- Jouzel, J. et al. (1996): Climatic interpretation of the recently extended Vostok ice records. *Clim. Dyn.*, 12, 513-521.
- Kachigan, S. K. (1986): *Statistical analysis: An interdisciplinary introduction to univariate & multivariate methods*. Reditus Press, NY.
- Karlin, R. (1980): Sediment sources and clay mineral distributions off the Oregon coast. *Jour. Sed. Petrol.*, 50, 543-560.
- Kendall, M., Stuart, A. (1979): *The advanced theory of statistics (Vol. 2)*. Hafner, NY.
- Kershaw, A. P. (1994): Pleistocene vegetation of the humid tropics of northeastern Queensland, Australia. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 109, 399-412.
- Klump, J. (1999): Biogenic barite as a proxy of paleoproductivity variations in the southern Peru-Chile Current. *Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen*.
- Klump, J. et al. (2000): The impact of sediment provenance on barium-based productivity estimates. *Marine Geology*, 169, 259-271.
- Krissek, L.A. et al. (1980): Surface sediments of the Peru-Chile continental margin and the

- Nazca plate. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91, 321-331.
- Kroon, D., Ganssen, G. (1989): Northern Indian Ocean upwelling cells and stable isotope composition of living planktonic foraminifers. *Deep-Sea Res.*, 36, 1219-1236.
- Kudrass, H. R. (2000): FS-Sonne - Fahrtbericht SO 147 Peru-Auftrieb: Valparaiso - Callao, 29.05.2000 - 03.07.2000. BGR, Hannover.
- Ledru, M. P. et al. (1998): Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99, 131-142.
- Leetma, A. et al. (1987): Hydrographic conditions in the Eastern Pacific before, during and after the 1982/83 El Niño. *Progress in Oceanography*, 19, 1-47.
- Lerman, A. (1979): *Geochemical Processes*. Wiley, NY.
- Levitus, S. et al. (1994): *World Ocean Atlas 1994*. NOAA Atlas NESDIS, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.
- Lückge & Reinhardt (2000): CTD measurements in the water column off Peru. In: H. R. KUDRASS, FS-Sonne - Fahrtbericht SO 147 Peru-Auftrieb: Valparaiso - Callao, 29.05.2000 - 03.07.2000, BGR, Hannover, 35-37.
- Lyle, M. (1988): Climatically forced organic carbon burial in equatorial Atlantic and Pacific Oceans. *Nature*, 335, 529-532.
- Lyle, M. et al. (1988): The record of Late Pleistocene biogenic sedimentation in the Eastern tropical Pacific Ocean. *Paleoceanography*, 3, 39-59.
- Mackensen, A. et al. (1993):  $^{13}\text{C}$  in benthic foraminiferal tests of *Fontbotia wuellerstorfi* (Schwager) relative to  $^{13}\text{C}$  of dissolved inorganic carbon in Southern Ocean Deep Water: implications for glacial ocean circulation models. *Paleoceanography*, 8, 585-610.
- Mackensen, A., Bickert, T. (1999): Stable carbon isotopes in benthic foraminifera: Proxies for deep and bottom water circulation and new productions. In: G. Fischer, G. Wefer (eds.), *Use of Proxies in Paleoclimatology*. Springer, Berlin, 229-254.
- Maeda, S., Kishimoto, R. (1970): Upwelling off the coasts of Peru. *Jour. Oceanol. Soc. Jap.*, 26, 300-309.
- Manabe, S., Hahn, D. G. (1977): Simulation of the tropical climate of an ice age. *Jour. Geophys. Res.*, 82, 3889-3909.
- Mann, M.E. et al. (1998): Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392, 779-787.
- Mantoura, R. F. C., Llewellyn, C. A. (1983): The rapid determination of algal chlorophyll and their breakdown products in natural waters by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta*, 151, 297-314.
- Marchant, M. et al. (1998): Seasonal flux patterns of planktic foraminifera in the Peru-Chile Current. *Deep-Sea Res.*, 45, 1161-1185.
- Markgraf, V. (1989). Palaeoclimates in central and south America since 18,000 BP based on pollen and lake-level records. *Quat. Sci. Rev.* 8, 1-24.
- Markgraf, V. (1991): Late Pleistocene environmental and climatic evolution in southern South America. *Bamberger Geographische Schriften*, 11, 271-281.
- Markgraf, V. (1993). Climatic history of central and South America since 18,000 yr B.P.: comparison of pollen records and model simulations. In H.E. Wright et al. (eds.), *Global Climates Since the Last Glacial Maximum*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 357-385.
- Markgraf, V., Diaz, H. F. (2000): The past ENSO record: a synthesis. In: H. F. Diaz, V. Markgraf (eds.), *El Niño and the southern oscillation: multiscale variability and global and regional impacts*. Cambridge University Press, Cambridge, 465-488.
- Martin, L. et al. (1993): Southern Oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7000 years. *Quat. Res.*, 39, 338-346.
- Mayewski, P. A. et al. (1997): Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series. *Jour. Geophys. Res.*, 102, 26345-26366.
- McGlone, M. S. et al. (1992): El Niño/Southern Oscillation climatic variability in Australasian and South American paleoenvironmental records. In: H. F. Diaz, V. Markgraf (eds.), *El Niño: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, Cambridge, 435-462.

- Melief, A. B. M. (1985): Late Quaternary paleoecology of the Parque Nacional Natural los Nevados (Cordillera Central) and Sumapaz (Cordillera Oriental) areas, Colombia. Ph.D.Thesis, Amsterdam.
- Mendiola, B. R. D. (1981): Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast. In: F. A. Richards (ed.), Coastal Upwelling, Washington D.C., 348-356.
- Mittelstaedt, E. et al. (1975): Flow patterns in the northwest African upwelling area. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 28, 145-167.
- Mix, A. C. et al. (1986): Late Quaternary paleoceanography of the tropical Atlantic, I. Spatial variability of annual mean sea-surface temperatures, 0-20,000 years B.P. *Paleoceanography*, 1, 43-66.
- Mix, A. C. (1989): Influence of productivity variations on long term atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 337, 541-544.
- Molina-Cruz, A. (1984): Radiolaria as indicators of upwelling processes: The peruvian connection. *Marine Micropaleontol.*, 9, 53-75.
- Monteiro, J. H. et al. (1983): Upwelling records in recent sediments from southern Portugal: A reconnaissance survey. In: J. Thiede & E. Suess (eds.), Coastal upwelling – its sediment record, Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling, Plenum Press, NY, 145.
- Mortlock, R.A. et al. (1991): Evidence for lower productivity in the Antarctic ocean during the last glaciation. *Nature*, 351, 220-223.
- Mortyn, P. G., Thunell, R. C. (1997): Biogenic sedimentation and surface productivity changes in the Southern California Borderlands during the last glacial-interglacial cycle. *Marine Geology*, 138, 171-192.
- Mourguiart, P. et al. (1995): El Lago Titicaca durante el Holoceno: Una historia compleja. In: J. Argollo, P. Mourguiart (eds.), Cambios Cuaternarios en America del Sur. OSTROM, La Paz, 173-188.
- Moy, C. M. (2002): Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420, 162-165.
- Müller, P. J., Suess, E. (1979): Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans – I. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26A, 1347-1362.
- Müller, P.J. et al. (1986): Amino acids and amino sugars of surface particulate and sediment trap material from waters of the Scotia Sea. *Deep-Sea Res.*, 33, 819-838.
- Müller, P.J., Schneider, R. (1993): An automated leaching method for the determination of opal in sediments and particulate matter. *Deep-Sea Res.*, 40 (3), 425-444.
- Müller, P.J. et al. (1998): Calibration of the alkenone paleotemperature index UK37 based on core-tops from the eastern South Atlantic and the global ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 1757-1772.
- Newell, R. E. et al. (1975): Decreased global rainfall during past ice ages. *Nature*, 253, 33-34.
- Nisbett, R. E. et al. (1987): Teaching reasoning. *Science*, 238, 625-631.
- Nürnberg, C. C. et al. (1997): Barium accumulation in the Atlantic sector of the Southern Ocean: Results from 190,000-year records. *Paleoceanography*, 12, 594-603.
- O'Brien, S. R. et al. (1995): Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*, 270, 1962-1964.
- Ochoa, N., Gomez, O. (1987): Dinoflagellates as indicators of water masses during El Niño, 1982-1983. *Jour. Geophys. Res.*, 92 (C13), 14355-14367.
- Ohkouchi, N. et al. (1997): Fluctuations of terrestrial and marine biomarkers in the western tropical Pacific during the last 23,300 years. *Paleoceanography*, 12, 623-630.
- Patrick, A., Thunell, R. (1997): Tropical Pacific sea surface temperatures and upper water column thermal structure during the last glacial maximum. *Paleoceanography*, 12, 649-657.
- Paillard D. et al. (1996): Macintosh Program Performs Time-Series Analysis. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 77, 379.
- Pedersen, T. F. (1983): Increased productivity in the eastern equatorial Pacific during the last glacial maximum (19,000 to 14,000 yr B.P.). *Geology*, 11, 16-19.
- Pedersen, T. F. et al. (1988): The response of benthic foraminifera to productivity cycles in the eastern equatorial Pacific: Faunal and geochemical constraints on glacial bottom water oxygen levels. *Paleoceanography*, 3 (2), 157-168.
- Perks, H. M., Keeling, R. F. (1998): A 400 kyr record of combustion oxygen demand in the



- western equatorial Pacific: Evidence for a precessionally forced climate response. *Paleoceanography*, 13 (1), 63.
- Peterson, L. C. et al. (1991): A high-resolution late Quaternary upwelling record from the anoxic Cariaco Basin, Venezuela. *Paleoceanography*, 6 (1), 99-119.
- Philander, S.G.H. (1983): El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature*, 302, 295-301.
- Philander, S. G. (1990): El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press.
- Pickard, G., Emery, W. (1982): *Descriptive Physical Oceanography – An Introduction*. Pergamon Press, Oxford, 249pp.
- Pickard, G. L., Emery, W. J. (1990): *Descriptive Physical Oceanography*. Pergamon Press, Oxford.
- Powell, A. J. et al. (1990): Late Neogen to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. In: E. Suess, R. von Huene (eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, ODP, College Station, Texas*, 297-321.
- Priestley, M. B. (1981): *Spectral analysis and time series*. Academic Press, NY.
- Quinn, W. H. et al. (1987): El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Jour. Geophys. Res.*, 92, 14449-14461.
- Ramage, C.S. (1986): El Niño. *Spektrum der Wissenschaft*, 8, 92-100.
- Raspopov, O. M. et al. (2001): Dendrochronological evidence of long-term variations in solar activity and climate. In: M. Kaennel Dobbertin, O. U. Bräker (eds.), *International Conference Tree Rings and People*, Swiss Federal Research Institute WSL, Davos.
- Rea, D. K. et al. (1991): Late Pleistocene paleoclimatology of the Central Equatorial Pacific: Flux patterns of biogenic sediments. *Paleoceanography*, 6 (2), 227-244.
- Reimers, C.E. & Suess, E. (1983a): Late Quaternary fluctuations in the cycling of organic matter off Central Peru: A proto-kerogen record. In: Suess, E. & Thiede, J. (eds.), *Coastal Upwelling - its sediment record, Part A: Response of the sedimentary regime to present coastal upwelling*. Plenum Press, NY, 497-525.
- Reimers, C. E., Suess, E. (1983b): Spatial and temporal patterns of organic matter accumulation on the Peru continental margin. In: J. Thiede, E. Suess (eds.), *Coastal upwelling – its sediment record, Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling*, Plenum Press, NY, 331-346.
- Richert, P. (1975): *Die räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung des Phytoplanktons mit besonderer Berücksichtigung der Diatomeen im NW afrikanischen Auftriebsgebiet*. Ph.D.Thesis, Universität Kiel.
- Rodbell, D. T. et al. (1999): An ~15,000-year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador. *Science*, 283, 516-520.
- Roig, F. A. et al. (2000): A 1,229-year tree-ring record from lake Pleistocene in Southern Chile. *Book of Abstracts, International Conference on Dendrochronology for the 3rd millenium, Mendoza, Argentina*.
- Romero, O. E. et al. (2001): Variability in export production in the SE Pacific Ocean during El Niño and non-El Niño conditions: evidence from diatom fluxes and surface sediment assemblages. *Deep-Sea Res.*, 48, 2673-2697.
- Romine, K. (1982): Late Quaternary history of atmospheric and oceanic circulation in the eastern Equatorial Pacific. *Marine Micropaleontol.*, 7, 163-187.
- Romine, K., Moore, T.C. jr. (1981): Radiolarian assemblage distribution and paleoceanography of the Eastern Equatorial Pacific during the last 127,000 years. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 35, 281-314.
- Rosell-Melé, A. et al. (1995): Atlantic core-top calibration of the UK37 index as a sea-surface paleotemperature indicator. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 3099-3107.
- Rowe, G.T. (1979): *Coastal Upwelling Ecosystems Analysis (CUEA) Data Report 65. Sediment data from short cores during JOINT II off Peru*.
- Rühlemann, C. et al. (1996): Late Quaternary productivity changes in the western equatorial Atlantic: Evidence from <sup>230</sup>Th-normalized carbonate and organic carbon accumulation rates. *Marine Geology*, 135, 127-152.
- Runyon, R. P., Haber, A. (1976): *Fundamentals of behavioral statistics*. Addison-Wesley.
- Ruttland, J., Fuenzalinda, H. (1991): Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the southern oscillation. *Int. Jour. Climatol.*, 11, 63-76.

- Ryther, J. H. (1969): Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, 166, 72-76.
- Sandweiss, D. H. et al. (1996): Geoarchaeological evidence from Peru for a 5000 years B.P. onset of El Niño. *Science*, 237, 1531-1533.
- Sarnthein, M., Walger, E. (1974): Der äolische Sandstorm aus der W-Sahara zur Atlantikküste. *Geologische Rundschau*, 63, 1065-1087.
- Sarnthein, M. (1978): Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. *Nature*, 271, 43-46.
- Sarnthein, M. (1982): Zur Fluktuation der subtropischen Wüstengürtel seit dem letzten Hochglazial vor 18,000 Jahren: Klimahinweise und Modelle aus Tiefseesedimenten. *Geomethodica*, 7, 125-161.
- Sarnthein, M. et al. (1982): Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. In: U. von Rad et al. (eds.), *Geology of the Northwest African continental margin*, Springer, Berlin, 584-604.
- Sarnthein, M. et al. (1988): Global variations of surface ocean productivity in low and mid latitudes: Influence on CO<sub>2</sub> reservoirs of the deep ocean and atmosphere during the last 21,000 years. *Paleoceanography*, 3, 361-399.
- Scheer, H. (1991): *Chlorophylls*. CRC Press, Boca Raton.
- Schimel, D., Sulzman, E. (1995): Variability in the earth climate system: Decadal and longer timescales. *Rev. Geophys.*, 33, 873-882.
- Schneider, R.R. et al. (1997): Monsoon related variations in Zaire (Congo) sediment load and influence of fluvial silicate supply on marine productivity in the east equatorial Atlantic during the last 200,000 years. *Paleoceanography*, 12 (3), 463-481.
- Schuetter, G., Schrader, H. (1981): Diatoms in surface sediments: A reflection of coastal upwelling. In: F. A. Richards (ed.), *Coastal Upwelling*. Am. Geophys. Union, Washington, D.C., 372-380.
- Shaffer, G. (1982): On the upwelling circulation over the wide shelf off Peru: I. Circulation. *Jour. Mar. Res.*, 40, 293-314.
- Shanks, A. L., Trent, J. D. (1980): Marine snow: sinking rates and potential role in vertical flux. *Deep-Sea Res.*, 27, 137-144.
- Shulmeister, J. (1999): Australasian evidence for mid-Holocene climate change implies precessional control of Walker circulation in the Pacific. *Quat. International*, 57/58, 81-91.
- Shulmeister, J., Lees, B. G. (1995): Pollen evidence from tropical Australia for the onset of an ENSO-dominated climate at c. 4000 B.P. *The Holocene*, 5, 10-18.
- Shumway, R. H. (1988): *Applied statistical time series analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Sigman, D. M., Boyle, E. A. (2000): Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 407, 859-869.
- Sirocko, F. et al. (1996): Teleconnections between the subtropical monsoons and high-latitude climates during the last deglaciation. *Science*, 272, 526-529.
- Smith, R. L. (1983): Circulation patterns in upwelling regimes. In: E. Suess, J. Thiede, (eds.): *Coastal upwelling – its sediment record, Part A: Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling*, Plenum Press, NY, 13-35.
- Sonett, C. P. (1984): Very long solar periods and the radiocarbon record. *Rev. Geophys.*, 22, 239-254.
- Staresinic, N. et al. (1983): Downward transport of particulate matter in the Peru coastal upwelling: Role of the anchoveta. In: E. Suess, J. Thiede, (eds.): *Coastal upwelling – its sediment record, Part A: Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling*, Plenum Press, NY, 225-240.
- Stens, T.N.F. et al. (1992): Oxygen and carbon isotopes in planktonic foraminifera as indicators of upwelling intensity and upwelling-induced high productivity in sediments from the northwestern Arabian Sea. In: C. P. Summerhayes et al. (eds.), *Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene*. Geol. Soc. Spec. Publ., 285-297.
- Stevens, J. (1986): *Applied multivariate statistics for the social sciences*. NJ: Erlbaum, Hillsdale.
- Street-Perrott, F. A., Perrott, R. A. (1990): Abrupt climate fluctuations in the tropics: the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature*, 343, 607-612.

- Strub, P. T. et al. (1998): Coastal ocean circulation off western South America. In: A. R. Robinson, K. H. Brink (eds.), *The Global Coastal Ocean – Regional Studies and Syntheses, The Sea – Ideas and Observations in the Study of the Seas*, Wiley, NY, 273-313.
- Stuiver, M. et al. (1991): Climatic, Solar, Oceanic, and Geomagnetic Influences on Late-Glacial and Holocene Atmospheric  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  Change. *Quat. Res.*, 35, 1-24.
- Stuiver, M. et al. (1995): The GISP2 Delta 18-O climate record of the past 16,500 years and the role of the sun, ocean, and volcanoes. *Quat. Res.*, 44, 341.
- Stuiver, M., Becker, B. (1993): High precision decadal calibration of the radiocarbon time scale AD 1950-6000 BC. *Radiocarbon*, 35, 35-65.
- Stuiver, M., Braziunas, T. F. (1989): Atmospheric  $^{14}\text{C}$  and century-scale solar oscillations. *Nature*, 338, 405-408.
- Suess, E. (1980): Particulate organic carbon flux in the oceans – surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, 288, 260-263.
- Suess, E., Thiede, J. (1983): Responses of the sedimentary regime to coastal upwelling. In: E. Suess, J. Thiede, (eds.): *Coastal upwelling – its sediment record, Part A: Responses of the Sedimentary Regime to Present Coastal Upwelling*. Plenum Press, NY, 1-10.
- Summerhayes, C. P. et al. (1994): Upwelling in the ocean – Modern processes and ancient records. *Dahlem Workshop Reports, Environ. Sci. Res. Report 18*, Wiley, NY.
- Sverdrup, H. U. et al. (1942): *The Oceans*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Taylor, R. E., Berger, R. (1967): Radiocarbon content of marine shells from the Pacific coasts of Central and South America. *Science*, 158, 1180-1182.
- Thompson, L. G. et al. (1995): Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269, 46-50.
- Thornburg, T., Kulm, L.D. (1987): Sedimentation in the Chile Trench: Petrofacies and provenance. *Jour. Sed. Petrol.*, 57, 55-74.
- Valero-Garcés, B. L. et al. (1996): Limnogeology of Laguna Miscanti: Evidence for mid- to late Holocene moisture changes in the Atacama Altiplano (northern Chile). *Jour. Paleolimnol.*, 16, 1-21.
- Van Campo, E., Gasse, F. (1993): Pollen- und Diatom-Inferred Climatic and Hydrological Changes in Sumxi Co Basin (Western Tibet) since 13,000 yr B.P. *Quat. Res.*, 39, 300-313.
- Van der Hammen, T. et al. (1981): Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia). *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 32, 247-340.
- Van der Kaars, S., Dam, R. (1997): Vegetation and climate change in West Java, Indonesia during the last 135,000 years. *Quat. International*, 37, 67-71.
- Van Kreveld, S. A. et al. (1996): Biogenic carbonate and ice-rafted debris (Heinrich Layers) accumulation in deep-sea sediments from a Northeast Atlantic piston core. *Marine Geology*, 131, 21-46.
- Verardo, D. et al. (1990): Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500 Analyzer. *Deep-Sea Res.*, 37, 157-165.
- Von Huene, R. et al. (1987): Convergent tectonics and coastal upwelling: A history of the Peru continental margin. *Episodes*, 10, 87-93.
- Wallerstein-Zielasko, P. (2000): *Lineare Tetrapyrrole in marinen Sedimenten – Untersuchungen zu Struktur und Vorkommen*. Ph.D.Thesis, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Walsh, J. J. (1981): A carbon budget for overfishing off Peru. *Nature*, 290, 300-304.
- Wei, W. W. (1989): *Time series analysis: Univariate and multivariate methods*. Addison-Wesley, NY.
- Wells, L. E., Noller, J. S. (1997): Determining the early history of El Niño. *Science*, 276, 965.
- Welschmeyer, N. A. (1994): Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. *Limnol. Oceanogr.*, 39(8), 1985-1992.
- Wherry, R. J. (1984): *Contributions to correlational analysis*. Academic Press, NY.
- Wooster, W. S., Reid, J. L. (1963): Eastern boundary currents. In: M. N. Hill (ed.), *The Sea*, Wiley, NY, 253-280.
- Zeil, W. (1986): *Südamerika*. Enke, Stuttgart.
- Zhuze, A.P. (1971): Diatoms in the surface layer of sediments in the vicinity of Chile and Peru. *Oceanology*, 12, 679-705.

**TABELLENVERZEICHNIS**

## Seite

- 2 *Tab. 4.1* Klasseneinteilung der einzelnen Merkmale: TOC-, N-, Opal-, Chlorin- und Karbonatkonzentrationen, berechneter TOC/N-Index sowie Wassergehalte und Grobfraktionsanteile in den Oberflächensedimenten.
- 34 *Tab. 4.2* Statistische Maßzahlen der einzelnen Merkmale für das Gesamtsystem: Mittelwert  $\bar{x}$ , Median md, Minimal- und Maximalwerte (min, max), Spannweite R, Standardabweichung s. Für die Einmerkmalsstatistik wurden alle untersuchten Oberflächenproben (n = 52) herangezogen.
- 37 *Tab. 4.3* Bivariate Korrelationskoeffizienten r für das Gesamtsystem. Signifikante Merkmalsbeziehungen (p = 0,05) wurden fett gedruckt.
- 38 *Tab. 4.4* Statistische Maßzahlen der einzelnen Merkmale für die Sedimente der Auftriebsfazies: Mittelwert  $\bar{x}$ , Median md, Minimal- und Maximalwerte (min, max), Spannweite R, Standardabweichung s.
- 40 *Tab. 4.5* Bivariate Korrelationskoeffizienten r für die Sedimente der Auftriebsfazies. Signifikante Merkmalsbeziehungen (p = 0,05) wurden fett gedruckt.
- 40 *Tab. 4.6* Ergebnisse der Faktorenanalyse für die Sedimente der Auftriebsfazies. Signifikante Faktorladungen wurden fett gedruckt.
- 50 *Tab. 5.1* Statistische Maßzahlen zur Beschreibung der Kerne. ( $\bar{x}$ ) definiert den Mittelwert, (md) den Medianwert, (min) den kleinsten Wert, (max) den größten Wert der Datenreihe. (R) gibt die Spannweite an.
- 54 *Tab. 5.2* Bivariate Korrelationskoeffizienten r für die Produktivitätsproxies Chlorine, TOC, Opal und Karbonat im Kern SO147-41SL. Signifikante Merkmalszusammenhänge (p = 0,05) wurden fett gedruckt.
- 55 *Tab. 5.3* Altersfixpunkte für die stratigraphische Einordnung der Sedimentkerne. Bei der Berechnung der Alter (in kyr BP) wurde ein Reservoireffekt von 550 Jahren berücksichtigt.
- 66 *Tab. 6.1* Medianwerte der gemessenen Proxies in den Kernen SO147-41SL, SO147-4SL und SO147-106KL.
- 72 *Tab. 6.2* Vergleich der zyklischen Variationen in den Produktivitätswerten der untersuchten Kerne mit periodischen Schwankungen der atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Konzentration.
- 72 *Tab. 6.3* Vergleich der zyklischen Variationen in den Produktivitätswerten der untersuchten Kerne mit periodischen Schwankungen der  $^{18}\text{O}$ -Klimadaten.
- 77 *Tab. 6.4* Markante Perioden in den Produktivitätsproxies der peruanischen Auftriebsfazies und deren Kopplung an globale Klimazyklen.

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

## Seite

- 2 *Abb. 1.1* Dreidimensionales upwelling-Modell.
- 7 *Abb. 1.2* Zonierung der Auftriebszelle und deren Beziehung zu dominierenden Biogenanteilen in den abgelagerten Sedimenten (vom inneren Schelfbereich bis zum Kontinentalhang).
- 10 *Abb. 2.1* Vereinfachtes Modell der Windzirkulationen über dem SE-Pazifik (nach NOAA, <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/>). Der rot umrandete Bereich markiert das Untersuchungsgebiet.
- 11 *Abb. 2.2* Strömungsregime entlang der Westküste Südamerikas. Weiße Pfeile markieren Oberflächenströmungen, die schwarze Linie den Verlauf des Unterstroms.
- 12 *Abb. 2.3* Tiefenwasserprofile (bis 2000 m) im N-S-Transect bei 80,5°W. Die unterschiedlichen Sauerstoff- und Phosphatgehalte bzw. Salinitäten (nach LEVITUS et al. 1994) charakterisieren die Strömungen des GUC (Gunther-Unterstrom), AAIW (Antarktisches Zwischenwasser), und PDW (Pazifisches Tiefenwasser).
- 12 *Abb. 2.4* Fore-arc-Becken des aktiven Kontinentalrandes prägen die Morphologie im Untersuchungsgebiet. Die küstennahen Becken (I, III, V) werden von den seewärtigen Becken (II und IV) durch eine strukturelle Hochzone, das OSH (outer shelf high), voneinander getrennt (nach THORNBURG & KULM 1981).
- 14 *Abb. 2.5* Erhöhte Phytoplankton-Pigment-Konzentration im Auftriebsgebiet (NASA/GSFC, NIMBUS 7 coastal zone color scanner data).
- 15 *Abb. 3.1* Geographische Position der relevanten Stationspunkte im Untersuchungsgebiet vor der Küste Perus, zwischen 9°S und 14°S bzw. 76°W und 80°W. Die Positionen der untersuchten Kerne SO147-106KL, SO147-4SL und SO147-41SL wurden rot markiert, während die Stationen der Oberflächenproben mit schwarzen Punkten gekennzeichnet sind. Die Abstufung der Blautöne bezieht sich auf 200m-Isolinien (bis 1000 m Wassertiefe).
- 16 *Abb. 3.2* Schematisches Modell zur Aufbereitung und Analyse des Probenmaterials.
- 21 *Abb. 4.1* Geographische Position der untersuchten Oberflächensedimente, benannt nach den Stationsnummern der SO147-Fahrt.
- 23 *Abb. 4.2a* Sedimentverteilungskarten. Gemessene TOC-, N-, Chlorin- und Opalkonzentrationen wurden entsprechend ihrer Klassenzahl k abgebildet. Die gelb hinterlegte Fläche markiert den Schelfbereich. Die Verteilung der biogenen Anteile in den Sedimenten wird von der Bioproduktion im Bereich der Auftriebszelle gesteuert.
- 23 *Abb. 4.2b* Sedimentverteilungskarten. Gemessene Karbonat-, Wasser- und Grob-

fraktionsgehalte sowie berechnete TOC/N-Indizes wurden entsprechend ihrer Klassen-  
zahl  $k$  abgebildet. Die gelb hinterlegte Fläche markiert den Schelfbereich. Die höchsten  
Klassenzahlen finden sich an den Stationspunkten mit den geringsten Gehalten an TOC,  
N, Opal und Chlorinen (Abb. 4.2a).

- 28 *Abb. 4.3* Verteilung der karbonatreichen Sedimente, die im Kontrast zur TOC- und  
Opal-reichen Auftriebsfazies stehen. Die gelb hinterlegte Fläche kennzeichnet den nach  
Norden flacher auslaufenden Schelfbereich. Die blau-gestrichelten Linien grenzen den  
Einflussbereich des Gunther-Unterstroms ein.
- 29 *Abb. 4.4* Gemessene Gehalte versus Wassertiefe WT. Die gelb hinterlegten Felder  
markieren die für die peruanische Auftriebsfazies typischen Konzentrationen. Stationen  
in denen aufgearbeitete bzw. umgelagerte Sedimente des Kontinentalhangs aufgeschlos-  
sen sind, wurden mit blauen Quadraten gekennzeichnet. Die gestrichelten Linien die-  
nen zur besseren Orientierung bei der Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche.  
Station 33 (graues Quadrat) nimmt in den Abbildungen eine Sonderstellung ein, auf die  
im Text näher eingegangen wird.
- 30 *Abb. 4.5* Gemessene Gehalte versus Longitude. Die gelb hinterlegten Felder markie-  
ren die für die peruanische Auftriebsfazies typischen Konzentrationen. Stationen in de-  
nen aufgearbeitete bzw. umgelagerte Sedimente des Kontinentalhangs aufgeschlossen  
sind, wurden mit blauen Quadraten gekennzeichnet. Die Stationen 33 (graues Quadrat),  
71, 104 und 126 nehmen eine Sonderstellung ein, auf die im Text näher eingegangen  
wird.
- 31 *Abb. 4.6* Gemessene Gehalte versus Latitude. Da im nördlichen Gebiet, zwischen  
 $9,5^{\circ}\text{S}$  und  $11,5^{\circ}\text{S}$ , verschiedenste Faziesbereiche beprobt wurden, zeigt sich in den ge-  
messenen Konzentrationen ein sehr breites Spektrum (blau hinterlegt). Die im südlichen  
Gebiet durch Pfeile markierten Prozentanteile beziehen sich auf diese "Gesamtspektren"  
im nördlichen Gebiet. Station 126 nimmt eine Sonderstellung ein, auf die im Text näher  
eingegangen wird.
- 33 *Abb. 4.7* Oberflächenproben im überregionalen Kontext. Gemessene Konzentratio-  
nen von TOC, N und Karbonat wurden mit Ergebnissen früherer Arbeiten (ROWE  
1979, REIMERS & SUESS 1983b) vervollständigt, um Beziehungen zur N-S-  
Verteilung bzw. Wassertiefe noch besser hervorzuheben. Gelb hinterlegte Bereiche  
markieren das hochproduktive Zentrum des Auftriebs zwischen  $10^{\circ}\text{S}$  und  $14^{\circ}\text{S}$  bzw. die  
daraus resultierenden, organikreichen Sedimente in Wassertiefen bis 500 m.
- 37 *Abb. 4.8* Clusterdiagramm zur Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche. TOC,  
N, Chlorine, Wassergehalt (WG) und Opalkonzentrationen sind charakteristische  
Merkmale der Auftriebsfazies, wohingegen Grobfraktionsanteile (GF), TOC/N und  
Karbonatgehalte die aufgearbeiteten bzw. umgelagerten Sedimente kennzeichnen.

- 39 *Abb. 4.9* Einmerkmalsstatistik zur Beschreibung der Auftriebsfazies in Form von Histogrammen. Die gemessenen Konzentrationen in den Oberflächenproben wurden den entsprechenden Klassen zugeordnet und die Anzahl der beobachteten Fälle in den Diagrammen abgetragen. Unimodale Verteilungsmuster von Opal, Wassergehalt, Grobfraktion, Karbonat und Chlorinen (A) stehen polymodalen Verteilungen der gemessenen TOC- und N-Gehalte (B) gegenüber.
- 42 *Abb. 4.10* Vereinfachte Modelle zur Abgrenzung der verschiedenen Faziesbereiche (links) und zur Charakterisierung der peruanischen Auftriebsfazies (rechts).
- 45 *Abb. 5.1* Lithologie der untersuchten Sedimentkerne SO147-4SL, SO147-106KL und SO147-41SL.
- 47 *Abb. 5.2* Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern SO147-106KL. Graue Lagen markieren Umlagerungs- bzw. Erosionshorizonte mit enorm hohen Grobfraktionsanteilen GF im Sediment.
- 48 *Abb. 5.3* Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern SO147-4SL. Die in den Textausführungen näher beleuchteten Bereiche wurden grau hinterlegt.
- 49 *Abb. 5.4* Graphische Darstellung der gemessenen Konzentrationen und berechneten Indizes im Kern SO147-41SL.
- 52 *Abb. 5.5* Gegenüberstellung der Maximal-, Mittel- und Medianwerte in den gemessenen TC-, TOC- und N-Konzentrationen der Kerne (Tab. 5.1).
- 56 *Abb. 5.6* Altersmodell für den Kern SO147-106KL.
- 58 *Abb. 5.7* Geographische Lage der Kernstationen in Relation zum Küstenverlauf: Situation heute und 18 kyr BP. Nach FAIRBANKS (1989) war der Meeresspiegel im Letzten Glazialen Maximum 120 m ( $\pm 5$  m) niedriger als heute.
- 59 *Abb. 5.8* Sich verändernde Kernpositionen in Relation zum Meeresspiegel: Situation 18 kyr BP, 9 kyr BP und heute. Der Einflussbereich der hochproduktiven Auftriebszelle (grünes Rechteck) wurde mit gestrichelten Linien markiert. Nur in diesem Bereich kann die Auftriebsfazies überliefert werden. Die aus dem deglazialen Meeresspiegelanstieg resultierende landwärtige Verlagerung der Auftriebszelle ist deutlich zu erkennen.
- 62 *Abb. 6.1* Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chlorin-gehalte im Kern SO147-106KL. Gestrichelte Linien markieren Wechsel in der Sedimentation. Rote Pfeile stehen für markante Schwankungen in den Produktivitätswerten.
- 64 *Abb. 6.2* Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chlorin-gehalte im Kern SO147-4SL. Die rot-gestrichelten Linien grenzen den Bereich ein, in dem Schwankungen unverfälscht wiedergegeben werden. Der rote Pfeil markiert die Abnahme der Produktivitätswerte in der ariden Kaltphase bei 8,2 - 8,0 kyr BP.
- 65 *Abb. 6.3* Normierte Produktivitätswerte der gemessenen TOC-, Opal- und Chlorin-

gehalte im Kern SO147-41SL.

- 70 *Abb. 6.4* Spektralanalyse der hochauflösend gemessenen TOC-Konzentrationen in den untersuchten Kernabschnitten des SO147-106KL, SO147-4SL bzw. SO147-41SL. Die zyklischen Schwankungen der Produktivitätswerte sind an globale Klimaänderungen gekoppelt.
- 75 *Abb. 6.5* Gehalte der gemessenen Produktivitätsproxies Opal, Chlorine und TOC gegen die Tiefe im Sediment aufgetragen und zur Radiographie-Aufnahme der Kernsequenz (BGR, REINHARDT, unveröffentl. Daten) in Beziehung gesetzt. Maxima in den Opalkonzentrationen markieren helle Diatomeenlagen im Sediment.
- 76 *Abb. 6.6* Ergebnisse der Spektralanalyse für die hochauflösend gemessenen TOC-, Opal- und Chlorinkonzentrationen im Kern SO147-106KL. Ermittelte Spektraldichten (SDP) sind gegen die jeweiligen Frequenzen abgetragen. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Frequenzbereiche 0 - 75 kyr<sup>-1</sup> bzw. 75 - 150 kyr<sup>-1</sup> getrennt dargestellt. Als markante Perioden wurden nur die hervorgehoben, in denen alle drei Proxies erhöhte SDP zeigen.



**ANHANG**

- A1 Gemessene Gehalte und berechneter TOC/N-Index in den Oberflächenproben der einzelnen Stationen.
- A2 Gemessene Gehalte und berechneter TOC/N-Index in den Oberflächenproben, gemittelte Werte.
- A3 Kern SO147-106KL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.
- A4 Kern SO147-4SL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.
- A5 Kern SO147-41SL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.
- A6 Kern SO147-106KL, hochauflösend alle 5 mm beprobter Abschnitt in 46 bis 166 cm Sedimenttiefe.

**A1: Gemessene Gehalte und berechneter TOC/N-Index in den Oberflächenproben der einzelnen Stationen.**

Station	Longitude °W	Latitude °S	wdpd m	Tiefe cm	TC wt%	N wt%	TOC wt%	CaCO3 wt%	TOC/N	Opal wt%	Chlorine mg/g	GF wt%	WG wt%
1	-76.9736	-12.9225	321	0	17.02	1.97	16.61	3.41	9.84	5.00	0.994	1.24	71.52
				1	18.37	2.18	18.17	1.67	9.71	6.43	0.972	0.87	72.58
2	-77.5522	-11.5936	86	0	5.35	0.70	5.47	0.00	9.08	11.99	0.689	9.60	69.91
				1	4.12	0.53	4.04	0.66	8.84	9.38	0.371	5.01	67.12
3	-77.5581	-11.5844	86	0	4.98	0.66	5.04	0.00	8.93	10.02	0.582	1.02	67.14
				1	4.66	0.60	4.56	0.85	8.81	10.31	0.456	0.90	72.19
5	-77.3011	-11.9597	96	0	4.93	0.65	4.74	1.57	8.50	14.39	0.518	1.60	68.63
				1	5.13	0.63	5.07	0.52	9.42	9.33	0.487	2.81	69.47
8	-77.8361	-11.9108	282	0	12.08	1.40	11.81	2.25	9.85	8.21	0.881	10.97	69.70
				1	12.11	1.37	12.76	0.00	10.87	6.44	0.890	19.87	67.48
14	-78.3592	-11.1333	654	0	11.88	0.63	9.62	18.87	17.82	0.25	0.186	29.12	59.78
				1	11.85	0.55	8.31	29.51	17.55	0.25	0.134	39.84	50.55
17	-78.0867	-11.0342	252	0	13.14	1.56	12.85	2.42	9.59	9.81	1.196	10.23	71.60
				1	13.67	1.63	14.23	0.00	10.20	9.58	1.109	7.41	72.05
28	-78.2858	-10.0569	102	0	9.38	1.42	8.96	3.47	7.37	14.61	1.352	1.85	72.35
				1	6.07	0.78	6.28	0.00	9.37	15.75	0.529	4.30	65.61
30	-78.2861	-10.0567	102	0	7.41	1.00	7.57	0.00	8.86	10.59	1.262	1.71	68.57
				1	5.39	0.67	5.45	0.00	9.49	8.76	0.461	13.35	68.32
33	-79.7394	-9.7489	1357	0	7.03	0.67	5.84	9.89	10.23	2.02	0.128	6.47	57.41
				1	7.41	0.70	6.22	9.86	10.35	3.87	0.203	11.48	61.13
35	-79.3422	-9.8542	598	0	10.00	0.64	7.52	20.74	13.75	0.51	0.176	48.50	58.41
				1	8.85	0.56	5.45	28.27	11.38	1.52	0.160	54.18	52.64
45	-78.6942	-9.6964	153	0	11.15	1.32	10.83	2.65	9.60	7.96	0.828	15.95	66.06
				1	16.39	1.92	16.01	3.13	9.74	8.77	1.102	13.23	66.47
47	-78.7528	-9.7433	155	0	13.46	1.73	13.91	0.00	9.36	5.63	0.854	7.61	68.66
				1	16.11	1.92	15.68	3.56	9.55	4.61	0.953	20.99	70.00
67	-79.2206	-9.8644	270	0	9.95	0.62	6.06	32.39	11.34	1.01	0.167	56.31	51.79
				1	10.49	0.65	7.85	22.03	14.15	0.79	0.195	71.42	50.89
71	-78.5642	-10.395	239	0	17.62	1.94	15.04	21.54	9.06	2.46	0.967	3.40	71.28
				1	18.11	1.92	16.46	13.72	9.99	1.98	0.744	2.02	70.80
79	-78.8547	-10.6547	1186	0	4.10	0.35	3.40	5.91	11.40	0.00	0.049	52.95	47.70
				1	4.67	0.33	3.32	11.30	11.91	0.74	0.056	58.50	42.95
81	-78.8542	-10.6678	1278	0	5.32	0.38	3.78	12.84	11.67	0.93	0.077	44.97	51.14
				1	5.53	0.40	3.77	14.67	10.93	0.91	0.068	44.01	47.47
88	-77.8764	-11.0322	127	0	6.96	0.93	6.83	1.10	8.60	14.60	1.100	16.48	73.72
				1	5.46	0.75	5.46	0.00	8.52	15.16	0.659	1.16	72.94
98	-77.9778	-11.2806	218	0	11.49	1.39	11.21	2.31	9.43	13.86	0.554	4.06	71.11
				1	11.74	1.39	11.87	0.00	9.93	17.52	0.832	0.38	68.56
104	-77.6733	-12.0689	185	0	10.47	1.29	9.84	5.25	8.87	10.25	0.978	2.64	70.53
				1	11.70	1.35	9.70	16.66	8.40	13.01	0.982	1.77	72.56
111	-77.6861	-12.0153	179	0	12.96	1.57	11.99	8.08	8.89	12.36	1.238	7.50	72.82
				1	12.75	1.47	12.82	0.00	10.19	13.04	1.001	14.21	69.21
120	-76.7017	-12.8547	115	0	8.16	1.02	8.21	0.00	9.41	11.29	0.703	18.78	69.70
				1	8.50	1.03	8.60	0.00	9.73	11.57	0.648	17.29	71.74
122	-77.0042	-12.9317	364	0	14.63	1.61	13.78	7.05	10.00	10.23	0.929	4.98	73.52
				1	15.33	1.68	14.48	7.05	10.06	6.94	0.817	6.50	70.89
126	-76.3508	-13.5239	85	0	4.54	0.55	4.62	0.00	9.72	9.20	0.416	0.75	63.28
				1	4.42	0.51	4.50	0.00	10.36	8.41	0.329	0.45	60.56
129	-76.5536	-13.4681	123	0	10.18	1.21	10.22	0.00	9.83	9.33	0.813	11.86	66.21
				1	9.39	1.08	9.70	0.00	10.49	9.59	0.671	12.72	71.28
142	-77.1478	-12.7353	365	0	15.01	1.72	13.94	8.89	9.46	7.53	0.954	5.81	68.71
				1	15.87	1.77	15.58	2.41	10.28	6.93	0.853	3.14	75.82

**A2: Gemessene Gehalte und berechneter TOC/N-Index in den Oberflächenproben, gemittelte Werte.**

Station	Longitude °	Latitude °	wdpd m	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karb wt%	TOC/N	Opal wt%	Chlorine mg/g	GF wt%	WG wt%
1	-76.9736	-12.9225	321	17.70	2.08	17.39	2.54	9.78	5.72	0.983	1.06	72.05
2	-77.5522	-11.5936	86	4.74	0.62	4.76	0.33	8.96	10.69	0.530	7.31	68.52
3	-77.5581	-11.5844	86	4.82	0.63	4.80	0.43	8.87	10.17	0.519	0.96	69.67
5	-77.3011	-11.9597	96	5.03	0.64	4.91	1.05	8.96	11.86	0.503	2.21	69.05
8	-77.8361	-11.9108	282	12.10	1.39	12.29	1.13	10.36	7.33	0.886	15.42	68.59
14	-78.3592	-11.1333	654	11.87	0.59	8.97	24.19	17.69	0.25	0.160	34.48	55.17
17	-78.0867	-11.0342	252	13.41	1.60	13.54	1.21	9.90	9.70	1.153	8.82	71.83
28	-78.2858	-10.0569	102	7.73	1.10	7.62	1.74	8.37	15.18	0.941	3.08	68.98
30	-78.2861	-10.0567	102	6.40	0.84	6.51	0.00	9.18	9.68	0.862	7.53	68.45
33	-79.7394	-9.7489	1357	7.22	0.69	6.03	9.88	10.29	2.95	0.166	8.98	59.27
35	-79.3422	-9.8542	598	9.43	0.60	6.49	24.51	12.57	1.02	0.168	51.34	55.53
45	-78.6942	-9.6964	153	13.77	1.62	13.42	2.89	9.67	8.37	0.965	14.59	66.27
47	-78.7528	-9.7433	155	14.79	1.83	14.80	1.78	9.46	5.12	0.904	14.30	69.33
67	-79.2206	-9.8644	270	10.22	0.64	6.96	27.21	12.75	0.90	0.181	63.87	51.34
71	-78.5642	-10.395	239	17.87	1.93	15.75	17.63	9.53	2.22	0.856	2.71	71.04
79	-78.8547	-10.6547	1186	4.39	0.34	3.36	8.61	11.66	0.37	0.053	55.73	45.33
81	-78.8542	-10.6678	1278	5.43	0.39	3.78	13.76	11.30	0.92	0.073	44.49	49.31
88	-77.8764	-11.0322	127	6.21	0.84	6.15	0.55	8.56	14.88	0.880	8.82	73.33
98	-77.9778	-11.2806	218	11.62	1.39	11.54	1.16	9.68	15.69	0.693	2.22	69.84
104	-77.6733	-12.0689	185	11.09	1.32	9.77	10.96	8.64	11.63	0.980	2.21	71.55
111	-77.6861	-12.0153	179	12.86	1.52	12.41	4.04	9.54	12.70	1.120	10.86	71.02
120	-76.7017	-12.8547	115	8.33	1.03	8.41	0.00	9.57	11.43	0.676	18.04	70.72
122	-77.0042	-12.9317	364	14.98	1.65	14.13	7.05	10.03	8.59	0.873	5.74	72.21
126	-76.3508	-13.5239	85	4.48	0.53	4.56	0.00	10.04	8.81	0.373	0.60	61.92
129	-76.5536	-13.4681	123	9.79	1.15	9.96	0.00	10.16	9.46	0.742	12.29	68.75
142	-77.1478	-12.7353	365	15.44	1.75	14.76	5.65	9.87	7.23	0.904	4.48	72.27

A5: Kern SU14/-106KL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%	$\delta^{18}O$ ppm
60	1.585	9.71	0.87	8.22	12.40	11.01	1.51	20.22	0.34	59.16	6.77	1.51
65	1.614	9.73	0.92	8.73	8.43	11.07	0.97	23.03	0.39	59.80	2.54	1.67
70	1.644	8.03	0.82	7.82	2.29	11.18	0.29	25.85	0.44	64.04	3.45	1.72
75	1.673	9.26	0.88	8.21	8.82	10.91	1.07	28.66	0.49	54.31	3.53	1.90
80	1.703	8.97	0.77	7.55	11.79	11.46	1.56	30.96	0.53	49.70	7.30	1.54
85	1.733	7.49	0.72	6.97	4.36	11.24	0.63	30.18	0.52	58.49	2.82	1.37
90	1.762	7.92	0.81	7.72	1.74	11.15	0.23	28.89	0.50	61.66	2.24	2.06
95	1.792	9.34	0.94	9.09	2.09	11.32	0.23	27.59	0.49	61.23	1.16	2.68
100	1.822	10.49	0.98	9.67	6.84	11.47	0.71	26.36	0.47	57.13	3.49	2.13
105	1.851	8.83	0.83	8.19	5.32	11.46	0.65	25.47	0.43	61.02	3.45	1.54
110	1.881	7.69	0.78	7.57	1.01	11.31	0.13	24.65	0.39	66.77	2.67	1.66
115	1.910	8.64	0.85	8.29	2.87	11.35	0.35	23.82	0.35	65.02	3.96	0.68
120	1.940	9.71	0.86	8.40	10.95	11.37	1.30	23.28	0.32	57.38	5.26	1.41
125	1.966	10.00	0.96	9.21	6.58	11.26	0.72	24.49	0.30	59.72	7.73	1.43
130	1.991	9.27	0.86	8.52	6.24	11.49	0.73	25.99	0.28	59.25	3.53	1.60
135	2.017	6.87	0.70	6.75	1.00	11.27	0.15	27.48	0.27	64.77	2.02	2.25
140	2.042	7.20	0.73	7.14	0.47	11.34	0.07	28.96	0.25	63.43	1.29	2.65
145	2.068	7.63	0.78	7.50	1.02	11.21	0.14	28.44	0.23	63.04	2.72	2.11
150	2.093	7.93	0.82	7.79	1.20	11.04	0.15	26.53	0.21	64.48	3.51	1.51
155	2.119	8.85	0.91	8.77	0.80	11.21	0.09	24.63	0.18	65.80	1.20	1.45
160	2.144	7.51	0.72	6.87	5.36	11.10	0.78	22.58	0.16	65.19	0.84	1.49
165	2.170	8.76	0.78	7.40	11.29	11.12	1.53	19.67	0.16	61.65	1.97	1.50
170	2.195	8.74	0.80	7.75	8.22	11.27	1.06	16.61	0.17	67.42	2.80	1.42
175	2.264	9.41	0.93	8.86	4.56	11.17	0.51	13.56	0.18	73.03	2.53	1.38
180	2.332	7.83	0.81	7.77	0.59	11.23	0.08	10.91	0.18	80.73	1.54	1.44
185	2.401	8.71	0.89	8.69	0.33	11.35	0.04	10.72	0.19	80.26	1.77	1.51
190	2.470	9.02	0.92	8.78	1.99	11.18	0.23	10.95	0.19	78.29	1.39	1.72
195	2.538	8.10	0.84	8.02	0.75	11.12	0.09	11.17	0.20	80.06	1.01	2.50
200	2.607	7.72	0.76	7.29	3.62	11.22	0.50	11.26	0.20	77.83	2.08	1.92
205	2.675	7.92	0.74	7.06	7.15	11.09	1.01	10.58	0.19	75.21	5.67	1.20
210	2.744	7.41	0.75	7.18	1.90	11.21	0.27	9.78	0.17	81.14	3.33	1.15
215	2.813	6.56	0.68	6.47	0.74	11.10	0.11	8.97	0.16	83.83	1.57	1.21
220	2.881	6.27	0.63	6.15	0.96	11.50	0.16	8.29	0.14	84.59	1.26	1.28
225	2.950	6.96	0.67	6.82	1.11	11.81	0.16	8.41	0.15	83.65	1.41	1.34
230	3.030	7.39	0.72	7.28	0.92	11.85	0.13	8.67	0.15	83.14	1.85	1.40
235	3.110	7.93	0.79	7.82	0.92	11.53	0.12	8.92	0.15	82.35	1.11	1.46
240	3.190	6.83	0.68	6.68	1.25	11.46	0.19	9.03	0.15	83.05	1.64	1.53
245	3.270	6.76	0.63	6.61	1.24	12.25	0.19	8.27	0.15	83.89	1.74	1.59
250	3.350	7.55	0.70	7.25	2.49	12.07	0.34	7.36	0.15	82.90	3.16	1.64
255	3.430	8.83	0.81	8.40	3.54	12.13	0.42	6.46	0.14	81.60	2.10	1.62
260	3.510	7.31	0.68	7.02	2.44	12.01	0.35	6.00	0.14	84.54	2.47	1.65
265	3.571	8.85	0.80	8.24	5.09	11.98	0.62	8.23	0.15	78.44	2.09	1.68
270	3.633	8.38	0.78	8.00	3.12	12.11	0.39	10.91	0.16	77.97	3.39	1.68
275	3.694	6.02	0.52	5.66	2.99	12.95	0.53	13.58	0.17	77.76	3.86	1.67
280	3.755	7.41	0.66	6.86	4.55	12.12	0.66	15.80	0.18	72.78	2.58	1.66
285	3.818	7.11	0.60	6.06	8.77	11.88	1.45	15.29	0.18	69.89	3.85	1.62
290	3.880	8.34	0.68	6.87	12.24	11.77	1.78	14.32	0.18	66.57	3.88	1.46
295	3.983	8.48	0.68	7.12	11.31	12.16	1.59	13.34	0.18	68.22	3.33	1.59
300	4.085	8.09	0.75	7.55	4.69	11.83	0.62	12.58	0.18	75.18	3.55	1.99
305	4.183	7.74	0.74	7.79	0.54	12.22	0.07	13.10	0.19	78.57	3.41	2.30
310	4.280	5.35	0.50	5.34	0.26	12.55	0.05	13.83	0.19	80.57	7.98	1.97
315	4.378	7.40	0.66	7.20	1.66	12.79	0.23	14.56	0.19	76.58	5.02	1.62
320	4.475	7.98	0.69	7.41	4.74	12.58	0.64	15.06	0.19	72.79	4.39	1.82
325		7.75	0.64	6.87	7.35	12.40	1.07	14.15	0.17	71.63	4.83	1.76
330		3.93	0.34	3.56	3.20	11.99	0.90	13.01	0.15	80.23	7.46	1.63
335		4.19	0.39	4.21	0.36	12.64	0.08	11.87	0.13	83.56	4.19	2.21
340		4.47	0.41	4.55	0.05	13.04	0.01	11.01	0.11	84.39	5.95	2.33
345		3.37	0.32	3.32	0.51	11.98	0.15	11.85	0.11	84.32	7.58	2.35
350		3.76	0.36	3.54	1.80	11.57	0.51	12.97	0.12	81.69	8.15	2.37
355		4.55	0.43	4.23	2.68	11.48	0.63	14.08	0.12	79.01	7.79	2.39
360		5.63	0.53	5.57	0.62	12.20	0.11	15.24	0.13	78.58	3.46	2.41
365		4.98	0.48	4.96	0.54	12.14	0.11	16.60	0.14	77.89	3.42	2.34
370		5.81	0.49	5.27	4.56	12.59	0.86	18.01	0.15	72.17	8.02	1.81
375		6.74	0.48	5.53	10.11	13.44	1.83	19.41	0.16	64.96	5.64	1.71
380		6.59	0.50	6.13	3.94	14.38	0.64	20.47	0.17	69.46	5.77	1.70
385		5.81	0.52	5.87	0.40	13.21	0.07	19.46	0.17	74.27	4.03	1.72
390		6.87	0.63	7.02	0.00	13.07	0.00	18.11	0.18	74.87	6.75	1.73
395		6.95	0.63	7.13	0.13	13.13	0.02	16.76	0.18	75.98	4.06	1.75
400		7.13	0.65	7.03	1.09	12.56	0.16	15.94	0.18	75.94	6.54	1.77
405		7.56	0.69	7.23	2.70	12.24	0.37	18.28	0.19	71.78	3.86	1.78
410		7.63	0.64	6.82	6.71	12.47	0.98	21.15	0.19	65.32	3.57	1.80
415		6.75	0.52	5.52	10.24	12.40	1.85	24.02	0.19	60.22	3.93	1.81
420		6.80	0.56	5.91	7.44	12.32	1.26	26.18	0.19	60.47	4.10	1.83
425		6.98	0.53	5.72	10.56	12.55	1.85	24.07	0.18	59.65	3.75	1.82
430		7.32	0.52	5.44	15.65	12.19	2.88	21.25	0.17	57.67	9.81	1.82
435		6.86	0.59	6.30	4.67	12.51	0.74	18.42	0.16	70.61	3.16	1.81
440	8.535	6.45	0.56	6.16	2.40	12.79	0.39	16.39	0.15	75.05	3.20	1.81
445	8.574	6.78	0.58	6.34	3.61	12.71	0.57	19.12	0.16	70.92	3.01	1.80
450	8.613	6.14	0.56	5.94	1.67	12.30	0.28	22.65	0.17	69.74	5.43	1.79
455	8.651	6.77	0.62	6.57	1.74	12.29	0.27	26.17	0.18	65.53	7.74	1.79
460	8.690	7.26	0.64	6.33	7.69	11.57	1.21	28.83	0.19	57.14	5.84	1.78
465	8.708	6.20	0.55	5.70	4.23	12.07	0.74	26.32	0.17	63.76	4.98	1.77
470	8.725	6.15	0.54	5.64	4.26	12.10	0.76	22.95	0.16	67.14	3.20	1.77
475	8.743	8.14	0.52	5.41	22.78	12.10	4.21	19.58	0.14	52.23	7.49	1.76
480	8.760	6.46	0.57	5.82	5.32	12.01	0.91	16.83	0.13	72.04	5.95	1.76
485	8.787	4.91	0.45	4.86	0.48	12.73	0.10	17.78	0.14	76.88	1.83	1.75
490	8.813	5.12	0.48	5.15	0.04	12.59	0.01	19.35	0.16	75.47	4.53	1.74
495	8.840	5.40	0.51	5.38	0.67	12.45	0.13	20.92	0.18	73.03	3.07	1.74
500	8.867	6.73	0.61	6.26	4.04	12.00	0.65	21.99	0.19	67.71	8.92	1.73
505	8.893	5.97	0.53	5.92	0.67	12.96	0.11	20.06	0.18	73.35	3.51	1.75
510	8.920	5.11	0.48	5.11	0.23	12.34	0.05	17.62	0.16	77.04	6.80	1.77

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%	$\delta^{18}O$ ppm
515	8.978	7.06	0.67	6.90	1.39	11.96	0.20	15.19	0.14	76.53	6.90	1.79
520	9.035	6.45	0.60	6.43	0.23	12.50	0.04	13.04	0.13	80.31	10.42	1.81
525	9.113	5.29	0.49	5.23	0.54	12.43	0.10	12.62	0.13	81.61	3.50	1.83
530	9.190	5.73	0.50	5.34	3.27	12.46	0.61	12.49	0.12	78.90	1.74	1.84
535	9.218	6.08	0.58	5.99	0.83	12.11	0.14	12.36	0.12	80.82	3.72	1.86
540	9.245	5.84	0.57	5.87	0.05	11.98	0.01	12.18	0.12	81.90	7.49	1.88
545	9.255	6.15	0.59	5.93	1.92	11.81	0.32	11.66	0.12	80.48	5.58	1.90
550	9.265	7.40	0.58	6.01	11.66	12.18	1.94	11.10	0.12	71.24	6.47	1.92
555	9.308	6.38	0.57	6.06	2.68	12.36	0.44	10.53	0.11	80.74	3.54	1.94
560	9.350	5.81	0.54	5.72	0.73	12.32	0.13	10.17	0.11	83.38	7.48	1.96
565	9.393	6.08	0.56	5.88	1.70	12.28	0.29	11.08	0.11	81.34	5.13	1.98
570	9.435	6.29	0.61	6.10	1.64	11.58	0.27	12.20	0.11	80.06	4.24	2.00
575	9.478	5.97	0.60	5.77	1.66	11.21	0.29	13.32	0.11	79.25	1.99	2.02
580	9.520	5.86	0.58	5.67	1.60	11.43	0.28	14.44	0.12	78.30	7.79	2.04
585	9.563	5.33	0.52	5.16	1.43	11.54	0.28	15.13	0.12	78.29	5.34	2.05
590	9.605	5.70	0.55	5.59	0.95	11.79	0.17	15.52	0.12	77.94	8.57	2.07
595	9.648	7.04	0.63	6.71	2.74	12.45	0.41	15.91	0.12	74.64	7.39	2.09
600	9.690	7.61	0.66	7.19	3.51	12.66	0.49	16.29	0.12	73.01	6.68	1.92
605	9.733	7.35	0.67	7.09	2.19	12.43	0.31	15.61	0.12	75.12	7.08	1.84
610	9.775	6.39	0.59	6.14	2.10	12.13	0.34	14.19	0.10	77.57	4.45	1.91
615	9.818	5.10	0.47	4.81	2.39	11.90	0.50	12.78	0.09	80.03	2.72	2.28
620	9.860	4.64	0.45	4.51	1.04	11.64	0.23	11.36	0.08	83.09	3.72	2.65
625	9.903	5.24	0.47	4.58	5.47	11.37	1.20	10.43	0.07	79.52	6.70	2.38
630	9.945	5.41	0.45	4.45	7.97	11.51	1.79	10.21	0.07	77.36	4.19	2.27
635	9.988	3.92	0.38	3.77	1.28	11.50	0.34	10.00	0.07	84.95	2.18	2.31
640	10.030	3.69	0.37	3.63	0.50	11.35	0.14	9.79	0.07	86.08	3.40	2.25
645	10.073	3.90	0.39	3.83	0.56	11.48	0.15	10.22	0.07	85.39	4.01	2.20
650	10.115	3.97	0.40	3.95	0.21	11.58	0.05	11.58	0.07	84.26	3.32	2.14
655	10.158	4.38	0.45	4.38	0.09	11.41	0.02	12.95	0.08	82.59	2.06	2.09
660	10.200	4.53	0.43	4.36	1.51	11.76	0.35	14.18	0.08	79.95	4.64	2.03
665	10.243	6.31	0.49	5.24	9.02	12.41	1.72	14.59	0.09	71.15	2.31	2.00
670	10.285	4.85	0.44	4.74	1.50	12.52	0.32	14.86	0.10	78.89	3.27	2.05
675	10.328	5.63	0.52	5.70	0.00	12.79	0.00	15.13	0.10	79.17	2.86	2.11
680	10.370	5.10	0.47	5.17	0.00	12.97	0.00	15.45	0.11	79.38	7.10	2.18
685	10.413	4.63	0.43	4.66	0.08	12.65	0.02	16.04	0.12	79.22	2.27	2.25
690	10.455	5.14	0.47	5.08	0.56	12.70	0.11	16.68	0.12	77.68	2.52	2.32
695	10.498	5.93	0.54	5.83	0.81	12.54	0.14	17.32	0.12	76.04	2.03	2.38
700	10.540	5.46	0.52	5.34	1.04	12.08	0.20	18.10	0.12	75.52	3.85	2.45
705	10.622	5.50	0.53	5.42	0.74	12.05	0.14	19.71	0.12	74.14	2.19	2.52
710	10.704	4.91	0.44	4.63	2.34	12.41	0.51	21.45	0.11	71.58	3.76	2.58
715	10.785	4.23	0.40	4.13	0.84	11.97	0.20	23.20	0.11	71.83	3.62	2.65
720	10.867	4.34	0.41	4.34	0.20	12.43	0.05	24.53	0.11	70.92	4.47	2.72
725	10.949	4.27	0.41	4.17	0.88	11.86	0.21	23.40	0.11	71.55	4.95	2.79
730	11.031	3.84	0.37	3.72	1.07	11.85	0.29	21.87	0.10	73.35	2.17	2.85
735	11.113	4.13	0.41	3.97	1.35	11.27	0.34	20.33	0.10	74.35	1.56	2.91
740	11.194	4.28	0.41	4.03	2.01	11.58	0.50	18.80	0.09	75.15	1.58	2.89
745	11.276	4.75	0.45	4.63	1.03	12.05	0.22	17.35	0.10	77.00	1.12	2.86
750	11.358	5.11	0.45	4.96	1.22	12.95	0.24	15.91	0.10	77.92	2.20	2.82
755	11.440	4.65	0.41	4.41	2.03	12.47	0.46	14.46	0.10	79.10	2.60	2.74
760	11.522	3.81	0.36	3.68	1.03	11.92	0.28	13.24	0.10	82.05	2.44	2.40
765	11.603	3.30	0.30	3.19	0.92	12.51	0.29	13.32	0.10	82.57	1.58	2.36
770	11.685	3.58	0.32	3.45	1.10	12.48	0.32	13.63	0.10	81.83	3.36	2.38
775	11.767	2.93	0.27	2.85	0.65	12.20	0.23	13.93	0.10	82.57	3.68	2.39
780	11.849	3.64	0.34	3.60	0.41	12.37	0.11	14.02	0.09	81.98	2.82	2.41
785	11.931	3.49	0.32	3.43	0.47	12.51	0.14	12.81	0.09	83.28	6.01	2.43
790	12.012	3.11	0.28	3.01	0.84	12.39	0.28	11.40	0.08	84.75	9.35	2.45
795	12.094	3.17	0.28	2.95	1.85	12.15	0.63	9.98	0.08	85.22	8.04	2.46
800	12.176	2.95	0.26	2.73	1.84	12.21	0.67	8.87	0.07	86.56	4.18	2.48
805	12.258	2.76	0.26	2.54	1.82	11.39	0.72	9.65	0.08	86.00	5.66	2.50
810	12.340	2.44	0.24	2.30	1.18	11.21	0.51	10.73	0.08	85.79	7.37	2.52
815	12.421	2.76	0.26	2.59	1.43	11.48	0.55	11.82	0.08	84.17	6.42	2.53
820	12.503	3.16	0.28	2.93	1.96	12.27	0.67	12.74	0.08	82.37	4.30	2.55
825	12.585	3.14	0.27	2.78	2.96	11.91	1.06	12.73	0.09	81.53	7.47	2.57
830	12.667	2.84	0.27	2.56	2.33	11.05	0.91	12.56	0.10	82.56	8.25	2.59
835	12.749	3.97	0.37	3.60	3.06	11.41	0.85	12.38	0.11	80.95	7.48	2.60
840	12.830	4.42	0.41	4.16	2.15	11.92	0.52	12.11	0.12	81.57	4.63	2.61
845	12.912	4.11	0.38	3.76	2.89	11.68	0.77	11.27	0.11	82.07	9.02	2.57
850	12.994	3.00	0.28	2.86	1.17	11.74	0.41	10.34	0.09	85.64	10.92	2.52
855	13.076	2.81	0.27	2.65	1.30	11.42	0.49	9.40	0.08	86.66	7.45	2.47
860	13.158	2.80	0.27	2.59	1.76	11.10	0.68	8.76	0.07	86.90	3.92	2.41
865	13.239	2.75	0.26	2.53	1.84	11.38	0.73	9.94	0.06	85.69	5.38	2.36
870	13.321	2.36	0.21	2.13	1.87	11.90	0.87	11.42	0.06	84.58	8.76	2.32
875	13.403	1.97	0.18	1.77	1.62	11.65	0.91	12.90	0.06	83.71	5.51	2.36
880	13.485	2.35	0.22	2.24	0.95	11.88	0.42	14.57	0.06	82.24	3.06	2.42
885	13.567	2.47	0.24	2.38	0.79	11.77	0.33	17.42	0.07	79.42	5.68	2.47
890	13.648	2.91	0.26	2.71	1.66	12.38	0.61	20.46	0.09	75.18	10.13	2.55
895	13.730	2.90	0.29	2.84	0.50	11.44	0.18	23.49	0.10	73.17	7.45	2.85
900	13.812	3.62	0.36	3.49	1.11	11.45	0.32	25.68	0.11	69.72	4.49	3.10
905	13.894	2.95	0.27	2.75	1.61	12.17	0.59	22.79	0.10	72.84	6.26	2.90
910	13.976	2.77	0.25	2.62	1.21	12.28	0.46	19.05	0.09	77.11	5.85	2.71
915	14.057	3.03	0.28	2.86	1.44	12.15	0.50	15.31	0.08	80.39	7.57	3.01
920	14.139	2.77	0.26	2.69	0.71	12.27	0.26	11.96	0.06	84.65	4.25	3.32
925	14.221	2.17	0.20	2.14	0.20	12.59	0.09	10.91	0.05	86.74	7.55	3.28
930	14.303	2.65	0.25	2.58	0.51	12.09	0.20	10.26	0.04	86.65	8.32	3.17
935	14.385	1.76	0.16	1.67	0.81	11.91	0.48	9.60	0.03	87.93	6.98	3.07
940	14.466	1.37	0.13	1.32	0.45	11.91	0.34	8.78	0.03	89.45	9.70	2.96
945	14.548	1.55	0.14	1.46	0.74	12.04	0.51	7.00	0.02	90.80	11.31	2.86
950	14.630	2.55	0.22	2.32	1.93	12.30	0.83	5.06	0.02	90.69	16.79	2.78
955	15.137	2.08	0.17	1.85	1.94	12.61	1.05	3.11	0.02	93.10	26.36	2.88
960	15.643	1.68	0.10	1.09	4.98	12.85	4.59	2.65	0.02	91.29	45.07	2.98
965	16.150	2.14	0.10	0.93	10.09	11.43	10.87	11.05	0.05	77.93	63.81	2.96
970		1.42	0.09	1.05	3.11	13.24	2.96	20.94	0.09	74.91	37.60	2.93
975		2.21	0.18	2.12	0.82	13.66	0.39	30.82	0.12	66.25	26.28	2.88
980		3.49	0.31	3.41	0.68	12.98	0.20	38.47	0.15	57.45	7.98	2.82
985		3.29	0.29	3.19	0.88	12.97	0.28	32.76	0.13	63.18	8.48	2.77

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%	$\delta^{18}O$ ppm
990		2.12	0.18	1.98	1.33	12.64	0.67	24.81	0.11	71.88	14.09	2.71
995		2.99	0.25	3.04	0.24	13.98	0.08	16.87	0.09	79.85	17.31	2.66
1000		2.19	0.18	2.14	0.55	13.49	0.26	9.71	0.07	87.61	27.12	2.60
1005		1.67	0.14	1.41	2.13	11.91	1.51	7.27	0.05	89.18	40.96	2.55
1010		1.37	0.13	1.14	1.90	10.40	1.66	5.63	0.04	91.34	36.11	2.50
1015		1.09	0.11	0.85	2.02	8.71	2.37	3.98	0.03	93.15	36.29	2.44
1020		1.13	0.11	0.95	1.51	10.01	1.59	2.99	0.02	94.54	22.09	2.39
1025		1.41	0.16	1.21	1.67	8.03	1.38	5.98	0.03	91.14	18.18	2.33
1030		3.95	0.32	3.36	4.90	11.87	1.46	9.63	0.05	82.11	11.39	2.28
1035		5.84	0.31	4.01	15.24	15.26	3.80	13.28	0.06	67.46	5.99	2.22
1040		6.23	0.32	4.31	16.04	15.67	3.72	16.44	0.07	63.21	5.07	2.18
1045		5.50	0.32	4.14	11.36	15.29	2.75	16.64	0.08	67.86	4.55	2.19
1050	124.906	5.38	0.36	4.67	5.94	15.03	1.27	16.34	0.08	73.05	7.54	2.20
1055	124.938	6.00	0.42	5.55	3.77	15.33	0.68	16.05	0.08	74.63	5.07	2.19
1060	124.971	5.44	0.38	4.90	4.51	14.92	0.92	15.81	0.09	74.79	5.51	2.16
1065	125.003	5.32	0.35	4.42	7.47	14.69	1.69	15.95	0.09	72.17	6.24	2.13
1070	125.036	4.55	0.30	3.73	6.84	14.74	1.84	16.15	0.09	73.28	6.49	2.11
1075	125.068	4.58	0.33	3.98	5.03	13.96	1.27	16.34	0.10	74.65	4.83	2.13
1080	125.101	5.43	0.40	5.09	2.84	14.88	0.56	16.34	0.10	75.73	3.11	2.15
1085	125.133	4.06	0.31	3.83	1.88	14.53	0.49	15.16	0.09	79.13	3.12	2.14
1090	125.165	3.88	0.28	3.47	3.39	14.35	0.97	13.77	0.08	79.37	5.49	2.14
1095	125.198	4.32	0.29	3.45	7.25	14.02	2.10	12.39	0.07	76.92	3.55	2.13
1100	125.230	4.29	0.29	3.52	6.44	14.22	1.83	11.29	0.06	78.74	2.61	2.11
1105	125.263	5.05	0.36	4.47	4.87	14.63	1.09	11.94	0.06	78.72	2.86	2.07
1110	125.295	5.93	0.33	4.33	13.37	15.39	3.09	12.89	0.07	69.42	7.79	2.02
1115	125.328	5.05	0.29	3.77	10.71	15.20	2.84	13.83	0.07	71.69	2.60	2.00
1120	125.360	5.02	0.32	4.05	8.13	14.66	2.01	14.66	0.07	73.16	1.27	1.97
1125	125.393	5.88	0.40	4.94	7.84	14.60	1.59	14.83	0.08	72.38	4.12	1.95
1130	125.425	5.88	0.42	5.08	6.64	14.20	1.31	14.90	0.08	73.38	4.23	1.92
1135	125.458	6.63	0.39	4.84	14.96	14.45	3.09	14.96	0.09	65.25	3.80	1.87
1140	125.490	6.18	0.38	4.69	12.41	14.22	2.65	15.30	0.09	67.60	3.71	1.84
1145	125.523	5.95	0.39	4.79	9.66	14.22	2.01	17.36	0.09	68.19	3.37	1.93
1150	125.555	7.22	0.40	5.13	17.39	15.06	3.39	19.70	0.10	57.78	3.90	2.02
1155	125.591	5.69	0.41	4.99	5.86	14.20	1.17	22.04	0.10	67.12	1.74	1.99
1160	125.627	6.33	0.44	5.32	8.44	14.17	1.59	23.84	0.11	62.39	2.44	1.95
1165	125.662	6.64	0.47	5.63	8.42	14.07	1.50	22.42	0.10	63.52	3.03	2.00
1170	125.698	6.08	0.41	4.89	9.89	14.01	2.02	20.47	0.09	64.75	4.80	2.05
1175	125.734	5.79	0.42	5.04	6.26	13.98	1.24	18.51	0.08	70.20	1.73	1.97
1180	125.770	5.07	0.35	4.08	8.18	13.54	2.00	16.84	0.07	70.90	2.01	1.88
1185	125.805	5.05	0.39	4.57	3.96	13.64	0.87	16.90	0.07	74.57	1.54	1.85
1190	125.841	4.69	0.37	4.29	3.36	13.51	0.78	17.25	0.07	75.10	1.92	1.82
1195	125.877	4.26	0.34	3.81	3.67	13.19	0.96	17.60	0.07	74.91	1.80	1.83
1200	125.912	5.49	0.38	4.55	7.89	13.82	1.74	18.21	0.07	69.36	4.53	1.84
1205	125.948	5.53	0.44	5.18	2.92	13.85	0.56	20.35	0.07	71.56	2.96	1.81
1210	125.984	5.10	0.39	4.57	4.39	13.54	0.96	22.75	0.07	68.30	2.27	1.79
1215	126.020	4.33	0.34	3.89	3.66	13.31	0.94	25.14	0.06	67.30	1.23	1.80
1220	126.055	4.09	0.33	3.82	2.25	13.35	0.59	27.09	0.06	66.84	1.17	1.83
1225	126.091	5.30	0.40	4.77	4.41	13.82	0.93	26.37	0.07	64.45	1.85	1.85
1230	126.127	5.51	0.36	4.24	10.64	13.75	2.51	25.20	0.08	59.92	2.41	1.87
1235	126.163	5.92	0.37	4.31	13.39	13.77	3.10	24.03	0.09	58.27	2.57	1.89
1240	126.198	6.27	0.48	5.70	4.76	13.80	0.83	22.98	0.10	66.56	2.33	1.91
1245	126.234	6.72	0.48	5.67	8.75	13.90	1.54	22.66	0.10	62.92	3.44	1.93
1250	126.270	5.62	0.45	5.21	3.39	13.54	0.65	22.47	0.10	68.93	3.30	1.94
1255	126.298	6.13	0.44	5.13	8.31	13.49	1.62	22.27	0.09	64.29	2.71	1.93
1260	126.327	7.96	0.43	5.12	23.62	13.99	4.61	22.09	0.09	49.17	3.60	1.90
1265	126.355	8.20	0.44	5.43	23.08	14.34	4.25	22.02	0.09	49.47	3.54	1.89
1270	126.383	7.82	0.48	5.73	17.44	13.96	3.04	21.97	0.09	54.87	5.69	1.87
1275	126.411	7.58	0.46	5.57	16.80	14.05	3.02	21.91	0.09	55.72	4.66	1.84
1280	126.440	6.13	0.38	4.44	14.13	13.67	3.18	22.13	0.09	59.31	4.76	1.82
1285	126.468	6.09	0.39	4.64	12.10	13.86	2.61	23.93	0.10	59.33	4.46	1.84
1290	126.496	6.33	0.41	4.89	11.96	13.89	2.44	26.01	0.10	57.14	6.60	1.85
1295	126.524	7.28	0.34	3.98	27.51	13.80	6.91	28.08	0.11	40.44	5.05	1.78
1300	126.553	6.70	0.43	5.09	13.39	13.79	2.63	29.60	0.12	51.92	3.55	1.71
1305	126.581	6.35	0.39	4.70	13.70	13.98	2.91	27.82	0.11	53.78	6.54	1.73
1310	126.609	6.67	0.46	5.41	10.52	13.86	1.94	25.49	0.11	58.58	6.78	1.76
1315	126.637	5.28	0.40	4.72	4.61	13.65	0.98	23.16	0.10	67.51	3.33	1.76
1320	126.666	6.47	0.47	5.68	6.52	13.96	1.15	20.96	0.10	66.84	3.48	1.76
1325	126.694	6.80	0.49	5.90	7.51	14.12	1.27	19.53	0.09	67.07	5.41	1.73
1330	126.722	6.97	0.50	6.03	7.83	14.22	1.30	18.22	0.08	67.92	4.93	1.70
1335	126.750	6.89	0.43	5.32	13.07	14.48	2.46	16.92	0.08	64.70	3.50	1.67
1340	126.779	6.07	0.39	4.71	11.33	14.18	2.41	15.80	0.07	68.15	1.85	1.64
1345	126.807	7.31	0.39	4.94	19.74	14.95	4.00	15.85	0.08	59.47	3.79	1.60
1350	126.826	6.91	0.41	4.89	16.87	14.07	3.45	16.10	0.09	62.15	3.60	1.62
1355	126.845	5.47	0.41	5.15	2.75	14.88	0.53	16.34	0.09	75.76	3.29	1.91
1360	126.863	6.60	0.50	6.28	2.63	14.64	0.42	16.40	0.10	74.69	2.32	2.19
1365	126.882	6.07	0.47	5.82	2.10	14.34	0.36	15.37	0.11	76.72	3.71	2.10
1370	126.901	6.69	0.52	6.47	1.81	14.57	0.28	14.16	0.11	77.56	4.26	1.94
1375	126.920	7.28	0.51	6.36	7.64	14.52	1.20	12.94	0.11	73.05	5.38	1.79
1380	126.939	8.80	0.58	7.25	12.93	14.52	1.78	12.03	0.12	67.80	3.45	1.65
1385	126.958	7.91	0.57	7.17	6.17	14.63	0.86	12.91	0.12	73.75	2.98	1.60
1390	126.976	7.20	0.50	6.31	7.36	14.65	1.17	14.08	0.11	72.24	5.64	1.64
1395	126.995	6.68	0.49	6.16	4.52	14.59	0.73	15.26	0.11	74.06	3.68	2.16
1400	127.014	6.88	0.54	6.92	0.76	14.94	0.11	16.25	0.11	76.07	3.12	2.61
1405	127.160	6.55	0.50	6.35	1.85	14.93	0.29	16.15	0.10	75.65	3.47	2.13
1410	127.307	7.45	0.53	6.83	5.21	15.05	0.76	15.88	0.10	72.09	3.87	1.58
1415	127.453	7.25	0.52	6.78	3.93	15.38	0.58	15.60	0.10	73.69	4.31	1.50
1420	127.599	6.37	0.46	6.08	2.50	15.50	0.41	15.00	0.09	76.42	4.44	1.50
1425	127.746	5.71	0.43	5.72	0.42	15.59	0.07	12.49	0.08	81.37	6.85	1.48
1430	127.892	3.12	0.22	2.97	1.27	16.11	0.43	9.67	0.06	86.09	21.09	1.46
1435	128.038	2.89	0.19	2.30	4.94	14.27	2.14	6.84	0.05	85.92	18.17	1.44
1440	128.185	2.61	0.18	2.30	2.55	14.73	1.10	4.57	0.04	90.58	18.86	1.43
1445	128.331	2.12	0.15	1.92	1.65	15.04	0.86	5.65	0.05	90.79	22.86	1.41
1450	128.477	2.26	0.14	1.87	3.24	15.46	1.73	7.28	0.06	87.61	24.83	1.39
1455	128.624	3.33	0.19	2.54	6.59	15.39	2.59	8.92	0.07	81.95	20.97	1.37
1460	128.770	5.28	0.33	4.40	7.29	15.66	1.65	10.43	0.08	77.88	11.72	1.36

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%	$\delta^{18}O$ ppm
1465	128.796	6.81	0.50	6.59	1.83	15.44	0.28	11.26	0.09	80.32	6.96	1.43
1470	128.822	7.87	0.57	7.66	1.74	15.70	0.23	11.98	0.09	78.62	5.54	1.51
1475	128.848	8.29	0.56	7.51	6.48	15.57	0.86	12.69	0.10	73.33	4.63	1.58
1480	128.874	8.46	0.49	6.40	17.12	15.41	2.67	13.42	0.11	63.06	4.94	1.65
1485	128.900	8.59	0.51	6.70	15.74	15.48	2.35	14.27	0.11	63.28	6.65	1.65
1490	128.926	7.81	0.56	7.30	4.24	15.21	0.58	15.14	0.12	73.32	5.06	1.64
1495	128.952	8.58	0.61	7.68	7.54	14.74	0.98	16.01	0.13	68.77	4.55	1.60
1500	128.978	9.26	0.64	8.32	7.77	15.26	0.93	16.73	0.13	67.18	3.48	1.57
1505	129.004	9.76	0.64	8.45	10.94	15.53	1.29	16.57	0.14	64.05	6.42	1.57
1510	129.030	8.57	0.62	8.15	3.61	15.36	0.44	16.25	0.15	71.99	6.57	1.57
1515	129.056	9.72	0.60	8.05	13.95	15.63	1.73	15.94	0.16	62.06	6.27	1.55
1520	129.082	10.61	0.59	8.22	19.98	16.19	2.43	15.50	0.16	56.30	6.31	1.52
1525	129.108	10.28	0.54	7.25	25.20	15.60	3.47	14.38	0.16	53.17	10.53	1.56
1530	129.134	9.48	0.58	7.84	13.65	15.75	1.74	13.14	0.15	65.37	12.51	1.57
1535	129.160	10.67	0.77	10.16	4.25	15.53	0.42	11.89	0.15	73.69	5.08	1.44
1540	129.186	11.02	0.67	9.40	13.44	16.57	1.43	11.13	0.14	66.03	7.06	1.31
1545	129.211	11.65	0.79	10.50	9.62	15.52	0.92	13.23	0.14	66.65	5.06	1.41
1550	129.236	10.22	0.57	7.63	21.56	15.76	2.83	15.81	0.14	55.00	8.15	1.52
1555	129.260	10.79	0.59	8.42	19.75	16.59	2.35	18.39	0.14	53.44	5.59	1.55
1560	129.285	9.96	0.53	7.72	18.67	16.91	2.42	20.47	0.13	53.15	7.48	1.55
1565	129.310	9.09	0.51	7.36	14.37	16.76	1.95	19.55	0.13	58.72	6.14	1.53
1570	129.334	9.63	0.54	7.76	15.60	16.85	2.01	18.13	0.13	58.51	10.07	1.52
1575	129.359	9.86	0.62	8.78	9.06	16.41	1.03	16.70	0.13	65.46	4.71	1.68
1580	129.384	9.51	0.64	9.04	3.90	16.37	0.43	15.55	0.13	71.51	3.99	1.82
1585	129.407	10.56	0.67	9.44	9.35	16.51	0.99	16.05	0.14	65.17	5.69	1.72
1590	129.431	10.97	0.60	8.67	19.17	16.75	2.21	16.81	0.16	55.35	9.00	1.58
1595	129.454	9.47	0.50	7.20	18.91	16.78	2.63	17.58	0.17	56.31	7.01	1.51
1600	129.478	9.03	0.41	5.93	25.88	17.02	4.37	18.01	0.18	50.19	12.30	1.46
1605	129.503	7.85	0.41	5.88	16.37	16.78	2.78	16.50	0.18	61.25	10.11	1.50
1610	129.527	9.11	0.47	6.81	19.12	16.87	2.81	14.67	0.18	59.41	9.69	1.54
1615	129.552	8.54	0.47	6.54	16.69	16.10	2.55	12.83	0.18	63.95	6.84	1.50
1620	129.577	7.86	0.43	5.97	15.76	16.32	2.64	11.36	0.18	66.91	9.37	1.45
1625	129.601	8.11	0.43	6.14	16.39	16.50	2.67	12.10	0.18	65.36	9.29	1.37
1630	129.626	8.55	0.48	6.84	14.24	16.77	2.08	13.22	0.19	65.70	9.95	1.32
1635	129.730	7.71	0.44	6.18	12.70	16.46	2.05	14.33	0.19	66.79	9.44	1.51
1640	129.834	7.77	0.44	6.17	13.39	16.45	2.17	15.28	0.19	65.16	8.71	1.68
1645	129.869	7.58	0.44	6.16	11.77	16.46	1.91	15.29	0.19	66.78	7.09	1.58
1650	129.904	7.79	0.44	6.25	12.90	16.59	2.07	15.14	0.18	65.72	8.96	1.45
1655	129.939	7.84	0.43	6.41	11.99	17.29	1.87	14.98	0.17	66.62	8.21	1.41
1660	129.989	7.32	0.40	5.77	12.96	16.68	2.25	14.85	0.16	66.42	11.40	1.40
1665	130.039	7.12	0.41	5.66	12.21	15.95	2.16	14.86	0.16	67.27	9.22	1.51
1670	130.089	6.72	0.39	5.29	11.90	15.83	2.25	14.90	0.16	67.91	7.72	1.61
1675	130.136	6.93	0.39	5.33	13.35	15.96	2.51	14.93	0.17	66.39	9.31	1.57
1680	130.183	7.04	0.39	5.60	11.94	16.66	2.13	14.85	0.17	67.60	10.54	1.51
1685	130.229	7.02	0.39	5.51	12.60	16.29	2.29	14.14	0.16	67.76	7.38	1.53
1690	130.276	6.67	0.38	5.13	12.80	15.73	2.49	13.33	0.16	68.74	7.66	1.54
1695	130.323	6.89	0.39	5.38	12.63	16.26	2.35	12.51	0.15	69.48	6.96	1.46
1700	130.370	6.86	0.42	5.35	12.58	14.95	2.35	11.82	0.14	70.25	6.46	1.40
1705	130.416	6.20	0.38	4.88	10.97	14.95	2.25	11.87	0.14	72.28	8.76	1.54
1710	130.463	6.05	0.41	4.69	11.28	13.56	2.40	12.06	0.13	71.97	10.04	1.68
1715	130.510	5.78	0.36	4.34	12.00	14.01	2.76	12.24	0.12	71.42	13.92	1.67
1720	130.557	6.03	0.40	4.78	10.42	13.94	2.18	12.26	0.12	72.54	7.33	1.63
1725	130.604	6.41	0.39	5.13	10.61	15.20	2.07	11.31	0.11	72.95	6.14	1.61
1730	130.650	6.13	0.37	4.93	10.05	15.75	2.04	10.19	0.10	74.84	8.98	1.61
1735	130.697	5.58	0.31	4.27	10.92	16.00	2.56	9.08	0.09	75.74	14.13	1.72
1740	130.744	5.69	0.28	3.43	18.77	14.21	5.47	8.38	0.09	69.41	41.73	1.82
1745	130.791	6.36	0.41	5.05	10.89	14.25	2.16	10.22	0.11	73.84	13.81	1.80
1750	130.837	7.19	0.47	6.09	9.17	15.16	1.51	12.49	0.13	72.26	8.37	1.76
1755	130.884	8.49	0.62	8.02	3.87	15.13	0.48	14.75	0.15	73.36	2.93	1.76
1760	130.931	7.62	0.52	6.64	8.21	14.77	1.24	16.87	0.16	68.27	4.38	1.77
1765	130.960	7.72	0.53	6.75	8.10	14.91	1.20	18.19	0.16	66.96	4.86	1.78
1770	130.989	8.14	0.55	7.01	9.40	14.92	1.34	19.37	0.16	64.22	6.15	1.77
1775	131.019	7.75	0.50	6.63	9.27	15.37	1.40	20.55	0.16	63.55	4.50	1.63
1780	131.048	6.69	0.47	5.73	8.00	14.24	1.40	21.50	0.16	64.77	4.99	1.50
1785	131.086	5.45	0.39	4.65	6.73	13.74	1.45	21.09	0.15	67.53	4.07	1.59
1790	131.123	6.67	0.47	5.85	6.82	14.52	1.17	20.46	0.15	66.87	6.39	1.70
1795	131.161	6.39	0.48	5.96	3.63	14.41	0.61	19.82	0.14	70.60	2.72	1.78
1800	131.198	6.80	0.52	6.32	3.97	14.07	0.63	19.10	0.14	70.61	2.89	1.85
1805	131.236	6.19	0.51	5.51	5.66	12.69	1.03	17.86	0.13	70.97	2.99	1.87
1810	131.280	5.58	0.49	4.99	4.94	11.83	0.99	16.55	0.11	73.53	4.51	1.88
1815	131.323	5.61	0.50	4.95	5.54	11.58	1.12	15.23	0.10	74.28	2.03	1.92
1820	131.367	5.14	0.48	4.83	2.55	11.79	0.53	14.01	0.09	78.60	1.84	1.97
1825	131.410	5.78	0.55	5.52	2.22	11.82	0.40	13.43	0.10	78.83	2.23	2.01
1830	131.454	5.60	0.50	5.37	1.93	12.43	0.36	12.95	0.10	79.76	5.35	2.03
1835	131.497	5.63	0.49	5.30	2.71	12.60	0.51	12.46	0.10	79.53	4.28	1.87
1840	131.541	5.92	0.50	5.54	3.11	12.94	0.56	12.23	0.11	79.11	3.33	1.73
1845	131.575	5.96	0.52	5.82	1.22	13.02	0.21	13.48	0.11	79.49	2.42	1.88
1850	131.608	6.27	0.50	6.03	2.00	13.99	0.33	14.99	0.10	76.98	5.87	2.06
1855	131.642	5.35	0.42	5.10	2.09	14.13	0.41	16.49	0.10	76.33	3.32	2.14
1860	131.676	4.79	0.38	4.52	2.29	13.72	0.51	17.99	0.10	75.21	2.38	2.17

**A4: Kern SU14/-4SL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.**

Tiefe cm	Alter kvr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%
0	0.796	4.79	0.49	4.58	1.72	10.86	0.38	21.25	0.351	72.45	24.75
5	0.857	4.32	0.43	4.13	1.64	11.35	0.40	19.81	0.314	74.42	5.41
10	0.940	4.34	0.41	3.89	3.83	11.09	0.99	17.89	0.266	74.39	1.71
15	1.022	3.50	0.35	3.36	1.12	11.34	0.33	15.97	0.217	79.55	7.81
20	1.105	3.42	0.35	3.40	0.15	11.50	0.04	14.18	0.173	82.27	40.60
25	1.188	3.58	0.34	3.55	0.29	12.10	0.08	13.20	0.162	82.96	7.38
30	1.270	3.46	0.35	3.45	0.19	11.69	0.06	12.36	0.156	84.00	1.09
35	1.353	2.95	0.29	3.02	0.03	12.20	0.01	11.51	0.151	85.45	6.14
40	1.435	2.66	0.26	2.66	0.19	11.78	0.07	10.86	0.146	86.29	34.32
45	1.518	1.49	0.13	1.35	1.17	11.93	0.87	11.40	0.146	86.08	6.17
50	1.601	3.36	0.32	3.32	0.47	12.19	0.14	12.15	0.147	84.06	1.01
55	1.683	2.87	0.27	2.92	0.17	12.72	0.06	12.89	0.148	84.02	5.94
60	1.766	3.50	0.34	3.42	0.78	11.95	0.23	14.21	0.153	81.59	33.35
65	1.848	3.50	0.33	3.43	0.52	12.03	0.15	18.98	0.182	77.07	6.44
70	1.931	4.30	0.41	4.14	1.38	11.86	0.33	24.33	0.216	70.15	1.31
75	2.014	4.53	0.42	4.43	0.85	12.19	0.19	29.68	0.249	65.04	5.92
80	2.096	4.69	0.44	4.58	0.93	12.28	0.20	33.47	0.272	61.03	31.52
85	2.179	4.43	0.42	4.25	1.51	11.90	0.35	27.86	0.225	66.38	6.16
90	2.261	3.76	0.35	3.66	0.89	12.20	0.24	20.69	0.167	74.76	1.20
95	2.344	3.11	0.30	3.10	0.16	12.20	0.05	13.52	0.109	83.21	4.64
100	2.427	1.42	0.13	1.36	0.48	12.49	0.35	7.08	0.057	91.08	16.19
105	2.509	1.47	0.12	1.31	1.28	12.99	0.97	5.02	0.041	92.39	5.44
110	2.592	1.26	0.09	1.09	1.44	13.30	1.32	3.68	0.031	93.79	14.23
115	2.674	0.69	0.06	0.56	1.09	11.76	1.93	2.35	0.021	96.01	31.29
120	2.757	0.53	0.04	0.33	1.63	10.84	4.89	1.59	0.016	96.45	44.65
125	2.840	0.46	0.04	0.30	1.30	9.90	4.30	4.30	0.039	94.10	46.99
130	2.922	0.75	0.07	0.68	0.65	10.70	0.95	7.59	0.067	91.09	43.56
135	3.005	2.88	0.27	2.89	0.09	12.34	0.03	10.88	0.095	86.14	7.16
140	3.087	3.55	0.32	3.56	0.05	12.91	0.01	13.81	0.121	82.57	1.00
145	3.166	4.25	0.42	4.37	0.01	12.07	0.00	14.59	0.128	81.04	1.15
150	3.218	3.74	0.35	3.75	0.14	12.62	0.04	15.00	0.133	81.11	1.76
155	3.266	3.18	0.27	3.09	0.86	13.39	0.28	15.42	0.138	80.64	1.63
160	3.315	3.70	0.31	3.74	0.14	13.85	0.04	15.88	0.142	80.24	0.78
165	3.363	3.70	0.31	3.72	0.09	13.87	0.02	16.62	0.140	79.57	1.86
170	3.411	2.18	0.19	2.13	0.53	12.85	0.25	17.42	0.137	79.92	7.47
175	3.459	3.14	0.27	3.18	0.09	13.55	0.03	18.21	0.134	78.53	2.51
180	3.507	3.89	0.33	3.83	0.50	13.51	0.13	19.12	0.134	76.55	0.59
185	3.555	4.84	0.38	4.36	3.96	13.29	0.91	20.77	0.151	70.91	0.96
190	3.604	4.90	0.37	4.08	6.84	12.85	1.68	22.55	0.171	66.53	1.24
195	3.652	4.66	0.36	4.16	4.20	13.64	1.01	24.32	0.191	67.33	0.79
200	3.700	5.46	0.44	5.16	2.51	13.68	0.49	26.01	0.207	66.32	0.71
205	3.748	5.39	0.43	4.97	3.52	13.44	0.71	27.19	0.198	64.33	0.98
210	3.796	4.95	0.43	4.65	2.42	12.70	0.52	28.29	0.186	64.64	1.25
215	3.845	4.74	0.41	4.54	1.65	12.93	0.36	29.38	0.173	64.43	1.25
220	3.893	4.90	0.39	4.37	4.43	13.01	1.01	30.37	0.162	60.84	0.77
225	3.941	5.05	0.41	4.40	5.47	12.53	1.24	30.66	0.165	59.47	0.98
230	3.989	5.34	0.47	5.07	2.26	12.70	0.45	30.85	0.171	61.83	1.00
235	4.037	5.05	0.44	4.76	2.45	12.52	0.52	31.03	0.177	61.77	0.89
240	4.085	4.85	0.41	4.58	2.31	13.06	0.51	30.76	0.179	62.35	1.18
245	4.134	5.02	0.42	4.69	2.77	13.05	0.59	27.79	0.161	64.76	1.37
250	4.182	4.85	0.43	4.68	1.48	12.66	0.32	24.37	0.140	69.48	1.28
255	4.230	3.60	0.33	3.51	0.74	12.63	0.21	20.94	0.118	74.81	1.02
260	4.278	2.92	0.26	2.91	0.15	13.09	0.05	18.00	0.102	78.95	0.52
265	4.326	2.58	0.23	2.56	0.23	13.06	0.09	17.91	0.113	79.31	0.82
270	4.375	3.45	0.30	3.41	0.40	13.19	0.12	18.29	0.129	77.90	0.71
275	4.423	3.62	0.32	3.61	0.14	13.22	0.04	18.68	0.145	77.58	0.63
280	4.471	4.48	0.39	4.56	0.01	13.67	0.00	19.41	0.162	76.02	0.78
285	4.519	4.27	0.38	4.45	0.00	13.73	0.00	22.28	0.178	73.28	2.18
290	4.567	4.23	0.38	4.43	0.00	13.78	0.00	25.49	0.195	70.08	0.91
295	4.615	4.69	0.40	4.80	0.36	14.00	0.07	28.71	0.212	66.14	1.17
300	4.664	5.11	0.42	4.87	2.15	13.70	0.44	31.01	0.223	61.97	1.34
305	4.712	5.02	0.41	4.99	0.37	14.10	0.07	27.84	0.200	66.81	1.62
310	4.760	4.98	0.41	5.12	0.00	14.55	0.00	23.76	0.171	71.13	1.65
315	4.808	4.36	0.38	4.62	0.00	14.36	0.00	19.67	0.143	75.71	0.80
320	4.856	4.12	0.35	4.35	0.00	14.55	0.00	16.06	0.116	79.58	0.37
325	4.905	4.48	0.39	4.68	0.00	13.98	0.00	15.30	0.103	80.02	0.96
330	4.953	4.22	0.36	4.41	0.00	14.16	0.00	15.01	0.092	80.58	0.97
335	5.001	4.02	0.35	4.07	0.00	13.78	0.00	14.72	0.081	81.21	0.76
340	5.049	2.52	0.21	2.58	0.00	14.08	0.00	14.57	0.071	82.85	0.25
345	5.097	2.45	0.21	2.52	0.00	14.23	0.00	15.28	0.068	82.20	0.22
350	5.145	2.56	0.21	2.65	0.02	15.11	0.01	16.13	0.066	81.20	0.63
355	5.194	2.77	0.24	2.78	0.11	13.66	0.04	16.98	0.064	80.12	1.13
360	5.242	2.12	0.18	2.18	0.02	13.99	0.01	17.95	0.066	79.85	1.32
365	5.290	1.71	0.15	1.74	0.00	13.26	0.00	19.66	0.087	78.60	5.47
370	5.338	2.75	0.25	2.83	0.00	13.05	0.00	21.49	0.111	75.68	1.85
375	5.386	3.91	0.34	4.01	0.19	13.76	0.05	23.32	0.136	72.49	1.11
380	5.435	4.15	0.34	4.06	1.11	13.94	0.27	24.75	0.156	70.08	0.74
385	5.483	3.95	0.34	3.99	0.82	13.78	0.21	23.77	0.147	71.42	1.10
390	5.531	4.30	0.32	3.67	5.50	13.49	1.50	22.39	0.133	68.44	3.15
395	5.579	4.04	0.34	3.97	1.40	13.79	0.35	21.01	0.119	73.62	1.81
400	5.627	3.14	0.27	3.27	0.00	14.04	0.00	20.09	0.110	76.64	0.39
405	5.675	2.93	0.25	3.03	0.00	13.99	0.00	21.92	0.124	75.06	1.08
410	5.724	4.10	0.35	4.13	0.50	13.68	0.12	24.20	0.142	71.17	2.12
415	5.772	4.12	0.33	3.79	2.98	13.57	0.79	26.49	0.161	66.74	2.32
420	5.820	4.23	0.37	4.31	0.50	13.74	0.12	28.37	0.176	66.83	1.18
425	5.868	4.37	0.38	4.55	0.00	14.06	0.00	27.82	0.171	67.64	3.19
430	5.916	3.68	0.32	3.87	0.00	14.11	0.00	26.87	0.163	69.26	2.30
435	5.965	3.71	0.33	3.89	0.00	13.86	0.00	25.92	0.155	70.19	3.02
440	6.013	3.72	0.33	3.89	0.03	13.64	0.01	24.90	0.147	71.17	6.73
445	6.061	3.36	0.31	3.35	0.20	12.74	0.06	23.50	0.136	72.96	2.04
450	6.109	3.63	0.31	3.55	0.35	13.21	0.10	22.03	0.125	74.08	1.65

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%
455	6.157	3.79	0.31	3.57	1.88	13.50	0.53	20.55	0.115	74.01	2.03
460	6.205	3.38	0.28	3.31	1.13	13.93	0.34	19.26	0.105	76.30	4.51
465	6.254	4.21	0.30	3.51	5.89	13.81	1.67	19.05	0.106	71.55	3.95
470	6.302	3.98	0.29	3.17	6.79	12.83	2.14	19.02	0.109	71.02	1.76
475	6.350	3.80	0.34	3.68	1.07	12.49	0.29	18.99	0.112	76.26	2.19
480	6.398	3.67	0.33	3.58	0.72	12.55	0.20	19.36	0.116	76.34	7.43
485	6.446	4.13	0.34	3.92	1.70	13.64	0.43	22.10	0.128	72.28	4.33
490	6.495	3.74	0.32	3.63	0.96	13.22	0.26	25.24	0.142	70.18	1.76
495	6.543	4.23	0.32	3.66	4.75	13.26	1.30	28.37	0.156	63.22	2.43
500	6.591	4.22	0.34	3.66	4.62	12.62	1.26	30.94	0.166	60.78	8.21
505	6.639	3.46	0.31	3.29	1.40	12.58	0.42	30.08	0.152	65.23	3.05
510	6.687	3.13	0.27	3.06	0.60	13.17	0.20	28.65	0.134	67.70	1.52
515	6.735	2.92	0.26	2.88	0.37	12.97	0.13	27.21	0.117	69.54	3.20
520	6.784	2.88	0.26	2.89	0.06	12.85	0.02	26.18	0.103	70.88	6.26
525	6.832	3.35	0.30	3.33	0.20	12.92	0.06	27.56	0.115	68.92	2.58
530	6.880	3.62	0.32	3.51	0.97	12.70	0.28	29.33	0.131	66.20	1.44
535	6.928	3.31	0.30	3.32	0.23	12.83	0.07	31.11	0.147	65.35	2.04
540	6.976	3.57	0.32	3.49	0.66	12.76	0.19	32.44	0.161	63.41	7.29
545	7.025	3.79	0.33	3.56	1.98	12.48	0.56	31.16	0.162	63.31	2.19
550	7.073	4.08	0.35	3.81	2.19	12.62	0.57	29.43	0.162	64.57	1.30
555	7.121	3.71	0.33	3.56	1.19	12.57	0.33	27.71	0.161	67.54	3.27
560	7.169	4.05	0.35	3.73	2.68	12.50	0.72	26.13	0.161	67.47	14.50
565	7.217	4.29	0.40	3.80	4.01	11.21	1.05	25.44	0.168	66.74	3.39
570	7.265	4.10	0.38	3.91	1.58	12.08	0.40	24.91	0.176	69.61	1.30
575	7.314	4.11	0.36	3.80	2.58	12.19	0.68	24.37	0.184	69.25	2.66
580	7.362	3.99	0.36	3.73	2.27	12.08	0.61	23.97	0.189	70.03	9.72
585	7.410	3.80	0.36	3.81	0.38	12.52	0.10	24.40	0.184	71.41	2.60
590	7.458	3.86	0.37	3.81	0.48	12.03	0.13	24.97	0.176	70.75	1.30
595	7.506	3.78	0.36	3.68	0.75	12.08	0.20	25.53	0.169	70.03	0.84
600	7.555	3.60	0.34	3.45	1.26	11.97	0.37	26.17	0.163	69.12	1.04
605	7.603	3.73	0.34	3.40	2.80	11.53	0.82	27.24	0.162	66.56	1.30
610	7.651	3.63	0.32	3.12	4.25	11.41	1.36	28.39	0.162	64.24	1.83
615	7.699	3.63	0.29	3.00	5.24	11.94	1.74	29.53	0.163	62.23	1.61
620	7.747	3.72	0.33	3.29	3.53	11.59	1.07	30.10	0.161	63.08	1.51
625	7.795	3.31	0.31	3.09	1.84	11.60	0.60	27.22	0.148	67.85	1.24
630	7.844	3.28	0.28	2.85	3.56	11.82	1.25	23.76	0.133	69.83	2.19
635	7.892	2.99	0.27	2.78	1.74	11.89	0.62	20.31	0.118	75.18	0.58
640	7.940	3.08	0.29	2.89	1.62	11.81	0.56	17.42	0.108	78.08	0.36
645	7.988	3.73	0.34	3.41	2.65	11.74	0.78	17.92	0.123	76.02	1.00
650	8.036	3.73	0.35	3.44	2.46	11.42	0.72	18.99	0.142	75.12	2.01
655	8.085	3.67	0.34	3.29	3.11	11.16	0.94	20.05	0.162	73.54	1.77
660	8.133	3.48	0.32	3.12	2.97	11.38	0.95	21.00	0.178	72.91	1.55
665	8.181	3.24	0.30	2.98	2.10	11.60	0.71	21.24	0.171	73.67	1.04
670	8.229	3.27	0.29	2.92	2.91	11.82	1.00	21.37	0.160	72.81	1.01
675	8.277	3.75	0.29	2.93	6.83	11.66	2.33	21.49	0.150	68.75	1.54
680	8.325	3.45	0.29	2.94	4.29	11.80	1.46	21.61	0.142	71.16	1.18
685	8.374	3.10	0.28	2.93	1.47	12.11	0.50	21.75	0.152	73.85	0.65
690	8.422	2.84	0.27	2.76	0.72	11.85	0.26	21.89	0.165	74.64	0.76
695	8.470	3.02	0.29	2.92	0.84	11.70	0.29	22.02	0.178	74.22	0.91
700	8.518	3.52	0.31	3.17	2.97	11.92	0.94	21.98	0.187	71.89	1.75
705	8.566	3.33	0.31	3.04	2.35	11.58	0.77	20.82	0.178	73.78	2.21
710	8.615	3.39	0.31	3.23	1.36	12.00	0.42	19.48	0.165	75.93	2.26
715	8.663	3.35	0.30	3.11	2.01	11.98	0.65	18.14	0.153	76.75	2.20
720	8.711	3.32	0.31	3.24	0.67	12.10	0.21	16.96	0.141	79.13	2.47
725	8.759	3.35	0.31	3.18	1.41	12.08	0.44	16.72	0.132	78.69	2.21
730	8.807	3.23	0.27	2.77	3.82	11.76	1.38	16.64	0.123	76.77	3.19
735	8.855	2.76	0.24	2.33	3.55	11.52	1.52	16.56	0.115	77.56	1.79
740	8.904	2.87	0.26	2.69	1.52	11.86	0.56	16.57	0.109	79.22	2.78
745	8.952	3.55	0.31	3.21	2.85	12.21	0.89	17.15	0.120	76.80	1.96
750	9.000	3.17	0.29	2.95	1.84	11.71	0.63	17.81	0.133	77.40	1.62
755	9.048	3.07	0.29	3.00	0.65	12.05	0.22	18.48	0.145	77.88	1.40
760	9.096	3.28	0.30	2.98	2.55	11.72	0.86	18.91	0.156	75.57	2.62
765	9.145	2.95	0.27	2.83	0.98	12.20	0.35	17.95	0.156	78.24	2.33
770	9.193	2.95	0.28	2.94	0.15	12.46	0.05	16.76	0.153	80.15	2.67
775	9.241	2.66	0.25	2.60	0.54	12.02	0.21	15.57	0.150	81.29	2.32
780	9.289	3.25	0.30	3.09	1.39	12.11	0.45	14.98	0.148	80.55	2.14
785	9.337	3.39	0.31	3.17	1.81	11.96	0.57	17.95	0.149	77.07	2.33
790	9.385	3.47	0.28	2.85	5.12	11.84	1.79	21.52	0.152	70.51	4.34
795	9.434	2.79	0.25	2.48	2.54	11.47	1.02	25.09	0.154	69.89	3.09
800	9.482	3.08	0.28	2.81	2.27	11.67	0.81	27.49	0.152	67.43	1.79
805	9.536	3.26	0.28	2.85	3.46	11.96	1.21	22.90	0.126	70.79	2.68
810	9.627	3.14	0.27	2.78	2.97	11.93	1.07	17.14	0.095	77.11	3.23
815	9.723	2.27	0.22	2.15	1.01	11.40	0.47	11.38	0.065	85.47	3.30
820	9.810	1.09	0.10	1.00	0.71	11.68	0.71	6.29	0.037	91.99	3.65
825	9.837	0.90	0.07	0.73	1.38	13.37	1.88	5.24	0.030	92.65	2.12
830	9.854	1.21	0.09	0.90	2.61	11.61	2.92	4.86	0.026	91.64	1.13
835	9.872	2.24	0.13	1.39	7.08	11.99	5.08	4.47	0.022	87.06	2.12
840	9.889	1.01	0.08	0.74	2.22	11.29	3.00	4.16	0.018	92.88	2.23
845	9.906	0.99	0.08	0.80	1.60	10.90	2.01	4.24	0.017	93.36	0.59
850	9.923	2.09	0.18	1.93	1.33	12.39	0.69	4.39	0.016	92.36	0.28
855	9.940	1.96	0.15	1.82	1.14	13.75	0.63	4.54	0.015	92.50	0.78
860	9.958	1.18	0.10	1.01	1.40	10.98	1.39	4.54	0.015	93.04	0.85
865	9.975	1.83	0.15	1.63	1.72	13.37	1.05	3.68	0.018	92.97	1.13
870	9.992	3.47	0.12	2.34	9.40	24.34	4.02	2.67	0.021	85.60	2.54
875	10.009	1.77	0.11	1.30	3.94	12.85	3.04	1.65	0.025	93.11	4.56
880	10.026	0.49	0.03	0.23	2.17	5.51	9.36	0.88	0.027	96.72	9.66
885	10.043	0.36	0.03	0.18	1.48	5.17	8.14	1.58	0.022	96.76	10.64
890	10.061	0.87	0.09	0.71	1.33	9.01	1.88	2.52	0.016	95.44	2.03
895	10.078	1.00	0.10	0.84	1.29	9.55	1.53	3.46	0.010	94.41	0.55
900	10.095	0.99	0.09	0.79	1.62	10.58	2.04	4.74	0.006	92.85	2.15
905	10.112	1.03	0.07	0.58	3.76	9.92	6.53	8.06	0.010	87.61	5.65
910	10.129	1.90	0.10	0.97	7.72	11.21	7.93	11.72	0.015	79.59	1.62
915	10.147	1.55	0.14	1.32	1.91	10.89	1.45	15.38	0.021	81.39	0.60
920	10.164	1.93	0.17	1.72	1.74	11.56	1.01	18.22	0.027	78.32	1.15
925	10.181	1.79	0.16	1.60	1.59	11.42	0.99	16.11	0.037	80.70	0.99



<i>Tiefe</i> <i>cm</i>	<i>Alter</i> <i>kyr BP</i>	<i>TC</i> <i>wt%</i>	<i>N</i> <i>wt%</i>	<i>TOC</i> <i>wt%</i>	<i>Karbonat</i> <i>wt%</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i> <i>wt%</i>	<i>Chlorine</i> <i>wt%</i>	<i>Terrigen</i> <i>wt%</i>	<i>GF</i> <i>wt%</i>
930	10.198	1.03	0.08	0.74	2.41	9.73	3.25	13.19	0.047	83.67	1.12
935	10.215	1.42	0.13	1.17	2.14	10.32	1.83	10.26	0.056	86.44	0.68
940	10.233	1.18	0.11	0.86	2.64	9.08	3.06	7.60	0.064	88.90	0.62
945	10.250	1.69	0.16	1.47	1.89	10.45	1.29	6.60	0.057	90.05	0.80
950	10.267	1.44	0.13	1.18	2.10	10.29	1.77	5.86	0.047	90.86	1.04
955	10.284	0.95	0.08	0.59	2.99	8.37	5.09	5.13	0.037	91.29	0.75
960	10.301	1.11	0.09	0.84	2.27	10.86	2.72	4.60	0.029	92.29	0.97
965	10.318	1.59	0.15	1.39	1.62	11.09	1.16	5.35	0.029	91.64	1.20
970	10.336	1.49	0.13	1.26	1.90	11.46	1.51	6.32	0.031	90.52	1.42
975	10.353	1.28	0.12	1.11	1.45	10.35	1.31	7.28	0.032	90.17	0.60
980	10.366	1.65	0.16	1.52	1.14	11.32	0.75	8.00	0.033	89.34	0.48

A5: Kern SO147-41SL, Matrix der Untersuchungsergebnisse in 5cm-Abständen.

Tiefe cm	Alter kyr BP	TC wt%	N wt%	TOC wt%	Karbonat wt%	TOC/N	Karb/TOC	Opal wt%	Chlorine wt%	Terrigen wt%	GF wt%
0		4.00	0.32	3.75	2.11	13.75	0.56	31.77	0.140	62.38	2.27
5		4.33	0.35	4.10	1.88	13.70	0.46	30.46	0.137	63.56	1.40
10		4.59	0.36	4.09	4.11	13.11	1.00	28.72	0.134	63.08	3.64
15	17.198	3.22	0.27	3.03	1.54	12.89	0.51	26.98	0.130	68.45	1.92
20	17.230	3.01	0.25	2.89	0.98	13.23	0.34	26.05	0.125	70.07	1.46
25	17.262	2.59	0.23	2.34	2.04	11.92	0.87	29.99	0.112	65.64	1.37
30	17.293	3.12	0.27	2.76	2.97	11.76	1.08	34.73	0.098	59.54	0.95
35	17.325	3.52	0.31	2.87	5.41	10.94	1.88	39.48	0.084	52.25	0.64
40	17.357	2.84	0.23	2.29	4.59	11.46	2.01	42.72	0.072	50.41	0.87
45	17.388	3.11	0.22	2.39	6.00	12.84	2.51	36.96	0.073	54.65	1.17
50	17.420	3.01	0.22	2.40	5.03	12.78	2.09	29.71	0.076	62.86	1.52
55	17.452	3.01	0.21	2.27	6.17	12.80	2.72	22.45	0.078	69.12	1.26
60	17.483	3.21	0.22	2.36	7.09	12.32	3.00	16.22	0.080	74.33	0.95
65	17.515	2.57	0.20	2.28	2.45	13.50	1.08	16.21	0.079	79.07	0.56
70	17.547	2.68	0.21	2.40	2.40	13.18	1.00	17.22	0.077	77.98	0.80
75	17.578	2.75	0.21	2.41	2.85	13.12	1.18	18.24	0.075	76.51	0.83
80	17.610	3.48	0.22	2.56	7.63	13.51	2.98	19.24	0.074	70.56	1.53
85	17.642	3.25	0.27	2.75	4.18	12.04	1.52	20.21	0.075	72.86	0.83
90	17.673	3.24	0.25	2.77	3.97	13.00	1.43	21.18	0.077	72.09	1.37
95	17.705	3.25	0.24	2.72	4.41	13.26	1.62	22.14	0.079	70.73	2.47
100	17.737	3.32	0.24	2.57	6.23	12.51	2.42	23.25	0.081	67.95	0.91
105	17.768	3.41	0.24	2.65	6.30	12.91	2.38	25.24	0.081	65.81	0.69
110	17.800	3.20	0.26	3.02	1.48	13.74	0.49	27.38	0.081	68.13	1.49
115	17.832	3.31	0.27	3.01	2.46	13.09	0.82	29.51	0.080	65.02	1.63
120	17.863	3.30	0.25	2.70	4.98	12.63	1.84	31.31	0.080	61.01	1.26
125	17.895	2.84	0.23	2.48	3.05	12.63	1.23	31.06	0.082	63.41	0.85
130	17.927	3.06	0.23	2.52	4.51	12.80	1.79	30.47	0.085	62.51	1.29
135	17.958	3.02	0.25	2.84	1.48	13.31	0.52	29.87	0.087	65.81	1.24
140	17.990	2.85	0.23	2.63	1.82	13.29	0.69	29.16	0.088	66.39	0.68
145	18.022	3.05	0.24	2.71	2.85	13.26	1.05	27.70	0.081	66.74	0.89
150	18.053	3.28	0.21	2.23	8.69	12.44	3.89	26.13	0.074	62.95	1.44
155	18.085	3.25	0.21	2.27	8.16	12.58	3.60	24.55	0.066	65.02	1.08
160	18.117	3.36	0.21	2.17	9.90	12.19	4.57	23.20	0.060	64.73	1.24
165	18.148	2.91	0.22	2.44	3.95	13.10	1.62	23.25	0.062	70.36	1.28
170	18.180	3.28	0.22	2.52	6.35	13.11	2.52	23.54	0.067	67.60	1.68
175	18.212	3.41	0.21	2.28	9.34	12.59	4.09	23.82	0.071	64.56	1.49
180	18.243	3.75	0.25	2.57	9.81	12.19	3.81	24.61	0.077	63.01	2.12
185	18.275	3.38	0.27	2.92	3.88	12.67	1.33	28.48	0.091	64.73	1.59
190	18.307	3.54	0.24	2.56	8.16	12.44	3.19	32.85	0.108	56.43	2.06
195	18.338	3.69	0.25	2.79	7.46	13.16	2.67	37.23	0.124	52.52	1.74
200	18.370	2.91	0.21	2.40	4.29	13.74	1.79	40.52	0.136	52.80	1.03
205	18.402	3.35	0.23	2.40	7.89	12.46	3.28	37.32	0.127	52.39	1.65
210	18.433	3.34	0.28	2.84	4.13	11.87	1.45	33.04	0.114	59.98	1.82
215	18.465	3.23	0.28	2.82	3.39	11.69	1.20	28.76	0.101	65.03	0.74
220	18.497	3.15	0.27	2.72	3.66	11.84	1.35	24.91	0.090	68.71	0.77
225	18.528	3.37	0.21	2.23	9.47	12.70	4.24	23.67	0.095	64.63	1.73
230	18.560	3.40	0.21	2.33	8.96	13.18	3.85	22.86	0.101	65.86	1.83
235	18.592	3.19	0.25	2.77	3.53	13.13	1.28	22.04	0.108	71.66	2.49
240	18.623	3.68	0.25	2.81	7.21	12.89	2.57	21.44	0.112	68.54	2.64
245	18.655	3.07	0.20	2.21	7.13	12.70	3.23	22.08	0.106	68.59	1.48
250	18.687	2.89	0.17	2.07	6.85	14.41	3.32	22.93	0.098	68.16	1.27
255	18.718	2.92	0.18	1.99	7.71	13.71	3.87	23.77	0.089	66.52	1.79
260	18.750	2.85	0.21	2.26	4.91	12.29	2.17	24.36	0.082	68.48	1.15
265	18.782	2.92	0.21	2.29	5.31	13.02	2.32	23.36	0.085	69.04	1.78
270	18.813	3.52	0.19	2.18	11.23	13.23	5.16	22.11	0.088	64.49	2.66
275	18.845	3.26	0.24	2.58	5.65	12.72	2.19	20.85	0.092	70.92	1.61
280	18.877	3.24	0.24	2.59	5.37	12.67	2.07	19.60	0.095	72.45	1.89
285	18.908	3.26	0.24	2.59	5.54	12.77	2.14	18.99	0.098	72.87	1.74
290	18.940	3.19	0.25	2.85	2.85	13.05	1.00	22.32	0.092	71.99	1.29
295	18.972	3.35	0.21	2.18	9.68	12.33	4.43	26.29	0.084	61.85	1.04
300	19.003	3.19	0.20	2.12	8.89	12.50	4.19	30.27	0.077	58.72	1.05
305	19.035	3.10	0.20	2.18	7.63	12.79	3.50	33.51	0.070	56.68	2.10
310	19.067	3.58	0.20	2.21	11.36	12.79	5.13	32.40	0.072	54.03	2.18
315	19.098	3.33	0.23	2.55	6.47	12.93	2.53	30.55	0.074	60.43	1.48
320	19.130	3.12	0.23	2.52	5.00	12.94	1.98	28.71	0.077	63.78	1.44
325	19.162	3.00	0.22	2.41	4.86	12.78	2.01	26.80	0.078	65.92	1.25
330	19.193	3.18	0.23	2.34	7.00	12.02	2.99	24.55	0.075	66.11	1.23
335	19.225	3.05	0.21	2.29	6.27	12.58	2.73	22.25	0.071	69.20	1.78
340	19.257	2.92	0.21	2.30	5.18	12.64	2.25	19.94	0.066	72.58	1.33
345	19.288	2.96	0.21	2.30	5.54	12.52	2.41	17.97	0.063	74.19	1.37
350	19.320	3.69	0.22	2.31	11.51	12.37	4.98	18.07	0.066	68.12	1.30
355	19.352	3.20	0.24	2.76	3.70	13.29	1.34	18.51	0.069	75.03	0.96
360	19.383	3.16	0.24	2.72	3.65	13.03	1.34	18.95	0.073	74.68	1.67
365	19.415	3.24	0.25	2.69	4.54	12.81	1.69	19.67	0.076	73.09	2.25
370	19.447	3.29	0.26	3.10	1.57	13.82	0.51	22.08	0.078	73.25	3.23

<i>Tiefe</i> <i>cm</i>	<i>Alter</i> <i>kyr BP</i>	<i>TC</i> <i>wt%</i>	<i>N</i> <i>wt%</i>	<i>TOC</i> <i>wt%</i>	<i>Karbonat</i> <i>wt%</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i> <i>wt%</i>	<i>Chlorine</i> <i>wt%</i>	<i>Terrigen</i> <i>wt%</i>	<i>GF</i> <i>wt%</i>
375	19.478	2.96	0.22	2.49	3.87	13.06	1.55	24.77	0.080	68.86	2.76
380	19.510	2.95	0.22	2.47	4.01	13.04	1.62	27.46	0.081	66.06	1.55
385	19.542	3.01	0.23	2.61	3.33	13.20	1.28	29.92	0.083	64.14	1.26
390	19.573	3.06	0.25	2.90	1.39	13.37	0.48	31.01	0.082	64.70	1.72
395	19.605	3.24	0.27	3.08	1.29	13.34	0.42	31.87	0.082	63.76	1.71
400	19.637	2.67	0.22	2.44	1.93	13.00	0.79	32.13	0.081	63.49	0.91
405	19.668	2.78	0.20	2.15	5.26	12.79	2.44	28.79	0.077	63.81	1.60
410	19.700	3.10	0.21	2.19	7.58	12.23	3.46	24.84	0.073	65.39	2.61
415	19.732	3.13	0.24	2.56	4.72	12.69	1.84	20.90	0.068	71.82	2.58
420	19.763	2.71	0.21	2.31	3.36	12.87	1.46	17.70	0.066	76.63	0.97
425	19.795	3.00	0.21	2.23	6.43	12.54	2.88	19.01	0.073	72.34	2.37
430	19.827	2.78	0.23	2.54	1.94	13.14	0.76	21.06	0.082	74.46	2.97
435	19.858	2.98	0.23	2.61	3.05	13.22	1.16	23.12	0.091	71.23	2.31
440	19.890	3.18	0.26	2.88	2.48	13.10	0.86	24.91	0.098	69.72	1.04
445	19.922	3.26	0.21	2.27	8.27	12.54	3.64	25.17	0.093	64.29	1.49
450	19.953	2.66	0.24	2.47	1.75	12.15	0.71	25.18	0.085	70.61	1.36
455	19.985	3.17	0.25	2.86	2.66	13.47	0.93	25.18	0.078	69.30	1.51
460	20.017	3.02	0.23	2.76	2.28	13.77	0.83	25.31	0.071	69.65	0.81
465	20.048	3.03	0.25	3.05	0.32	14.29	0.11	26.19	0.073	70.43	0.83
470	20.080	2.50	0.20	2.53	0.05	14.78	0.02	27.21	0.075	70.22	1.17
475	20.112	2.46	0.21	2.59	0.10	14.21	0.04	28.22	0.078	69.09	0.61
480	20.143	2.76	0.23	2.64	1.17	13.19	0.44	28.69	0.079	67.50	0.69
485	20.175	3.04	0.22	2.48	4.66	12.94	1.88	25.92	0.074	66.95	1.82
490	20.207	2.94	0.21	2.20	6.18	12.44	2.81	22.60	0.068	69.02	1.30
495	20.238	3.13	0.21	2.17	7.98	12.31	3.68	19.29	0.062	70.56	1.34
500	20.270	2.87	0.22	2.42	3.71	13.10	1.53	16.29	0.056	77.58	1.08
505	20.302	2.87	0.23	2.67	1.68	13.33	0.63	15.21	0.054	80.44	0.81
510	20.333	2.63	0.20	2.25	3.18	13.15	1.42	14.45	0.052	80.13	1.16
515	20.365	2.80	0.19	2.12	5.68	13.13	2.68	13.68	0.049	78.52	1.00
520	20.397	3.12	0.21	2.21	7.62	12.23	3.45	13.45	0.047	76.72	0.76
525	20.428	2.98	0.22	2.35	5.27	12.70	2.24	16.39	0.048	75.99	0.62
530	20.460	3.18	0.21	2.67	4.28	14.67	1.60	19.86	0.050	73.20	1.08
535	20.492	2.91	0.19	2.07	6.98	12.63	3.37	23.32	0.051	67.63	0.56
540	20.523	2.83	0.19	2.02	6.79	12.22	3.37	26.29	0.052	64.90	0.69
545	20.555	2.99	0.20	2.12	7.22	12.21	3.41	26.23	0.051	64.44	0.75
550	20.587	2.94	0.25	2.54	3.29	12.08	1.29	25.66	0.051	68.51	1.00
555	20.618	3.11	0.23	2.34	6.44	11.94	2.75	25.10	0.050	66.13	0.66
560	20.650	3.18	0.23	2.35	6.95	11.71	2.96	24.92	0.050	65.78	0.92
565	20.682	3.03	0.23	2.37	5.51	11.82	2.33	27.11	0.053	65.02	0.94
570	20.713	3.25	0.25	2.43	6.79	11.54	2.79	29.68	0.057	61.10	1.50
575	20.745	3.01	0.25	2.41	4.95	11.47	2.05	32.26	0.060	60.39	0.94
580	20.777	3.07	0.24	2.29	6.44	11.36	2.81	34.19	0.063	57.08	1.56

**A6: Kern SO147-106KL, hochauflösend alle 5 mm beprobter Abschnitt in 46 bis 166 cm Sedimenttiefe.**

<i>Tiefe</i> <i>cm</i>	<i>Alter</i> <i>kyr BP</i>	<i>TC</i> <i>wt %</i>	<i>N</i> <i>wt %</i>	<i>TOC</i> <i>wt %</i>	<i>Karbonat</i> <i>wt %</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i> <i>wt %</i>	<i>Chlorine</i> <i>mg/g</i>	<i>Terrigen</i> <i>wt %</i>
46.25	1.503	9.381	0.815	7.696	14.05	11.02	1.82	28.80	0.372	49.46
46.75	1.506	10.436	0.995	8.909	12.72	10.45	1.43	17.93	0.363	60.43
47.25	1.509	10.606	1.028	9.825	6.50	11.16	0.66	15.66	0.355	68.01
47.75	1.512	10.574	1.012	9.674	7.50	11.15	0.78	14.52	0.364	68.30
48.25	1.515	9.480	0.936	8.865	5.13	11.05	0.58	16.01	0.335	70.00
48.75	1.518	9.194	0.919	8.770	3.53	11.13	0.40	19.61	0.356	68.09
49.25	1.521	9.361	0.852	7.856	12.54	10.76	1.60	28.16	0.410	51.44
49.75	1.524	9.561	0.914	7.987	13.11	10.20	1.64	27.90	0.401	51.00
50.25	1.527	10.005	0.959	7.833	18.10	9.53	2.31	24.64	0.362	49.42
50.75	1.530	10.085	0.862	7.527	21.32	10.19	2.83	22.33	0.346	48.82
51.25	1.533	9.786	0.877	7.484	19.18	9.96	2.56	21.73	0.332	51.61
51.75	1.536	10.002	0.875	7.487	20.95	9.99	2.80	18.43	0.320	53.13
52.25	1.539	9.686	0.885	8.410	10.63	11.09	1.26	17.64	0.349	63.31
52.75	1.542	9.661	0.917	8.706	7.96	11.07	0.91	19.35	0.358	63.99
53.25	1.545	10.956	1.086	9.356	13.33	10.06	1.42	17.02	0.382	60.30
53.75	1.548	11.174	1.102	10.218	7.97	10.82	0.78	17.08	0.419	64.73
54.25	1.551	11.756	1.151	10.935	6.85	11.09	0.63	16.91	0.435	65.31
54.75	1.554	11.886	1.152	10.522	11.37	10.66	1.08	16.14	0.440	61.97
55.25	1.557	11.221	1.082	10.203	8.48	11.00	0.83	16.39	0.434	64.93
55.75	1.560	10.976	1.058	10.055	7.68	11.09	0.76	19.78	0.447	62.49
56.25	1.563	10.997	1.115	10.271	6.05	10.75	0.59	21.16	0.476	62.52
56.75	1.566	10.438	1.080	10.121	2.64	10.93	0.26	16.75	0.400	70.49
57.25	1.569	10.305	1.056	9.684	5.18	10.70	0.53	16.91	0.401	68.23
57.75	1.572	11.018	1.079	9.695	11.03	10.48	1.14	18.15	0.438	61.13
58.25	1.575	10.253	0.954	8.853	11.67	10.83	1.32	23.13	0.466	56.35
58.75	1.578	10.098	0.919	8.911	9.89	11.31	1.11	23.19	0.465	58.01
59.25	1.581	10.535	1.031	9.782	6.27	11.08	0.64	21.73	0.436	62.22
59.75	1.584	10.701	1.012	9.318	11.53	10.75	1.24	22.61	0.443	56.55
60.25	1.586	11.163	1.143	10.295	7.23	10.51	0.70	20.67	0.443	61.80
60.75	1.589	9.989	1.067	9.581	3.40	10.48	0.36	14.94	0.370	72.08
61.25	1.592	9.719	1.052	9.365	2.95	10.39	0.32	13.11	0.335	74.57
61.75	1.595	8.998	0.941	8.518	4.00	10.56	0.47	14.09	0.314	73.39
62.25	1.598	7.883	0.879	7.806	0.00	10.36	0.00	14.15	0.278	78.04
62.75	1.601	8.681	0.929	8.216	3.88	10.32	0.47	13.63	0.285	74.28
63.25	1.604	9.353	1.011	9.012	2.85	10.40	0.32	15.00	0.331	73.14
63.75	1.607	9.734	1.027	9.504	1.91	10.80	0.20	18.15	0.358	70.44
64.25	1.610	8.296	0.905	7.955	2.84	10.25	0.36	15.03	0.291	74.17
64.75	1.613	7.750	0.844	7.476	2.28	10.34	0.31	14.13	0.292	76.11
65.25	1.616	8.158	0.847	7.576	4.85	10.44	0.64	20.60	0.351	66.98
65.75	1.619	8.565	0.851	7.676	7.41	10.53	0.97	28.22	0.417	56.69
66.25	1.622	8.973	0.854	7.776	9.97	10.63	1.28	36.01	0.475	46.24
66.75	1.625	8.362	0.828	7.442	7.67	10.49	1.03	42.80	0.474	42.09
67.25	1.628	8.048	0.776	7.186	7.18	10.80	1.00	35.56	0.387	50.08
67.75	1.631	8.309	0.886	8.189	1.00	10.79	0.12	16.14	0.266	74.68
68.25	1.634	7.718	0.837	7.840	0.00	10.93	0.00	15.21	0.236	76.95
68.75	1.637	7.769	0.855	7.792	0.00	10.64	0.00	23.17	0.247	69.04
69.25	1.640	7.828	0.855	7.759	0.00	10.59	0.00	22.70	0.251	69.54
69.75	1.643	7.378	0.774	7.327	0.00	11.04	0.00	21.36	0.242	71.31
70.25	1.645	8.077	0.839	7.706	3.09	10.72	0.40	23.76	0.271	65.45
70.75	1.648	9.132	0.943	8.948	1.53	11.08	0.17	21.47	0.296	68.05
71.25	1.651	9.155	0.961	9.121	0.00	11.07	0.00	18.22	0.307	72.66
71.75	1.654	8.633	0.899	8.631	0.00	11.20	0.00	13.96	0.262	77.41
72.25	1.657	8.634	0.896	8.461	1.45	11.02	0.17	13.80	0.253	76.30
72.75	1.660	8.723	0.921	8.761	0.00	11.10	0.00	14.16	0.275	77.08
73.25	1.663	10.174	1.056	9.990	1.53	11.04	0.15	16.18	0.327	72.30
73.75	1.666	9.766	0.999	9.564	1.68	11.17	0.18	17.57	0.319	71.19
74.25	1.669	8.849	0.829	7.778	8.92	10.95	1.15	22.14	0.323	61.17
74.75	1.672	9.375	0.932	9.073	2.52	11.36	0.28	19.65	0.341	68.76
75.25	1.675	10.730	1.116	10.524	1.72	11.01	0.16	20.20	0.395	67.55
75.75	1.678	10.073	1.011	9.646	3.56	11.14	0.37	16.59	0.357	70.21
76.25	1.681	9.744	1.005	9.483	2.18	11.01	0.23	14.71	0.352	73.63
76.75	1.684	10.562	1.134	10.473	0.00	10.78	0.00	14.03	0.398	75.49
77.25	1.687	11.316	1.092	10.225	9.09	10.93	0.89	16.40	0.419	64.29
77.75	1.690	9.083	0.740	7.068	16.79	11.14	2.38	28.50	0.431	47.65
78.25	1.693	8.643	0.774	7.086	12.97	10.69	1.83	37.26	0.501	42.68
78.75	1.696	10.199	0.891	8.166	16.94	10.70	2.07	35.15	0.580	39.75
79.25	1.699	9.954	0.879	7.688	18.88	10.20	2.46	35.41	0.486	38.02
79.75	1.702	7.715	0.768	6.887	6.90	10.46	1.00	42.97	0.516	43.24
80.25	1.705	9.299	0.938	8.267	8.60	10.28	1.04	34.05	0.522	49.08
80.75	1.708	8.499	0.847	7.898	5.01	10.88	0.63	17.92	0.360	69.17
81.25	1.711	7.367	0.790	7.358	0.00	10.87	0.00	12.46	0.248	80.18
81.75	1.714	8.838	0.919	8.866	0.00	11.26	0.00	11.82	0.283	79.31
82.25	1.717	7.946	0.828	7.149	6.65	10.08	0.93	10.53	0.248	75.68
82.75	1.720	6.947	0.738	6.625	2.69	10.48	0.41	9.37	0.226	81.32
83.25	1.723	7.159	0.761	7.054	0.00	10.82	0.00	10.03	0.220	82.92

<i>Tiefe</i> <i>cm</i>	<i>Alter</i> <i>kyr BP</i>	<i>TC</i> <i>wt %</i>	<i>N</i> <i>wt %</i>	<i>TOC</i> <i>wt %</i>	<i>Karbonat</i> <i>wt %</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i> <i>wt %</i>	<i>Chlorine</i> <i>mg/g</i>	<i>Terrigen</i> <i>wt %</i>
83.75	1.726	7.110	0.733	6.790	2.67	10.81	0.39	9.61	0.222	80.93
84.25	1.729	7.215	0.711	6.630	4.88	10.88	0.74	10.01	0.215	78.48
84.75	1.732	7.558	0.732	6.635	7.69	10.57	1.16	10.72	0.236	74.95
85.25	1.734	8.019	0.764	6.988	8.59	10.66	1.23	18.74	0.376	65.68
85.75	1.737	8.480	0.797	7.341	9.49	10.75	1.29	28.01	0.535	55.16
86.25	1.740	8.941	0.829	7.694	10.40	10.83	1.35	36.86	0.665	45.05
86.75	1.743	8.044	0.725	6.933	9.26	11.16	1.34	42.43	0.637	41.37
87.25	1.746	8.945	0.834	7.852	9.11	10.99	1.16	42.66	0.671	40.38
87.75	1.749	9.025	0.824	8.219	6.71	11.64	0.82	39.53	0.595	45.54
88.25	1.752	9.953	0.757	7.161	23.27	11.04	3.25	33.16	0.482	36.41
88.75	1.755	9.699	0.750	7.584	17.62	11.81	2.32	32.20	0.441	42.60
89.25	1.758	10.176	0.822	7.834	19.51	11.12	2.49	29.85	0.417	42.80
89.75	1.761	10.421	0.904	8.747	13.95	11.30	1.59	26.98	0.431	50.33
90.25	1.764	11.558	1.064	10.194	11.37	11.18	1.11	22.78	0.451	55.67
90.75	1.767	11.794	1.089	10.560	10.28	11.32	0.97	21.22	0.440	57.93
91.25	1.770	10.380	0.941	8.973	11.73	11.12	1.31	28.48	0.454	50.83
91.75	1.773	10.877	1.030	9.794	9.02	11.09	0.92	26.61	0.457	54.57
92.25	1.776	11.266	1.014	9.725	12.85	11.19	1.32	25.20	0.447	52.23
92.75	1.779	10.113	0.740	7.381	22.77	11.64	3.08	27.44	0.395	42.42
93.25	1.782	10.551	0.873	8.138	20.11	10.88	2.47	24.79	0.407	46.96
93.75	1.785	11.012	0.921	8.731	19.01	11.07	2.18	24.90	0.416	47.36
94.25	1.788	11.148	0.898	8.510	21.98	11.06	2.58	24.85	0.412	44.66
94.75	1.791	10.323	0.860	8.261	17.18	11.21	2.08	30.58	0.410	43.98
95.25	1.794	11.559	1.084	10.213	11.22	11.00	1.10	21.06	0.422	57.51
95.75	1.797	10.368	1.038	9.855	4.28	11.08	0.43	17.29	0.367	68.58
96.25	1.800	9.499	0.960	9.366	1.11	11.39	0.12	16.20	0.323	73.32
96.75	1.803	9.516	0.947	8.932	4.86	11.00	0.54	15.07	0.308	71.13
97.25	1.806	8.893	0.918	8.660	1.94	11.01	0.22	14.19	0.293	75.21
97.75	1.809	9.462	0.969	9.283	1.49	11.18	0.16	14.27	0.299	74.96
98.25	1.812	8.997	0.926	8.795	1.68	11.09	0.19	13.82	0.303	75.70
98.75	1.815	8.494	0.860	8.332	1.35	11.30	0.16	12.70	0.284	77.61
99.25	1.818	7.971	0.809	7.721	2.08	11.14	0.27	12.15	0.261	78.05
99.75	1.821	8.009	0.798	7.658	2.93	11.20	0.38	10.81	0.254	78.61
100.25	1.823	8.001	0.787	7.564	3.65	11.21	0.48	10.29	0.255	78.50
100.75	1.826	7.706	0.776	7.259	3.73	10.91	0.51	10.62	0.258	78.39
101.25	1.829	8.019	0.829	7.865	1.28	11.07	0.16	11.82	0.276	79.03
101.75	1.832	8.073	0.825	7.982	0.00	11.30	0.00	11.55	0.282	80.47
102.25	1.835	7.823	0.804	7.652	1.43	11.10	0.19	11.92	0.258	79.00
102.75	1.838	7.848	0.825	7.173	5.63	10.14	0.78	10.49	0.244	76.71
103.25	1.841	7.030	0.724	6.935	0.00	11.17	0.00	8.96	0.226	84.11
103.75	1.844	7.895	0.791	7.343	4.60	10.84	0.63	9.46	0.241	78.60
104.25	1.847	7.560	0.721	6.728	6.94	10.89	1.03	9.81	0.236	76.53
104.75	1.850	7.310	0.689	6.639	5.60	11.25	0.84	10.10	0.231	77.66
105.25	1.853	7.800	0.746	7.193	5.07	11.25	0.70	13.66	0.294	74.08
105.75	1.856	8.291	0.803	7.746	4.54	11.26	0.59	17.79	0.369	69.93
106.25	1.859	8.781	0.860	8.300	4.01	11.27	0.48	21.00	0.419	66.68
106.75	1.862	7.991	0.818	7.958	0.00	11.36	0.00	19.25	0.341	72.79
107.25	1.865	8.870	0.856	8.247	5.20	11.25	0.63	19.58	0.356	66.97
107.75	1.868	9.675	0.921	9.045	5.25	11.46	0.58	20.62	0.371	65.09
108.25	1.871	7.692	0.770	7.598	0.00	11.52	0.00	16.23	0.283	76.17
108.75	1.874	6.914	0.715	6.633	2.34	10.82	0.35	15.70	0.229	75.33
109.25	1.877	7.498	0.772	7.405	0.00	11.20	0.00	15.61	0.258	76.98
109.75	1.880	8.205	0.846	8.159	0.00	11.25	0.00	18.88	0.289	72.96
110.25	1.882	7.969	0.816	7.904	0.00	11.30	0.00	17.67	0.290	74.42
110.75	1.885	7.632	0.781	7.569	0.00	11.31	0.00	18.58	0.280	73.85
111.25	1.888	7.611	0.775	7.590	0.00	11.43	0.00	18.72	0.278	73.69
111.75	1.891	7.739	0.787	7.709	0.00	11.43	0.00	19.63	0.281	72.66
112.25	1.894	5.820	0.583	5.680	1.17	11.37	0.21	14.16	0.232	78.99
112.75	1.897	6.998	0.694	6.664	2.78	11.20	0.42	17.67	0.243	72.88
113.25	1.900	8.852	0.903	8.745	0.00	11.31	0.00	23.66	0.321	67.60
113.75	1.903	8.959	0.896	8.861	0.00	11.54	0.00	27.22	0.330	63.92
114.25	1.906	8.574	0.848	8.253	2.67	11.35	0.32	23.35	0.298	65.72
114.75	1.909	8.365	0.824	8.166	1.66	11.57	0.20	18.59	0.308	71.58
115.25	1.912	8.431	0.836	8.129	2.52	11.35	0.31	16.90	0.305	72.45
115.75	1.915	8.214	0.806	7.918	2.46	11.47	0.31	17.37	0.300	72.25
116.25	1.918	8.461	0.813	7.931	4.42	11.39	0.56	20.77	0.305	66.89
116.75	1.921	8.933	0.868	8.284	5.41	11.13	0.65	23.88	0.325	62.43
117.25	1.924	9.533	0.958	9.391	1.18	11.44	0.13	22.89	0.359	66.54
117.75	1.927	10.071	1.004	9.805	2.22	11.39	0.23	29.58	0.392	58.40
118.25	1.930	10.296	0.987	9.072	10.20	10.72	1.12	31.99	0.381	48.73
118.75	1.933	9.586	0.822	8.054	12.76	11.43	1.58	26.72	0.336	52.47
119.25	1.936	9.715	0.804	7.687	16.90	11.16	2.20	25.37	0.332	50.05
119.75	1.939	9.673	0.914	8.922	6.26	11.39	0.70	23.21	0.351	61.61
120.25	1.941	9.956	1.033	9.782	1.45	11.05	0.15	27.37	0.384	61.40
120.75	1.944	9.857	0.944	8.563	10.78	10.58	1.26	31.30	0.373	49.35
121.25	1.947	10.098	0.700	6.495	30.02	10.83	4.62	29.56	0.331	33.92
121.75	1.949	9.820	0.835	8.357	12.19	11.68	1.46	28.52	0.348	50.93
122.25	1.952	10.273	0.984	9.454	6.83	11.21	0.72	23.73	0.397	59.99

<i>Tiefe</i> <i>cm</i>	<i>Alter</i> <i>kyr BP</i>	<i>TC</i> <i>wt %</i>	<i>N</i> <i>wt %</i>	<i>TOC</i> <i>wt %</i>	<i>Karbonat</i> <i>wt %</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i> <i>wt %</i>	<i>Chlorine</i> <i>mg/g</i>	<i>Terrigen</i> <i>wt %</i>
122.75	1.954	11.432	1.119	10.595	6.98	11.05	0.66	24.91	0.480	57.52
123.25	1.957	9.916	0.851	8.208	14.23	11.25	1.73	25.27	0.420	52.30
123.75	1.960	10.727	0.955	9.127	13.34	11.16	1.46	23.01	0.420	54.52
124.25	1.962	11.259	1.061	9.959	10.84	10.95	1.09	27.25	0.491	51.95
124.75	1.965	10.878	0.923	9.117	14.67	11.53	1.61	26.29	0.466	49.92
125.25	1.967	11.608	1.032	9.747	15.51	11.02	1.59	22.49	0.419	52.25
125.75	1.970	10.528	1.011	9.442	9.05	10.90	0.96	27.28	0.424	54.23
126.25	1.972	9.447	0.990	9.137	2.58	10.77	0.28	33.41	0.436	54.87
126.75	1.975	9.792	0.925	8.462	11.09	10.68	1.31	36.19	0.435	44.26
127.25	1.977	8.586	0.835	8.157	3.58	11.40	0.44	26.78	0.396	61.49
127.75	1.980	8.890	0.901	8.887	0.00	11.51	0.00	24.37	0.415	66.74
128.25	1.982	9.159	0.869	8.567	4.93	11.50	0.58	24.27	0.414	62.23
128.75	1.985	9.361	0.846	8.408	7.94	11.60	0.94	26.00	0.443	57.66
129.25	1.987	9.732	0.942	9.258	3.95	11.47	0.43	26.69	0.441	60.11
129.75	1.990	8.718	0.854	8.352	3.05	11.41	0.36	21.74	0.385	66.86
130.25	1.992	8.807	0.837	8.137	5.59	11.35	0.69	21.02	0.393	65.25
130.75	1.995	10.174	0.934	9.072	9.18	11.33	1.01	23.76	0.446	57.99
131.25	1.998	10.373	0.954	9.286	9.05	11.36	0.98	23.83	0.415	57.83
131.75	2.000	9.371	0.860	8.479	7.43	11.51	0.88	26.68	0.360	57.41
132.25	2.003	9.433	0.751	7.431	16.69	11.54	2.25	26.37	0.317	49.51
132.75	2.005	8.183	0.720	7.016	9.73	11.38	1.39	27.72	0.274	55.54
133.25	2.008	7.630	0.726	6.866	6.37	11.03	0.93	27.73	0.252	59.03
133.75	2.011	6.741	0.716	6.621	1.00	10.79	0.15	22.99	0.211	69.39
134.25	2.013	6.525	0.693	6.495	0.00	10.94	0.00	19.31	0.200	74.20
134.75	2.016	6.265	0.661	6.261	0.00	11.06	0.00	19.82	0.197	73.92
135.25	2.018	6.243	0.657	6.275	0.00	11.14	0.00	19.04	0.202	74.68
135.75	2.021	6.437	0.673	6.547	0.00	11.36	0.00	20.35	0.213	73.10
136.25	2.023	6.766	0.706	6.778	0.00	11.21	0.00	22.36	0.226	70.86
136.75	2.026	6.529	0.677	6.605	0.00	11.38	0.00	22.77	0.222	70.62
137.25	2.028	6.504	0.679	6.554	0.00	11.26	0.00	22.78	0.225	70.66
137.75	2.031	6.798	0.708	6.779	0.00	11.18	0.00	25.56	0.237	67.66
138.25	2.033	6.910	0.724	6.897	0.00	11.11	0.00	27.20	0.243	65.90
138.75	2.036	6.935	0.726	7.052	0.00	11.34	0.00	24.35	0.245	68.60
139.25	2.038	6.814	0.706	6.833	0.00	11.29	0.00	22.19	0.234	70.98
139.75	2.041	6.677	0.711	6.739	0.00	11.07	0.00	24.24	0.225	69.02
140.25	2.043	7.162	0.755	7.217	0.00	11.16	0.00	26.12	0.241	66.66
140.75	2.046	7.070	0.746	7.038	0.00	11.01	0.00	26.23	0.235	66.74
141.25	2.049	7.184	0.752	7.146	0.00	11.09	0.00	29.16	0.240	63.69
141.75	2.051	7.830	0.804	7.690	1.16	11.16	0.15	34.80	0.267	56.34
142.25	2.054	7.914	0.810	8.023	0.00	11.56	0.00	40.63	0.270	51.35
142.75	2.056	7.060	0.702	6.927	1.11	11.52	0.16	38.85	0.252	53.12
143.25	2.059	6.606	0.647	6.367	1.99	11.49	0.31	36.45	0.291	55.19
143.75	2.062	6.330	0.656	6.099	1.92	10.85	0.31	31.74	0.293	60.24
144.25	2.064	6.776	0.698	6.681	0.00	11.17	0.00	19.95	0.240	73.37
144.75	2.067	6.596	0.632	6.761	0.00	12.49	0.00	18.81	0.231	74.43
145.25	2.069	6.937	0.660	6.985	0.00	12.36	0.00	19.47	0.230	73.54
145.75	2.072	6.729	0.640	6.807	0.00	12.42	0.00	21.27	0.240	71.93
146.25	2.074	6.521	0.619	6.628	0.00	12.49	0.00	22.58	0.251	70.80
146.75	2.077	6.877	0.665	6.984	0.00	12.26	0.00	20.73	0.261	72.29
147.25	2.079	7.357	0.712	7.376	0.00	12.09	0.00	23.96	0.286	68.66
147.75	2.082	7.452	0.717	7.641	0.00	12.44	0.00	29.30	0.304	63.06
148.25	2.084	8.493	0.810	8.586	0.00	12.37	0.00	35.92	0.372	55.49
148.75	2.087	7.690	0.590	6.319	11.43	12.51	1.81	39.47	0.402	42.79
149.25	2.089	8.362	0.713	7.420	7.85	12.14	1.06	36.05	0.428	48.69
149.75	2.092	8.573	0.817	8.436	1.14	12.05	0.14	28.70	0.434	61.72
150.25	2.094	7.801	0.762	7.769	0.00	11.90	0.00	22.45	0.370	69.78
150.75	2.097	6.720	0.639	6.548	1.44	11.95	0.22	18.09	0.290	73.92
151.25	2.100	6.977	0.661	6.668	2.58	11.78	0.39	18.92	0.319	71.84
151.75	2.102	8.123	0.766	7.609	4.28	11.60	0.56	23.18	0.399	64.93
152.25	2.105	8.161	0.769	7.843	2.65	11.91	0.34	25.37	0.405	64.13
152.75	2.107	7.785	0.752	7.741	0.00	12.01	0.00	25.30	0.419	66.96
153.25	2.110	7.108	0.701	6.580	4.40	10.96	0.67	25.02	0.366	64.01
153.75	2.113	8.384	0.836	8.348	0.00	11.65	0.00	19.29	0.290	72.36
154.25	2.115	8.083	0.798	8.234	0.00	12.04	0.00	17.98	0.203	73.78
154.75	2.118	7.841	0.776	7.644	1.64	11.49	0.21	18.11	0.245	72.60
155.25	2.120	8.331	0.800	8.322	0.00	12.14	0.00	20.61	0.285	71.06
155.75	2.123	9.262	0.970	9.271	0.00	11.16	0.00	20.12	0.303	70.61
156.25	2.125	6.403	0.633	6.336	0.00	11.69	0.00	18.77	0.194	74.89
156.75	2.128	5.944	0.567	5.806	1.15	11.95	0.20	15.81	0.159	77.23
157.25	2.130	5.797	0.520	5.417	3.17	12.16	0.58	17.28	0.142	74.14
157.75	2.133	6.036	0.526	5.356	5.66	11.88	1.06	15.73	0.108	73.25
158.25	2.135	6.505	0.568	5.629	7.30	11.57	1.30	18.49	0.140	68.58
158.75	2.138	6.448	0.586	5.816	5.27	11.59	0.91	24.40	0.151	64.51
159.25	2.140	6.948	0.663	6.605	2.86	11.62	0.43	24.00	0.169	66.53
159.75	2.143	6.921	0.651	6.394	4.39	11.46	0.69	24.39	0.171	64.83
160.25	2.145	6.903	0.612	6.221	5.68	11.87	0.91	24.02	0.166	64.08
160.75	2.148	6.965	0.633	6.401	4.70	11.81	0.73	21.54	0.177	67.37
161.25	2.151	7.002	0.629	6.285	5.98	11.67	0.95	19.21	0.165	68.53

<i>Tiefe</i>	<i>Alter</i>	<i>TC</i>	<i>N</i>	<i>TOC</i>	<i>Karbonat</i>	<i>TOC/N</i>	<i>Karb/TOC</i>	<i>Opal</i>	<i>Chlorine</i>	<i>Terrigen</i>
<i>cm</i>	<i>kyr BP</i>	<i>wt %</i>	<i>wt %</i>	<i>wt %</i>	<i>wt %</i>			<i>wt %</i>	<i>mg/g</i>	<i>wt %</i>
161.75	2.153	7.156	0.615	6.167	8.24	11.70	1.34	17.23	0.167	68.36
162.25	2.156	7.238	0.595	5.905	11.11	11.58	1.88	17.90	0.172	65.08
162.75	2.158	7.281	0.568	5.632	13.74	11.58	2.44	22.35	0.178	58.28
163.25	2.161	7.729	0.598	6.066	13.86	11.84	2.29	23.77	0.169	56.31
163.75	2.164	8.054	0.633	6.356	14.15	11.72	2.23	21.81	0.176	57.69
164.25	2.166	8.339	0.714	7.049	10.75	11.52	1.53	19.12	0.205	63.08
164.75	2.169	9.203	0.800	7.728	12.29	11.28	1.59	20.53	0.260	59.46
165.25	2.171	9.607	0.833	8.328	10.65	11.67	1.28	23.03	0.283	57.99
165.75	2.174	10.032	0.840	8.276	14.64	11.49	1.77	25.37	0.302	51.72