

## **Forschungsfahrt SO 90-PAKOMIN**

### **Einfluß der Sauerstoff-Minimum-Zone auf die Sedimentation am Kontinentalhang vor Pakistan (NE-Arabisches Meer)**

**Teil Antrag: Ablagerung, Erhaltung und Frühdiagenese organischer Substanz unter dem Einfluß hohen terrigenen Sedimenteintrags und unter hoher Planktonproduktivität vor SW-Pakistan**

### **Abschlußbericht**

**Jürgen Rullkötter  
Sonja Schulte** (Institut für Chemie und Biologie des Meeres der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg)

**Ralf Littke  
Andreas Lückge** (Institut für Erdöl und Organische Geochemie des Forschungszentrums Jülich GmbH)

Projekt-Nr. 03G009C  
Projektleiter: Rullkötter, J., Prof. Dr.  
Gefördert durch das BMBF (Bonn)

# INHALT

## 1. Kurzfassung

## 2. Fachlicher Bericht

### 2.1. Aufgabenstellung

### 2.2. Planung und Ablauf

### 2.3. Zusammenarbeit im anderen Stellen

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Menge an organischem Material im Auftriebsediment:

#### Erhaltung versus Produktivität

#### 3.1.1. Organischer Kohlenstoff

#### 3.1.2. Erhaltungsqualität des organischen Materials

### 3.2. Herkunft des organischen Materials

#### 3.2.1. Mikroskopische Untersuchungen

#### 3.2.2. Zusammensetzung der Bitumina

#### 3.2.3. Bestandteile des Kerogens

### 3.3 Zeitliche Variabilität der Sauerstoffminimumzone und des Eintragsgeschehens

### 3.4. Kohlenwasserstoffpotential

### 3.5. Oberflächenwassertemperaturen

## 4. Erfolgskontrollbericht

## 5. Publikationen

## 1. Kurzfassung

In einem für die Produktion und Erhaltung von organischem Material wichtigen Sedimentationsraum, dem nordöstlichen Arabischen Meer, sollte zwischen terrigenen und marinen Sedimentanteilen quantitativ differenziert werden. Dazu wurden sowohl mikroskopische als auch organisch-geochemische Analysemethoden herangezogen. Diese Untersuchungen sollten zum besseren Verständnis der Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer beitragen.

Durch Pauschalanalysen erhält man detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung. Die Ergebnisse der Pauschalanalysen zeigen, daß organisches Material, das innerhalb der Sauerstoffminimumzone (SMZ) abgelagert wurde, besser erhalten bleibt als solches, das ober- oder unterhalb der SMZ zur Ablagerung kam.

Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen deuten auf einen überwiegend marinen Eintrag hin, da der Anteil an terrestrischen Mazeralen am gesamten organischen Material sehr gering ist (< 7%). Der größte Teil des organischen Materials ist unstrukturiert (bis zu 95%) und vermutlich marinen Ursprungs. Detaillierte molekulare Untersuchungen geben Aufschluß über die Zusammensetzung der extrahierbaren Lipide. In den untersuchten Oberflächenproben, die innerhalb der SMZ entnommen wurden, sind bestimmte Verbindungen gegenüber anderen angereichert, was auf eine bessere Erhaltung dieser Verbindungen unter reduzierenden Bedingungen hinweist. Die Bitumina der Sedimentproben variieren zeitlich bei verschiedenen Proben eines Kerns in ihrer Zusammensetzung sowohl qualitativ als auch quantitativ, wobei die quantitativen Unterschiede größer sind als die qualitativen. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sowohl der Eintrag als auch die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Variationen unterlag. Als Ursache dafür werden klimatische und ozeanographische Änderungen angenommen. Die Bitumina werden meist von den Fettsäuren dominiert, deren kurzkettige Vertreter überwiegend marinen Ursprungs sind. Die detektierten länger-kettigen Fettsäuren, Alkohole und Alkane stammen sowohl aus terrestrischen als auch aus marinen Quellen. Eindeutige Hinweise auf Material marinen Ursprungs geben die Sterole, besonders die C<sub>30</sub>-Sterole, und die Alkandiole. Die Zusammensetzung des organischen Materials spiegelt sich in den Kerogenkonzentraten wider und bestätigt den überwiegend marinen Ursprung des organischen Materials.

Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine.

Die mit Hilfe der C<sub>37</sub>-Methylketone berechneten Oberflächenwassertemperaturen im Arabischen Meer während der letzten ca. 65.000 Jahre schwanken zwischen 19°C und 26°C, was auf Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse schließen läßt. Die Schwankungen der Oberflächenwassertemperaturen haben möglicherweise einen Einfluß auf die Erhaltung und Akkumulation des organischen Materials in den Sedimenten, da die gemessenen TOC-Gehalte mit den berechneten Temperaturen korrelieren.

## **2. Fachlicher Bericht**

### **2.1 Aufgabenstellung**

Das Arabische Meer vor der Küste Pakistans ist ein für die Produktion und Ablagerung von organischem Material wichtiger Sedimentationsraum. Die primäre Produktion wird durch das monsungetriebene Auftriebssystem gesteuert, und als Konsequenz hat sich eine stabile Sauerstoffminimumzone am Kontinentalrand ausgebildet. Das Gebiet eignet sich in besonderem Maße für die Untersuchung des Kohlenstoffzyklus, der Klimaentwicklung und der Frühdiagenese von Sedimenten, die reich an organischem Material sind.

Um die Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer vor der Küste von Pakistan besser verstehen zu können, sollte zwischen terrigenen und marinen organischen Sedimentanteilen differenziert werden. Diese Unterscheidung, die sowohl auf mikroskopischem Wege als auch durch organisch-geochemische Untersuchungen erreicht werden sollte, diene u.a. der Beantwortung der Frage, inwieweit terrigenes organisches Material einen Düngeneffekt für die marine Bioproduktion hatte. Beachtet werden sollte weiterhin, wie sich die Menge und die Zusammensetzung des organischen Materials in Turbiditablagerungen und rein pelagischen Sedimenten unterscheiden, um die Bedeutung schneller Massentransportprozesse für die Akkumulation organischen Materials in der Tiefsee zu erfassen. Die angestrebte Rekonstruktion der Ablagerung des organischen Materials sollte letztlich die Frage beantworten, ob der pakistanische Kontinentalhang als Modellfall für die Bildung fossiler Schwarzschiefer dienen kann, die in einer ähnlichen paläo-ozeanographischen Situation sedimentiert wurden.

Daneben sollten molekulare Temperaturindikatoren bestimmt werden, um die Auswirkung von Änderungen der Oberflächenwasser-Temperatur auf das organische Material und die Sedimente im allgemeinen zu prüfen. Untersuchungen zur Frühdiagenese des organischen Materials sollten exemplarisch anhand von molekularen Fossilien durchgeführt werden.

### **2.2 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Im Januar 1993 wurde das Vorhaben als Teilantrag des Projektes "Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalhang vor Pakistan" beantragt und im Mai desselben Jahres bewilligt. Vom 30.08.1993 bis 05.10.1993 fand die Forschungsfahrt SONNE 90 statt. Nach etwa einem Jahr (September 1994) trafen sich alle beteiligten Arbeitsgruppen zu einem Post-Cruise Meeting in Hannover. Im Dezember 1994 wurde das Manuskript "Sampling the OMZ off Pakistan: Glacial-interglacial variations of anoxia and productivity" bei *Marine Geology* eingereicht und im März des folgenden Jahres zur Publikation akzeptiert. Im März 1995 wurden Teilergebnisse des Projektes auf dem PAKOMIN/TYRO-Symposium der EUG in Straßburg vorgestellt. Das Projekt lief am 31.12.1995 aus. An der Fertigstellung einer Dissertation und von weiteren Publikationen wird gearbeitet.

### **2.3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Gesamtprojekt "Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalrand vor Pakistan" wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover koordiniert. An der Auswertung des auf der Fahrt SONNE 90 gewonnenen Sedimentmaterials waren mit eigenen Teilanträgen und speziellen Fragestellungen mehrere deutsche Arbeitsgruppen beteiligt (siehe Abschlußbericht BGR). Wichtige Erkenntnisse ergaben sich durch die intensive Zusammenarbeit mit Dr. Greg L. Cowie von der University of British Columbia in Vancouver (Canada), jetzt University of Edinburgh.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Menge an organischem Material im Auftriebssediment: Erhaltung versus Produktivität

##### 3.1.1. Organischer Kohlenstoff

Zur Bestimmung der Pauschalparameter wurden die Sedimentkerne (Kolbenlot und Kastenlot) sowie die Oberflächensedimente (Kastengreifer) in engem Abstand beprobt, um detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung zu erstellen.

Die Pauschalanalysen, bei denen die Gehalte an organischem Kohlenstoff (TOC) durch Verbrennungsanalyse bestimmt wurden, zeigen, daß die Sedimente, die innerhalb der Sauerstoffminimumzone abgelagert wurden, höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff aufweisen, als Sedimente, die oberhalb bzw. deutlich unterhalb der Sauerstoffminimumzone abgelagert wurden (Abb. 1).

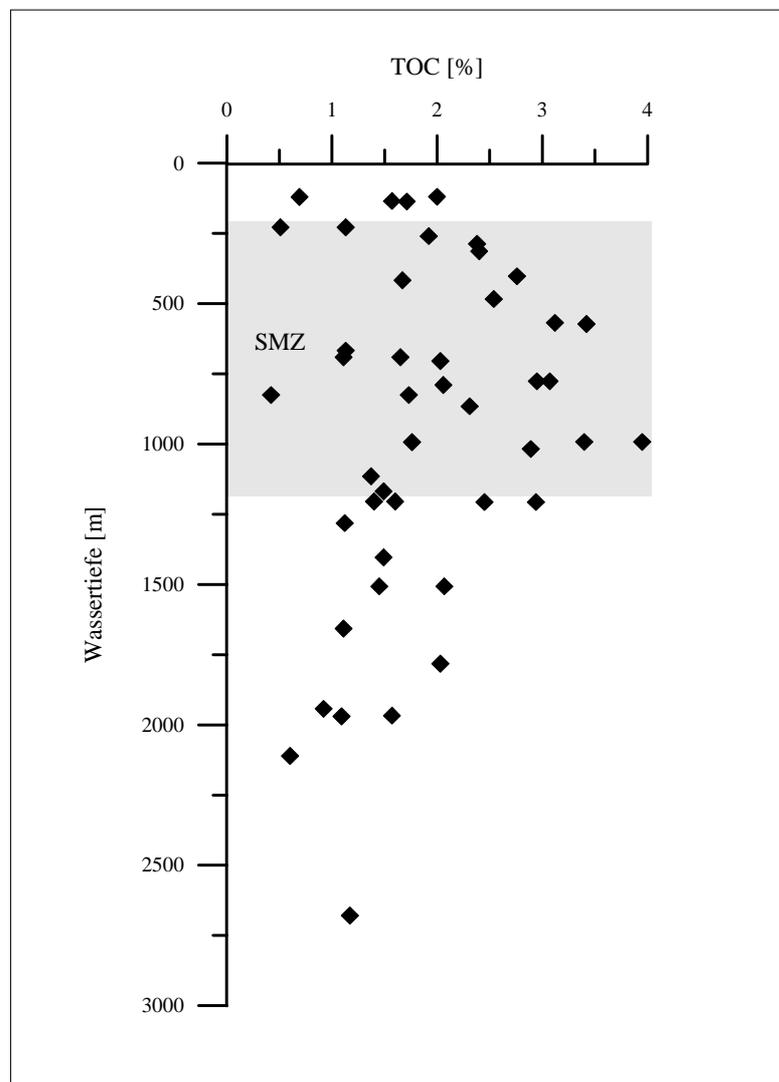


Abb.1: TOC-Gehalte der Oberflächensedimente

Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, daß der geringe Sauerstoffgehalt in der Sauerstoffminimumzone neben der hohen Bioproduktivität ein wichtiger Faktor für die

Erhaltung von organischem Material in Sedimenten ist. In Zusammenarbeit mit Dr. Greg Cowie (University of British Columbia, Vancouver), einem Mitarbeiter von Prof. Dr. Steve Calvert, der die primäre Produktion als entscheidenden Faktor bei der Erhaltung und Akkumulation von organischem Material in Sedimenten favorisiert, wurden 22 Oberflächen-sedimente detailliert untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß neben dem TOC-Gehalt bestimmte extrahierbare Lipide (z.B. *n*-Pentatriacontan) relativ zu anderen Komponenten (z.B. *n*-Untriacontan) des Bitumens innerhalb der Sauerstoffminimumzone angereichert werden (Abb.2). Diese relative Anreicherung wurde auch für langkettige *n*-Fettsäuren (> 20 C-Atome) im Verhältnis zu kurzkettingen *n*-Fettsäuren gefunden. Dies Ergebnis stützt die Hypothese, daß im Arabischen Meer der Sauerstoffgehalt der Wassersäule eine entscheidende Rolle bei der Erhaltung von organischem Material spielt, denn die Primärproduktion sollte für alle 22 Proben etwa gleich gewesen sein.

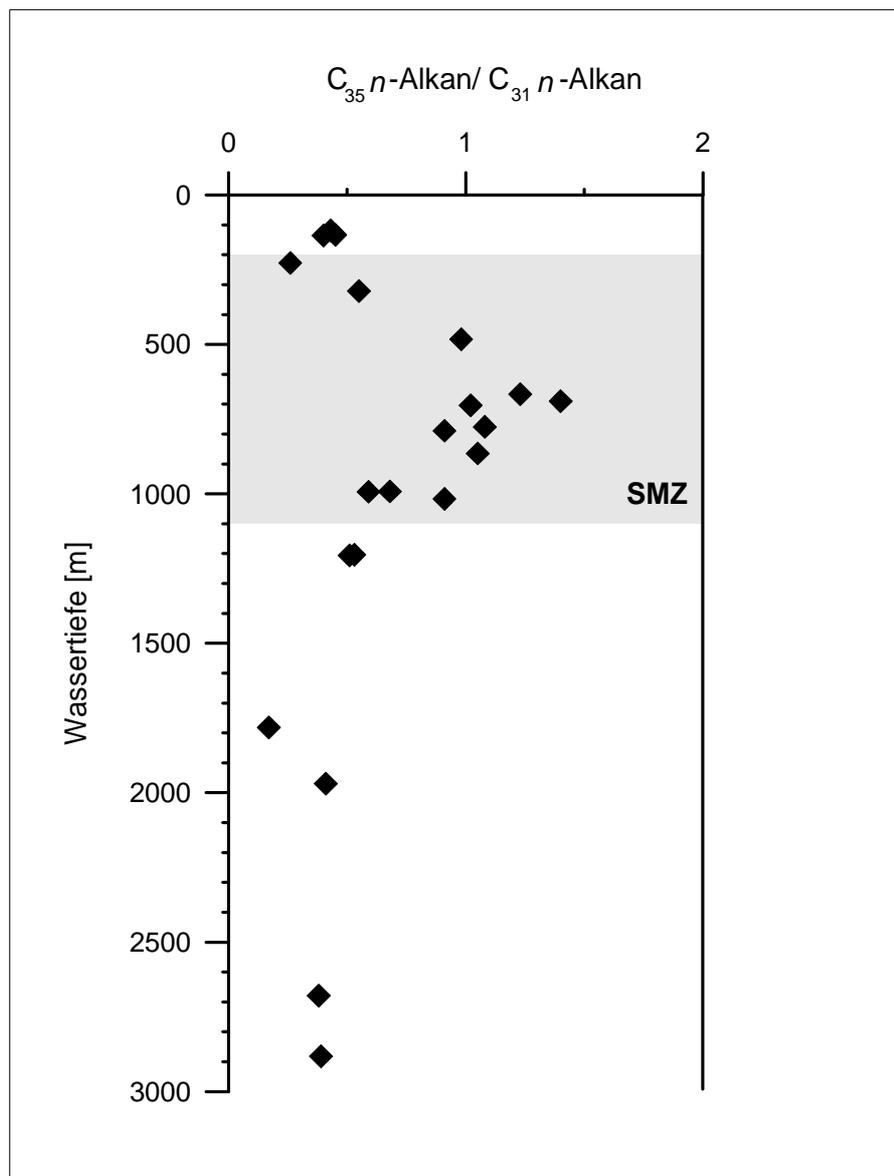


Abb.2: Relative Anreicherung von *n*-Pentatriacontan gegenüber *n*-Untriacontan innerhalb der Sauerstoffminimumzone

Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in den Kolbenlot- und Kastenlotkernen zeigt Variationen der Gehalte mit der Tiefe. Exemplarisch ist in Abb.3 das TOC-Profil des Kolbenlotkerns 136 KL dargestellt. Der Kern stammt aus dem Untersuchungsgebiet im

Bereich des Indus-Fächers und wurde innerhalb der Sauerstoffminimumzone aus einer Wassertiefe von 568 m entnommen.

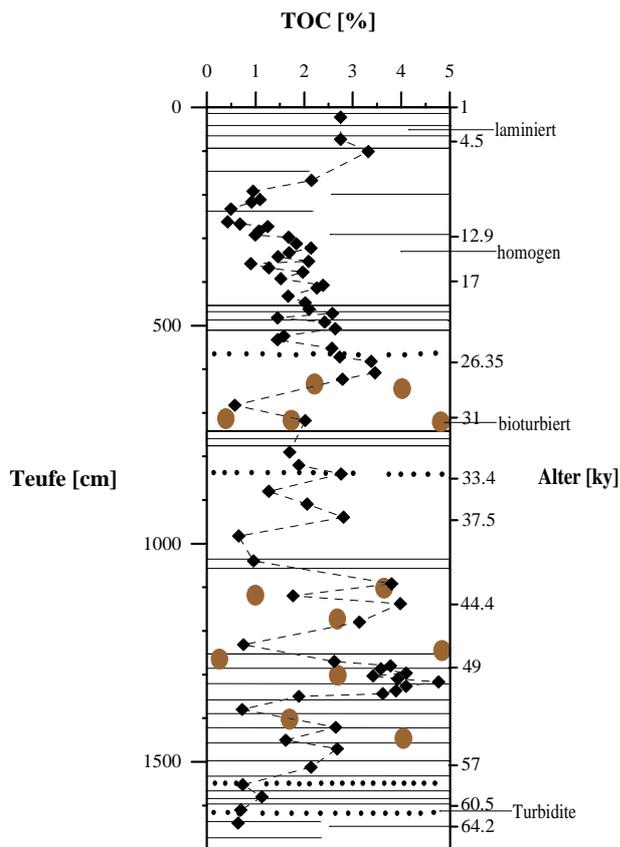


Abb.3: TOC-Profil des Kolbenlotkerns 136 mit Sedimenttextur und verfügbaren Altersangaben (Schulz et al., 1996)

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff variieren in diesem Kern zwischen 0,5% und ca. 5%. Dabei treten hohe Werte sowohl in laminierten als auch in homogenen Sedimentschichten auf. Ähnlich verhält es sich auch mit den niedrigen Werten. Auch sie sind in allen Schichten anzutreffen, wobei allerdings eine Häufung in homogenen Sedimentschichten zu beobachten ist. Es scheint keine Korrelation zwischen TOC-Gehalten und Textur zu bestehen. Die Variation der TOC-Gehalte ist möglicherweise dadurch bedingt, daß die Lage der SMZ im Laufe der Zeit nicht stabil war, weil sich die ozeanographischen Verhältnisse und damit die Produktivität geändert haben. Es besteht keine offensichtliche Korrelation mit Glazialzyklen.

### 3.1.2. Erhaltungsqualität des organischen Materials

Zur näheren Bestimmung der geochemischen Pauschalzusammensetzung wurden an durch Behandlung mit Salz- und Flußsäure gewonnenen Kerogenkonzentraten sowie an unbehandelten Sedimentproben Rock-Eval-Pyrolysen durchgeführt. Wichtige Parameter der Rock-Eval-Pyrolyse sind der Wasserstoff-Index (HI) und der Sauerstoff-Index (OI). Der Wasserstoff-Index entspricht der Menge an pyrolytisch gebildeten Kohlenwasserstoffen, normiert auf den TOC-Gehalt. Der Sauerstoff-Index ergibt sich aus der Menge an generiertem CO<sub>2</sub>, normiert auf den TOC-Gehalt. Mittels dieser Parameter lassen sich erste Aussagen über die Herkunft und Erhaltung des organischen Materials machen. Gut erhaltenes organisches Material mariner Herkunft ist durch hohe HI-Werte und relativ geringe OI-Werte gekennzeichnet, während terrestrisches organisches Material, das von höheren Landpflanzen stammt, deutlich niedrigere HI-Werte und erhöhte OI-Werte aufweist. Bakterielle Überarbeitung erniedrigt HI-Werte und erhöht OI-Werte.

Die HI-Werte in den Sedimenten vom Kontinentallhang vor Pakistan variieren je nach Untersuchungsgebiet zwischen 250 und 500 mg KW/g TOC und sind damit deutlich höher als jene von Sedimenten, die überwiegend terrigenes Material aufweisen (< 200-300 KW/g TOC), jedoch niedriger als HI-Werte von flachmarin abgelagerten Schwarzschiefern (600-900 KW/g TOC). Die an den Gesamtgesteinen ermittelten Wasserstoff-Indices sind deutlich

niedriger als die an Kerogenkonzentraten bestimmten Werten. Dies hängt mit der Adsorption von pyrolytisch generierten Kohlenwasserstoffen an Mineraloberflächen, dem Mineral-Matrix-Effekt zusammen; daher sind diese Werte nur begrenzt aussagefähig.

Die höchsten HI-Werte wurden in Sedimenten gemessen, die innerhalb der Sauerstoffminimumzone abgelagert wurden und deuten damit auf eine bessere Erhaltung des organischen Materials hin als in Sedimenten, die ober- und unterhalb der SMZ abgelagert wurden. Trotzdem müssen die nur mäßig hohen HI-Werte, die aufgrund der mikroskopischen Befunde nicht auf eine einfache Mischung von marinem und terrestrischem organischem Material zurückgeführt werden können, auf mikrobielle Degradationsprozesse, z.B. während der Sulfatreduktion, zurückgeführt werden.

## **3.2. Herkunft des organischen Materials**

### **3.2.1. Mikroskopische Untersuchungen**

Hinweise auf die Herkunft des organischen Materials geben die mikroskopischen Untersuchungen. Der überwiegende Teil des organischen Materials liegt nicht in Form von eindeutig identifizierbaren organischen Partikeln (Mazeralen) vor. Dieser Sachverhalt zeigte sich sowohl bei der Untersuchung an Anschliffen im Auflicht (Fluoreszenz/Reflexionsmodus) als auch bei Palynofazies-Untersuchungen (Durchlichtmikroskopie an Kerogenkonzentraten). Die Proben bestehen hauptsächlich aus unstrukturiertem (amorphem) organischem Material. Der Anteil dieses vorwiegend dunkelbraun bis mittelbraun fluoreszierenden Materials mit unterschiedlichen Formen und Größen schwankt je nach Untersuchungsgebiet zwischen 80 und 93 Vol.%. Auffällig sind die kreisrunden Aggregate, in denen kleine anorganische Partikel beobachtet werden können. Die Größe dieser dunkelbraun fluoreszierenden Aggregate beträgt 2 bis 10 µm. Die Herkunft ist noch unklar, aber wahrscheinlich handelt es sich um Faeces von kleineren zooplanktonischen Lebewesen. Diese "Pellets" können bis zu 7% des organischen Materials ausmachen.

Der Anteil an strukturiertem organischem Material mariner Herkunft variiert zwischen 1% und 13% in den Sedimenten, die innerhalb der Sauerstoffminimumzone abgelagert wurden. Dabei handelt es sich überwiegend um Fragmente von Dinoflagellaten und Algen. Der Eintrag von terrestrischem organischem Material (Vitrinite und Inertinite) im Einflußbereich des Indusfächers ist mit 2-6% dagegen erstaunlich gering. Aufgrund der Tatsache, daß der Anteil an unstrukturiertem organischem Material an den Beprobungspunkten keine Teufen- oder Altersabhängigkeiten zeigt, dürfte die Bildung dieses Materials bereits in der Wassersäule oder an der Sediment/Wassergrenze stattgefunden haben. Neben dem organischen Material ist auch Pyrit bzw. der im Sediment gebundene Schwefelanteil ein sensibler Faziesanzeiger. Außerdem weist der frühdiagenetisch gebundene Schwefel auf die biochemische Sulfatreduktion hin, bei der durch intensive mikrobielle Überarbeitung ein Teil des labilen organischen Materials abgebaut wird.

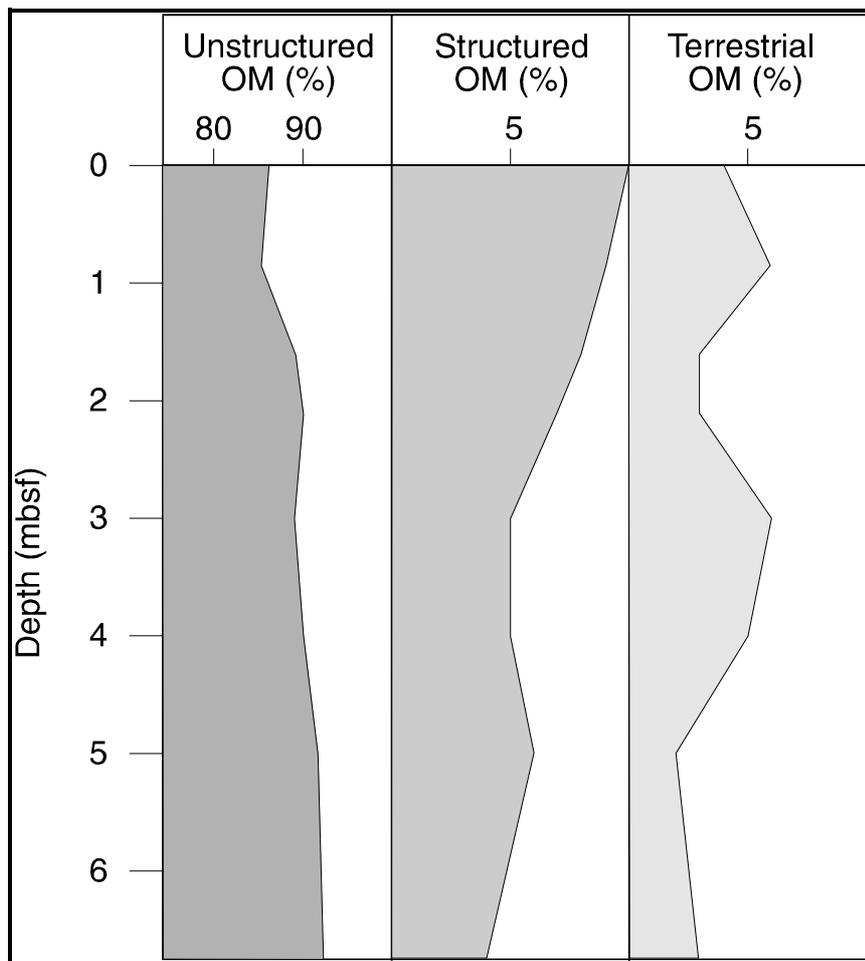


Abb.4: Mikroskopisch sichtbare Zusammensetzung des organischen Materials im Kolbenlotkern 136

### 3.2.2. Zusammensetzung der Bitumina

Für detaillierte organisch-geochemische Analysen wurden die extrahierbaren Lipide mittels Mitteldruck-Flüssigkeitschromatographie in aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie in Heterokomponenten getrennt. Die Fraktion der Heterokomponenten (NSO-Fraktion) bildete den größten Teil des *n*-hexanlöslichen Bitumens, deswegen wurde der Schwerpunkt auf die geochemische Analyse der NSO-Fraktion gelegt. Die Analyse der einzelnen Fraktionen erfolgte mittels Kapillar-Gaschromatographie (GC) oder in der Kopplung mit der Massenspektrometrie (GC/MS). In ausgewählten Proben wurde die isotopische Signatur einzelner Substanzklassen mit Hilfe der Gaschromatographie in Kopplung mit der Isotopenmassenspektrometrie (GC-irm-MS) bestimmt.

#### NSO-Fraktion der Kernsedimente

Die NSO-Fractionen der untersuchten Kernsedimente werden von *n*-Fettsäuren und *n*-Alkoholen dominiert, wobei die Fettsäuren stärker dominieren als die Alkohole. In Abb. 5 ist eine typische *n*-Fettsäureverteilung dargestellt. Es wurden *n*-Carbonsäuren im Kohlenstoffzahlbereich von C<sub>12</sub> bis C<sub>30</sub> sowie einfach und zweifach ungesättigte *n*-Carbonsäuren mit Kohlenstoffzahlen von C<sub>16</sub> bzw. C<sub>18</sub> detektiert. Die dargestellte Verteilung zeigt eine starke Bevorzugung der *n*-Fettsäuren mit gerader Kohlenstoffzahl, die durch die Biosynthese dieser Verbindungsklasse bedingt ist.

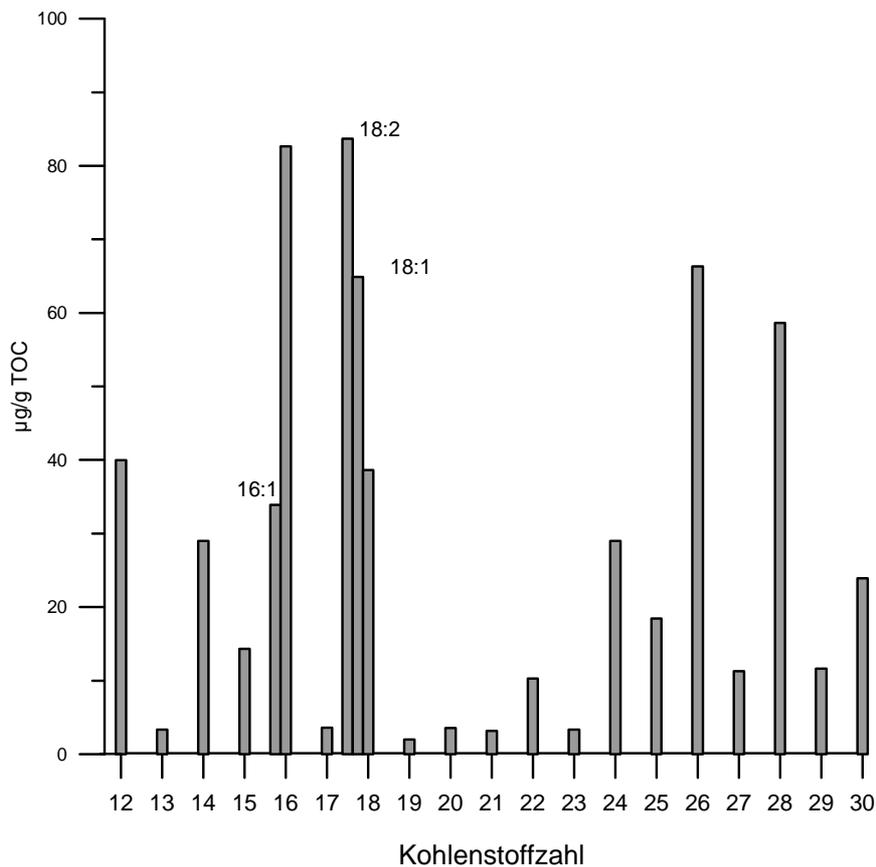


Abb.5: Fettsäureverteilung im extrahierbaren Bitumen der Probe 136 KL, 1470 cm Tiefe, 2,68 % TOC

Die Carbonsäure-Verteilung weist zwei Maxima auf. Das Hauptmaximum im kurzkettigen Bereich zwischen  $C_{12}$  und  $C_{20}$  bildet *n*-Octadecandien-2-säure (*n*- $C_{18:2}$ ) zusammen mit *n*-Hexacosansäure (*n*- $C_{26}$ , Palmitinsäure). Im längerkettigen Bereich bildet Hexacosansäure (*n*- $C_{26}$ ) ein weiteres Maximum. An den NSO-Fractionen der Kernsedimente wurden keine isotopenmassenspektrometrischen Analysen vorgenommen, so daß keine eindeutigen Aussagen über die Herkunft der detektierten Fettsäuren gemacht werden können. Mit allen verfügbaren Informationen ist jedoch für die kurzkettigen *n*-Fettsäuren eine marine Herkunft wahrscheinlich. Die langkettigen *n*-Fettsäuren stammen vermutlich aus den in den Cuticulen höherer Landpflanzen enthaltenen Wachsen. Die mikrobielle Überarbeitung im Zuge der Sulfatreduktion hat mit großer Wahrscheinlichkeit den Anteil der kurzkettigen Fettsäuren bevorzugt reduziert, so daß der Anteil der terrigenen Fettsäuren ursprünglich geringer war, als es in Abb.5 den Anschein hat.

Weitere Verbindungen, die zur Ermittlung der Herkunft des organischen Materials herangezogen werden können, sind die Sterole. Sterole sind weitverbreitete Biomarker, die häufig in Sedimenten gefunden werden. Sie fungieren als stabilisierende Versteifungsglieder in den Zellmembranen aller Eukaryonten. Deswegen sind sie nicht immer spezifisch für eine bestimmte Gruppe von Organismen. Ein Beispiel für einen besonders spezifischen Marker ist das Dinosterol, welches als Biosyntheseprodukt von Dinoflagellaten bekannt ist. Zur Charakterisierung des Eintrags werden vielfach Sterolverhältnisse herangezogen. Das Plankton enthält im allgemeinen überwiegend  $C_{27}$ - und  $C_{28}$ -Sterole. Das Phytoplankton wird meist von  $C_{28}$ -Sterolen dominiert, wobei Diatomeen allerdings gleiche Anteile an  $C_{27}$ -,  $C_{28}$ - und  $C_{29}$ -Sterolen enthalten können. Dominieren  $C_{28}$ - und  $C_{30}$ -Sterole, so ist dies ein guter Hinweis auf überwiegend marinen Eintrag. Im Gegensatz zu den marinen Organismen enthalten höhere Landpflanzen hauptsächlich  $C_{29}$ -Sterole, so daß eine Dominanz von  $C_{29}$ -

Sterolen im Sediment recht zuverlässig auf einen terrigenen Eintrag hinweist. Ein Dreiecksdiagramm mit den relativen Anteilen von  $C_{27}$ -,  $C_{28}$ - und  $C_{29}$ -Sterolen kann eine Hilfe sein, um die Herkunft der eingetragenen Sterole zu ermitteln. In Abb.6 ist dieses ternäre Diagramm für die untersuchten NSO-Fractionen des Kerns 136 Kolbenlot dargestellt.

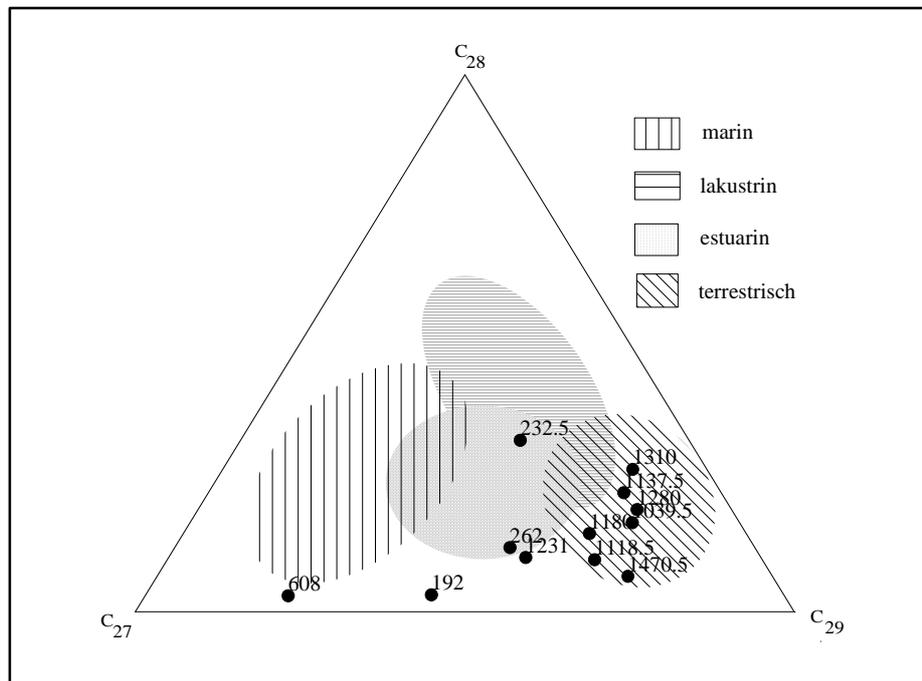


Abb.7: Dreiecksdiagramm der Kohlenstoffzahlen von Sterolen nach Huang und Meinschein. Die Zahlen bezeichnen die Teufe in cm für den Kern 136 KL

Die Betrachtung nach Huang und Meinschein geht davon aus, daß eine Dominanz von  $C_{29}$ -Sterolen charakteristisch für einen überwiegenden Eintrag aus höheren Landpflanzen ist. Dabei werden  $C_{29}$ -Sterole praktisch gleichgesetzt mit 24(S)-Ethylcholest-5en-3 $\beta$ -ol, dem Hauptsterol vieler höherer Landpflanzen. Dabei wird vernachlässigt, daß das Epimer mit einer 24R-Konfiguration auch von einzelligen Algen und Cyanobakterien synthetisiert wird. Desweiteren werden typische marine Sterole wie z.B. das Dinosterol, ein  $C_{30}$ -Sterol, nicht berücksichtigt. Mit dieser Betrachtungsweise kann somit das Bild zugunsten eines erhöhten terrestrischen Eintrags verfälscht werden. Die untersuchten Proben aus dem Kern 136 KL zeigen in Abb.6 in den meisten Fällen eine Dominanz von  $C_{29}$ -Sterolen, und somit wäre hier auf einen terrestrischen Eintrag zu schließen. Der Anteil an  $C_{30}$ -Sterolen ist in allen untersuchten Proben jedoch sehr hoch, so daß eine überwiegend terrestrische Herkunft unwahrscheinlich scheint. Zur besseren Darstellung der Sterolverteilung wird deswegen für die Proben aus dem Arabischen Meer eine Darstellung gewählt, die die  $C_{30}$ -Sterole mit berücksichtigt

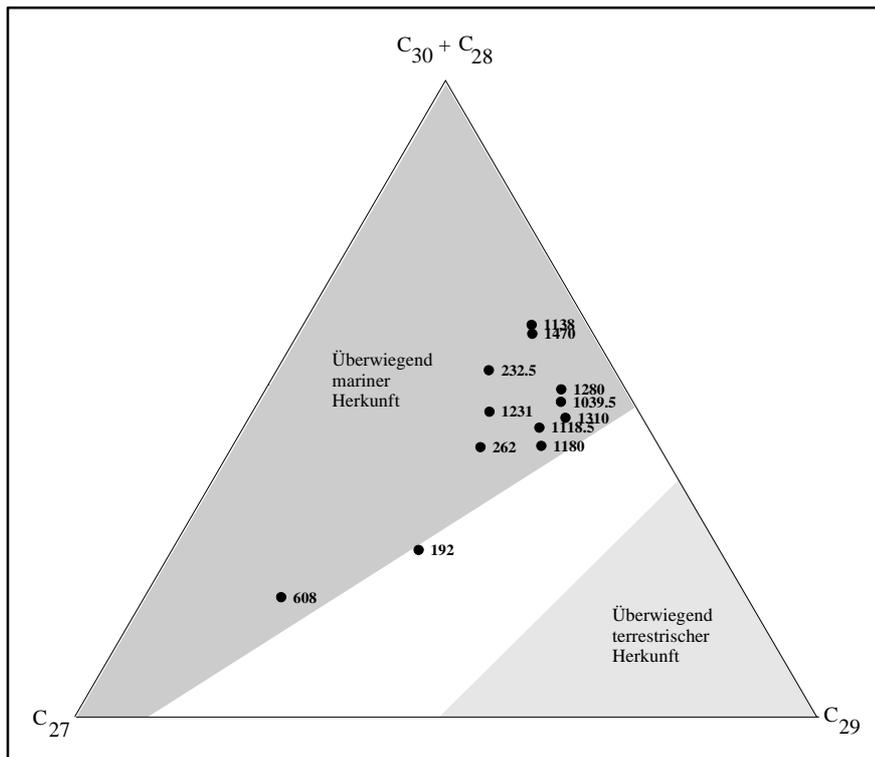


Abb.7: Sterolverteilung in den Bitumina aus dem Kolbenlotkern 136

Bei dieser Art der Darstellung (Abb.7) wird deutlich, daß kein überwiegend terrestrischer Eintrag erfolgt sein kann, da die  $C_{29}$ -Sterole in keiner der untersuchten Proben dominieren. Ein mariner Eintrag scheint wahrscheinlicher. Dies steht auch im Einklang mit den mikroskopischen Untersuchungen.

Einen weiteren Hinweis auf einen marinen Eintrag geben die  $C_{28}$ - bis  $C_{32}$ -Alkandiole, die in allen untersuchten Proben detektiert wurden. Diese Verbindungen sind Biomarker für planktonische Mikroalgen der Klasse *Eustigmatophyceae*. Einen ähnlichen Ursprung haben die ebenfalls detektierten Keto-ole mit gleicher Kohlenstoffzahl, deren struktureller Unterschied zu den Alkandiolen wahrscheinlich durch teilweise frühdiagenetische Oxidation bedingt ist.

#### NSO-Fractionen der Oberflächensedimente

Die Heterofractionen der Oberflächensedimente werden von den  $n$ -Fettsäuren dominiert. In Abb. 8 ist eine typische Fettsäureverteilung dargestellt. Es wurden  $n$ -Fettsäuren im Kohlenstoffzahlbereich von  $C_{12}$  bis  $C_{30}$ , einfach und zweifach ungesättigte  $n$ -Fettsäuren mit Kohlenstoffzahlen von  $C_{16}$  bzw.  $C_{18}$  sowie iso- und anteiso- Fettsäuren mit 15 und 17 Kohlenstoffatomen detektiert. Die dargestellte Verteilung zeigt eine starke Bevorzugung der  $n$ -Fettsäuren mit gerader Kohlenstoffzahl. Diese geradzahlige Bevorzugung ist durch die Biosynthese dieser Verbindungsklasse bedingt, die über einen  $C_2$ -Baustein erfolgt. Die Fettsäureverteilung weist, wie schon bei den Kernsedimenten beobachtet, zwei Maxima auf.

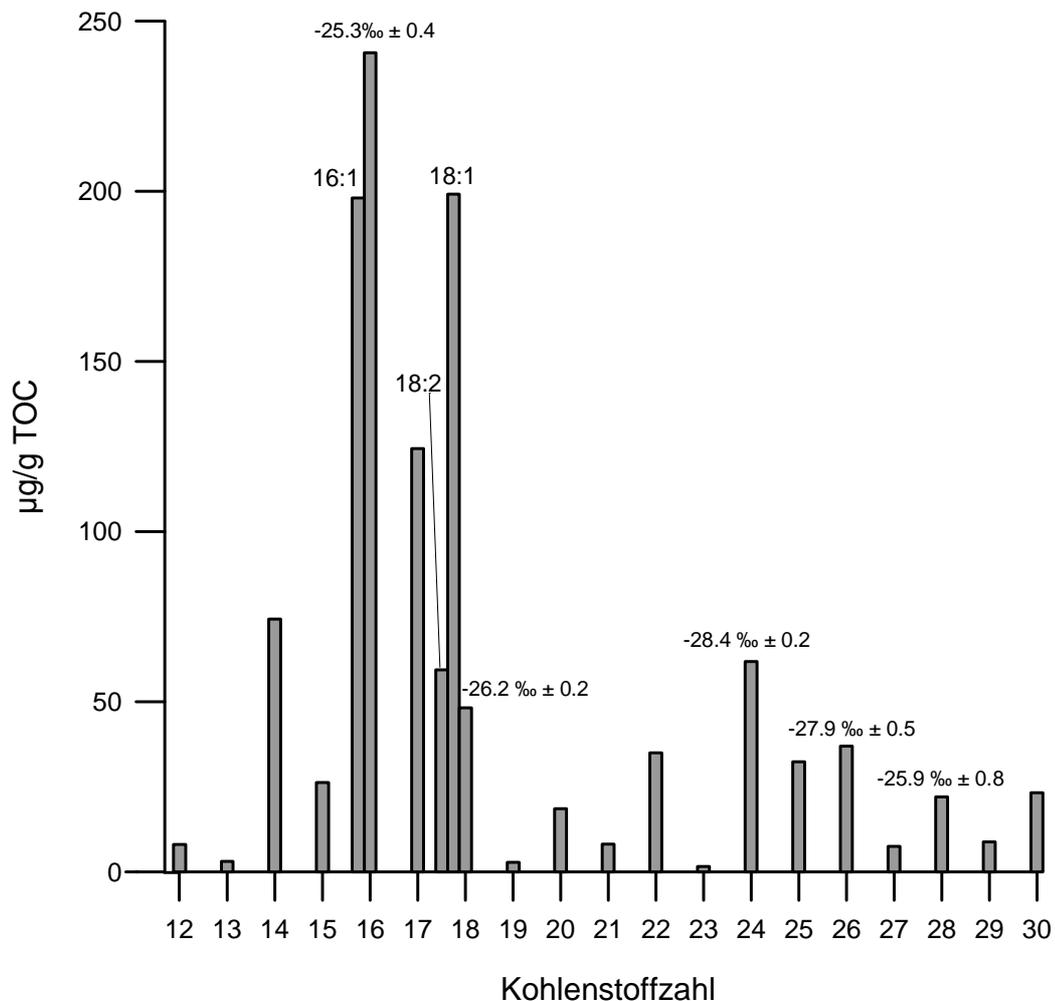


Abb.8: Fettsäureverteilung im extrahierten Bitumen der Probe 34 KG, Makran-Kontinentalhang, 667m Wassertiefe (innerhalb SMZ)

Das Hauptmaximum im kurzkettigen Bereich zwischen C<sub>12</sub> und C<sub>20</sub> bildet *n*-Hexadecansäure (*n*-C<sub>16:0</sub>, Palmitinsäure). Im längerkettigen Bereich (> C<sub>20</sub>) bildet *n*-Tetracosansäure (*n*-C<sub>24:0</sub>) ein weiteres, wenn auch weniger ausgeprägtes Maximum. Die kurzkettigen *n*-Fettsäuren sind wenig spezifisch für bestimmte Organismen und lassen keinen Schluß auf den Eintrag zu. Die isotopische Zusammensetzung der kurzkettigen *n*-Fettsäuren schwankt zwischen -24.6‰ und -26.3‰ und deutet auf einen marinen Eintrag. Die längerkettigen Carbonsäuren (C<sub>24</sub> und C<sub>26</sub>) sind mit δ<sup>13</sup>C-Werten von -28.4‰ bzw. -27.9‰ isotopisch etwas leichter, sollten als typisch terrestrisches Signal aber eine deutlich leichtere isotopische Zusammensetzung aufweisen als die marinen kurzkettigen *n*-Fettsäuren, so daß diese Werte auf ein Mischsignal aus marinem und terrigenem Eintrag hindeuten. Dies ist im Einklang mit allen vorliegenden Informationen und stellt die heutige Eintragungssituation dar. In den Oberflächensedimenten wurde eine Zusammensetzung der Sterole detektiert, die ähnlich der der beschriebenen Kernsedimente ist. Alkandiole und die korrespondierenden Keto-ole konnten ebenfalls nachgewiesen werden. Komponenten bakteriellen Ursprungs (z.B. Hopansäuren) wurden in vergleichsweise geringeren Mengen gefunden.

### 3.2.3. Bestandteile der Kerogenkonzentrate

Die durch Behandlung mit Salz- und Flußsäure gewonnenen Kerogenkonzentrate wurden basisch hydrolysiert, anschließend extrahiert und die löslichen Produkte nach unterschiedlicher Polarität getrennt. Von den daraus resultierenden Fraktionen wurde die

Fraktion der Heterokomponenten eingehender untersucht. In Abb. 9 ist eine für die Kerogenkonzentrate typische Verteilung der *n*-Fettsäuren dargestellt, die auch hier die NSO-Fraktion dominieren.

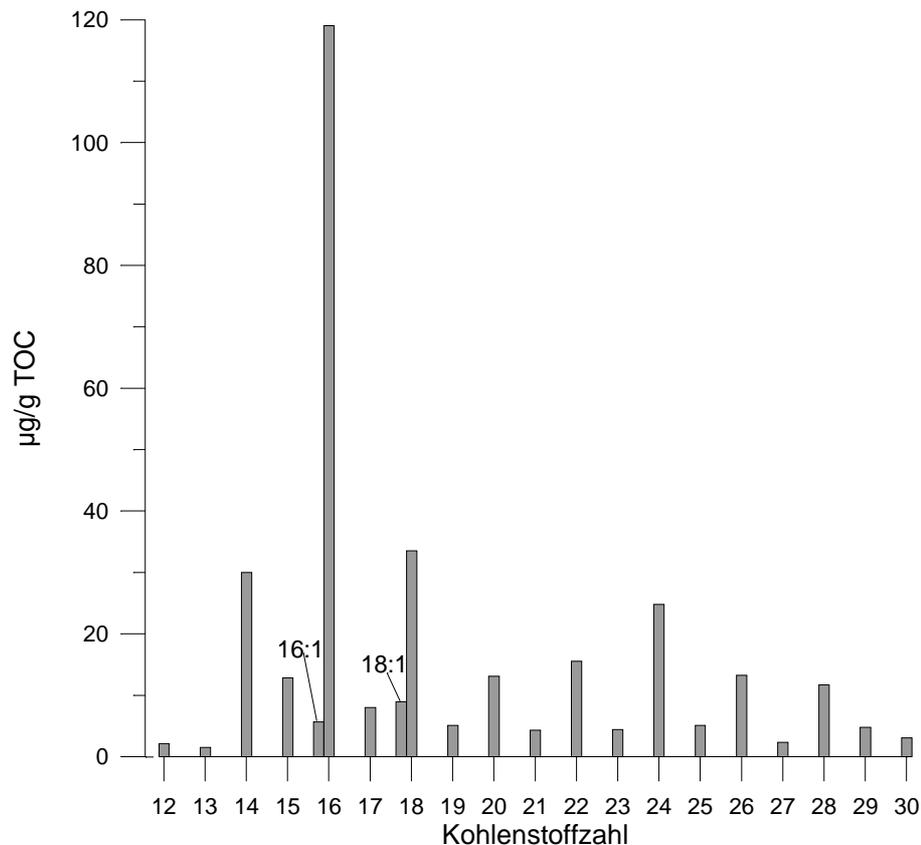


Abb. 9: Verteilung der *n*-Fettsäuren des Hydrolysats des Kerogenkonzentrats des Kastenlotkerns 137

Die Abbildung zeigt eine bimodale Verteilung der *n*-Fettsäuren mit einem stark ausgeprägten Maximum im kurzkettigen Kohlenstoffzahlbereich bei C<sub>16:0</sub> (Palmitinsäure) und einem weniger ausgeprägten im längerkettigen Bereich bei C<sub>24:0</sub> (*n*-Tetracosansäure). Dabei sind die kurzkettigen Vertreter (< 20 Kohlenstoffatome) marinen und die langkettigen (>20 Kohlenstoffatome) vermutlich terrigenen Ursprungs. Neben den *n*-Carbonsäuren, die im Kohlenstoffzahlbereich von C<sub>12</sub> bis C<sub>30</sub> nachgewiesen wurden, konnten auch einfach ungesättigte Fettsäuren mit 16 (C<sub>16:1</sub>, *n*-Hexadecensäure) bzw. 18 Kohlenstoffatomen (C<sub>18:1</sub>, *n*-Octadecensäure) detektiert werden. Weiterhin wurde eine homologe Reihe von β-Hydroxyfettsäuren mit Kohlenstoffzahlen von 12 bis 18 nachgewiesen, die vermutlich aus Bakterien stammen. Als weitere Bestandteile der Heterokomponenten sind die Sterole, die Alkandiole, die Hopanole und die Hopansäuren zu nennen, die auch in den löslichen Bitumina gefunden wurden. Die Zusammensetzung der NSO-Fraktion der Kerogenkonzentrate ist der der löslichen Bitumina recht ähnlich und weist ebenfalls auf einen überwiegend marinen Eintrag hin.

### 3.3. Zeitliche Variabilität der Sauerstoffminimumzone und des Eintragsgeschehens

Durch die Untersuchung der Oberflächensedimente wurde der Einfluß der Sauerstoffminimumzone auf die Akkumulation und Erhaltung von organischem Material und das jetzige Eintragsgeschehen erfaßt. Durch die Übertragung der hierbei gewonnenen Erkenntnisse auf die Kernsedimente lassen sich Aussagen über die zeitliche Variabilität der SMZ und des Eintragsgeschehens machen. In Abb. 2 ist die relative Anreicherung von *n*-

Pentatriacontan gegenüber *n*-Untriacontan dargestellt. Die größte relative Anreicherung des *n*-C<sub>35</sub>-Alkans findet sich im Kern der Sauerstoffminimumzone. Zur Bestimmung der zeitlichen Veränderung wurde das Verhältnis von *n*-C<sub>35</sub>-Alkan zu *n*-C<sub>31</sub>-Alkan ebenfalls für die Kernsedimente berechnet. Die Verhältnisse sind in Abb. 10 gegen die Teufe aufgetragen. Außerdem sind noch die TOC-Werte gezeigt.

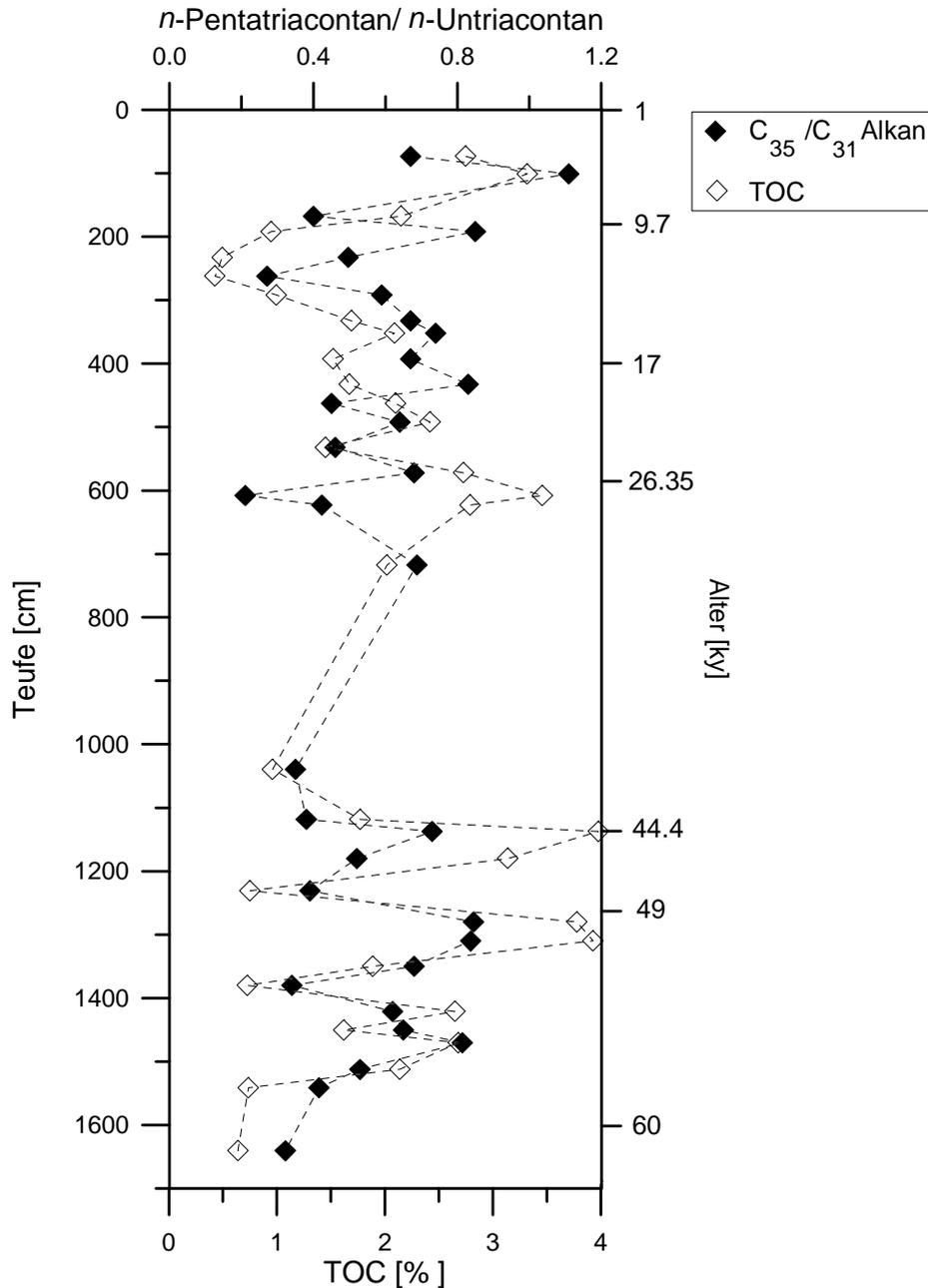


Abb.: 10: Pentatriacontan zu Untriacontan Verhältnis in den Aliphatenfraktionen des löslichen Bitumen des Kolbenlotkerns 136 und TOC-Gehalte der Sedimente

Unter der Annahme, daß das  $C_{35}/C_{31}$ -Alkan-Verhältnis ein Parameter für eine sauerstoffverarmte Wassersäule ist, wird aus Abb. 10 deutlich, daß die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Schwankungen unterlag. Hohe Verhältniswerte repräsentieren dabei eine suboxische Wassersäule und niedrige Werte eine oxische Wassersäule zur Zeit der Ablagerung. Weiterhin wird zu den meisten Zeiten eine sehr gute Korrelation mit den TOC-Gehalten der Sedimente beobachtet; d.h. hohe TOC-Werte fallen meist mit hohen Verhältniswerten zusammen. Dies bedeutet, daß die reduzierenden

Bedingungen in der Wassersäule eine entscheidende Rolle bei der Erhaltung und Akkumulation von organischem Material gespielt haben. In dem vorliegenden Datensatz bildet die Probe aus 608 cm Teufe als deutlichstes Beispiel eine Ausnahme, denn hier wurde trotz oxischer Bedingungen in der Wassersäule viel organisches Material akkumuliert. Für diese hohe Akkumulation muß also ein anderer Faktor (z.B. Produktivität, Sedimentationsrate, Adsorption) als der Sauerstoffgehalt der Wassersäule verantwortlich sein. Der umgekehrte Fall (hoher Verhältniswert, niedriger TOC-Gehalt) tritt z.B. bei der Probe aus 192 cm Teufe auf, was sehr ungewöhnlich ist, denn trotz Sauerstoffminimum wurde kaum organisches Material akkumuliert.

Zur Darstellung der zeitlichen Variation des Eintrags wird wieder das Dreieckdiagramm für die Sterole herangezogen. Die Punkte der Oberflächensedimente stellen dabei die jetzige Eintragungssituation dar, die in der Abb. 11 mit einem Kreis gekennzeichnet ist. Die Oberflächensedimente stammen alle aus dem Gebiet des Indus-Fächers. Die Zahlen bezeichnen die Teufe der Kernsedimente.

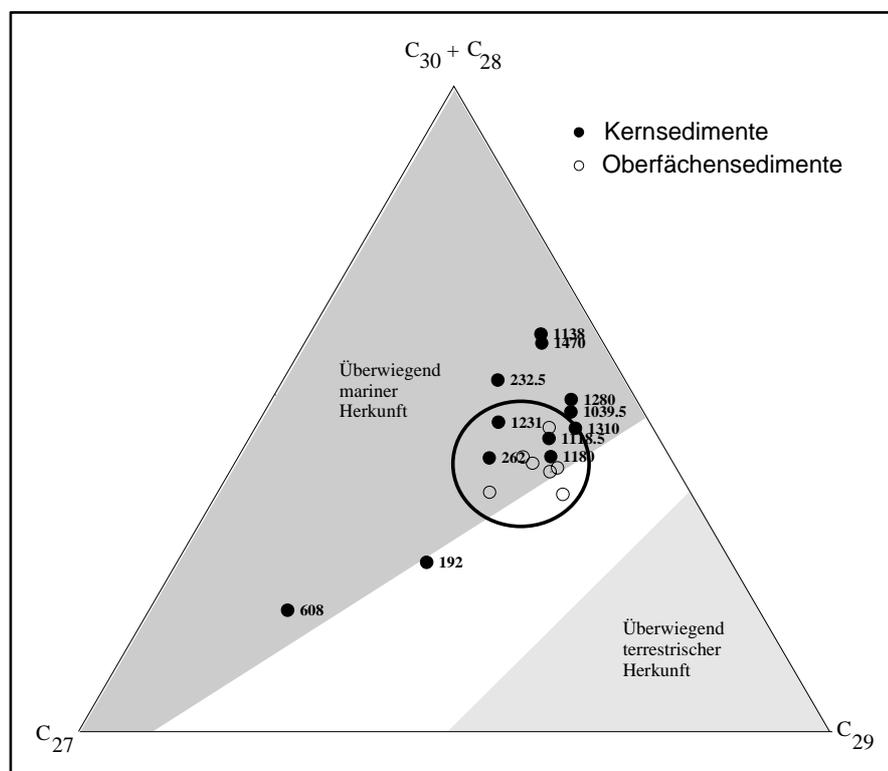


Abb.11: Sterolverteilungen der löslichen Bitumina der Kern- und Oberflächensedimente

Wenn man davon ausgeht, daß Sterolverteilungen innerhalb des Kreises der heutigen Eintragungssituation entsprechen, wird deutlich, daß der Eintrag in das Arabische Meer zeitlichen Variationen unterlag. Dabei wird vorausgesetzt, daß alle Sterole (C<sub>27</sub>-C<sub>30</sub>) in gleichem Maße während der Diagenese abgebaut werden und sich dadurch das Verhältnis zueinander nicht verändert. Auffällig sind wieder die Proben aus 608 cm und aus 192 cm Teufe, die sich sehr deutlich von den anderen untersuchten Proben unterscheiden. Die restlichen Kernsedimente haben einen größeren Anteil an C<sub>28</sub>- und C<sub>30</sub>-Sterolen, was möglicherweise als ein erhöhter mariner Eintrag im Vergleich zum heutigen Eintrag interpretiert werden kann.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß sowohl die Sauerstoffminimumzone als auch der Eintrag signifikanten Variationen in den letzten 65.000 Jahren unterlag. Diese Variationen sind

durch Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse und Änderungen des Monsuns bedingt.

### 3.4. Kohlenwasserstoffpotential

Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine.

### 3.5. Oberflächenwassertemperaturen

In allen Proben konnten C<sub>37</sub>- und C<sub>38</sub>-Methylketone mit zwei bzw. drei Doppelbindungen nachgewiesen werden. Diese von phytoplanktonischen Organismen wie der Coccolithophore *Emiliana huxleyi* stammenden Verbindungen können als Paläoindikatoren zur Berechnung der Meeresoberflächentemperatur (SST) herangezogen werden. Mit dieser empirischen Methode läßt sich eine Beziehung zwischen der Verteilung der C<sub>37</sub>-Methylketone mit unterschiedlichen Unsättigungsgraden und der Meeresoberflächentemperatur herstellen. Zur Berechnung der SST wurde das Verhältnis der C<sub>37:2</sub>-Ketone zur Summe der C<sub>37:2</sub>- und C<sub>37:3</sub>-Ketone, der sogenannte U<sub>37</sub><sup>k</sup>-Index, ermittelt. Der U<sub>37</sub><sup>k</sup>-Index wurde nach folgender Formel zur Meeresoberflächentemperatur in Beziehung gesetzt:

$$U_{37}^k = 0.056 * SST - 0.469$$

Es wurden für 70 Proben des Kolbenlotkerns 136 KL Oberflächenwassertemperaturen berechnet. Die Ergebnisse sind in Abb.12 gegen die Tiefe aufgetragen

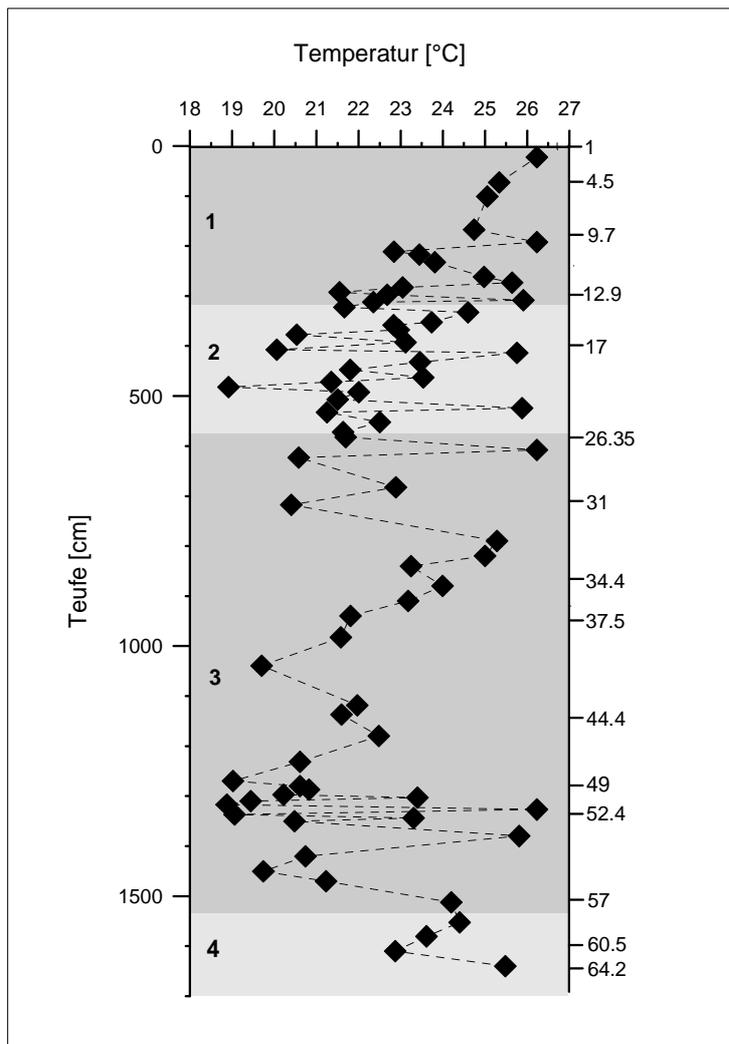


Abb. 12: Berechnete Meeresoberflächentemperaturen für den Kolbenlotkern 136

Die errechneten Oberflächenwassertemperaturen schwanken zwischen 19°C und 26°C und lassen auf signifikante Veränderungen der ozeanographischen Verhältnisse während der letzten 65.000 Jahre schließen. Hohe Temperaturen (26°C) wurden sowohl für die Interglazialstadien als vereinzelt auch für die Zeit des letzten Glazials bestimmt. Auffällig niedrige Temperaturen treten während des letzten glazialen Maximums (vor ca. 18.000 Jahren) und während des als "stage 3 event" bezeichneten Zeitraums auf, was auf mehrere kurzfristige (eventuell auch lokale) Abkühlungsphasen des Arabischen Meeres hindeutet. Heute schwankt die Meeresoberflächentemperatur jahreszeitlich zwischen 25°C und 29°C.

#### 4. Erfolgskontrollbericht

Der Beitrag, der zu förderpolitischen Zielen der deutschen Meeresforschung geleistet wurde, ist dem Abschlußbericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zu entnehmen.

Finanzierung und Zeitplan wurden eingehalten.

#### 5. Publikationen

Die Ergebnisse des Projekts wurden auf verschiedenen Workshops und Tagungen in Form von Postern bzw. Vorträgen vorgestellt. Desweiteren liegen 4 Veröffentlichungen, die bereits erschienen bzw. in Vorbereitung sind, vor. (Einzelheiten siehe beigefügte Berichtsblätter)

Vorträge:

EUG 8 in Straßburg (1995)

Schulte S., Lückge A., Rullkötter J. and Littke R.  
"Organic geochemistry and petrology of sediments in the OMZ off Pakistan"

V.M. Goldschmidt-Tagung Heidelberg (1996)

Schulte S., Rullkötter J. and Cowie G.L.  
"Preservation and early diagenesis of organic matter in sediments from the continental margin off Pakistan"

Poster:

17th international Meeting on Organic Geochemistry; San Sebastian (1995)

Lückge A., Horsfield B., Lallier-Vergès E., Rullkötter J. and Littke R.  
"Organic matter preservation in immature sediments below high-productivity-zones along continental margins (Peru and Oman upwelling areas)"

Veröffentlichungen:

von Rad U., Schulz H. & SONNE 90 Scientific Party (1995)  
Sampling the oxygen minimum zone off Pakistan: Glacial/interglacial variations of anoxia and productivity. *Marine Geology*, 125: 7-19

Schulte S., Rullkötter J., Cowie G.L. (1996)  
Preservation and early diagenesis of organic matter in sediments from the continental margin off Pakistan. *J. Conf. Abs.* 1: 552

Lückge A., Horsfield B., Lallier-Vergès E., Rullkötter J. and Littke R. (1995)  
Organic matter preservation in immature sediments below high-productivity-zones along continental margins (Peru and Oman upwelling areas). *Selected papers from the 17th international Meeting on Organic Geochemistry 4th-8th September 1995*, 869-871

Rullkötter J., et al. (1996)  
Organic matter preservation in surface sediments of the Pakistan continental margin oxygen minimum zone. *Marine Geology* (in prep.)

<b>1. ISBN oder ISSN</b> geplant	<b>2. Berichtsart</b> Schlußbericht
<b>3.a Titel des Berichts</b> Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalhang vor Pakistan. Ablagerung, Erhaltung und Frühdiagenese organischer Substanz unter dem Einfluß hohen terrigen Sedimenteintrags und unter hoher Plaktonproduktivität vor SW-Pakistan- Forschungsfahrt SO 90	
<b>3b. Titel der Publikation</b> Organic matter preservation in surface sediments of the pakistan continental margin oxygen minimumzone	
<b>4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))</b> Schulte, Sonja; Rullkötter, Jürgen; Lückge, Andreas; Littke, Ralf	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.12.1995
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> geplant
<b>4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))</b> Rullkötter, Jürgen; et al. (mehr als 10 Co-Autoren)	<b>7. Form der Publikation</b> Fachzeitschrift
	<b>10. Förderkennzeichen *)</b> 03G009C
<b>8. Durchführende Institutionen</b> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Forschungszentrum Jülich GmbH	<b>11a. Seitenzahl Bericht</b> 19
	<b>11b. Seitenzahl Publikation</b>
<b>13. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBWF) 53170 Bonn	<b>12. Literaturangaben</b>
	<b>14. Tabellen</b>
	<b>15. Abbildungen</b>
<b>16. Zusätzliche Angaben</b>	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b>	
<b>18. Kurzfassung</b> In einem für die Produktion und Erhaltung von organischem Material wichtigen Sedimentationsraum, dem nordöstlichen Arabischen Meer, sollte zwischen terrigenen und marinen Sedimentanteilen quantitativ differenziert werden. Dazu wurden sowohl mikroskopische als auch organisch-geochemische Analysemethoden herangezogen. Diese Untersuchungen sollten zum besseren Verständnis der Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer beitragen. Durch Pauschalanalysen erhält man detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung. Die Ergebnisse der Pauschalanalysen zeigen, daß organisches Material, das innerhalb der Sauerstoffminimumzone (SMZ) abgelagert wurde, besser erhalten bleibt als solches, das ober- oder unterhalb der SMZ zur Ablagerung kam. Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen deuten auf einen überwiegend marinen Eintrag hin, da der Anteil an terrestrischen Mazeralen am gesamten organischen Material sehr gering ist (< 7%). Der größte Teil des organischen Materials ist unstrukturiert (bis zu 95%) und vermutlich marinen Ursprungs. Detaillierte molekulare Untersuchungen geben Aufschluß über die Zusammensetzung der extrahierbaren Lipide. In den untersuchten Oberflächenproben, die innerhalb der SMZ entnommen wurden, sind bestimmte Verbindungen gegenüber anderen angereichert, was auf eine bessere Erhaltung dieser Verbindungen unter reduzierenden Bedingungen hinweist. Die Bitumina der Sedimentproben variieren zeitlich bei verschiedenen Proben eines Kerns in ihrer Zusammensetzung sowohl qualitativ als auch quantitativ, wobei die quantitativen Unterschiede größer sind als die qualitativen. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sowohl der Eintrag als auch die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Variationen unterlag. Als Ursache dafür werden klimatische und ozeanographische Änderungen angenommen. Die Bitumina werden meist von den Fettsäuren dominiert, deren kurzkettige Vertreter überwiegend marinen Ursprungs sind. Die detektierten längerkettigen Fettsäuren, Alkohole und Alkane stammen sowohl aus terrestrischen als auch aus marinen Quellen. Eindeutige Hinweise auf Material marinen Ursprungs geben die Sterole, besonders die C <sub>30</sub> -Sterole, und die Alkandiole. Die Zusammensetzung des organischen Materials spiegelt sich in den Kerogenkonzentraten wider und bestätigt den überwiegend marinen Ursprung des organischen Materials. Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine. Die mit Hilfe der C <sub>37</sub> -Methylketone berechneten Oberflächenwassertemperaturen im Arabischen Meer während der letzten ca. 65.000 Jahre schwanken zwischen 19°C und 26°C, was auf Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse schließen läßt. Die Schwankungen der Oberflächenwassertemperaturen haben möglicherweise einen Einfluß auf die Erhaltung und Akkumulation des organischen Materials in den Sedimenten, da die gemessenen TOC-Gehalte mit den berechneten Temperaturen korrelieren.	
<b>19. Schlagwörter</b>	
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBWF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden

<b>1. ISBN oder ISSN</b> 309 3599	<b>2. Berichtsart</b> Schlußbericht
<b>3.a Titel des Berichts</b> Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalhang vor Pakistan. Ablagerung, Erhaltung und Frühdiagenese organischer Substanz unter dem Einfluß hohen terrigen Sedimenteintrags und unter hoher Plaktonproduktivität vor SW-Pakistan- Forschungsfahrt SO 90	
<b>3b. Titel der Publikation</b> Preservation and early diagenesis of organic matter in sediments from the continental margin off Pakistan	
<b>4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))</b> Schulte, Sonja; Rullkötter, Jürgen; Lückge, Andreas; Littke, Ralf	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.12.1995
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> April 1996
<b>4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))</b> Schulte, Sonja; Rullkötter Jürgen; Cowie Greg L.	<b>7. Form der Publikation</b> Fachzeitschrift
	<b>10. Förderkennzeichen *)</b> 03G009C
<b>8. Durchführende Institutionen</b> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Forschungszentrum Jülich GmbH	<b>11a. Seitenzahl Bericht</b> 19
	<b>11b. Seitenzahl Publikation</b> 1
<b>13. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBWF) 53170 Bonn	<b>12. Literaturangaben</b> 3
	<b>14. Tabellen</b>
	<b>15. Abbildungen</b> 1
<b>16. Zusätzliche Angaben</b>	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b> unter gleichem Titel als Vortrag auf der V.M. Goldschmidt Conference, Heidelberg, 31.03.-04.04.1996	
<b>18. Kurzfassung</b> In einem für die Produktion und Erhaltung von organischem Material wichtigen Sedimentationsraum, dem nordöstlichen Arabischen Meer, sollte zwischen terrigenen und marinen Sedimentanteilen quantitativ differenziert werden. Dazu wurden sowohl mikroskopische als auch organisch-geochemische Analysemethoden herangezogen. Diese Untersuchungen sollten zum besseren Verständnis der Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer beitragen. Durch Pauschalanalysen erhält man detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung. Die Ergebnisse der Pauschalanalysen zeigen, daß organisches Material, das innerhalb der Sauerstoffminimumzone (SMZ) abgelagert wurde, besser erhalten bleibt als solches, das ober- oder unterhalb der SMZ zur Ablagerung kam. Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen deuten auf einen überwiegend marinen Eintrag hin, da der Anteil an terrestrischen Mazeralen am gesamten organischen Material sehr gering ist (< 7%). Der größte Teil des organischen Materials ist unstrukturiert (bis zu 95%) und vermutlich marinen Ursprungs. Detaillierte molekulare Untersuchungen geben Aufschluß über die Zusammensetzung der extrahierbaren Lipide. In den untersuchten Oberflächenproben, die innerhalb der SMZ entnommen wurden, sind bestimmte Verbindungen gegenüber anderen angereichert, was auf eine bessere Erhaltung dieser Verbindungen unter reduzierenden Bedingungen hinweist. Die Bitumina der Sedimentproben variieren zeitlich bei verschiedenen Proben eines Kerns in ihrer Zusammensetzung sowohl qualitativ als auch quantitativ, wobei die quantitativen Unterschiede größer sind als die qualitativen. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sowohl der Eintrag als auch die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Variationen unterlag. Als Ursache dafür werden klimatische und ozeanographische Änderungen angenommen. Die Bitumina werden meist von den Fettsäuren dominiert, deren kurzkettige Vertreter überwiegend marinen Ursprungs sind. Die detektierten längerkettigen Fettsäuren, Alkohole und Alkane stammen sowohl aus terrestrischen als auch aus marinen Quellen. Eindeutige Hinweise auf Material marinen Ursprungs geben die Sterole, besonders die C <sub>30</sub> -Sterole, und die Alkandiole. Die Zusammensetzung des organischen Materials spiegelt sich in den Kerogenkonzentraten wider und bestätigt den überwiegend marinen Ursprung des organischen Materials. Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine. Die mit Hilfe der C <sub>37</sub> -Methylketone berechneten Oberflächenwassertemperaturen im Arabischen Meer während der letzten ca. 65.000 Jahre schwanken zwischen 19°C und 26°C, was auf Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse schließen läßt. Die Schwankungen der Oberflächenwassertemperaturen haben möglicherweise einen Einfluß auf die Erhaltung und Akkumulation des organischen Materials in den Sedimenten, da die gemessenen TOC-Gehalte mit den berechneten Temperaturen korrelieren.	
<b>19. Schlagwörter</b>	
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBWF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden

<b>1. ISBN oder ISSN</b> 0025-3227	<b>2. Berichtsart</b> Schlußbericht
<b>3.a Titel des Berichts</b> Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalhang vor Pakistan. Ablagerung, Erhaltung und Frühdiagenese organischer Substanz unter dem Einfluß hohen terrigen Sedimenteintrags und unter hoher Plaktonproduktivität vor SW-Pakistan- Forschungsfahrt SO 90	
<b>3b. Titel der Publikation</b> Sampling the oxygen minimum zone off Pakistan: glacial-interglacial variations of anoxia and productivity (preliminary results, SONNE 90 cruise)	
<b>4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))</b> Schulte, Sonja; Rullkötter, Jürgen; Lückge, Andreas; Littke, Ralf	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.12.1995
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> 09.03.1995
<b>4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))</b> Von Rad, Ulrich; Schulz, Hartmut; Shipboard Party	<b>7. Form der Publikation</b> Fachzeitschrift
	<b>10. Förderkennzeichen *)</b> 03G009C
<b>8. Durchführende Institutionen</b> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Forschungszentrum Jülich GmbH	<b>11a. Seitenzahl Bericht</b> 19
	<b>11b. Seitenzahl Publikation</b> 13
<b>13. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBWF) 53170 Bonn	<b>12. Literaturangaben</b> 21
	<b>14. Tabellen</b>
	<b>15. Abbildungen</b> 8
<b>16. Zusätzliche Angaben</b>	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b>	
<b>18. Kurzfassung</b> In einem für die Produktion und Erhaltung von organischem Material wichtigen Sedimentationsraum, dem nordöstlichen Arabischen Meer, sollte zwischen terrigenen und marinen Sedimentanteilen quantitativ differenziert werden. Dazu wurden sowohl mikroskopische als auch organisch-geochemische Analysemethoden herangezogen. Diese Untersuchungen sollten zum besseren Verständnis der Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer beitragen. Durch Pauschalanalysen erhält man detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung. Die Ergebnisse der Pauschalanalysen zeigen, daß organisches Material, das innerhalb der Sauerstoffminimumzone (SMZ) abgelagert wurde, besser erhalten bleibt als solches, das ober- oder unterhalb der SMZ zur Ablagerung kam. Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen deuten auf einen überwiegend marinen Eintrag hin, da der Anteil an terrestrischen Mazeralen am gesamten organischen Material sehr gering ist (< 7%). Der größte Teil des organischen Materials ist unstrukturiert (bis zu 95%) und vermutlich marinen Ursprungs. Detaillierte molekulare Untersuchungen geben Aufschluß über die Zusammensetzung der extrahierbaren Lipide. In den untersuchten Oberflächenproben, die innerhalb der SMZ entnommen wurden, sind bestimmte Verbindungen gegenüber anderen angereichert, was auf eine bessere Erhaltung dieser Verbindungen unter reduzierenden Bedingungen hinweist. Die Bitumina der Sedimentproben variieren zeitlich bei verschiedenen Proben eines Kerns in ihrer Zusammensetzung sowohl qualitativ als auch quantitativ, wobei die quantitativen Unterschiede größer sind als die qualitativen. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sowohl der Eintrag als auch die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Variationen unterlag. Als Ursache dafür werden klimatische und ozeanographische Änderungen angenommen. Die Bitumina werden meist von den Fettsäuren dominiert, deren kurzkettige Vertreter überwiegend marinen Ursprungs sind. Die detektierten längerkettigen Fettsäuren, Alkohole und Alkane stammen sowohl aus terrestrischen als auch aus marinen Quellen. Eindeutige Hinweise auf Material marinen Ursprungs geben die Sterole, besonders die C <sub>30</sub> -Sterole, und die Alkandiole. Die Zusammensetzung des organischen Materials spiegelt sich in den Kerogenkonzentraten wider und bestätigt den überwiegend marinen Ursprung des organischen Materials. Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine. Die mit Hilfe der C <sub>37</sub> -Methylketone berechneten Oberflächenwassertemperaturen im Arabischen Meer während der letzten ca. 65.000 Jahre schwanken zwischen 19°C und 26°C, was auf Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse schließen läßt. Die Schwankungen der Oberflächenwassertemperaturen haben möglicherweise einen Einfluß auf die Erhaltung und Akkumulation des organischen Materials in den Sedimenten, da die gemessenen TOC-Gehalte mit den berechneten Temperaturen korrelieren.	
<b>19. Schlagwörter</b>	
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBWF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden

<b>1. ISBN oder ISSN</b> 84-605-3297-6	<b>2. Berichtsart</b> Schlußbericht	
<b>3.a Titel des Berichts</b> Untersuchung einer Sauerstoffminimumzone am oberen Kontinentalhang vor Pakistan. Ablagerung, Erhaltung und Frühdiagenese organischer Substanz unter dem Einfluß hohen terrigen Sedimenteintrags und unter hoher Plaktonproduktivität vor SW-Pakistan- Forschungsfahrt SO 90		
<b>3b. Titel der Publikation</b> Organic matter preservation in immature sediments blow high-productivity-zones alon continental margins (Peru and Oman upwelling areas)		
<b>4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))</b> Schulte, Sonja; Rullkötter, Jürgen; Lückge, Andreas; Littke, Ralf	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.12.1995	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> September 1995
<b>4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))</b> Lückge, Andreas; Horsfield Brian; Lallier-Vergès E.; Rullkötter, Jürgen; Littke, Ralf	<b>7. Form der Publikation</b> Buch	<b>10. Förderkennzeichen *)</b> 03G009C
<b>8. Durchführende Institutionen</b> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Forschungszentrum Jülich GmbH	<b>11a. Seitenzahl Bericht</b>	19
	<b>11b. Seitenzahl Publikation</b>	3
<b>13. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBWF) 53170 Bonn	<b>12. Literaturangaben</b>	8
	<b>14. Tabellen</b>	1
	<b>15. Abbildungen</b>	1
<b>16. Zusätzliche Angaben</b>		
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b> unter oben genanntem Titel als Poster auf dem 17th international meeting on organic geochemistry, San Sebastian, September 1995		
<b>18. Kurzfassung</b> In einem für die Produktion und Erhaltung von organischem Material wichtigen Sedimentationsraum, dem nordöstlichen Arabischen Meer, sollte zwischen terrigenen und marinen Sedimentanteilen quantitativ differenziert werden. Dazu wurden sowohl mikroskopische als auch organisch-geochemische Analysemethoden herangezogen. Diese Untersuchungen sollten zum besseren Verständnis der Sedimentation von organischem Material im Arabischen Meer beitragen. Durch Pauschalanalysen erhält man detaillierte Profile der Anreicherung von organischem Material und dessen Grobzusammensetzung. Die Ergebnisse der Pauschalanalysen zeigen, daß organisches Material, das innerhalb der Sauerstoffminimumzone (SMZ) abgelagert wurde, besser erhalten bleibt als solches, das ober- oder unterhalb der SMZ zur Ablagerung kam. Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen deuten auf einen überwiegend marinen Eintrag hin, da der Anteil an terrestrischen Mazeralen am gesamten organischen Material sehr gering ist (< 7%). Der größte Teil des organischen Materials ist unstrukturiert (bis zu 95%) und vermutlich marinen Ursprungs. Detaillierte molekulare Untersuchungen geben Aufschluß über die Zusammensetzung der extrahierbaren Lipide. In den untersuchten Oberflächenproben, die innerhalb der SMZ entnommen wurden, sind bestimmte Verbindungen gegenüber anderen angereichert, was auf eine bessere Erhaltung dieser Verbindungen unter reduzierenden Bedingungen hinweist. Die Bitumina der Sedimentproben variieren zeitlich bei verschiedenen Proben eines Kerns in ihrer Zusammensetzung sowohl qualitativ als auch quantitativ, wobei die quantitativen Unterschiede größer sind als die qualitativen. Dies ist ein Hinweis darauf, daß sowohl der Eintrag als auch die Sauerstoffminimumzone zeitlichen Variationen unterlag. Als Ursache dafür werden klimatische und ozeanographische Änderungen angenommen. Die Bitumina werden meist von den Fettsäuren dominiert, deren kurzkettige Vertreter überwiegend marinen Ursprungs sind. Die detektierten längerkettigen Fettsäuren, Alkohole und Alkane stammen sowohl aus terrestrischen als auch aus marinen Quellen. Eindeutige Hinweise auf Material marinen Ursprungs geben die Sterole, besonders die C <sub>30</sub> -Sterole, und die Alkandiole. Die Zusammensetzung des organischen Materials spiegelt sich in den Kerogenkonzentraten wider und bestätigt den überwiegend marinen Ursprung des organischen Materials. Während die Gehalte an organischem Material in den Sedimenten am pakistanischen Kontinentalrand im Bereich der Sauerstoffminimumzone hoch sind, ist der Erhaltungszustand durch eine starke mikrobielle Überarbeitung, vermutlich in erster Linie durch sulfatreduzierende Bakterien, stark beeinträchtigt. Das Kohlenwasserstoffbildungspotential derartiger Sedimente ist daher nur als mäßig einzustufen, und die Ablagerungssituation am pakistanischen Kontinentalhang ist daher kein Modellfall für die Bildung besonders guter Erdölmuttergesteine. Die mit Hilfe der C <sub>37</sub> -Methylketone berechneten Oberflächenwassertemperaturen im Arabischen Meer während der letzten ca. 65.000 Jahre schwanken zwischen 19°C und 26°C, was auf Änderungen der ozeanographischen Verhältnisse schließen läßt. Die Schwankungen der Oberflächenwassertemperaturen haben möglicherweise einen Einfluß auf die Erhaltung und Akkumulation des organischen Materials in den Sedimenten, da die gemessenen TOC-Gehalte mit den berechneten Temperaturen korrelieren.		
<b>19. Schlagwörter</b>		
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>	

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBWF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden