

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Das Werk bzw. der Inhalt darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

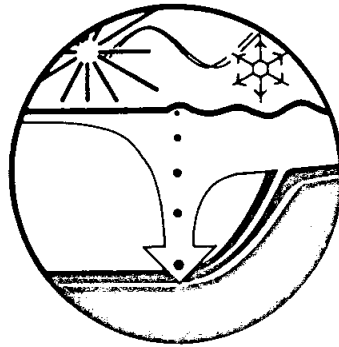
Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

**BERICHTE**

aus dem

**SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313**

**VERÄNDERUNGEN DER UMWELT - DER NÖRDLICHE NORDATLANTIK**



Nr. 29

**Sedimentation im Europäischen Nordmeer:**

Radioisotopische, geochemische und tonmineralogische

Untersuchungen spätquartärer Ablagerungen

HANNO PAETSCH

06. Dez. 1991

Z 945

Nr. 29



**Sedimentation im Europäischen Nordmeer:  
Radioisotopische, geochemische und tonmineralogische  
Untersuchungen spätquartärer Ablagerungen**

**Hanno Paetsch**

## Danksagung

Herrn Professor Dr. Peter Stoffers danke ich herzlichst für die Überlassung und für das stete Interesse am Fortgang der Arbeit.

Herr Dr. Reiner Botz und Herr Dr. Jan Scholten haben in vielen Diskussionen durch wertvolle Anregungen und Ratschläge wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Für die konstruktive und freundliche Betreuung bedanke ich mich.

Mein Dank gilt weiterhin:

- Frau Anke Spies und Frau Inge Dold für die gewissenhafte Durchführung der Radionuklidbestimmungen.
- Herrn Dr. Ed Boyle (MIT, Boston) für die Unterrichtung und Hilfe bei der Reinigung von Foraminiferenschalen, sowie für die Möglichkeit, einen Teil der Analysen in seinem Labor durchführen zu können.
- Herrn Dr. Bernhard Lapp für die gute Zusammenarbeit, sowie insbesondere für die kritische Durchsicht des Manuskripts.
- Herrn Diplom-Geologen Frank Blaume für die Hilfestellung in computertechnischen Fragen, sowie für die Durchsicht des Manuskripts.
- Herrn Thomas Körner für die Einführung und die Unterstützung bei der Elementbestimmung mit der Atomabsorptionspektrometrie.
- Herrn Dr. Walter Plüger (RWTH Aachen) für die geochemischen Analysen an der Röntgenfluoreszenz-Anlage.
- Herrn Dr. Heinz Lange und Frau Petra Fiedler für die Durchführung der Tonmineralanalysen am Röntgendiffraktometer.
- Den Herren Eduard Gossner, Gregor Neunzert und Hinrich Schäfer, sowie Herrn Diplom-Geologen Gerhard Seiffert für die Unterstützung bei sedimentologischen Arbeiten.
- Frau Diplom-Geologin Mara Hahn, Frau Dr. Heidemarie Kassens und Frau Dr. Elke Vogelsang für die Überlassung unveröffentlichten Datenmaterials.
- Der Besatzung des Forschungsschiffes METEOR für die gute Zusammenarbeit an Bord.
- Den Kollegen und Freunden des Sonderforschungsbereiches 313 für die freundliche Aufnahme und fachübergreifende Gespräche.
- Angelika für die Geduld und Alina für die Ablenkung.
- Der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 313.

## Inhaltsverzeichnis

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Einleitung  | 1  |
| 1.1     | Zielsetzung und Strategie   | 2  |
| 1.2     | Arbeitsgebiet   | 3  |
| 1.2.1   | Hydrographie  | 4  |
| 1.2.2   | Paläo-Ozeanographie   | 5  |
| 1.3     | Grundlagen  | 6  |
| 1.3.1   | Die Datierung spätquartärer Sedimente mit der $^{230}\text{Th}$ -Methode                        | 6  |
| 1.3.1.1 | Quellen von $^{230}\text{Th}$ im Meerwasser   | 7  |
| 1.3.1.2 | Vertikaler Transport von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule                                   | 7  |
| 1.3.1.3 | Lateraler Transport von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule                                    | 7  |
| 1.3.1.4 | Advektion   | 9  |
| 1.3.1.5 | Eddy-Diffusion  | 9  |
| 1.3.1.6 | Verweilzeiten von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule  | 10 |
| 1.3.1.7 | $^{230}\text{Th}$ im Sediment   | 10 |
| 1.3.2   | Cd-Gehalte in den Karbonatschalen benthischer Foraminiferen                                     | 11 |
| 2       | Probenmaterial  | 12 |
| 2.1     | Oberflächenproben   | 12 |
| 2.2     | Sedimentkerne   | 12 |
| 3       | Methodik  | 14 |
| 3.1     | Korngrößen  | 14 |
| 3.2     | Tonminerale   | 14 |
| 3.3     | $\text{CaCO}_3$ , $C_{\text{org}}$  | 14 |
| 3.4     | Geochemie   | 14 |
| 3.5     | Cd-Gehalte in Foraminiferenschalen  | 15 |
| 3.6     | Radionuklide  | 18 |
| 4       | Mathematische Modelle zur Berechnung von Sedimentaltern, Akkumulations- und Sedimentationsraten | 21 |
| 4.1     | Akkumulationsraten von Oberflächensedimenten  | 21 |
| 4.2     | Mittlere Sedimentationsraten  | 23 |
| 4.3     | Sedimentalter, Akkumulations- und Sedimentationsraten nach dem "constant-flux" Modell           | 24 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5     | Ergebnisse  | 26 |
| 5.1   | Korngrößen  | 26 |
| 5.2   | Tonminerale   | 26 |
| 5.3   | CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub>  | 29 |
| 5.4   | Geochemie   | 31 |
| 5.5   | Cd-Gehalte in Foraminiferenschalen  | 33 |
| 5.6   | Radionuklide  | 34 |
| 6     | Diskussion  | 42 |
| 6.1   | Mineralogische und geochemische Zusammensetzung der<br>Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres               | 42 |
| 6.2   | Akkumulationsraten von Oberflächensedimenten  | 49 |
| 6.3   | Sedimentdatierung   | 55 |
| 6.4   | Veränderungen in der Akkumulation von <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub>   | 61 |
| 6.5   | Variationen der geochemischen und mineralogischen<br>Zusammensetzung in den Sedimentkernen                            | 66 |
| 6.6   | Paläozeanographische Implikationen  | 70 |
| 6.6.1 | Geochemische und tonmineralogische Veränderungen in den Sedimenten<br>der Norwegischen See während der Termination II | 70 |
| 6.6.2 | Die Sedimentation in der Grönländischen See (GIK 23294)   | 72 |
| 7     | Zusammenfassung   | 74 |
| 8     | Abstract  | 75 |
| 9     | Literatur   | 76 |
|       | Anhang  |    |

---

# 1 Einleitung

Die Eigenschaften und Auswirkungen der ozeanischen Zirkulation im Europäischen Nordmeer sind von entscheidender Bedeutung für das Klima in Nordwest-Europa und für die Tiefenwasserzirkulation des gesamten Weltmeeres (Broecker & Peng 1982, Crowley 1989). Die Rekonstruktion der Entwicklungsgeschichte dieses Ozeanbeckens ist daher für das Verständnis der globalen Klimaentwicklung besonders wichtig und ein Ziel des Sonderforschungsbereiches 313 "Veränderungen der Umwelt: Der nördliche Nordatlantik" an der Universität Kiel.

In den Ablagerungen am Meeresboden wird die Geschichte des Ozeans festgehalten. Marine Sedimente stellen somit das "Gedächtnis des Meeres" dar (Seibold 1991). Um anhand dieser Sedimente die Entwicklungsgeschichte des Europäischen Nordmeeres rekonstruieren zu können, ist es notwendig, eine möglichst genaue zeitliche Kontrolle über die Sedimentation zu besitzen.

Die Datierung von spätquartären Sedimenten mit Hilfe der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie, bei der das Sauerstoffisotopenverhältnis in Foraminiferenschalen als Indikator für das globale Eisvolumen gemessen wird (Shackleton & Opdyke 1973, Prell et al. 1986, Martinson et al. 1987), ist aus zwei Gründen in den Sedimenten hoher Breiten oft nicht möglich. Zum einen kommt es hier aufgrund der geringen oder fehlenden biologischen Produktion, besonders in Glazialzeiten, nicht zur Ablagerung von Foraminiferenschalen in den Sedimenten (z.B. Ramm 1988, Vogelsang 1990). Zum anderen werden die Sauerstoffisotopenverhältnisse in den Foraminiferenschalen durch das Auftreten kurzfristiger und lokaler Temperatur- und Salinitätsschwankungen im Meerwasser beeinflusst (z.B. Duplessy et al. 1975, Kellogg et al. 1978, Streeter et al. 1982, Köhler & Spielhagen 1990). Diese Beeinflussungen erschweren die für die Datierung notwendige Korrelation mit der "globalen" Sauerstoffisotopen-Kurve (z.B. Martinson et al. 1987).

Einen alternativen Ansatz für die Datierung spätquartärer Sedimente bietet die  $^{230}\text{Th}$ -Methode. Mit dieser Methode können Sedimente bis zu einem Alter von 300.000 Jahren datiert werden (Mangini 1984). Für Sedimente mit relativ gleichmäßigen Ablagerungsbedingungen wird die  $^{230}\text{Th}$ -Methode bereits seit längerem erfolgreich angewendet (Goldberg & Koide 1962, Ku 1976, Mangini 1984). Inwieweit die  $^{230}\text{Th}$ -Methode in Gebieten mit einer sehr wechselhaften Sedimentationsgeschichte eingesetzt werden kann, ist noch wenig bekannt. Erste Untersuchungen zeigten, daß die  $^{230}\text{Th}$ -Konzentrationen in den Sedimenten hoher Breiten starke Variationen aufweisen (Botz et al. 1989, Somayajulu et al. 1989, Eisenhauer et al. 1990). Obwohl sich diese Variationen zum Teil großräumig korrelieren lassen (Botz et al. 1989, Eisenhauer 1990, Scholten et al. 1990), konnte deren Ursache bisher noch nicht zufriedenstellend geklärt werden.

## 1.1 Zielsetzung und Strategie

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht die Frage, inwieweit die  $^{230}\text{Th}$ -Methode als eigenständige Datierungsmethode im Europäischen Nordmeer eingesetzt werden kann. Durch einen direkten Vergleich mit anderen Datierungsmethoden müssen hierfür konkret folgende Fragen beantwortet werden:

- (wie genau) lassen sich die Sedimente des Europäischen Nordmeeres mit der  $^{230}\text{Th}$ -Methode datieren ?
- welche Prozesse sind für die beobachteten  $^{230}\text{Th}$ -Variationen in den Sedimenten verantwortlich ?
- ermöglicht die Verteilung der natürlichen Radionuklide in den Sedimenten Aussagen über verschiedene Sedimentationsprozesse (z.B. Mangini & Kühnel 1986, Mangini et al. 1987, Suman & Bacon 1989, Francois et al. 1990) ?

Durch die Untersuchungen innerhalb des Sonderforschungsbereiches 313 konnte die Vorstellung über die regionale Verteilung einzelner, insbesondere der biogenen und grobklastischen, Sedimentkomponenten im Europäischen Nordmeer und ihre zeitlichen Variationen innerhalb der letzten Glazial-Interglazialzyklen erheblich verbessert werden (z.B. Henrich et al. 1989, Baumann 1990, Bischof 1990).

Die Frage nach der Herkunft und Zusammensetzung der feinkörnigen, nicht biogenen Sedimentkomponenten, die einen wesentlichen Bestandteil der Sedimente darstellen, konnte mit den bisher angewandten Methoden nicht beantwortet werden. In der vorliegenden Arbeit soll deshalb untersucht werden, ob geochemische und tonmineralogische Methodenansätze zur Klärung dieser Frage beitragen können. Hierfür sollen zunächst durch die Untersuchung von Oberflächensedimenten die rezenten Sedimentationsprozesse beschrieben werden, die die mineralogische und geochemische Zusammensetzung der Sedimente bestimmen. An ausgewählten Sedimentkernabschnitten soll dann gezeigt werden, welche paläozeanographische Aussagekraft diese Untersuchungsmethoden besitzen können.

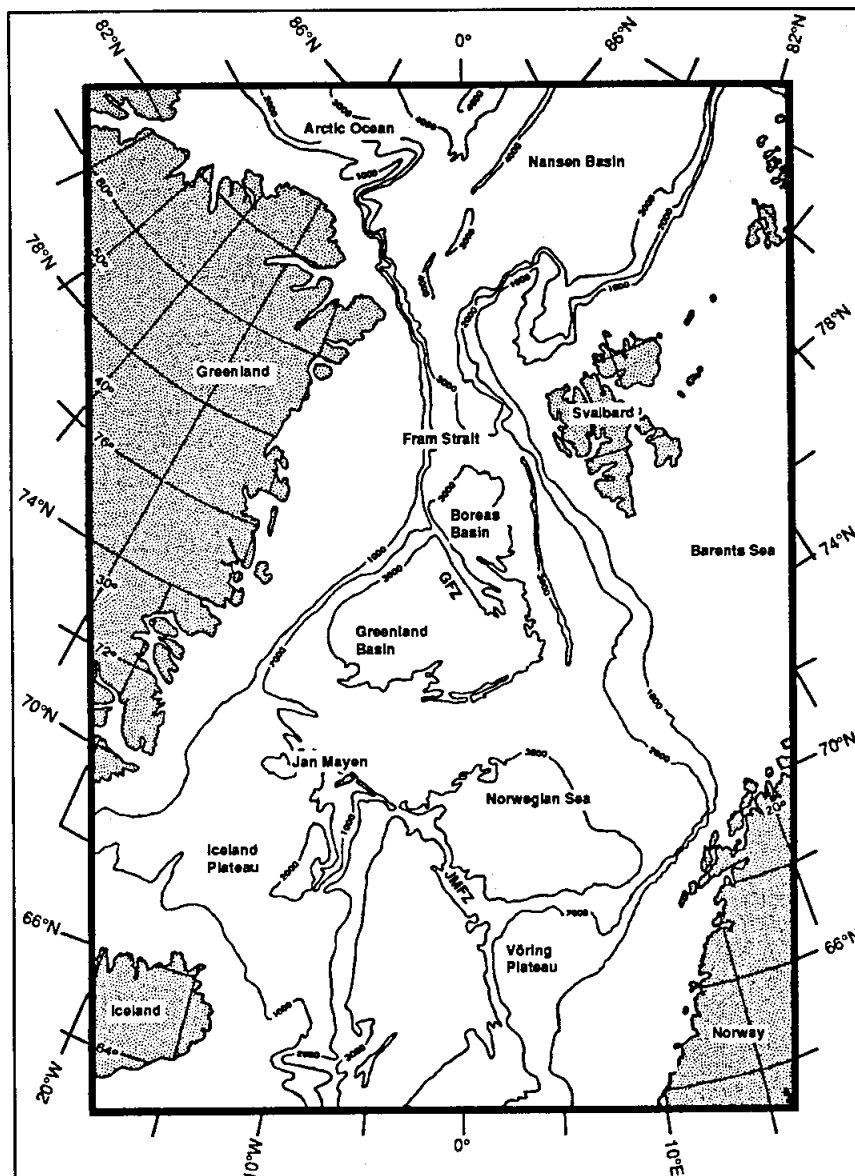
Im einzelnen wird versucht, folgende Fragen zu beantworten:

- ermöglicht die chemische oder tonmineralogische Zusammensetzung der Sedimente im Europäischen Nordmeer die Differenzierung in einzelne Sedimentkomponenten und Aussagen über deren Herkunft (z.B. Bischoff et al. 1979, Dymond 1982) ?
- können anhand des Cd-Gehaltes in den Karbonatschalen benthischer Foraminiferen, Aussagen über die Tiefenwasserbildung im Europäischen Nordmeer gemacht werden (z.B. Boyle 1981, Hester & Boyle 1982, Boyle & Keigwin 1982, Delaney 1983, Boyle 1988, Boyle 1990) ?



## 1.2 Arbeitsgebiet

Das zwischen Grönland und Skandinavien gelegene Europäische Nordmeer wird im Süden durch den Island-Faröer-Rücken begrenzt. Die nördliche Begrenzung bildet die Framstraße und der Barentsschelf. Die Morphologie ist durch plattentektonische Strukturen geprägt. Durch den Mittelatlantischen Rücken (Kolbeinsey-, Mohns- und Knipovich-Rücken) sowie durch die Jan Mayen- und Grönland-Verwerfungszone wird das Europäische Nordmeer in mehrere große Becken (Norwegen- und Lofoten-Becken, Island-Plateau, Grönland- und Boreas-Becken) unterteilt (Abb. 1; Hurdle 1986).

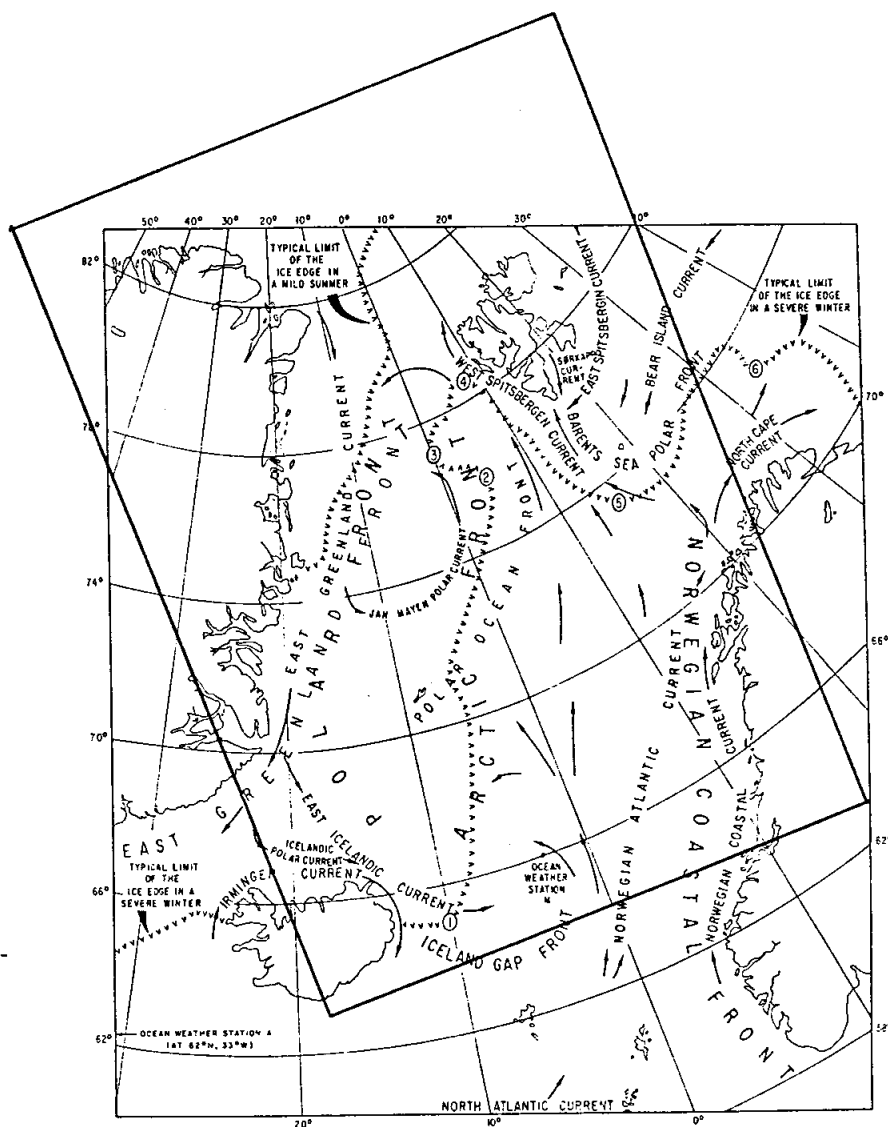


**Abbildung 1** : Vereinfachte Darstellung der Morphologie im Europäischen Nordmeer; die Bathymetrie ist durch 1000 m - Tiefenlinien gekennzeichnet; GFZ: Grönland Fracture Zone; JMFZ: Jan Mayen Fracture Zone.

## 1.2.1 Hydrographie

Im Europäischen Nordmeer ist die gegenwärtige Hydrographie geprägt durch ein zyklonales Zirkulationsmuster, das durch zwei Hauptstromsysteme (Norwegen- und Ostgrönlandstrom) charakterisiert wird (Abb. 2). Auf der Ostseite des Europäischen Nordmeeres fließt mit dem Norwegenstrom, der nördlichen Fortsetzung des Golfstromes, relativ warmes und salzreiches atlantisches Wasser nach Norden (Swift & Aargard 1981). Auf der Westseite des Europäischen Nordmeeres bringt der Ostgrönlandstrom bis unter 0° kaltes, mit Packeis beladenes, relativ salzarmes arktisches Wasser nach Süden (Swift & Aargard 1981). Jeweils durch abdriftende Wassermassen des Ostgrönlandstroms werden zwei zyklonale Wirbel erzeugt. Nördlich von Jan Mayen bildet sich, besonders ausgeprägt im Winter, der Wirbel des Jan-Mayen-Polarstroms (Carmack & Aargard 1973). Der zweite Wirbel bildet den Ostislandstrom zwischen Jan Mayen und Island (Swift & Aargard 1981).

Im nördlichen Europäischen Nordmeer wird das salzreiche Oberflächenwasser des Norwegenstroms durch kalte Winde aus Grönland soweit abgekühlt, daß es absinken kann (Swift & Koltermann 1988). Es bildet den Hauptteil des Nordatlantischen Tiefenwassers, das die tiefen Bereiche sämtlicher Ozeane mit Sauerstoff versorgt und dabei bis in den Nord-Pazifik vordringt (Reid & Linn 1971).



**Abbildung 2:** Hydrographie im Europäischen Nordmeer, aus: Hurdle 1986; der eingezeichnete Rahmen entspricht dem Ausschnitt in Abbildung 1.



## 1.3 Grundlagen

### 1.3.1 Die Datierung spätquartärer Sedimente mit der $^{230}\text{Th}$ -Methode

$^{230}\text{Th}$  ist ein natürliches Radionuklid der  $^{238}\text{U}$ -Zerfallsreihe mit einer Halbwertszeit von 75.400 Jahren (Seelmann-Eggebert et al. 1981; Abb. 4).

| Element      | U-238 Series                       |                       |                                     |  | Th-232 Series                          |                       |                        |                                       | U-235 Series                       |                                     |  |                                    |
|--------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| Neptunium    |                                    |                       |                                     |  |  |                       |                        |                                       |                                    |                                     |  |                                    |
| Uranium      | U-238<br>$4,47 \times 10^9$<br>yrs |                       | U-234<br>$2,48 \times 10^5$<br>yrs  |  |  |                       |                        |                                       | U-235<br>$7,04 \times 10^8$<br>yrs |                                     |  |                                    |
| Protactinium |                                    | Pa-234<br>1,18<br>min |                                     |  |  |                       |                        |                                       |                                    | Pa-231<br>$3,25 \times 10^4$<br>yrs |  |                                    |
| Thorium      | Th-234<br>24,1<br>days             |                       | Th-230<br>$7,52 \times 10^4$<br>yrs |  | Th-232<br>$1,40 \times 10^{10}$<br>yrs |                       | Th-228<br>1,91<br>yrs  |                                       | Th-231<br>25,5<br>hrs              |                                     | Th-227<br>18,7<br>days                 |                                    |
| Actinium     |                                    |                       |                                     |  |  | Ac-228<br>6,13<br>hrs |                        |                                       |                                    | Ac-227<br>21,8<br>yrs               |  |                                    |
| Radium       |                                    |                       | Ra-226<br>$1,62 \times 10^3$<br>yrs |  | Ra-228<br>5,75<br>yrs                  |                       | Ra-224<br>3,66<br>days |                                       |                                    |                                     | Ra-223<br>11,4<br>days                 |                                    |
| Franclium    |                                    |                       |                                     |  |  |                       |                        |                                       |                                    |                                     |  |                                    |
| Radon        |                                    |                       | Rn-222<br>3,82<br>days              |  |  |                       | Rn-220<br>55,6<br>sec  |                                       |                                    |                                     | Rn-219<br>3,96<br>sec                  |                                    |
| Astatine     |                                    |                       |                                     |  |  |                       |                        |                                       |                                    |                                     |  |                                    |
| Polonium     |                                    |                       | Po-218<br>3,05<br>min               | Po-214<br>$1,64 \times 10^{-4}$<br>sec | Po-210<br>138<br>days                  |                       | Po-216<br>0,15<br>sec  | Po-212<br>$3,0 \times 10^{-7}$<br>sec |                                    |                                     | Po-215<br>$1,78 \times 10^{-5}$<br>sec |                                    |
| Bismuth      |                                    |                       | Bi-214<br>19,7<br>min               |  | Bi-210<br>5,01<br>days                 |                       | Bi-212<br>60,6<br>min  |                                       |                                    |                                     | Bi-211<br>2,15<br>min                  |                                    |
| Lead         |                                    |                       | Pb-214<br>26,8<br>min               | Pb-210<br>22,3<br>yrs                  | Pb-206<br>stable lead<br>(isotope)     |                       | Pb-212<br>10,6<br>hrs  | Pb-208<br>stable lead<br>(isotope)    |                                    |                                     | Pb-211<br>36,1<br>min                  | Pb-207<br>stable lead<br>(isotope) |
| Thallium     |                                    |                       |                                     |  |  |                       | Tl-208<br>3,05<br>min  |                                       |                                    |                                     | Tl-207<br>4,77<br>min                  |                                    |

Abbildung 4 : Die drei natürlichen Zerfallsreihen, aus: Broecker & Peng 1982.

Die Kenntnis über das Verhalten von  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule und im Sediment bildet die Grundlage der  $^{230}\text{Th}$ -Methode. Im folgenden ist deshalb der Kenntnisstand, wie er sich in der neueren Literatur darstellt, zusammengefasst.

### 1.3.1.1 Quellen von $^{230}\text{Th}$ im Meerwasser

Im Meerwasser entsteht  $^{230}\text{Th}$  durch den radioaktiven Zerfall von  $^{234}\text{U}$ . Uran ist als konservatives Element im Meerwasser mit einer Konzentration von  $3,3 \pm 0,2 \mu\text{g/l}$  homogen verteilt, das Aktivitäts-Verhältnis von  $^{234}\text{U}$  zu  $^{238}\text{U}$  beträgt konstant 1,14 (Ku et al. 1977). Aufgrund der langen Verweilzeit von Uran im Meerwasser (500.000 Jahre; Broecker & Peng 1982) kann davon ausgegangen werden, daß sich die Konzentration von  $^{234}\text{U}$  in dem mit  $^{230}\text{Th}$  datierbaren Zeitraum (300.000 Jahre, Mangini 1984) nicht verändert hat. Aus der Uran-Konzentration läßt sich für  $^{230}\text{Th}$  eine räumlich und zeitlich konstante Produktion von  $26,3 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{ka}^{-1}$  berechnen (Bacon 1984b). Der fluviatile Eintrag von  $^{230}\text{Th}$  ins Meerwasser beträgt nach Moore (1967, zitiert in Burton 1975) weniger als 4% und ist im offenen Ozean zu vernachlässigen (Mangini 1984).

Die Verteilung von  $^{230}\text{Th}$  im Meerwasser wird durch verschiedene (Transport-)Prozesse gesteuert. Prinzipiell läßt sich dabei ein **vertikaler Transport** von einem **lateralen Transport** unterscheiden.

### 1.3.1.2 Vertikaler Transport von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule

Der vertikale Abtransport von gelösten Stoffen aus der Wassersäule in das Sediment wird im Englischen als **Scavenging** (Goldberg 1954) bezeichnet. Dieser Begriff umfaßt sowohl die Anlagerung an Partikel als auch deren Abtransport aus der Wassersäule. Das konzeptionelle Modell für den vertikalen Transport von  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule ist in Abbildung 5 (auf der folgenden Seite) erläutert.

Die in Abbildung 5 erläuterten Veränderlichkeiten in den Flußraten zwischen den einzelnen Kompartimenten zeigen, daß der Eintrag von  $^{230}\text{Th}$  in das Sediment zeitlich variieren kann. Dies konnte unter anderem auch durch Sedimentfallenuntersuchungen in der Labrador-See (Bacon et al. 1985) und in der Bransfield-Straße (Rutgers van der Loeff & Berger 1989) gezeigt werden. Aufgrund von Schwankungen in der Partikelsedimentation unterliegt der  $^{230}\text{Th}$ -Fluß hier innerannuellen und interannuellen Schwankungen.

### 1.3.1.3 Lateraler Transport von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule

Der laterale Transport von  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule ist in gelöster und in partikulärer Form möglich. Hierbei können prinzipiell zwei Transportmechanismen unterschieden werden.

Zum einen kann es durch Meeresströmungen zu einer **Advektion** (im Sinne eines gerichteten Transports) von  $^{230}\text{Th}$  kommen.

Zum anderen ist ein lateraler Transport von  $^{230}\text{Th}$  im Meerwasser durch ungerichtete turbulente Mischungsprozesse möglich. Dieser Transport von vorwiegend gelösten Stoffen wird als **Eddy-Diffusion** bezeichnet (Anderson et al. 1983b, Eisenhauer 1990).

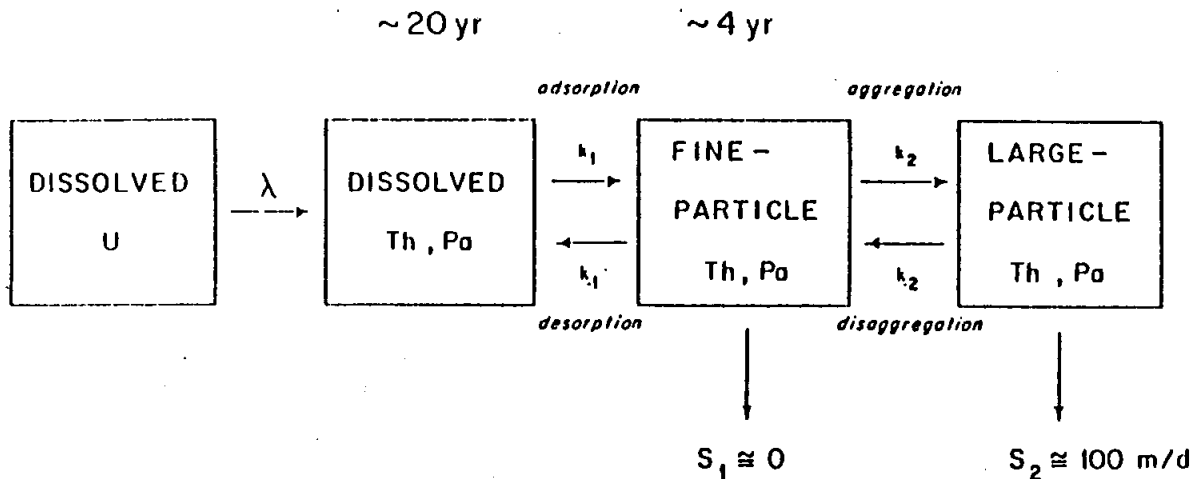


Abbildung 5 :Transportmodell für  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule, aus: Bacon 1984a;

Das Modell berücksichtigt zwei Gruppen von unterschiedlich großen Partikeln. Die einzelnen Kompartimente werden dabei methodisch definiert (Mangini 1984, Bacon et al. 1985, Chester 1990).

Das an kleine Partikel (**fine particles**) gebundene  $^{230}\text{Th}$  wird vom gelösten  $^{230}\text{Th}$  durch Filtration von Seewasser getrennt (Mangini 1984). Die kleinen Partikel bestimmen fast ausschließlich die Partikelkonzentration im Meerwasser (Bacon et al. 1985).

Die großen Partikel (**large particles**) werden in Sedimentfallen gewonnen (Bacon et al. 1985). In diesem Kompartiment werden Aggregate ("marine snow") und Kotpillen ("fecal pellets") zusammengefaßt. Für die Betrachtung der Partikelkonzentration im Meerwasser sind diese Partikel zu vernachlässigen.

Die Verteilung von  $^{230}\text{Th}$  zwischen gelöster und partikulärer Phase wird durch das Verhältnis **Adsorption/Desorption**  $k_1/k_{-1}$  bestimmt.

Aufgrund der hohen Partikelreaktivität von Thorium (Anderson 1981) ist die Adsorptionsrate  $k_1$  sehr hoch, d.h. das aus dem  $^{234}\text{U}$ -Zerfall entstandene  $^{230}\text{Th}$  wird vergleichsweise schnell an Partikel angelagert. Dies führt dazu, daß in den meisten Meeresgebieten ein Gleichgewicht zwischen gelöster und adsorbierter Phase, entsprechend zwischen Desorption und Adsorption von  $^{230}\text{Th}$ , besteht (Mangini 1984, Nozaki et al. 1987, Chester 1990). In der Regel liegen dann zwischen 14 und 38 % der  $^{230}\text{Th}$ -Gesamtaktivität im Meerwasser in der partikulären Phase vor (Bacon & Anderson 1982, Nozaki et al. 1987).

Das Gleichgewicht zwischen Adsorption und Desorption wird beeinflusst durch die Partikelkonzentration und durch die Partikelart. In beiden Fällen ist die Adsorptionsrate die veränderliche Größe (Bacon & Anderson 1982, Nyffeler et al. 1986, Nozaki et al. 1987). Nach Honeyman (1988) steigt mit zunehmender Partikelkonzentration die Adsorptionsrate von  $^{230}\text{Th}$  ( $k_1$ ) exponentiell an.

Aufgrund der geringen Partikelkonzentration im Arktischen Ozean ( $< 6\mu\text{g/l}$ , Bacon et al. 1989) sind dort die Adsorptionsraten geringer als im Nord-Atlantik. Dies führt dazu, daß im Arktischen Ozean nur 3 bis 10% der Gesamtaktivität an Partikel gebunden sind (Bacon et al. 1989).

Inwieweit die  $^{230}\text{Th}$ -Adsorption von der Partikelart abhängt, wird kontrovers diskutiert. Verschiedene Untersuchungen deuten darauf hin, daß  $^{230}\text{Th}$  bevorzugt an Mn-Hydroxide (Anderson et al. 1983a, Shimmield & Price 1988, Mangini et al. 1990), Fe-Hydroxide (Li 1982, Mangini 1984) und/oder organische Substanz (Bacon et al. 1985) adsorbiert wird.

Das Verhältnis **Aggregation/Disaggregation**  $k_2/k_{-2}$  hängt in erster Linie von der biologischen Aktivität im Oberflächenwasser ab. Da die biologische Aktivität sowohl regional als auch saisonal sehr variabel ist, können auch die Aggregations- und Disaggregationsraten variieren (Nozaki et al. 1987).

Die durchschnittliche Sinkgeschwindigkeit der feinen Partikel ( $S_1$ ) beträgt 300 bis 1000 m/Jahr (McCave 1975, Honjo 1986, Chester 1990) und führt damit nicht zu einem signifikanten vertikalen Abtransport von  $^{230}\text{Th}$  aus der Wassersäule (Bacon et al. 1985).

Die Sinkgeschwindigkeit der großen Partikel ( $S_2$ ), die letztendlich für die Sedimentation von  $^{230}\text{Th}$  verantwortlich ist, liegt zwischen 20 und 900 m/Tag (Fowler & Knauer 1986). Sie beträgt nach Bacon (1984a) durchschnittlich 100 m/Tag.

#### 1.3.1.4 Advektion

$^{230}\text{Th}$  kann durch Meeresströmungen sowohl in gelöster als auch in partikulärer Form transportiert werden.

Eine Advektion von mit  $^{230}\text{Th}$  angereichertem Wasser vermuten Bacon et al. (1989) aus der Arktis in angrenzende Meeresgebiete, beispielsweise in die Grönländische See. Dieser laterale Transport von  $^{230}\text{Th}$  könnte dann in der Arktis zu einer geringeren und entsprechend in der Grönländischen See zu einer erhöhten  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation im Sediment (gegenüber der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule) führen.

Die Konzentration von partikulär gebundenem  $^{230}\text{Th}$  nimmt in der Wassersäule von oben nach unten zu (Moore 1981, Mangini & Key 1983, Nozaki et al. 1987). Dies führt dazu, daß bodennahe Strömungen besonders viel partikuläres  $^{230}\text{Th}$  transportieren können. Aufgrund der geringen  $^{230}\text{Th}$ -Konzentrationen im Oberflächenwasser führen Oberflächenströmungen nicht zu einem signifikanten lateralen Transport von  $^{230}\text{Th}$  im Ozean.

Die advective Zufuhr von partikulärem  $^{230}\text{Th}$  ist dabei immer mit einem zusätzlichen Eintrag von Sediment verbunden, dieser wird im Englischen, als **Sediment focusing** bezeichnet (Suman & Bacon 1989, Francois et al. 1990). Der laterale Sedimenteintrag kann sowohl aus umgelagertem als auch aus noch nicht abgelagertem Sediment bestehen. Entscheidend für die Akkumulation von  $^{230}\text{Th}$  im Sediment ist dabei die laterale Zufuhr von  $^{230}\text{Th}$  (und nicht primär die Menge des zugeführten Materials). Die  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation im Sediment setzt sich dann zusammen aus der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule und der lateralen  $^{230}\text{Th}$ -Zufuhr. Die laterale Zufuhr von  $^{230}\text{Th}$  kann dabei die  $^{230}\text{Th}$ -Produktion um mehr als das zehnfache übersteigen (Suman & Bacon 1989).

Im Gegensatz zum Sediment focusing führt ein lateraler Export von partikulär gebundenem  $^{230}\text{Th}$  zu einer geringeren  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation im Sediment (verglichen mit der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule). Der damit verbundene laterale Abtransport von Sediment aus der Wassersäule wird im Englischen als **Winnowing** bezeichnet. Der Begriff schließt sowohl eine durch Bodenströmungen verursachte (teilweise) Sedimenterosion als auch eine verminderte Sedimentation durch Meeresströmungen ein.

#### 1.3.1.5 Eddy-Diffusion

Bedingt durch unterschiedliche Partikelkonzentrationen, und damit unterschiedlichen Scavenging-Raten kann es zur Ausbildung von horizontalen Gradienten der  $^{230}\text{Th}$ -Aktivität im Meerwasser kommen. Diese Gradienten können durch Eddy-Diffusion ausgeglichen werden (Anderson et al. 1983b, Mangini 1984, Eisenhauer 1990). Die Folge ist dann ein Export von vorwiegend gelöstem  $^{230}\text{Th}$  aus Gebieten mit geringen Scavenging-Raten in Gebiete mit hohen Scavenging-Raten. So wurde ein erhöhter (gegenüber dem aus der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule erwarteten)  $^{230}\text{Th}$ -Fluß in die Sedimente in Gebieten mit hohen Partikelflüssen, beispielsweise rezent im Panama Becken (Anderson et al. 1983b) und in der Antarktischen Konvergenzzone (DeMaster 1981), beobachtet. In beiden Fällen wird das überschüssige  $^{230}\text{Th}$  lateral aus Gebieten mit geringen Scavenging-Raten herantransportiert.

Der Einfluß der Eddy-Diffusion auf die Verteilung von  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule und auf die

$^{230}\text{Th}$ -Akkumulation im Sediment wird sehr unterschiedlich beurteilt. Anderson et al. (1983b) schließen aus  $^{230}\text{Th}$ -Messungen im Nord-Pazifik, daß selbst bei den dort vorliegenden sehr niedrigen Scavenging-Raten durch Eddy-Diffusion nur ein Viertel der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion lateral in Gebiete mit erhöhter Scavenging-Rate transportiert wird ("boundary scavenging", Anderson et al. 1983b). Daraus wurde abgeleitet, daß der Einfluß der Eddy-Diffusion auf die  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation im Sediment relativ gering ist (Anderson et al. 1990, Francois et al. 1990).

Mangini & Diester-Haass (1983) kommen dagegen zu dem Schluß, daß die von ihnen beobachtete bis zu vierfach (gegenüber der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule) erhöhte  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation in quartären Sedimenten vor West-Afrika durch eine eddy-diffusive Zufuhr von  $^{230}\text{Th}$  erklärt werden kann. Auch Eisenhauer (1990) führt die bis zu zehnfach (gegenüber der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule) erhöhte  $^{230}\text{Th}$ -Akkumulation in Sedimenten des Nord-Pazifiks auf eine laterale  $^{230}\text{Th}$ -Zufuhr durch Eddy-Diffusion zurück.

#### 1.3.1.6 Verweilzeiten von $^{230}\text{Th}$ in der Wassersäule

Die mittlere Verweilzeit von  $^{230}\text{Th}$  im Ozean liegt zwischen 5 und 40 Jahren (Anderson 1981). Nach Bacon (1984a) beträgt die durchschnittliche Verweilzeit von gelöstem  $^{230}\text{Th}$  20 Jahre und von adsorbtiv gebundenem  $^{230}\text{Th}$  4 Jahre (Abb. 5). Diese Verweilzeiten sind nur ein Bruchteil der durchschnittlichen Lebensdauer von  $^{230}\text{Th}$  von 108.000 Jahren (Cochran & Osmond 1976). Das bedeutet, daß in den Sedimenten mehr als 99,95 % des in der Wassersäule entstandenen  $^{230}\text{Th}$  abgelagert werden (Moore & Sackett 1964).

#### 1.3.1.7 $^{230}\text{Th}$ im Sediment

$^{230}\text{Th}$  wird dem Sediment nicht nur durch Sedimentation aus der Wassersäule zugeführt sondern auch im Sediment durch den Zerfall von  $^{234}\text{U}$  gebildet. Dieser Anteil steht mit  $^{234}\text{U}$  im radioaktiven Gleichgewicht und muß zur Berechnung des aus der Wassersäule stammenden Überschußanteils ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ ) von der  $^{230}\text{Th}$ -Gesamtaktivität subtrahiert werden.

Die Datierung von marinen Sedimenten mit der  $^{230}\text{Th}$ -Methode beruht auf dem Prinzip, daß im Sediment die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität aufgrund des radioaktiven Zerfalls mit dem Sedimentalter bzw. mit der Sedimenttiefe abnimmt.

Für die Datierung von marinen Sedimenten mit der  $^{230}\text{Th}$ -Methode sind zwei zusätzliche Annahmen notwendig (Mangini 1984):

- die Zufuhr von  $^{230}\text{Th}$  in das Sediment hat sich nicht verändert (constant-flux model, DeMaster 1979, Bacon 1984a, Mangini 1984), und es hat keine Sedimentationsunterbrechungen gegeben (Osmond 1979)

und/oder

- das Verhältnis von  $^{230}\text{Th}$  zum Trägermaterial ist konstant geblieben (constant-activity model, DeMaster 1979, Osmond 1979, Mangini 1984).



Aus dem Verhalten von  $^{230}\text{Th}$  in der Wassersäule (Kapitel 1.3.1.1 bis 1.3.1.6) ergibt sich, daß beide Annahmen nicht selbstverständlich gegeben sind.

### 1.3.2. Cd-Gehalte in den Karbonatschalen benthischer Foraminiferen

Der Cd-Gehalt in Foraminiferenschalen wird seit ungefähr zehn Jahren als paläozeanographischer Parameter eingesetzt. Die theoretischen Grundlagen dieser Methode wurden weitgehend von E. Boyle und seiner Arbeitsgruppe in Boston entwickelt (z.B. Boyle 1981, Hester & Boyle 1982, Boyle & Keigwin 1982, Delaney 1983, Boyle 1988, Boyle 1990). Das Prinzip der Methode beruht auf folgendem Gedankengang:

Für den Aufbau ihrer Schale reichern Foraminiferen  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{CO}_3^{2-}$  aus dem Meerwasser in ihrem Zellkörper an, um es dann als Calcit zu sekretieren (Nuglisch 1985). Für einige Foraminiferen konnte gezeigt werden, daß bei diesem Prozeß Cd in das Calcitgitter ihrer Schale proportional zum Cd-Gehalt des Meerwassers eingebaut wird (Hester & Boyle 1982, Boyle 1988). Der Fraktionierungskoeffizient innerhalb einer Art ist konstant, Einflüsse der Temperatur oder der Salinität sind vernachlässigbar (Hester & Boyle 1982, Boyle & Keigwin 1985/86).

Aufgrund der Korrelation von Cd und Phosphat im Meerwasser läßt sich aus dem Cd-Gehalt des Meerwassers der Phosphatgehalt des Meerwassers ableiten (Boyle et al. 1976, Bruland 1983). Sowohl der Cd- als auch der Phosphatgehalt des Tiefenwassers sind im heutigen Ozean ein Indikator für die vertikale Durchmischung des Meerwassers bzw. für das Alter des Tiefenwassers (Broecker & Peng 1982, Boyle 1988). So beträgt der Cd-Gehalt im relativ jungen (< 100 Jahre, Broecker & Peng 1982) Tiefenwasser des Nord-Atlantiks nach Bruland (1983) ca. 0,29 nmol/l. Im relativ alten (ca. 1000 Jahre, Broecker & Peng 1982) Tiefenwasser des Nord-Pazifiks ist der Cd-Gehalt mit 0,8 bis 0,9 nmol/l annähernd dreimal so hoch (Bruland 1980). Der globale Cd-Gehalt des Meerwassers hat sich nach Boyle (1988) in den letzten 100.000 bis 300.000 Jahren nicht verändert. Daraus läßt sich schließen, daß die Cd-Verteilung im Meerwasser auch während dieser Zeit ausschließlich von der ozeanographischen Zirkulation gesteuert wurde (Boyle 1988).

Das Hauptproblem bei der Bestimmung des Cd-Gehaltes in Foraminiferenschalen ist die quantitative Reinigung der Foraminiferen sowie die Messung der sehr geringen Cd-Gehalte (z.B. Boyle 1981, Boyle 1983a, Delaney 1983, Boyle & Keigwin 1985/86). Für die vorliegende Untersuchung ergab sich daraus die folgende Strategie:

- Zunächst sollten an der benthischen Foraminifere *Pyrgo murrhina* die Methodik zur Cd-Bestimmung in Foraminiferenschalen erarbeitet werden. Die Methodik umfaßt sowohl die Probenaufbereitung als auch die Cd-Messung. Die Foraminifere *Pyrgo murrhina* ist für eine solche Voruntersuchung besonders geeignet, da sie verhältnismäßig groß und dickwandig ist. Dadurch ist es ermöglicht, mit relativ großen Probenmengen zu arbeiten.
- In einem zweiten Schritt sollten dann die paläozeanographischen Aussagemöglichkeiten dieses Parameters für das Europäische Nordmeer untersucht werden.

## 2 Probenmaterial

### 2.1 **Oberflächenproben**

Insgesamt wurden 63 Oberflächensedimente aus dem Europäischen Nordmeer bearbeitet (Abb. 6a und 6b, Tab. A-1). Das Probenmaterial wurde von verschiedenen Ausfahrten zusammengestellt (Tab. A-1), um möglichst alle Teilbecken des Europäischen Nordmeeres gleichmäßig zu erfassen. Einige Gebiete, z.B. die Norwegischen See nördlich des Vöring-Plateaus (Abb. 6a), wurden aufgrund der dort großflächig auftretenden Turbiditablagerungen (z.B. Damuth 1978) nicht beprobt.

Die Oberflächensedimente wurden aus makroskopisch ungestörten Großkastengreifern entnommen, wobei jeweils der oberste Zentimeter repräsentativ beprobt wurde. Bei den Sedimenten handelt es sich fast ausschließlich um braune (Foraminiferen-) Schlicke mit wechselnden Sandanteilen. Eine Probe (43, Abb. 6a) bestand aus einer vulkanischen Aschenlage. Eine genaue lithologische Beschreibung der beprobten Großkastengreifer ist in den jeweiligen Fahrtberichten enthalten (PO 100, Werner 1983; ME 2, PO 128, Gerlach et al. 1986; PS 7, Gersonde 1986; PO 119, Gerlach et al. 1987; PO 141, v.Bodungen et al. 1988; ME 7, Hirschleber et al. 1988; PS 17, Thiede & Hempel 1990; ME 17, Gerlach & Graf 1991).

### 2.2 **Sedimentkerne**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden fünf Sedimentkerne und ein Kastengreiferprofil bearbeitet (Tab. A-1, Abb. 6a).

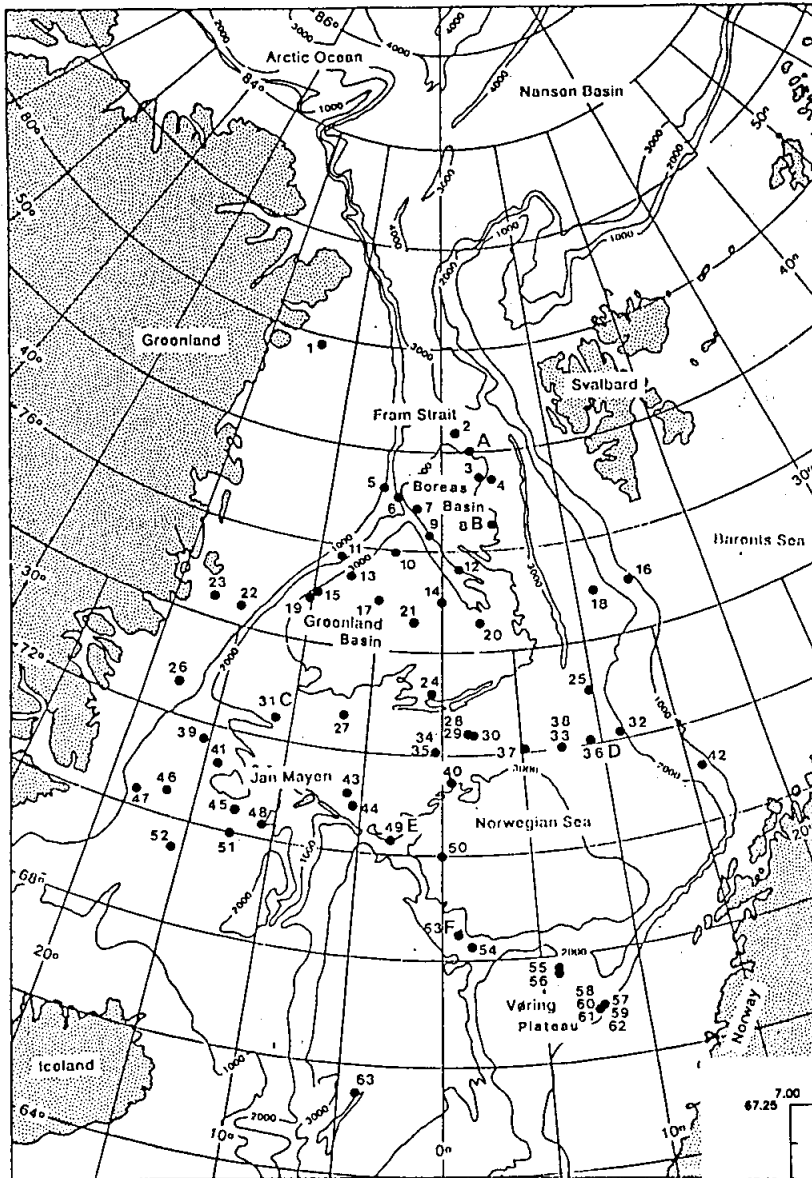
Die beiden Kastenlote GIK 23065-3 (F in Abb. 6a) und GIK 23059-3 (E in Abb. 6a) stammen von der Jan-Mayen Fracture-Zone (Gerlach et al. 1986). Beide Sedimentkerne sind sedimentologisch eingehend untersucht worden und zeigen eine für die Norwegische See typische lithologische Abfolge von glazial und interglazial geprägten Ablagerungen (Henrich et al. 1989, Kassens 1990). Für beide Sedimentkerne konnte eine sehr detaillierte  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie erstellt werden (Vogelsang 1990), die eine gute zeitliche Einordnung der Sedimentschichten ermöglicht.

Die Position des Kolbenlots GIK 23259-2 (D in Abb. 6a) liegt im Lofoten-Becken westlich vom Barents-See-Hang (Hirschleber et al. 1988). Der Sedimentkern ist gekennzeichnet durch meist braune Silte in den oberen 120 cm und überwiegend graue Schlicke und Tone im unteren Kernbereich. Dieser Sedimentkern wurde ebenfalls isotope-stratigraphisch untersucht (Hahn, unveröffentlicht).

Das Kastenlot GIK 23294-4 (C in Abb. 6a) stammt aus der Grönländischen See. Die Kernstation liegt am östlichen Ende eines flachen Ost-West-streichenden Rückens (Hirschleber et al. 1988). Die Sedimentabfolge ist gekennzeichnet durch einen Wechsel von braunen und grauen siltigen Tonen, mit wenigen, unregelmäßig eingeschalteten, Dropstone-Lagen. Im Vergleich zu Sedimentkernen der Norwegischen See ist die lithologische Abfolge weniger abwechslungsreich. Eine Sauerstoffisotopen-Stratigraphie konnte für diesen Sedimentkern aufgrund fehlender oder umgelagerter Foraminiferen nicht erstellt werden.

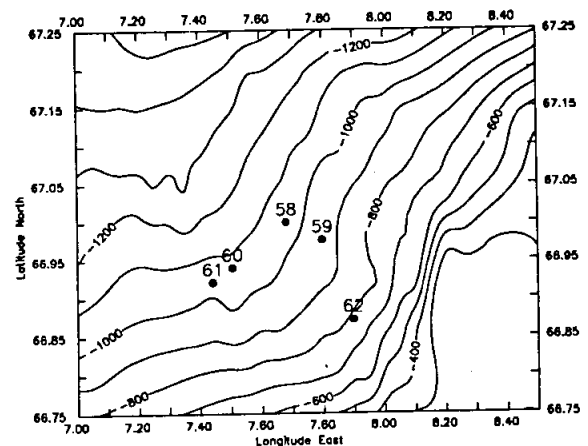
Die Position des Kastenlots GIK 17728-2 (B in Abb. 6a) befindet sich im östlichen Boreas-Becken (Gerlach & Graf 1991). Die Sedimente bestehen aus einer Wechsellagerung von braunen und grauen Tonen und Silten, in denen nur vereinzelt Dropstone-Lagen vorkommen.

Der Großkastengreifer GIK 21295-4 (A in Abb. 6a) stammt aus der südlichen Framstraße. Die Sedimente bestehen durchgehend aus braunen Tonen (Gersonde 1986). Jones & Keigwin (1988) erstellten für diesen Sedimentkern eine mit  $^{14}\text{C}$  (AMS) datierte  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie.



**Abbildung 6a (links):**  
Lage der untersuchten  
Sedimente;  
Oberflächenproben sind  
durch Zahlen,  
Sedimentkernpositionen  
sind durch Buchstaben  
gekennzeichnet, vgl. Tab.  
A-1 (polarstereographische  
Projektion).

**Abbildung 6b (unten):**  
Lage der  
Oberflächenproben 58 bis  
62 auf dem Vøring-Plateau  
(Mercator-Projektion),  
Karte und Bathymetrie von  
Frank Blaume.



### 3 Methodik

#### 3.1 **Korngrößen**

Die Sandfraktion wurde durch Naßsieben der gefriergetrockneten Probe mit einem 63 µm Sieb gewonnen. Die Trennung der Silt- und Tonfraktion erfolgte durch Schlämmen in ATTERBERG-Zylindern (Müller 1964).

#### 3.2 **Tonminerale**

Die Tonmineralogie wurde ausschließlich an der Kornfraktion < 2µm bestimmt.

Die Messung erfolgte mit einem Röntgen-Diffraktometer (PHILIPS PW 1050) unter Verwendung einer Schrittabtastung von 0,01° und Kobalt-K α-Strahlung. Jedes Präparat wurde zunächst trocken, dann mit Glykol gequollen, gemessen. Die Berechnung der prozentualen Häufigkeit der Tonminerale wurde aus den Reflexionsintensitäten abgeleitet. Die Berechnung des Chlorit-Anteils erfolgte über die 3.Ordnung.

#### 3.3 **CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>**

Der CaCO<sub>3</sub>-Gehalt der Sedimente wurde mit zwei verschiedenen Methoden bestimmt. Zum einen wurde das nach Auflösung des CaCO<sub>3</sub> in Phosphorsäure entstehende Kohlendioxid potentiometrisch am Coulomaten (STRÖHLEIN C-mat 500) gemessen.

Zum anderen wurde der gesamte Kohlenstoff nach dem Veraschen der Probe über die Infrarot-Absorption des freiwerdenden Kohlendioxids bestimmt (LECO CS 244). Nach Auflösung des als Karbonat gebundenen anorganischen Kohlenstoff mit verdünnter Salzsäure wurde der organische Kohlenstoff auf die gleiche Weise bestimmt. Die Berechnung des Calciumcarbonat-Gehaltes erfolgte über die Differenz von gesamtem zu organischem Kohlenstoff.

#### 3.4 **Geochemie**

Die chemische Zusammensetzung der Sedimente wurde mit einer Röntgenfluoreszenz-Anlage (PHILIPS PW 1400) am Institut für Mineralogie und Lagerstättenkunde der RWTH Aachen analysiert.

Die Hauptelemente wurden an Schmelztabletten, die Spurenelemente an Presstabletten bestimmt. Zur Eichung des Meßsystems wurden zusammen mit den Sedimenten verschiedene internationale Standards gemessen. Für die Hauptelemente liegt die Standardabweichung unter 1 %, bei den Spurenelementen bei maximal 10 %.

Die Elementgehalte in den Sedimenten sind abhängig von der Korngrößenzusammensetzung. Für die meisten Elemente sind die Konzentrationen in den feinen Kornfraktionen höher als in der gröberen. Um diese **Korngrößeneffekte** zu korrigieren, können verschiedene Methoden angewendet werden (vgl. Salomons & Förstner 1984):

- Nach der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des Gesamtsediments erfolgt die Korngrößenkorrektur des Elementgehaltes über die Bildung des Verhältnisses mit einem konservativem Element, das die Korngröße widerspiegelt. Als Bezugsselement wird meist Al benutzt (z.B. Bruland et al. 1974, Boyle 1983b);
- Nach der gravitativen Abtrennung verschiedener Kornfraktionen kann der Elementgehalt in den einzelnen Fraktionen bestimmt werden (z.B. Banat et al. 1972, Schoer et al. 1982).

Wie Vorversuche im Rahmen dieser Untersuchung gezeigt haben, sind zehn bis zwanzig Sedimentationsvorgänge im ATTERBERG-Zylinder notwendig, um eine vollständige Abtrennung der Kornfraktionen  $< 6,3$  oder  $< 20 \mu\text{m}$  zu erreichen. Aus dieser aufwendigen Probenbehandlung ergeben sich für die Bestimmung des Elementgehaltes in einzelnen Kornfraktionen folgende Nachteile (vgl. Lapp 1991):

- ein bedeutender Anteil der Elemente ist im Kristallgitter der Grobfraction enthalten (Schoer et al. 1982). Es ist daher für die Bestimmung des Gesamtelementgehaltes erforderlich, auch die Grobfraction aufzuschließen;
- es kann zu einer Umverteilung von Elementen von der feineren zur gröberen Kornfraction kommen (z.B. Krumgalz 1989);
- die Gefahr der Kontamination ist insbesondere für Spurenelemente sehr hoch.

In der vorliegenden Arbeit wurde aufgrund dieser Nachteile die Methode der Korngrößenabtrennung nicht herangezogen.

### 3.5 Cd-Gehalte in Foraminiferenschalen

Um den Cd-Gehalt in Foraminiferenschalen bestimmen zu können, müssen diese vorher sehr sorgfältig gereinigt werden (Boyle 1981, 1983a). Die Reinigung umfaßt dabei das Entfernen von Sedimentpartikeln (Tonminerale, Feinkarbonat), von organischer Substanz und von Mn-Fe-Überzügen. Die Foraminiferen wurden nach der in Abbildung 7 (Seite 17) schematisch dargestellten Methode aufbereitet. Die einzelnen Reinigungsschritte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Foraminiferen der Gattung *Pyrgo murrhina* aus Oberflächensedimenten wurden in Kiel bearbeitet (Tab. 1a). Eine Probe umfaßte hier ungefähr 10 Individuen. Foraminiferen der Gattung *Cibicoides wuellerstorfi* aus dem Sedimentkern GIK 23059 (Station E) wurden am M.I.T. in Boston bearbeitet (Tab. 1b). Eine Probe umfaßte hier 25 bis 30 Individuen. Im Anschluß an die Reinigung wurden die Foraminiferen in 1 N (Kiel) bzw. 0,01 N (Boston) Salpetersäure gelöst. Ca als Bezugsselement wurde aus der verdünnten Lösung gemessen (ICP-AES in Kiel, AAS in Boston). Cd und Mn wurden direkt aus der Lösung an der AAS mit Graphitrohrküvette (PERKIN-ELMER 3030 in Kiel, PERKIN-ELMER 5000 in Boston) gemessen. Bis auf wenige Ausnahmen wurden von allen Proben Parallelaufschlüsse hergestellt.



**Tabelle 1:** Bearbeitungsschema für die Reinigung von Foraminiferenschalen zur Bestimmung des Cd-Gehaltes.

a) im Geochemielabor des Sonderforschungsbereiches 313 (nach Boyle 1981, 1983a)

| Reinigungs-schritt | Reagenz        | Reinigungs-zeit [min] | davon Ultra-Schall [min] | Temperatur [°C] | Wiederholungen (mit neuen Reagenzien) | Clean-Bench |
|--------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------|
| 1                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 50              | 4                                     |             |
| 2                  | Reagenz A      | 10                    | 1                        | 20              | 0                                     |             |
| 3                  | Reagenz A      | 5                     | 1                        | 50              | 1                                     |             |
| 4                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 70              | 2                                     | x           |
| 5                  | Reagenz B      | 15                    | 2                        | 50              | 2                                     | x           |
| 6                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 70              | 2                                     | x           |
| 7                  | Reagenz C      | 30                    | alle 5                   | 70              | 1                                     | x           |
| 8                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 50              | 2                                     | x           |
| 9                  | Reagenz D      | 5                     | 1                        | 50              | 1                                     | x           |
| 10                 | Milli-Q-Wasser | 5                     | 0                        | 50              | 1                                     | x           |

Reagenz A: Methanol (CH<sub>3</sub>OH, p.A.)

Reagenz B: 1 ml Wasserstoffperoxid (30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, p.A.) in 30 ml Natronlauge (NaOH, p.A.)

Reagenz C: 25 g Hydroxylammoniumchlorid (NH<sub>2</sub>•OH•HCl, p.A.) + 300 ml Milli-Q-Wasser + 200 ml Ammoniaklösung (25 % NH<sub>3</sub>, suprapur) + 25 g Zitronensäure (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>, p.A.) + 25 g Natriumdithionit (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, p.A.)

Reagenz D: 0,001 N Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>, destilliert)

b) im Laboratorium des Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences am Massachusetts Institute of Technology in Boston, U.S.A., in Zusammenarbeit mit Ed Boyle (nach Boyle & Keigwin 1985/86)

| Reinigungs-schritt | Reagenz        | Reinigungs-zeit [min] | davon Ultra-Schall [min] | Temperatur [°C] | Wiederholungen (mit neuen Reagenzien) | Clean-Bench |
|--------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------|
| 1                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 20              | 2                                     |             |
| 2                  | Reagenz E      | 5                     | 1                        | 20              | 1                                     |             |
| 3                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 20              | 0                                     |             |
| 4                  | Reagenz F      | 15                    | alle 5                   | 90              | 0                                     |             |
| 5                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 2                        | 20              | 2                                     |             |
| 6                  | Reagenz G      | 30                    | alle 2                   | 90              | 0                                     |             |
| 7                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 1                        | 20              | 5                                     |             |
| 8                  | Reagenz H      | 5                     | 1                        | 20              | 5                                     | x           |
| 9                  | Milli-Q-Wasser | 5                     | 0                        | 20              | 0                                     | x           |

Reagenz E: Methanol (CH<sub>3</sub>OH, destilliert)

Reagenz F: 100 µl Wasserstoffperoxid (30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, p.A.) in 30 ml Natronlauge (NaOH, p.A.)

Reagenz G: 750 µl Hydräzinanhydrit (NH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>, suprapur) + 10 ml Ammoniaklösung (25 % NH<sub>3</sub>, suprapur) + 10 ml Zitronensäure/Ammoniaklösung (25 g Zitronensäure in 500 ml Ammoniak)

Reagenz H: 0,001 N Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>, destilliert)

Aus den Cd- und Ca-Gehalten in den Lösungen wurden die Cd/Ca-Verhältnisse in den Foraminiferenschalen berechnet. Der maximale Fehler der Methode liegt für die in Boston bearbeiteten Proben bei 2 - 3 % (Boyle, persönliche Mitteilung). Für die in Kiel bearbeiteten Proben beträgt der Methodenfehler maximal 30 %. Der Grund für den wesentlich größeren Fehler der in Kiel bearbeiteten Proben liegt hauptsächlich in der geringeren Routine bzw. in der fehlenden Anleitung bei der Probenaufbereitung und der Messung.

Da für die Foraminifere *Cibicides wuellerstorfi* der Fraktionierungskoeffizient für Cd zwischen Meerwasser und Calcitschale bekannt ist (Hester & Boyle 1982, Boyle 1988), läßt sich aus dem Cd/Ca-Verhältnis in der Schale dieser Foraminifere der **Cadmiumgehalt des Meerwassers** berechnen, in dem die Foraminifere gelebt hat (Boyle 1986):

$$Cd_{\text{Wasser}} [\text{nmol/l}] = 1/D * 10^{-2} * (Cd/Ca)_{\text{Foraminiferenschale}} [\text{nmol/mol}]$$

wobei D: Fraktionierungskoeffizient von Cd im Calcitgitter der Foraminifere *Cibicides wuellerstorfi* (D=2,9; Boyle 1988)

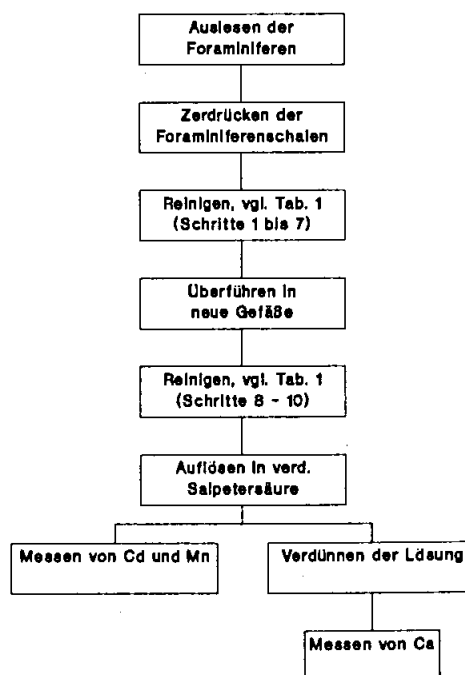
Aufgrund der Korrelation von Cd und P im Meerwasser (Boyle et al. 1976, Bruland 1983) läßt sich aus dem Cd-Gehalt des Meerwassers der P-Gehalt des Meerwassers berechnen (Boyle 1988):

$$P [\text{nmol/l}] = Cd_{\text{Wasser}} [\text{nmol/l}] / q$$

wobei q: Verhältnis von Cd zu P im Meerwasser

Das Verhältnis von Cd zu P im Meerwasser (q) liegt nach Boyle (1988) zwischen  $2,1 * 10^{-4}$  (für  $P < 1,3 \mu\text{mol/l}$ , rezent vorwiegend im Atlantik) und  $4,0 * 10^{-4}$  (für  $P > 1,3 \mu\text{mol/l}$ , rezent vorwiegend im Pazifik).

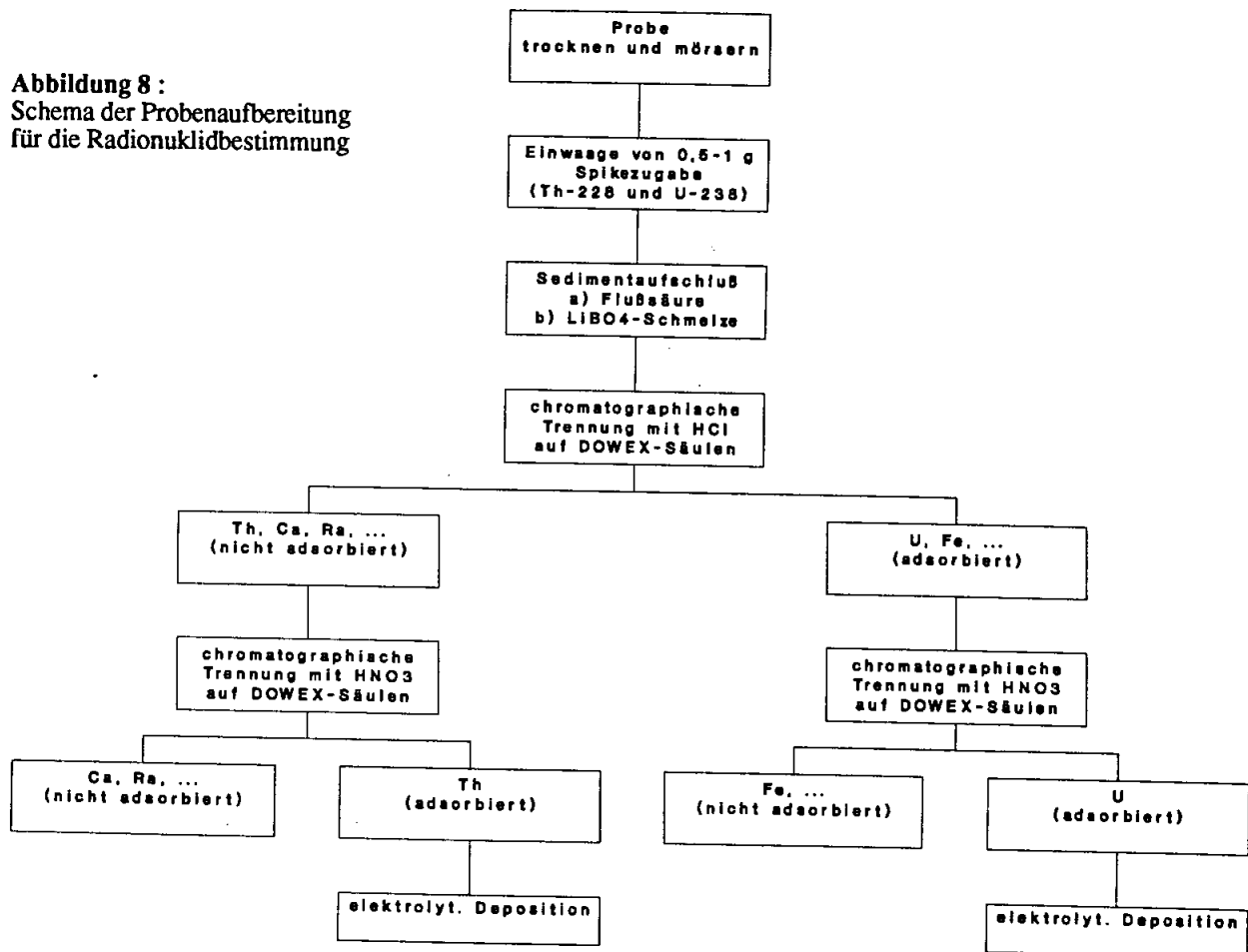
**Abbildung 7:**  
 Bearbeitungsschema für die  
 Reinigung von Foraminife-  
 renschalen zur Bestim-  
 mung des Cd-Gehaltes.



### 3.6 Radionuklide

Die Messung der Radionuklide  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$  erfolgte  $\alpha$ -spektrometrisch. Hierfür ist eine aufwendige Probenvorbereitung notwendig. Zweck der Probenaufbereitung ist eine chemische Abtrennung der Thorium- und Uran-Isotope von den restlichen Bestandteilen des Sedimentes. Dies ist notwendig, da die später zu bestimmenden Alpha-Teilchen sehr energiearm sind und somit leicht adsorbiert und dann nicht vom Detektor gezählt werden können. Die Probenaufbereitung erfolgte weitgehend nach der von Ku (1965) und Mangini (1984) beschriebenen Methode (Abb. 8).

Abbildung 8 :  
Schema der Probenaufbereitung  
für die Radionuklidbestimmung



Um eine für Inventarberechnungen benötigte kontinuierliche Probennahme zu erzielen, wurden die Sedimentkerne mit 2 - 10 cm langen Schlitzproben gleicher Volumina durchgehend beprobt. Die Proben wurden zuerst getrocknet und gemahlen (homogenisiert). Anschließend wurden 0,5 - 1 g Probenmenge eingewogen und mit einem Spike bekannter  $^{228}\text{Th}$ - und  $^{232}\text{U}$ -Aktivität versehen. Die Probe wurde dann zweimal mit 15 ml konzentrierter Flußsäure in einem Teflontiegel versetzt und abgeraucht. Der Rückstand wurde mit der 2,5-fachen Menge Lithiummetaborat (Spektromelt A 12 von Merck) vermischt und in einem Gold-Platintiegel über einem Bunsenbrenner bis zur Klare geschmolzen und anschließend abgeschreckt. Der Schmelzkuchen wurde in 8 N Salzsäure unter Rühren bei ca. 100 °C gelöst.



Die Trennung der Th- und U-Phasen erfolgte in zwei Schritten über einer DOWEX-Ionenaustauscher-Säule (Höhe 10 cm, Durchmesser 1 cm). Hierzu wurden die gelösten Proben zuerst über eine mit 60 ml H<sub>2</sub>O gespülten und anschließend mit 50 ml 8 N HCl belegten Säule geschickt. Th und Ca werden dabei nicht adsorbiert und laufen durch während U und Fe an den Ionenaustauscher gebunden werden. Es folgte eine Spülung mit 40 ml 8 N HCl zur vollständigen Gewinnung der Th- und Ca-haltigen Phase. Die Extraktion der in der Säule verbliebenen Ionen erfolgte mit 40 ml H<sub>2</sub>O und einigen Tropfen HNO<sub>3</sub>. Anschließend wurden beide Lösungen unter einer Infrarotlampe eingedampft.

Die Th- und U-haltigen Phasen wurden mit 8 N HNO<sub>3</sub> aufgenommen, wobei die Th-haltige Probe erhitzt werden mußte. Beide Proben wurden jeweils über eine mit 60 ml H<sub>2</sub>O gespülte und mit 50 ml 8 N HNO<sub>3</sub> belegte Säule gegossen. Th und U werden dabei am Ionenaustauscher adsorbiert. Die Säulen wurden mit 50 ml 8 N HNO<sub>3</sub> gespült. Die Rückextraktion von Th erfolgte mit 40 ml 8 N und 10 ml konz. HCl, U wurde mit H<sub>2</sub>O eluiert. Anschließend wurden die Lösungen unter der Infrarotlampe eingedampft.

Die Abscheidung von Th und U erfolgte elektrolytisch. Hierzu wurde der Rückstand mit 2 ml konzentrierter HNO<sub>3</sub> und 10 ml HCl aufgenommen und anschließend auf der Heizplatte fast bis zur Trockne eingedampft. Mit Methylblau als pH-Indikator versetzt wurde die Lösung mit NH<sub>4</sub>OH auf einen pH von 2 - 3 eingestellt und anschließend mit 10 ml einer Pufferlösung (3 ml 0,01 M HNO<sub>3</sub>, 4 ml 2 M NH<sub>4</sub>Cl und 4 ml gesättigte NH<sub>4</sub>-Oxalatlösung) versetzt.

Die Abscheidung von U und Th erfolgte in einer Elektrolysezelle mit einer Platinanode und einem Edelstahlplättchen als Kathode, an der sich Th bzw. U abscheidet. Zur Reaktion wurde eine Stromstärke von 0,7 A bei einer Spannung von 12 V für die Dauer von ca. 1 Stunde verwendet. Kurz vor dem Abbruch der Elektrolyse wurde 2 M NH<sub>4</sub>OH in die Zelle gegeben, um beim Abschalten des Stroms eine Wiederauflösung des Niederschlags auf den Edelstahlplättchen zu verhindern. Anschließend wurden die Präparate mit H<sub>2</sub>O gespült und getrocknet.

Die Messung der Präparate erfolgte mit einem Halbleiter-Oberflächen-Sperrschicht-Detektor. Das Präparat wurde in einer Vakuum-Kammer (p < 5 Torr) in 1 - 2 mm Abstand zum Detektor gebracht. Die Alpha-Teilchen, die auf die Sperrschicht auftreten, verlieren dort ihre gesamte Energie. Dieser Energieverlust wird über einen Verstärker in einem Vielkanalanalysator gespeichert. Die durchschnittliche Meßzeit für eine Probe betrug ca. 2 Tage.

Die Aktivitäten von <sup>234</sup>U und <sup>238</sup>U in der Probe konnten anschließend über die bekannte Aktivität von <sup>232</sup>U im Spike ermittelt werden:

$$\begin{aligned} {}^{234}\text{U} [\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}] &= \text{Intensität } {}^{234}\text{U} * F_U / \text{Einwaage} \\ {}^{238}\text{U} [\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}] &= \text{Intensität } {}^{238}\text{U} * F_U / \text{Einwaage} \end{aligned}$$

wobei  $F_U = (\text{Spikeaktivität} * \text{Spikemenge}) / \text{Spikeintensität}$

Das Aktivitätsverhältnis von <sup>234</sup>U und <sup>238</sup>U (AU) wird berechnet aus:

$$\text{AU} = {}^{234}\text{U} [\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}] / {}^{238}\text{U} [\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}]$$

Die Konzentration von <sup>238</sup>U läßt sich berechnen aus (Mangini 1984):

$${}^{238}\text{U} [\text{ppm}] = {}^{238}\text{U} [\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}] / 0,736$$

Das Konzentrationsverhältnis von  $^{238}\text{U}$  zu  $^{234}\text{U}$  entspricht ungefähr dem 200.000-fachen Wert von AU (zu berechnen aus dem Verhältnis der Aktivitätskonstanten von  $^{234}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$ ), so daß die  $^{238}\text{U}$ -Konzentration in marinen Sedimenten der U-Gesamtkonzentration gleichzusetzen ist.

Analog zu Uran konnten die Aktivitäten von  $^{230}\text{Th}$  und  $^{232}\text{Th}$  in der Probe anschließend über die bekannte Aktivität von  $^{228}\text{Th}$  des Spikes ermittelt werden:

$$\begin{aligned} ^{230}\text{Th} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] &= \text{Intensität } ^{230}\text{Th} \cdot F_{\text{Th}} / \text{Einwaage} \\ ^{232}\text{Th} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] &= \text{Intensität } ^{232}\text{Th} \cdot F_{\text{Th}} / \text{Einwaage} \end{aligned}$$

wobei  $F_{\text{Th}} = (\text{Spikeaktivität} \cdot \text{Spikemenge}) / \text{Spikeintensität}$

Die Konzentration von  $^{232}\text{Th}$  läßt sich berechnen aus (Mangini 1984):

$$^{232}\text{Th} [\text{ppm}] = ^{232}\text{Th} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] / 0,246$$

$F_{\text{U}}$  und  $F_{\text{Th}}$  sind ein Maß für die chemische Ausbeute der Probenaufbereitung und Messung. Sie liegt für Thorium in der Regel zwischen 70 und 100 % und für Uran bei 20 - 50 %.

Die  $^{230}\text{Th}$ -Überschußaktivität im Sediment ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ ), die nicht mit  $^{234}\text{U}$  im radioaktiven Gleichgewicht steht, wird berechnet aus:

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] = ^{230}\text{Th} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] - ^{234}\text{U} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}] \quad (1)$$

Bei der Kalkulation von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  nach Formel (1) wird davon ausgegangen, daß das gesamte Uran im Sediment detritischer Herkunft ist, und somit mit  $^{230}\text{Th}$  im radioaktiven Gleichgewicht steht. In marinen Sedimenten kann es aber auch zu authigenen Uran-Anreicherungen kommen (Mangini & Dominik 1979, Thomson et al. 1990). Diese Uran-Ausfällungen stehen nicht mit  $^{230}\text{Th}$  im radioaktiven Gleichgewicht, sondern enthalten primär kein  $^{230}\text{Th}$ . Nach Mangini & Dominik (1979) kann die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität beim Auftreten von authigenem  $^{234}\text{U}$  nach folgender Formel berechnet werden:

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} \cdot \{1 - e^{-(j \cdot t_u)}\} \quad (2)$$

wobei  $^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}]$ : Aktivität von detritisch gebundenem  $^{234}\text{U}$   
 $^{234}\text{U}_{\text{authigen}} [\text{dpm} \cdot \text{g}^{-1}]$ : Aktivität von authigen gebildetem  $^{234}\text{U}$   
 $j [\text{a}^{-1}]$ : Zerfallskonstante von  $^{230}\text{Th}$  ( $J = 9,19 \cdot 10^{-6}$ )  
 $t_u [\text{a}]$ : Alter der Uran-Anreicherung

Der authigene Anteil von  $^{234}\text{U}$  errechnet sich aus:

$$^{234}\text{U}_{\text{authigen}} = ^{234}\text{U} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} \quad (3)$$

## 4 Mathematische Modelle zur Berechnung von Sedimentaltern, Akkumulations- und Sedimentationsraten

Alle mathematischen Modelle beruhen auf der Annahme einer konstanten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment (constant-flux model; DeMaster 1979, Kominz et al. 1979, Osmond 1979, Mangini 1984, Bacon 1984a).

### 4.1 Akkumulationsraten von Oberflächensedimenten

Akkumulationsraten und Sedimentationsraten von Oberflächensedimenten wurden unter der Annahme berechnet, daß das in der Wassersäule produzierte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  vollständig zum darunterliegenden Meeresboden gelangt und dort akkumuliert (Paetsch et al., im Druck). Dies läßt sich mathematisch beschreiben:

$$F_P = F_A \quad (4)$$

wobei  $F_P$  [dpm\*cm<sup>-2</sup>\*ka<sup>-1</sup>]:  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule  
 $F_A$  [dpm\*cm<sup>-2</sup>\*ka<sup>-1</sup>]:  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment

Die Produktion von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  in der Wassersäule ( $F_P$ ), die sich aus der Konzentration des Mutterisotops  $^{234}\text{U}$  berechnen läßt (Cochran & Osmond 1976), beträgt nach Bacon (1984b):

$$F_P = 0,00263 \text{ [dpm*cm}^{-2}\text{*m}^{-1}\text{*ka}^{-1}] * Z \quad (5)$$

wobei  $Z$  [m]: Wassertiefe

Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment ( $F_A$ ) kann über die Formel zur Berechnung von Akkumulationsraten in Sedimenten (Koczy 1951, Thiede et al. 1982) berechnet werden:

$$AR(x) = \sigma * s * c(x) \quad (6)$$

wobei  $AR(x)$  [g\*cm<sup>-2</sup>\*ka<sup>-1</sup>]: Akkumulationsrate von Stoff x  
 $\sigma$  [g\*cm<sup>-3</sup>]: Trockenraumdichte  
 $s$  [cm\*ka<sup>-1</sup>]: Sedimentationsrate  
 $c(x)$ : Konzentration von Stoff x

Für  $F_A$  ergibt sich entsprechend:

$$F_A = \sigma * s * A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}}) \quad (7)$$

wobei  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})$  [dpm\*g<sup>-1</sup>]: Aktivität von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  im Sediment

Nach Umformen von (7) ergibt sich:

$$s = \frac{F_A}{\sigma * A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})} \quad (8)$$

Nach Einsetzen von (4) und (5) in (8) ergibt sich (Schmitz et al. 1986):

$$s = \frac{0,00263 * Z}{\sigma * A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})} \quad (9)$$

Die Gesamtakkumulationsrate eines Sedimentes erhält man aus (Koczy 1951, Thiede et al. 1982):

$$\text{AR} = \sigma * s \quad (10)$$

nach Einsetzen von (9) ergibt sich:

$$\text{AR} = \frac{0,00263 * Z}{A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})} \quad (11)$$

Mit dieser Formel können Akkumulationsraten von nicht durchmischten Oberflächensedimenten berechnet werden, ohne daß die Trockenraumdichte ermittelt werden muß, deren Bestimmung an der Wasser-Sediment Grenzfläche häufig nicht erfolgte bzw. prinzipiell schwierig ist.

Die Radionuklidverteilung in den obersten Sedimentschichten wird verändert durch die Bioturbation. Zur genauen Berechnung von Akkumulations- und Sedimentationsraten nach den Gleichungen (9) und (11) müßte die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität, die genau an der Wasser-Sediment-Grenze vorliegt, eingesetzt werden. Mit Hilfe eines einfachen Bioturbationsmodells (Goldberg & Koide 1962, Berner 1980) läßt sich dieser theoretische Wert aus der gemessenen Konzentration in den obersten Zentimetern ermitteln. In diesem Modell wird von einer total durchmischten oberen Schicht und einer undurchmischten unteren Schicht ausgegangen. Bei Vernachlässigung von Sedimentkompaktion erhält man die ursprüngliche Aktivität von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  aus (Berner 1980):

$$A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_0 = \frac{A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_X}{s / (s + j * L)} \quad (12)$$

wobei  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_0$  [dpm\*g<sup>-1</sup>]: ursprüngliche Aktivität von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$   
 $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_X$  [dpm\*g<sup>-1</sup>]:  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität in der durchmischten Schicht  
 $j$  [a<sup>-1</sup>]: Zerfallskonstante von  $^{230}\text{Th}$  ( $j = 9,19 * 10^{-6}$ )  
 $L$  [cm]: Bioturbationstiefe

Für die Bioturbationstiefe der Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres wurde ein Wert von 10 cm angenommen, wie er von Graf (1989) für die Sedimente des Vöring-Plateaus angegeben wurde.

Mit dem ermittelten Wert von  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_0$  läßt sich eine korrigierte Sedimentationsrate, bzw. Akkumulationsrate, berechnen. Die Berechnung von  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_0$  nach Gleichung (12) muß mit der korrekten Sedimentationsrate erfolgen. Dies bedeutet, daß die Berechnung mit der jeweils korrigierten Sedimentationsrate solange zu wiederholen ist bis sich der Wert für die ursprüngliche Aktivität  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})_0$ , bzw. für die Sedimentationsrate (s) nicht mehr verändert.

## 4.2 Mittlere Sedimentationsraten

Unter der mittleren Sedimentationsrate ( $s_m$ ) soll im folgenden die durchschnittliche Sedimentationsrate für den gesamten Sedimentkern verstanden werden. Wenn das Alter des Sedimentkernes bekannt ist, läßt sie sich berechnen aus:

$$s_m = x / t_b \quad (13)$$

wobei  $s_m$  [cm\*ka<sup>-1</sup>): Mittlere Sedimentationsrate  
x [cm]: Länge des Sedimentkernes  
 $t_b$  [ka]: Alter der Sedimentkernbasis

Das an der Sedimentoberfläche angelangte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  wandert durch die Akkumulation von weiterem Sediment in tiefere Schichten. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  nimmt die Aktivität mit der Zeit, und entsprechend mit der Sedimenttiefe, ab.

Der radioaktive Zerfall folgt dem physikalischen Grundgesetz, daß von einem radioaktiven Stoff in gleichen Zeiträumen stets der gleiche Bruchteil seiner noch unzerfallenen Atome zerfällt. Dies läßt sich mathematisch beschreiben mit:

$$dn/n = -j * dt \quad (14)$$

wobei n: Anzahl der Atome

Diese Differentialgleichung hat die Lösung:

$$\ln(n/n_0) = -j * t \quad (15)$$

wobei  $n_0$ : Anzahl der Atome zum Zeitpunkt  $t = 0$

Nach Umformen und Einsetzen von (13):

$$\ln(n) = \ln(n_0) - (j/s_m) * x \quad (16)$$

Daraus folgt, daß sich aus der Steigung der Regressionsgeraden zwischen der unabhängigen Variablen x und der abhängigen Variablen  $\ln(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})$   $s_m$  berechnen läßt:

$$b = -j/s_m \Rightarrow s_m = -j/b \quad (17)$$

wobei b: Steigung der Regressionsgeraden

Die Regressionsgerade mit der Form  $y = a + b*x$  kann rechnerisch über die Methode der kleinsten Quadrate ermittelt werden.

### 4.3 Sedimentalter, Akkumulations- und Sedimentationsraten nach dem "constant-flux" Modell

Durch Umformen der Gleichung (15) erhält man:

$$n = n_0 * e^{-(j * t)} \quad (18)$$

Wenn man diese Formel nach  $n_0$  auflöst, kann bei gegebener Zeit ( $t$ ) die Ausgangsaktivität von  $n$  berechnet werden. Diese Berechnung wird im folgenden als Zerfallskorrektur bezeichnet (zerfallskorrigierte Aktivitäten werden mit einem Sternchen gekennzeichnet, z.B.  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}^*$ ).

Für  $n$  läßt sich in Formel (18) die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität pro Flächeneinheit ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte) im Sediment einsetzen (Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte dient hier nur als mathematische Hilfsgröße):

$$D_A(t) = D_A(0) * e^{-(j * t)} \quad (19)$$

wobei  $D_A(t)$  [dpm\*cm<sup>-2</sup>]: nicht zerfallskorrigierte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte im Sediment zum Zeitpunkt  $t$  (bzw. in Tiefe  $x$ )  
 $D_A(0)$  [dpm\*cm<sup>-2</sup>]:  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte im Sediment zum Zeitpunkt der Ablagerung (ursprüngliche, zerfallskorrigierte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte)

Im Sediment läßt sich die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte für jede Probe berechnen aus:

$$D_A(t) = \sigma * \delta x * A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}}) \quad (20)$$

wobei  $\sigma$  [g\*cm<sup>-3</sup>]: mittlere Trockenraumdicke der Probe  
 $\delta x$  [cm]: Länge der Schlitzprobe

Um nach Formel (19) Sedimentalter berechnen zu können, muß für jede Probe die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte zum Zeitpunkt der Ablagerung bekannt sein. Da vorausgesetzt wurde, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation pro Zeiteinheit konstant geblieben ist (constant flux !), hängt  $D_A(0)$  nur von der Zeit ab, die in einer Probe enthalten ist:

$$D_A(0) = F_A * \delta t \quad (21)$$

wobei  $\delta t$  [a]: Zeitraum, in der die Probe abgelagert worden ist

Bei vorgegebenen Zeiteinheiten läßt sich die aufsummierte (bzw. die erwartete)  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte ( $\Sigma D_A(t)$ ) für jedes Sedimentalter (bzw. für jede Probenuntergrenze) berechnen aus:

$$\Sigma D_A(t_i) = D_A(0) + D_A(0) * e^{-(j * t_1)} + D_A(0) * e^{-(j * t_2)} + D_A(0) * e^{-(j * t_3)} + \dots + D_A(0) * e^{-(j * t_i)} \quad (22)$$

wobei  $t_i$  [a]: Sedimentalter

Diese geometrische Reihe läßt sich vereinfachen zu:

$$\Sigma D_A(t_i) = D_A(0) * \frac{e^{-(j * t_i)} - 1}{e^{-(j)} - 1} \quad (23)$$

Wenn man diese Gleichung nach der Zeit ( $t$ ) auflöst ergibt sich:

$$t = -(j^{-1}) * \ln\{1 - [\Sigma D_A(t_i) / D_A(0)] * (1 - e^{-j})\} \quad (24)$$

Für  $\Sigma D_A(t_i)$  in Formel (24) läßt sich die im Sedimentkern aufsummierte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Dichte einsetzen:

$$\Sigma D_A(t_i) = \Sigma[\sigma * \delta x * A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})] \quad (25)$$

Nach Formel (21) läßt sich für  $D_A(0)$  die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation pro Zeiteinheit (hier: Jahre) einsetzen.

Eine lückenlose Beprobung, und damit die Erfassung des gesamten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Inventars bis in eine bestimmte Tiefe, ermöglicht somit die Berechnung von Sedimentaltern für jede Probenuntergrenze (Formel 24). Hierfür muß außer den zu bestimmenden Parametern  $A(^{230}\text{Th}_{\text{ex}})$ ,  $\sigma$  und  $\delta x$  nur die (als konstant angenommene)  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation ( $F_A$ ) bekannt sein.

Die Trockenraumdichte  $\sigma$  wurde in den bearbeiteten Sedimentkernen an Punktproben bestimmt (GIK 23294, Holler & Kassens 1989; GIK 23059 und 23065, Kassens 1990; GIK 17728, Kassens, unveröffentlicht; GIK 23259, Kantz, unveröffentlicht). Die Trockenraumdichte für die Schlitzproben wurden aus diesen Werten durch Interpolation ermittelt.

Aus den Sedimentaltern der Probenuntergrenzen (bzw. -obergrenzen) läßt sich für jede Probe eine Sedimentationsrate berechnen:

$$\text{AR}(x) = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (26)$$

|       |             |                             |
|-------|-------------|-----------------------------|
| wobei | $x_1$ [cm]: | Tiefe der Probenobergrenze  |
|       | $x_2$ [cm]: | Tiefe der Probenuntergrenze |
|       | $t_1$ [ka]: | Alter der Probenobergrenze  |
|       | $t_2$ [ka]: | Alter der Probenuntergrenze |

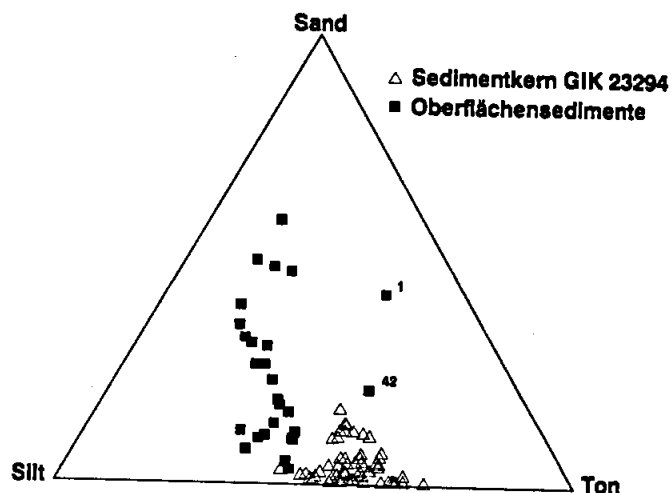
## 5 Ergebnisse

### 5.1 Korngrößen

Die Korngrößenverteilung in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres variiert sehr stark (Tab. A-2, Abb. 9). Die Tongehalte liegen zwischen 13 und 50 % (Mittelwert 31 %), die Siltgehalte zwischen 15 und 60 % (Mittelwert 45 %) und die Sandgehalte zwischen 3 und 59 % (Mittelwert 24 %). Aus Abbildung 9 geht hervor, daß die Variationen in der Korngrößenzusammensetzung in erster Linie durch Veränderungen im Sandgehalt hervorgerufen werden. Das Verhältnis von Ton zu Silt liegt, mit Ausnahme von zwei sehr landnahen Proben (1 und 42; Abb. 9), immer im relativ engen Bereich von 0,35 bis 0,85 (Mittelwert 0,62).

Im Sedimentkern GIK 23294 (Station C) variiert die Korngrößenverteilung nur gering (Tab. A-2, Abb. 9). Der durchschnittliche Gehalt von Ton liegt bei 55 %, von Silt bei 41 % und von Sand bei nur 4 %. Abgesehen von der weitaus geringeren Streuung im Vergleich zu den Oberflächensedimenten fällt auf, daß die Sandgehalte im Sedimentkern GIK 23294 deutlich niedriger sind. Das Verhältnis von Ton zu Silt ist dagegen mit  $1,42 \pm 0,31$  signifikant höher als in den Oberflächensedimenten.

Abbildung 9:  
Korngrößenverteilung der  
bearbeiteten Sedimente in  
Dreiecksdarstellung; die Nummern  
bezeichnen Proben, vgl. Tab. A-1.



### 5.2 Tonminerale

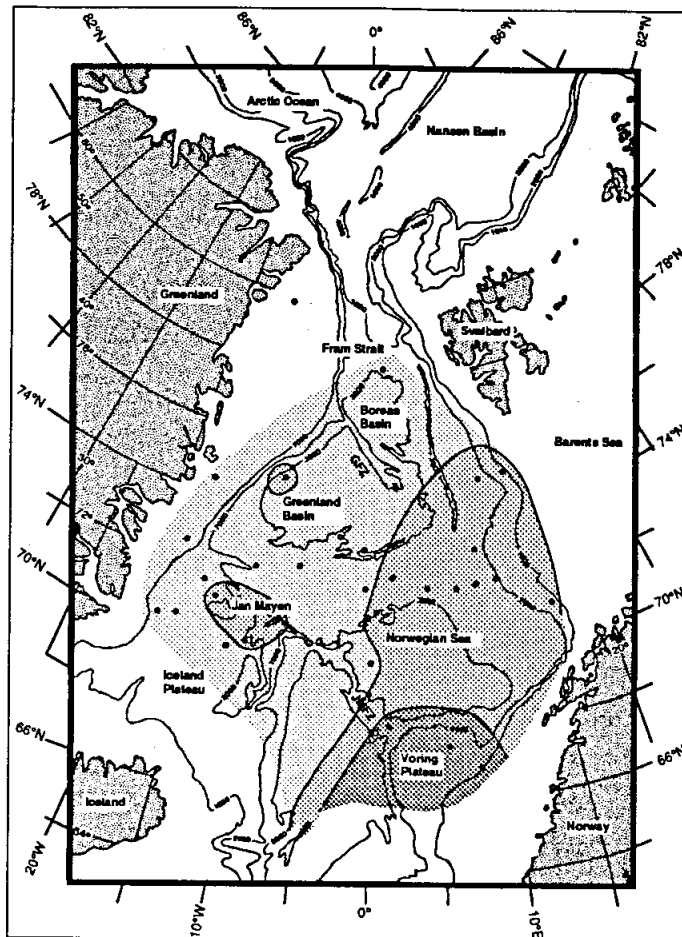
In den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres ist Illit mit einem Gehalt von 36 - 48 % an der Tonfraktion das häufigste Tonmineral. Montmorillonit und Kaolinit bilden durchschnittlich 24 bzw. 23 % der Tonfraktion. Die Chloritgehalte schwanken zwischen 4 und 14 %, der Mittelwert liegt bei knapp 11 %. Die übrigen Bestandteile in der Tonfraktion (Quarz, Glimmer, Feldspäte) sind nur sehr untergeordnet (zusammen weniger als 10%) vorhanden.

Illit, Kaolinit und Chlorit sind in den Oberflächensedimenten relativ gleichmäßig verteilt und zeigen keine auffallenden Variationen in Abhängigkeit von der geographischen Lage.

Die Montmorillonitgehalte in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres zeigen dagegen eine generelle Abnahme von Südosten nach Nordwesten (Abb. 10). Überprägt ist dieser Trend durch relativ hohe Montmorillonitgehalte um die Insel Jan Mayen (Abb. 10).



**Abbildung 10:**  
 Montmorillonitgehalte in  
 Oberflächensedimenten;  
 Legende:  
 stark schattiert:  $\geq 30\%$ ,  
 mittel schattiert: 25 - 29 %,   
 schwach schattiert:  $\leq 24\%$ ,  
 Prozentangaben jeweils bezogen  
 auf die Tonfraktion.



Die durchschnittliche Tonmineralzusammensetzung im **Sedimentkern GIK 23294 (Station C)** beträgt 50 % Illit, 22 % Kaolinit, 16 % Montmorillonit und 11 % Chlorit. Auffallend im Vergleich zu den Oberflächensedimenten sind die deutlich höheren Illit- und die entsprechend niedrigeren Montmorillonit-Gehalte.

Innerhalb des Sedimentkernes GIK 23294 schwanken die Chloritgehalte nur gering (9 bis 14 %; Abb. 11). Auch Kaolinit und Illit variieren wenig. Ausnahmen bilden hier allerdings einige diskrete Sedimentlagen (bei 180, 220 und 270 cm, Abb. 11), in denen der Illitgehalt auf Kosten des Kaolinites und Montmorillonites stark erhöht ist. In diesen Horizonten ist der Gesamttongehalt ebenfalls erhöht (Tab. A-3). Das bedeutet, daß der Gehalt von Kaolinit und Montmorillonit bezogen auf das Gesamtsediment nur wenig verändert ist. Der Illitgehalt ist dagegen in diesen Horizonten bezogen auf das Gesamtsediment annähernd doppelt so hoch. Das gegenläufige Verhalten von Kaolinit und Montmorillonit zu Illit, sowie das gleichläufige Verhalten von Tongehalt und Illitgehalt spiegelt sich auch in der Korrelationsmatrix für den gesamten Sedimentkern wider (Tab. 2 auf Seite 29).

Der Montmorillonitgehalt im Sedimentkern GIK 23294 nimmt von der Sedimentoberfläche bis in 180 cm Tiefe mehr oder weniger gleichmäßig von 20 % auf 6 % ab. Zwischen 180 und 300 cm steigt der Montmorillonitgehalt wieder bis auf 20 % an und erreicht in 470 cm Tiefe den höchsten Wert mit 23 %. Ab 500 cm Tiefe schwankt der Montmorillonitgehalt dann unregelmäßig zwischen 8 und 22 % (Abb. 11).

Die durchschnittliche Tonmineralverteilung im Sedimentkern GIK 23059 (Station E) beträgt 40 % Illit, 25 % Montmorillonit, 24 % Kaolinit und 11 % Chlorit und ist damit der Tonmineralverteilung in den Sedimentoberflächen des Europäischen Nordmeeres sehr ähnlich. Veränderungen der Tonmineralzusammensetzung innerhalb des Sedimentkernes beruhen in erster Linie auf dem gegenläufigen Verhalten der Kaolinit- und Montmorillonit-Gehalte. Chlorit und Illit sind ähnlich wie im Sedimentkern GIK 23294 relativ wenig variabel. Auffallend ist die Veränderung der Tonmineralzusammensetzung, insbesondere die starke Abnahme des Montmorillonit-Gehaltes, zwischen 150 und 220 cm Tiefe, die mit einer entsprechenden Zunahme im Kaolinit-Gehalt verbunden ist (Abb. 12).

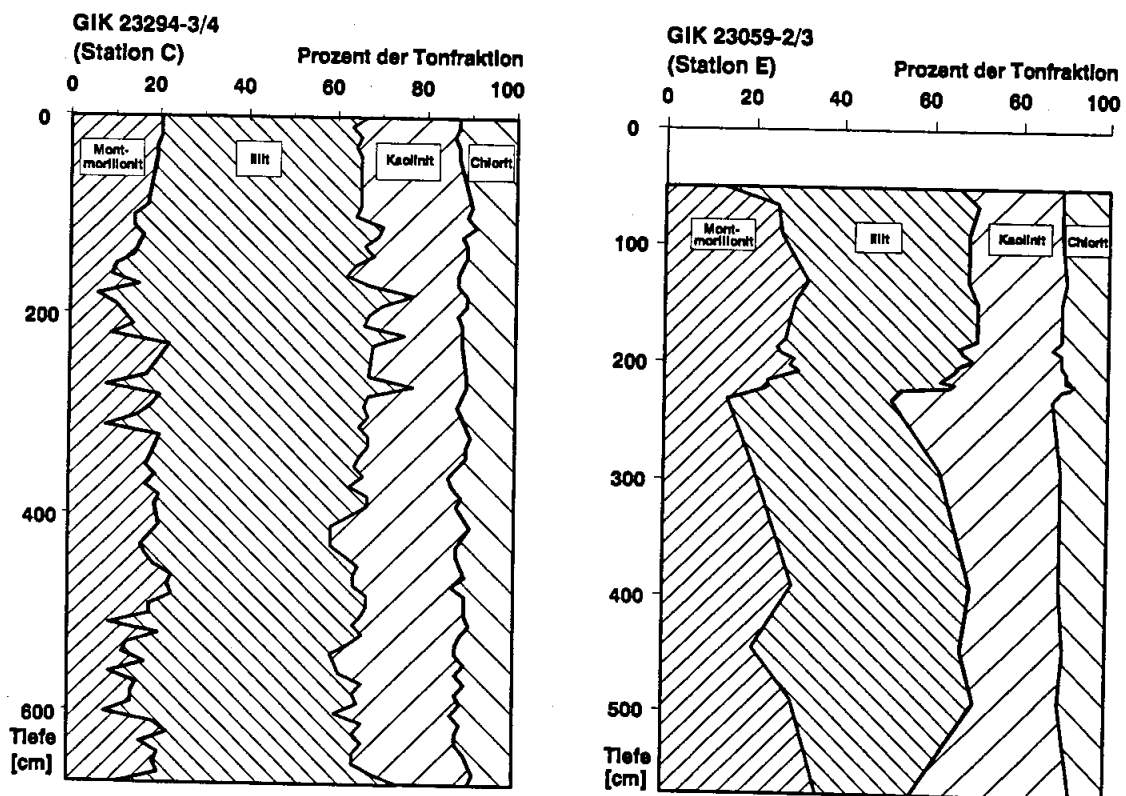


Abbildung 11 (links): Tonmineralverteilung im Sedimentkern GIK 23294-3/4 (Station C).  
 Abbildung 12 (rechts): Tonmineralverteilung im Sedimentkern GIK 23059-2/3 (Station E).

Tabelle 2 : Korrelationsmatrix der sedimentologischen Parameter für den Sedimentkern GIK 23294 (Station C).

| Parameter:        | CaCO <sub>3</sub> | C <sub>org</sub> | Montm. | Illit | Kaolinit | Chlorit | Ton            | Silt | Sand |
|-------------------|-------------------|------------------|--------|-------|----------|---------|----------------|------|------|
| CaCO <sub>3</sub> |                   |                  |        |       |          |         | -0.346<br>(58) | (58) | (58) |
| C <sub>org</sub>  |                   | (81)             | (59)   | (59)  | (59)     | (59)    | (58)           | (58) | (58) |
| Montmorillonit    |                   |                  | (59)   | (59)  | (59)     | (59)    | (58)           | (58) | (58) |
| Illit             |                   |                  |        | (60)  | (60)     | (60)    | (59)           | (59) | (59) |
| Kaolinit          |                   |                  |        |       | (60)     | (60)    | (59)           | (59) | (59) |
| Chlorit           |                   |                  |        |       |          | (60)    | (59)           | (59) | (59) |
| Ton               |                   |                  |        |       |          |         | (59)           | (59) | (59) |
| Silt              |                   |                  |        |       |          |         |                | (59) | (59) |
| Sand              |                   |                  |        |       |          |         |                |      | (59) |

alle angegebenen Korrelationen sind hochsignifikant  
in Klammern ist die Anzahl der korrelierten Werte angegeben

### 5.3 CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>

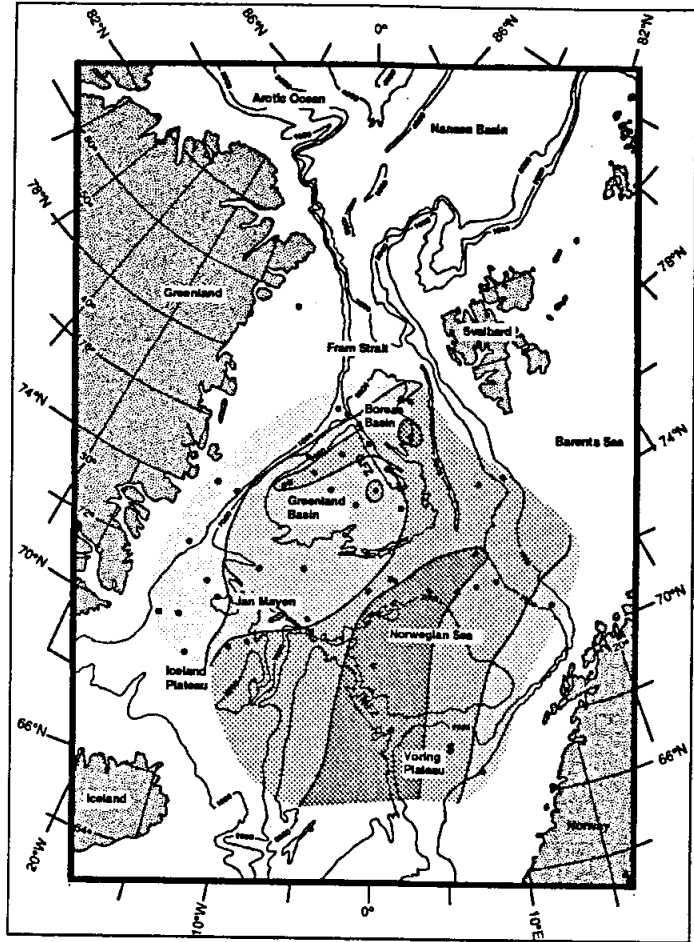
Die C<sub>org</sub>-Gehalte in den hier untersuchten **Oberflächensedimenten** des Europäischen Nordmeeres schwanken nur gering im Bereich von 0,18 bis 0,94 % (Tab. A-4).

Die CaCO<sub>3</sub>-Gehalte liegen zwischen 2 und 62 % (Tab. A-4, Abb. 13). Die Verteilung der CaCO<sub>3</sub>-Gehalte in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres zeigt zwei Auffälligkeiten. Zum einen nehmen die CaCO<sub>3</sub>-Gehalte tendenziell von Nordwesten nach Südosten zu, zum anderen ist davon abweichend die nördliche Grönländischen See durch relativ hohe CaCO<sub>3</sub>-Gehalte gekennzeichnet (Abb. 13).

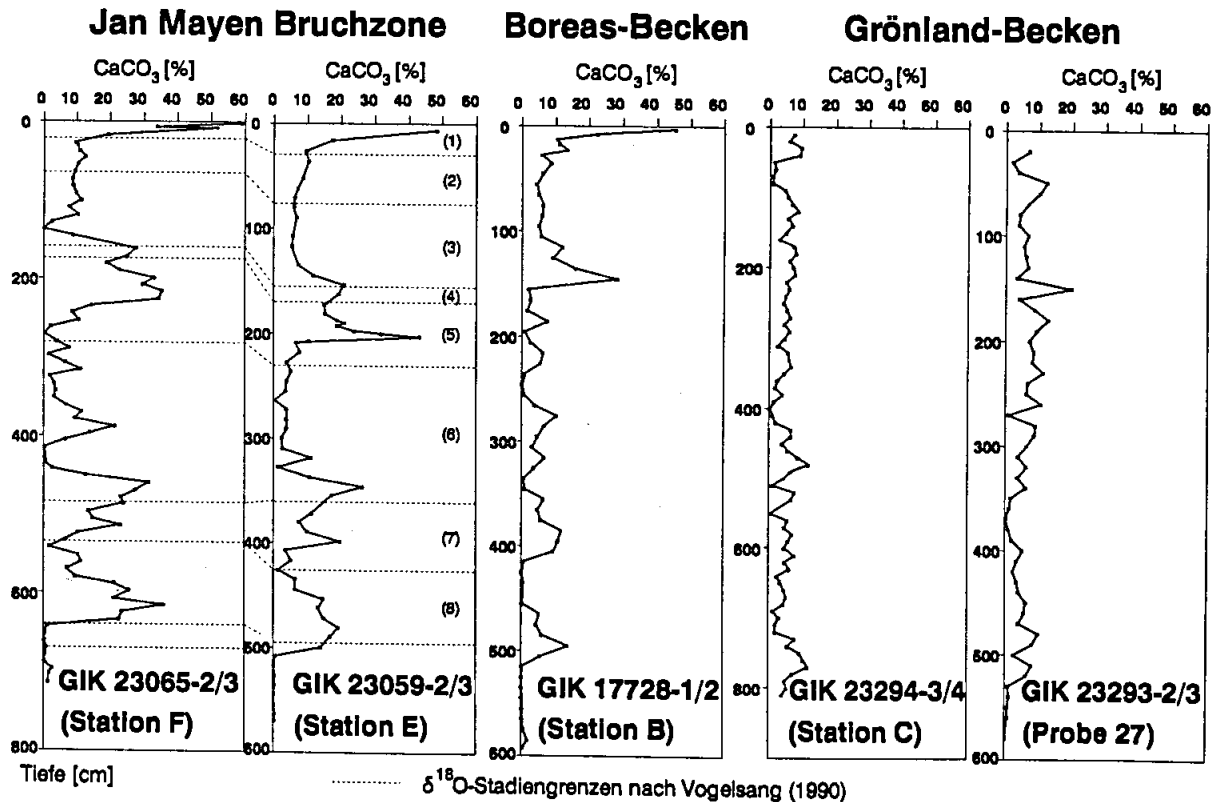
Die CaCO<sub>3</sub>-Gehalte in den **Sedimentkernen** GIK 17728, 23059 und 23065 (Stationen B, E und F) wurden nicht wie sonst üblich an Punktproben (Spritzenproben) sondern an Schlitzproben bestimmt (Tab. A-9, A-12, A-13). Ein Vergleich mit den CaCO<sub>3</sub>-Bestimmungen an Punktproben (Henrich et al. 1989, Kassens 1990) zeigt aber für die beiden Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 eine sehr gute Übereinstimmung.

Die Veränderungen des CaCO<sub>3</sub>-Gehaltes mit der Tiefe zeigen in den drei östlichen Sedimentkernen (Stationen B, E und F) einen sehr ähnlichen Verlauf und sind offensichtlich gut korrelierbar (Abb. 14). Im Gegensatz dazu können die CaCO<sub>3</sub>-Veränderungen in den Sedimentkernen der Grönländischen See weder mit denen der Norwegischen See noch untereinander eindeutig korreliert werden (Abb. 14). Die durchschnittlichen CaCO<sub>3</sub>-Gehalte in den Sedimentkernen GIK 23293 (Probe 27, Kastenlot) und GIK 23294 (Station C) sind deutlich niedriger als die Gehalte in den Kernen der Norwegischen See.

**Abbildung 13 (rechts) :**  
 $\text{CaCO}_3$ -Gehalte  
in Oberflächensedimenten;  
Legende:  
stark schattiert:  $\geq 40\%$ ,  
mittel schattiert: 25 - 40%,  
schwach schattiert: 10 - 25%,  
sehr schwach schattiert:  $\leq 10\%$ .



**Abbildung 14 (unten) :**  
Vergleich der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte  
in den bearbeiteten Sedimentkernen.



## 5.4 Geochemie

Von 54 Oberflächensedimenten und insgesamt 44 Proben aus den Sedimentkernen GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) wurde die Geochemie des Gesamtsediments bestimmt. Hierbei wurden sowohl die Hauptelemente (Si, Ca, Al, Fe, Mg, K, Ti und Mn) als auch eine Reihe von Spurenelementen bestimmt.

Die Elementgehalte aller Proben sind in Tab. A-5 und A-6 aufgeführt. Die Mittelwerte der geochemischen Daten, jeweils für die Oberflächensedimente und die Sedimentkerne getrennt gebildet, sind in Tabelle 3 gegenübergestellt.

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der geochemischen Untersuchungen.

| Element | Oberflächen |              |              | Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 |              |              |
|---------|-------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
|         | n           | mittel [%]   | stdabw [%]   | n                                 | mittel [%]   | stdabw [%]   |
| Fe      | 54          | 3.42         | 0.85         | 44                                | 3.95         | 0.67         |
| Mn      | 54          | 0.15         | 0.05         | 44                                | 0.15         | 0.12         |
| Ti      | 54          | 0.38         | 0.13         | 44                                | 0.42         | 0.06         |
| Ca      | 54          | 10.89        | 5.73         | 44                                | 6.8          | 5.67         |
| K       | 54          | 1.18         | 0.58         | 44                                | 1.96         | 0.63         |
| Si      | 54          | 21.21        | 6.05         | 44                                | 24.08        | 5.04         |
| Al      | 54          | 5.54         | 1.17         | 44                                | 6.75         | 1.26         |
| Mg      | 54          | 1.28         | 0.48         | 44                                | 1.43         | 0.29         |
|         | n           | mittel [ppm] | stdabw [ppm] | n                                 | mittel [ppm] | stdabw [ppm] |
| Zn      | 53          | 58           | 20           | 44                                | 80           | 11           |
| Ni      | 53          | 30           | 12           | 44                                | 39           | 6            |
| Cu      | 35          | 12           | 11           | 44                                | 27           | 9            |
| Co      | 35          | 20           | 8            | 44                                | 26           | 22           |
| Pb      | 35          | 19           | 5            | 44                                | 18           | 7            |
| Ba      | 35          | 391          | 115          | 44                                | 410          | 88           |
| Nb      | 35          | 12           | 6            | 44                                | 13           | 2            |
| Zr      | 35          | 152          | 63           | 44                                | 197          | 45           |
| Y       | 35          | 19           | 5            | 44                                | 24           | 5            |
| Sr      | 35          | 467          | 241          | 44                                | 293          | 175          |
| Rb      | 35          | 62           | 21           | 44                                | 95           | 21           |
| Ga      | 35          | 10           | 3            | 44                                | 15           | 3            |
| As      | 35          | 15           | 5            | 44                                | 17           | 7            |
| V       | 18          | 94           | 18           |                                   |              |              |
| Cr      | 18          | 43           | 10           |                                   |              |              |

n: Anzahl der Proben  
mittel: Mittelwert  
stdabw: absolute Standardabweichung

Tabelle 3 zeigt, daß von den Hauptelementen nur die Ca-Gehalte, und bei den Spurenelementen nur die Cu- und Sr-Gehalte, deutliche Unterschiede zwischen Oberflächenproben und Sedimentkernproben aufweisen. Ansonsten gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Probengruppen.

Der Korrelationstabelle (Tab. A-15) ist zu entnehmen, daß in den Sedimentoberflächen die mei-

sten Elementgehalte negativ mit dem Ca-Gehalt korrelieren.

Die Verteilung der meisten Elemente in den Sedimentkernen GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) zeigt ebenfalls eine mehr oder weniger deutliche negative Korrelation zu Ca (Abb. 15 und 16).

Mn ist im Sedimentkern GIK 23065 (Station E) im Tiefenbereich von 230 bis 280 gegenüber Fe und Al angereichert (Abb. 16). Hierbei dürfte es sich um eine frühdiagenetische Mn-Ausfällung handeln. Nach Porenwasseruntersuchungen von Balzer (1989) liegt der rezente Mn-Oxidationshorizont im Sedimentkern GIK 23065 in 240 cm Tiefe.

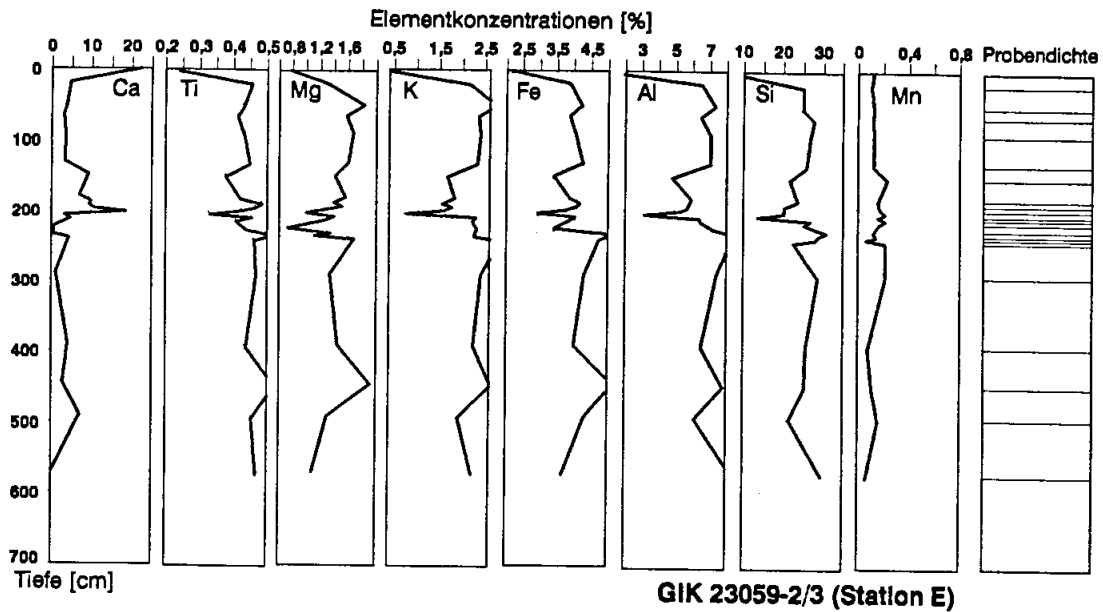


Abbildung 15: Konzentrationen der Hauptelemente im Sedimentkern GIK 23059 (Station E).

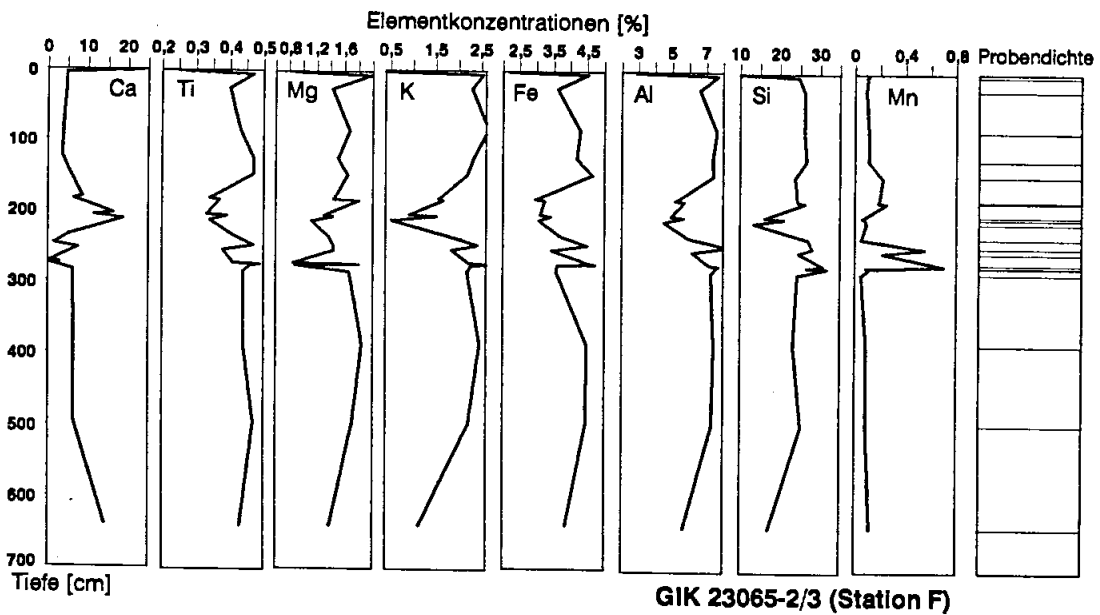


Abbildung 16: Konzentrationen der Hauptelemente im Sedimentkern GIK 23065 (Station F).

## 5.5 Cd-Gehalte in Foraminiferenschalen

Die Cd/Ca-Verhältnisse in den Schalen der Foraminifere *Cibicoides wuellerstorfi* liegen im Sedimentkern GIK 23059 (Station E) zwischen 69 und 211 nmol/mol. Im Tiefenbereich von 160 bis 215 cm nimmt das Cd/Ca-Verhältnis von oben nach unten deutlich zu (Tab. 4).

**Tabelle 4:** Ergebnisse und Umrechnungen der Elementverhältnisse in Foraminiferenschalen (*Foraminifere Cibicoides wuellerstorfi*, Sedimentkern GIK 23059).

| Tiefe [cm] | Cd/Ca [nmol/mol] |        | Mn/Ca [ $\mu$ mol/mol] |        | Cd <sub>Wasser</sub> [nmol/l] | P <sub>Wasser</sub> [ $\mu$ mol/l] |      |
|------------|------------------|--------|------------------------|--------|-------------------------------|------------------------------------|------|
|            | mittel           | stdabw | mittel                 | stdabw |                               | a                                  | b    |
| 10         | 115              | 20.0   | 16                     | 2.0    | 0.40                          | 1.89                               | 0.99 |
| 23         | 116              | 9.5    | 23                     | 4.0    | 0.40                          | 1.90                               | 1.00 |
| 160        | 69               | 7.5    | 48                     | 11.0   | 0.24                          | 1.12                               | 0.59 |
| 170        | 87               | 7.5    | 60                     | 1.5    | 0.30                          | 1.42                               | 0.75 |
| 175        | 72               | 0.5    | 65                     | 1.0    | 0.25                          | 1.17                               | 0.62 |
| 190        | 73               | 3.5    | 92                     | 1.0    | 0.25                          | 1.19                               | 0.63 |
| 200        | 96               | 1.0    | 101                    | 7.5    | 0.33                          | 1.58                               | 0.83 |
| 207        | 117              | 6.0    | 107                    | 7.0    | 0.40                          | 1.92                               | 1.01 |
| 215        | 211              | 18.5   | 209                    | 7.5    | 0.73                          | 3.46                               | 1.81 |

mittel: Mittelwert

stdabw: absolute Standardabweichung

a: berechnet mit  $Cd/P = 2,1 \cdot 10^{-4}$

b: berechnet mit  $Cd/P = 4,0 \cdot 10^{-4}$

Die Cd/Ca-Verhältnisse in den Schalen der Foraminifere *Pyrgo murrhina* aus Oberflächensedimenten weisen sehr hohe Variationen untereinander auf (34 bis 393 nmol/mol, Abb. 17).

Die Bestimmung der Cd/Ca-Verhältnisse in Foraminiferenschalen kann sehr leicht durch **Kontamination** verfälscht sein. Eine Überprüfung auf eine mögliche Kontamination ist daher unbedingt erforderlich (Boyle 1981, 1983a). Die Qualität der Reinigung von Foraminiferenschalen für die Bestimmung des Cd-Gehaltes kann anhand des Mn/Ca-Verhältnisses abgeschätzt werden (Boyle 1983a). Danach ist davon auszugehen, daß bei einem Mn/Ca-Verhältnis von  $> 10^{-4}$  die Foraminiferen für eine Cd-Bestimmung ausreichend gereinigt worden sind.

Die Mn/Ca-Verhältnisse in der Foraminifere *Cibicoides wuellerstorfi* zeigen bis auf eine Ausnahme keine Kontamination der Foraminiferenschalen an (Tab. 4, Abb. 18).

Abbildung 18 zeigt, daß das Mn/Ca-Verhältnis in der Schale von *Pyrgo murrhina* teilweise deutlich oberhalb von  $10^{-4}$  liegt. Die hohen Mn/Ca-Verhältnisse bei dieser Gattung zeigen allerdings nicht zwangsläufig eine unvollständige Reinigung an, da sich diese Foraminifere nach Boyle (1983a) von anderen Foraminiferen unter anderem durch ihren relativ hohen Mn-Gehalt unterscheidet.

Probe, GIK-Nummer, Parallelproben

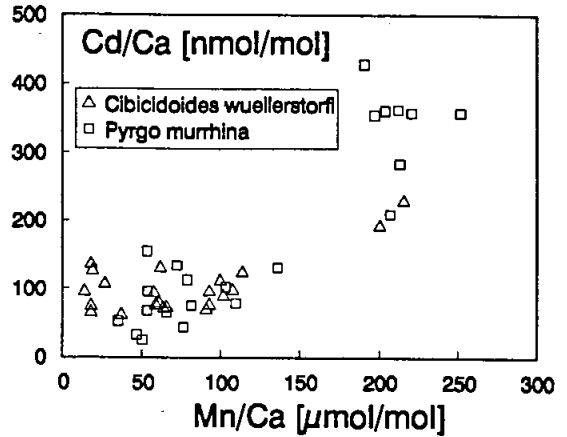
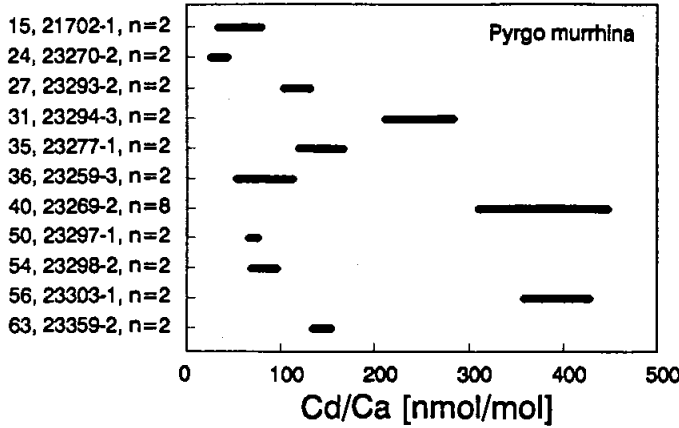


Abbildung 17 (links): Cd/Ca-Verhältnisse der Foraminifere *Pyrgo murrhina* aus Oberflächensedimenten; die Strichlänge gibt die Variationsbreite an.

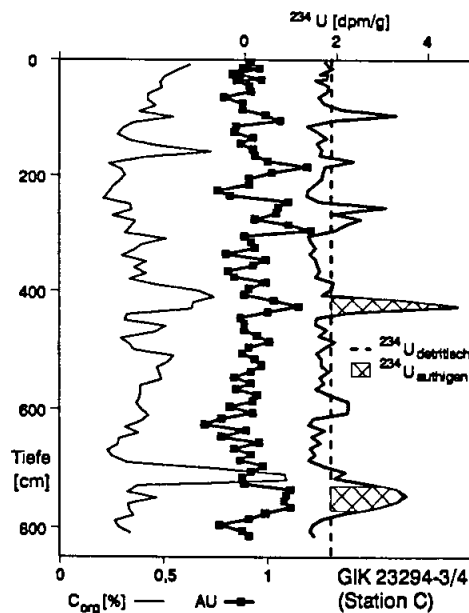
Abbildung 18 (rechts): Mn/Ca-Verhältnisse in gereinigten Foraminiferen als Anzeiger für Kontamination.

5.6 Radionuklide

Die Uran-Konzentrationen in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres liegen zwischen 0,8 und 6,0 ppm. Der Mittelwert aller Messungen liegt mit  $2,4 \pm 0,6$  ppm im Konzentrationsbereich, den Burton (1975) für marine Sedimente mit 0,7 bis 4,4 ppm angibt.

Die Verteilung von Uran in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres ist sowohl räumlich als auch zeitlich relativ konstant. Erhöhte  $^{238}\text{U}$ -Gehalte (bis 6 ppm) treten nur auf in dunklen Diamikten (Lithofazies F nach Henrich et al. 1989; Tab. 5). Das in diesem Bereich nicht erhöhte  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Verhältnis (AU in Tabelle 5) zeigt an, daß es sich hier um eine lithogene Uran-Anreicherung handelt (Mangini 1978). In einigen Sedimentkernen konnte auch eine authigene Uran-Anreicherung beobachtet werden (Tab. 6). Die authigenen Uran-Anreicherungen sind im Gegensatz zu den lithogenen Uran-Anreicherungen in der Lithofazies F gekennzeichnet durch das parallele Ansteigen der  $^{234}\text{U}$ -Aktivität, des  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Verhältnisses und (soweit gemessen) der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte (Abb. 19).

Abbildung 19:  
 $C_{\text{org}}$ -Gehalt,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Verhältnis (AU) und authigene Uran-Anreicherung im Sedimentkern GIK 23294 (Station C).





**Tabelle 5:** Uran-Gehalte in verschiedenen Lithofazies (nach Henrich et al. 1989) der Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F).

| Lithofazies(*):           | A           | B           | C    | D           | F           |
|---------------------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|
| GIK 23059-2/3 (Station E) |             |             |      |             |             |
| <sup>238</sup> U [dpm/g]  | 1.51 ± 0.28 | 1.82 ± 0.31 |      |             | 1.94 ± 0.10 |
| n =                       | 37          | 31          |      |             | 2           |
| AU                        | 0.92 ± 0.09 | 0.89 ± 0.09 |      |             | 0.75 ± 0.09 |
| n =                       | 37          | 31          |      |             | 2           |
| GIK 23065-2/3 (Station F) |             |             |      |             |             |
| <sup>238</sup> U [dpm/g]  | 1.54 ± 0.73 | 1.54 ± 0.28 | 1.60 | 1.62 ± 0.06 | 1.94 ± 0.10 |
| n =                       | 25          | 47          | 1    | 2           | 9           |
| AU                        | 0.96 ± 0.14 | 0.90 ± 0.08 | 0.94 | 0.94 ± 0.02 | 0.86 ± 0.07 |
| n =                       | 25          | 47          | 1    | 2           | 9           |

angegeben sind der Mittelwert und die absolute Standardabweichung,

n: Anzahl der Beobachtungen;

AU = Aktivitätsverhältnis von <sup>234</sup>U zu <sup>238</sup>U

(\*): Die Lithofazies nach Henrich et al. (1989) sind folgendermaßen definiert:

- A: brownish foraminiferal mud
- B: brownish sandy mud, scattered dropstones
- C: dark grey mud, scattered dropstones
- D: dark olive grey diamictos
- F: very dark to dark olive grey diamictos

**Tabelle 6:** Authigene Uran-Anreicherungen in den bearbeiteten Sedimentkernen.

| Sedimentkern | Tiefenbereich [cm] | <sup>234</sup> U <sub>detritisch</sub> [dpm/g] (§) | <sup>234</sup> U <sub>authigen</sub> [dpm/g] (#) | Alter [a] |
|--------------|--------------------|--|--|-----------|
| GIK 23065    | 436 - 473.5        | 1.48   | 2.25   | 185.000   |
| GIK 23294    | 410 - 440          | 1.89   | 1.58   | 85.000    |
|              | 720 - 770          | 1.89   | 1.29   | 150.000   |
| GIK 23259    | 667 - 717          | 1.77   | 0.93   | 160.000   |
| GIK 17728    | 230 - 250          | 1.49   | 0.53   | 240.000   |
|              | 330 - 340          | 1.49   | 0.69   | 330.000   |

(§) mittlere <sup>234</sup>U-Aktivität im Sedimentkern

(#) gemittelt über den gesamten korrigierten Tiefenbereich

Die <sup>232</sup>Th-Konzentrationen in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres liegen zwischen 2,8 und 10,7 ppm. Der Mittelwert liegt mit  $7,3 \pm 2,0$  ppm im Konzentrationsbereich, den Turekian & Wedepohl (1961) für Tiefsee-Tone mit 7 ppm angeben.

Das Aktivitätsverhältnis von <sup>238</sup>U zu <sup>232</sup>Th beträgt in den Oberflächensedimenten  $0,76 \pm 0,09$  und in den Sedimentkernen  $0,69 \pm 0,15$ . Dieses Verhältnis entspricht dem <sup>238</sup>U/<sup>232</sup>Th-Verhältnis in lithogenen Partikeln, das nach Anderson et al. (1990)  $0,8 \pm 0,2$  beträgt. Signifikante Abweichun-

gen des  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ -Verhältnisses von dem "lithogenen Mittelwert" liegen nur in Bereichen vor, in denen es zu einer authigenen Uran-Anreicherung gekommen ist (Tab. 6).

Die  $^{232}\text{Th}$ -Konzentrationen in den Sedimentkernen liegen zwischen 4 und 19 ppm (Abb. 20b - 25b). Die durchschnittlichen  $^{232}\text{Th}$ -Gehalte betragen in den meisten Sedimentkernen 9 bis 10 ppm (Tab. 7). Nur in den Sedimentkernen GIK 23294 und 23259 (Stationen C und D) liegen die durchschnittlichen Gehalte mit 13,0 bzw. 11,3 ppm deutlich höher (Tab. 7).

Tabelle 7: Durchschnittliche  $^{232}\text{Th}$ - und  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte in den bearbeiteten Sedimentkernen.

| Sedimentkern | $^{232}\text{Th}$ [ppm] |        | $\text{CaCO}_3$ [%] |
|--------------|-------------------------|--------|---------------------|
|              | mittel                  | stdabw |                     |
| GIK 23059    | 9.71                    | 1.57   | 10.60               |
| GIK 23065    | 9.31                    | 2.02   | 14.27               |
| GIK 23294    | 13.03                   | 1.52   | 5.29                |
| GIK 23259    | 11.29                   | 1.74   |                     |
| GIK 17728    | 9.39                    | 1.45   | 7.42                |
| GIK 21295    | 9.67                    | 1.39   |                     |

Die  $^{230}\text{Th}$ -Aktivitäten in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres liegen zwischen 1,22 und 9,46  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ . Der aus der  $^{234}\text{U}$ -Aktivität errechnete Gleichgewichtsanteil (Formel 1) beträgt relativ konstant  $1,31 \pm 0,26 \text{ dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ . Für die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten berechnen sich danach Werte von 0,05 bis 7,92  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ . Auch in den Sedimentkernen liegt der Gleichgewichtsanteil von  $^{230}\text{Th}$  relativ konstant bei  $1,64 \pm 0,52 \text{ dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  (Mittelwert aller  $^{234}\text{U}$ -Bestimmungen). Die  $^{230}\text{Th}$ -Aktivitäts-Profile in den Sedimentkernen verlaufen entsprechend parallel den  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitätsprofilen und werden im folgenden nicht einzeln beschrieben.

Für einige Proben wurden die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten unter Berücksichtigung einer authigenen Uran-Anreicherung nach Formel (2) berechnet (Tab. 6). Für den detritischen  $^{234}\text{U}$ -Anteil wurde dabei der Mittelwert der  $^{234}\text{U}$ -Aktivität im jeweiligen Sedimentkern eingesetzt. Das Alter der Uran-Anreicherung wurde mit der mittleren Sedimentationsrate berechnet (a in Tab. 8).

Tabelle 8: Mittlere Sedimentationsraten der bearbeiteten Sedimentkerne.

| Sedimentkern | bis Tiefe [cm] | $s_m$ nach $^{230}\text{Th}$ [cm/ka] |      | nach $\delta^{18}\text{O}$ [cm/ka] | (Quelle)                 |
|--------------|----------------|--------------------------------------|------|------------------------------------|--------------------------|
|              |                | (a)                                  | (b)  |                                    |                          |
| GIK 23059    | 573            | 1.71                                 |      | 1.69                               | (Vogelsang 1990)         |
| GIK 23065    | 645            | 1.95                                 |      | 1.95                               | (Vogelsang 1990)         |
| GIK 23294    | 817            | 4.00                                 | 5.83 |                                    |                          |
| GIK 23259    | 600            | 3.30                                 | 4.42 | 4.25                               | (Hahn, unveröffentlicht) |
|              | 707            | 2.07                                 | 5.13 |                                    |                          |
| GIK 17728    | 380            | 1.00                                 |      |                                    |                          |
| GIK 21295    | 42             | 0.4                                  |      | 2.5                                | (Jones & Keigwin 1988)   |

(a): berechnet aus der Steigung der Regressionsgeraden  
 (b): korrigiert nach der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Stratigraphie

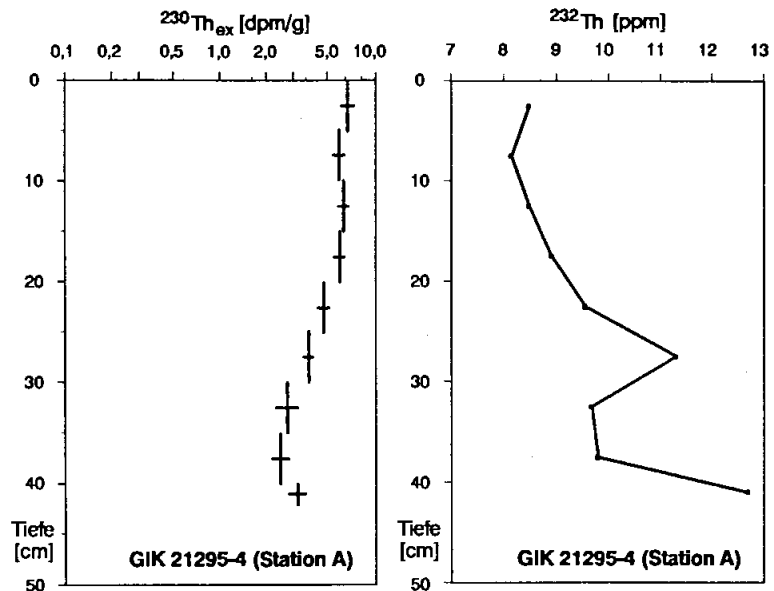
In den Sedimentkernen befinden sich die höchsten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten mit 4 bis 7  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  immer in den obersten 30 cm (Abb. 20a - 25a). Die Abnahme der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität mit der Sedimenttiefe verläuft sehr unregelmäßig.

Im Sedimentkern GIK 21295 (Station A; Abb. 20a) nimmt die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität von 6,13  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  an der Sedimentoberfläche auf 5,82  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  in 20 cm Tiefe ab. Ab 20 cm Tiefe wird der Gradient der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Abnahme mit der Tiefe steiler.

Im Sedimentkern GIK 17728 (Station B; Abb. 21a) fallen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von 5,67  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  an der Sedimentoberfläche bis auf 1,30  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  in 110 cm Tiefe ab. Zwischen 110 und 150 cm Tiefe liegen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten mit 2,12 bis 2,49  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  relativ hoch. Unterhalb von 150 cm nehmen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten mit der Tiefe drastisch ab. Zwischen 260 und 330 cm sind die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten nochmals relativ hoch. Unterhalb von 410 cm ist  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  nicht mehr nachweisbar.

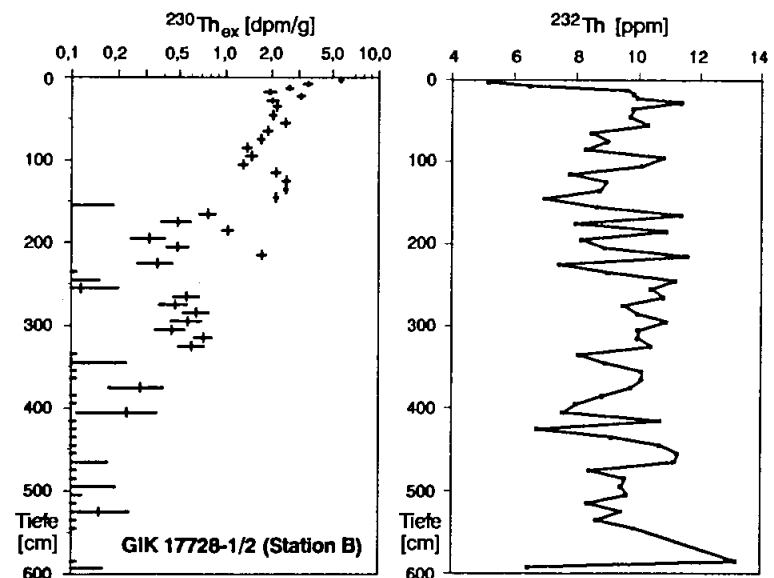
**Abbildung 20a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 21295-4 (Station A) in halblogarithmischer Darstellung; die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge, die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.

**Abbildung 20b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 21295-4 (Station A).



**Abbildung 21a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 17728-1/2 (Station B) in halblogarithmischer Darstellung; die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge, die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.

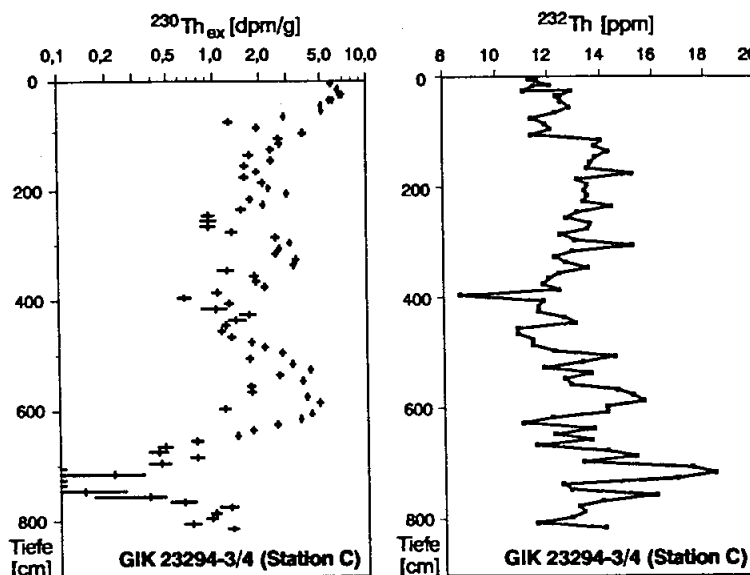
**Abbildung 21b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 17728-1/2 (Station B).



Im Sedimentkern GIK 23294 (Station C; Abb. 22a) liegen die höchsten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten mit 6,67 bzw. 6,94  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  in 20 bis 30 cm Tiefe. Die gute Übereinstimmung des  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofils von Großkastengreifer und Kastenlot (Tab. A-10) zeigt, daß eine Tiefenkorrektur, wie sie für die Kastenlote GIK 23059 und GIK 23065 von Vogelsang (1990) vorgenommen wurde, für das Kastenlot GIK 23294 nicht notwendig ist. Zwischen der Sedimentoberfläche und 600 cm Tiefe schwanken die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten mehr oder weniger gleichmäßig zwischen 0,65  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  (Minimum in 400 cm Tiefe) und 6,94  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ . Zwischen 600 und 710 cm fallen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von 4,29 bis unter 0,1  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  ab. Bis zum Kernende bei 817 cm steigen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten wieder auf 1,30  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  an.

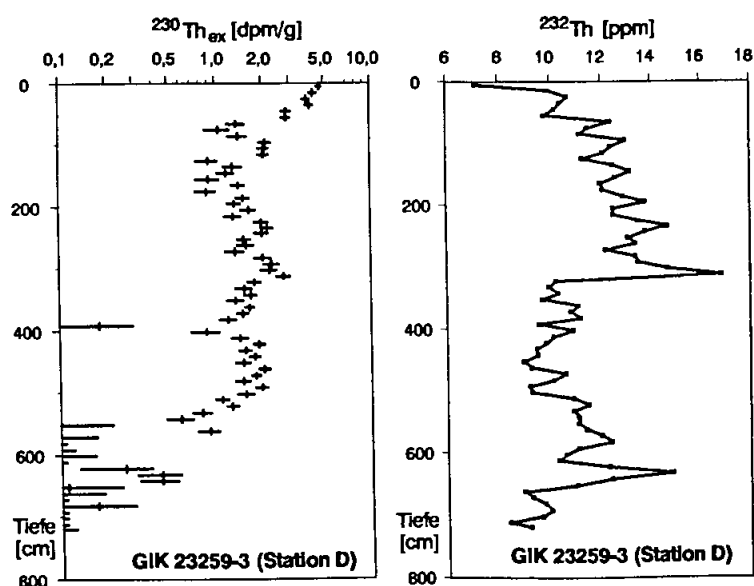
Im Sedimentkern GIK 23259 (Station D; Abb. 23a) nehmen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von der Sedimentoberfläche bis in 90 cm Tiefe relativ gleichmäßig ab. Zwischen 90 und 497 cm liegen die Aktivitäten bis auf wenige Ausnahmen zwischen 1 und 2  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ , ohne daß eine Abnahme mit der Tiefe zu erkennen ist. Zwischen 497 und 557 cm fallen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von 1,96 auf 0,09  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  sehr stark ab. Unterhalb von 557 cm liegen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten bis auf wenige Ausnahmen unter 0,1  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ .

**Abbildung 22a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23294-3/4 (Station C) in halblogarithmischer Darstellung;  
 die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge,  
 die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.



**Abbildung 22b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23294-3/4 (Station C).

**Abbildung 23a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23259-3 (Station D) in halblogarithmischer Darstellung;  
 die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge,  
 die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.

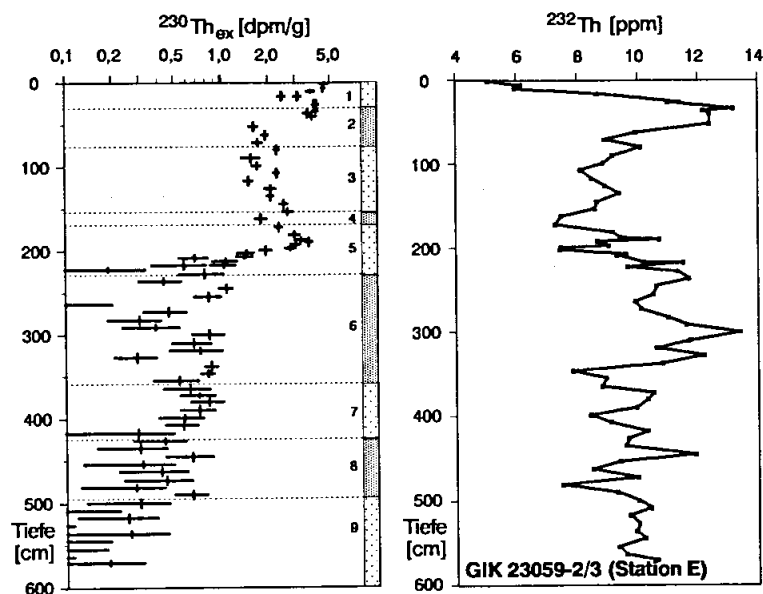


**Abbildung 23b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23259-3 (Station D).

Im Sedimentkern GIK 23059 (Station E; Abb. 24a) schwanken die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten im obersten Bereich zwischen 2,45 und 4,63  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ . Unterhalb 44 cm fallen sie deutlich auf Aktivitäten unter 2  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  ab. Bis in 190 cm Tiefe steigen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten bis auf 3,63  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  an. Danach folgt ein drastischer Abfall der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten. Unterhalb von 380 cm verläuft die Abnahme der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten relativ gleichmäßig. Ab 540 cm ist  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  nicht mehr nachweisbar.

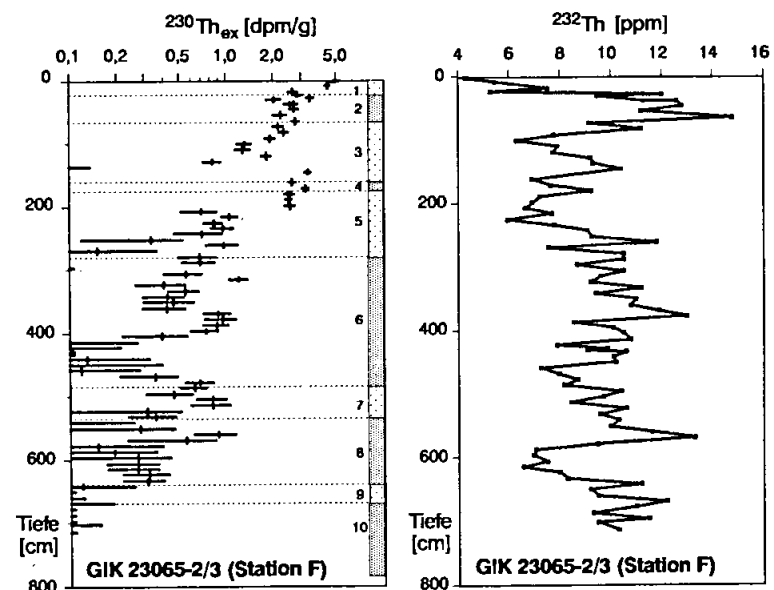
Im Sedimentkern GIK 23065 (Station F; Abb. 25a) fallen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von 5,08  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  an der Sedimentoberfläche bis auf 0,83  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  in 130 cm Tiefe gleichmäßig ab. Zwischen 140 und 200 cm ist ein Bereich mit relativ hohen  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten von 2,53 bis 3,32  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$  zu erkennen. Unterhalb dieses Bereiches nehmen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten unregelmäßig ab. Unterhalb von 645 cm liegen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten unter 0,1  $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ .

**Abbildung 24a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23059-2/3 (Station E) in halblogarithmischer Darstellung; die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge, die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.

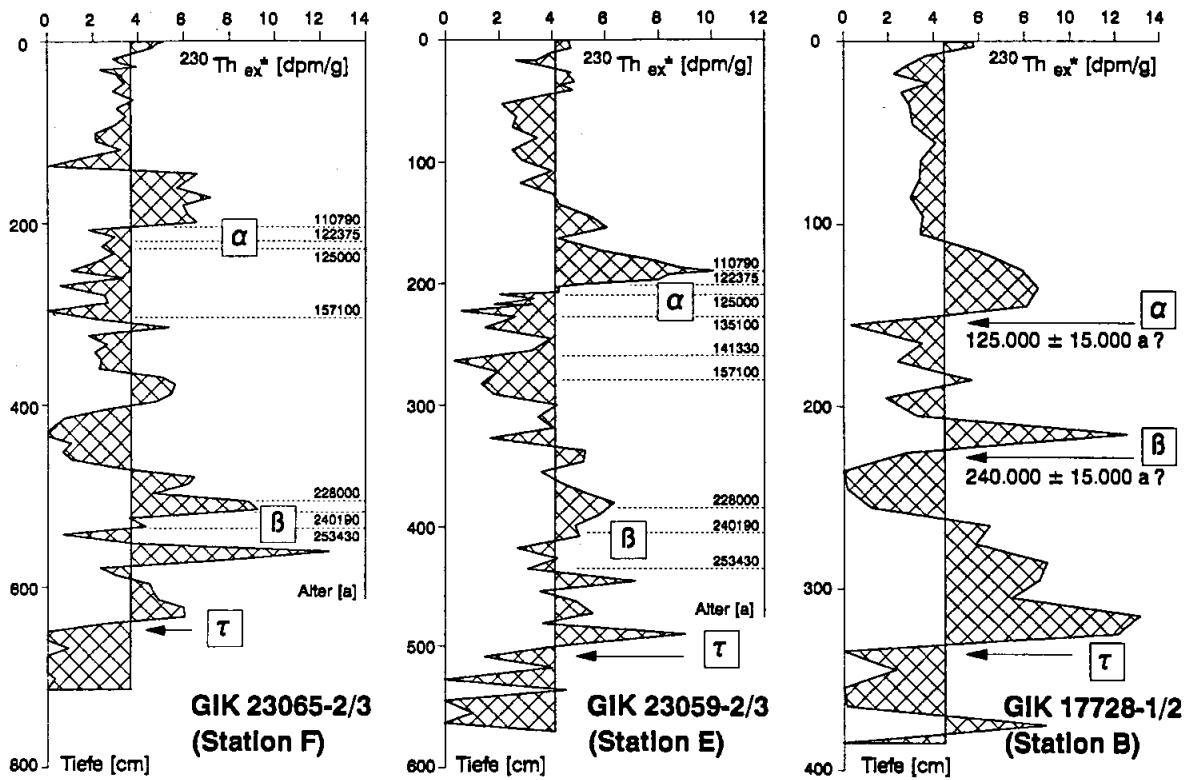


**Abbildung 24b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23059-2/3 (Station E).

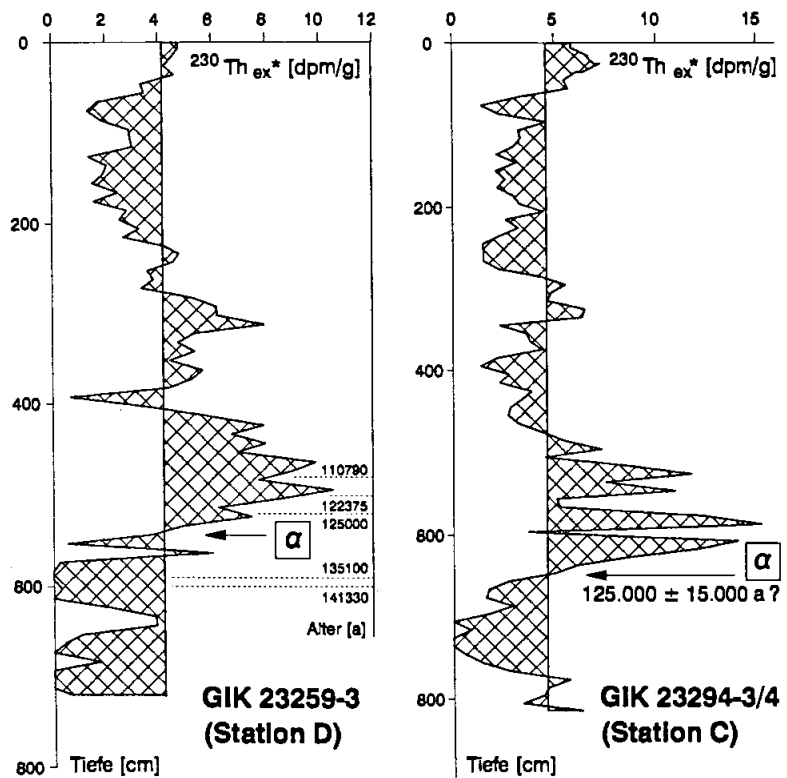
**Abbildung 25a (links):**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäts-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23065-2/3 (Station F) in halblogarithmischer Darstellung; die Strichlänge auf der Tiefenachse entspricht der Probenlänge, die Strichlänge auf der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Achse gibt den  $1\sigma$ -Zählfehler an.



**Abbildung 25b (rechts):**  
 $^{232}\text{Th}$ -Konzentrations-Tiefenprofil für den Sedimentkern GIK 23065-2/3 (Station F).



**Abbildung 26 :**  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}^*}$ -Tiefenprofil für die Sedimentkerne GIK 23065, 23059 und 17728 (Stationen F, E und B); die Altersangaben für die Sedimentkerne GIK 23065 und 23059 sind aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (Vogelsang 1990) abgeleitet; die griechischen Buchstaben bezeichnen die korrelierten Variationen, Erklärung im Text.



**Abbildung 27 :**  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}^*}$ -Tiefenprofil für die Sedimentkerne GIK 23259 und 23294 (Stationen D und C); die Altersangaben für den Sedimentkern GIK 23259 sind aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (Hahn, unveröffentlicht) abgeleitet; die griechischen Buchstaben bezeichnen die korrelierten Variationen, Erklärung im Text.

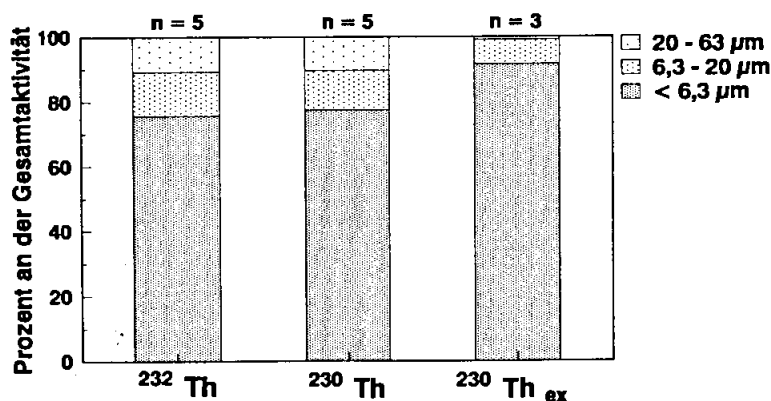
Mit Hilfe der nach Formel (17) berechneten mittleren Sedimentationsrate (a in Tab. 8) ist es möglich, für jede Probe die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität zur Zeit der Ablagerung zu berechnen (vgl. Formel 18). Wenn man diese zerfallskorrigierten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten gegen die Sedimenttiefe aufträgt (Abb. 26 und 27), lassen sich die bereits beschriebenen Variationen in den  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten noch besser erkennen und zum Teil miteinander korrelieren (Scholten et al. 1990). Besonders auffällig in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres ist ein Bereich mit deutlich erhöhten (gegenüber dem jeweiligen Mittelwert)  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten, die nach unten durch einen starken Abfall begrenzt werden ( $\alpha$  in Abb. 26 und 27). Ein weiteres gemeinsames Merkmal sind die sehr niedrigen und stark schwankenden  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten unterhalb dieses Bereiches. In den Sedimentkernen GIK 17728, 23059 und 23065 (Stationen B, E und F) ist im unteren Kernabschnitt ein zweiter Bereich mit mehreren deutlich erhöhten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivitäten zu erkennen ( $\beta$  in Abb. 26). Da für die Alterskorrektur von einer durchschnittlichen (a in Tab. 8), und damit für einzelne Sedimentabschnitte nicht zutreffenden, Sedimentationsrate ausgegangen wurde, ist es nur möglich, relative Veränderungen in dem  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil zu vergleichen (Abb. 26 und 27).

Die Untersuchung der **Radionuklide in einzelnen Kornfraktionen** zeigt, daß diese in den feinen Kornfraktionen stark angereichert sind (Tab. 9, Abb. 28). Die Abweichungen in der  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration bzw. in der  $^{230}\text{Th}$ -Aktivität zwischen der Feinfraktion ( $< 63 \mu\text{m}$ ; a in Tab. 9) und der Gesamtfraktion (b in Tab. 9) liegen innerhalb der Fehlergrenzen, so daß in der Sandfraktion, die nicht untersucht wurde, keine Radionuklide zu erwarten sind.  $^{230}\text{Th}$  und  $^{232}\text{Th}$  sind zu 70 bis 90 % mit der Kornfraktion  $< 6,3 \mu\text{m}$  assoziiert (Abb. 28). Der hohe Anteil der Radionuklide in der kleinsten Korngrößenfraktion ist annähernd unabhängig von der Korngrößenverteilung (Tab. 9 und A-14).

**Tabelle 9:** Radionuklidverteilung in einzelnen Kornfraktionen des Sedimentkerns GIK 23059 (Station E).

| Tiefe [cm] | Sand [Gew%] | $^{232}\text{Th}$ [ppm] |       |           | $^{230}\text{Th}$ [dpm/g] |      |           | $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ [dpm/g] |      |           |
|------------|-------------|-------------------------|-------|-----------|---------------------------|------|-----------|---------------------------------------|------|-----------|
|            |             | a                       | b     | (a/b)*100 | a                         | b    | (a/b)*100 | a                                     | b    | (a/b)*100 |
| 180        | 16.9        | 9.57                    | 9.15  | 105       | 4.24                      | 4.30 | 99        | 2.80                                  | 2.96 | 95        |
| 202        | 39.9        | 7.80                    | 7.43  | 105       | 2.97                      | 2.68 | 111       | 1.77                                  | 1.92 | 92        |
| 210        | 21.7        | 9.34                    | 9.29  | 101       | 2.01                      | 2.21 | 91        | 0.63                                  | 0.68 | 91        |
| 260        | 18.2        | 8.77                    | 9.91  | 88        | 2.06                      | 2.01 | 102       | 0.37                                  | 0.08 | 463 ?     |
| 280        | 12.5        | 13.78                   | 11.00 | 125       | 3.05                      | 2.32 | 131       | 1.46                                  | 0.30 | 487 ?     |

a: Summe aus den Kornfraktionen  $< 6.3 \mu\text{m}$ ,  $6.3 - 20 \mu\text{m}$  und  $20 - 63 \mu\text{m}$   
b: Gesamtfraktion aus Schlitzprobe (vgl. Tab. A-12)



**Abbildung 28 :** Radionuklidverteilung in einzelnen Kornfraktionen des Sedimentkerns GIK 23059-3 (Station E).

## 6 Diskussion

### 6.1 **Mineralogische und geochemische Zusammensetzung der Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres**

Im folgenden Kapitel wird die mineralogische und geochemische Zusammensetzung der Oberflächensedimente als Abbild der rezenten ozeanographischen Prozesse diskutiert. Ein wichtiger Gesichtspunkt dabei ist, indikative Parameter in den Oberflächensedimenten zu bestimmen, die auch in Sedimentkernen, und damit für paläozeanographische Rekonstruktionen, Verwendung finden können (Aktualitätsprinzip).

Während in den Oberflächensedimenten die **Tonminerale** Kaolinit, Illit und Chlorit keine signifikanten Trends zeigen, ergibt sich für Montmorillonit ein anderes Bild.

Die in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres gefundene Abnahme des Montmorillonitgehaltes von Südosten nach Nordwesten (Abb. 10, Seite 27) setzt sich nach Norden in den Sedimenten der Framstraße (Botz & Stoffers 1989, Berner & Wefer 1990) und des Arktischen Ozeans (Berry & Johns 1966, Darby 1975) fort. Im Nord-Atlantik besitzen die Sedimente dem generellen Trend folgend relativ hohe Montmorillonitgehalte (Biscaye 1965, Berry & Johns 1966, Grousset & Chesselet 1986).

Die wichtigsten Quellen von Montmorillonit für das Europäische Nordmeer sind die Verwitterungsprodukte vulkanischer Gesteine (Eisma & van der Gaast 1983, Grousset & Chesselet 1986), die beispielsweise auf den Faröer Inseln und auf Island anstehen. Die hohen Montmorillonitgehalte in der unmittelbaren Nähe von Jan Mayen (Abb. 10, Seite 27) zeigen, daß auch diese vulkanische Insel zumindest eine lokale Bedeutung als Quelle für Montmorillonit besitzt.

Da eine in-situ Bildung von Tonmineralen nach Biscaye (1965) in diesem Meeresgebiet auszuschließen ist und nach Berry & Johns (1966) auch der äolische Eintrag von Tonmineralen ins Europäische Nordmeer gering ist, kann davon ausgegangen werden, daß der Montmorillonit hauptsächlich durch den Norwegenstrom nach Norden in das Europäische Nordmeer transportiert wird (Eisma & van der Gaast 1983). Die geographische Verteilung des Montmorillonits in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres spiegelt deshalb in etwa den Verlauf des Norwegenstroms im Sediment wider (Abb. 10, Seite 27).

Trotz eines relativ eng begrenzten Quellgebietes von Montmorillonit sind die Konzentrationsgradienten im Montmorillonitgehalt in den Oberflächensedimenten innerhalb des Europäischen Nordmeeres sehr flach. Dies zeigt, daß Montmorillonit sehr weit lateral in der Wassersäule transportiert wird (vgl. Kapitel 6.2).

Der **CaCO<sub>3</sub>-Gehalt** in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres zeichnet ebenfalls den Einfluß des Norwegenstroms im Sediment nach (Abb. 13, Seite 30; Kellogg 1976). Dies ist Ausdruck der erhöhten Bioproduktivität in dem relativ warmen Wasser dieses Oberflächenstroms (Kellogg 1976).

Prinzipiell wird die Konzentration von CaCO<sub>3</sub> im Sediment vom CaCO<sub>3</sub>-Eintrag, von der CaCO<sub>3</sub>-Lösung im Wasser und im Sediment, sowie von der Verdünnung durch andere Komponenten bestimmt. Ein terrigener Eintrag von CaCO<sub>3</sub> in das Europäische Nordmeer ist nach Kellogg (1976) für rezente Sedimente zu vernachlässigen. Der Eintrag von CaCO<sub>3</sub> hängt demzufolge nur von der biologischen CaCO<sub>3</sub>-Produktion in der Wassersäule und von der Auflösung der Carbonatschalen in der Wassersäule bzw. im Sediment ab. Für die Oberflächensedimente der Norwegi-



schen See ist die Lösung von  $\text{CaCO}_3$  zu vernachlässigen (Kellogg 1976, Henrich 1986). Die hohen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte in der nördlichen Grönländischen See (Abb. 13, Seite 30) sind durch einen erhöhten Eintrag von  $\text{CaCO}_3$  und nicht durch eine geringere Verdünnung verursacht worden (vgl. Kapitel 6.2). Offenbar gelangt durch den Jan Mayen Wirbel aus der Norwegischen See relativ warmes Oberflächenwasser bis weit in die nördliche Grönländische See (Machoczek 1989). Dies dürfte unter anderem auch zu der Ausbildung der sommerlichen Eiskante in diesem Gebiet führen (Abb. 2, Seite 4).

Die **geochemische Zusammensetzung** der Sedimentoberflächen des Europäischen Nordmeeres wird in erster Linie bestimmt durch den Eintrag bzw. die Verdünnung von  $\text{CaCO}_3$ . So zeigen die Elemente Ca und Sr eine ähnliche geographische Verteilung wie  $\text{CaCO}_3$  (vgl. Abb. 13, Seite 30). Alle anderen Elemente zeigen mehr oder weniger deutlich eine dazu inverse Verteilung.

Um anhand der geochemischen Zusammensetzung der Sedimente Aussagen über die Sedimentationsbedingungen machen zu können, ist es sinnvoll, typische chemische Zusammensetzungen bestimmten Sedimentationsprozessen oder Liefergebieten zuzuordnen. Dieser Ansatz wird auch bei der normativen Sedimentanalyse verfolgt (Bischoff et al. 1979, Dymond 1982), bei der anhand verschiedener end-member Sedimenttypen, unterschiedliche Sedimentationsprozesse quantifiziert werden. Diese Methode konnte für Sedimente des Pazifiks (z.B. Bischoff et al. 1979, Dymond 1982, Walter 1984) und des Indiks (z.B. Scholten 1987) erfolgreich angewendet werden. In diesen Gebieten konnten jeweils mehrere chemisch deutlich unterscheidbare Sedimentkomponenten (hydrogen, hydrothermal, biogen, terrigen, etc.) definiert werden.

Um eine solche Klassifizierung für die Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres durchzuführen, muß zuerst abgeschätzt werden, welche Zusammensetzung die Komponenten besitzen könnten, die die Sedimente in diesem Gebiet aufbauen. Anhand von geochemischen und mineralogischen Untersuchungen unterteilten Grousset et al. (1982) die Sedimente im Gebiet südlich und östlich von Island in eine biogene und zwei nicht biogene Komponenten. Von den beiden nicht biogenen Komponenten ist die eine durch einen basischen Chemismus und die andere durch einen sauren Chemismus gekennzeichnet. Die Bezeichnungen basisch und sauer beziehen sich dabei auf den Charakter der Ausgangsgesteine und schließen alle Verwitterungsprodukte mit ein (Grousset et al. 1982).

Diese Komponenten dürften auch im Europäischen Nordmeer die Sedimentzusammensetzung bestimmen. Für eine geochemische Einteilung der Oberflächensedimente wird deshalb, ähnlich wie bei der normativen Sedimentanalyse, angenommen, daß ausschließlich drei Komponenten (biogene Partikel, Verwitterungsprodukte basischer Gesteine, sowie Verwitterungsprodukte saurer Gesteine) an der Sedimentzusammensetzung beteiligt sind. Mit dieser Annahme werden Verwitterungsprodukte intermediärer Gesteine, z.B. Andesite, entweder zu den basischen oder zu den sauren Gesteinen gerechnet und sind als eigenständige Sedimentkomponente geochemisch nicht erkennbar.

Zur Klassifizierung einer basischen und einer sauren Komponente werden die durchschnittlichen Elementgehalte basaltischer und granitischer Gesteine verglichen (Tab. 10). Es zeigt sich, daß die Elemente Mg, Ti und Fe (in dieser Reihenfolge) in basaltischen Gesteinen gegenüber granitischen Gesteinen angereichert sind. Im Gegensatz dazu sind die Elemente K und Si in granitischen Gesteinen angereichert. Al besitzt in beiden Gesteinstypen die annähernd gleiche Konzentration.

**Tabelle 10:** Durchschnittliche Elementgehalte von Graniten und Basalten nach Turekian & Wedepohl (1961).

| Element | basaltische Gesteine |          | granitische Gesteine (Ca-arm) |          | basalt./granit. Gest.<br>Elem./Elem. |
|---------|----------------------|----------|-------------------------------|----------|--------------------------------------|
|         | Gehalt [ppm]         | Elem./Al | Gehalt [ppm]                  | Elem./Al |                                      |
| Fe      | 86500                | 1.11     | 14200                         | 0.20     | 6.09                                 |
| Mn      | 1500                 | 0.019    | 390                           | 0.0054   | 3.85                                 |
| Ti      | 13800                | 0.18     | 1200                          | 0.017    | 11.50                                |
| Ca      | 76000                | 0.97     | 5100                          | 0.071    | 14.90                                |
| K       | 8300                 | 0.11     | 42000                         | 0.58     | 0.20                                 |
| Si      | 230000               | 2.95     | 347000                        | 4.82     | 0.66                                 |
| Al      | 78000                | 1        | 72000                         | 1        | 1.08                                 |
| Mg      | 46000                | 0.59     | 1600                          | 0.022    | 28.75                                |
| Pb      | 6                    | 0.000077 | 19                            | 0.00026  | 0.32                                 |
| Zn      | 105                  | 0.0013   | 39                            | 0.00054  | 2.69                                 |
| Ni      | 130                  | 0.0017   | 4.5                           | 0.000063 | 28.89                                |
| Co      | 48                   | 0.00062  | 1                             | 0.000014 | 48.00                                |
| Cu      | 87                   | 0.0011   | 10                            | 0.00014  | 8.70                                 |

Tabelle A-15 zeigt, daß sowohl eine gute Korrelation zwischen Si und K ( $r = 0,77$ ) als auch zwischen Fe, Ti und Mg ( $r = 0,75, 0,77$  und  $0,91$ ) besteht. Zwischen Si und K auf der einen Seite und Fe, Ti und Mg auf der anderen Seite besteht dagegen keine Korrelation. In dieses Schema lassen sich auch die meisten Spurenelemente einfügen. Die Elemente Zr, Y, Rb, Ga und Ba korrelieren hochsignifikant mit K (Tab. A-15). Die Elemente Nb, Ni, Cu, V, Cr und Ba korrelieren hochsignifikant mit Mg (Tab. A-15).

Ba besitzt eine Sonderstellung, da es als einziges Element sowohl mit K als auch mit Mg korreliert. Möglicherweise wird Ba nach der Barytbildung in der Wassersäule (Dehairs et al. 1980) zusammen mit den lithogenen Partikeln im Sediment abgelagert.

Die Elemente Mn, Co und Zn lassen sich nicht einer der drei chemisch definierten Sedimentkomponenten zuordnen. Nach Tabelle 10 sollten diese drei Elemente in der basischen Sedimentkomponente angereichert sein. Der Grund, daß dies nicht der Fall ist, könnte in einer frühdiagenetischen Umverteilung dieser Elemente liegen. Dies ist insbesondere für Co und Mn wahrscheinlich, da nach Porenwasseruntersuchungen von Balzer (1989) der mobilisierbare Anteil dieser Elemente in den Sedimenten der Norwegischen See besonders hoch ist.

Zusammenfassend verteilen sich die jeweils höchsten Elementgehalte in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres auf die geochemisch definierten Sedimentkomponenten folgendermaßen:

- in der biogenen Komponente: Ca und Sr (Elementgruppe a)
- in einer lithogenen Komponente mit saurem Chemismus: Si, K, Zr, Y, Rb und Ga (Elementgruppe b)
- in einer lithogenen Komponente mit basischem Chemismus: Fe, Ti, Mg, Nb, Ni, Cu, V und Cr (Elementgruppe c)

Nach Grousset et al. (1982) ist die lithogene Komponente mit saurem Chemismus in den Sedimenten östlich und südlich von Island durch die Minerale Quarz, sowie Illit, Kaolinit und Chlorit gekennzeichnet. In der lithogenen Komponente mit basischem Chemismus treten in den von Grousset et al. (1982) untersuchten Sedimenten vorwiegend Plagioklase, Pyroxene, Peridotite, Amphibole, sowie Montmorillonit auf. In der vorliegenden Arbeit wurde die Mineralogie des Gesamtsediments nicht untersucht, so daß die Sedimentkomponenten nur geochemisch definiert werden können.

Abbildung 29 zeigt, daß sich Elementgruppe (a) und (b) gegenseitig verdünnen, was sich auch an dem hohen negativen Korrelationskoeffizienten von Ca und K ( $r = -0,88$ , Tab. A-15) ablesen läßt. Elementgruppe (c) verhält sich dagegen relativ invariant, entsprechend besteht auch keine negative Korrelation zwischen Mg auf der einen Seite und Ca oder K auf der anderen Seite (Tab. A-15).

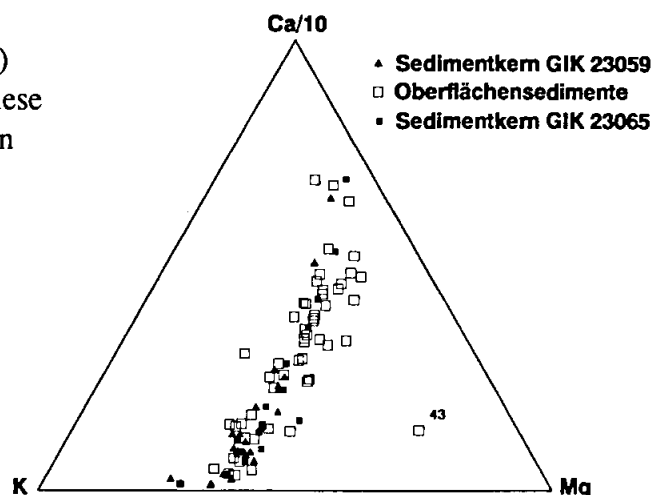
Die geographische Verteilung der einzelnen Elementgruppen zeigen die Abbildungen 30 und 31 (die Verteilung der Ca-Gehalte ist nicht dargestellt, da sie sich nur unwesentlich von der Verteilung der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte, Abb. 13, Seite 30, unterscheidet). Für diese Darstellung wurden die für die Elementgruppen repräsentativen Elemente auf Al normiert, um damit Korngrößeneffekte sowie die verdünnende Wirkung des Calciumcarbonats rechnerisch zu eliminieren und so die beiden lithogenen Sedimentkomponenten direkt vergleichen zu können (vgl. Kapitel 3.4).

Die Mg/Al-Verhältnisse (als Indikator für den Eintrag von basischen Gesteinskomponenten) nehmen in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres generell von Nordwesten nach Südosten zu. Die höchsten Werte liegen in der Umgebung von Jan Mayen (Probe 43 und 48, Abb. 30). Die K/Al-Verhältnisse (als Indikator für den Eintrag von sauren Gesteinskomponenten) steigen vom Beckeninneren zu den Kontinenten an (Abb. 31). Dieser Trend ist allerdings weniger deutlich ausgeprägt.

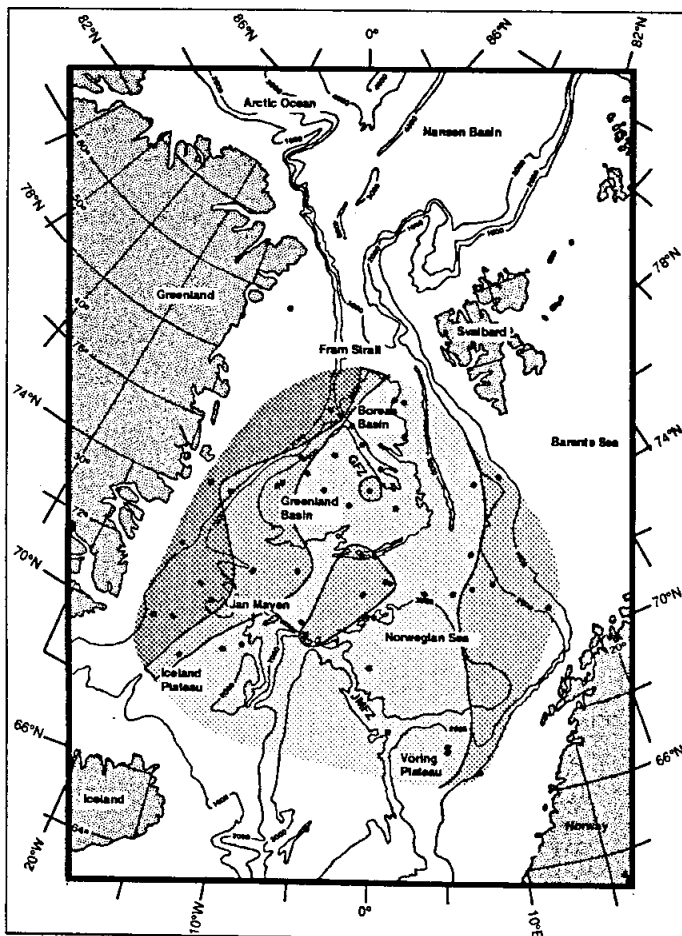
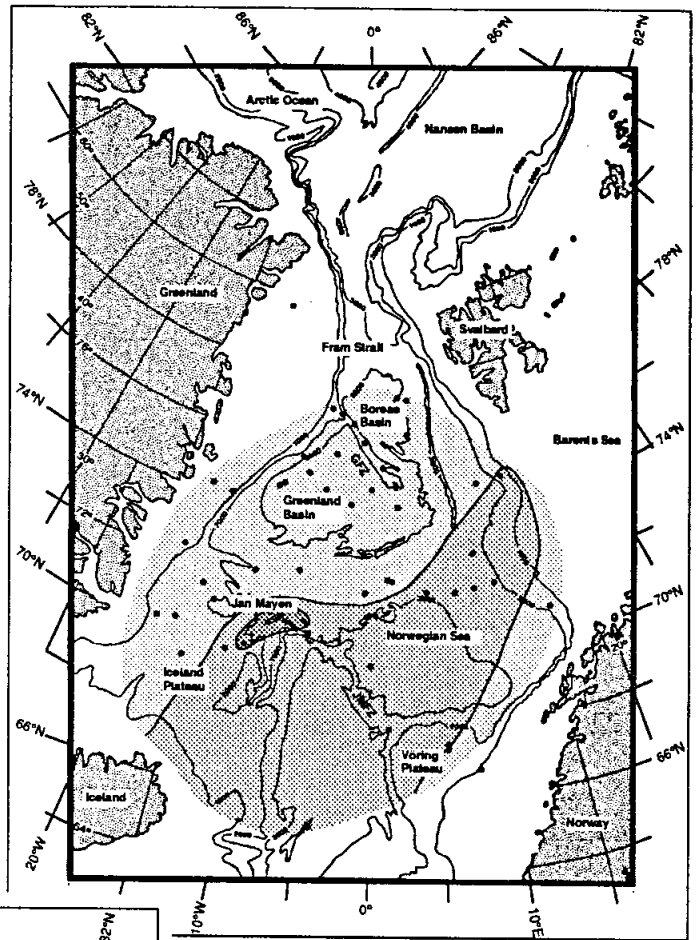
Aus der geographischen Verteilung dieser chemisch definierten Sedimentkomponenten (Abb. 30 und 31) lassen sich Informationen über den Sedimentationsprozeß bzw. das Liefergebiet ableiten. Die Quellgebiete für die Elementgruppe (c) sind die basaltischen Gesteine Islands, der Faröer Inseln (Grousset et al. 1982) sowie Jan Mayens (Abb. 30). Das wichtigste Transportmedium ist demzufolge (genauso wie für Montmorillonit, Abb. 10, Seite 27) der nordwärts gerichtete Norwegengstrom.

Im Gegensatz dazu dürften die sauren Metamorphite und Plutonite Grönlands und Norwegens die Hauptliefergebiete für die Elementgruppe (b) darstellen. Der Transportmechanismus für diese Komponente ist aufgrund der geographischen Verteilung nicht eindeutig zu bestimmen. Denkbar ist sowohl ein hangparalleler Transport als Eisfracht, insbesondere in der Grönländischen See, als auch ein hangnormaler Transport.

**Abbildung 29 :**  
Dreiecksdarstellung der Elementgehalte von K, Mg und Ca/10 für die bearbeiteten Sedimente.



**Abbildung 30 (rechts) :**  
 Verteilung der Mg/Al-Verhältnisse in den  
 Oberflächensedimenten des Europäischen  
 Nordmeeres; Legende:  
 stark schattiert:  $> 0,3$ ;  
 mittel schattiert:  $0,25 - 0,3$ ;  
 schwach schattiert:  $0,15 - 0,25$



**Abbildung 31 (links) :**  
 Verteilung der K/Al-Verhältnisse in den  
 Oberflächensedimenten des Europäischen  
 Nordmeeres; Legende:  
 stark schattiert:  $\geq 0,3$ ;  
 mittel schattiert:  $0,20 - 0,30$ ;  
 schwach schattiert:  $< 0,20$ .

Die hohen Variationen im **Cd-Gehalt in der Schale der Foraminifere *Pyrgo murrhina*** aus Oberflächensedimenten (Abb. 17, Seite 34) lassen sich nicht mit entsprechenden Variationen im Phosphatgehalt des Tiefenwassers im Europäischen Nordmeer erklären. Der Phosphatgehalt beträgt hier relativ konstant  $1 \mu\text{mol/l}$  (Voß, persönliche Mitteilung).

Die Unterschiede im Cd-Gehalt von *Pyrgo murrhina* innerhalb einer Probe (Parallelproben in Abb. 17, Seite 34) sind zum einen zurückzuführen auf methodische Fehler (vgl. Kapitel 3.5). Zum anderen sind sie Ausdruck der natürlichen Variation innerhalb einer Probe. Die natürliche Variation in geologischen Proben wird vorwiegend durch bioturbate Mischung verursacht (Boyle 1984, Loubere 1989). Insbesondere bei Proben mit einer geringen Anzahl von Individuen kann es dadurch zu größeren Abweichungen bei Parallelbestimmungen kommen (Boyle 1984).

Die Unterschiede im Cd-Gehalt von *Pyrgo murrhina* aus verschiedenen Oberflächensedimenten sind wesentlich größer als die Unterschiede innerhalb einer Probe. Hierfür kommen folgende Ursachen in Betracht:

- Der Phosphat- und Cadmiumgehalt zeigen im Tiefenwasser des Europäischen Nordmeeres keine Korrelation. Eine gute Korrelation von Cd und Phosphat konnte sowohl für den Arktischen Ozean (Danielsson & Westerlund 1983) als auch für den Nord-Atlantik (Bruland 1983) gezeigt werden. Auch wenn aus dem Europäischen Nordmeer keine Cd-Messungen vorliegen, läßt dies vermuten, daß die Korrelation von Phosphat- und Cadmiumgehalt auch hier gilt.
- Der Einbau von Cd hängt bei der Foraminifere *Pyrgo murrhina* im Gegensatz zu anderen Foraminiferen nicht ausschließlich vom Cd-Gehalt im umgebenden Meerwasser ab. Die Foraminifere *Pyrgo murrhina* unterscheidet sich von anderen benthischen Foraminiferen durch die höheren Gehalte von Magnesium (Blackmon & Todd 1959, Boyle 1983a) und Mangan (Boyle 1983a). Als Ursache für den im Vergleich zu anderen benthischen Foraminiferen unterschiedlichen Einbau von Elementen in die Calcitschale von *Pyrgo murrhina* vermutete Boyle (1983a) einen anderen Stoffwechsel oder Lebensraum dieser Foraminifere. Möglicherweise beeinflussen diese Faktoren auch den Cd-Einbau in die Foraminiferenschale.

Aus dem zweiten Punkt ist ersichtlich, daß der Einbaumechanismus von Cd in die Calcitschale für die Foraminifere *Pyrgo murrhina* noch nicht verstanden ist. Aus diesem Grund wird der Cd-Gehalt in der Schale dieser Foraminifere in der vorliegenden Untersuchung nicht für paläozeanographische Rekonstruktionen verwendet.

Die Konzentration von  $^{232}\text{Th}$  im Sediment wird bestimmt durch den Eintrag von  $^{232}\text{Th}$  und durch die Verdünnung durch andere Komponenten. Da sowohl die Sandfraktion (Abb. 28, Seite 41) als auch  $\text{CaCO}_3$  (Burton 1975) fast kein  $^{232}\text{Th}$  enthalten, wirken diese beiden Sedimentkomponenten verdünnend auf die  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration. Dies zeigt sich auch in der negativen Korrelation von  $^{232}\text{Th}$  und  $\text{CaCO}_3$  in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres ( $r = -0,61$ ; Tab. A-15). Die durchschnittliche  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration der lithogenen, d.h. karbonatfreien, Feinfraktion läßt sich ermitteln, indem man die  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration der Feinfraktion gegen den  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt des Gesamtsediments aufträgt (Abb. 32). Da die  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration in der lithogenen Feinfraktion und der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt im Gesamtsediment voneinander unabhängige Parameter sind, läßt aus der Regressionsgeraden in Abbildung 32 folgendes ableiten:

- die durchschnittliche  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration in der lithogenen Feinfraktion liegt in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres bei 14,5 ppm (y-Achsenabschnitt in Abb. 32), mit Ausnahme von Probe 2 sind die Abweichungen von diesem Mittelwert gering;
- der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt der Feinfraktion entspricht in den hier untersuchten Oberflächensedimenten annähernd dem  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt im Gesamtsediment;
- der lithogene Anteil der Feinfraktion läßt sich mit Hilfe einer einfachen Beziehung abschätzen:

$$\text{Feinfraktion [\%]} = 100 * ({}^{232}\text{Th} [\text{ppm}] / 14,5)$$

Da  $^{232}\text{Th}$  in der Feinfraktion nicht gleichmäßig verteilt ist (Tab. 9, Abb. 28, Seite 41), führt eine Veränderung der Korngrößenzusammensetzung innerhalb der Feinfraktion auch zu Veränderungen der  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration in der lithogenen Feinfraktion. Bei einer veränderten Korngrößenzusammensetzung innerhalb der Feinfraktion muß deshalb die Beziehung zwischen dem  $^{232}\text{Th}$ -Gehalt und der lithogenen Feinfraktion korrigiert werden. Trotz dieser Einschränkung sollte die  $^{232}\text{Th}$ -Konzentration als qualitativer Indikator für die lithogene Feinfraktion herangezogen werden können.

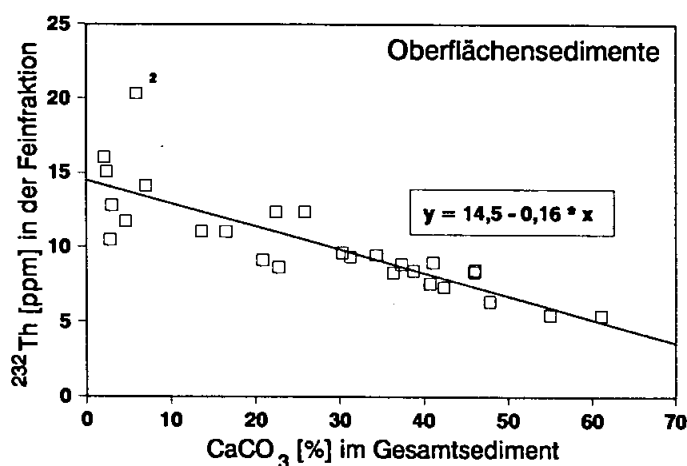


Abbildung 32: Korrelation zwischen dem  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt im Gesamtsediment und dem  $^{232}\text{Th}$ -Gehalt in der Feinfraktion,  $r = -0,82$ .

## 6.2 Akkumulationsraten von Oberflächensedimenten

Mit Hilfe von Akkumulationsraten ist es möglich, den Eintrag verschiedener Sedimentkomponenten zu quantifizieren.

Grundlage für die Berechnung von Akkumulationsraten der Oberflächensedimente ist das constant-flux Modell (DeMaster 1979, Mangini 1984, Bacon 1984a). Am Anfang des Kapitels soll deshalb die der Berechnung zugrundeliegende Annahme, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule entspricht (Kapitel 4.1), überprüft werden. Dies erfolgt, indem die berechneten Sedimentations- bzw. Akkumulationsraten mit den Ergebnissen anderer Methoden zur Bestimmung von Akkumulations- und Sedimentationsraten verglichen werden (Tab. 11).

Die Berechnung der Akkumulationsraten erfolgte für eine 10 cm mächtige durchmischte Schicht (vgl. Kapitel 4.1). Die berechneten Akkumulationsraten geben somit einen Mittelwert über einen Zeitraum von 1.500 Jahren (bei einer Sedimentationsrate von  $6,6 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ) bis 10.000 Jahren (bei einer Sedimentationsrate von  $1,0 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ) an. Sedimentfallenuntersuchungen ermöglichen die Bestimmung von Akkumulationsraten in Zeitskalen von Monaten bis einigen Jahren. Trotz der sehr unterschiedlichen Zeitskalen stimmen die berechneten Akkumulationsraten relativ gut mit den Sedimentfallenuntersuchungen überein (Tab. 11; Honjo 1990).

Mit Hilfe der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie konnte für die beiden Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) eine Sedimentationsrate für die letzten 8600 Jahre berechnet werden (Vogelsang 1990). In diesem Fall ist der Zeitraum, für den die Sedimentationsraten berechnet wurden, annähernd der gleiche wie bei der Berechnung nach dem constant-flux Modell. Die beiden unabhängig bestimmten Sedimentationsraten stimmen hier sehr gut überein (Tab. 11).

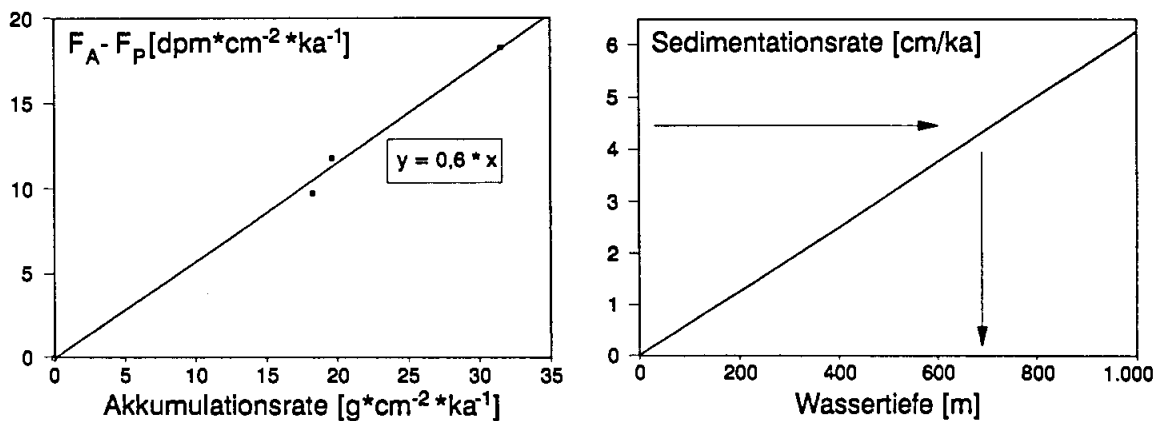
**Tabelle 11:** Vergleich der nach dem constant-flux Modell für die Oberflächensedimente berechneten Akkumulations- und Sedimentationsraten mit unabhängig ermittelten Raten.

| Probe | Vergleichsmethode (Quelle)               | ----- nach $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -----                                 |                            |  |                            |
|-------|--|--|----------------------------|--|----------------------------|
|       |  | Akkumulationsrate<br>[ $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$ ] |                            | Sedimentationsrate<br>[ $\text{cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ] |                            |
|       |  | gesamt   | lithogen - $\text{CaCO}_3$ | gesamt   | lithogen - $\text{CaCO}_3$ |
| 18    | Sedimentfallen (a)                       | 2820   | 1440                       | 660  |                            |
| 50    | Sedimentfallen (b)                       | 1678   | 465                        | 893  |                            |
| 49    | $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (c) |  |                            | 1.4  | 1.4                        |
| 53    | $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (c) |  |                            | 1.6  | 1.9                        |
| 58    | Lithostratigraphie (d)                   |  |                            | 28   | 2.4                        |
| 60    | Lithostratigraphie (d)                   |  |                            | 45   | 2.5                        |
| 61    | Lithostratigraphie (d)                   |  |                            | 26   | 2.6                        |

- (a) Honjo et al. (1988)  
 (b) Honjo (1990)  
 (c) Vogelsang (1990)  
 (d) Rumohr (im Druck)

Die für das Vöring-Plateau berechneten Sedimentationsraten von 1,3 bis 5,5 cm/ka (Proben 58 - 62; Abb. 6b, Seite 13) stehen dagegen teilweise im Widerspruch zu Abschätzungen von Rumohr (im Druck), der lokal Sedimentationsraten von bis zu 45 cm/ka angibt (Tab. 11). Nach Rumohr (im Druck) werden die hohen Sedimentationsraten durch die Umlagerung von frischem Sediment verursacht. Diese Sedimentumlagerung führt zu einem zusätzlichen  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Eintrag in das Sediment, womit die der Berechnung zugrundeliegende Annahme, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment entspricht, nicht mehr gegeben ist.

Die aus dem Verhältnis der von Rumohr (im Druck) angegebenen zu der nach dem constant-flux Modell berechneten Sedimentationsrate (Tab. 11) ermittelte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation übersteigt in diesem Hochakkumulationsgebiet die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule um das 10- bis 18-fache. Aus der Steigung der Regressiongeraden in Abbildung 33 berechnet sich für das Hochakkumulationsgebiet die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität des advektierten Materials zu  $0,6 \text{ dpm} \cdot \text{g}^{-1}$ . Mit dem konstanten Verhältnis der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität zum advektierten Sediment läßt sich eine Beziehung zwischen der Wassertiefe und der Sedimentationsrate für das Gebiet herstellen, in dem das advektierte Material vor der Umlagerung abgelagert wurde (Abb. 34). Bei einer Sedimentationsrate von 4 bis 6  $\text{cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ , die für nicht umgelagerte Sedimente des Vöring-Plateaus angenommen werden kann (Rumohr, persönl. Mitteil.; vgl. Probe 59 und 62), ergibt sich aus Abbildung 34 eine durchschnittliche Wassertiefe für das ursprüngliche Ablagerungsgebiet des advektierten Materials von 650 m.



**Abbildung 33 (links):** Korrelation der Differenz von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation und -Produktion ( $F_A - F_P$ ) und Gesamtkumulationsrate für die Oberflächensedimente des Hochakkumulationsgebietes auf dem Vöring-Plateau.

**Abbildung 34 (rechts):** Aus der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität des advektierten Sedimentes abgeleitete Beziehung zwischen ursprünglicher Sedimentationsrate und Wassertiefe für das im Hochakkumulationsgebiet auf dem Vöring-Plateau advektierte Sediment.



Für die anderen Oberflächensedimente, für die Akkumulations- und Sedimentationsraten berechnet wurden, kann der konstante Eintrag von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  in das Sediment hier nicht überprüft werden. Es kann damit auch nicht ausgeschlossen werden, daß diese Sedimente durch eine laterale Zufuhr oder Abfuhr von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  beeinflusst und die errechneten Akkumulationsraten entsprechend verfälscht sind.

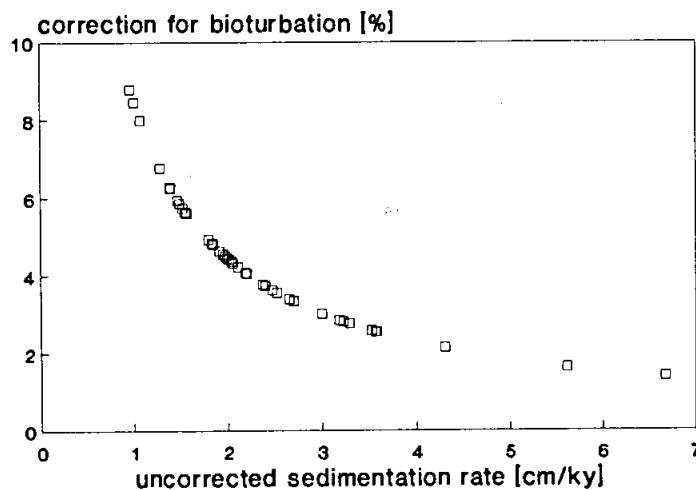
Nach Wu & Berger (1991) sollte sich ein Sediment focusing in einer Anreicherung der feinen Kornfraktionen bemerkbar machen. Der Feinkornanteil kann in diesem Zusammenhang nur ein qualitativer Indikator für ein Sediment focusing sein und ermöglicht keine Quantifizierung des advektierten Materials. Zudem zeigen beispielsweise die annähernd konstanten Kornfraktionsanteile in dem Hochakkumulationsgebiet auf dem Vöring-Plateau (Rumohr, im Druck), daß eine Sedimentfokussierung nicht zwangsläufig mit einer Erhöhung des Feinkornanteils verbunden ist.

In der folgenden Diskussion wird von einem konstanten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Eintrag in die Oberflächensedimente und damit von der Richtigkeit des constant-flux Modells für die Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres ausgegangen.

In Tabelle A-16 sind die berechneten Akkumulations- und Sedimentationsraten für die Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres zusammengefaßt. Die Höhe der Korrektur für die bioturbate Mischung hängt von der Sedimentationsrate ab. (Abb. 35). Aufgrund der relativ hohen Sedimentationsraten im Europäischen Nordmeer übersteigt die notwendige Korrektur nie 10 % (Tab. A-16, Abb. 35).

Die Akkumulationsraten der Oberflächensedimente im Europäischen Nordmeer variieren zwischen  $0,7$  und  $4,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ . Dies entspricht nach Formel (9) Sedimentationsraten von  $0,87$  bis  $6,58 \text{ cm}\cdot\text{ka}^{-1}$ .

Die Gesamtakkumulationsraten sind besonders hoch in der Norwegischen See und besonders niedrig in der südlichen Grönländischen See (Abb. 36). Da sich die Gesamtakkumulationsrate aus der Akkumulation mehrerer Komponenten zusammensetzt, erscheint es für eine Interpretation der Sedimentationsprozesse sinnvoll, die Akkumulationsraten einzelner Sedimentkomponenten zu betrachten (Paetsch et al., im Druck).

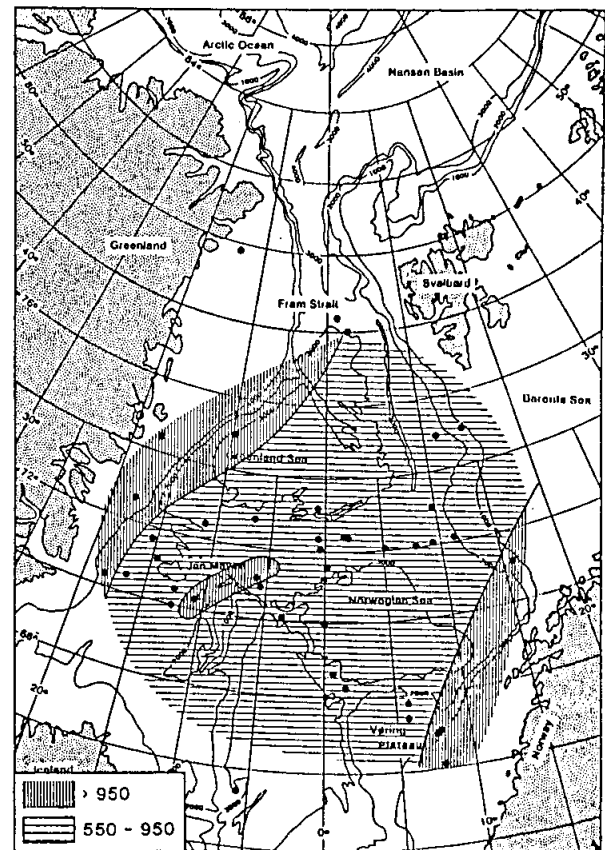
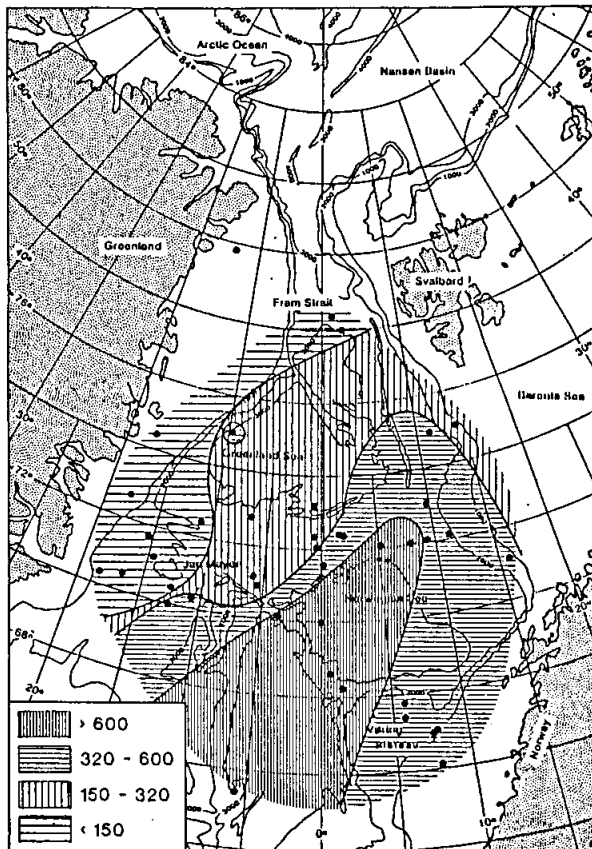
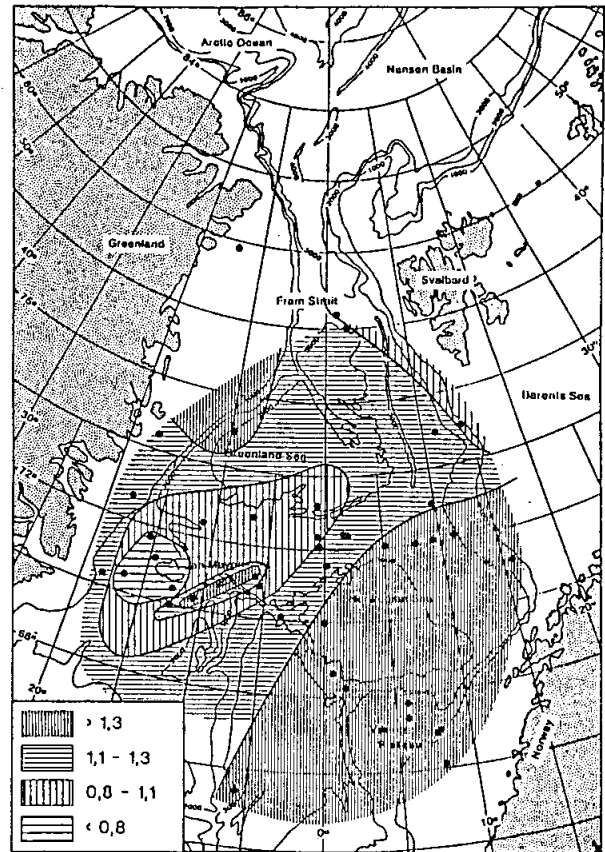


**Abbildung 35 :**  
Bioturbationskorrektur der berechneten Akkumulationsraten in Abhängigkeit von der Sedimentationsrate;  
aus: Paetsch et al., im Druck.

**Abbildung 36 (rechts) :**  
 Akkumulationsraten der Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres;  
 angegeben in  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ ;  
 aus: Paetsch et al., im Druck.

**Abbildung 37 (links unten):**  
 Akkumulationsraten von  $\text{CaCO}_3$  in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres;  
 angegeben in  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ ; aus:  
 Paetsch et al., im Druck.

**Abbildung 38 (rechts unten):**  
 Akkumulationsraten der lithogenen Sedimentkomponente in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres;  
 angegeben in  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ ; aus:  
 Paetsch et al., im Druck.



Suman & Bacon (1989) unterteilten mit Hilfe des  $\text{CaCO}_3$ -Gehaltes Sedimente im Nord-Pazifik in eine biogene und eine lithogene Komponente. Dieser Ansatz ist auch auf die Sedimente des Europäischen Nordmeeres übertragbar, da hier ebenfalls mit  $\text{CaCO}_3$  die biogene Komponente eindeutig und vollständig beschrieben werden kann (Kellogg 1976, vgl. Kapitel 6.1). Die beiden geochemisch definierten lithogenen Sedimentkomponenten (Kapitel 6.1) werden in diesem Fall zusammengefaßt.

Die Akkumulationsraten von  $\text{CaCO}_3$  liegen zwischen 28 und  $1242 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  (Tab. A-16, Abb. 37). Die gute Übereinstimmung mit den Akkumulationsraten, die sich aus Sedimentfallenuntersuchungen ergeben, geht aus Tabelle 11 hervor. Die Akkumulation der biogenen Komponente (Abb. 37) spiegelt (genauso wie die  $\text{CaCO}_3$ -Konzentration, Abb. 13, Seite 30) den Einfluß des Norwegenstroms wider. Die große Ähnlichkeit in der geographischen Verteilung der  $\text{CaCO}_3$ -Akkumulation (Abb. 37) und des  $\text{CaCO}_3$ -Gehalts (Abb. 13, Seite 30) zeigt, daß der Einfluß der Verdünnung auf den  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres entweder relativ gering oder annähernd konstant ist.

Die Akkumulationsraten der lithogenen Sedimentkomponente im Europäischen Nordmeer variieren zwischen 573 und  $3830 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  (Tab. A-16, Abb. 38). Zu ähnlichen Abschätzungen kommen Eisma & van der Gaast (1983) mit 540 bis  $2130 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$ . Die Akkumulationsraten steigen systematisch in Richtung der Kontinente an. Die Quelle der lithogenen Sedimentkomponente in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres dürften deshalb hauptsächlich die Schelfgebiete vor Norwegen und Grönland sein.

Höhere Akkumulationsraten als  $950 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  treten nur vor der grönländischen (Proben 1, 2, 15, 23 und 26) und der norwegischen Küste (Proben 42 und 57), auf dem Vöring-Plateau (Proben 58 - 62), sowie um Jan Mayen (Proben 43, 47 und 48) auf.

Der ansonsten relativ geringe Variationsbereich in der Akkumulation der lithogenen Sedimentkomponente ( $550$  bis  $950 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$ ) spiegelt offenbar die normale pelagische Sedimentation ("pelagic rain") der in der Wassersäule befindlichen Partikel wider.

Der Mittelatlantische Rücken besitzt keinen signifikanten Einfluß auf die pelagische Sedimentation im Europäischen Nordmeer (Abb. 38). Bedingt durch das teilweise starke Relief des Mittelatlantischen Rückens kommt es aber in diesem Bereich zu Sedimentumlagerungen (z.B. Damuth 1978, Hirschleber et al. 1988).

Der atmosphärische Eintrag in die Sedimente des Europäischen Nordmeeres ist von geringer Bedeutung. Er macht weniger als 3 % der lithogenen Akkumulation aus, wenn man den von Windom (1969) auf Grönland gefundenen atmosphärischen Eintrag von  $21 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  auf das Europäische Nordmeer überträgt.

Honjo et al. (1988) fanden ähnlich hohe Akkumulationsraten von lithogenen Partikeln in einer Sedimentfalle westlich der Bären Insel (Tab. 11). Der größte Teil der lithogenen Partikel sedimentierte hier während des Winters. Honjo et al. (1988) vermuteten als Quelle für die lithogenen Partikel Sedimenterosion auf dem nahegelegenen Barentschelf. Die feinkörnigen Partikel werden dann lateral im Meerwasser durch Strömungen verteilt und in Gebieten erhöhter Bioproduktivität, beispielsweise im Norwegenstrom, durch Aggregation sedimentiert (Honjo 1986). Dieses Prinzip der Partikelsedimentation entspricht dem Scavenging-Modell für  $^{230}\text{Th}$  von Bacon (1984a; Abb. 5, Seite 8). Auch wenn die für die Sedimentation der lithogenen Partikel verantwortliche Aggrega-

tion biologisch gesteuert wird (Nozaki et al. 1987), zeigen die Sedimentfallenuntersuchungen von Honjo et al. (1988), daß die Hauptsedimentation der lithogenen und biogenen Partikel westlich der Bären Insel zu verschiedenen Jahreszeiten erfolgte. Auch in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres ist keine Kopplung zwischen der Akkumulation von lithogenen und (im Sediment erhaltungsfähigen) biogenen Partikeln zu erkennen (Tab. A-16, Abb. 37 und 38).

Ähnlich wie für  $^{230}\text{Th}$  läßt sich für die lithogenen Partikel aus der Akkumulation im Sediment und der Konzentration in der Wassersäule eine mittlere Verweilzeit berechnen. Hierfür muß angenommen werden, daß sich die lithogenen Partikel in der Wassersäule in einem Fließgleichgewicht (steady state) befinden.

Die durchschnittliche Konzentration der lithogenen Partikel in der Wassersäule beträgt nach Lal (1980) 1 bis 10  $\mu\text{g/l}$ . Die Konzentration der feinkörnigen lithogenen Partikel im Europäischen Nordmeer liegt nach Untersuchungen von Scholten (unveröffentlichte Daten) ebenfalls bei 1 bis 10  $\mu\text{g/l}$ . Bei einer mittleren Wassertiefe von 2500 m (Tab. A-1) und einer durchschnittlichen Akkumulationsrate von  $750 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  (Tab. A-16) ergibt sich eine durchschnittliche Verweilzeit für die lithogenen Partikel von 30 bis 300 Jahren. Da in der Akkumulationsrate von  $750 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  auch die "schnellsinkenden" grobkörnigen lithogenen Partikel eingeschlossen sind, ergibt sich für die feinkörnigen lithogenen Partikel eine bis zu 40% (maximaler Anteil der grobkörnigen lithogenen Partikel in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres, nach Kellogg 1976) höhere Verweilzeit.

Die relativ lange Verweilzeit der feinkörnigen lithogenen Partikel in der Wassersäule ermöglicht einen weiten lateralen Transport durch Meeresströmungen von den Schelfgebieten in die pelagischen Bereiche des Europäischen Nordmeeres. Dort sedimentieren die feinkörnigen lithogenen Partikel dann in Form von Aggregaten.

Dieses Transport- und Sedimentationsmodell erklärt zum einen die relativ gleichmäßige Akkumulation der lithogenen Partikel im Europäischen Nordmeer und zum anderen die flachen Gradienten in den Montmorillonitgehalten der Oberflächensedimente (Kapitel 6.1).

### 6.3 Sedimentdatierung

Die über die Regressionsgerade im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil (Formel 17) berechnete **mittlere Sedimentationsrate** ( $s_m$ ; a in Tab. 8, Seite 36) ermöglicht die Erstellung einer ersten Tiefen-Zeitskala für die Sedimentkerne.

Aus Tabelle 8 (Seite 36) geht hervor, daß die Sedimentationsraten für die Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) durch die  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (Vogelsang 1990) bestätigt werden.

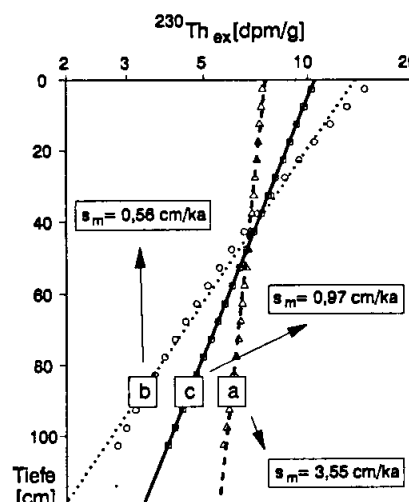
Die Sedimentationsraten für die Sedimentkerne GIK 21295 und 23259 (Stationen A und D) stehen dagegen im Widerspruch zu den Untersuchungen von Jones & Keigwin (1988) bzw. Hahn (unveröffentlicht). Prinzipiell kann eine falsche Berechnung der mittleren Sedimentationsrate mit Formel (17) folgende Ursachen haben:

- Bedingt durch eine geringe Probenanzahl oder große Meßfehler ist die Lage der Regressionsgeraden nicht eindeutig bestimmbar;
- Die Sedimentationsraten verändern sich systematisch mit der Sedimenttiefe (Abb. 39). Bei einer Erhöhung der Sedimentationsraten zu den jüngeren Sedimentschichten hin wird eine zu hohe mittlere Sedimentationsrate berechnet (a in Abb. 39). Entsprechend umgekehrt wird bei einer Verringerung der Sedimentationsraten eine zu niedrige mittlere Sedimentationsrate berechnet (b in Abb. 39);
- Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation ist während der Ablagerung der Sedimentschichten nicht konstant gewesen.

Eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0,97 cm/ka ist gegeben bei einer:

- linearen Verdoppelung der Sedimentationsrate von 0,66 cm/ka (in 1 m Tiefe) auf 1,33 cm/ka (an der Sedimentoberfläche)
- linearen Halbierung der Sedimentationsrate von 1,33 cm/ka (in 1 m Tiefe) auf 0,66 cm/ka (an der Sedimentoberfläche)
- konstanten Sedimentationsrate von 0,97 cm/ka

Die Berechnung der mittleren Sedimentationsrate ( $s_m$ ) anhand der Regressionsgeraden führt dabei zu folgenden Ergebnissen:



**Abbildung 39:** Modellvorstellung zur Berechnung von mittleren Sedimentationsraten über die Regressionsgerade im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil, Erläuterungen im Text.

In den beiden Sedimentkernen GIK 21295 und 23259 sind die Sedimentationsraten in den jüngeren Sedimentschichten höher als in den älteren Sedimentschichten (Jones & Keigwin 1988, Hahn, unveröffentlicht). Im Sedimentkern GIK 23259 läßt sich die Zunahme der Sedimentationsraten in den jüngeren Sedimentschichten bereits am  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil erkennen (Abb. 23a, Seite 38), da hier die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität in einem Tiefenbereich von 120 bis 527 cm nicht mit der Tiefe abnimmt.

Auch im Sedimentkern GIK 23294 (Station C) nimmt die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität innerhalb eines großen Bereiches (von 130 bis 640 cm) mit der Tiefe nicht ab (Abb. 22a, Seite 38). Daraus ergibt sich, daß die für diesen Sedimentkern berechnete mittlere Sedimentationsrate (a in Tab. 8, Seite 36) ebenfalls zu niedrig sein dürfte.

Die Sedimentationsraten der Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) stimmen dagegen sehr gut mit den aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie abgeleiteten Sedimentationsraten überein. Beiden Sedimentkernen ist gemeinsam, daß sie ein Alter von mehr als 300.000 Jahren erreichen. Die Basis der Sedimentkerne GIK 21295, 23294 und 23259 (Stationen A, C und D) ist dagegen jünger als 200.000 Jahre. Die gute Übereinstimmung der Sedimentationsraten für die Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 zeigt, daß über diesen langen Zeitraum Unterschiede in der Sedimentationsrate ausgeglichen werden und die Berechnung der mittleren Sedimentationsrate nicht verfälschen. Die Basis des Sedimentkerns GIK 17728 ist ebenfalls älter als 300.000 Jahre (paläomagnetische Untersuchung von Norbert Nowaczyk, Bremen; vorläufige  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie von Mara Hahn). Es ist daher anzunehmen, daß die berechnete mittlere Sedimentationsrate von 1,00 cm/ka (Tab. 8, Seite 36) der wahren durchschnittlichen Sedimentationsrate entspricht.

Zusammenfassend kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß aufgrund der sehr wechselhaften Sedimentationsbedingungen die Berechnung von mittleren Sedimentationsraten nach Formel (17) für die Sedimente des Europäischen Nordmeeres nicht uneingeschränkt möglich ist. Nur für Sedimentkerne, deren Basis älter als 300.000 Jahre ist, entspricht die berechnete mittlere der wahren durchschnittlichen Sedimentationsrate.

Ein weiteres Problem für die Berechnung der mittleren Sedimentationsrate liegt in der Festlegung der Tiefe, bis zu der die Regressionsgerade berechnet werden soll. So führt die Berechnung der Regressionsgeraden im Sedimentkern GIK 23059 bis in eine Tiefe von 484,5 cm zu einer mittleren Sedimentationsrate von 1,9 cm/ka (Scholten et al. 1990). Bei der Berechnung der Regressionsgeraden bis in eine Tiefe von 573 cm ergibt sich dagegen eine Sedimentationsrate von 1,7 cm/ka.

In Gebieten mit stark wechselnden Sedimentationsraten kann eine durchschnittliche Sedimentationsrate nur für eine grobe Altersabschätzung der Sedimente dienen und ist für die Quantifizierung von Stoffflüssen ungeeignet.

Unter der Annahme einer konstanten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment (**constant-flux model**, Bacon 1984a) lassen sich Alter für einzelne Proben berechnen (Francois et al. 1990). Die zeitliche Auflösung wird dabei nur durch die Probenlänge begrenzt.

Um Sedimentalter nach dem constant-flux Modell (Formel 24) berechnen zu können, muß die (als konstant angenommene)  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment bekannt sein. Diese kann nicht direkt bestimmt werden, sondern muß unter verschiedenen Annahmen abgeschätzt werden:

- Das in der Wassersäule produzierte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  akkumuliert vollständig im darunterliegenden Sediment (Bacon 1984b, Mangini 1984, Suman & Bacon 1989, Francois et al. 1990). Für die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in das Sediment kann dann die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule eingesetzt werden (Formel 5).
- Durch die Messung des gesamten Sedimentkerns wurde das  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Inventar vollständig erfaßt. Diese Annahme ist allerdings nur sinnvoll, wenn die Basis des Sedimentkerns mindestens 350.000 Jahre alt ist und die Sedimente über diesen Zeitraum vollständig abgelagert wurden. In diesem Fall läßt sich nach Kominz et al. (1979) die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment aus dem Gesamtinventar berechnen ( $F_A = j * \Sigma F_A$ ).
- Zur Berechnung der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment reicht es aus, wenn das Alter einer bestimmten Sedimentschicht bekannt ist. Mit Formel (23) kann dann die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation bis in diese Tiefe berechnet werden und mit der Annahme einer konstanten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation auch darüberhinaus extrapoliert werden.

Da die ersten beiden Annahmen an zusätzliche und teilweise schwer zu überprüfende Bedingungen gebunden sind, wird im folgenden die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment mit der dritten Annahme berechnet. Hierfür ist es erforderlich, das Alter einer bestimmten Sedimentschicht zu kennen.

Im einfachsten Fall läßt sich das Alter der Sedimentkernbasis aus der mittleren Sedimentationsrate berechnen (z.B. Herman et al. 1989; Formel 17).

Die Alter einzelner Schichten in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres lassen sich aber auch aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (Ramm 1988, Henrich et al. 1989, Vogelsang 1990), aus paläontologischen Untersuchungen (z.B. Pullenia bulloides Horizont, Haake & Pflaumann 1989), aus lithologischen Vergleichen (z.B. kohlereiche Sedimentlagen, Bischof et al. 1990) oder aus paläomagnetischen Untersuchungen (Nowaczyk 1991) ableiten.

Eine weitere Möglichkeit zur Altersbestimmung einzelner Sedimentschichten ergibt sich aus dem  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil selber ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Stratigraphie; Botz et al. 1989, Scholten et al. 1990). Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Stratigraphie beruht auf dem Prinzip, daß einige markante Variationen im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil der Sedimente des Europäischen Nordmeeres korreliert werden können (vgl. Kapitel 6.5, Abb. 26 und 27, Seite 40). Mit Hilfe der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie läßt sich für einige Sedimentkerne zeigen, daß diese Variationen annähernd zeitgleich auftreten. So liegt beispielsweise ein markanter Anstieg der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität in den Sedimentkernen GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) am Übergang vom Sauerstoffisotopenstadium 8 zu 7 zeitgleich bei ungefähr 240.000 Jahren ( $\beta$  in Abb. 26, Seite 40). Ein weiterer markanter Anstieg liegt am Übergang von Sauerstoffisotopenstadium 6 zu 5 zwischen 110.000 und 130.000 Jahren (Sedimentkerne GIK 23059, 23065, 23259;  $\alpha$  in Abb. 26 und 27, Seite 40).

Die Variationen in den  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofilen finden sich auch in den Sedimenten der Framstraße (Eisenhauer et al. 1990; Scholten et al. 1990) und der Arktis (Bohrmann 1991) und können mit diesen korreliert werden (Bolz et al. 1989). Nach Eisenhauer (1990) beträgt das Alter des jüngeren Anstiegs in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität in einem Sedimentkern aus der Framstraße (GIK 23235) 120.000 bis 140.000 Jahre und ist damit etwas älter als der entsprechende Anstieg in den Sedimenten des Europäischen Nordmeer. Dies ist möglicherweise ein Hinweis darauf, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Variationen nach Norden älter werden und nicht isochron verlaufen. Trotz dieser Unsi-

cherheit über das genaue Alter läßt sich das Alter des in allen Sedimentkernen (mit Ausnahme des zu jungen Sedimentkernes GIK 21295) beobachteten markanten Anstiegs im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil am Übergang vom Sauerstoffisotopenstadium 6 zu 5 ( $\alpha$  in Abb. 26 und 27, Seite 40) auf  $125.000 \pm 15.000$  Jahre eingrenzen.

Zusammenfassend lassen sich Alter für die Sedimente des Europäischen Nordmeeres mit dem constant-flux Modell nach folgendem Schema berechnen:

Für die beiden Sedimentkerne GIK 23259 und 23294 (Stationen C und D) kann das Alter der Sedimentkernbasis nicht mit Hilfe der mittleren Sedimentationsrate berechnet werden, da sie nicht das notwendige Alter von 300.000 Jahren erreichen. Hier können die Variationen im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil als Zeitmarken dienen (Abb. 27, Seite 40). Mit Hilfe dieser Zeitmarken kann die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment, und damit die Alter einzelner Schichten für die Sedimentkerne des Europäischen Nordmeeres berechnet werden (Abb. 40 und 41, Tab A-17).

Für die Sedimentkerne GIK 17728, 23059 und 23065 (Stationen B; E und F) können unter Verwendung der mittleren Sedimentationsrate ( $s_m$ , Tab. 8, Seite 36) für jede Probenuntergrenze Alter berechnet werden (Abb. 42 - 44, Tab A-17).

Für den Sedimentkern GIK 21295 (Station A) läßt sich keine Zeitmarke aus dem  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil ableiten. Die Berechnung von Altern einzelner Sedimentschichten erfolgte unter der Annahme, daß die Akkumulation von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  im Sediment der Produktion in der überliegenden Wassersäule entspricht (Abb. 45).

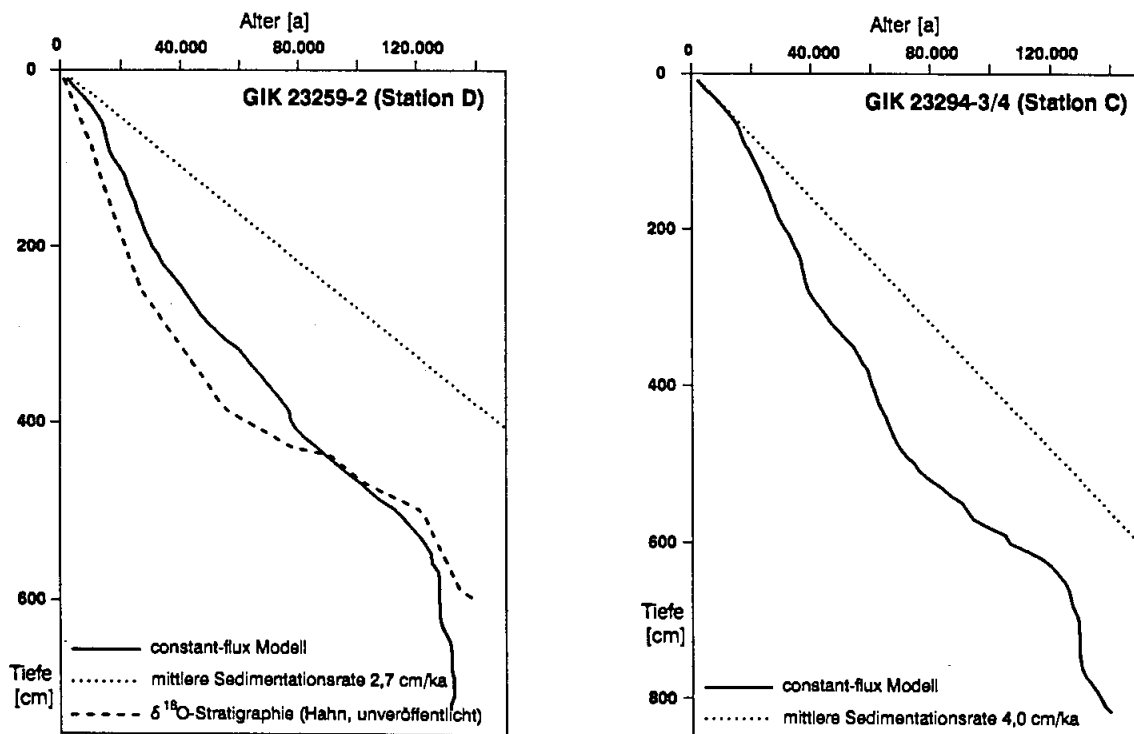


Abbildung 40 (links) : Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 23259-3 (Station D), Erläuterungen im Text.

Abbildung 41 (rechts) : Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 23294-3/4 (Station C), Erläuterungen im Text.



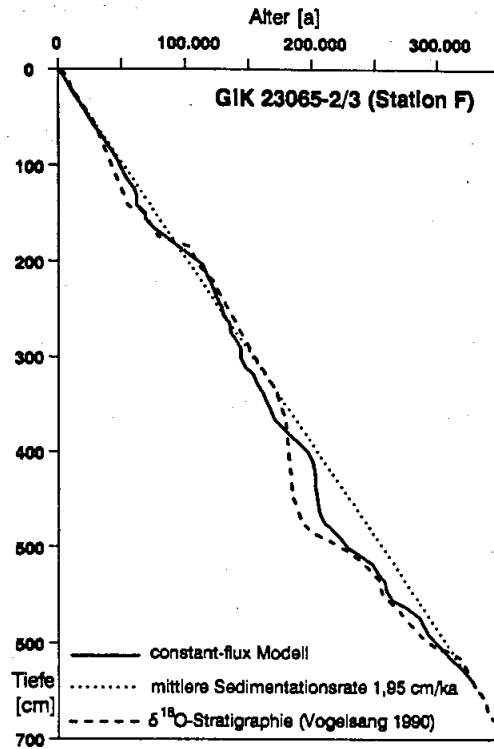
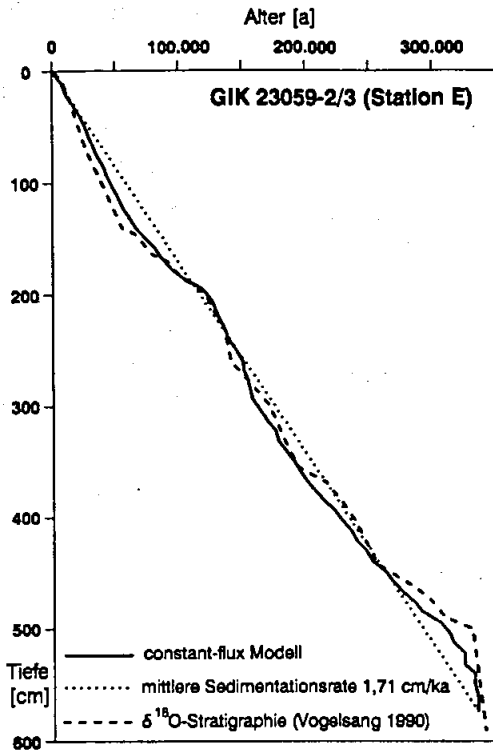


Abbildung 42 (links): Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 23059-2/3 (Station E), Erläuterungen im Text.

Abbildung 43 (rechts): Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 23065-2/3 (Station F), Erläuterungen im Text.

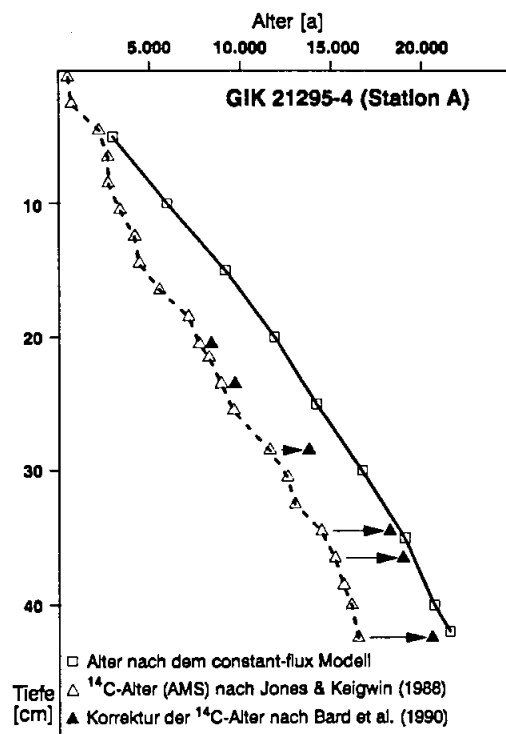
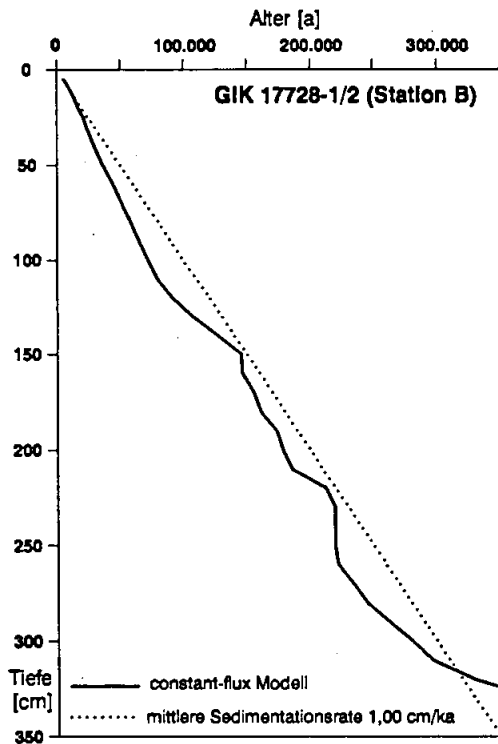


Abbildung 44 (links): Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 17728-1/2 (Station B), Erläuterungen im Text.

Abbildung 45 (rechts): Sedimentalter des Sedimentkernes GIK 21295-4 (Station A), Erläuterungen im Text.

Die ermittelten Alter für die Sedimentkerne GIK 23059 und GIK 23065 stimmen sehr gut mit den aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie abgeleiteten Altern überein (Abb. 42 und 43). Die Abweichung zwischen den Altern beträgt in den Sedimenten, die jünger als 125.000 Jahre sind, weniger als 5.000 Jahre, und in den Sedimenten, die älter als 125.000 Jahre sind, weniger als 12.500 Jahre. Eine Ausnahme davon bildet der Tiefenbereich von 400 bis 490 cm im Sedimentkern GIK 23065. Hier beträgt die Differenz annähernd 20.000 Jahre. Mögliche Gründe hierfür werden im folgenden Kapitel (6.4) diskutiert.

Die für den Sedimentkern GIK 21295 (Station A) ermittelten Alter zeigen im oberen und unteren Abschnitt ebenfalls eine relativ gute Übereinstimmung mit den  $^{14}\text{C}$ -Altern (AMS) von Jones & Keigwin (1988), wenn man die nach Bard et al. (1990) notwendige Korrektur der  $^{14}\text{C}$ -Alter berücksichtigt (Abb. 45). Zwischen 10 und 25 cm Sedimenttiefe, entsprechend 5.000 bis 15.000 Jahre, weisen die nach dem constant-flux Modell berechneten Alter gegenüber den  $^{14}\text{C}$ -Altern Unterschiede bis zu 100 % auf. Dies ist ein Hinweis darauf, daß hier die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment nicht allein durch die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule bestimmt wurde.

Im Sedimentkern GIK 23259 (Station D) weichen die nach dem constant-flux Modell ermittelten Alter und die aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie abgeleiteten Alter (Hahn, unveröffentlicht) teilweise erheblich voneinander ab (Abb. 40). Dies bedeutet, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in diesem Sedimentkern nicht konstant gewesen sein kann. Mögliche Gründe hierfür werden im nächsten Kapitel (6.4) diskutiert.

Bis auf wenige Ausnahmen (Station A und D) besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den nach dem constant-flux Modell berechneten und den unabhängig davon aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie abgeleiteten Sedimentaltern (Abb. 40 - 45). Dies bedeutet, daß die Annahme eines konstanten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Eintrages in die Sedimente des Europäischen Nordmeeres zutrifft. Damit ist der größte Teil der Variationen im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil in den Sedimenten durch unterschiedliche Verdünnung verursacht worden. In den Bereichen, in denen die größten Variationen im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil auftreten (Abb. 26 und 27, Seite 40), ist die Übereinstimmung zwischen den nach dem constant-flux Modell berechneten und den unabhängig ermittelten Sedimentaltern besonders gut (Abb. 40 - 44). Damit sind die starken Variationen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Aktivität hier überwiegend auf Veränderungen in der Sedimentationsrate zurückzuführen. Aus dem gleichzeitigen Auftreten der starken Variationen ( $\alpha$  und  $\beta$  in Abb. 26 und 27, Seite 40) läßt sich schließen, daß es am Übergang der Sauerstoffisotopenstadien 6 zu 5, sowie 8 zu 7 im gesamten Europäischen Nordmeer zu einer starken Verringerung der Sedimentationsrate gekommen ist.

An den Abweichungen zwischen den Sedimentaltern, die sich nach dem constant-flux Modell ergeben und die sich aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie ableiten lassen, läßt sich aber auch erkennen, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres zeitlich und räumlich nicht immer konstant gewesen ist.

## 6.4 Veränderungen in der Akkumulation von $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$

Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment entspricht in den meisten Meeresgebieten der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule (Mangini 1984, Bacon 1984b, Suman & Bacon 1989, Francois et al. 1990). Einerseits ist die daraus resultierende zeitlich konstante Zufuhr von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  in das Sediment eine notwendige Grundlage für die Sedimentdatierung (DeMaster 1979, Mangini 1984), andererseits können Veränderungen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation wichtige Hinweise auf verschiedene Sedimentationsprozesse geben.

Anhand von Veränderungen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation konnten Sedimentumlagerungen durch Bodenströmungen beispielsweise im Tasmanischen Becken (Cochran & Osmond 1976), im Indischen Ozean (Scholten 1987) und im Peru Becken (Mangini et al. 1987) rekonstruiert werden. Abweichungen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation von der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule können aber auch Anzeiger für Veränderungen in der Bioproduktivität (Mangini & Diester-Haass 1983, Eisenhauer 1990) oder im Sauerstoffgehalt des Meerwassers (Mangini et al. 1990, Eisenhauer 1990) sein.

**Tabelle 12:** Vergleich von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion ( $F_P$ ) und  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation ( $F_A$ ) in den bearbeiteten Sedimentkernen.

| Station       | gemessene $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation |     | erwartete $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation |     |                  |
|---------------|---|-----|---|-----|------------------|
|               | $F_A$ [dpm*cm <sup>-2</sup> ]<br>(a)                  | (b) | $F_P$ [dpm*cm <sup>-2</sup> ]<br>(c)                  | (d) | $F_A/F_P$<br>(e) |
| A (GIK 21295) | 160   |     | 134   | 890 |                  |
| B (GIK 17728) | 452   | 708 |   | 711 | 0.64             |
| C (GIK 23294) | 1617  | 458 |   | 629 | 3.53             |
| D (GIK 23259) | 862   | 480 | 522   | 720 | 1.80             |
| E (GIK 23059) | 660   | 625 | 627   | 652 | 1.05             |
| F (GIK 23065) | 653   | 766 | 766   | 801 | 0.85             |

Berechnung der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation:

- (a): durch Aufsummieren der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in allen Proben
- (b): mit der mittleren Sedimentationsrate ( $s_m$ ) bzw. mit der nach der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Stratigraphie korrigierten mittleren Sedimentationsrate (vgl. Tab. 8)
- (c): mit dem Alter der Sedimentkernbasis, das sich aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie ableiten läßt
- (d): über das aus der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion maximal zu erwartende Inventar (Mangini 1984)
- (e): berechnet aus (a)/(b)

Unterschiede zwischen der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule und der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment lassen sich für die untersuchten Sedimentkerne des Europäischen Nordmeeres bereits bei der Betrachtung des Gesamtinventars erkennen (Tab. 12). So befinden sich im Sedimentkern GIK 17728 (Station B) nur etwa 2/3 des in der Wassersäule produzierten  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  im Sediment. In den Sedimentkernen GIK 23259 und 23294 (Stationen D und C) akkumulierten dagegen annähernd doppelt bzw. drei- bis viermal mehr  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  als in der Wassersäule produziert wurde (Tab. 12). In den Sedimentkernen GIK 23059 und GIK 23065 (Stationen E und F) ist das Verhältnis von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation zu  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion ( $F_A/F_P$ ) über den gesamten Sedimentkern gemittelt annähernd ausgeglichen.

Für die Sedimentkerne GIK 23259, 23065, 23059 (Stationen D, E, F) existiert mit der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie (Vogelsang 1990, Hahn unveröffentlicht) eine unabhängige Zeitskala. Diese ermöglicht es, die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in diesen Sedimentkernen für einzelne Zeit-, bzw. Sedimentabschnitte zu berechnen und mit der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule zu vergleichen. In allen drei Sedimentkernen gibt es sowohl Bereiche, in denen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion überschreitet ( $F_A/F_P > 1$ ) als auch Bereiche, in denen die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation geringer als die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule ist ( $F_A/F_P < 1$ ; Abb. 46). In der folgenden Diskussion über mögliche Ursachen für die Veränderungen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation werden Flußüberschreitungen ( $F_A/F_P > 1$ ) und Flußunterschreitungen ( $F_A/F_P < 1$ ) getrennt behandelt.

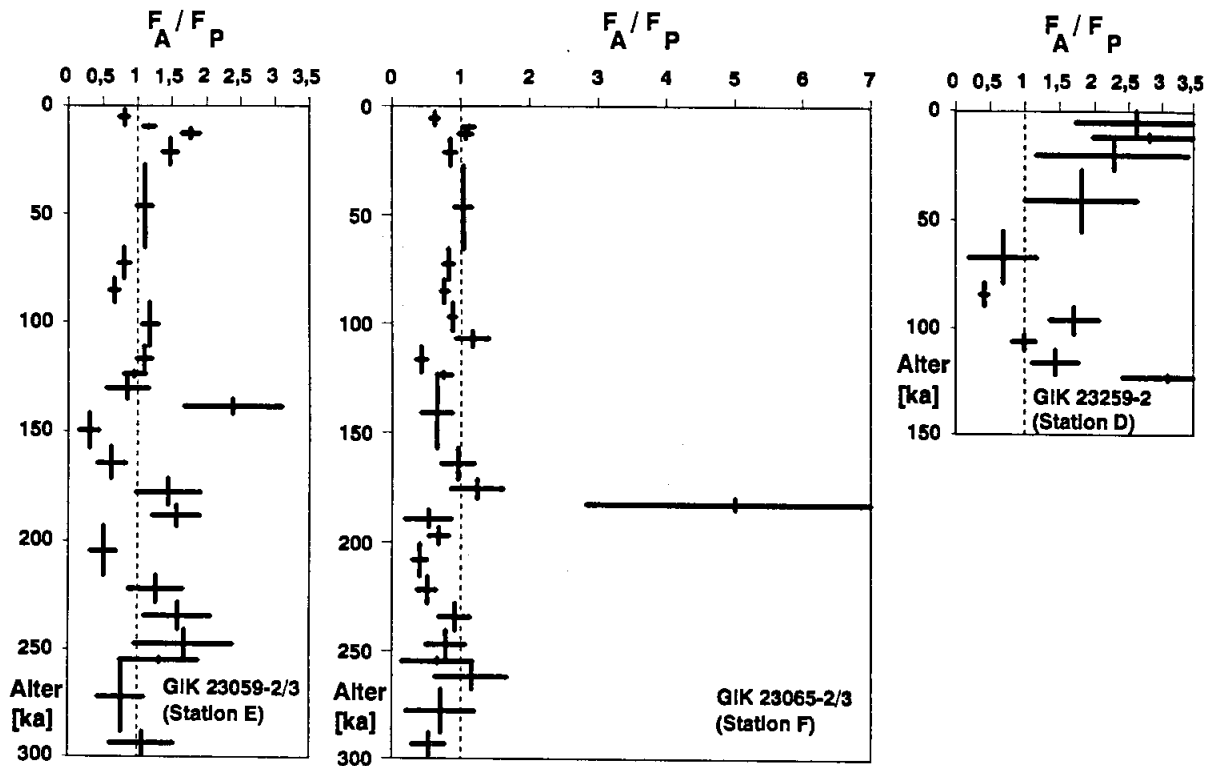


Abbildung 46: Verhältnis von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion ( $F_P$ ) und  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation ( $F_A$ ) für einzelne Abschnitte der Sedimentkerne GIK 23059, 23065 und 23259 (Stationen E, F und D).

-  $F_A/F_P > 1$  ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen)

Im Sedimentkern GIK 23059 (Station E) übersteigt im Zeitabschnitt von 135.100 ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 6.2) bis 141.330 Jahre ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 6.3) die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion um mehr als das zweifache. Diese  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung ist mit einer deutlichen Erhöhung der Sedimentationsrate verbunden (a in Abb. 47). Das parallele Auftreten von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung und erhöhter Sedimentationsrate deutet an, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung durch ein Sediment focusing verursacht worden ist. Die in diesem Kernabschnitt relativ niedrigen Sandgehalte (10,4 gegenüber 18,3 % als Mittelwert für den gesamten Kern; Tab. A.1. in Kassens 1990) sind ebenfalls ein Hinweis für die Fokussierung von feinem Sediment (Wu & Berger 1991).

Eisenhauer (1990) beobachtete in verschiedenen Sedimentkernen, unter anderem auch aus der Framstraße,  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen, die mit einem Alter von ungefähr 135.000 Jahren genauso alt sind, wie die im Sedimentkern GIK 23059 beobachtete  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung. Im Sedimentkern GIK 23065 ist ein erhöhtes  $F_A/F_P$ -Verhältnis in diesem Zeitabschnitt, möglicherweise bedingt durch die dort schlechtere Zeitaufklärung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie, nicht zu erkennen.

Nach Eisenhauer (1990) zeigt die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung in diesem Zeitabschnitt kein Sediment focusing sondern ein erhöhtes Scavenging von  $^{230}\text{Th}$  aus der Wassersäule an. Das erhöhte Scavenging von  $^{230}\text{Th}$  wird auf die Adsorption von  $^{230}\text{Th}$  an  $\text{MnO}_2$  zurückgeführt, das sich aufgrund wieder einsetzender Tiefenwasserbildung am Ende des Glazials im Meerwasser bilden konnte, nachdem vorher  $\text{Mn}^{2+}$  bei einem geringeren Sauerstoffgehalt im Meerwasser angereichert werden konnte (Mangini et al. 1990).

Der Zusammenhang zwischen Abweichungen in der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sediment und möglichen Änderungen im Sauerstoff- und damit im Mangengehalt des Meerwassers kann für die hier untersuchten Sedimentkerne nicht bestätigt werden. Aus der Untersuchung der Cd/Ca-Verhältnisse in benthischen Foraminiferen (Kapitel 6.5.1) ergibt sich vielmehr, daß die Tiefenwasserzirkulation in der Norwegischen See erst wesentlich später eingesetzt hat als nach dem Modell von Mangini et al. (1990) zu erwarten gewesen wäre.

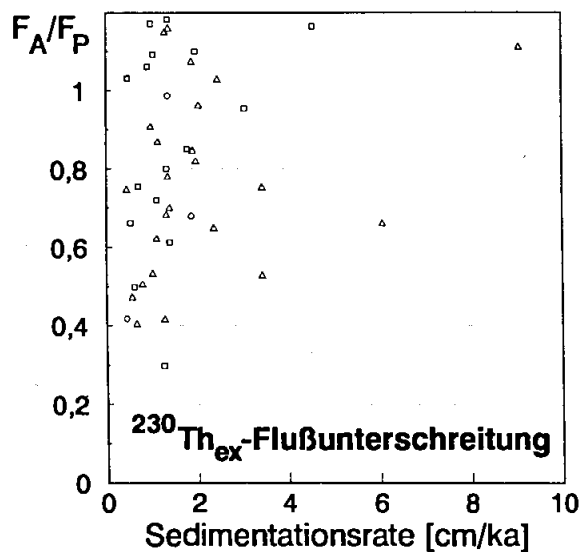
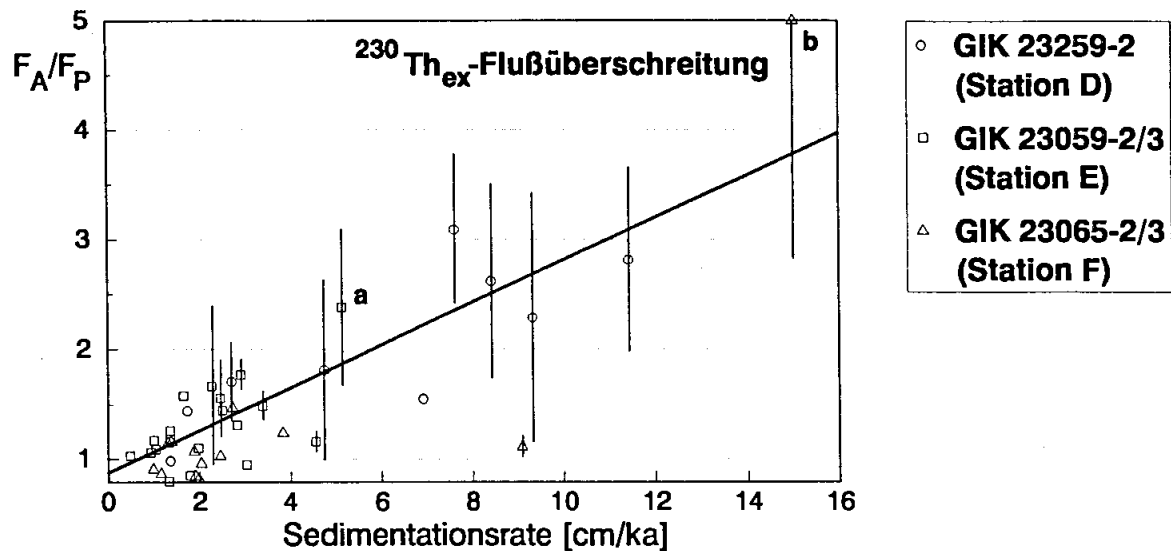
Die insgesamt größte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung tritt im Sedimentkern GIK 23065 (Station F) im Zeitabschnitt von 185.190 ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 6.62) bis 179.730 Jahren ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 6.64) mit über 500 % auf (Abb. 46; b in Abb. 47). Auch für diesen Bereich gibt es keine Hinweise auf eine erhöhte biologische Produktivität, so daß die erhöhte  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation hier ebenfalls eine Sedimentfokussierung anzeigen dürfte.

Im Sedimentkern GIK 23259 (Station D) übersteigt die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion fast im gesamten Sedimentkern (Abb. 46). Nur während des warmen Sauerstoffisotopenstadium 5 war die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation geringer als die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule (Abb. 46). Die parallel zu den  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen erhöhten  $^{232}\text{Th}$ -Gehalte im Sedimentkern GIK 23259 (Abb. 23b, Seite 38) deuten an, daß die hohen  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen in den Sauerstoffisotopenstadien 6 und 3 bis 1 durch eine verstärkte Sedimentzufuhr von feinkörnigem Sediment verursacht worden sind. Das lateral herantransportierte Sediment im Sedimentkern GIK 23259 dürfte vorwiegend vom Barentsschelf stammen. Dort wird feines Sediment durch starke Bodenströmungen erodiert und dann in die Norwegische See weitertransportiert. Die Sedimentation der feinen Partikel erfolgt dann vorwiegend durch Aggregation, da die

Partikel selbst fast keine Sinkfähigkeit besitzen (Honjo 1986, McCave 1975).

Die Station D liegt heute am östlichen Rand des Einflußbereiches des Norwegenstroms. Die hohe Bioproduktivität in diesem Bereich kann dazu führen, daß hier die vorwiegend von Osten durch Meresströmungen antransportierten Partikel durch Aggregation aus der Wassersäule entfernt werden (Honjo et al. 1988). Nach dieser Vorstellung ist zu erwarten, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung nach Westen abnimmt, da das vom Barentsschelf herantransportierte Sediment innerhalb des Norwegenstroms sehr effektiv durch biologisch gesteuerte Aggregation abgefangen werden kann (z.B. Honjo et al. 1988).

Aus Tabelle 12 geht hervor, daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sedimentkern GIK 23294 (Station C) bei weitem die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion überschreitet. Aufgrund einer fehlenden unabhängigen Zeitskala läßt sich die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation nicht für einzelne Sedimentabschnitte berechnen. Der im Vergleich zu den anderen Sedimentkernen hohe  $^{232}\text{Th}$ -Gehalt (Tab. 7, Seite 36; einen hohen lithogenen Feinfraktionsanteil anzeigend) und sehr niedrige  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt (Tab. 7, Seite 36; eine geringe biologische Produktivität anzeigend) sind Indizien für ein Sediment focusing (vgl. Kapitel 6.6.2).



**Abbildung 47 :**  
 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen (oben) und  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußunterschreitungen (unten) in Abhängigkeit von der Sedimentationsrate.

-  $F_A/F_P < 1$  ( $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußunterschreitung)

Eine gegenüber der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion zu niedrige  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation tritt in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres bevorzugt in den Interglazialen auf (Abb. 46, Seite 62).

In diesen Zeitabschnitten muß es zu einem lateralen Abtransport von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  gekommen sein. Aufgrund den parallel dazu verringerten Sedimentationsraten (Abb. 47), ist zu vermuten, daß hierbei auch Sediment lateral transportiert worden ist. Dieses Winnowing kann entweder mit einer teilweisen Sedimenterosion, einer zeitweiligen Verhinderung der Sedimentation oder einer mehr oder weniger kontinuierlichen Einschränkung der Sedimentation durch Meeresströmungen verbunden gewesen sein. Aufgrund der begrenzten Zeitauflösung ist es nicht möglich, diese Sedimentationsprozesse zu unterscheiden.

In den Interglazialen war die biologische Produktivität in der gesamten Norwegischen See relativ hoch, was sich unter anderem in dem hohen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt der Sedimente widerspiegelt (Abb. 14, Seite 30; Henrich et al. 1989). Ein signifikanter lateraler Abtransport von  $^{230}\text{Th}$  durch Eddy-Diffusion aufgrund sehr geringer  $^{230}\text{Th}$ -Scavenging-Raten, wie von Eisenhauer (1990) für die Framstraße angenommen, ist deshalb als mögliche Erklärung für die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußunterschreitungen wenig wahrscheinlich.

Die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation im Sedimentkern GIK 17728 (Station B) beträgt ungefähr nur zwei Drittel der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion in der Wassersäule (Tab. 12). Aufgrund einer fehlenden unabhängigen Zeitskala läßt sich die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation nicht für einzelne Sedimentabschnitte berechnen. Der Sedimentkern GIK 17728 stammt von einer Kuppe (Graf & Gerlach 1991). Nach Mangini & Kühnel (1986) kann auf Kuppen verstärkt feines Sediment durch Bodenströmungen lateral wegtransportiert werden ("Plateau-effekt"). Dies würde auch zu einem Export von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  führen und könnte die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußunterschreitung an dieser Position auch über längere Zeiträume erklären. Dieser Prozeß dürfte auch für die insgesamt sehr niedrigen Sedimentationsraten in diesem Sedimentkern verantwortlich sein.

Zusammenfassend lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Die beobachteten Veränderungen der  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres können durch laterale Sedimentzufuhr (Sediment focusing, im Falle einer  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung) oder durch laterale Sedimentabfuhr (Winnowing, im Falle einer  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußunterschreitung) erklärt werden. In Verbindung mit einer unabhängigen Zeitskala ergibt sich deshalb für die Norwegische See die Möglichkeit über das Verhältnis von  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation zu  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Produktion eine vertikale von einer lateralen Sedimentzufuhr zu unterscheiden.
- Die Vermutung von Scholten et al. (1990), daß die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation in der Norwegischen See eventuell biologisch gesteuert sein könnte, kann nicht bestätigt werden, da die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitungen nicht an Zeiten erhöhter biologischer Produktivität, soweit diese sich in einem erhöhten  $\text{CaCO}_3$ -Eintrag widerspiegelt, gebunden sind.

## 6.5 Variationen der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung in den Sedimentkernen

In der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Oberflächensedimente des Europäischen Nordmeeres spiegeln sich verschiedene ozeanographische Prozesse wider (Kapitel 6.1).

In diesem Kapitel soll überprüft werden, ob die in den Oberflächensedimenten gefundenen Beziehungen zwischen Ozeanographie und Sedimentzusammensetzung auch auf größere Sedimenttiefen übertragbar sind bzw. inwieweit die Sedimentzusammensetzung in größeren Tiefen gegenüber den Oberflächensedimenten modifiziert sein kann (vgl. Tab. 13). Zwei mögliche Veränderungsmechanismen müssen dabei berücksichtigt werden. Zum einen ist eine Veränderung in der Zufuhr, die nicht von dem zu beschreibenden Prozeß abhängt, möglich (in Tab. 13 als primäre Veränderung bezeichnet). Zum anderen können insbesondere die geochemischen Parameter durch diagenetische Prozesse verändert werden (in Tab. 13 als sekundäre Veränderung bezeichnet).

Ein Prozeß, der das primäre Signal der Parameter ebenfalls modifizieren kann, ist die Bioturbation. Die mechanische Wirkung der Bioturbation führt dabei prinzipiell zu einer Verflachung von Gradienten, und damit im paläozeanographischen Abbild zu einer "Verlangsamung" von Prozessen.

Der **Montmorillonitgehalt** in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeer spiegelt die räumliche Ausdehnung des Norwegenstroms wider (Kapitel 6.1, Tab. 13). Auf Sedimentkerne übertragen bedeutet dies, daß sich hier die zeitliche Ausdehnung, und damit die Intensität, des Norwegenstroms am Montmorillonitgehalt erkennen lassen sollte.

Im Sedimentkern GIK 23059 (Station E, Abb. 12, Seite 28) treten die höchsten Montmorillonitgehalte in den Interglazialen, und damit in Zeiten, in denen der Norwegenstrom seine größte Intensität besaß (z.B. Henrich et al. 1989), auf. In einem von Kuhlemann (1990) tonmineralogisch untersuchten Sedimentkern aus der nördlichen Norwegischen See sind die Montmorillonitgehalte in den Sedimenten, die während der Interglaziale abgelagert wurden, ebenfalls höher als die Montmorillonitgehalte in glazialen Sedimenten. Auch Eisma & van der Gaast (1983) schlossen aus der Korrelation von Montmorillonit- und  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt in Sedimentkernen der Norwegischen See, daß der Montmorillonitgehalt ein Indikator für die Intensität des Norwegenstroms ist.

Die langfristigen Variationen im Montmorillonitgehalt des Sedimentkerns GIK 23294 (Station C, Abb. 11, Seite 28) aus der Grönländischen See sind ein Hinweis, daß diese klimatisch gesteuert sein könnten. Ob diese Variationen in der Grönländischen See ebenfalls Veränderungen in der Intensität des Norwegenstroms anzeigen, kann anhand eines einzigen untersuchten Sedimentkernes aus diesem Gebiet nicht entschieden werden.



**Tabelle 13:** Ozeanographische Prozesse im Europäischen Nordmeer und ihre indikativen Parameter, die sich aus der mineralogischen und geochemischen Zusammenhang der Oberflächensedimente ableiten lassen

| ozeanographischer Prozeß                               | indikativer Parameter  | mögliche primäre Veränderungen  | mögliche sekundäre Veränderungen                        |
|--|--|---|---|
| (A) Intensität des Norwegenstroms                      | Montmorillonit/Ton   | veränderte Verwitterung <sup>(a)</sup>  | Umwandlung, Neubildung <sup>(b)</sup>                   |
| (B) Intensität des Norwegenstroms                      | Mg/Al, Ti/Al   |   | hydrogene Mg-Zufuhr <sup>(c)</sup>                      |
| (C) Bioproduktivität                                   | CaCO <sub>3</sub> -Eintrag   | erhöhte silikatische Bioproduktivität <sup>(d)</sup> ; terrigener CaCO <sub>3</sub> -Eintrag <sup>(f)</sup> | Auf- bzw. Anlösung von CaCO <sub>3</sub> <sup>(e)</sup> |
| (D) kontinentale Sedimentzufuhr                        | K/Al, Si/Al, Zr/Al   |   | hydrogene K-Zufuhr <sup>(c)</sup>                       |
| (E) Tiefenwasserbildung                                | Cd/Ca in benthischen Foraminiferen                                 |   |   |
| (F) Sedimentfokussierung (lateraler Sedimenttransport) | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> -Flußüberschreitung <sup>(g)</sup> |   |   |
| (G) Sedimentfokussierung (lateraler Sedimenttransport) | <sup>232</sup> Th-Eintrag  | Veränderung der <sup>232</sup> Th-Konzentration in der Feinfraktion <sup>(h)</sup>                          |   |
| (H) Eistransport                                       | Eintrag der lithogenen Sandfraktion <sup>(j)</sup>                 |   | siehe (c) und (e)                                       |

(a): nach Berry & Johns (1966) führt eine veränderte Bodenverwitterung infolge einer Klimaänderung nicht zu einer Veränderung der Montmorillonitbildung

(b): eine in-situ Neubildung von Montmorillonit ist nach Biscaye (1965) in diesem Meeresgebiet auszuschließen

(c): eine hydrogene Zufuhr von K und Mg in das Sediment beschreibt Sayles (1979) für Sedimente des Atlantiks. Für Sedimentkerne wird deshalb das Ti/Al-Verhältnis als Indikator für den Eintrag einer basischen Gesteinskomponente dem Mg/Al-Verhältnis vorgezogen. Aus demselben Grund wird für die Sedimentkerne das K/Al-Verhältnis durch das Si/Al- oder Zr/Al-Verhältnis ersetzt.

(d): nach Bohrmann (1988) ist die silikatische Bioproduktivität in den letzten 300.000 Jahren im Europäischen Nordmeer insgesamt gering gewesen. Trotzdem kann es durch Diatomeenblüten in bestimmten Zeiten in der Norwegischen See zu erhöhten SiO<sub>2</sub>-Einträgen in das Sediment kommen (Kassens 1990)

(e): angelöste Foraminiferenschalen in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres zeigen, daß CaCO<sub>3</sub>-Lösung in bestimmten Zeitabschnitten das primäre CaCO<sub>3</sub>-Signal verändern kann (Henrich 1986, Henrich et al. 1989). Ob dieser Lösungsprozeß in der Wassersäule, auf der Sedimentoberfläche oder im Sediment stattgefunden hat, wird zur Zeit noch diskutiert (Henrich et al. 1989, Thomson 1991, Henrich & Thiede 1991).

(f): ein terrigener CaCO<sub>3</sub>-Eintrag in die Sedimente des Europäischen Nordmeeres konnte von Henrich (1990) für bestimmte Zeitabschnitte gezeigt werden.

(g): nur anwendbar wenn eine möglichst hochauflösende unabhängige Zeitskala vorliegt

(h): vgl. Diskussion in Kapitel 6.3

(j): der Eintrag der lithogenen Sandfraktion kann mit folgender Beziehung abgeschätzt werden: Gesamtakkumulationsrate - <sup>232</sup>Th-Eintrag - CaCO<sub>3</sub>-Eintrag. Solange turbiditische Ablagerungen ausgeschlossen werden können, entspricht der lithogene Sandeintrag in pelagischen Sedimenten nach Ruddiman (1977) in erster Näherung dem Eintrag von eistransportiertem Material

Anhand der **geochemischen Zusammensetzung** der Oberflächensedimente konnten zwei lithogene Sedimentkomponenten unterschieden werden (Kapitel 6.1). Die beiden Sedimentkomponenten wurden durch das Mg/Al- bzw. K/Al-Verhältnis repräsentativ beschrieben. Eine hydrogene Zufuhr von Mg und K beschreibt Sayles (1979) für Sedimentkerne des Atlantiks. Danach kann der hydrogene Anteil von K und Mg in marinen Sedimenten den lithogenen Anteil sogar übersteigen. Da sich der hydrogene Anteil dieser beiden Elemente in den untersuchten Sedimentkernen nicht quantifizieren läßt, können Mg und K nur bedingt für paläozeanographische Fragestellungen herangezogen werden. Aus diesem Grund wird hier der Eintrag der basischen Sedimentkomponente durch das Ti/Al-Verhältnis und der Eintrag der sauren Sedimentkomponente durch das Si/Al-Verhältnis beschrieben. Die beiden geochemisch untersuchten Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) lassen sich mit Hilfe dieser Parameter sehr gut korrelieren (Abb. 48). Die korrelierbaren Variationen in den beiden Sedimentkernen verlaufen isochron (Abb. 48).

Aus dem **Cd/Ca-Verhältnis in der Calcitschale der Foraminifere Cibicidoides wuellerstorfi** errechnen sich Cd-Gehalte des umgebenden Tiefenwassers von 0,24 bis 0,73 nmol/l (Tab. 4, Seite 33). Der höchste Cd-Gehalt ist mit 0,73 nmol/l niedriger als der rezente Cd-Gehalt im Nord-Pazifik mit 0,8 - 0,9 nmol/l (Bruland 1980). Wenn man die im rezenten Ozean gültige Beziehung zwischen Cd-Gehalt und Alter des Tiefenwassers zugrunde legt, wäre das Alter des Tiefenwassers in der Norwegischen See in keinem der beprobten Zeitabschnitte älter als 1000 Jahre gewesen. Dies würde bedeuten, daß die Tiefenwasserneubildung oder die Zufuhr von frischem Tiefenwasser in diesen Zeitabschnitten nie vollständig unterbrochen gewesen war.

Für das Europäische Nordmeer wird angenommen, daß fast im gesamten Sauerstoffisotopenstadium 6 weder eine Tiefenwasserneubildung stattfand noch frisches Tiefenwasser eindrang (z.B. Duplessy & Shackleton 1985, Henrich et al. 1989, Vogelsang 1990). In diesem Fall wäre ein wesentlich höheres Alter für das Tiefenwasser des Europäischen Nordmeeres zu erwarten. Dieser scheinbare Widerspruch läßt sich folgendermaßen erklären:

- in einem von der globalen Tiefenwasserzirkulation isolierten Ozeanbecken kann der Cd-Gehalt nicht von der globalen Tiefenwasserzirkulation abhängen sondern wird vom Cd-Eintrag in das Ozeanbecken bestimmt. Damit ist die rezent gültige Beziehung zwischen Cd-Gehalt und Alter des Tiefenwassers nicht anwendbar

und/oder

- durch Bioturbation wurden die Foraminiferenschalen mit sehr hohen Cd-Gehalten durch Foraminiferenschalen mit geringen Cd-Gehalten verdünnt (vgl. Hutson 1980).

Welcher der beiden Mechanismen hauptverantwortlich für die relativ niedrigen Cd-Gehalte in den Schalen der Foraminifere *Cibicidoides wuellerstorfi* während der Termination II ist, kann hier nicht geklärt werden. Für das Europäische Nordmeer ergibt sich daraus, daß sich aus dem Cd-Gehalt in den Foraminiferenschalen keine Angaben über das absolute Alter des Tiefenwassers oder über den Zeitraum, in dem die Tiefenwasserneubildung unterbrochen war, ableiten lassen.

Die Veränderungen des Cd-Gehaltes in der Foraminifere *Cibicidoides wuellerstorfi* mit der Sedimenttiefe zeigen relative Veränderungen in der Tiefenwasserzufuhr bzw. -neubildung an (z.B. Boyle & Keigwin 1982). So zeigt die Abnahme des Cd-Gehaltes im Tiefenwasser, die am Über-

gang vom Sauerstoffisotopenstadium 6 zu 5 im Sedimentkern GIK 23059 zu beobachten ist (Abb. 49), daß hier frisches Tiefenwasser gebildet wurde.

Die Umrechnung der Cd-Gehalte in P-Gehalte des Meerwassers (vgl. Tab. 4, Seite 33) ist aufgrund der ungeklärten Unterschiede im Cd/P-Verhältnis des Tiefenwassers zwischen Atlantik und Pazifik (Boyle 1988, Saager, persönl. Mitteil.) nur bedingt möglich. Auf eine Diskussion des P-Gehaltes im Meerwasser wird deshalb verzichtet, zumal sich anhand des Cd-Gehaltes prinzipiell die selben Aussagen machen lassen.

Die hohen Cd/Ca-Verhältnisse in der Foraminifere *Cibicidoides wuellerstorfi* am Übergang von Sauerstoffisotopenstadium 6 zu 5 (Abb. 49) zeigen an, daß diese Foraminifere bereits vor dem Einsetzen der Tiefenwasserneubildung in der Norwegische See gelebt hat. Dies bestätigt die Vermutung von Jansen & Erlenkeuser (1983), die aus dem frühen Auftreten der Foraminifere *Cibicidoides wuellerstorfi* während der Termination I in einem Sedimentkern vom Vöring-Plateau, schlossen, daß das Einwandern dieser Gattung in die Norwegische See nicht vom Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers, wie von Lohmann (1978) postuliert, sondern vom Nahrungsangebot abhängt.

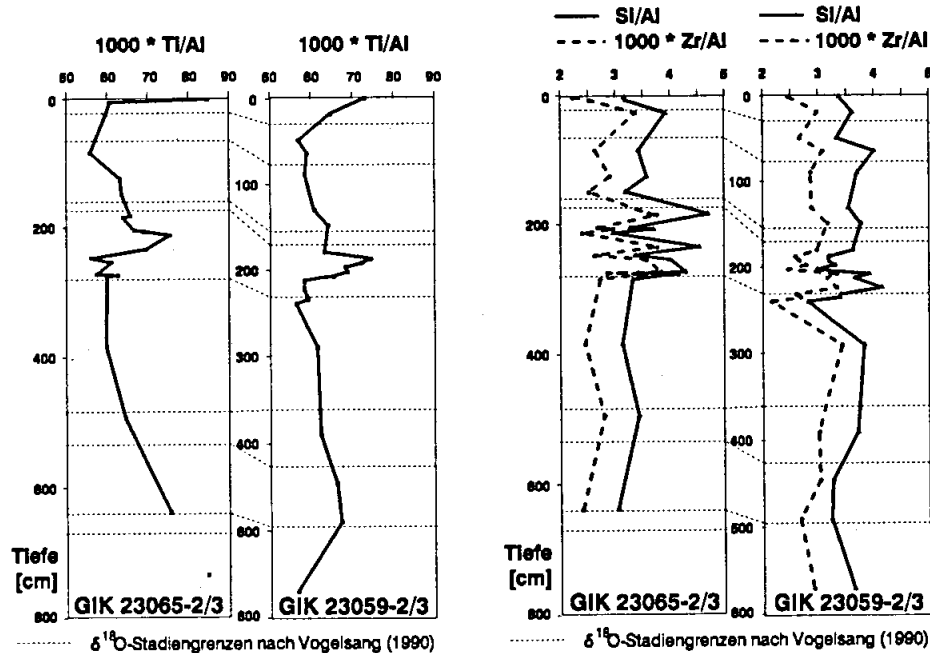


Abbildung 48 : Korrelation der Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) mit Hilfe verschiedener geochemisch definierter Parameter.

## 6.6 Paläozeanographische Implikationen

### 6.6.1 Geochemische und tonmineralogische Veränderungen in den Sedimenten der Norwegischen See während der Termination II

Die Sedimentkerne GIK 23059 und 23065 (Stationen E und F) wurden am Übergang vom Sauerstoffisotopen-Stadium 6 zu 5 (Termination II) sehr detailliert geochemisch und teilweise tonmineralogisch untersucht (Abb. 49). Anhand der in Tabelle 13 aufgelisteten Parameter wird im folgenden versucht, die zeitliche Abfolge in der paläozeanographischen Entwicklung der Norwegischen See während der Termination II zu rekonstruieren (Abb. 49). Die Alter (im folgenden angegeben in Jahren vor heute) sind nach dem constant-flux Modell berechnet (Kapitel 6.3, Abb. 42 und 43, Seite 59, Tab. A-17).

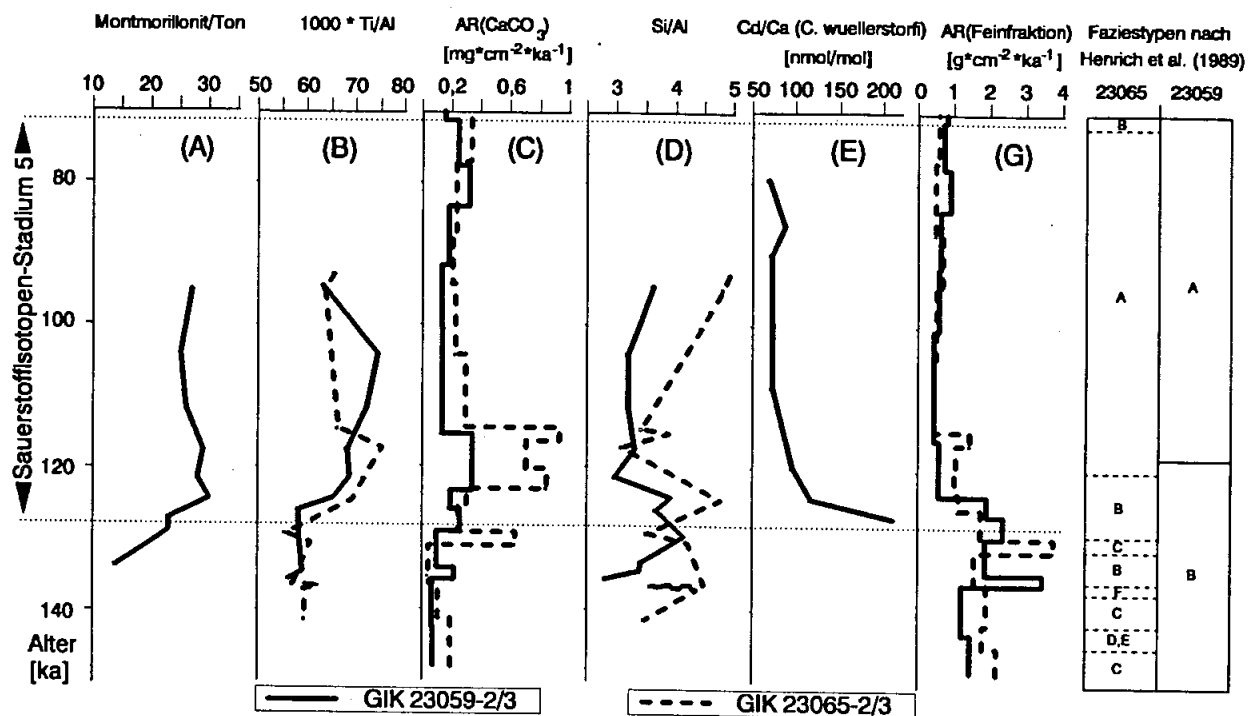


Abbildung 49: Veränderungen der in Tabelle 13 definierten Parameter während der Termination II in den Sedimentkernen GIK 23059 und GIK 23065; die Buchstaben in Klammern verweisen auf Tabelle 13.

- Von 140.000 bis 120.000 Jahren ist eine erhöhte Zufuhr von terrigenem Material in den Sedimentkernen am erhöhten Si/Al-Verhältnis zu erkennen. Der ebenfalls erhöhte  $^{232}\text{Th}$ -Eintrag weist daraufhin, daß es sich hierbei vorwiegend um feinkörniges (und nicht um grobes eistransportiertes) Material handelt. Die stärkere Zufuhr von terrigenem Sediment-

material im Sedimentkern GIK 23065 gegenüber dem Sedimentkern GIK 23059 erklärt sich aus der geringeren Entfernung zum Kontinent. Im Sedimentkern GIK 23065 ist der Bereich erhöhter terrigener Zufuhr durch häufige Wechsel in der Lithofazies geprägt (Henrich et al. 1989).

- Zwischen 135.000 und 125.000 Jahren ist das Neueinsetzen oder Wiedererstarben des Norwegenstroms am Anstieg des Ti/Al-Verhältnisses und des Montmorillonitgehaltes zu erkennen. Der Grund für den etwas früheren Anstieg des Montmorillonit-Gehalts gegenüber dem Ti/Al-Verhältnis ist unklar.
- Zwischen 125.000 bis 122.000 Jahren kommt es zu einer vertikalen Durchmischung des Meerwassers, bzw. zur Bildung (oder Zufuhr) von frischem Tiefenwasser, in der Norwegischen See. Dies ist an der plötzlichen Verringerung des Cd-Gehaltes im Tiefenwasser zu erkennen, der sich aus dem Cd-Gehalt der benthischen Foraminifere *Cibicides wuellerstorfi* ableiten läßt (Kapitel 6.5). Duplessy & Shackleton (1985) kommen anhand von  $\delta^{13}\text{C}$ -Bestimmungen an benthischen Foraminiferen zu dem Ergebnis, daß die Tiefenwasserneubildung in der Norwegischen See zwischen 127.000 und 122.000 Jahren einsetzte. Die  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ -Bestimmungen an planktonischen Foraminiferen zeigen ebenfalls, daß sich zwischen 122.000 Jahren ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 5.51) und 125.000 Jahren ( $\delta^{18}\text{O}$ -Substadium 5.53) das Zirkulationssystem im Europäischen Nordmeer grundlegend verändert hat (Vogelsang 1990). Am Montmorillonitprofil bzw. am Profil des Ti/Al-Verhältnisses (Abb. 49) ist zu erkennen, daß der Norwegenstrom zu dieser Zeit bereits annähernd seine volle Intensität erreicht hat. Das im Vergleich zum Neueinsetzen des Norwegenstromes späte Einsetzen der vertikalen Durchmischung bestätigt die Vermutung von Streeter et al. (1982), daß der Einstrom von salzreichem Nord-Atlantischem Wasser eine wichtige Voraussetzung für das Absinken von Oberflächenwasser, und damit für die Tiefenwasserneubildung, im Europäischen Nordmeer gewesen sein dürfte.  
Ab 120.000 Jahren entsprechen die Cd-Gehalte des Tiefenwassers mit 0,24 bis 0,30 nmol/l (Tab. 4, Seite 33, Abb. 49) den Cd-Gehalten, die rezent im Tiefenwasser des Nord-Atlantiks vorliegen (Bruland 1983). Daraus läßt sich folgern, daß ab diesem Zeitpunkt die Tiefenwasserbildung im Europäischen Nordmeer ähnlich ausgebildet war wie heute.
- Vor 120.000 Jahren, also erst als der Norwegenstrom seine volle Intensität besitzt (s.o.), erreicht die Bioproduktivität ein Maximum. Als Parameter dient hierfür der  $\text{CaCO}_3$ -Eintrag, der aber als Indikator für die Bioproduktivität nur bedingt geeignet ist (vgl. Tab. 13; Kapitel 6.2). Es ist deshalb nicht auszuschließen, daß eine höhere Bioproduktivität bereits zu einem früheren Zeitpunkt durch die Auflösung von  $\text{CaCO}_3$  nicht zu erkennen ist (z.B. Henrich et al. 1989, Baumann 1990, Henrich & Thiede 1991).

An dem konstanten Verlauf fast aller Parameter im Zeitraum von 110.000 bis 70.000 Jahren (Abb. 49) läßt sich ablesen, daß die Sedimentationsverhältnisse in der Norwegischen See in diesem Zeitraum offensichtlich sehr stabil gewesen waren. Dieser Befund steht im Einklang mit den Ergebnissen von Vogelsang (1990), die für diesen Zeitabschnitt der heutigen Situation sehr ähnliche Sedimentationsbedingungen postuliert (Abb. 3, Seite 5). Eine Abnahme der Intensität des Norwegenstroms, wie sie von Kellogg (1980) vermutet wurde, ist dagegen in den bearbeiteten Sedimentkernen nicht zu erkennen.

## 6.6.2 Die Sedimentation in der Grönländischen See (GIK 23294)

Der bearbeitete Sedimentkern GIK 23294 (Station C) aus der Grönländischen See ist gekennzeichnet durch sehr hohe Sedimentationsraten. Die hohe  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung in diesem Sedimentkern zeigt, daß die hohen Sedimentationsraten zu einem großen Teil durch laterale Sedimentzufuhr (Sediment focusing) verursacht worden sind (Kapitel 6.4).

Die sehr konstante Korngrößenzusammensetzung in diesem Sedimentkern entspricht annähernd der Korngrößenzusammensetzung, die die Partikel im Meereis bzw. in Kryokoniten im Arktischen Ozean besitzen (Goldschmidt et al., im Druck). Die Sedimente des Sedimentkernes GIK 23294 unterscheiden sich von Meereisproben nur durch ein geringfügig höheres Ton/Silt-Verhältnis.

Die einheitliche Korngrößenzusammensetzung (Abb. 9, Seite 26), der hohe  $^{232}\text{Th}$ -Gehalt (Abb. 22b, Seite 38), sowie die hohe  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Flußüberschreitung (Tab. 12, Seite 61) im Sedimentkern GIK 23294 lassen sich durch einen hohen lateralen Eintrag, und damit durch hohe Bodenströmungen während der Ablagerung, erklären. Die Deutung einer strömungskontrollierten Sedimentation steht im Widerspruch zu der Auffassung von Damuth (1978), daß dieses Gebiet durch schwache Bodenströmungen gekennzeichnet ist. Bestätigt wird eine strömungskontrollierte Sedimentation durch Rumohr (unveröffentlicht), der nördlich dieses morphologischen Rückens in seismischen Profilen (3,5 kHz) Sedimentwellen beobachtete, die erhöhte Strömungsbedingungen während der Ablagerung des Sedimentes anzeigen (McCave & Tucholke 1986).

Bei einer strömungskontrollierten Sedimentation, muß die hohe Akkumulation an der Station C durch eine topographisch bedingte Verlangsamung der Bodenströmung verursacht sein (McCave & Tucholke 1986). Die Verlangsamung einer südwärts gerichteten Strömung könnte beispielsweise durch den südwestlich der Position liegenden Ost-West-streichenden morphologischen Rücken (Abb. 1, Seite 3) verursacht worden sein (vgl. "detached drift", McCave & Tucholke 1986).

Die Akkumulationsraten einzelner Sedimentkomponenten im Sedimentkern GIK 23294 ist in Abbildung 50 dargestellt. Das Sedimentalter und die Akkumulationsraten wurden dabei nach dem constant-flux Modell berechnet (Kapitel 6.3). Die eingetragenen Stadiengrenzen sind nach dem Alter definiert (Martinson et al. 1987).

Aufgrund des hohen Feinkornanteils zeigt die Akkumulation von Gesamtsediment und  $^{232}\text{Th}$  den gleichen Verlauf. Auch die Akkumulation von  $\text{CaCO}_3$  verläuft in vielen Abschnitten ähnlich der Gesamtakkumulation (Abb. 50). Dies zeigt, daß  $\text{CaCO}_3$  genauso wie das Gesamtsediment vorwiegend über einen lateralen Transport, und nicht durch biologische Produktion in der darüberliegenden Wassersäule, in das Sediment gelangt ist.

Prinzipiell lassen sich im Sedimentkern GIK 23294 zwei verschiedene Sedimentationsbedingungen erkennen, die offenbar eng mit den Glazial-Interglazial-Zyklen zusammenhängen (Abb. 50). Die Sauerstoffisotopenstadien 1 und 5 sind gekennzeichnet durch eine relativ geringe (verglichen mit der durchschnittlichen Akkumulation im gesamten Sedimentkern) und konstante Akkumulation aller Komponenten. Die Stadien 2 bis 4, sowie 6 (soweit erfaßt) sind dagegen durch deutlich höhere und stark wechselnde Akkumulationsraten geprägt.

Für die Sedimentkerne der Norwegischen See konnte gezeigt werden, daß bei einer vorwiegend lateralen Sedimentzufuhr eine Korrelation zwischen Gesamtakkumulationsrate und  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Akkumulation besteht (vgl. Abb. 33, Seite 50 und Abb. 47, Seite 64). Aufgrund der fehlenden unabhängigen Zeitskala läßt sich dies für den Sedimentkern GIK 23294 nicht zeigen. Prinzipiell führt dieser Effekt bei der Anwendung des constant-flux Modells zu einer Unterschätzung von

hohen und entsprechend zu einer Überschätzung von niedrigen Akkumulationsraten. Im Sedimentkern GIK 23294 sind somit die Unterschiede in den beiden Sedimentationsbedingungen (in den Sauerstoffisoptopenstadien 1 und 5 auf der einen, sowie Stadien 2 bis 4 und 6 auf der anderen Seite) bezüglich der Akkumulationsraten möglicherweise noch größer als in Abbildung 50 dargestellt.

Die Zeiten hoher Akkumulation im Sedimentkern GIK 23294 (Stadien 2 bis 4, sowie 6) waren nach dem Modell von Vogelsang (1990; Abb. 3, Seite 5) in der Grönländischen See (westliches Europäisches Nordmeer in Abb. 3, Seite 5) geprägt durch eine relativ starke Eisbedeckung und fehlende Tiefenwasserneubildung. In den Zeiten relativ niedriger Akkumulation (Stadien 1 und 5) war das westliche Europäische Nordmeer dagegen eisfrei und eine Tiefenwasserneubildung fand statt (Abb. 3, Seite 5). Für angrenzende Meeresgebiete, z.B. Framstraße (Gard 1987) und Nord-Atlantik (Ruddiman & Bowles 1976, Boyle & Keigwin 1982) wird angenommen, daß die Tiefenwasserzirkulation, und damit die Bodenströmungen, in den Glazialzeiten geringer als in den Interglazialzeiten gewesen waren. Der hohe Cd-Gehalt im Tiefenwasser der Norwegischen See (Kapitel 6.5.1) ist ein weiteres Indiz dafür, daß dies auch im Europäischen Nordmeer der Fall gewesen ist. Damit ergibt sich für den Sedimentkern GIK 23294, daß hier die Akkumulation in Zeiten mit einer verringerten Bodenströmung besonders hoch gewesen ist.

Demnach war die hohe Akkumulation in den Glazialzeiten hier nicht die Folge einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, die pro Zeiteinheit entsprechend mehr Sedimentmaterial anliefern kann (z.B. Mangini et al. 1987), sondern muß durch eine Erhöhung der Sedimentfracht in der Bodenströmung erklärt werden.

Prinzipiell sind die Akkumulationsraten im gesamten Europäischen Nordmeer in den Glazialzeiten höher als in den Interglazialzeiten gewesen (vgl. Kapitel 6.3; Henrich et al 1989). Der erhöhte Sedimenteintrag in den Glazialzeiten wurde nach Henrich (1990) durch eine verstärkte Sedimenterosion auf den infolge des niedrigeren Meeresspiegels flacheren Schelfen verursacht.

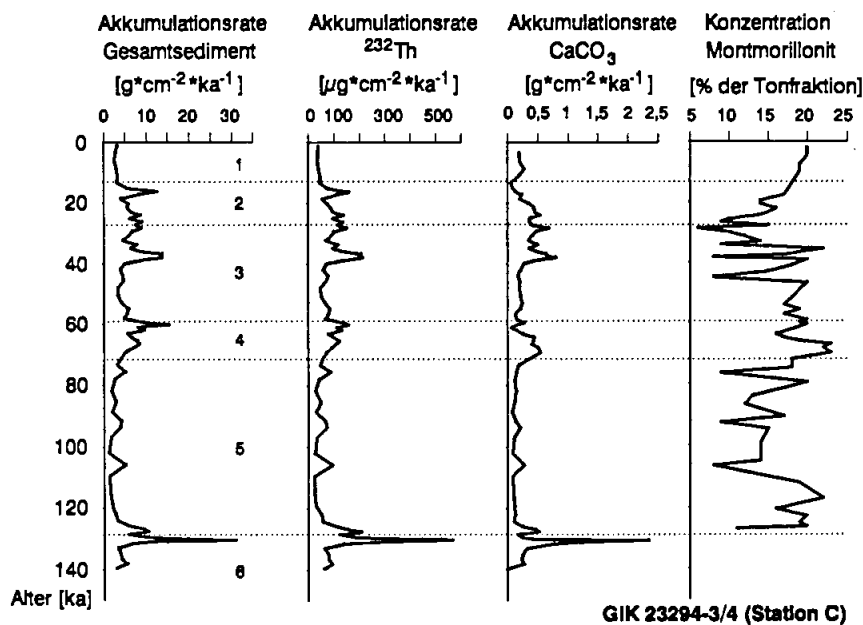


Abbildung 50: Akkumulationsraten verschiedener Sedimentkomponenten im Sedimentkern GIK 23294 (Station C).

## 7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Oberflächensedimente und Sedimentkerne aus dem Europäischen Nordmeer geochemisch und mineralogisch bearbeitet. Die geochemischen Untersuchungen beinhalteten die Bestimmung von Radionukliden, die Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente im Gesamtsediment und des Cd-Gehaltes in Foraminiferenschalen.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind:

- Die geochemische und tonmineralogische Zusammensetzung der Sedimente im Europäischen Nordmeer ermöglicht Rückschlüsse auf das Liefergebiet und die Transportwege des Sediments. So spiegeln erhöhte Montmorillonitgehalte, sowie erhöhte Mg/Al- und Ti/Al-Verhältnisse sowohl räumlich als auch zeitlich den Einfluß des Norwegenstroms wider. Erhöhte K/Al- bzw. Si/Al-Verhältnisse zeigen einen verstärkten Sedimenteintrag von den Kontinenten an.
- Die Radionuklidbestimmungen in den Oberflächensedimenten ermöglichen eine Quantifizierung des Sedimenteintrages im Europäischen Nordmeer. Dabei zeigt sich, daß der lithogene Partikelfluß aus dem Pelagial in weiten Bereichen des Europäischen Nordmeeres relativ konstant bei  $750 \pm 200 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  liegt.
- Die Variationen im  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Tiefenprofil, die für die Gebiete hoher Breiten typisch sind, sind zum größten Teil auf unterschiedliche Verdünnung und nur zu einem kleineren Teil auf Sediment focusing oder Winnowing zurückzuführen. Andere Prozesse haben keinen Einfluß auf die  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Verteilung im Sediment.
- Für die Datierung von Sedimentkernen aus dem Europäischen Nordmeer wird eine Kombination aus  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -Stratigraphie und constant-flux Modell vorgeschlagen.
- Durch die Kombination verschiedener geochemischer und mineralogischer Untersuchungsmethoden in Sedimentkernen der Norwegischen See wurde versucht, die paläozeanographische Entwicklung während der Termination II zu rekonstruieren. Es zeigte sich als wichtigstes Ergebnis, daß die Tiefenwasserneubildung in der Norwegischen See erst 5.000 bis 10.000 Jahre nach dem Wiedererstarren des Norwegenstromes einsetzte.
- Der bearbeitete Sedimentkern aus der Grönländischen See ist gekennzeichnet durch eine strömungskontrollierte Sedimentation. Veränderungen in den Strömungsbedingungen zeigen hier eine deutliche Abhängigkeit von den Klimazyklen.



## 8 Abstract

As part of the Sonderforschungsbereich (Special Research Project) 313: "Sedimentation in the Norwegian-Greenland Sea" 63 surface sediments and 6 sediment cores from the Norwegian-Greenland Sea were investigated geochemically and sedimentologically.

The aims of the thesis were:

- (i) to evaluate the  $^{230}\text{Th}$ -method for applicability in quantifying sediment processes and/or dating sediment cores in the Norwegian-Greenland Sea  
and
- (ii) to test whether a geochemical approach can be used for answering paleoceanographic questions.

The results concerning the  $^{230}\text{Th}$ -method can be summarized as follows:

- Assuming a constant-flux of  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  into the sediment it is possible to quantify sedimentation processes in the Norwegian-Greenland Sea. The accumulation of lithogenic particles in surface sediments in the Norwegian-Greenland Sea is almost constant within the narrow range of  $750 \pm 200 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  whereas the accumulation of biogenic particles varies between 28 and  $1242 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$ , depending mainly on the influence of the warm Norwegian Current.
- To date sediment cores from the Norwegian-Greenland Sea the  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  method can be used. Hereby a combination of the constant-flux model with the  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -stratigraphy was shown to give the most reliable results.
- The variations in the  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ -activities in the sediment cores from the Norwegian-Greenland Sea which are typical for sediments from high latitudes are mainly caused by dilution effects and only to a minor extent by sediment focusing or winnowing.

The clay-mineralogy and geochemistry of the sediments in the Norwegian-Greenland Sea allows the elucidation of sources and routes of different sediment components. For instance, high contents of montmorillonite and high Mg/Al ratios indicate the influence of the Norwegian Current, whereas high K/Al or Si/Al ratios are typical for an increased sediment input from the adjacent land masses.

The Termination II in sediments of the Norwegian Sea was investigated in great detail. Hereby the Cd-content of the benthic foraminifera *Cibicides wuellerstorfi* was determined as an indicator for paleo-deepwater formation. The most important result of this specific investigation is that the renewal of deep-water formation started more than 5,000 years after the Norwegian Current, which has been documented in the sediments by an increase in montmorillonite, influenced the Norwegian Sea.

## 9 Literatur

- Anderson, R.F. (1981): Concentration, vertical flux, and remineralization of particulate uranium in seawater.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46: 1293-1299.
- Anderson, R.F.; Bacon, M.P. & Brewer, P. G. (1983a): Removal of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  from the open ocean.- *Earth and Planetary Science Letters*, 62: 7-23.
- Anderson, R.F.; Bacon, M.P. & Brewer, P. G. (1983b): Removal of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  at ocean margins.- *Earth and Planetary Science Letters*, 66: 73-90.
- Anderson, R.F.; Lao, Y.; Broecker, W.S.; Trumbore, S.E.; Hofmann, S.E. & Wölfli, W. (1990): Boundary scavenging in the Pacific Ocean: A comparison of  $^{10}\text{Be}$  and  $^{231}\text{Pa}$ .- *Earth and Planetary Science Letters*, 96: 287-304.
- Bacon, M.P. (1984a): Radionuclide fluxes in the ocean interior.- *Global Ocean Flux Study, Proceedings of a workshop*, 10. - 14. September 1984, Woods Hole: 181-205.
- Bacon, M.P. (1984b): Glacial to interglacial changes in carbonate and clay sedimentation in the Atlantic Ocean estimated from  $^{230}\text{Th}$  measurements.- *Isotope Geoscience* 2: 97-111.
- Bacon, M.P. & Anderson, R.F. (1982): Distribution of thorium isotopes between dissolved and particulate forms in the deep sea.- *Journal of Geophysical Research*, 87, C3: 2045-2056.
- Bacon, M.P.; Huh, C.-A.; Fleer, A.P. & Deuser, W.G. (1985): Seasonality in the flux of natural radionuclides and plutonium in the deep Sargasso Sea.- *Deep-Sea Research*, 32: 273- 286.
- Bacon, M.P.; Huh, C.-A. & Moore, R.M. (1989): Vertical profiles of some natural radionuclides over the Alpha Ridge, Arctic Ocean.- *Earth and Planetary Science Letters*, 95: 15-22.
- Balzer, W. (1989): *Chemische Reaktionen und Transportprozesse in oberflächennahen Sedimenten borealer und polarer Meeresgebiete*.- *Habil.-Schrift, Universität Kiel*, 312 S..
- Banat, K.; Förstner, U. & Müller, G. (1972): *Schwermetalle in Sedimenten von Donau, Rhein, Ems, Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland*.- *Naturwissenschaften*, 12: 525-528.
- Bard, E.; Hamelin, B.; Fairbanks, R.G. & Zindler, A. (1990): Calibration of the  $^{14}\text{C}$  timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals.- *Nature*, 345: 405-410.
- Baumann, K.-H. (1990): *Veränderlichkeit der Coccolithophoridenflora des Europäischen Nordmeeres im Jungquartär*.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 22: 1-146.
- Belanger, P.E. (1982): Paleo-oceanography of the Norwegian Sea during the past 130,000 years: coccolithophorid and foraminiferal data.- *Boreas*, 11: 29-36
- Berner, H. & Wefer, G. (1990): Physiographic and biologic factors controlling surface sediment distribution in the Fram Strait.- In Bleil, U. & Thiede, J. (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 317-335.
- Berner, R.A. (1980): *Early diagenesis, a theoretical approach*. 241 S., Princeton University Press.
- Berry, R.W. & Johns, W.D. (1966): Mineralogy of the clay-sized fractions of some North Atlantic Arctic Ocean bottom sediments.- *Geological Society of America Bulletin*: 77: 183-196.
- Biscaye, P.E. (1965): Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans.- *Dept. Geol. Geochim. Techn. Rept.*, 8: 385-397.
- Bischof, J. (1990): Dropstones in the Norwegian-Greenland Sea - Indications of Late Quaternary circulation patterns? - In Bleil, U. & Thiede, J. (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 499-518.
- Bischof, J.; Koch, J.; Kubisch, M. ; Spielhagen, R.F. & Thiede, J. (1990): Nordic Seas surface ice drift reconstructions: Evidence from ice rafted coal fragments during oxygen isotope stage 6.- In: Dowdeswell, J.A. & Scourse, J.D. (Hrsg.): *Glaciomarine Environments: Processes and Sediments*. Geological Society Special Publication, 153: 235-251.

- Bischoff, J.L.; Heath, G.R. & Leinen, M. (1979): Nature and origin of metalliferous sediments in Dome site C, Pacific Manganese Nodule Province.- In: Bischoff, J.L. & Piper, D.Z. (Hrsg.): *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum Press, New York: 397-436.
- Blackmon, P.D. & Todd, R. (1959): Mineralogy of some foraminifera as related to their classification and ecology.- *Journal of Paleontology*, 33: 1-15.
- Bodungen, B. v.; Bathmann, U. & Rumohr, J. (1988): Forschungsschiff POSEIDON, Reisen Nr. 141-2/142 vom 17.10.1987 bis 18.11.1987.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 11: 1-20.
- Bohrmann, G. (1988): Zur Sedimentationsgeschichte von biogenem Opal im nördlichen Nordatlantik und dem Europäischen Nordmeer (DSDP/ODP-Bohrungen 408, 642, 643, 644, 646 und 647).- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 9: 1-221.
- Bohrmann, H. (1991): Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans.- unveröffentlichte Dissertation, Universität Kiel, 114 S..
- Botz, R. & Stoffers, P. (1989): Alter und Zusammensetzung von Sedimenten der Framstraße.- In: Meincke, J. (Hrsg.): *Framstraße - Hydrobiologische und geowissenschaftliche Schlüsselregion zwischen Nordpolarmeer und Europäischem Nordmeer, Ergebnisse eines Workshops am 4. April 1989 in Hamburg*, Institut für Meereskunde der Universität Hamburg.
- Botz, R.; Bohrmann, H.; Mangini, A.; Paetsch, H.; Scholten, J.; Stoffers, P. & Thiede, J. (1989): 230-Th stratigraphy of high latitude sediments: A transect from the Norwegian-Greenland Sea to the Arctic Ocean.- *Terra abstracts*, 1: 334.
- Boyle, E.A. (1981): Cadmium, Zinc, Copper, and Barium in Foraminifera Tests.- *Earth and Planetary Science Letters*, 53: 11-35.
- Boyle, E.A. (1983a): Manganese carbonate overgrowths on foraminifera tests.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47: 1815-1819.
- Boyle, E.A. (1983b): Chemical accumulation variations under the Peru Current during the past 130.000 years.- *Journal of Geophysical Research*, 88, C 12: 7667-7680.
- Boyle, E.A. (1984): Sampling statistic limitations on benthic foraminifera chemical and isotopic data.- *Marine Geology*, 58: 213-224.
- Boyle, E.A. (1986): Paired carbon isotope and cadmium data from benthic foraminifera: Implications for changes in deep oceanic phosphorus, oceanic circulation and atmospheric carbon dioxide.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50: 265-276.
- Boyle, E.A. (1988): Cadmium: Chemical tracer of deepwater paleoceanography.- *Paleoceanography*, 3: 471-489.
- Boyle, E.A. (1990): Quaternary deepwater paleoceanography.- *Science*, 249: 863-870.
- Boyle, E.A.; Sclater, F. & Edmond, J.M. (1976): On the marine geochemistry of cadmium.- *Nature*, 263: 42-44
- Boyle, E.A. & Keigwin, L.D. (1982): Deep circulation of the North Atlantic over the last 200,000 years: Geochemical evidence.- *Science*, 218: 784-787.
- Boyle, E.A. & Keigwin, L.D. (1985/86): Comparison of Atlantic and Pacific paleochemical records for the last 215,000 years: Changes in deep ocean circulation and chemical inventories.- *Earth and Planetary Science Letters*, 76: 135-150.
- Broecker, W.S. & Peng, T.-H. (1982): *Tracers in the Sea*.- 690 S., Eldigio Press, Columbia University, Palisades.
- Bruland, K.W. (1980): Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel, and copper in the North Pacific.- *Earth and Planetary Science Letters*, 47: 176-198.
- Bruland, K.W. (1983): Trace elements in sea-water.- In: Riley, J.P. & Chester, R. (Hrsg.): *Chemical Oceanography*, 8: 157-220, Academic Press, London.
- Bruland, K.W.; Bertine, K.; Koide, M. & Goldberg, E.D. (1974): History of metal pollution in Southern California coastal zone. *Environmental Science Technology*, 8: 425-432.
- Burton, J.D. (1975): Radioactive nuclides in the marine environment.- In: Riley, J.P. & Skirrow, G. (Hrsg.): *Chemical Oceanography*, 3 (2. Auflage): 91-191, Academic Press, London.

- Carmack, E.C. & Aargaard, K. (1973): On the deep water of the Greenland Sea.- *Deep-Sea Research*, 20: 687-715.
- Chester, R. (1990): *Marine Geochemistry*.- 698 S., Unwin Hyman, London.
- Cochran, J.K. & Osmond, J.K. (1976): Sedimentation patterns and accumulation rates in the Tasman Basin.- *Deep-Sea Research*, 23: 193-210.
- Crowley, T.-J. (1989): Paleoclimate perspectives on a greenhouse warming.- In: Berger, A.; Schneider, S. & Duplessy, J.C. (Hrsg.): *Climate on Geo-Sciences, A challenge for science and society in the 21st century*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 179-207.
- Damuth, J.E. (1978): Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: Relationship to Quaternary sedimentation.- *Marine Geology*, 28: 1-36.
- Danielsson, L.G. & Westerlund, S. (1983): Trace metals in the Arctic Ocean.- In: Wong, C.S.; Boyle, E.A.; Bruland, K.W.; Burton, J.D. & Goldberg, E.D. (Hrsg.): *Trace metals in Sea water*. Plenum Press, New York: 85-96.
- Darby, D.A. (1975): Kaolinite and other clay minerals in Arctic Ocean sediments.- *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 272-279.
- Dehairs, F.; Chesselet, R.; Jedwab, J. (1980): Discrete suspended particles of barite and the barium cycle in the open ocean.- *Earth and Planetary Science Letters*, 49: 528-550.
- Delaney, M.L. (1983): Foraminiferal trace elements: Uptake, diagenesis, and 100 m.y. paleochemical history.- 253 S., Doctoral Dissertation, Joint Program in Oceanography and Oceanographic Engineering, Mass. Inst. of Technol./Woods Hole Oceanogr. Inst., WHOI 84-2.
- DeMaster, D.J. (1979): The marine budgets of silica and  $^{32}\text{Si}$ .- 308 S., Doctoral Dissertation, Yale University, New Haven.
- DeMaster, D.J. (1981): The supply and accumulation of silica in the marine environment.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 1715-1732.
- Duplessy, J.C., Chenouard, L. & Vila, F. (1975): Weyl's theory of glaciation supported by isotopic study of Norwegian core K11.- *Science*, 188: 1208-1209.
- Duplessy, J.C.; Shackleton, N.J.; Matthews, R.K.; Prell, W.; Ruddiman, W.F.; Caralp, M. & Hendy, C. (1984): 13-C record of benthic foraminifera in the last interglacial ocean: Implications for the carbon cycle and the global deep water circulation.- *Quaternary Research*, 21: 225-243.
- Duplessy, J.C. & Shackleton, N.J. (1985): Response of global deep-water circulation to Earth's climatic change 135.000 - 107.000 years ago. - *Nature*, 316: 500-507.
- Duplessy, J.C.; Labeyrie, L. & Blanc, P.L. (1988): Norwegian Sea deep water variations over the last climatic cycle: Paleo-oceanographical implications.- In: Wanner, H. & Siegenthaler, U. (Hrsg.): *Lecture Notes in Earth Sciences*, 16, Long and Short Term Variability of Climate. Springer-Verlag, Berlin: 83-107.
- Dymond, J. (1982): Geochemistry of Nazca Plate surface sediments: An evaluation on hydrothermal, biogenic, detrial, and hydrogenous sources.- *Geological Society of America Memoir*, 154: 133-173.
- Eisenhauer, A. (1990):  $^{10}\text{Be}$  und  $^{230}\text{Th}$ : Eine Zwei Tracer Studie mariner Sedimente.- 99 S., unveröffentlichte Dissertation, Universität Heidelberg.
- Eisenhauer, A.; Mangini, A.; Botz, R.; Walter, P.; Beer, J.; Bonani, G.; Suter, M.; Hofmann, H.J. & Wölfli, W. (1990): High resolution  $^{10}\text{Be}$  and  $^{230}\text{Th}$  stratigraphy of Late Quaternary sediments from the Fram Strait (core 23235).- In Bleil, U. & Thiede, J. (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 475-487.
- Eisma, D. & Van der Gaast, S.J. (1983): Terrigenous Late Quaternary sediment components north and south of the Scotland-Greenland Ridge and in the Norwegian Sea.- In: Bott, H.P.; Saxov, S.; Talwani, M. & Thiede, J. (Hrsg.): *Structure and development of the Greenland-Scotland Ridge*. Plenum Publishing Corporation: 607-635.
- Fowler, S.W. & Knauer, G.A. (1986): Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column.- *Progress in Oceanography*, 16: 147-194.

- Francois, R.; Bacon, M.P. & Suman, D.O. (1990): Thorium 230 profiling in deep-sea sediments: High-resolution records of flux and dissolution of carbonate in the Equatorial Atlantic during the last 24,000 years.- *Paleoceanography*, 5: 761-787.
- Gard, G. (1987): Late Quaternary calcareous nannofossil biostratigraphy and sedimentation patterns: Fram Strait, Arctica.- *Paleoceanography*, 2: 519-529.
- Gerlach, S.A.; Thiede, J.; Graf, G. & Werner, F. (1986): Forschungsschiff Meteor, Reise 2 vom 19. Juni bis 16. Juli 1986; Forschungsschiff Poseidon, Reise 128 vom 7. Mai bis 8. Juni 1986.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 4: 1-140.
- Gerlach, S.A.; Theilen, F. & Werner, F. (1987): Forschungsschiff Poseidon, Reise 119 vom 16. Juli bis 1. August 1985, Forschungsschiff Poseidon, Reise 120 vom 4. August bis 20. August 1985, Forschungsschiff Valdivia, Reise 201-48 A vom 17. Juli bis 31. Juli 1986, Forschungsschiff Poseidon, Reise 137 vom 3. Februar bis 20. Februar 1987.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 5: 1-94.
- Gerlach, S.A. & Graf, G. (1991): EUROPÄISCHES NORDMEER, Reise Nr. 13, 6. Juli - 24. August 1990.- *METEOR-Berichte, Universität Hamburg*, 91-2: 217 S..
- Gersonde, R. (1986): Die Expedition ARKTIS III mit FS "Polarstern" 1985.- *Berichte zur Polarforschung*, 28: 1-113.
- Goldberg, E.D. (1954): Marine geochemistry: 1. Chemical scavengers of the sea.- *Journal of Geology*, 62: 249-265.
- Goldberg, E.D. & Koide, M. (1962): Geochronological studies of deep sea sediments by the ionium/thorium method.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 26: 417-450.
- Goldschmidt, P.; Pfirman, S.; Wollenburg, I. & Henrich, R. (1991): Origin of sediment pellets from the Arctic seafloor: Sea Ice or icebergs ?- *Deep-Sea Research*, im Druck.
- Graf, G. (1989): Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community.- *Nature*, 341: 437-439.
- Grousset, F.; Latouche, C. & Parra, M. (1982): Late Quaternary sedimentation between the Gibbs Fracture and the Greenland Basin: Mineralogical and geochemical data.- *Marine Geology*, 47: 303-330.
- Grousset, F.E. & Chesselet, R. (1986): The Holocene sedimentary regime in the northern Mid-Atlantic Ridge region.- *Earth and Planetary Science Letters*, 78: 271-287.
- Haake, F.-W. & Pflaumann, U. (1989): Late Pleistocene foraminiferal stratigraphy on the Vøying Plateau, Norwegian Sea.- *Boreas*, 18: 343-356.
- Henrich, R. (1986): A calcite dissolution pulse in the Norwegian-Greenland Sea during the last deglaciation.- *Geologische Rundschau*, 75: 805-827.
- Henrich, R. (1990): Cycles, rythms and events in Quaternary Arctic and Antarctic glaciomarine deposits sediment.- In Bleil, U. & Thiede, J. (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 213-244.
- Henrich, R.; Kassens, H.; Vogelsang, E. & Thiede, J. (1989): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka.- *Marine Geology*, 86: 283-319.
- Henrich, R. & Thiede, J. (1991): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka - reply.- *Marine Geology*, 96: 134-136.
- Herman, Y.; Osmond, J.K. & Somayajulu, B.L.K. (1989): Late Neogene Arctic Paleocyanography: Micropaleontology, Stable Isotopes, and Chronology.- In: Herman, Y. (Hrsg.): *The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York: 581-655.
- Hester, K. & Boyle, E. (1982): Water chemistry control of the cadmium content in Recent benthic foraminifera.- *Nature*, 298: 260-262.
- Hirschleber, H.; Theilen, F.; Balzer, W.; Bodungen, B. v. & Thiede, J. (1988): Forschungsschiff Meteor, Reise 7 vom 1. Juni bis 28. September 1988.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 10: 1-257.
- Holler, P. & Kassens, H. (1989): Sedimentphysikalische Eigenschaften aus dem Europäischen Nordmeer (Datenreport F.S. METEOR, Reise 7).- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 15: 1-61.
- Honeyman, B.D.; Balistrieri, L.S. & Murray, J.W. (1988): Oceanic trace metal scavenging: The importance of particle concentration.- *Deep-Sea Research*, 35: 227-246.

- Honjo, S. (1986): Oceanic particles and pelagic sedimentation in the western North Atlantic Ocean.- In: Vogt, P.R. & Tucholke, B.E. (Hrsg.): *The Geology of North America, Volume M, The Western North-Atlantic Region*. Geological Society of America: 469-478.
- Honjo, S. (1990): Particle fluxes and modern sedimentation in the Polar Oceans.- In: Smith, W.O. (Hrsg.): *Polar Oceanography, part B: Chemistry, Biology and Geology*. Academic Press, San Diego: 687-739.
- Honjo, S.; Manganini, S.J. & Wefer, G. (1988): Annual particle flux and a winter outburst of sedimentation in the northern Norwegian Sea.- *Deep-Sea Research*, 35: 1223-1234.
- Hurdle, B.G. (1986): *The Nordic Seas*.- 777 S., Springer-Verlag, New-York.
- Hutson, W.H. (1980): Bioturbation of deep-sea sediments: Oxygen isotopes and stratigraphic uncertainty.- *Geology*, 8: 127-130.
- Jansen, E. & Erlenkeuser, H. (1985): Ocean circulation in the Norwegian Sea during the last deglaciation: Isotopic evidence.- *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 49: 189-206.
- Jones, G.A. & Keigwin, L.D. (1988): Evidence from Fram Strait (78° N) for early deglaciation.- *Nature*, 336: 56-59.
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See.- *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*, 24: 1-117.
- Kellogg, T.B. (1976): Late Quaternary climatic changes: Evidence from deep-sea cores of Norwegian and Greenland Seas.- *Geological Society of America Memoir*, 145: 77-110.
- Kellogg, T.B. (1980): Paleoclimatology and paleo-oceanography of the Norwegian-Greenland Seas: Glacial-interglacial contrasts.- *Boreas*, 9: 115-137.
- Kellogg, T.B.; Duplessy, J.C. & Shackleton, N.J. (1978): Planktonic foraminiferal and oxygen isotopic stratigraphy and paleoclimatology of Norwegian Sea deep-sea cores.- *Boreas*, 7: 61-73.
- Koczy, F.F. (1951): Factors determining the element concentration in sediments.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1: 73-85.
- Köhler, S.E.I. & Spielhagen, R.F. (1990): The enigma of oxygen isotope stage 5 in the Central Fram Strait.- In Bleil, U. & Thiede, J. (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 489-497.
- Kominz, M.A.; Heath, G.R.; Ku, T.-L. & Pisias, N.G. (1979): Brunhes time scales and the interpretation of climatic change.- *Earth and Planetary Science Letters*, 45: 394-410.
- Krumgalz, B.S. (1989): Unusual grain size effects on trace metals and organic matter in contaminated sediments. *Marine Pollution bulletin*, 20: 608-611.
- Ku, T.-L. (1965): An evaluation of the  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  method as a tool for dating pelagic sediments. *Journal of Geophysical Research*, 70: 3457-3474.
- Ku, T.-L. (1976): The uranium-series methods of age determination.- *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 4: 347-379.
- Ku, T.-L.; Knauss, K.G. & Mathieu, G.G. (1977): Uranium in open ocean: Concentration and isotopic composition.- *Deep-Sea Research*, 24: 1005-1017.
- Kuhlemann, J. (1990): Zur spätquartären Entwicklung des zentralen Europäischen Nordmeeres anhand des 'Meteor'-Kernes GIK 23269-1.- unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Kiel, 82 S..
- Labeyrie, L.D., Duplessy, J.C. & Blanc, P.L. (1987): Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep water over the past 125,000 years.- *Nature*, 327: 477-482.
- Lal, D. (1980): Comments on some aspects of particulate transport in the ocean.- *Earth and Planetary Science Letters*, 49: 520-527.
- Lapp, B. (1991): *Eutrophierung und Metallmobilität in marinen Sedimenten der Kieler Bucht*.- unveröffentlichte Dissertation, Universität Kiel, 81 S..
- Li, Y.-H. (1982): Interelement relationship in abyssal Pacific ferromanganese nodules and associated pelagic sediments.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46: 1053-1060.

- Lohmann, G.P. (1978): Abyssal benthonic foraminifera as hydrodynamic indicators in the western South Atlantic Ocean.- *Journal of Foraminiferal Research*, 8: 6-34.
- Loubere, P. (1989): Bioturbation and sedimentation rate control of benthic microfossil taxon abundances in surface sediments: A theoretical approach to the analysis of species microhabitats.- *Marine Micropaleontology*, 14: 317-325.
- Machoczek, D. (1989): Untersuchungen historischer hydrographischer Daten des nördlichen Europäischen Nordmeeres im Hinblick auf moderne Vorstellungen zur Wassermassenbildung und Zirkulation.- *Wissenschaftlich-Technische Berichte 1989-5*, Deutsches Hydrographisches Institut, 79 S..
- Mangini, A. (1978): Thorium and uranium isotope analyses on "Meteor" core 12310, NW African Continental Rise.- "Meteor" Forschungsergebnisse, C 29: 1-5.
- Mangini, A. (1984): Datierung von Sedimenten und andere Anwendungen der Radionuklide Th-230, Pa-231 und Be-10 in der marinen Geologie.- *Habil.-Schrift, Universität Heidelberg*, 63 S..
- Mangini, A. & Dominik, J. (1979): Late Quaternary sapropel on the Mediterranean Ridge: U-budget and evidence for low sedimentation rates.- *Sedimentary Geology*, 23: 113-125.
- Mangini, A. & Diester-Haass, L. (1983): Excess Th-230 in sediments off NW Africa traces upwelling in the past.- In: Suess, E. & Thiede, J. (Hrsg.): *Coastal Upwelling, Part A*. Plenum Publishing Corporation: 455-470.
- Mangini, A. & Key, R.M. (1983): A <sup>230</sup>Th profile in the Atlantic Ocean.- *Earth and Planetary Science Letters*, 62: 377-384.
- Mangini, A. & Kühnel, U. (1986): Depositional history in the Clarion-Clipperton Zone during the last 250.000 years- <sup>230</sup>Th and <sup>231</sup>Pa methods.- In: v. Stackelberg, U. & Beiersdorf, H. (Hrsg.): *Manganese nodules and sediments in the Equatorial North Pacific*. *Geologisches Jahrbuch*, D 87: 105-122.
- Mangini, A.; Stoffers, P. & Botz, R. (1987): Periodic events of bottom transport of Peru Basin sediment during the Late Quaternary.- *Marine Geology*, 76: 325-329.
- Mangini, A.; Eisenhauer, A. & Walter, P. (1990): The relevance of manganese in the ocean for the climatic cycles in the Quaternary.- *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 4: 263-289.
- Martinson, D.G.; Pisias, N.G.; Hays, J.D.; Imbrie, J.; Moore, T.C. & Shackleton, N.J. (1987): Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy.- *Quaternary Research*, 27: 1-29.
- McCave, I.N. (1975): Vertical flux of particles in the ocean.- *Deep-Sea Research*, 22: 491-502.
- McCave, I.N. & Tucholke, B.E. (1986): Deep current-controlled sedimentation in the western North Atlantic.- In: Vogt, P.R. & Tucholke, B.E. (Hrsg.): *The Geology of North America, Volume M, The Western North-Atlantic Region*. Geological Society of America: 451-468.
- Moore, S. & Sackett, W.M. (1964): Uranium and thorium series equilibrium in sea water.- *Journal of Geophysical Research*, 69: 5401-5405.
- Moore, W.S. (1981): The thorium isotope content of ocean water.- *Earth and Planetary Science Letters*, 53: 419-426.
- Müller, G. (1964): *Methoden der Sediment-Untersuchung*.- 303 S., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Nowaczyk, N.R. (1991): Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer Meeresgebiete.- *Berichte zur Polarforschung*, 78: 1 - 187.
- Nozaki, Y.; Yang, H.-S. & Yamada, M. (1987): Scavenging of thorium in the ocean.- *Journal of Geophysical Research*, 92, C1: 772-778.
- Nuglisch, K. (1985): *Foraminiferen*.- 174 S., A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- Nyffeler, U.P.; Santschi, P.H. & Li, Y.-H. (1986): The relevance of scavenging kinetics to modeling of sediment-water interactions in natural waters.- *Limnology and Oceanography*, 31(2): 277-292.

- Osmond, J.K. (1979): Accumulation models of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  in deep sea sediments.- *Earth-Science Reviews*, 15: 95-150.
- Paetsch, H.; Botz, R.; Scholten, J.C. & Stoffers, P.: Accumulation rates of surface sediments in the Norwegian-Greenland Sea.- *Marine Geology*, im Druck.
- Prell, W.L.; Imbrie, J.; Martinson, D.G.; Morley, J.J.; Pisias, N.G.; Shackleton, N.J. & Streeter, H.F. (1986): Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy application to the Late Quaternary.- *Paleoceanography*, 1: 137-162.
- Ramm, M. (1988): A stratigraphic study of Late Quaternary sediments on the Voring-Plateau, Eastern Norwegian Sea.- *Marine Geology*, 83: 159-191.
- Reid, J.L. & Lynn, R.L. (1971): On the influence of the Norwegian-Greenland and Weddell Seas upon the bottom waters of the Indian and Pacific Oceans.- *Deep-Sea Research*, 18: 1063-1088.
- Ruddiman, W.F. (1977): Late Quaternary deposition of ice rafted sand in the subpolar North Atlantic (lat  $40^\circ$  to  $65^\circ\text{N}$ ).- *Geological Society of America Bulletin*, 88: 1813-1827.
- Ruddiman, W.F. & Bowles, F.A. (1976): Early interglacial bottom-current sedimentation on the Eastern Reykjanes Ridge.- *Marine Geology*, 21: 191-210.
- Rutgers van der Loeff, M.M. & Berger, G.W. (1989): Seasonal scavenging in the Bransfield Strait: Implications for the use of  $^{230}\text{Th}$  for dating purposes.- In: Abstracts of III. International Conference on Paleo-Oceanography, Cambridge, 10.-16. September 1989. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 22.
- Rumohr, J. (1991): A high accumulation area on the continental slope off Northern Norway and the conception of winter water cascades.- *Deep-Sea Research*, im Druck.
- Salomons, W. & Förstner, U. (1984): *Metals in the Hydrocycle*.- 349 S., Springer-Verlag, Berlin.
- Sayles, F.L. (1979): The composition and diagenesis of interstitial solutions - I. Fluxes across the seawater-sediment interface in the Atlantic Ocean.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 527-545.
- Schmitz, W.; Mangini, A.; Stoffers, P.; Glasby, G.P. & Plüger, W.L. (1986): Sediment accumulation rates in the Southwestern Pacific Basin and Aitutaki Passage.- *Marine Geology*, 73: 181-190.
- Schoer, J.; Nagel, U.; Eggersgluess, D. & Förstner, U. (1982): Metal contents in sediments from the Elbe, Weser, Ems Estuaries and from the German Bight (Southeastern North Sea): Grain size effects.- *Mitteilungen des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Hamburg, SCOPE/UNEP-Special Volume*, 52: 687-702.
- Scholten, J.C. (1987): Ein Beitrag zur Geochemie und Sedimentationsgeschichte am Carlsberg- und Mittel-Indischen Rücken.- unveröffentlichte Dissertation, Universität Heidelberg, 151 S..
- Scholten, J.C.; Botz, R.; Mangini, A.; Paetsch, H.; Stoffers, P. & Vogelsang, E. (1990): High resolution  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$  stratigraphy of sediments from high-latitude areas (Norwegian Sea, Fram Strait).- *Earth and Planetary Science Letters*, 101: 54-62.
- Seelmann-Eggebert, W.; Pfenning, G.; Münzel, H. & Klewe-Nebenius, H. (1981): *Karlsruher Nuklidkarte*.- 5. Auflage, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- Seibold, E. (1991): *Das Gedächtnis des Meeres, Boden - Wasser - Leben - Klima*.- 447 S., Piper, München.
- Shackleton, N.J. & Opdyke, N.D. (1973): Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a  $10^5$  year and  $10^6$  year scale.- *Quaternary Research*, 3: 39-55.
- Shimmiel, G.B. & Price, N.B. (1988): The scavenging of U,  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  during pulsed hydrothermal activity at  $20^\circ\text{S}$ , East Pacific Rise.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 669-677.
- Somayajulu, B.L.K.; Sharma, P. & Herman, Y. (1989): Thorium and uranium isotopes in Arctic sediments.- In: Herman, Y. (Hrsg.): *The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York: 571-579.
- Streeter, S.S.; Belanger, P.E.; Kellogg, T.B. & Duplessy, J.C. (1982): Late Pleistocene paleo-oceanography of the Norwegian-Greenland Sea: Benthic foraminiferal evidence.- *Quaternary Research*, 18: 72-90.
- Suman, D.O. & Bacon, M.P. (1989): Variations in Holocene sedimentation in the North American Basin determined from  $^{230}\text{Th}$  measurements.- *Deep-Sea Research*, 36: 869-878.



- Swift, J.H. & Aargard, K. (1981): Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland Seas.- Deep-Sea Research, 28, A: 1107-1129.
- Swift, J.H. & Koltermann, K.P. (1988): The origin of Norwegian Sea deep water.- Journal of Geophysical Research, 93, C: 3563-3569.
- Thiede, J.; Suess, E. & Müller, P.J. (1982): Late Quaternary fluxes of major sediment components to the sea floor at the Northwest African Continental Slope.- In: von Rad, U. et al. (Hrsg.): Geology of the Northwest African Continental Margin. Springer-Verlag, Berlin: 605-631.
- Thiede, J. & Hempel, G. (1990): Polares Forschungs- und Versorgungsschiff POLARSTERN, Fahrtbericht Expedition Nr. 17 Fahrtabschnitt ARK VII/1 Bremerhaven-Oslo-Tromsø (8. Juni - 9. Juli 1990). Das westliche Europäische Nordmeer: Ein Schlüsselgebiet für Global Change. 156 S., Entwurf (9. Juli 1990).
- Thomson, J. (1991): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka - comment.- Marine Geology, 96: 131-133.
- Thomson, J.; Wallace, H.E.; Colley, S. & Toole, J. (1990): Authigenic uranium in Atlantic sediments of the last glacial stage - a diagenetic phenomenon.- Earth and Planetary Science Letters, 98: 222-232.
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust.- Geological Society of America Bulletin, 72: 175-192.
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope.- Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313, 23: 1-136.
- Walter, P. (1984): Zur Metallogene hydrothermal beeinflusster Sedimente an divergierenden ozeanischen Plattenrändern im Südostpazifik (Ostpazifischer Rücken 2° N bis 42° S und Galapagos Rift System).- unveröffentlichte Dissertation, Universität Heidelberg, 155 S..
- Werner, F. (1983): Report on cruise no. 100 b of R. V. "Poseidon", May 7 - 20, 1983 - sediments on the Norwegian Continental Margin near the Lofoten Islands.- Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum, Universität Kiel, Berichte-Reports, 1: 1-32.
- Windom, H.L. (1969): Atmospheric dust records in permanent snowfields: Implications to marine sedimentation.- Geological Society of America Bulletin, 80: 761-782.
- Wu, G. & Berger, W.H. (1991): Pleistocene  $\delta^{18}\text{O}$  records from Ontong-Java Plateau: Effects of winnowing and dissolution.- Marine Geology, 96: 193-209.

## Anhang

|              |  |  |
|--------------|--|--|
| Tabelle A-1  | Probenlokationen                         | Oberflächensedimente<br>Sedimentkerne  |
| Tabelle A-2  | Korngrößen                               | Oberflächensedimente<br>Station C (GIK 23294-3/4)  |
| Tabelle A-3  | Tonmineralogie                           | Oberflächensedimente<br>Station C (GIK 23294-3/4)<br>Station E (GIK 23059-2/3)                                   |
| Tabelle A-4  | CaCO <sub>3</sub> , C <sub>org</sub>     | Oberflächensedimente<br>Station C (GIK 23294-3/4)<br>Kastenlot GIK 23293-2/3                                     |
| Tabelle A-5  | Geochemie                                | Oberflächensedimente   |
| Tabelle A-6  | Geochemie                                | Station E (GIK 23059-2/3)<br>Station F (GIK 23065-2/3)   |
| Tabelle A-7  | Radionuklide                             | Oberflächensedimente   |
| Tabelle A-8  | Radionuklide                             | Station A (GIK 21295-4)  |
| Tabelle A-9  | Radionuklide, CaCO <sub>3</sub>          | Station B (GIK 17728-1/2)  |
| Tabelle A-10 | Radionuklide                             | Station C (GIK 23294-3/4)  |
| Tabelle A-11 | Radionuklide                             | Station D (GIK 23259-3)  |
| Tabelle A-12 | Radionuklide, CaCO <sub>3</sub>          | Station E (GIK 23059-2/3)  |
| Tabelle A-13 | Radionuklide, CaCO <sub>3</sub>          | Station F (GIK 23065-2/3)  |
| Tabelle A-14 | Radionuklide in einzelnen Kornfraktionen | Station E (GIK 23059-2/3)  |
| Tabelle A-15 | Korrelationstabelle                      | Oberflächensedimente   |
| Tabelle A-16 | Akkumulationsraten                       | Oberflächensedimente   |
| Tabelle A-17 | Sedimentalter                            | Station B (GIK 17728-1/2)<br>Station C (GIK 23294-3/4)<br>Station E (GIK 23059-2/3)<br>Station F (GIK 23065-2/3) |

Tabelle A-1 Probenlokationen

## Oberflächensedimente

| Probe | GIK-<br>Nummer | Fahrt  | geographische |        | Wasser-<br>tiefe [m] |      |
|-------|----------------|--------|---------------|--------|----------------------|------|
|       |                |        | Länge         | Breite |                      |      |
| 1     | 21703-1        | PS 13  | W 14°         | 21.6'  | N 79° 45.3'          | 76   |
| 2     | 21704-1        | PS 13  | E 1°          | 6.1'   | N 78° 23.6'          | 1195 |
| 3     | 17726-1        | ME 13  | E 3°          | 33.7'  | N 77° 29.9'          | 2895 |
| 4     | 17725-1        | ME 13  | E 4°          | 34.8'  | N 77° 27.6'          | 2577 |
| 5     | 21903-1        | PS 17  | W 5°          | 1.3'   | N 77° 16.6'          | 1182 |
| 6     | 21904-1        | PS 17  | W 3°          | 59.3'  | N 77° 5.1'           | 1795 |
| 7     | 21906-1        | PS 17  | W 2°          | 9.0'   | N 76° 50.5'          | 2990 |
| 8     | 17728-1        | ME 13  | E 3°          | 57.5'  | N 76° 31.2'          | 2473 |
| 9     | 21908-1        | PS 17  | W 1°          | 4.3'   | N 76° 19.3'          | 2497 |
| 10    | 21901-1        | PS 17  | W 3°          | 44.4'  | N 75° 56.6'          | 3588 |
| 11    | 21894-7        | PS 17  | W 8°          | 15.5'  | N 75° 48.8'          | 1992 |
| 12    | 21910-1        | PS 17  | E 1°          | 19.0'  | N 75° 37.0'          | 2448 |
| 13    | 21895-9        | PS 17  | W 7°          | 18.6'  | N 75° 24.8'          | 3358 |
| 14    | 17729-1        | ME 13  | E 0°          | 0.0'   | N 75° 0.0'           | 3770 |
| 15    | 21702-1        | PS 13  | W 9°          | 46.5'  | N 74° 59.9'          | 3227 |
| 16    | 23258-3        | ME 7   | E 13°         | 57.5'  | N 74° 59.8'          | 1773 |
| 17    | 21898-6        | PS 17  | W 4°          | 57.9'  | N 74° 59.1'          | 3595 |
| 18    | 23257-3        | ME 7   | E 11°         | 8.3'   | N 74° 52.8'          | 2482 |
| 19    | 21893-1        | PS 17  | W 10°         | 6.6'   | N 74° 52.1'          | 3245 |
| 20    | 21912-7        | PS 17  | E 2°          | 54.3'  | N 74° 34.5'          | 3727 |
| 21    | 21900-7        | PS 17  | W 2°          | 20.1'  | N 74° 31.7'          | 3538 |
| 22    | 21699-1        | PS 13  | W 15°         | 18.7'  | N 74° 25.6'          | 311  |
| 23    | 21701-1        | PS 13  | W 17°         | 32.3'  | N 74° 24.4'          | 236  |
| 24    | 23270-2        | ME 7   | W 0°          | 48.7'  | N 73° 10.0'          | 2755 |
| 25    | 23254-3        | ME 7   | E 9°          | 44.6'  | N 73° 3.3'           | 2266 |
| 26    | 21700-1        | PS 13  | W 17°         | 50.4'  | N 72° 39.9'          | 279  |
| 27    | 23293-2        | ME 7   | W 6°          | 35.5'  | N 72° 37.3'          | 2574 |
| 28    | 23287-1        | ME 7   | E 1°          | 42.8'  | N 72° 24.4'          | 2756 |
| 29    | 23291-1        | ME 7   | E 1°          | 30.8'  | N 72° 23.6'          | 3177 |
| 30    | 23289-2        | ME 7   | E 1°          | 48.0'  | N 72° 22.6'          | 3309 |
| 31    | 23294-3        | ME 7   | W 10°         | 35.7'  | N 72° 22.0'          | 2224 |
| 32    | 23260-1        | ME 7   | E 11°         | 27.1'  | N 72° 8.2'           | 2089 |
| 33    | 17730-2        | ME 13  | E 7°          | 23.3'  | N 72° 6.7'           | 2707 |
| 34    | 23279-1        | ME 7   | W 0°          | 13.3'  | N 72° 3.6'           | 3099 |
| 35    | 23277-1        | ME 7   | W 0°          | 36.9'  | N 72° 2.3'           | 2697 |
| 36    | 23259-3        | ME 7   | E 9°          | 15.9'  | N 72° 2.1'           | 2513 |
| 37    | 23267-2        | ME 7   | E 4°          | 59.2'  | N 72° 0.4'           | 2974 |
| 38    | 23266-1        | ME 7   | E 7°          | 29.3'  | N 71° 59.5'          | 2768 |
| 39    | 23344-4        | ME 7   | W 15°         | 34.8'  | N 71° 44.0'          | 1094 |
| 40    | 23269-2        | ME 7   | E 0°          | 39.8'  | N 71° 26.3'          | 2872 |
| 41    | 23346-3        | ME 7   | W 14°         | 4.2'   | N 71° 17.5'          | 1209 |
| 42    | 23264-3        | ME 7   | E 15°         | 50.0'  | N 71° 12.2'          | 1676 |
| 43    | 23295-4        | ME 7   | W 5°          | 52.3'  | N 71° 9.9'           | 1553 |
| 44    | 23341-2        | ME 7   | W 5°          | 33.2'  | N 70° 57.3'          | 1737 |
| 45    | 23353-2        | ME 7   | W 12°         | 43.7'  | N 70° 34.1'          | 1401 |
| 46    | 23347-4        | ME 7   | W 16°         | 4.6'   | N 70° 26.5'          | 1235 |
| 47    | 23351-4        | ME 7   | W 18°         | 21.1'  | N 70° 21.7'          | 1679 |
| 48    | 23354-4        | ME 7   | W 10°         | 37.6'  | N 70° 20.0'          | 1745 |
| 49    | 23059-2        | ME 2   | W 3°          | 7.0'   | N 70° 18.3'          | 2281 |
| 50    | 23297-1        | ME 7   | E 0°          | 4.8'   | N 70° 0.7'           | 3295 |
| 51    | 23352-2        | ME 7   | W 12°         | 25.5'  | N 70° 0.5'           | 1822 |
| 52    | 21842-5        | PS 17  | W 16°         | 33.0'  | N 69° 27.9'          | 982  |
| 53    | 23065-2        | ME 2   | E 0°          | 49.1'  | N 68° 29.7'          | 2802 |
| 54    | 23298-2        | ME 7   | E 1°          | 29.1'  | N 68° 19.5'          | 2755 |
| 55    | 23304-1        | ME 7   | E 6°          | 0.3'   | N 67° 46.9'          | 1303 |
| 56    | 23303-1        | ME 7   | E 5°          | 47.5'  | N 67° 39.4'          | 1427 |
| 57    | 23301-2        | ME 7   | E 7°          | 45.5'  | N 67° 0.4'           | 981  |
| 58    | 16331-1        | PO 100 | E 7°          | 40.9'  | N 67° 0.0'           | 1059 |
| 59    | 23009          | PO 119 | E 7°          | 47.8'  | N 66° 58.6'          | 940  |
| 60    | 16340-1        | PO 128 | E 7°          | 30.4'  | N 66° 56.4'          | 1064 |
| 61    | 16339-1        | PO 128 | E 7°          | 26.6'  | N 66° 55.3'          | 1055 |
| 62    | 16059-1        | PO 141 | E 7°          | 53.8'  | N 66° 52.3'          | 789  |
| 63    | 23359-2        | ME 7   | W 4°          | 9.0'   | N 65° 31.8'          | 2821 |

## Sedimentkerne

| Station | GIK-<br>Nummer | Fahrt | geographische |        | Wasser-<br>tiefe [m] | Gerät             | Eindringtiefe [cm]/<br>Kerngewinn [cm] |     |
|---------|----------------|-------|---------------|--------|----------------------|-------------------|--|-----|
|         |                |       | Länge         | Breite |                      |                   |  |     |
| A       | 21295-4        | PS 7  | E 2°          | 25.2'  | N 77° 59.5'          | Großkastengreifer | 43                                     | 43  |
| B       | 17728-2        | ME 13 | E 3°          | 57.5'  | N 76° 31.2'          | Kastenlot         | 685                                    | 623 |
| C       | 23294-4        | ME 7  | W 10°         | 34.4'  | N 72° 22.5'          | Kastenlot         | 950                                    | 833 |
| D       | 23259-2        | ME 7  | E 9°          | 15.9'  | N 72° 1.8'           | Kolbenlot         | 1475                                   | 722 |
| E       | 23059-3        | ME 2  | W 3°          | 7.4'   | N 70° 18.3'          | Kastenlot         | 705                                    | 622 |
| F       | 23065-1        | ME 2  | E 0°          | 49.1'  | N 68° 29.7'          | Kastenlot         | 785                                    | 785 |

Tabelle A-2 Korngrößen

Oberflächensedimente

| Probe | GIK-<br>Nummer | Ton<br>[-----<br>Gew% -----] | Silt<br>Gew% | Sand<br>Gew% |
|-------|----------------|------------------------------|--------------|--------------|
| 1     | 21703-1        | 42.3                         | 15.5         | 42.2         |
| 2     | 21704-1        | 13.9                         | 27.7         | 58.4         |
| 15    | 21702-1        | 20.5                         | 47.2         | 32.3         |
| 16    | 23258-3        | 43.9                         | 53.1         | 3.0          |
| 18    | 23257-3        | 37.3                         | 47.0         | 15.7         |
| 23    | 21701-1        | 18.0                         | 46.9         | 35.1         |
| 24    | 23270-2        | 33.8                         | 47.8         | 18.4         |
| 25    | 23254-3        | 34.7                         | 48.0         | 17.3         |
| 26    | 21700-1        | 13.9                         | 36.6         | 49.5         |
| 27    | 23293-2        | 41.3                         | 49.2         | 9.5          |
| 30    | 23289-2        | 41.0                         | 49.3         | 9.7          |
| 31    | 23294-3        | 42.2                         | 53.0         | 4.8          |
| 32    | 23260-1        | 30.3                         | 58.4         | 11.4         |
| 35    | 23277-1        | 30.5                         | 46.7         | 22.8         |
| 37    | 23267-2        | 35.8                         | 51.1         | 13.1         |
| 38    | 23266-1        | 33.4                         | 59.4         | 7.3          |
| 39    | 23344-4        | 27.3                         | 46.4         | 26.3         |
| 40    | 23269-2        | 34.4                         | 55.8         | 9.8          |
| 41    | 23346-3        | 25.5                         | 48.2         | 26.3         |
| 42    | 23264-3        | 50.0                         | 29.2         | 20.8         |
| 47    | 23351-4        | 35.4                         | 54.2         | 10.4         |
| 50    | 23297-1        | 40.7                         | 48.1         | 11.2         |
| 51    | 23352-2        | 25.6                         | 44.0         | 30.4         |
| 54    | 23298-2        | 22.3                         | 46.6         | 31.1         |
| 56    | 23303-1        | 21.8                         | 31.2         | 47.0         |
| 57    | 23301-2        | 15.8                         | 44.6         | 39.6         |
| 63    | 23359-2        | 18.0                         | 34.0         | 48.0         |

Station C (GIK 23294-3/4)

| Tiefe | Ton<br>[-----<br>Gew% -----] | Silt<br>Gew% | Sand<br>Gew% |
|-------|------------------------------|--------------|--------------|
| 1     | 42.4                         | 54.9         | 2.7          |
| 10    | 46.6                         | 51.7         | 1.6          |
| 20    | 47.7                         | 50.4         | 1.8          |
| 30    | 49.7                         | 49.1         | 1.3          |
| 40    | 53.1                         | 46.0         | 0.9          |
| 90    | 49.5                         | 49.9         | 0.6          |
| 100   | 66.5                         | 32.0         | 1.5          |
| 110   | 60.5                         | 35.5         | 4.0          |
| 130   | 53.7                         | 44.7         | 1.6          |
| 140   | 59.9                         | 35.7         | 4.4          |
| 150   | 57.7                         | 39.9         | 2.4          |
| 160   | 46.8                         | 37.0         | 16.2         |
| 170   | 57.4                         | 42.0         | 0.6          |
| 180   | 67.1                         | 32.7         | 0.2          |
| 190   | 55.1                         | 44.6         | 0.2          |
| 200   | 59.3                         | 38.2         | 2.5          |
| 210   | 59.9                         | 34.7         | 5.5          |
| 220   | 64.4                         | 35.3         | 0.3          |
| 230   | 52.0                         | 36.8         | 11.2         |
| 260   | 55.8                         | 39.9         | 4.3          |
| 270   | 63.0                         | 36.9         | 0.1          |
| 280   | 50.4                         | 38.3         | 11.3         |
| 290   | 55.6                         | 34.3         | 10.1         |
| 300   | 49.8                         | 37.4         | 12.7         |
| 310   | 65.7                         | 34.1         | 0.2          |
| 320   | 57.9                         | 38.5         | 3.6          |
| 330   | 56.0                         | 37.8         | 6.2          |
| 340   | 49.5                         | 37.5         | 13.0         |
| 350   | 56.2                         | 38.4         | 5.4          |
| 360   | 48.9                         | 50.2         | 0.9          |
| 370   | 54.7                         | 43.7         | 1.6          |
| 380   | 56.6                         | 43.1         | 0.4          |
| 390   | 55.2                         | 42.6         | 2.2          |
| 410   | 58.7                         | 39.8         | 1.4          |
| 430   | 60.7                         | 35.8         | 3.4          |
| 440   | 57.1                         | 38.4         | 4.5          |
| 450   | 52.9                         | 46.9         | 0.1          |
| 460   | 59.7                         | 33.7         | 6.5          |
| 470   | 49.3                         | 39.2         | 11.4         |
| 480   | 48.7                         | 41.7         | 9.6          |
| 490   | 55.0                         | 42.9         | 2.0          |
| 500   | 50.0                         | 47.7         | 2.3          |
| 510   | 57.1                         | 42.2         | 0.7          |
| 520   | 52.9                         | 43.4         | 3.7          |
| 530   | 52.5                         | 42.1         | 5.4          |
| 540   | 54.1                         | 35.2         | 10.7         |
| 550   | 71.3                         | 28.7         | 0.0          |
| 560   | 49.7                         | 40.4         | 9.9          |
| 570   | 54.8                         | 42.9         | 2.3          |
| 580   | 57.8                         | 40.6         | 1.6          |
| 590   | 54.3                         | 44.6         | 1.1          |
| 600   | 64.9                         | 34.8         | 0.3          |
| 610   | 53.5                         | 41.2         | 5.3          |
| 620   | 51.0                         | 45.2         | 3.7          |
| 630   | 54.4                         | 41.5         | 4.1          |
| 640   | 65.4                         | 34.4         | 0.2          |
| 650   | 59.6                         | 40.3         | 0.1          |
| 660   | 59.5                         | 38.0         | 2.5          |
| 670   | 58.2                         | 41.3         | 0.4          |

Tabelle A-3 Tonmineralogie

Oberflächensedimente

| Probe | GIK-<br>Nummer | Mont. Illit<br>[ --- % der Tonfraktion --- ] | Kaol. | Chlor. |    |
|-------|----------------|--|-------|--------|----|
| 1     | 21703-1        | 18   | 45    | 24     | 13 |
| 2     | 21704-1        | 23   | 39    | 26     | 13 |
| 15    | 21702-1        | 24   | 42    | 23     | 11 |
| 16    | 23258-3        | 26   | 41    | 22     | 11 |
| 18    | 23257-3        | 25   | 41    | 23     | 10 |
| 23    | 21701-1        | 23   | 39    | 29     | 9  |
| 24    | 23270-2        | 23   | 43    | 21     | 13 |
| 25    | 23254-3        | 25   | 43    | 22     | 10 |
| 26    | 21700-1        | 19   | 48    | 20     | 12 |
| 27    | 23293-2        | 22   | 42    | 22     | 14 |
| 30    | 23289-2        | 25   | 40    | 24     | 11 |
| 31    | 23294-3        | 21   | 44    | 21     | 14 |
| 32    | 23260-1        | 25   | 42    | 22     | 10 |
| 35    | 23277-1        | 22   | 43    | 21     | 14 |
| 36    | 23259-3        | 25   | 43    | 22     | 11 |
| 37    | 23267-2        | 24   | 43    | 21     | 13 |
| 38    | 23266-1        | 25   | 41    | 23     | 11 |
| 39    | 23344-4        | 22   | 44    | 22     | 13 |
| 40    | 23269-2        | 26   | 42    | 21     | 11 |
| 41    | 23346-3        | 24   | 43    | 21     | 12 |
| 42    | 23264-3        | 24   | 41    | 24     | 10 |
| 47    | 23351-4        | 22   | 42    | 22     | 14 |
| 48    | 23354-4        | 24   | 47    | 26     | 4  |
| 50    | 23297-1        | 22   | 46    | 22     | 10 |
| 51    | 23352-2        | 21   | 46    | 24     | 9  |
| 54    | 23298-2        | 31   | 36    | 23     | 9  |
| 56    | 23303-1        | 30   | 36    | 25     | 9  |
| 57    | 23301-2        | 31   | 36    | 24     | 10 |
| 63    | 23359-2        | 26   | 43    | 27     | 5  |

Station C (GIK 23294-3/4)

| Tiefe | Mont. Illit<br>[ --- % der Tonfraktion --- ] | Kaol. | Chlor. |    |
|-------|--|-------|--------|----|
| 1     | 20   | 46    | 21     | 13 |
| 10    | 20   | 43    | 24     | 12 |
| 20    | 20   | 45    | 21     | 14 |
| 30    | 19   | 45    | 23     | 13 |
| 40    | 19   | 46    | 22     | 14 |
| 90    | 17   | 48    | 25     | 11 |
| 100   | 14   | 50    | 25     | 11 |
| 110   | 14   | 56    | 21     | 10 |
| 120   | 16   | 53    | 19     | 12 |
| 130   | 15   | 51    | 23     | 11 |
| 140   | 14   | 54    | 21     | 11 |
| 150   | 10   | 54    | 24     | 12 |
| 160   | 9  | 53    | 25     | 12 |
| 170   | 15   | 52    | 20     | 12 |
| 180   | 6  | 71    | 12     | 11 |
| 190   | 10   | 60    | 19     | 11 |
| 200   | 12   | 55    | 20     | 12 |
| 210   | 14   | 52    | 22     | 12 |
| 220   | 9  | 66    | 13     | 12 |
| 230   | 22   | 46    | 20     | 12 |
| 260   | 17   | 50    | 22     | 11 |
| 270   | 8  | 69    | 12     | 11 |
| 280   | 20   | 47    | 21     | 12 |
| 290   | 18   | 48    | 21     | 13 |
| 300   | 15   | 52    | 21     | 12 |
| 310   | 8  | 57    | 24     | 11 |
| 320   | 20   | 47    | 23     | 11 |
| 330   | 19   | 48    | 22     | 11 |
| 340   | 18   | 47    | 24     | 11 |
| 350   | 17   | 47    | 23     | 13 |
| 360   | 19   | 47    | 19     | 14 |
| 370   | 17   | 46    | 23     | 13 |
| 380   | 20   | 47    | 21     | 11 |
| 390   | 19   | 48    | 20     | 13 |
| 410   | 20   | 39    | 31     | 11 |
| 430   | 16   | 43    | 28     | 13 |
| 440   | 17   | 45    | 25     | 12 |
| 450   | 19   | 46    | 23     | 11 |
| 460   | 23   | 41    | 25     | 11 |
| 470   | 22   | 42    | 22     | 13 |
| 480   | 23   | 44    | 22     | 11 |
| 490   | 18   | 49    | 22     | 11 |
| 500   | 18   | 48    | 23     | 12 |
| 510   | 9  | 55    | 26     | 11 |
| 520   | 20   | 46    | 22     | 12 |
| 530   | 13   | 50    | 24     | 13 |
| 540   | 12   | 47    | 28     | 13 |
| 550   | 17   | 43    | 29     | 10 |
| 560   | 9  | 52    | 26     | 13 |
| 570   | 15   | 51    | 23     | 12 |
| 580   | 14   | 50    | 23     | 13 |
| 590   | 14   | 51    | 23     | 12 |
| 600   | 8  | 52    | 26     | 14 |
| 610   | 19   | 47    | 22     | 12 |
| 620   | 22   | 42    | 23     | 13 |
| 630   | 16   | 50    | 21     | 12 |
| 640   | 20   | 44    | 25     | 11 |
| 650   | 19   | 45    | 26     | 10 |
| 660   | 20   | 48    | 23     | 9  |
| 670   | 11   | 63    | 16     | 10 |

Station E (GIK 23059-3)

| Tiefe | Mont. Illit<br>[ --- % der Tonfraktion --- ] | Kaol. | Chlor. |    |
|-------|--|-------|--------|----|
| 50    | 13   | 53    | 23     | 11 |
| 65    | 25   | 45    | 19     | 12 |
| 90    | 26   | 42    | 21     | 11 |
| 131   | 32   | 36    | 22     | 11 |
| 149   | 29   | 41    | 19     | 11 |
| 180   | 27   | 43    | 19     | 11 |
| 187   | 25   | 41    | 21     | 13 |
| 192   | 26   | 41    | 22     | 12 |
| 197   | 29   | 40    | 20     | 12 |
| 202   | 28   | 38    | 23     | 11 |
| 207   | 30   | 35    | 25     | 10 |
| 215   | 23   | 39    | 28     | 10 |
| 217   | 23   | 42    | 27     | 9  |
| 220   | 23   | 41    | 27     | 9  |
| 222   | 22   | 31    | 36     | 11 |
| 231   | 14   | 37    | 36     | 13 |
| 290   | 20   | 42    | 27     | 11 |
| 390   | 29   | 40    | 20     | 10 |
| 445   | 20   | 47    | 23     | 10 |
| 490   | 29   | 41    | 19     | 11 |
| 570   | 35   | 21    | 36     | 9  |

Tabelle A-4 CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>

| Oberflächensedimente |                |                                   |                                  | GIK 23293-2/3 |                                   |                                  | ----- Station C (GIK 23294-3/4) ----- |                                   |                                  |       |                                   |                                  |
|----------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Probe                | GIK-<br>Nummer | CaCO <sub>3</sub><br>[-- Gew% --] | C <sub>org</sub><br>[-- Gew% --] | Tiefe<br>[cm] | CaCO <sub>3</sub><br>[-- Gew% --] | C <sub>org</sub><br>[-- Gew% --] | Tiefe<br>[cm]                         | CaCO <sub>3</sub><br>[-- Gew% --] | C <sub>org</sub><br>[-- Gew% --] | Tiefe | CaCO <sub>3</sub><br>[-- Gew% --] | C <sub>org</sub><br>[-- Gew% --] |
| 1                    | 21703-1        | 2.80                              | 0.18                             | 20            | 7.00                              | 0.49                             | 1                                     | 13.73                             | 0.73                             | 580   | 7.09                              | 0.39                             |
| 2                    | 21704-1        | 5.97                              | 0.52                             | 30            | 1.94                              | 0.34                             | 10                                    | 7.40                              | 0.63                             | 590   | 5.92                              | 0.38                             |
| 3                    | 17726-1        | 19.12                             |                                  | 40            | 3.84                              | 0.31                             | 20                                    | 5.87                              | 0.56                             | 600   | 4.83                              | 0.40                             |
| 4                    | 17725-1        | 27.25                             |                                  | 50            | 12.37                             | 0.26                             | 30                                    | 9.46                              | 0.51                             | 610   | 7.86                              | 0.43                             |
| 5                    | 21903-1        | 8.54                              |                                  | 60            | 10.16                             | 0.24                             | 40                                    | 9.09                              | 0.49                             | 620   | 4.88                              | 0.40                             |
| 6                    | 21904-1        | 8.28                              |                                  | 70            | 6.86                              | 0.15                             | 50                                    | 1.48                              | 0.50                             | 630   | 6.36                              | 0.32                             |
| 7                    | 21906-1        | 24.00                             |                                  | 80            | 4.26                              | 0.18                             | 60                                    | 1.73                              | 0.43                             | 640   | 2.63                              | 0.39                             |
| 8                    | 17728-1        | 40.91                             |                                  | 90            | 3.93                              | 0.24                             | 70                                    | 1.01                              | 0.43                             | 650   | 3.64                              | 0.29                             |
| 9                    | 21908-1        | 27.54                             |                                  | 100           | 6.83                              | 0.24                             | 80                                    | 1.06                              | 0.47                             | 660   | 4.72                              | 0.29                             |
| 10                   | 21901-1        | 29.28                             |                                  | 110           | 5.52                              | 0.25                             | 90                                    | 4.56                              | 0.39                             | 670   | 5.31                              | 0.24                             |
| 11                   | 21894-7        | 9.25                              |                                  | 120           | 6.13                              | 0.29                             | 100                                   | 5.50                              | 0.55                             | 680   | 4.66                              | 0.26                             |
| 12                   | 21910-1        | 21.59                             |                                  | 130           | 6.83                              | 0.26                             | 110                                   | 6.84                              | 0.36                             | 690   | 1.57                              | 0.33                             |
| 13                   | 21895-9        | 26.77                             |                                  | 140           | 3.35                              | 0.38                             | 120                                   | 8.55                              | 0.31                             | 700   | 3.20                              | 0.76                             |
| 14                   | 17729-1        | 7.92                              |                                  | 150           | 19.74                             | 0.52                             | 130                                   | 5.61                              | 0.29                             | 710   | 2.23                              | 1.09                             |
| 15                   | 21702-1        | 25.90                             | 0.46                             | 160           | 4.24                              | 0.12                             | 140                                   | 6.93                              | 0.34                             | 720   | 2.07                              | 1.10                             |
| 16                   | 23258-3        | 30.38                             | 0.72                             | 170           | 8.77                              | 0.20                             | 150                                   | 5.01                              | 0.48                             | 730   | 8.00                              | 0.38                             |
| 17                   | 21898-6        | 21.23                             |                                  | 180           | 12.90                             | 0.27                             | 160                                   | 2.99                              | 0.73                             | 740   | 5.67                              | 0.33                             |
| 18                   | 23257-3        | 38.85                             | 0.66                             | 190           | 9.45                              | 0.31                             | 170                                   | 7.45                              | 0.41                             | 750   | 9.51                              | 0.47                             |
| 19                   | 21893-1        | 18.33                             |                                  | 200           | 7.30                              | 0.28                             | 180                                   | 8.00                              | 0.24                             | 760   | 10.63                             | 0.34                             |
| 20                   | 21912-7        | 22.31                             |                                  | 210           | 8.57                              | 0.33                             | 190                                   | 6.03                              | 0.31                             | 770   | 11.97                             | 0.34                             |
| 21                   | 21900-7        | 16.52                             |                                  | 220           | 8.16                              | 0.30                             | 200                                   | 7.26                              | 0.32                             | 780   | 7.25                              | 0.36                             |
| 22                   | 21699-1        | 2.57                              | 0.46                             | 230           | 11.36                             | 0.33                             | 210                                   | 7.71                              | 0.30                             | 790   | 5.06                              | 0.27                             |
| 23                   | 21701-1        | 2.42                              | 0.58                             | 240           | 6.74                              | 0.19                             | 220                                   | 5.14                              | 0.26                             | 800   | 5.65                              | 0.29                             |
| 24                   | 23270-2        | 22.46                             | 0.65                             | 250           | 6.43                              | 0.24                             | 230                                   | 6.14                              | 0.24                             | 810   | 4.26                              | 0.34                             |
| 25                   | 23254-3        | 41.21                             | 0.80                             | 260           | 10.75                             | 0.25                             | 240                                   | 4.89                              | 0.22                             |       |                                   |                                  |
| 26                   | 21700-1        | 2.11                              | 0.37                             | 270           | 0.95                              | 0.23                             | 250                                   | 4.31                              | 0.35                             |       |                                   |                                  |
| 27                   | 23293-2        | 16.62                             | 0.77                             | 280           | 9.09                              | 0.24                             | 260                                   | 5.31                              | 0.35                             |       |                                   |                                  |
| 29                   | 23291-1        | 32.68                             | 0.76                             | 290           | 8.63                              | 0.31                             | 270                                   | 6.28                              | 0.26                             |       |                                   |                                  |
| 30                   | 23289-2        | 37.41                             | 0.73                             | 300           | 6.43                              | 0.22                             | 280                                   | 4.58                              | 0.37                             |       |                                   |                                  |
| 31                   | 23294-3        | 13.73                             | 0.73                             | 310           | 3.88                              | 0.18                             | 290                                   | 6.11                              | 0.35                             |       |                                   |                                  |
| 32                   | 23260-1        | 36.46                             | 0.59                             | 320           | 6.37                              | 0.21                             | 300                                   | 4.72                              | 0.32                             |       |                                   |                                  |
| 33                   | 17730-2        | 35.82                             |                                  | 330           | 3.76                              | 0.20                             | 310                                   | 2.71                              | 0.52                             |       |                                   |                                  |
| 34                   | 23279-1        | 24.68                             | 0.78                             | 340           | 6.23                              | 0.20                             | 320                                   | 5.66                              | 0.40                             |       |                                   |                                  |
| 35                   | 23277-1        | 31.39                             | 0.69                             | 350           | 1.69                              | 0.22                             | 330                                   | 6.01                              | 0.36                             |       |                                   |                                  |
| 36                   | 23259-3        | 38.09                             | 0.95                             | 360           | 1.29                              | 0.21                             | 340                                   | 6.68                              | 0.31                             |       |                                   |                                  |
| 37                   | 23267-2        | 46.07                             | 0.64                             | 370           | 0.24                              | 0.38                             | 350                                   | 4.55                              | 0.42                             |       |                                   |                                  |
| 38                   | 23266-1        | 42.44                             | 0.81                             | 380           | 1.14                              | 0.22                             | 360                                   | 2.58                              | 0.37                             |       |                                   |                                  |
| 39                   | 23344-4        | 7.08                              | 0.51                             | 390           | 2.07                              | 0.22                             | 370                                   | 1.88                              | 0.42                             |       |                                   |                                  |
| 40                   | 23269-2        | 40.79                             | 0.80                             | 400           | 5.29                              | 0.24                             | 380                                   | 4.11                              | 0.34                             |       |                                   |                                  |
| 41                   | 23346-3        | 3.04                              | 0.59                             | 410           | 3.57                              | 0.24                             | 390                                   | 1.56                              | 0.47                             |       |                                   |                                  |
| 42                   | 23264-3        | 22.78                             | 0.63                             | 420           | 2.49                              | 0.26                             | 400                                   | 0.42                              | 0.68                             |       |                                   |                                  |
| 43                   | 23295-4        | 8.11                              | 0.29                             | 430           | 3.58                              | 0.25                             | 410                                   | 1.22                              | 0.75                             |       |                                   |                                  |
| 44                   | 23341-2        | 31.42                             | 0.42                             | 440           | 4.11                              | 0.22                             | 420                                   | 2.08                              | 0.65                             |       |                                   |                                  |
| 45                   | 23353-2        | 10.96                             | 0.54                             | 450           | 6.33                              | 0.30                             | 430                                   | 6.70                              | 0.64                             |       |                                   |                                  |
| 46                   | 23347-4        | 8.06                              | 0.51                             | 460           | 5.80                              | 0.27                             | 440                                   | 6.74                              | 0.33                             |       |                                   |                                  |
| 47                   | 23351-4        | 4.69                              | 0.52                             | 470           | 4.07                              | 0.19                             | 450                                   | 3.92                              | 0.32                             |       |                                   |                                  |
| 48                   | 23354-4        | 30.63                             | 0.52                             | 480           | 9.96                              | 0.13                             | 460                                   | 5.66                              | 0.52                             |       |                                   |                                  |
| 50                   | 23297-1        | 46.15                             | 0.71                             | 490           | 8.25                              | 0.24                             | 470                                   | 8.81                              | 0.47                             |       |                                   |                                  |
| 51                   | 23352-2        | 47.90                             | 0.45                             | 500           | 2.66                              | 0.30                             | 480                                   | 11.99                             | 0.30                             |       |                                   |                                  |
| 52                   | 21842-5        | 7.90                              |                                  | 510           | 8.18                              | 0.24                             | 490                                   | 6.69                              | 0.34                             |       |                                   |                                  |
| 54                   | 23298-2        | 55.08                             | 0.69                             | 520           | 6.41                              | 0.29                             | 500                                   | 4.48                              | 0.37                             |       |                                   |                                  |
| 55                   | 23304-1        | 35.40                             | 0.87                             | 530           | 1.07                              | 0.32                             | 510                                   | 1.14                              | 0.55                             |       |                                   |                                  |
| 56                   | 23303-1        | 34.47                             | 0.49                             | 540           | 1.31                              | 0.27                             | 520                                   | 7.88                              | 0.53                             |       |                                   |                                  |
| 57                   | 23301-2        | 20.87                             | 0.44                             | 550           | 0.88                              | 0.33                             | 530                                   | 6.89                              | 0.47                             |       |                                   |                                  |
| 63                   | 23359-2        | 61.16                             | 0.50                             | 560           | 0.89                              | 0.25                             | 550                                   | 0.73                              | 0.49                             |       |                                   |                                  |
|                      |                |                                   |                                  | 570           | 0.36                              | 0.36                             | 560                                   | 5.69                              | 0.39                             |       |                                   |                                  |
|                      |                |                                   |                                  | 580           | 0.39                              | 0.45                             | 570                                   | 4.76                              | 0.39                             |       |                                   |                                  |

# Tabelle A-5 Geochemie

## Oberflächensedimente

| Probe              | GIK-Nummer | Fe   | Mn   | Ti   | Ca    | K    | Si    | Al   | Mg   | Pb                | Ba  | Nb | Zr  | Y  | Sr  | Rb  | Ga | As | Zn  | Ni  | Co | Cu | V   | Cr |  |
|--------------------|------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------------------|-----|----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|--|
| [----- Gew% -----] |            |      |      |      |       |      |       |      |      | [----- ppm -----] |     |    |     |    |     |     |    |    |     |     |    |    |     |    |  |
| 1                  | 21703-1    | 1.59 | 0.02 | 0.25 | 1.27  | 1.54 | 39.24 | 3.47 | 0.80 | 13                | 324 | 8  | 291 | 14 | 107 | 43  | 5  | 10 | 28  | 11  | 11 | 0  |     |    |  |
| 3                  | 17726-1    | 2.97 | 0.14 | 0.28 | 14.05 | 0.53 | 17.47 | 5.07 | 1.11 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 67  | 25  |    |    | 98  | 36 |  |
| 4                  | 17725-1    | 2.79 | 0.13 | 0.27 | 14.28 | 0.42 | 17.58 | 4.71 | 1.09 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 56  | 30  |    |    | 94  | 39 |  |
| 5                  | 21903-1    | 3.12 | 0.11 | 0.33 | 4.94  | 1.67 | 28.88 | 5.64 | 1.36 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 29  | 29  |    |    | 93  | 54 |  |
| 6                  | 21904-1    | 2.53 | 0.10 | 0.28 | 4.37  | 1.59 | 29.83 | 5.17 | 0.89 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 23  | 20  |    |    | 88  | 42 |  |
| 7                  | 21906-1    | 2.22 | 0.09 | 0.26 | 11.17 | 0.87 | 23.31 | 4.66 | 0.90 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 47  | 14  |    |    | 69  | 30 |  |
| 8                  | 17728-1    | 1.73 | 0.10 | 0.17 | 21.42 | 0.26 | 13.70 | 3.33 | 0.75 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 38  | 21  |    |    | 58  | 21 |  |
| 9                  | 21908-1    | 2.89 | 0.13 | 0.30 | 12.09 | 0.81 | 19.38 | 5.20 | 1.07 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 55  | 27  |    |    | 92  | 40 |  |
| 10                 | 21901-1    | 2.69 | 0.11 | 0.28 | 13.51 | 0.66 | 18.79 | 4.96 | 1.01 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 52  | 27  |    |    | 88  | 38 |  |
| 11                 | 21894-7    | 2.79 | 0.10 | 0.31 | 4.92  | 1.70 | 27.40 | 5.83 | 1.07 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 19  | 26  |    |    | 93  | 44 |  |
| 12                 | 21910-1    | 3.08 | 0.13 | 0.30 | 10.16 | 0.95 | 21.04 | 5.64 | 1.09 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 54  | 28  |    |    | 102 | 37 |  |
| 13                 | 21895-9    | 2.52 | 0.09 | 0.28 | 12.49 | 0.80 | 21.27 | 4.96 | 0.95 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 44  | 18  |    |    | 77  | 37 |  |
| 14                 | 17729-1    | 2.45 | 0.11 | 0.31 | 4.35  | 1.60 | 29.23 | 5.49 | 0.95 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 21  | 25  |    |    | 72  | 49 |  |
| 15                 | 21702-1    | 2.84 | 0.11 | 0.32 | 10.31 | 1.48 | 22.73 | 5.55 | 0.86 | 17                | 409 | 10 | 192 | 19 | 443 | 69  | 11 | 18 | 63  | 25  | 15 | 8  |     |    |  |
| 16                 | 23258-3    | 3.84 | 0.28 | 0.41 | 11.59 | 1.30 | 18.59 | 5.77 | 1.47 | 21                | 305 | 10 | 119 | 19 | 462 | 64  | 10 | 14 | 64  | 34  | 17 | 4  |     |    |  |
| 17                 | 21898-6    | 3.19 | 0.13 | 0.32 | 10.26 | 0.85 | 21.35 | 5.91 | 1.17 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 45  | 25  |    |    | 94  | 43 |  |
| 18                 | 23257-3    | 3.11 | 0.15 | 0.32 | 15.04 | 0.96 | 17.09 | 5.00 | 1.12 | 7                 | 126 | 4  | 34  | 5  | 182 | 16  | 3  | 7  | 27  | 3   | 11 | 0  |     |    |  |
| 19                 | 21893-1    | 2.99 | 0.11 | 0.33 | 8.85  | 1.04 | 22.90 | 5.83 | 1.12 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 29  | 24  |    |    | 96  | 40 |  |
| 20                 | 21912-7    | 3.49 | 0.16 | 0.34 | 10.46 | 0.86 | 19.02 | 5.89 | 1.31 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 57  | 36  |    |    | 111 | 54 |  |
| 21                 | 21900-7    | 3.83 | 0.17 | 0.38 | 8.54  | 1.17 | 22.27 | 6.74 | 1.40 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 36  | 38  |    |    | 128 | 56 |  |
| 22                 | 21699-1    | 4.34 | 0.19 | 0.43 | 9.15  | 1.30 | 19.59 | 6.81 | 1.53 | 22                | 590 | 10 | 216 | 20 | 184 | 76  | 12 | 17 | 58  | 24  | 16 | 0  |     |    |  |
| 23                 | 21701-1    | 4.11 | 0.05 | 0.49 | 1.31  | 2.05 | 31.43 | 6.80 | 1.29 | 17                | 458 | 13 | 254 | 24 | 164 | 82  | 14 | 21 | 71  | 26  | 16 | 8  |     |    |  |
| 24                 | 23270-2    | 4.63 | 0.19 | 0.38 | 8.81  | 1.61 | 20.95 | 6.63 | 1.34 | 20                | 327 | 10 | 133 | 19 | 366 | 74  | 12 | 20 | 71  | 30  | 20 | 8  |     |    |  |
| 25                 | 23254-3    | 3.44 | 0.19 | 0.37 | 16.47 | 0.84 | 15.25 | 5.00 | 1.28 | 21                | 364 | 10 | 107 | 18 | 691 | 64  | 10 | 14 | 68  | 34  | 17 | 16 |     |    |  |
| 26                 | 21700-1    | 2.83 | 0.07 | 0.35 | 1.23  | 1.79 | 34.77 | 5.41 | 1.07 | 16                | 382 | 11 | 234 | 22 | 142 | 66  | 10 | 13 | 51  | 18  | 12 | 0  |     |    |  |
| 27                 | 23293-2    | 4.35 | 0.19 | 0.42 | 6.50  | 1.87 | 23.07 | 7.29 | 1.28 | 23                | 500 | 12 | 168 | 24 | 370 | 94  | 15 | 20 | 87  | 39  | 23 | 19 |     |    |  |
| 28                 | 23287-1    | 5.27 | 0.22 | 0.47 | 5.59  | 2.44 | 27.72 | 8.05 | 1.76 | 24                | 479 | 13 | 198 | 30 | 227 | 108 | 15 | 31 | 100 | 58  | 52 | 47 |     |    |  |
| 29                 | 23291-1    | 3.82 | 0.19 | 0.37 | 12.99 | 1.11 | 17.88 | 5.85 | 1.33 | 21                | 431 | 11 | 129 | 20 | 602 | 75  | 12 | 18 | 77  | 40  | 20 | 26 |     |    |  |
| 30                 | 23289-2    | 3.72 | 0.19 | 0.35 | 14.40 | 0.80 | 15.96 | 5.45 | 1.25 | 25                | 271 | 9  | 94  | 16 | 563 | 59  | 10 | 19 | 67  | 29  | 20 | 17 |     |    |  |
| 31                 | 23294-3    | 4.54 | 0.19 | 0.43 | 4.88  | 2.15 | 23.62 | 7.54 | 1.42 | 25                | 463 | 12 | 168 | 24 | 315 | 94  | 15 | 24 | 101 | 38  | 22 | 16 |     |    |  |
| 32                 | 23260-1    | 3.48 | 0.17 | 0.39 | 14.52 | 1.19 | 17.83 | 5.34 | 1.39 | 20                | 488 | 11 | 144 | 22 | 658 | 71  | 11 | 16 | 68  | 36  | 38 | 17 |     |    |  |
| 33                 | 17730-2    | 3.51 | 0.17 | 0.37 | 16.75 | 0.46 | 14.82 | 5.02 | 1.39 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 82  | 37  |    |    | 99  | 45 |  |
| 34                 | 23279-1    | 4.34 | 0.20 | 0.41 | 9.84  | 1.61 | 19.57 | 6.61 | 1.28 | 21                | 360 | 11 | 128 | 19 | 457 | 76  | 13 | 16 | 84  | 35  | 22 | 22 |     |    |  |
| 35                 | 23277-1    | 3.80 | 0.16 | 0.37 | 12.81 | 1.15 | 18.62 | 5.83 | 1.33 | 6                 | 133 | 5  | 37  | 5  | 164 | 18  | 3  | 30 | 6   | 120 | 9  |    |     |    |  |
| 36                 | 23259-3    | 3.55 | 0.19 | 0.39 | 15.22 | 1.05 | 16.15 | 5.21 | 1.39 | 26                | 275 | 9  | 97  | 16 | 581 | 57  | 10 | 10 | 61  | 28  | 23 | 8  |     |    |  |
| 37                 | 23267-2    | 3.29 | 0.17 | 0.36 | 17.91 | 0.76 | 14.08 | 4.72 | 1.16 | 17                | 260 | 9  | 86  | 15 | 636 | 51  | 8  | 9  | 60  | 25  | 16 | 4  |     |    |  |
| 38                 | 23266-1    | 3.50 | 0.19 | 0.38 | 16.77 | 0.85 | 14.99 | 4.99 | 1.30 | 25                | 322 | 10 | 101 | 18 | 715 | 63  | 10 | 13 | 67  | 33  | 16 | 16 |     |    |  |
| 39                 | 23344-4    | 4.23 | 0.15 | 0.46 | 2.66  | 2.22 | 28.60 | 7.24 | 1.43 | 19                | 626 | 13 | 225 | 25 | 231 | 89  | 15 | 24 | 81  | 36  | 30 | 9  |     |    |  |
| 40                 | 23269-2    | 3.42 | 0.18 | 0.37 | 16.41 | 0.68 | 15.15 | 4.95 | 1.33 | 20                | 311 | 9  | 96  | 16 | 659 | 58  | 10 | 12 | 66  | 28  | 16 | 10 |     |    |  |
| 41                 | 23346-3    | 4.39 | 0.16 | 0.52 | 1.91  | 2.17 | 28.91 | 7.26 | 1.56 | 19                | 468 | 14 | 220 | 22 | 207 | 79  | 14 | 21 | 79  | 34  | 22 | 8  |     |    |  |
| 42                 | 23264-3    | 2.94 | 0.16 | 0.34 | 9.30  | 1.39 | 24.09 | 5.57 | 1.27 | 28                | 461 | 10 | 175 | 19 | 480 | 63  | 10 | 9  | 61  | 29  | 36 | 6  |     |    |  |
| 43                 | 23295-4    | 5.94 | 0.12 | 1.06 | 8.81  | 1.21 | 21.92 | 7.03 | 4.34 | 10                | 619 | 42 | 213 | 22 | 501 | 43  | 12 | 8  | 73  | 80  | 29 | 40 |     |    |  |
| 44                 | 23341-2    | 3.38 | 0.12 | 0.52 | 14.12 | 1.00 | 19.06 | 4.85 | 1.31 | 15                | 408 | 18 | 156 | 18 | 629 | 50  | 10 | 9  | 60  | 33  | 19 | 17 |     |    |  |
| 46                 | 23347-4    | 4.50 | 0.18 | 0.50 | 2.99  | 2.28 | 26.78 | 7.54 | 1.39 | 17                | 320 | 12 | 161 | 20 | 196 | 71  | 12 | 16 | 74  | 30  | 20 | 0  |     |    |  |
| 47                 | 23351-4    | 4.25 | 0.15 | 0.46 | 2.02  | 2.41 | 28.53 | 7.62 | 1.25 | 22                | 510 | 13 | 214 | 25 | 210 | 95  | 16 | 21 | 85  | 38  | 22 | 11 |     |    |  |
| 48                 | 23354-4    | 4.25 | 0.16 | 0.69 | 14.18 | 0.96 | 17.73 | 5.25 | 1.85 | 10                | 495 | 25 | 155 | 19 | 798 | 44  | 11 | 15 | 67  | 46  | 22 | 23 |     |    |  |
| 50                 | 23297-1    | 3.27 | 0.16 | 0.35 | 18.13 | 0.42 | 13.27 | 4.59 | 1.24 | 27                | 326 | 9  | 93  | 17 | 789 | 61  | 9  | 13 | 67  | 29  | 18 | 16 |     |    |  |
| 51                 | 23352-2    | 3.07 | 0.12 | 0.44 | 19.80 | 0.59 | 13.96 | 4.05 | 1.10 | 11                | 427 | 14 | 111 | 15 | 884 | 40  | 8  | 16 | 56  | 26  | 17 | 12 |     |    |  |
| 52                 | 21842-5    | 4.29 | 0.15 | 0.48 | 4.82  | 1.58 | 24.29 | 6.67 | 1.55 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    | 16  | 35  |    |    | 131 | 63 |  |
| 54                 | 23298-2    | 2.78 | 0.12 | 0.34 | 21.88 | 0.23 | 10.84 | 3.35 | 0.98 | 20                | 341 | 9  | 84  | 14 | 900 | 36  | 7  | 12 | 56  | 24  | 16 | 22 |     |    |  |
| 55                 | 23304-1    | 3.70 | 0.36 | 0.42 | 14.72 | 0.58 | 15.71 | 5.07 | 1.41 |                   |     |    |     |    |     |     |    |    |     |     |    |    |     |    |  |
| 56                 | 23303-1    | 2.49 | 0.18 | 0.29 | 13.44 | 0.63 | 21.57 | 3.93 | 0.90 | 16                | 329 | 8  | 125 | 15 | 505 | 44  | 7  | 10 | 51  | 33  | 15 | 4  |     |    |  |
| 57                 | 23301-2    | 2.45 | 0.12 | 0.34 | 8.21  | 1.11 | 27.53 | 4.18 | 0.96 | 20                | 485 | 11 | 276 | 20 | 380 | 57  | 8  | 9  | 52  | 26  | 15 | 4  |     |    |  |
| 63                 | 23359-2    | 2.13 | 0.08 | 0.29 | 25.29 | 0.41 | 10.06 | 2.70 | 0.72 | 12                | 325 | 10 | 98  | 16 | 947 | 27  | 5  | 10 | 48  | 16  | 14 | 15 |     |    |  |

# Tabelle A-6 Geochemie

Stationen E (GIK 23059-2/3) und F (GIK 23065-2/3)

| Station | Tiefe<br>[cm] | [----- Gew% -----] |      |      |       |      |       |      |      | [----- ppm -----] |    |     |        |     |    |    |     |    |     |    |    |    |  |  |  |
|---------|---------------|--------------------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------------------|----|-----|--------|-----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|--|--|--|
|         |               | Fe                 | Mn   | Ti   | Ca    | K    | Si    | Al   | Mg   | Pb                | Ba | Nb  | Zr     | Y   | Sr | Rb | Ga  | As | Zn  | Ni | Co | Cu |  |  |  |
| E       | 1             | 2.21               | 0.11 | 0.24 | 22.16 | 0.35 | 11.11 | 3.29 | 0.86 | 21 373            | 8  | 81  | 12 861 | 47  | 9  | 5  | 59  | 25 | 22  | 18 |    |    |  |  |  |
| E       | 19            | 3.94               | 0.09 | 0.46 | 4.97  | 2.14 | 25.45 | 7.05 | 1.35 | 18 443            | 13 | 210 | 23 268 | 95  | 16 | 13 | 82  | 43 | 27  | 33 |    |    |  |  |  |
| E       | 49.5          | 4.29               | 0.12 | 0.43 | 4.22  | 2.74 | 25.34 | 7.58 | 1.83 | 25 375            | 14 | 202 | 27 191 | 129 | 17 | 17 | 88  | 40 | 23  | 20 |    |    |  |  |  |
| E       | 64.5          | 3.94               | 0.11 | 0.41 | 3.33  | 2.35 | 28.07 | 7.01 | 1.60 | 16 350            | 12 | 216 | 22 203 | 103 | 15 | 17 | 81  | 40 | 21  | 20 |    |    |  |  |  |
| E       | 89.5          | 4.11               | 0.12 | 0.43 | 3.78  | 2.39 | 27.30 | 7.38 | 1.69 | 17 331            | 12 | 211 | 24 198 | 107 | 15 | 19 | 89  | 40 | 21  | 24 |    |    |  |  |  |
| E       | 130.5         | 4.34               | 0.12 | 0.45 | 3.69  | 2.31 | 26.22 | 7.40 | 1.63 | 17 375            | 13 | 213 | 25 215 | 100 | 15 | 21 | 86  | 42 | 0   | 28 |    |    |  |  |  |
| E       | 148.5         | 3.46               | 0.22 | 0.38 | 9.33  | 1.66 | 22.18 | 5.90 | 1.45 | 17 278            | 12 | 187 | 21 360 | 87  | 13 | 19 | 74  | 39 | 22  | 26 |    |    |  |  |  |
| E       | 179.5         | 3.93               | 0.15 | 0.42 | 7.15  | 1.81 | 24.00 | 6.64 | 1.59 | 17 279            | 12 | 197 | 21 308 | 91  | 15 | 14 | 77  | 40 | 24  | 33 |    |    |  |  |  |
| E       | 187           | 4.24               | 0.15 | 0.49 | 9.94  | 1.54 | 20.83 | 6.53 | 1.44 | 13 376            | 13 | 169 | 22 399 | 87  | 13 | 24 | 80  | 42 | 22  | 35 |    |    |  |  |  |
| E       | 192           | 4.15               | 0.17 | 0.47 | 9.42  | 1.75 | 20.68 | 6.47 | 1.54 | 17 388            | 15 | 172 | 22 391 | 90  | 15 | 14 | 79  | 44 | 24  | 35 |    |    |  |  |  |
| E       | 197           | 3.82               | 0.20 | 0.43 | 10.56 | 1.59 | 20.63 | 6.24 | 1.33 | 13 397            | 13 | 173 | 21 404 | 84  | 14 | 15 | 75  | 41 | 22  | 31 |    |    |  |  |  |
| E       | 202           | 3.00               | 0.15 | 0.33 | 18.45 | 0.75 | 14.29 | 4.80 | 1.07 | 9 391             | 13 | 118 | 19 611 | 67  | 10 | 11 | 65  | 33 | 16  | 25 |    |    |  |  |  |
| E       | 207           | 4.08               | 0.20 | 0.46 | 3.55  | 2.27 | 27.21 | 6.96 | 1.44 | 19 482            | 14 | 232 | 24 192 | 99  | 15 | 20 | 79  | 40 | 28  | 33 |    |    |  |  |  |
| E       | 212           | 3.92               | 0.15 | 0.41 | 4.96  | 2.20 | 25.59 | 6.99 | 1.30 | 20 396            | 13 | 221 | 26 217 | 102 | 18 | 18 | 78  | 38 | 30  | 33 |    |    |  |  |  |
| E       | 223           | 3.46               | 0.11 | 0.44 | 0.84  | 2.30 | 31.04 | 7.49 | 0.81 | 17 559            | 11 | 250 | 24 192 | 84  | 18 | 26 | 79  | 33 | 24  | 24 |    |    |  |  |  |
| E       | 230.5         | 4.97               | 0.13 | 0.50 | 0.94  | 2.25 | 28.72 | 8.44 | 1.39 | 19 369            | 13 | 220 | 29 130 | 93  | 17 | 34 | 94  | 45 | 21  | 29 |    |    |  |  |  |
| E       | 234           | 5.10               | 0.05 | 0.50 | 0.53  | 2.25 | 28.44 | 8.40 | 1.18 | 19 373            | 13 | 225 | 31 122 | 95  | 20 | 36 | 101 | 44 | 21  | 40 |    |    |  |  |  |
| E       | 239           | 4.77               | 0.20 | 0.46 | 4.65  | 2.81 | 23.07 | 8.20 | 1.71 | 27 381            | 15 | 177 | 28 203 | 138 | 20 | 18 | 97  | 53 | 38  | 35 |    |    |  |  |  |
| E       | 289.5         | 4.37               | 0.20 | 0.47 | 1.42  | 2.41 | 29.11 | 7.61 | 1.38 | 19 336            | 21 | 261 | 29 140 | 98  | 16 | 27 | 84  | 40 | 21  | 26 |    |    |  |  |  |
| E       | 389.5         | 4.08               | 0.07 | 0.44 | 4.46  | 2.22 | 26.09 | 7.04 | 1.49 | 15 381            | 13 | 212 | 23 231 | 100 | 15 | 13 | 80  | 40 | 21  | 28 |    |    |  |  |  |
| E       | 444.5         | 5.20               | 0.10 | 0.52 | 3.19  | 2.62 | 25.74 | 7.90 | 1.92 | 27 336            | 15 | 239 | 30 184 | 116 | 18 | 21 | 100 | 49 | 25  | 42 |    |    |  |  |  |
| E       | 489.5         | 4.39               | 0.15 | 0.46 | 7.31  | 1.89 | 21.94 | 6.79 | 1.35 | 18 491            | 13 | 181 | 26 327 | 96  | 16 | 18 | 87  | 45 | 24  | 34 |    |    |  |  |  |
| E       | 569.5         | 3.73               | 0.05 | 0.47 | 0.44  | 2.20 | 30.05 | 8.27 | 1.15 | 18 425            | 12 | 240 | 27 136 | 90  | 16 | 14 | 69  | 36 | 18  | 9  |    |    |  |  |  |
|         |               |                    |      |      |       |      |       |      |      |                   |    |     |        |     |    |    |     |    |     |    |    |    |  |  |  |
| F       | 1             | 2.21               | 0.11 | 0.25 | 23.71 | 0.17 | 9.21  | 2.90 | 0.89 | 57 239            | 8  | 65  | 11 888 | 40  | 7  | 6  | 59  | 23 | 21  | 18 |    |    |  |  |  |
| F       | 5             | 4.53               | 0.10 | 0.47 | 4.62  | 2.54 | 24.66 | 7.70 | 1.97 | 20 410            | 14 | 195 | 28 192 | 121 | 17 | 21 | 94  | 44 | 23  | 23 |    |    |  |  |  |
| F       | 25            | 3.62               | 0.09 | 0.40 | 4.70  | 2.29 | 26.10 | 6.64 | 1.42 | 21 366            | 14 | 224 | 26 189 | 110 | 15 | 16 | 81  | 40 | 27  | 26 |    |    |  |  |  |
| F       | 84            | 4.30               | 0.11 | 0.43 | 3.92  | 2.66 | 26.14 | 7.62 | 1.67 | 23 445            | 14 | 201 | 28 193 | 130 | 17 | 19 | 91  | 39 | 19  | 24 |    |    |  |  |  |
| F       | 124           | 4.19               | 0.11 | 0.47 | 3.71  | 2.31 | 26.54 | 7.39 | 1.50 | 16 429            | 13 | 215 | 25 220 | 94  | 16 | 19 | 81  | 38 | 21  | 24 |    |    |  |  |  |
| F       | 148           | 4.65               | 0.22 | 0.47 | 5.70  | 2.18 | 23.82 | 7.45 | 1.64 | 19 441            | 13 | 188 | 26 241 | 110 | 16 | 25 | 87  | 46 | 22  | 26 |    |    |  |  |  |
| F       | 182           | 2.99               | 0.19 | 0.34 | 8.65  | 1.56 | 24.43 | 5.19 | 1.44 | 14 314            | 11 | 188 | 18 313 | 74  | 12 | 14 | 60  | 36 | 25  | 29 |    |    |  |  |  |
| F       | 184           | 3.24               | 0.25 | 0.37 | 6.39  | 1.66 | 26.28 | 5.72 | 1.79 | 12 445            | 11 | 216 | 20 255 | 79  | 12 | 14 | 73  | 38 | 23  | 24 |    |    |  |  |  |
| F       | 204           | 3.12               | 0.06 | 0.33 | 16.34 | 0.91 | 16.19 | 4.94 | 1.30 | 9 351             | 10 | 133 | 16 534 | 66  | 11 | 9  | 62  | 32 | 165 | 24 |    |    |  |  |  |
| F       | 206           | 3.43               | 0.08 | 0.39 | 11.56 | 1.51 | 20.96 | 5.65 | 1.43 | 13 352            | 12 | 168 | 18 408 | 78  | 14 | 5  | 68  | 37 | 25  | 34 |    |    |  |  |  |
| F       | 212           | 3.08               | 0.09 | 0.34 | 18.73 | 0.53 | 13.43 | 4.53 | 1.13 | 10 352            | 9  | 109 | 19 640 | 63  | 11 | 9  | 66  | 34 | 22  | 35 |    |    |  |  |  |
| F       | 234           | 3.71               | 0.05 | 0.41 | 5.40  | 1.77 | 27.04 | 5.95 | 1.36 | 15 586            | 12 | 225 | 22 225 | 89  | 14 | 12 | 71  | 33 | 16  | 35 |    |    |  |  |  |
| F       | 247           | 4.50               | 0.55 | 0.47 | 1.54  | 2.42 | 28.03 | 8.32 | 1.44 | 20 478            | 13 | 219 | 30 136 | 102 | 17 | 24 | 86  | 50 | 50  | 41 |    |    |  |  |  |
| F       | 254           | 3.46               | 0.22 | 0.38 | 7.48  | 1.83 | 24.79 | 6.18 | 1.44 | 15 410            | 13 | 221 | 26 224 | 101 | 13 | 15 | 69  | 36 | 20  | 16 |    |    |  |  |  |
| F       | 272           | 4.52               | 0.70 | 0.41 | 0.54  | 2.20 | 30.77 | 7.18 | 0.86 | 11 670            | 11 | 277 | 26 196 | 78  | 14 | 26 | 70  | 36 | 31  | 11 |    |    |  |  |  |
| F       | 274           | 4.72               | 0.09 | 0.49 | 3.11  | 2.63 | 26.57 | 7.75 | 1.79 | 24 451            | 15 | 222 | 30 180 | 122 | 17 | 22 | 92  | 44 | 22  | 50 |    |    |  |  |  |
| F       | 275           | 3.63               | 0.11 | 0.46 | 0.51  | 2.26 | 31.60 | 7.60 | 0.89 | 15 688            | 13 | 271 | 26 196 | 83  | 15 | 22 | 79  | 27 | 18  | 10 |    |    |  |  |  |
| F       | 284           | 3.58               | 0.05 | 0.44 | 6.22  | 2.18 | 24.27 | 7.29 | 1.66 | 14 407            | 14 | 199 | 25 227 | 116 | 17 | 6  | 84  | 35 | 17  | 21 |    |    |  |  |  |
| F       | 384           | 4.49               | 0.09 | 0.44 | 6.48  | 2.46 | 23.28 | 7.42 | 1.84 | 24 443            | 16 | 182 | 29 237 | 131 | 16 | 15 | 90  | 41 | 20  | 16 |    |    |  |  |  |
| F       | 494           | 4.46               | 0.09 | 0.47 | 6.53  | 2.21 | 25.21 | 7.34 | 1.71 | 17 428            | 15 | 206 | 26 256 | 105 | 17 | 10 | 89  | 45 | 20  | 27 |    |    |  |  |  |
| F       | 638           | 3.87               | 0.12 | 0.43 | 14.21 | 1.12 | 17.18 | 5.63 | 1.38 | 15 431            | 11 | 135 | 20 478 | 73  | 12 | 12 | 74  | 37 | 18  | 29 |    |    |  |  |  |



Tabelle A-7 Radionuklide

## Oberflächensedimente

| Probe | GIK-<br>Nummer | $^{232}\text{Th}$<br>[ppm] | $^{230}\text{Th}$<br>[dpm/g] | $^{238}\text{U}$<br>[dpm/g] | $^{234}\text{U}$<br>[dpm/g] | AU          | $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}(\#)$<br>[dpm/g] |
|-------|----------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| 1     | 21703-1        | 6.05 ± 0.21                | 1.22 ± 0.05                  | 1.22 ± 0.02                 | 1.17 ± 0.05                 | 0.96 ± 0.06 | 0.05 ± 0.10                                  |
| 2     | 21704-1        | 8.45 ± 0.28                | 4.31 ± 0.10                  | 1.43 ± 0.03                 | 1.43 ± 0.07                 | 1.00 ± 0.07 | 2.88 ± 0.17                                  |
| 15    | 21702-1        | 8.40 ± 0.31                | 5.54 ± 0.12                  | 1.49 ± 0.04                 | 1.56 ± 0.09                 | 1.05 ± 0.09 | 3.98 ± 0.21                                  |
| 16    | 23258-3        | 9.32 ± 0.35                | 6.12 ± 0.14                  | 1.56 ± 0.02                 | 1.51 ± 0.06                 | 0.97 ± 0.05 | 4.61 ± 0.20                                  |
| 18    | 23257-3        | 7.10 ± 0.26                | 6.30 ± 0.12                  | 1.24 ± 0.02                 | 1.28 ± 0.05                 | 1.03 ± 0.06 | 5.02 ± 0.17                                  |
| 23    | 21701-1        | 9.77 ± 0.22                | 2.19 ± 0.05                  | 1.82 ± 0.03                 | 1.67 ± 0.06                 | 0.92 ± 0.05 | 0.52 ± 0.11                                  |
| 24    | 23270-2        | 10.10 ± 0.35               | 9.46 ± 0.17                  | 1.66 ± 0.04                 | 1.54 ± 0.10                 | 0.93 ± 0.08 | 7.92 ± 0.27                                  |
| 25    | 23254-3        | 7.42 ± 0.26                | 6.39 ± 0.12                  | 1.15 ± 0.02                 | 1.20 ± 0.06                 | 1.04 ± 0.07 | 5.19 ± 0.18                                  |
| 26    | 21700-1        | 8.11 ± 0.28                | 2.07 ± 0.07                  | 1.49 ± 0.03                 | 1.50 ± 0.06                 | 1.01 ± 0.06 | 0.57 ± 0.13                                  |
| 27    | 23293-2        | 10.00 ± 0.30               | 8.09 ± 0.13                  | 1.78 ± 0.03                 | 1.78 ± 0.08                 | 1.00 ± 0.06 | 6.31 ± 0.21                                  |
| 29    | 23291-1        | 7.85 ± 0.26                | 7.49 ± 0.13                  | 1.35 ± 0.02                 | 1.31 ± 0.05                 | 0.97 ± 0.05 | 6.18 ± 0.18                                  |
| 30    | 23289-2        | 7.99 ± 0.21                | 8.10 ± 0.11                  | 1.31 ± 0.02                 | 1.31 ± 0.05                 | 1.00 ± 0.05 | 6.79 ± 0.16                                  |
| 31    | 23294-3        | 10.50 ± 0.24               | 7.45 ± 0.10                  | 1.73 ± 0.06                 | 1.71 ± 0.13                 | 0.99 ± 0.11 | 5.74 ± 0.23                                  |
| 32    | 23260-1        | 7.34 ± 0.20                | 5.13 ± 0.08                  | 1.25 ± 0.02                 | 1.24 ± 0.06                 | 0.99 ± 0.06 | 3.89 ± 0.14                                  |
| 34    | 23279-1        | 8.97 ± 0.30                | 8.41 ± 0.14                  | 1.58 ± 0.04                 | 1.37 ± 0.08                 | 0.87 ± 0.07 | 7.04 ± 0.22                                  |
| 35    | 23277-1        | 7.21 ± 0.24                | 7.85 ± 0.13                  | 1.53 ± 0.05                 | 1.36 ± 0.09                 | 0.89 ± 0.09 | 6.49 ± 0.22                                  |
| 36    | 23259-3        | 7.09 ± 0.19                | 5.54 ± 0.08                  | 1.32 ± 0.02                 | 1.29 ± 0.05                 | 0.98 ± 0.05 | 4.25 ± 0.13                                  |
| 37    | 23267-2        | 7.24 ± 0.26                | 6.75 ± 0.13                  | 1.03 ± 0.02                 | 1.07 ± 0.08                 | 1.04 ± 0.10 | 5.68 ± 0.21                                  |
| 38    | 23266-1        | 6.80 ± 0.21                | 6.03 ± 0.10                  | 1.16 ± 0.02                 | 1.09 ± 0.05                 | 0.94 ± 0.06 | 4.94 ± 0.15                                  |
| 39    | 23344-4        | 10.40 ± 0.23               | 5.37 ± 0.08                  | 1.73 ± 0.02                 | 1.76 ± 0.07                 | 1.02 ± 0.05 | 3.61 ± 0.15                                  |
| 40    | 23269-2        | 6.81 ± 0.27                | 6.95 ± 0.14                  | 1.17 ± 0.02                 | 1.17 ± 0.05                 | 1.00 ± 0.06 | 5.78 ± 0.19                                  |
| 41    | 23346-3        | 9.43 ± 0.19                | 5.59 ± 0.07                  | 1.75 ± 0.03                 | 1.72 ± 0.08                 | 0.98 ± 0.06 | 3.88 ± 0.15                                  |
| 42    | 23264-3        | 6.83 ± 0.24                | 3.33 ± 0.08                  | 1.27 ± 0.04                 | 1.09 ± 0.11                 | 0.86 ± 0.11 | 2.24 ± 0.19                                  |
| 43    | 23295-4        | 5.02 ± 0.20                | 2.49 ± 0.07                  | 1.14 ± 0.03                 | 1.19 ± 0.07                 | 1.04 ± 0.09 | 1.30 ± 0.14                                  |
| 44    | 23341-2        | 5.61 ± 0.16                | 5.14 ± 0.07                  | 1.05 ± 0.02                 | 0.93 ± 0.05                 | 0.89 ± 0.06 | 4.21 ± 0.12                                  |
| 45    | 23353-2        | 8.14 ± 0.22                | 6.16 ± 0.09                  | 1.54 ± 0.04                 | 1.51 ± 0.08                 | 0.98 ± 0.08 | 4.65 ± 0.17                                  |
| 46    | 23347-4        | 10.70 ± 0.22               | 6.09 ± 0.08                  | 1.84 ± 0.03                 | 1.53 ± 0.07                 | 0.83 ± 0.05 | 4.56 ± 0.15                                  |
| 47    | 23351-4        | 10.50 ± 0.22               | 5.05 ± 0.08                  | 1.83 ± 0.04                 | 1.70 ± 0.07                 | 0.93 ± 0.06 | 3.35 ± 0.15                                  |
| 48    | 23354-4        | 4.73 ± 0.20                | 4.11 ± 0.09                  | 1.08 ± 0.02                 | 1.07 ± 0.06                 | 0.99 ± 0.07 | 3.04 ± 0.15                                  |
| 50    | 23297-1        | 7.51 ± 0.27                | 7.12 ± 0.13                  | 1.19 ± 0.02                 | 1.08 ± 0.07                 | 0.91 ± 0.07 | 6.04 ± 0.20                                  |
| 51    | 23352-2        | 4.43 ± 0.22                | 4.80 ± 0.11                  | 0.81 ± 0.02                 | 0.83 ± 0.07                 | 1.02 ± 0.11 | 3.97 ± 0.18                                  |
| 54    | 23298-2        | 3.77 ± 0.18                | 5.54 ± 0.11                  | 0.78 ± 0.02                 | 0.82 ± 0.07                 | 1.05 ± 0.12 | 4.72 ± 0.18                                  |
| 55    | 23304-1        | 6.09 ± 0.25                | 4.87 ± 0.11                  | 1.29 ± 0.02                 | 1.34 ± 0.07                 | 1.04 ± 0.07 | 3.53 ± 0.18                                  |
| 56    | 23303-1        | 5.02 ± 0.22                | 3.57 ± 0.09                  | 0.99 ± 0.02                 | 1.07 ± 0.05                 | 1.08 ± 0.07 | 2.50 ± 0.14                                  |
| 57    | 23301-2        | 5.52 ± 0.22                | 2.30 ± 0.07                  | 1.18 ± 0.02                 | 1.25 ± 0.07                 | 1.06 ± 0.08 | 1.05 ± 0.14                                  |
| 58    | 16331-1        | 5.82 ± 0.37                | 2.87 ± 0.13                  | 1.24 ± 0.02                 | 1.19 ± 0.07                 | 0.96 ± 0.07 | 1.68 ± 0.20                                  |
| 59    | 23009          | 5.29 ± 0.20                | 2.19 ± 0.06                  | 1.19 ± 0.02                 | 1.56 ± 0.08                 | 1.31 ± 0.09 | 0.63 ± 0.14                                  |
| 60    | 16340-1        | 5.85 ± 0.26                | 2.97 ± 0.09                  | 1.21 ± 0.03                 | 1.36 ± 0.08                 | 1.12 ± 0.09 | 1.61 ± 0.17                                  |
| 61    | 16339-1        | 6.26 ± 0.24                | 2.86 ± 0.08                  | 1.24 ± 0.03                 | 1.36 ± 0.08                 | 1.10 ± 0.09 | 1.50 ± 0.16                                  |
| 62    | 16059-1        | 5.59 ± 0.23                | 1.79 ± 0.06                  | 1.15 ± 0.02                 | 1.10 ± 0.07                 | 0.96 ± 0.08 | 0.69 ± 0.13                                  |
| 63    | 23359-2        | 2.81 ± 0.16                | 4.23 ± 0.10                  | 0.70 ± 0.01                 | 0.69 ± 0.05                 | 0.98 ± 0.09 | 3.54 ± 0.15                                  |

Tabelle A-8 Radionuklide

## Station A (GIK 21295-4)

## Großkastengreifer

| Tiefe<br>[cm] | $^{232}\text{Th}$<br>[ppm] | $^{230}\text{Th}$<br>[dpm/g] | $^{238}\text{U}$<br>[dpm/g] | $^{234}\text{U}$<br>[dpm/g] | AU          | $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}(\#)$<br>[dpm/g] |
|---------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| 0 - 5         | 8.48 ± 0.32                | 8.31 ± 0.16                  | 1.35 ± 0.04                 | 1.58 ± 0.13                 | 1.17 ± 0.13 | 6.73 ± 0.29                                  |
| 5 - 10        | 8.15 ± 0.33                | 7.39 ± 0.15                  | 1.41 ± 0.03                 | 1.51 ± 0.08                 | 1.07 ± 0.08 | 5.88 ± 0.23                                  |
| 10 - 15       | 8.48 ± 0.29                | 7.69 ± 0.14                  | 1.62 ± 0.04                 | 1.52 ± 0.08                 | 0.94 ± 0.07 | 6.17 ± 0.22                                  |
| 15 - 20       | 8.92 ± 0.34                | 7.24 ± 0.15                  | 1.53 ± 0.02                 | 1.42 ± 0.06                 | 0.93 ± 0.05 | 5.82 ± 0.21                                  |
| 20 - 25       | 9.55 ± 0.34                | 6.01 ± 0.13                  | 1.76 ± 0.03                 | 1.46 ± 0.06                 | 0.83 ± 0.05 | 4.55 ± 0.19                                  |
| 25 - 30       | 11.30 ± 0.25               | 5.45 ± 0.06                  | 1.91 ± 0.03                 | 1.64 ± 0.07                 | 0.86 ± 0.05 | 3.81 ± 0.13                                  |
| 30 - 35       | 9.67 ± 0.38                | 4.31 ± 0.13                  | 1.52 ± 0.03                 | 1.52 ± 0.09                 | 1.00 ± 0.08 | 2.79 ± 0.22                                  |
| 35 - 40       | 9.80 ± 0.30                | 4.26 ± 0.10                  | 1.94 ± 0.03                 | 1.77 ± 0.05                 | 0.91 ± 0.04 | 2.49 ± 0.15                                  |
| 40 - 42       | 12.69 ± 0.39               | 5.03 ± 0.12                  | 2.07 ± 0.04                 | 1.84 ± 0.07                 | 0.89 ± 0.05 | 3.19 ± 0.19                                  |

(#): berechnet nach

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$$

Tabelle A-9 Radionuklide, CaCO<sub>3</sub>

Station B (GIK 17728-1)

Großkastengreifer

| Tiefe [cm]  | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] | CaCO <sub>3</sub> [Gew%] |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|--------------------------|
| 0.0 - 5.0   | 5.19 ± 0.29             | 6.43 ± 0.16               | 0.92 ± 0.06              | 0.76 ± 0.02              | 0.83 ± 0.08 | 5.67 ± 0.18                                 | 45.6                     |
| 5.0 - 10.0  | 6.50 ± 0.44             | 4.59 ± 0.18               | 1.39 ± 0.03              | 1.18 ± 0.03              | 0.85 ± 0.04 | 3.41 ± 0.21                                 | 22.6                     |
| 10.0 - 15.0 | 9.62 ± 0.30             | 4.06 ± 0.10               | 1.52 ± 0.04              | 1.46 ± 0.02              | 0.96 ± 0.04 | 2.60 ± 0.12                                 | 10.6                     |
| 15.0 - 20.0 | 9.84 ± 0.41             | 3.30 ± 0.12               | 1.60 ± 0.08              | 1.36 ± 0.04              | 0.85 ± 0.07 | 1.94 ± 0.16                                 | 11.3                     |
| 20.0 - 25.0 | 9.97 ± 0.39             | 4.62 ± 0.13               | 1.66 ± 0.05              | 1.54 ± 0.02              | 0.93 ± 0.04 | 3.08 ± 0.15                                 | 13.6                     |
| 25.0 - 30.0 | 11.40 ± 0.42            | 3.60 ± 0.12               | 1.68 ± 0.04              | 1.58 ± 0.05              | 0.94 ± 0.05 | 2.02 ± 0.17                                 | 6.0                      |

Station B (GIK 17728-2)

Kastenlot

| Tiefe [cm]    | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] | CaCO <sub>3</sub> [Gew%] |
|---------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|--------------------------|
| 30.0 - 40.0   | 9.83 ± 0.26             | 3.77 ± 0.08               | 1.65 ± 0.05              | 1.62 ± 0.03              | 0.98 ± 0.05 | 2.15 ± 0.11                                 | 8.7                      |
| 40.0 - 50.0   | 9.72 ± 0.28             | 3.35 ± 0.08               | 1.42 ± 0.06              | 1.32 ± 0.02              | 0.93 ± 0.05 | 2.03 ± 0.10                                 | 6.3                      |
| 50.0 - 60.0   | 10.30 ± 0.41            | 3.97 ± 0.13               | 1.41 ± 0.06              | 1.51 ± 0.02              | 1.07 ± 0.06 | 2.46 ± 0.15                                 | 4.4                      |
| 60.0 - 70.0   | 8.49 ± 0.29             | 3.15 ± 0.09               | 1.49 ± 0.07              | 1.27 ± 0.03              | 0.85 ± 0.06 | 1.88 ± 0.12                                 | 5.1                      |
| 70.0 - 80.0   | 9.00 ± 0.22             | 3.08 ± 0.06               | 1.63 ± 0.06              | 1.39 ± 0.03              | 0.85 ± 0.05 | 1.69 ± 0.09                                 | 6.3                      |
| 80.0 - 90.0   | 8.30 ± 0.21             | 3.03 ± 0.06               | 1.80 ± 0.05              | 1.66 ± 0.03              | 0.92 ± 0.04 | 1.37 ± 0.09                                 | 6.1                      |
| 90.0 - 100.0  | 10.80 ± 0.33            | 3.05 ± 0.09               | 1.68 ± 0.06              | 1.58 ± 0.03              | 0.94 ± 0.05 | 1.47 ± 0.12                                 | 5.1                      |
| 100.0 - 110.0 | 10.10 ± 0.26            | 2.64 ± 0.07               | 1.29 ± 0.05              | 1.34 ± 0.01              | 1.04 ± 0.05 | 1.30 ± 0.08                                 | 5.8                      |
| 110.0 - 120.0 | 7.81 ± 0.34             | 3.42 ± 0.11               | 1.34 ± 0.05              | 1.30 ± 0.02              | 0.97 ± 0.05 | 2.12 ± 0.13                                 | 12.2                     |
| 120.0 - 130.0 | 8.96 ± 0.30             | 4.02 ± 0.10               | 1.66 ± 0.06              | 1.53 ± 0.02              | 0.92 ± 0.05 | 2.49 ± 0.37                                 | 9.3                      |
| 130.0 - 140.0 | 8.76 ± 0.15             | 4.01 ± 0.05               | 1.50 ± 0.05              | 1.53 ± 0.02              | 1.02 ± 0.05 | 2.48 ± 0.07                                 | 16.1                     |
| 140.0 - 150.0 | 6.99 ± 0.14             | 3.19 ± 0.05               | 1.23 ± 0.05              | 1.06 ± 0.02              | 0.86 ± 0.05 | 2.13 ± 0.07                                 | 28.6                     |
| 150.0 - 160.0 | 8.67 ± 0.32             | 1.64 ± 0.07               | 1.67 ± 0.06              | 1.55 ± 0.03              | 0.93 ± 0.05 | 0.09 ± 0.10                                 | 2.0                      |
| 160.0 - 170.0 | 11.40 ± 0.34            | 2.22 ± 0.07               | 1.53 ± 0.06              | 1.45 ± 0.02              | 0.95 ± 0.05 | 0.77 ± 0.09                                 | 2.7                      |
| 170.0 - 180.0 | 7.99 ± 0.31             | 1.99 ± 0.08               | 1.60 ± 0.06              | 1.50 ± 0.02              | 0.94 ± 0.05 | 0.49 ± 0.10                                 | 1.7                      |
| 180.0 - 190.0 | 10.90 ± 0.24            | 2.78 ± 0.06               | 1.80 ± 0.07              | 1.75 ± 0.02              | 0.97 ± 0.05 | 1.03 ± 0.08                                 | 7.8                      |
| 190.0 - 200.0 | 8.17 ± 0.25             | 1.70 ± 0.06               | 1.38 ± 0.05              | 1.38 ± 0.02              | 1.00 ± 0.05 | 0.32 ± 0.08                                 | 0.9                      |
| 200.0 - 210.0 | 8.92 ± 0.23             | 1.92 ± 0.05               | 1.55 ± 0.05              | 1.43 ± 0.03              | 0.92 ± 0.05 | 0.49 ± 0.08                                 | 2.6                      |
| 210.0 - 220.0 | 11.60 ± 0.33            | 3.31 ± 0.09               | 1.70 ± 0.08              | 1.58 ± 0.03              | 0.93 ± 0.06 | 1.73 ± 0.12                                 | 6.5                      |
| 220.0 - 230.0 | 7.47 ± 0.30             | 1.76 ± 0.07               | 1.71 ± 0.08              | 1.40 ± 0.02              | 0.82 ± 0.05 | 0.36 ± 0.09                                 | 5.6                      |
| 230.0 - 240.0 | 9.03 ± 0.34             | 1.66 ± 0.07               | 1.82 ± 0.06              | 2.13 ± 0.02              | 1.17 ± 0.05 | -0.40 ± 0.09(§)                             | 1.0                      |
| 240.0 - 250.0 | 11.20 ± 0.50            | 1.87 ± 0.10               | 2.00 ± 0.07              | 1.92 ± 0.03              | 0.96 ± 0.05 | 0.00 ± 0.13(§)                              | 0.2                      |
| 250.0 - 260.0 | 10.40 ± 0.32            | 1.85 ± 0.07               | 2.01 ± 0.06              | 1.73 ± 0.03              | 0.86 ± 0.04 | 0.12 ± 0.10                                 | 0.6                      |
| 260.0 - 270.0 | 10.80 ± 0.39            | 2.02 ± 0.08               | 1.60 ± 0.06              | 1.46 ± 0.03              | 0.91 ± 0.05 | 0.56 ± 0.11                                 | 4.0                      |
| 270.0 - 280.0 | 9.52 ± 0.29             | 2.28 ± 0.07               | 1.62 ± 0.05              | 1.81 ± 0.03              | 1.12 ± 0.05 | 0.47 ± 0.10                                 | 10.5                     |
| 280.0 - 290.0 | 9.98 ± 0.30             | 1.93 ± 0.07               | 1.56 ± 0.11              | 1.28 ± 0.05              | 0.82 ± 0.09 | 0.65 ± 0.12                                 | 6.8                      |
| 290.0 - 300.0 | 10.90 ± 0.32            | 2.18 ± 0.07               | 1.73 ± 0.14              | 1.61 ± 0.06              | 0.93 ± 0.11 | 0.57 ± 0.13                                 | 4.8                      |
| 300.0 - 310.0 | 10.00 ± 0.35            | 1.91 ± 0.07               | 1.72 ± 0.07              | 1.46 ± 0.03              | 0.85 ± 0.05 | 0.45 ± 0.10                                 | 3.1                      |
| 310.0 - 320.0 | 9.97 ± 0.26             | 2.08 ± 0.06               | 1.56 ± 0.03              | 1.36 ± 0.04              | 0.87 ± 0.04 | 0.72 ± 0.10                                 | 6.9                      |
| 320.0 - 330.0 | 10.40 ± 0.35            | 1.88 ± 0.07               | 1.57 ± 0.12              | 1.27 ± 0.04              | 0.81 ± 0.09 | 0.61 ± 0.11                                 | 3.8                      |
| 330.0 - 340.0 | 8.09 ± 0.31             | 1.50 ± 0.07               | 2.06 ± 0.08              | 2.18 ± 0.02              | 1.06 ± 0.05 | -0.64 ± 0.09(§)                             | 0.7                      |
| 340.0 - 350.0 | 8.95 ± 0.40             | 1.68 ± 0.08               | 1.74 ± 0.08              | 1.58 ± 0.05              | 0.91 ± 0.07 | 0.10 ± 0.13                                 | 0.9                      |
| 350.0 - 360.0 | 10.10 ± 0.40            | 1.60 ± 0.08               | 1.55 ± 0.07              | 1.69 ± 0.03              | 1.09 ± 0.07 | -0.09 ± 0.11                                | 6.7                      |
| 360.0 - 370.0 | 10.10 ± 0.34            | 1.76 ± 0.07               | 1.64 ± 0.06              | 1.75 ± 0.02              | 1.07 ± 0.05 | 0.01 ± 0.09                                 | 4.9                      |
| 370.0 - 380.0 | 9.76 ± 0.36             | 1.89 ± 0.08               | 1.89 ± 0.10              | 1.61 ± 0.03              | 0.85 ± 0.06 | 0.28 ± 0.11                                 | 5.8                      |
| 380.0 - 390.0 | 8.85 ± 0.35             | 1.52 ± 0.07               | 1.50 ± 0.08              | 1.58 ± 0.04              | 1.05 ± 0.08 | -0.06 ± 0.11                                | 11.9                     |
| 390.0 - 400.0 | 8.00 ± 0.32             | 1.34 ± 0.07               | 1.48 ± 0.07              | 1.48 ± 0.03              | 1.00 ± 0.07 | -0.14 ± 0.10                                | 11.0                     |
| 400.0 - 410.0 | 7.58 ± 0.41             | 1.53 ± 0.09               | 1.41 ± 0.07              | 1.30 ± 0.03              | 0.92 ± 0.07 | 0.23 ± 0.12                                 | 9.6                      |
| 410.0 - 420.0 | 10.70 ± 0.32            | 1.52 ± 0.06               | 1.67 ± 0.03              | 1.47 ± 0.02              | 0.88 ± 0.04 | 0.05 ± 0.08                                 | 0.7                      |
| 420.0 - 430.0 | 6.75 ± 0.33             | 1.02 ± 0.06               | 1.17 ± 0.07              | 1.26 ± 0.03              | 1.08 ± 0.09 | -0.24 ± 0.09                                | 0.2                      |
| 430.0 - 440.0 | 9.14 ± 0.15             | 1.41 ± 0.03               | 1.38 ± 0.06              | 1.59 ± 0.03              | 1.15 ± 0.07 | -0.18 ± 0.06                                | 0.5                      |
| 440.0 - 450.0 | 10.70 ± 0.17            | 1.60 ± 0.03               | 1.75 ± 0.09              | 1.63 ± 0.04              | 0.93 ± 0.07 | -0.03 ± 0.07                                | 0.4                      |
| 450.0 - 460.0 | 11.30 ± 0.40            | 1.74 ± 0.08               |                          |                          |             |   | 0.3                      |
| 460.0 - 470.0 | 11.20 ± 0.49            | 2.15 ± 0.11               | 1.97 ± 0.09              | 2.13 ± 0.04              | 1.08 ± 0.07 | 0.02 ± 0.15                                 | 5.4                      |
| 470.0 - 480.0 | 8.44 ± 0.29             | 1.36 ± 0.06               | 1.82 ± 0.09              | 1.58 ± 0.05              | 0.87 ± 0.07 | -0.22 ± 0.11                                | 4.5                      |
| 480.0 - 490.0 | 9.57 ± 0.38             | 1.58 ± 0.08               | 1.66 ± 0.10              | 1.66 ± 0.03              | 1.00 ± 0.08 | -0.08 ± 0.11                                | 6.2                      |
| 490.0 - 500.0 | 9.44 ± 0.45             | 1.48 ± 0.09               | 1.50 ± 0.03              | 1.40 ± 0.02              | 0.93 ± 0.03 | 0.08 ± 0.11                                 | 14.0                     |
| 500.0 - 510.0 | 9.64 ± 0.26             | 1.37 ± 0.05               | 1.63 ± 0.06              | 1.32 ± 0.02              | 0.81 ± 0.04 | 0.05 ± 0.07                                 | 5.8                      |
| 510.0 - 520.0 | 8.39 ± 0.28             | 1.29 ± 0.05               | 1.64 ± 0.09              | 1.44 ± 0.04              | 0.88 ± 0.07 | -0.15 ± 0.09                                | 0.2                      |
| 520.0 - 530.0 | 9.44 ± 0.35             | 1.41 ± 0.07               | 1.39 ± 0.07              | 1.26 ± 0.02              | 0.91 ± 0.06 | 0.15 ± 0.09                                 | 0.1                      |
| 530.0 - 540.0 | 8.67 ± 0.33             | 1.35 ± 0.06               | 1.63 ± 0.09              | 1.53 ± 0.05              | 0.94 ± 0.08 | -0.18 ± 0.11                                | 0.1                      |
| 540.0 - 550.0 | 9.89 ± 0.37             | 1.10 ± 0.06               | 1.45 ± 0.07              | 1.26 ± 0.03              | 0.87 ± 0.06 | -0.16 ± 0.09                                | 0.2                      |
| 580.0 - 590.0 | 13.20 ± 0.73            | 1.49 ± 0.12               | 1.77 ± 0.07              | 1.54 ± 0.03              | 0.87 ± 0.05 | -0.05 ± 0.15                                | 1.8                      |
| 590.0 - 595.0 | 6.48 ± 0.33             | 1.11 ± 0.07               | 1.20 ± 0.07              | 1.04 ± 0.02              | 0.87 ± 0.07 | 0.07 ± 0.09                                 | 0.5                      |

(#): berechnet nach

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$$

(§): berechnet nach

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} * (1 - e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t})$$

Tabelle A-10 Radionuklide

Station C (GIK 23294-3)

Großkastengreifer

| Tiefe [cm]  | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|
| 0.0 - 10.0  | 11.60 ± 0.23            | 7.62 ± 0.09               | 1.94 ± 0.03              | 1.77 ± 0.05              | 0.91 ± 0.04 | 5.85 ± 0.14                                 |
| 10.0 - 20.0 | 12.10 ± 0.25            | 8.39 ± 0.10               | 2.11 ± 0.03              | 1.86 ± 0.04              | 0.88 ± 0.03 | 6.53 ± 0.14                                 |
| 20.0 - 30.0 | 11.10 ± 0.21            | 8.31 ± 0.09               | 1.97 ± 0.03              | 1.64 ± 0.05              | 0.83 ± 0.04 | 6.67 ± 0.14                                 |
| 30.0 - 39.0 | 12.50 ± 0.26            | 7.81 ± 0.10               | 1.84 ± 0.03              | 1.78 ± 0.04              | 0.97 ± 0.04 | 6.03 ± 0.14                                 |

Station C (GIK 23294-4)

Kastenlot

| Tiefe [cm]    | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] |
|---------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|
| 0.0 - 10.0    | 11.31 ± 0.39            | 7.60 ± 0.16               | 1.91 ± 0.03              | 1.76 ± 0.07              | 0.92 ± 0.05 | 5.84 ± 0.23                                 |
| 12.0 - 20.0   | 11.48 ± 0.31            | 8.37 ± 0.13               | 2.00 ± 0.03              | 1.92 ± 0.07              | 0.96 ± 0.05 | 6.45 ± 0.20                                 |
| 20.0 - 30.0   | 12.88 ± 0.36            | 8.75 ± 0.15               | 2.08 ± 0.04              | 1.81 ± 0.05              | 0.87 ± 0.04 | 6.94 ± 0.20                                 |
| 30.0 - 40.0   | 12.31 ± 0.42            | 7.27 ± 0.16               | 1.81 ± 0.05              | 1.54 ± 0.08              | 0.85 ± 0.07 | 5.73 ± 0.24                                 |
| 40.0 - 50.0   | 12.50 ± 0.23            | 6.89 ± 0.09               | 2.00 ± 0.04              | 1.82 ± 0.08              | 0.91 ± 0.06 | 5.07 ± 0.17                                 |
| 50.0 - 60.0   | 12.80 ± 0.25            | 6.96 ± 0.10               | 1.97 ± 0.03              | 1.81 ± 0.05              | 0.92 ± 0.04 | 5.15 ± 0.15                                 |
| 60.0 - 70.0   | 12.30 ± 0.24            | 4.49 ± 0.07               | 2.04 ± 0.03              | 1.61 ± 0.04              | 0.79 ± 0.03 | 2.88 ± 0.11                                 |
| 70.0 - 80.0   | 11.40 ± 0.26            | 3.01 ± 0.07               | 1.98 ± 0.03              | 1.74 ± 0.05              | 0.88 ± 0.04 | 1.27 ± 0.12                                 |
| 80.0 - 90.0   | 11.90 ± 0.27            | 4.03 ± 0.08               | 2.40 ± 0.03              | 2.11 ± 0.05              | 0.88 ± 0.03 | 1.92 ± 0.13                                 |
| 90.0 - 100.0  | 12.10 ± 0.48            | 7.15 ± 0.18               | 3.34 ± 0.04              | 3.31 ± 0.06              | 0.99 ± 0.03 | 3.84 ± 0.24                                 |
| 100.0 - 110.0 | 11.40 ± 0.45            | 4.56 ± 0.14               | 1.79 ± 0.02              | 1.90 ± 0.05              | 1.06 ± 0.04 | 2.66 ± 0.19                                 |
| 110.0 - 120.0 | 14.02 ± 0.46            | 4.06 ± 0.12               | 1.61 ± 0.03              | 1.37 ± 0.07              | 0.85 ± 0.06 | 2.69 ± 0.19                                 |
| 120.0 - 130.0 | 13.76 ± 0.38            | 3.96 ± 0.10               | 1.89 ± 0.05              | 1.59 ± 0.11              | 0.84 ± 0.08 | 2.37 ± 0.21                                 |
| 130.0 - 140.0 | 14.28 ± 0.42            | 3.51 ± 0.10               | 1.94 ± 0.04              | 1.80 ± 0.08              | 0.93 ± 0.06 | 1.71 ± 0.18                                 |
| 140.0 - 150.0 | 13.80 ± 0.36            | 3.96 ± 0.10               | 1.81 ± 0.02              | 1.57 ± 0.04              | 0.87 ± 0.03 | 2.39 ± 0.14                                 |
| 150.0 - 160.0 | 13.62 ± 0.27            | 3.30 ± 0.07               | 1.82 ± 0.03              | 1.69 ± 0.04              | 0.93 ± 0.04 | 1.61 ± 0.11                                 |
| 160.0 - 170.0 | 13.50 ± 0.26            | 3.56 ± 0.07               | 1.76 ± 0.03              | 1.65 ± 0.06              | 0.94 ± 0.05 | 1.91 ± 0.13                                 |
| 170.0 - 180.0 | 15.20 ± 0.37            | 3.97 ± 0.09               | 2.38 ± 0.06              | 2.38 ± 0.11              | 1.00 ± 0.07 | 1.59 ± 0.20                                 |
| 180.0 - 190.0 | 13.10 ± 0.38            | 3.84 ± 0.10               | 1.48 ± 0.05              | 1.76 ± 0.15              | 1.19 ± 0.14 | 2.08 ± 0.25                                 |
| 190.0 - 200.0 | 13.50 ± 0.23            | 4.00 ± 0.06               | 1.68 ± 0.03              | 1.71 ± 0.05              | 1.02 ± 0.05 | 2.29 ± 0.11                                 |
| 200.0 - 210.0 | 13.40 ± 0.30            | 4.68 ± 0.08               | 1.85 ± 0.03              | 1.68 ± 0.07              | 0.91 ± 0.05 | 3.00 ± 0.15                                 |
| 210.0 - 220.0 | 13.49 ± 0.24            | 3.26 ± 0.06               | 1.68 ± 0.03              | 1.53 ± 0.06              | 0.91 ± 0.05 | 1.73 ± 0.12                                 |
| 220.0 - 230.0 | 13.36 ± 0.27            | 3.48 ± 0.06               | 1.82 ± 0.02              | 1.38 ± 0.04              | 0.76 ± 0.03 | 2.10 ± 0.10                                 |
| 230.0 - 238.0 | 14.40 ± 0.46            | 2.87 ± 0.10               | 1.65 ± 0.03              | 1.35 ± 0.06              | 0.82 ± 0.05 | 1.52 ± 0.16                                 |
| 240.0 - 250.0 | 13.10 ± 0.38            | 2.55 ± 0.08               | 1.47 ± 0.03              | 1.62 ± 0.07              | 1.10 ± 0.07 | 0.93 ± 0.15                                 |
| 250.0 - 260.0 | 12.70 ± 0.37            | 4.01 ± 0.10               | 2.93 ± 0.05              | 3.08 ± 0.06              | 1.05 ± 0.04 | 0.93 ± 0.16                                 |
| 260.0 - 270.0 | 13.60 ± 0.38            | 2.86 ± 0.09               | 1.86 ± 0.04              | 1.93 ± 0.07              | 1.04 ± 0.06 | 0.93 ± 0.16                                 |
| 270.0 - 280.0 | 13.49 ± 0.36            | 3.84 ± 0.10               | 2.69 ± 0.04              | 2.53 ± 0.07              | 0.94 ± 0.04 | 1.31 ± 0.17                                 |
| 280.0 - 290.0 | 12.45 ± 0.39            | 4.72 ± 0.12               | 2.00 ± 0.04              | 2.20 ± 0.10              | 1.10 ± 0.07 | 2.52 ± 0.22                                 |
| 290.0 - 300.0 | 13.01 ± 0.30            | 5.11 ± 0.09               | 1.64 ± 0.05              | 1.98 ± 0.14              | 1.21 ± 0.12 | 3.13 ± 0.23                                 |
| 300.0 - 310.0 | 15.20 ± 0.33            | 4.06 ± 0.08               | 1.56 ± 0.04              | 1.39 ± 0.09              | 0.89 ± 0.08 | 2.67 ± 0.17                                 |
| 310.0 - 320.0 | 12.92 ± 0.35            | 3.98 ± 0.09               | 1.59 ± 0.03              | 1.46 ± 0.08              | 0.92 ± 0.07 | 2.52 ± 0.17                                 |
| 320.0 - 330.0 | 12.24 ± 0.42            | 4.99 ± 0.13               | 1.65 ± 0.03              | 1.55 ± 0.07              | 0.94 ± 0.06 | 3.44 ± 0.20                                 |
| 330.0 - 340.0 | 12.64 ± 0.34            | 4.73 ± 0.10               | 1.77 ± 0.03              | 1.42 ± 0.06              | 0.80 ± 0.05 | 3.31 ± 0.16                                 |
| 340.0 - 350.0 | 13.49 ± 0.31            | 2.76 ± 0.07               | 1.57 ± 0.03              | 0.20 ± 0.09              | 0.99 ± 0.06 | 1.21 ± 0.16                                 |
| 350.0 - 360.0 | 12.40 ± 0.39            | 3.41 ± 0.10               | 1.70 ± 0.03              | 1.58 ± 0.07              | 0.93 ± 0.06 | 1.83 ± 0.17                                 |
| 360.0 - 370.0 | 12.00 ± 0.38            | 3.51 ± 0.10               | 2.02 ± 0.03              | 1.64 ± 0.06              | 0.81 ± 0.04 | 1.87 ± 0.16                                 |
| 370.0 - 380.0 | 11.80 ± 0.35            | 3.68 ± 0.10               | 1.85 ± 0.03              | 1.55 ± 0.05              | 0.84 ± 0.04 | 2.13 ± 0.15                                 |
| 380.0 - 390.0 | 12.40 ± 0.31            | 2.98 ± 0.07               | 1.95 ± 0.03              | 1.93 ± 0.07              | 0.99 ± 0.05 | 1.05 ± 0.14                                 |
| 390.0 - 400.0 | 8.65 ± 0.23             | 2.55 ± 0.06               | 2.09 ± 0.03              | 1.90 ± 0.06              | 0.91 ± 0.04 | 0.65 ± 0.12                                 |
| 400.0 - 410.0 | 11.80 ± 0.31            | 2.95 ± 0.08               | 1.91 ± 0.03              | 1.70 ± 0.05              | 0.89 ± 0.04 | 1.25 ± 0.13                                 |
| 410.0 - 420.0 | 11.60 ± 0.33            | 3.78 ± 0.09               | 3.37 ± 0.07              | 3.47 ± 0.10              | 1.03 ± 0.05 | 1.03 ± 0.19(§)                              |
| 420.0 - 430.0 | 11.60 ± 0.33            | 5.07 ± 0.11               | 4.04 ± 0.07              | 4.65 ± 0.08              | 1.15 ± 0.04 | 1.69 ± 0.19(§)                              |
| 430.0 - 440.0 | 12.60 ± 0.30            | 3.57 ± 0.08               | 2.29 ± 0.03              | 2.29 ± 0.04              | 1.00 ± 0.03 | 1.46 ± 0.12(§)                              |
| 440.0 - 450.0 | 13.00 ± 0.26            | 2.76 ± 0.06               | 1.80 ± 0.02              | 1.57 ± 0.04              | 0.87 ± 0.03 | 1.19 ± 0.10                                 |
| 450.0 - 460.0 | 10.80 ± 0.22            | 2.67 ± 0.05               | 1.74 ± 0.02              | 1.55 ± 0.05              | 0.89 ± 0.04 | 1.12 ± 0.10                                 |
| 460.0 - 470.0 | 10.80 ± 0.25            | 3.10 ± 0.07               | 2.02 ± 0.03              | 1.80 ± 0.03              | 0.89 ± 0.03 | 1.30 ± 0.10                                 |
| 470.0 - 480.0 | 11.40 ± 0.25            | 3.38 ± 0.07               | 1.72 ± 0.03              | 1.63 ± 0.06              | 0.95 ± 0.05 | 1.75 ± 0.13                                 |
| 480.0 - 490.0 | 11.40 ± 0.26            | 4.10 ± 0.08               | 1.95 ± 0.03              | 1.97 ± 0.07              | 1.01 ± 0.05 | 2.13 ± 0.15                                 |
| 490.0 - 500.0 | 12.20 ± 0.30            | 4.52 ± 0.09               | 1.93 ± 0.03              | 1.76 ± 0.05              | 0.91 ± 0.04 | 2.76 ± 0.14                                 |
| 500.0 - 510.0 | 14.50 ± 0.30            | 3.26 ± 0.07               | 1.78 ± 0.03              | 1.57 ± 0.04              | 0.88 ± 0.04 | 1.69 ± 0.11                                 |
| 510.0 - 520.0 | 13.30 ± 0.27            | 4.91 ± 0.08               | 1.79 ± 0.03              | 1.68 ± 0.04              | 0.94 ± 0.04 | 3.23 ± 0.12                                 |
| 520.0 - 530.0 | 11.80 ± 0.33            | 5.88 ± 0.12               | 1.74 ± 0.04              | 1.69 ± 0.08              | 0.97 ± 0.07 | 4.19 ± 0.20                                 |
| 530.0 - 540.0 | 13.60 ± 0.36            | 4.47 ± 0.10               | 1.99 ± 0.03              | 1.83 ± 0.07              | 0.92 ± 0.05 | 2.64 ± 0.17                                 |
| 540.0 - 550.0 | 12.60 ± 0.35            | 5.41 ± 0.11               | 1.97 ± 0.03              | 1.65 ± 0.05              | 0.84 ± 0.04 | 3.76 ± 0.16                                 |
| 550.0 - 560.0 | 12.80 ± 0.35            | 3.46 ± 0.09               | 1.89 ± 0.03              | 1.74 ± 0.07              | 0.92 ± 0.05 | 1.72 ± 0.16                                 |
| 560.0 - 570.0 | 14.60 ± 0.39            | 3.30 ± 0.09               | 1.83 ± 0.03              | 1.56 ± 0.07              | 0.85 ± 0.05 | 1.74 ± 0.16                                 |
| 570.0 - 580.0 | 15.20 ± 0.34            | 5.86 ± 0.10               | 1.96 ± 0.03              | 1.86 ± 0.05              | 0.95 ± 0.04 | 4.00 ± 0.15                                 |
| 580.0 - 590.0 | 15.60 ± 0.56            | 7.11 ± 0.19               | 2.43 ± 0.07              | 2.26 ± 0.11              | 0.93 ± 0.07 | 4.85 ± 0.30                                 |
| 590.0 - 600.0 | 14.20 ± 0.39            | 3.44 ± 0.09               | 2.77 ± 0.05              | 2.27 ± 0.07              | 0.82 ± 0.04 | 1.17 ± 0.16                                 |
| 600.0 - 610.0 | 14.20 ± 0.42            | 6.54 ± 0.14               | 2.42 ± 0.04              | 2.25 ± 0.06              | 0.93 ± 0.04 | 4.29 ± 0.20                                 |
| 610.0 - 620.0 | 12.10 ± 0.25            | 5.15 ± 0.08               | 1.93 ± 0.05              | 1.51 ± 0.08              | 0.78 ± 0.06 | 3.64 ± 0.16                                 |
| 620.0 - 630.0 | 11.00 ± 0.33            | 3.97 ± 0.10               | 2.02 ± 0.05              | 1.41 ± 0.09              | 0.70 ± 0.06 | 2.56 ± 0.19                                 |
| 630.0 - 640.0 | 13.70 ± 0.30            | 3.54 ± 0.08               | 1.96 ± 0.06              | 1.76 ± 0.12              | 0.90 ± 0.09 | 1.78 ± 0.20                                 |
| 640.0 - 650.0 | 12.20 ± 0.22            | 2.90 ± 0.05               | 1.90 ± 0.03              | 1.48 ± 0.03              | 0.78 ± 0.03 | 1.42 ± 0.08                                 |
| 650.0 - 660.0 | 13.60 ± 0.28            | 2.43 ± 0.06               | 1.73 ± 0.02              | 1.66 ± 0.05              | 0.96 ± 0.04 | 0.77 ± 0.11                                 |
| 660.0 - 670.0 | 11.50 ± 0.23            | 1.92 ± 0.05               | 1.72 ± 0.03              | 1.44 ± 0.06              | 0.84 ± 0.05 | 0.48 ± 0.11                                 |
| 670.0 - 680.0 | 14.20 ± 0.31            | 1.98 ± 0.06               | 1.68 ± 0.02              | 1.55 ± 0.05              | 0.92 ± 0.04 | 0.43 ± 0.11                                 |

Tabelle A-10 Radionuklide (Fortsetzung)

Station C (GIK 23294-4)

Kastenlot

| Tiefe<br>[cm] | $^{232}\text{Th}$<br>[ppm] | $^{230}\text{Th}$<br>[dpm/g] | $^{238}\text{U}$<br>[dpm/g] | $^{234}\text{U}$<br>[dpm/g] | AU          | $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ (#)<br>[dpm/g] |
|---------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| 680.0 - 690.0 | 15.30 ± 0.37               | 2.18 ± 0.07                  | 1.62 ± 0.02                 | 1.41 ± 0.05                 | 0.87 ± 0.04 | 0.77 ± 0.12                                  |
| 690.0 - 700.0 | 13.30 ± 0.33               | 2.18 ± 0.07                  | 1.77 ± 0.03                 | 1.73 ± 0.06                 | 0.98 ± 0.05 | 0.45 ± 0.13                                  |
| 700.0 - 710.0 | 17.50 ± 0.48               | 2.11 ± 0.08                  | 2.40 ± 0.04                 | 2.21 ± 0.06                 | 0.92 ± 0.04 | -0.10 ± 0.14                                 |
| 710.0 - 720.0 | 18.40 ± 0.43               | 2.20 ± 0.07                  | 2.25 ± 0.04                 | 1.98 ± 0.05                 | 0.88 ± 0.04 | 0.22 ± 0.12                                  |
| 720.0 - 730.0 | 16.90 ± 0.38               | 2.46 ± 0.07                  | 3.08 ± 0.05                 | 2.74 ± 0.08                 | 0.89 ± 0.04 | -0.28 ± 0.15                                 |
| 730.0 - 740.0 | 12.50 ± 0.35               | 2.83 ± 0.08                  | 3.01 ± 0.06                 | 3.34 ± 0.08                 | 1.11 ± 0.05 | -0.15 ± 0.16(\$)                             |
| 740.0 - 750.0 | 12.80 ± 0.36               | 3.27 ± 0.09                  | 3.26 ± 0.04                 | 3.55 ± 0.05                 | 1.09 ± 0.03 | 0.14 ± 0.14(\$)                              |
| 750.0 - 760.0 | 16.10 ± 0.50               | 3.30 ± 0.11                  | 3.10 ± 0.04                 | 3.35 ± 0.05                 | 1.08 ± 0.03 | 0.32 ± 0.16(\$)                              |
| 760.0 - 770.0 | 14.00 ± 0.30               | 3.28 ± 0.07                  | 2.63 ± 0.04                 | 2.92 ± 0.06                 | 1.11 ± 0.04 | 0.62 ± 0.13(\$)                              |
| 770.0 - 780.0 | 13.10 ± 0.34               | 3.45 ± 0.09                  | 2.21 ± 0.03                 | 2.19 ± 0.06                 | 0.99 ± 0.04 | 1.26 ± 0.15                                  |
| 780.0 - 790.0 | 13.30 ± 0.31               | 2.71 ± 0.07                  | 1.87 ± 0.02                 | 1.70 ± 0.06                 | 0.91 ± 0.04 | 1.01 ± 0.13                                  |
| 790.0 - 800.0 | 12.80 ± 0.31               | 2.44 ± 0.07                  | 1.94 ± 0.03                 | 1.49 ± 0.05                 | 0.77 ± 0.04 | 0.95 ± 0.12                                  |
| 800.0 - 810.0 | 11.50 ± 0.37               | 2.15 ± 0.08                  | 1.63 ± 0.03                 | 1.43 ± 0.06                 | 0.88 ± 0.05 | 0.72 ± 0.14                                  |
| 810.0 - 817.0 | 14.10 ± 0.39               | 2.82 ± 0.09                  | 1.67 ± 0.03                 | 1.52 ± 0.07                 | 0.91 ± 0.06 | 1.30 ± 0.16                                  |

(#): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$

(\$): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} * (1 - e^{-j*t})$

Tabelle A-11 Radionuklide: Station D (GIK 23259-3)

| Kolbenlot     |         | GIK 23259-3                |                              |                             |                             |             |  |
|---------------|---------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| Tiefe<br>[cm] |         | <sup>232</sup> Th<br>[ppm] | <sup>230</sup> Th<br>[dpm/g] | <sup>238</sup> U<br>[dpm/g] | <sup>234</sup> U<br>[dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#)<br>[dpm/g] |
| 0.0           | - 10.0  | 7.13 ± 0.26                | 5.87 ± 0.12                  | 1.29 ± 0.02                 | 1.16 ± 0.06                 | 0.90 ± 0.06 | 4.71 ± 0.18                                    |
| 10.0          | - 20.0  | 9.94 ± 0.43                | 5.69 ± 0.16                  | 1.52 ± 0.03                 | 1.37 ± 0.06                 | 0.90 ± 0.06 | 4.32 ± 0.22                                    |
| 20.0          | - 30.0  | 10.70 ± 0.37               | 5.39 ± 0.13                  | 1.71 ± 0.04                 | 1.49 ± 0.07                 | 0.87 ± 0.06 | 3.90 ± 0.20                                    |
| 30.0          | - 40.0  | 10.40 ± 0.40               | 5.70 ± 0.15                  | 1.48 ± 0.03                 | 1.60 ± 0.07                 | 1.08 ± 0.07 | 4.10 ± 0.22                                    |
| 40.0          | - 50.0  | 10.20 ± 0.33               | 4.44 ± 0.11                  | 1.59 ± 0.04                 | 1.54 ± 0.09                 | 0.97 ± 0.08 | 2.90 ± 0.20                                    |
| 50.0          | - 60.0  | 9.79 ± 0.34                | 4.38 ± 0.11                  | 1.75 ± 0.03                 | 1.47 ± 0.06                 | 0.84 ± 0.05 | 2.91 ± 0.17                                    |
| 60.0          | - 70.0  | 12.40 ± 0.42               | 3.74 ± 0.11                  | 2.44 ± 0.04                 | 2.37 ± 0.06                 | 0.97 ± 0.04 | 1.37 ± 0.17                                    |
| 70.0          | - 80.0  | 11.50 ± 0.39               | 4.04 ± 0.12                  | 2.98 ± 0.05                 | 2.98 ± 0.07                 | 1.00 ± 0.04 | 1.06 ± 0.19                                    |
| 80.0          | - 90.0  | 11.20 ± 0.33               | 4.19 ± 0.10                  | 2.75 ± 0.05                 | 2.78 ± 0.09                 | 1.01 ± 0.05 | 1.41 ± 0.19                                    |
| 90.0          | - 100.0 | 13.00 ± 0.37               | 4.17 ± 0.10                  | 2.15 ± 0.04                 | 2.06 ± 0.07                 | 0.96 ± 0.05 | 2.11 ± 0.17                                    |
| 100.0         | - 110.0 | 12.40 ± 0.32               | 3.68 ± 0.09                  | 1.83 ± 0.03                 | 1.61 ± 0.07                 | 0.88 ± 0.05 | 2.07 ± 0.16                                    |
| 110.0         | - 120.0 | 12.10 ± 0.33               | 3.88 ± 0.09                  | 1.82 ± 0.03                 | 1.82 ± 0.06                 | 1.00 ± 0.05 | 2.06 ± 0.15                                    |
| 120.0         | - 130.0 | 11.30 ± 0.31               | 3.25 ± 0.08                  | 2.39 ± 0.03                 | 2.34 ± 0.07                 | 0.98 ± 0.04 | 0.91 ± 0.15                                    |
| 130.0         | - 140.0 | 12.50 ± 0.35               | 3.05 ± 0.09                  | 1.73 ± 0.04                 | 1.75 ± 0.08                 | 1.01 ± 0.07 | 1.30 ± 0.17                                    |
| 140.0         | - 150.0 | 13.20 ± 0.34               | 2.91 ± 0.08                  | 1.88 ± 0.03                 | 1.73 ± 0.07                 | 0.92 ± 0.05 | 1.18 ± 0.15                                    |
| 150.0         | - 160.0 |                            |                              | 2.17 ± 0.04                 | 2.06 ± 0.07                 | 0.95 ± 0.05 |  |
| 160.0         | - 170.0 | 12.00 ± 0.31               | 3.04 ± 0.08                  | 1.89 ± 0.03                 | 1.63 ± 0.07                 | 0.86 ± 0.05 | 1.41 ± 0.15                                    |
| 170.0         | - 180.0 | 12.10 ± 0.30               | 2.72 ± 0.07                  | 2.02 ± 0.03                 | 1.84 ± 0.05                 | 0.91 ± 0.04 | 0.88 ± 0.12                                    |
| 180.0         | - 190.0 | 12.90 ± 0.30               | 3.38 ± 0.08                  | 2.19 ± 0.03                 | 1.88 ± 0.06                 | 0.86 ± 0.04 | 1.50 ± 0.14                                    |
| 190.0         | - 200.0 | 13.80 ± 0.33               | 3.33 ± 0.08                  | 2.23 ± 0.04                 | 2.01 ± 0.05                 | 0.90 ± 0.04 | 1.32 ± 0.13                                    |
| 200.0         | - 210.0 | 12.50 ± 0.38               | 3.43 ± 0.10                  | 1.92 ± 0.03                 | 1.80 ± 0.07                 | 0.94 ± 0.05 | 1.63 ± 0.17                                    |
| 210.0         | - 220.0 | 12.50 ± 0.35               | 3.09 ± 0.09                  | 2.08 ± 0.04                 | 1.79 ± 0.07                 | 0.86 ± 0.05 | 1.30 ± 0.16                                    |
| 220.0         | - 230.0 | 13.50 ± 0.43               | 3.44 ± 0.11                  | 1.98 ± 0.05                 | 1.47 ± 0.08                 | 0.74 ± 0.06 | 1.97 ± 0.19                                    |
| 230.0         | - 237.0 | 14.70 ± 0.46               | 4.01 ± 0.12                  | 1.87 ± 0.04                 | 1.85 ± 0.07                 | 0.99 ± 0.06 | 2.16 ± 0.19                                    |
| 237.0         | - 247.0 | 13.80 ± 0.43               | 3.79 ± 0.11                  | 1.95 ± 0.03                 | 1.79 ± 0.09                 | 0.92 ± 0.06 | 2.00 ± 0.20                                    |
| 247.0         | - 257.0 | 13.10 ± 0.32               | 3.16 ± 0.08                  | 1.88 ± 0.04                 | 1.64 ± 0.06                 | 0.87 ± 0.05 | 1.52 ± 0.14                                    |
| 257.0         | - 267.0 | 13.40 ± 0.45               | 3.46 ± 0.11                  | 1.96 ± 0.04                 | 1.90 ± 0.08                 | 0.97 ± 0.06 | 1.56 ± 0.19                                    |
| 267.0         | - 277.0 | 12.20 ± 0.39               | 3.04 ± 0.10                  | 1.62 ± 0.03                 | 1.70 ± 0.08                 | 1.05 ± 0.07 | 1.34 ± 0.18                                    |
| 277.0         | - 287.0 | 13.40 ± 0.61               | 3.79 ± 0.16                  | 1.89 ± 0.04                 | 1.78 ± 0.08                 | 0.94 ± 0.06 | 2.01 ± 0.24                                    |
| 287.0         | - 297.0 | 13.50 ± 0.57               | 3.80 ± 0.15                  | 1.97 ± 0.06                 | 1.52 ± 0.11                 | 0.77 ± 0.08 | 2.28 ± 0.26                                    |
| 297.0         | - 307.0 | 14.70 ± 0.73               | 4.17 ± 0.19                  | 2.06 ± 0.04                 | 1.96 ± 0.07                 | 0.95 ± 0.05 | 2.21 ± 0.26                                    |
| 307.0         | - 317.0 | 16.90 ± 0.80               | 4.55 ± 0.21                  | 2.01 ± 0.04                 | 1.81 ± 0.06                 | 0.90 ± 0.05 | 2.74 ± 0.27                                    |
| 317.0         | - 327.0 | 10.20 ± 0.37               | 3.24 ± 0.10                  | 1.69 ± 0.03                 | 1.47 ± 0.08                 | 0.87 ± 0.06 | 1.77 ± 0.18                                    |
| 327.0         | - 337.0 | 9.93 ± 0.36                | 3.11 ± 0.10                  | 1.69 ± 0.04                 | 1.59 ± 0.08                 | 0.94 ± 0.07 | 1.52 ± 0.18                                    |
| 337.0         | - 347.0 | 10.30 ± 0.30               | 3.13 ± 0.08                  | 1.66 ± 0.03                 | 1.46 ± 0.07                 | 0.88 ± 0.06 | 1.67 ± 0.15                                    |
| 347.0         | - 357.0 | 9.68 ± 0.34                | 2.60 ± 0.09                  | 1.43 ± 0.03                 | 1.26 ± 0.06                 | 0.88 ± 0.06 | 1.34 ± 0.15                                    |
| 357.0         | - 367.0 | 11.10 ± 0.23               | 3.09 ± 0.06                  | 1.85 ± 0.03                 | 1.44 ± 0.05                 | 0.78 ± 0.04 | 1.65 ± 0.11                                    |
| 367.0         | - 377.0 | 10.80 ± 0.24               | 3.01 ± 0.06                  | 1.64 ± 0.03                 | 1.53 ± 0.05                 | 0.93 ± 0.05 | 1.48 ± 0.11                                    |
| 377.0         | - 387.0 | 11.20 ± 0.26               | 2.72 ± 0.06                  | 1.75 ± 0.03                 | 1.52 ± 0.08                 | 0.87 ± 0.06 | 1.20 ± 0.14                                    |
| 387.0         | - 397.0 | 9.54 ± 0.24                | 1.75 ± 0.05                  | 1.91 ± 0.04                 | 1.57 ± 0.06                 | 0.82 ± 0.05 | 0.18 ± 0.11                                    |
| 397.0         | - 407.0 | 10.90 ± 0.34               | 3.18 ± 0.09                  | 1.94 ± 0.04                 | 2.31 ± 0.09                 | 1.19 ± 0.07 | 0.87 ± 0.18                                    |
| 407.0         | - 417.0 | 10.10 ± 0.31               | 2.84 ± 0.08                  | 1.50 ± 0.04                 | 1.43 ± 0.08                 | 0.95 ± 0.08 | 1.42 ± 0.16                                    |
| 417.0         | - 427.0 | 9.81 ± 0.30                | 2.87 ± 0.08                  | 1.12 ± 0.03                 | 1.00 ± 0.06                 | 0.89 ± 0.08 | 1.87 ± 0.14                                    |
| 427.0         | - 437.0 | 9.45 ± 0.33                | 3.04 ± 0.09                  | 1.43 ± 0.03                 | 1.50 ± 0.05                 | 1.05 ± 0.06 | 1.54 ± 0.14                                    |
| 437.0         | - 447.0 | 9.48 ± 0.33                | 3.20 ± 0.09                  | 1.46 ± 0.02                 | 1.43 ± 0.05                 | 0.98 ± 0.05 | 1.77 ± 0.14                                    |
| 447.0         | - 457.0 | 8.94 ± 0.28                | 2.91 ± 0.08                  | 1.55 ± 0.03                 | 1.43 ± 0.07                 | 0.92 ± 0.06 | 1.48 ± 0.15                                    |
| 457.0         | - 467.0 | 9.24 ± 0.29                | 3.24 ± 0.08                  | 1.67 ± 0.04                 | 1.20 ± 0.07                 | 0.72 ± 0.06 | 2.04 ± 0.15                                    |
| 467.0         | - 477.0 | 10.60 ± 0.23               | 3.18 ± 0.06                  | 1.49 ± 0.02                 | 1.39 ± 0.06                 | 0.93 ± 0.05 | 1.79 ± 0.12                                    |
| 477.0         | - 487.0 | 10.10 ± 0.33               | 2.80 ± 0.09                  | 1.66 ± 0.03                 | 1.31 ± 0.06                 | 0.79 ± 0.05 | 1.49 ± 0.15                                    |
| 487.0         | - 497.0 | 9.18 ± 0.33                | 3.09 ± 0.09                  | 1.59 ± 0.04                 | 1.13 ± 0.08                 | 0.71 ± 0.07 | 1.96 ± 0.17                                    |
| 497.0         | - 507.0 | 9.25 ± 0.35                | 2.92 ± 0.10                  | 1.39 ± 0.03                 | 1.39 ± 0.08                 | 1.00 ± 0.08 | 1.53 ± 0.18                                    |
| 507.0         | - 517.0 | 10.90 ± 0.20               | 2.61 ± 0.05                  | 1.69 ± 0.02                 | 1.52 ± 0.05                 | 0.90 ± 0.04 | 1.09 ± 0.10                                    |
| 517.0         | - 527.0 | 11.50 ± 0.20               | 2.90 ± 0.05                  | 1.85 ± 0.03                 | 1.65 ± 0.05                 | 0.89 ± 0.04 | 1.25 ± 0.10                                    |
| 527.0         | - 537.0 | 10.90 ± 0.21               | 2.52 ± 0.05                  | 1.91 ± 0.03                 | 1.72 ± 0.05                 | 0.90 ± 0.04 | 0.80 ± 0.10                                    |
| 537.0         | - 547.0 | 11.10 ± 0.22               | 2.02 ± 0.05                  | 1.70 ± 0.03                 | 1.43 ± 0.06                 | 0.84 ± 0.05 | 0.59 ± 0.11                                    |
| 547.0         | - 557.0 | 11.10 ± 0.32               | 1.91 ± 0.07                  | 2.28 ± 0.04                 | 1.82 ± 0.06                 | 0.80 ± 0.04 | 0.09 ± 0.13                                    |
| 557.0         | - 567.0 | 11.40 ± 0.29               | 2.69 ± 0.07                  | 1.92 ± 0.03                 | 1.80 ± 0.07                 | 0.94 ± 0.05 | 0.89 ± 0.14                                    |
| 567.0         | - 577.0 | 12.00 ± 0.31               | 1.90 ± 0.06                  | 2.30 ± 0.05                 | 1.86 ± 0.07                 | 0.81 ± 0.05 | 0.04 ± 0.13                                    |
| 577.0         | - 587.0 | 12.40 ± 0.37               | 2.02 ± 0.07                  | 2.83 ± 0.05                 | 2.83 ± 0.09                 | 1.00 ± 0.05 | -0.81 ± 0.16                                   |
| 587.0         | - 597.0 | 11.10 ± 0.27               | 1.93 ± 0.06                  | 2.17 ± 0.04                 | 1.93 ± 0.07                 | 0.89 ± 0.05 | 0.00 ± 0.13                                    |
| 597.0         | - 607.0 | 10.60 ± 0.32               | 1.74 ± 0.06                  | 2.00 ± 0.04                 | 1.70 ± 0.07                 | 0.85 ± 0.05 | 0.04 ± 0.13                                    |
| 607.0         | - 617.0 | 10.30 ± 0.28               | 1.97 ± 0.06                  | 2.14 ± 0.05                 | 2.10 ± 0.08                 | 0.98 ± 0.06 | -0.13 ± 0.14                                   |
| 617.0         | - 627.0 | 12.30 ± 0.25               | 2.34 ± 0.05                  | 2.24 ± 0.04                 | 2.08 ± 0.07                 | 0.93 ± 0.05 | 0.26 ± 0.12                                    |
| 627.0         | - 637.0 | 14.90 ± 0.33               | 2.47 ± 0.07                  | 2.11 ± 0.04                 | 2.03 ± 0.07                 | 0.96 ± 0.05 | 0.44 ± 0.14                                    |
| 637.0         | - 647.0 | 12.40 ± 0.24               | 2.39 ± 0.05                  | 2.10 ± 0.04                 | 1.95 ± 0.07                 | 0.93 ± 0.05 | 0.44 ± 0.12                                    |
| 647.0         | - 657.0 | 11.00 ± 0.31               | 1.61 ± 0.06                  | 1.76 ± 0.04                 | 1.50 ± 0.07                 | 0.85 ± 0.06 | 0.11 ± 0.13                                    |
| 657.0         | - 667.0 | 8.96 ± 0.27                | 1.73 ± 0.06                  | 1.81 ± 0.03                 | 1.68 ± 0.08                 | 0.93 ± 0.06 | 0.05 ± 0.14                                    |
| 667.0         | - 677.0 | 9.27 ± 0.26                | 1.72 ± 0.06                  | 2.19 ± 0.03                 | 2.50 ± 0.08                 | 1.14 ± 0.05 | -0.57 ± 0.14(§)                                |
| 677.0         | - 687.0 | 9.75 ± 0.27                | 1.78 ± 0.06                  | 1.83 ± 0.03                 | 1.61 ± 0.07                 | 0.88 ± 0.05 | 0.17 ± 0.13                                    |
| 687.0         | - 697.0 | 9.99 ± 0.25                | 1.78 ± 0.05                  | 2.58 ± 0.04                 | 3.07 ± 0.08                 | 1.19 ± 0.05 | -0.91 ± 0.13(§)                                |
| 697.0         | - 707.0 | 9.63 ± 0.27                | 1.65 ± 0.06                  | 2.31 ± 0.05                 | 3.47 ± 0.11                 | 1.50 ± 0.08 | -1.33 ± 0.17(§)                                |
| 707.0         | - 717.0 | 8.39 ± 0.12                | 1.52 ± 0.03                  | 1.81 ± 0.02                 | 1.79 ± 0.05                 | 0.99 ± 0.04 | -0.27 ± 0.08(§)                                |
| 717.0         | - 721.0 | 9.18 ± 0.13                | 1.73 ± 0.03                  | 1.84 ± 0.02                 | 1.67 ± 0.04                 | 0.91 ± 0.03 | 0.06 ± 0.07                                    |

(#): berechnet nach

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$$

(§): berechnet nach

$$^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} * (1 - e^{-(j*t)})$$

Tabelle A-12 Radionuklide, CaCO<sub>3</sub>

Station E (GIK 23059-2)

Großkastengreifer

| Tiefe [cm]  | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] | CaCO <sub>3</sub> [Gew%] |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|--------------------------|
| 0.0 - 2.0   | 5.08 ± 0.50             | 5.31 ± 0.25               | 0.62 ± 0.01              | 0.68 ± 0.06              | 1.09 ± 0.11 | 4.63 ± 0.31                                 |                          |
| 1.0 - 11.0  | 6.15 ± 0.19             | 5.53 ± 0.09               | 0.94 ± 0.01              | 0.96 ± 0.03              | 1.02 ± 0.04 | 4.57 ± 0.12                                 | 48.4                     |
| 11.0 - 21.0 | 8.66 ± 0.31             | 4.57 ± 0.11               | 1.57 ± 0.03              | 1.44 ± 0.05              | 0.92 ± 0.05 | 3.13 ± 0.16                                 | 17.4                     |
| 21.0 - 31.0 | 11.40 ± 0.32            | 5.78 ± 0.11               | 1.87 ± 0.03              | 1.68 ± 0.05              | 0.90 ± 0.04 | 4.10 ± 0.16                                 | 9.6                      |
| 31.0 - 41.0 | 12.20 ± 0.47            | 5.31 ± 0.15               | 1.84 ± 0.02              | 1.71 ± 0.04              | 0.93 ± 0.03 | 3.60 ± 0.19                                 | 10.4                     |

Station E (GIK 23059-3)

Kastenlot

| Tiefe(*) [cm] | <sup>232</sup> Th [ppm] | <sup>230</sup> Th [dpm/g] | <sup>238</sup> U [dpm/g] | <sup>234</sup> U [dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#) [dpm/g] | CaCO <sub>3</sub> [Gew%] |
|---------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---|--------------------------|
| 8.5 - 11.0    | 5.96 ± 0.39             | 4.67 ± 0.17               | 1.06 ± 0.01              | 0.88 ± 0.04              | 0.83 ± 0.05 | 3.79 ± 0.21                                 |                          |
| 11.0 - 21.0   | 8.64 ± 0.20             | 3.87 ± 0.07               | 1.46 ± 0.01              | 1.42 ± 0.03              | 0.97 ± 0.03 | 2.45 ± 0.10                                 |                          |
| 21.0 - 31.0   | 11.00 ± 0.21            | 5.78 ± 0.07               | 1.86 ± 0.02              | 1.80 ± 0.04              | 0.97 ± 0.03 | 3.98 ± 0.11                                 |                          |
| 31.0 - 36.0   | 13.20 ± 0.30            | 5.89 ± 0.10               | 1.93 ± 0.02              | 1.83 ± 0.06              | 0.95 ± 0.04 | 4.06 ± 0.16                                 |                          |
| 36.5 - 43.5   | 12.40 ± 0.52            | 5.52 ± 0.17               | 1.84 ± 0.04              | 1.66 ± 0.07              | 0.90 ± 0.06 | 3.86 ± 0.24                                 |                          |
| 47.0 - 57.0   | 12.40 ± 0.21            | 3.46 ± 0.06               | 1.93 ± 0.02              | 1.83 ± 0.04              | 0.95 ± 0.03 | 1.63 ± 0.10                                 | 8.7                      |
| 57.0 - 67.0   | 9.95 ± 0.20             | 3.43 ± 0.06               | 1.64 ± 0.02              | 1.51 ± 0.03              | 0.92 ± 0.03 | 1.92 ± 0.09                                 | 7.1                      |
| 67.0 - 74.5   | 8.92 ± 0.28             | 3.15 ± 0.08               | 1.66 ± 0.02              | 1.43 ± 0.03              | 0.86 ± 0.03 | 1.72 ± 0.11                                 | 6.2                      |
| 74.5 - 84.5   | 10.10 ± 0.21            | 3.91 ± 0.06               | 1.69 ± 0.02              | 1.64 ± 0.03              | 0.97 ± 0.03 | 2.27 ± 0.09                                 | 6.1                      |
| 84.5 - 94.5   | 9.18 ± 0.35             | 3.18 ± 0.10               | 1.60 ± 0.04              | 1.62 ± 0.10              | 1.01 ± 0.09 | 1.56 ± 0.20                                 | 6.8                      |
| 94.5 - 102.0  | 8.87 ± 0.19             | 3.07 ± 0.06               | 1.57 ± 0.02              | 1.37 ± 0.05              | 0.87 ± 0.04 | 1.70 ± 0.11                                 |                          |
| 102.0 - 112.0 | 8.10 ± 0.20             | 3.60 ± 0.06               | 1.43 ± 0.02              | 1.33 ± 0.04              | 0.93 ± 0.04 | 2.27 ± 0.10                                 | 5.7                      |
| 112.0 - 122.0 | 8.47 ± 0.13             | 3.05 ± 0.04               | 1.55 ± 0.02              | 1.53 ± 0.06              | 0.99 ± 0.05 | 1.52 ± 0.10                                 | 5.5                      |
| 122.0 - 129.5 | 8.91 ± 0.18             | 3.83 ± 0.06               | 1.59 ± 0.04              | 1.76 ± 0.10              | 1.11 ± 0.09 | 2.07 ± 0.16                                 |                          |
| 129.5 - 139.5 | 9.38 ± 0.19             | 3.46 ± 0.06               | 1.80 ± 0.03              | 1.39 ± 0.05              | 0.77 ± 0.04 | 2.07 ± 0.11                                 | 7.4                      |
| 139.5 - 149.5 | 8.65 ± 0.19             | 3.85 ± 0.06               | 1.48 ± 0.03              | 1.32 ± 0.08              | 0.89 ± 0.07 | 2.53 ± 0.14                                 | 11.8                     |
| 149.5 - 157.0 | 8.59 ± 0.40             | 4.07 ± 0.14               | 1.41 ± 0.02              | 1.40 ± 0.06              | 0.99 ± 0.06 | 2.67 ± 0.20                                 | 21.0                     |
| 157.0 - 167.0 | 7.48 ± 0.19             | 3.12 ± 0.06               | 1.16 ± 0.03              | 1.33 ± 0.08              | 1.15 ± 0.10 | 1.79 ± 0.14                                 | 19.5                     |
| 167.0 - 177.0 | 7.29 ± 0.17             | 3.87 ± 0.06               | 1.57 ± 0.03              | 1.54 ± 0.06              | 0.98 ± 0.06 | 2.33 ± 0.12                                 | 15.2                     |
| 177.0 - 184.5 | 9.15 ± 0.40             | 4.30 ± 0.14               | 1.56 ± 0.04              | 1.34 ± 0.09              | 0.86 ± 0.08 | 2.96 ± 0.23                                 | 15.4                     |
| 184.5 - 189.5 | 9.40 ± 0.52             | 4.54 ± 0.18               |                          |                          |             | 3.24 ± 0.27                                 | 18.9                     |
| 184.5 - 194.5 | 10.70 ± 0.36            | 4.93 ± 0.12               | 1.35 ± 0.03              | 1.30 ± 0.09              | 0.96 ± 0.09 | 3.63 ± 0.21                                 | 21.3                     |
| 189.5 - 194.5 | 8.66 ± 0.35             | 4.30 ± 0.12               |                          |                          |             | 3.00 ± 0.21                                 | 18.9                     |
| 194.5 - 199.5 | 9.03 ± 0.37             | 4.01 ± 0.12               |                          |                          |             | 2.78 ± 0.20                                 | 24.0                     |
| 194.5 - 204.5 | 7.47 ± 0.28             | 3.15 ± 0.09               | 1.34 ± 0.03              | 1.23 ± 0.08              | 0.92 ± 0.08 | 1.92 ± 0.17                                 | 32.1                     |
| 199.5 - 204.5 | 7.43 ± 0.30             | 2.68 ± 0.09               |                          |                          |             | 1.45 ± 0.17                                 | 43.2                     |
| 204.5 - 209.5 | 9.60 ± 0.32             | 2.94 ± 0.09               |                          |                          |             | 1.41 ± 0.17                                 | 10.5                     |
| 204.5 - 212.0 | 9.29 ± 0.26             | 2.21 ± 0.06               | 1.72 ± 0.06              | 1.53 ± 0.08              | 0.89 ± 0.08 | 0.68 ± 0.14                                 | 6.6                      |
| 209.5 - 214.5 | 39.90 ± 0.86            | 3.15 ± 0.12               | 2.39 ± 0.05              | 2.08 ± 0.08              | 0.87 ± 0.05 | 1.07 ± 0.20                                 |                          |
| 212.0 - 222.0 | 10.20 ± 0.50            | 2.29 ± 0.12               | 1.82 ± 0.05              | 1.71 ± 0.10              | 0.94 ± 0.08 | 0.58 ± 0.22                                 | 7.8                      |
| 214.5 - 219.5 | 11.50 ± 0.43            | 2.50 ± 0.10               | 1.72 ± 0.04              | 1.46 ± 0.09              | 0.85 ± 0.07 | 1.04 ± 0.19                                 |                          |
| 219.5 - 224.5 | 9.65 ± 0.39             | 1.87 ± 0.08               | 1.79 ± 0.03              | 1.68 ± 0.06              | 0.94 ± 0.05 | 0.19 ± 0.14                                 |                          |
| 222.0 - 232.0 | 11.30 ± 0.30            | 2.55 ± 0.07               | 1.94 ± 0.09              | 1.77 ± 0.17              | 0.91 ± 0.13 | 0.78 ± 0.24                                 | 4.0                      |
| 232.0 - 239.5 | 11.70 ± 0.29            | 2.49 ± 0.07               | 2.32 ± 0.04              | 2.06 ± 0.06              | 0.89 ± 0.04 | 0.43 ± 0.13                                 | 5.2                      |
| 239.5 - 249.5 | 10.60 ± 0.18            | 2.50 ± 0.04               | 1.91 ± 0.04              | 1.43 ± 0.07              | 0.75 ± 0.05 | 1.07 ± 0.11                                 | 4.0                      |
| 249.5 - 259.5 | 10.50 ± 0.22            | 2.44 ± 0.05               | 2.06 ± 0.07              | 1.61 ± 0.11              | 0.78 ± 0.08 | 0.83 ± 0.16                                 | 3.6                      |
| 259.5 - 267.0 | 9.91 ± 0.15             | 2.01 ± 0.03               | 1.99 ± 0.05              | 1.93 ± 0.09              | 0.97 ± 0.07 | 0.08 ± 0.12                                 | 0.4                      |
| 267.0 - 277.0 | 10.10 ± 0.21            | 2.16 ± 0.05               | 1.81 ± 0.04              | 1.70 ± 0.09              | 0.94 ± 0.07 | 0.46 ± 0.14                                 | 3.8                      |
| 277.0 - 287.0 | 11.00 ± 0.27            | 2.32 ± 0.06               | 2.04 ± 0.03              | 2.02 ± 0.05              | 0.99 ± 0.04 | 0.30 ± 0.11                                 | 3.8                      |
| 287.0 - 294.0 | 11.60 ± 0.26            | 2.47 ± 0.06               | 2.15 ± 0.06              | 2.09 ± 0.09              | 0.97 ± 0.07 | 0.38 ± 0.15                                 | 3.8                      |
| 294.0 - 304.5 | 13.40 ± 0.37            | 2.85 ± 0.08               | 2.42 ± 0.07              | 2.01 ± 0.11              | 0.83 ± 0.07 | 0.84 ± 0.19                                 | 2.5                      |
| 304.5 - 314.5 | 11.70 ± 0.34            | 2.12 ± 0.07               | 1.67 ± 0.06              | 1.45 ± 0.11              | 0.87 ± 0.10 | 0.67 ± 0.18                                 | 2.7                      |
| 314.5 - 322.0 | 10.60 ± 0.72            | 3.04 ± 0.19               | 2.48 ± 0.05              | 2.31 ± 0.08              | 0.93 ± 0.05 | 0.73 ± 0.27                                 | 11.2                     |
| 322.0 - 332.0 | 12.20 ± 0.20            | 2.20 ± 0.04               | 2.19 ± 0.02              | 1.91 ± 0.05              | 0.87 ± 0.03 | 0.29 ± 0.09                                 | 1.4                      |
| 332.0 - 342.0 | 10.80 ± 0.17            | 2.39 ± 0.04               | 1.56 ± 0.02              | 1.53 ± 0.04              | 0.98 ± 0.04 | 0.86 ± 0.08                                 | 10.6                     |
| 342.0 - 349.5 | 7.84 ± 0.14             | 1.99 ± 0.04               | 1.32 ± 0.02              | 1.17 ± 0.04              | 0.89 ± 0.04 | 0.82 ± 0.08                                 | 26.6                     |
| 349.5 - 359.0 | 8.93 ± 0.26             | 2.01 ± 0.06               | 1.79 ± 0.06              | 1.47 ± 0.11              | 0.82 ± 0.09 | 0.54 ± 0.17                                 | 17.4                     |
| 359.0 - 369.0 | 8.80 ± 0.34             | 1.78 ± 0.08               | 1.44 ± 0.06              | 1.15 ± 0.12              | 0.80 ± 0.12 | 0.63 ± 0.20                                 |                          |
| 369.0 - 374.5 | 10.50 ± 0.33            | 1.87 ± 0.07               | 1.22 ± 0.04              | 1.15 ± 0.11              | 0.94 ± 0.12 | 0.72 ± 0.18                                 | 11.3                     |
| 374.5 - 384.5 | 10.30 ± 0.27            | 2.08 ± 0.06               | 1.51 ± 0.06              | 1.25 ± 0.13              | 0.83 ± 0.12 | 0.83 ± 0.19                                 | 7.6                      |
| 384.5 - 394.5 | 9.94 ± 0.28             | 2.09 ± 0.06               | 1.54 ± 0.06              | 1.37 ± 0.12              | 0.89 ± 0.11 | 0.72 ± 0.18                                 | 10.0                     |
| 394.5 - 402.0 | 8.42 ± 0.26             | 1.63 ± 0.06               | 1.21 ± 0.04              | 1.05 ± 0.12              | 0.87 ± 0.13 | 0.58 ± 0.18                                 | 19.9                     |
| 402.0 - 412.0 | 9.08 ± 0.34             | 1.67 ± 0.07               | 1.53 ± 0.04              | 1.10 ± 0.06              | 0.72 ± 0.06 | 0.57 ± 0.13                                 | 3.6                      |
| 412.0 - 422.0 | 10.30 ± 0.44            | 1.73 ± 0.09               | 1.41 ± 0.04              | 1.44 ± 0.11              | 1.02 ± 0.11 | 0.29 ± 0.20                                 | 5.2                      |
| 422.0 - 429.5 | 9.65 ± 0.31             | 1.81 ± 0.07               | 1.77 ± 0.05              | 1.38 ± 0.08              | 0.78 ± 0.07 | 0.43 ± 0.15                                 | 1.4                      |
| 429.5 - 439.5 | 9.56 ± 0.30             | 1.64 ± 0.06               | 1.67 ± 0.04              | 1.34 ± 0.08              | 0.80 ± 0.07 | 0.30 ± 0.14                                 | 6.4                      |
| 439.5 - 449.5 | 11.90 ± 0.43            | 2.24 ± 0.09               | 2.06 ± 0.08              | 1.59 ± 0.12              | 0.77 ± 0.09 | 0.65 ± 0.21                                 | 6.4                      |
| 449.5 - 457.0 | 9.38 ± 0.45             | 1.69 ± 0.09               | 1.35 ± 0.04              | 1.38 ± 0.09              | 1.02 ± 0.10 | 0.31 ± 0.18                                 | 14.8                     |
| 457.0 - 467.0 | 8.49 ± 0.49             | 1.66 ± 0.11               | 1.62 ± 0.04              | 1.25 ± 0.08              | 0.77 ± 0.07 | 0.41 ± 0.19                                 | 13.3                     |
| 467.0 - 477.0 | 9.97 ± 0.52             | 1.93 ± 0.11               | 1.62 ± 0.04              | 1.49 ± 0.09              | 0.92 ± 0.08 | 0.44 ± 0.20                                 | 14.9                     |
| 477.0 - 484.5 | 7.50 ± 0.36             | 1.38 ± 0.08               | 1.47 ± 0.04              | 1.10 ± 0.07              | 0.75 ± 0.07 | 0.28 ± 0.15                                 | 19.4                     |
| 484.5 - 494.5 | 9.27 ± 0.30             | 1.62 ± 0.06               | 1.17 ± 0.03              | 0.97 ± 0.09              | 0.83 ± 0.10 | 0.65 ± 0.15                                 | 16.8                     |
| 494.5 - 504.5 | 9.98 ± 0.45             | 1.47 ± 0.09               | 1.38 ± 0.03              | 1.17 ± 0.07              | 0.85 ± 0.07 | 0.30 ± 0.16                                 | 14.0                     |
| 504.5 - 512.0 | 10.40 ± 0.23            | 1.62 ± 0.05               | 1.77 ± 0.04              | 1.52 ± 0.07              | 0.86 ± 0.06 | 0.10 ± 0.12                                 | 0.4                      |
| 512.0 - 522.0 | 9.69 ± 0.34             | 1.48 ± 0.07               | 1.48 ± 0.03              | 1.23 ± 0.06              | 0.83 ± 0.06 | 0.25 ± 0.13                                 | 0.1                      |

Tabelle A-12 Radionuklide, CaCO<sub>3</sub> (Fortsetzung)

| Station E (GIK 23059-3) |         | Kastenlot                  |                              |                             |                             |             |  |                             |
|-------------------------|---------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|-----------------------------|
| Tiefe(*)<br>[cm]        |         | <sup>232</sup> Th<br>[ppm] | <sup>230</sup> Th<br>[dpm/g] | <sup>238</sup> U<br>[dpm/g] | <sup>234</sup> U<br>[dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#)<br>[dpm/g] | CaCO <sub>3</sub><br>[Gew%] |
| 522.0                   | - 532.0 | 10.00 ± 0.27               | 1.50 ± 0.05                  | 1.87 ± 0.04                 | 1.76 ± 0.09                 | 0.94 ± 0.07 | -0.26 ± 0.14                                   | 0.2                         |
| 532.0                   | - 539.5 | 9.90 ± 0.37                | 1.70 ± 0.08                  | 1.66 ± 0.06                 | 1.44 ± 0.11                 | 0.87 ± 0.10 | 0.26 ± 0.19                                    | 0.2                         |
| 539.5                   | - 549.5 | 10.20 ± 0.37               | 1.59 ± 0.07                  | 1.41 ± 0.05                 | 1.61 ± 0.14                 | 1.14 ± 0.14 | -0.02 ± 0.21                                   | 0.1                         |
| 549.5                   | - 559.5 | 9.32 ± 0.27                | 1.49 ± 0.05                  | 1.73 ± 0.05                 | 1.44 ± 0.08                 | 0.83 ± 0.07 | 0.05 ± 0.13                                    | 0.1                         |
| 559.5                   | - 567.0 | 9.56 ± 0.28                | 1.51 ± 0.06                  | 1.83 ± 0.05                 | 1.54 ± 0.10                 | 0.84 ± 0.08 | -0.03 ± 0.00                                   | 0.3                         |
| 567.0                   | - 573.0 | 10.60 ± 0.29               | 1.54 ± 0.05                  | 2.04 ± 0.05                 | 1.35 ± 0.07                 | 0.66 ± 0.05 | 0.19 ± 0.12                                    | 0.2                         |

(\*): korrigiert nach Vogelsang (1990)

(#): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$

(§): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} * (1 - e^{-j * t})$

Tabelle A-13 Radionuklide, CaCO<sub>3</sub>

| Station F (GIK 23065-2) |        | Großkastengreifer          |                              |                             |                             |             |  |                             |
|-------------------------|--------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|-----------------------------|
| Tiefe<br>[cm]           |        | <sup>232</sup> Th<br>[ppm] | <sup>230</sup> Th<br>[dpm/g] | <sup>238</sup> U<br>[dpm/g] | <sup>234</sup> U<br>[dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#)<br>[dpm/g] | CaCO <sub>3</sub><br>[Gew%] |
| 0.0                     | - 1.0  | 4.32 ± 0.19                | 5.68 ± 0.11                  | 0.73 ± 0.02                 | 0.60 ± 0.06                 | 0.82 ± 0.10 | 5.08 ± 0.17                                    | 58.3                        |
| 0.0                     | - 2.5  | 4.40 ± 0.33                | 5.41 ± 0.18                  | 0.66 ± 0.01                 | 0.59 ± 0.06                 | 0.90 ± 0.10 | 4.82 ± 0.24                                    | 59.1                        |
| 2.5                     | - 12.5 | 5.45 ± 0.16                | 5.21 ± 0.08                  | 0.87 ± 0.02                 | 0.77 ± 0.06                 | 0.88 ± 0.09 | 4.44 ± 0.14                                    | 51.9                        |
| 12.5                    | - 22.5 | 7.54 ± 0.29                | 3.96 ± 0.10                  | 1.42 ± 0.03                 | 1.28 ± 0.07                 | 0.90 ± 0.07 | 2.68 ± 0.17                                    | 19.3                        |
| 22.5                    | - 32.5 | 12.00 ± 0.34               | 5.12 ± 0.11                  | 1.85 ± 0.03                 | 1.68 ± 0.07                 | 0.91 ± 0.05 | 3.44 ± 0.18                                    | 9.6                         |
| 32.5                    | - 42.5 | 11.30 ± 0.34               | 4.47 ± 0.11                  | 1.71 ± 0.03                 | 1.73 ± 0.06                 | 1.01 ± 0.05 | 2.74 ± 0.17                                    | 10.7                        |

| Station F (GIK 23065-3) |         | Kastenlot                  |                              |                             |                             |             |  |                             |
|-------------------------|---------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|-----------------------------|
| Tiefe(*)<br>[cm]        |         | <sup>232</sup> Th<br>[ppm] | <sup>230</sup> Th<br>[dpm/g] | <sup>238</sup> U<br>[dpm/g] | <sup>234</sup> U<br>[dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#)<br>[dpm/g] | CaCO <sub>3</sub><br>[Gew%] |
| 19.0                    | - 26.0  | 5.29 ± 0.29                | 3.86 ± 0.12                  | 1.03 ± 0.02                 | 0.98 ± 0.07                 | 0.95 ± 0.09 | 2.88 ± 0.19                                    | 33.9                        |
| 26.5                    | - 34.0  | 9.48 ± 0.33                | 3.58 ± 0.10                  | 1.98 ± 0.06                 | 1.54 ± 0.11                 | 0.78 ± 0.08 | 2.04 ± 0.21                                    | 10.3                        |
| 34.0                    | - 41.5  | 12.60 ± 0.31               | 4.34 ± 0.09                  | 1.90 ± 0.05                 | 1.75 ± 0.11                 | 0.92 ± 0.08 | 2.59 ± 0.20                                    | 11.0                        |
| 41.5                    | - 49.0  | 12.80 ± 0.42               | 4.50 ± 0.12                  | 1.85 ± 0.04                 | 1.76 ± 0.07                 | 0.95 ± 0.06 | 2.74 ± 0.19                                    | 12.7                        |
| 49.0                    | - 59.0  | 11.20 ± 0.40               | 3.97 ± 0.12                  | 2.01 ± 0.05                 | 1.73 ± 0.10                 | 0.86 ± 0.07 | 2.24 ± 0.22                                    | 10.4                        |
| 59.0                    | - 69.0  | 14.80 ± 0.39               | 4.68 ± 0.11                  | 2.00 ± 0.03                 | 1.88 ± 0.05                 | 0.94 ± 0.04 | 2.80 ± 0.16                                    | 9.4                         |
| 69.0                    | - 76.5  | 9.16 ± 0.42                | 3.60 ± 0.13                  | 1.62 ± 0.02                 | 1.43 ± 0.03                 | 0.88 ± 0.03 | 2.17 ± 0.16                                    | 8.7                         |
| 76.5                    | - 86.5  | 11.20 ± 0.37               | 3.98 ± 0.11                  | 1.77 ± 0.03                 | 1.63 ± 0.06                 | 0.92 ± 0.05 | 2.35 ± 0.17                                    | 8.8                         |
| 86.5                    | - 96.5  | 7.79 ± 0.39                | 3.16 ± 0.12                  | 1.49 ± 0.02                 | 1.24 ± 0.03                 | 0.83 ± 0.03 | 1.92 ± 0.15                                    | 9.7                         |
| 96.5                    | - 104.0 | 6.30 ± 0.31                | 2.47 ± 0.10                  | 1.23 ± 0.01                 | 1.14 ± 0.04                 | 0.93 ± 0.04 | 1.33 ± 0.14                                    | 11.3                        |
| 104.0                   | - 114.0 | 7.91 ± 0.31                | 2.55 ± 0.09                  | 1.40 ± 0.02                 | 1.26 ± 0.05                 | 0.90 ± 0.05 | 1.29 ± 0.14                                    | 7.6                         |
| 114.0                   | - 124.0 | 7.73 ± 0.29                | 3.18 ± 0.09                  | 1.54 ± 0.02                 | 1.34 ± 0.04                 | 0.87 ± 0.04 | 1.84 ± 0.13                                    | 10.5                        |
| 124.0                   | - 131.5 | 9.21 ± 0.25                | 2.24 ± 0.06                  | 1.66 ± 0.02                 | 1.41 ± 0.05                 | 0.85 ± 0.04 | 0.83 ± 0.11                                    | 2.5                         |
| 131.5                   | - 141.5 | 9.32 ± 0.39                | 1.56 ± 0.08                  | 1.67 ± 0.02                 | 1.54 ± 0.03                 | 0.92 ± 0.03 | 0.02 ± 0.11                                    | 0.3                         |
| 141.5                   | - 149.0 | 10.40 ± 0.34               | 4.80 ± 0.11                  | 1.56 ± 0.02                 | 1.48 ± 0.04                 | 0.95 ± 0.04 | 3.32 ± 0.15                                    | 8.9                         |
| 156.0                   | - 166.0 | 6.90 ± 0.25                | 3.72 ± 0.09                  | 1.03 ± 0.02                 | 1.05 ± 0.06                 | 1.02 ± 0.08 | 2.67 ± 0.15                                    | 27.7                        |
| 166.0                   | - 176.0 | 7.67 ± 0.22                | 4.43 ± 0.08                  | 1.54 ± 0.03                 | 1.22 ± 0.07                 | 0.79 ± 0.06 | 3.21 ± 0.15                                    | 25.0                        |
| 176.0                   | - 183.5 | 9.24 ± 0.33                | 4.03 ± 0.11                  | 1.45 ± 0.03                 | 1.46 ± 0.07                 | 1.01 ± 0.07 | 2.57 ± 0.18                                    | 19.1                        |
| 183.5                   | - 193.5 | 7.21 ± 0.24                | 3.63 ± 0.08                  | 1.32 ± 0.02                 | 1.10 ± 0.05                 | 0.83 ± 0.05 | 2.53 ± 0.13                                    | 22.7                        |
| 193.5                   | - 203.5 | 6.92 ± 0.33                | 3.60 ± 0.12                  | 1.10 ± 0.02                 | 1.02 ± 0.07                 | 0.93 ± 0.08 | 2.58 ± 0.19                                    | 33.1                        |
| 203.5                   | - 210.0 | 6.64 ± 0.36                | 1.89 ± 0.10                  | 1.23 ± 0.03                 | 1.19 ± 0.08                 | 0.97 ± 0.09 | 0.70 ± 0.18                                    | 29.7                        |
| 210.0                   | - 220.0 | 7.71 ± 0.29                | 2.19 ± 0.08                  | 1.21 ± 0.02                 | 1.13 ± 0.04                 | 0.93 ± 0.05 | 1.06 ± 0.12                                    | 35.4                        |
| 220.0                   | - 230.0 | 5.97 ± 0.27                | 1.72 ± 0.07                  | 1.06 ± 0.01                 | 0.88 ± 0.04                 | 0.83 ± 0.05 | 0.84 ± 0.11                                    | 34.5                        |
| 230.0                   | - 237.0 | 7.80 ± 0.33                | 2.41 ± 0.09                  | 1.39 ± 0.03                 | 1.45 ± 0.07                 | 1.04 ± 0.07 | 0.96 ± 0.16                                    | 14.5                        |
| 237.0                   | - 247.0 | 9.08 ± 0.55                | 2.27 ± 0.14                  | 1.58 ± 0.04                 | 1.56 ± 0.10                 | 0.99 ± 0.09 | 0.71 ± 0.24                                    | 8.7                         |
| 247.0                   | - 257.0 | 9.26 ± 0.48                | 1.81 ± 0.11                  | 1.65 ± 0.04                 | 1.49 ± 0.10                 | 0.90 ± 0.08 | 0.33 ± 0.21                                    | 10.8                        |
| 257.0                   | - 264.0 | 11.80 ± 0.49               | 2.43 ± 0.11                  | 1.70 ± 0.05                 | 1.46 ± 0.11                 | 0.86 ± 0.09 | 0.97 ± 0.22                                    | 2.2                         |
| 264.0                   | - 274.0 | 7.56 ± 0.40                | 1.51 ± 0.09                  | 1.81 ± 0.06                 | 1.36 ± 0.12                 | 0.75 ± 0.09 | 0.15 ± 0.21                                    | 0.4                         |
| 274.0                   | - 284.0 | 10.50 ± 0.45               | 2.20 ± 0.10                  | 1.88 ± 0.04                 | 1.52 ± 0.08                 | 0.81 ± 0.06 | 0.68 ± 0.18                                    | 4.1                         |
| 284.0                   | - 291.0 | 10.50 ± 0.33               | 2.28 ± 0.08                  | 1.75 ± 0.04                 | 1.59 ± 0.09                 | 0.91 ± 0.07 | 0.69 ± 0.17                                    | 7.8                         |
| 291.0                   | - 301.0 | 8.69 ± 0.24                | 1.65 ± 0.05                  | 2.01 ± 0.04                 | 1.81 ± 0.08                 | 0.90 ± 0.06 | -0.16 ± 0.13                                   | 1.5                         |
| 301.0                   | - 311.0 | 10.50 ± 0.34               | 2.00 ± 0.07                  | 1.86 ± 0.04                 | 1.45 ± 0.08                 | 0.78 ± 0.06 | 0.55 ± 0.15                                    | 6.5                         |
| 311.0                   | - 318.0 | 9.61 ± 0.37                | 2.59 ± 0.10                  | 1.64 ± 0.04                 | 1.38 ± 0.06                 | 0.84 ± 0.06 | 1.21 ± 0.16                                    | 11.3                        |
| 318.0                   | - 328.0 | 9.24 ± 0.28                | 1.89 ± 0.06                  | 1.58 ± 0.03                 | 1.49 ± 0.08                 | 0.94 ± 0.07 | 0.40 ± 0.14                                    | 1.9                         |

Tabelle A-13 Radionuklide, CaCO<sub>3</sub> (Fortsetzung)

Station F (GIK 23065-3)

Kastenlot

| Tiefe(*)<br>[cm] | <sup>232</sup> Th<br>[ppm] | <sup>230</sup> Th<br>[dpm/g] | <sup>238</sup> U<br>[dpm/g] | <sup>234</sup> U<br>[dpm/g] | AU          | <sup>230</sup> Th <sub>ex</sub> (#)<br>[dpm/g] | CaCO <sub>3</sub><br>[Gew%] |
|------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|-----------------------------|
| 328.0 - 338.0    | 11.20 ± 0.35               | 2.05 ± 0.07                  | 1.60 ± 0.02                 | 1.50 ± 0.05                 | 0.94 ± 0.04 | 0.55 ± 0.12                                    | 3.4                         |
| 338.0 - 345.0    | 9.44 ± 0.22                | 1.61 ± 0.05                  | 1.51 ± 0.04                 | 1.19 ± 0.07                 | 0.79 ± 0.07 | 0.42 ± 0.12                                    | 3.7                         |
| 345.0 - 355.0    | 11.00 ± 0.27               | 1.69 ± 0.05                  | 1.28 ± 0.04                 | 1.23 ± 0.12                 | 0.96 ± 0.12 | 0.46 ± 0.17                                    | 3.3                         |
| 355.0 - 365.0    | 10.80 ± 0.25               | 2.11 ± 0.05                  | 1.58 ± 0.03                 | 1.69 ± 0.08                 | 1.07 ± 0.07 | 0.42 ± 0.13                                    | 6.9                         |
| 365.0 - 372.0    | 11.90 ± 0.41               | 2.52 ± 0.09                  | 1.83 ± 0.05                 | 1.63 ± 0.08                 | 0.89 ± 0.07 | 0.89 ± 0.17                                    | 11.6                        |
| 372.0 - 382.0    | 13.00 ± 0.62               | 2.44 ± 0.13                  | 1.82 ± 0.05                 | 1.49 ± 0.09                 | 0.82 ± 0.07 | 0.95 ± 0.22                                    | 9.5                         |
| 382.0 - 392.0    | 8.57 ± 0.42                | 2.15 ± 0.10                  | 1.30 ± 0.03                 | 1.27 ± 0.06                 | 0.98 ± 0.07 | 0.88 ± 0.16                                    | 21.5                        |
| 392.0 - 399.0    | 10.10 ± 0.30               | 2.04 ± 0.07                  | 1.56 ± 0.04                 | 1.29 ± 0.08                 | 0.83 ± 0.07 | 0.75 ± 0.15                                    | 14.1                        |
| 399.0 - 409.0    | 10.50 ± 0.54               | 1.87 ± 0.11                  | 1.78 ± 0.03                 | 1.48 ± 0.06                 | 0.83 ± 0.05 | 0.39 ± 0.17                                    | 6.8                         |
| 409.0 - 419.0    | 10.80 ± 0.46               | 1.66 ± 0.09                  | 1.54 ± 0.03                 | 1.56 ± 0.08                 | 1.01 ± 0.07 | 0.10 ± 0.17                                    | 0.4                         |
| 419.0 - 426.0    | 7.90 ± 0.34                | 1.75 ± 0.08                  | 1.94 ± 0.05                 | 1.71 ± 0.09                 | 0.88 ± 0.07 | 0.04 ± 0.17                                    | 0.4                         |
| 426.0 - 430.5    | 9.88 ± 0.47                | 1.67 ± 0.10                  | 2.20 ± 0.04                 | 1.85 ± 0.05                 | 0.84 ± 0.04 | -0.18 ± 0.15                                   | 0.4                         |
| 426.0 - 436.0    | 9.08 ± 0.37                | 1.83 ± 0.08                  | 2.24 ± 0.04                 | 1.93 ± 0.06                 | 0.86 ± 0.04 | -0.10 ± 0.14                                   | 0.4                         |
| 430.5 - 436.0    | 10.60 ± 0.40               | 1.75 ± 0.08                  | 2.00 ± 0.05                 | 1.80 ± 0.08                 | 0.90 ± 0.06 | -0.05 ± 0.16                                   | 0.4                         |
| 436.0 - 446.0    | 10.10 ± 0.43               | 2.95 ± 0.12                  | 3.12 ± 0.05                 | 3.12 ± 0.07                 | 1.00 ± 0.04 | 0.13 ± 0.19(§)                                 | 2.8                         |
| 446.0 - 453.5    | 10.20 ± 0.68               | 4.71 ± 0.23                  | 4.30 ± 0.07                 | 5.33 ± 0.09                 | 1.24 ± 0.04 | 0.08 ± 0.32(§)                                 | 12.9                        |
| 453.5 - 463.5    | 7.27 ± 0.22                | 3.83 ± 0.08                  | 3.05 ± 0.05                 | 4.21 ± 0.08                 | 1.38 ± 0.05 | 0.12 ± 0.16(§)                                 | 31.6                        |
| 463.5 - 473.5    | 7.98 ± 0.28                | 2.46 ± 0.08                  | 1.74 ± 0.02                 | 2.24 ± 0.06                 | 1.29 ± 0.05 | 0.35 ± 0.14(§)                                 | 27.6                        |
| 473.5 - 481.0    | 8.71 ± 0.44                | 1.85 ± 0.10                  | 1.24 ± 0.02                 | 1.17 ± 0.04                 | 0.94 ± 0.05 | 0.68 ± 0.14                                    | 23.4                        |
| 480.5 - 490.5    | 8.16 ± 0.30                | 1.73 ± 0.07                  | 1.17 ± 0.02                 | 1.10 ± 0.05                 | 0.94 ± 0.06 | 0.63 ± 0.12                                    | 24.1                        |
| 490.5 - 500.5    | 10.40 ± 0.38               | 1.74 ± 0.08                  | 1.41 ± 0.03                 | 1.28 ± 0.07                 | 0.91 ± 0.07 | 0.46 ± 0.15                                    | 13.7                        |
| 500.5 - 508.0    | 9.70 ± 0.52                | 2.13 ± 0.12                  | 1.32 ± 0.02                 | 1.31 ± 0.06                 | 0.99 ± 0.06 | 0.82 ± 0.18                                    | 15.0                        |
| 508.0 - 518.0    | 8.43 ± 0.68                | 1.91 ± 0.16                  | 1.22 ± 0.02                 | 1.09 ± 0.07                 | 0.89 ± 0.07 | 0.82 ± 0.23                                    | 23.1                        |
| 518.0 - 528.0    | 10.60 ± 0.78               | 1.44 ± 0.14                  | 1.22 ± 0.03                 | 1.13 ± 0.07                 | 0.93 ± 0.08 | 0.31 ± 0.21                                    | 10.3                        |
| 528.0 - 536.0    | 9.59 ± 0.22                | 1.72 ± 0.05                  | 1.59 ± 0.03                 | 1.37 ± 0.07                 | 0.86 ± 0.06 | 0.35 ± 0.12                                    | 6.8                         |
| 536.0 - 546.0    | 10.30 ± 0.59               | 1.49 ± 0.11                  | 1.69 ± 0.05                 | 1.44 ± 0.09                 | 0.85 ± 0.08 | 0.05 ± 0.20                                    | 1.8                         |
| 546.0 - 556.0    | 10.00 ± 0.55               | 1.57 ± 0.11                  | 1.45 ± 0.03                 | 1.29 ± 0.07                 | 0.89 ± 0.07 | 0.28 ± 0.18                                    | 10.5                        |
| 556.0 - 563.5    | 11.60 ± 0.61               | 2.19 ± 0.13                  | 1.57 ± 0.07                 | 1.30 ± 0.13                 | 0.83 ± 0.12 | 0.89 ± 0.26                                    | 11.4                        |
| 563.5 - 573.5    | 13.30 ± 1.37               | 1.74 ± 0.25                  | 1.49 ± 0.03                 | 1.19 ± 0.07                 | 0.80 ± 0.06 | 0.55 ± 0.32                                    | 7.1                         |
| 573.5 - 583.5    | 9.48 ± 0.76                | 1.39 ± 0.14                  | 1.42 ± 0.05                 | 1.24 ± 0.10                 | 0.87 ± 0.10 | 0.15 ± 0.24                                    | 9.6                         |
| 583.5 - 591.0    | 7.05 ± 0.31                | 1.32 ± 0.07                  | 1.14 ± 0.03                 | 1.13 ± 0.10                 | 0.99 ± 0.11 | 0.19 ± 0.17                                    | 21.2                        |
| 591.0 - 601.0    | 6.97 ± 0.37                | 1.35 ± 0.08                  | 1.16 ± 0.03                 | 1.08 ± 0.09                 | 0.93 ± 0.10 | 0.27 ± 0.17                                    | 25.7                        |
| 601.0 - 611.0    | 7.51 ± 0.26                | 1.31 ± 0.05                  | 1.30 ± 0.02                 | 1.04 ± 0.05                 | 0.80 ± 0.05 | 0.27 ± 0.10                                    | 21.0                        |
| 611.0 - 618.0    | 6.55 ± 0.26                | 1.08 ± 0.05                  | 0.93 ± 0.01                 | 0.81 ± 0.05                 | 0.87 ± 0.06 | 0.27 ± 0.10                                    | 35.9                        |
| 618.0 - 628.0    | 7.98 ± 0.23                | 1.39 ± 0.05                  | 1.08 ± 0.02                 | 1.07 ± 0.06                 | 0.99 ± 0.07 | 0.32 ± 0.11                                    | 23.6                        |
| 628.0 - 638.0    | 8.29 ± 0.23                | 1.25 ± 0.04                  | 1.11 ± 0.02                 | 0.94 ± 0.05                 | 0.85 ± 0.06 | 0.31 ± 0.09                                    | 22.6                        |
| 638.0 - 645.0    | 11.20 ± 0.33               | 1.46 ± 0.06                  | 1.47 ± 0.03                 | 1.34 ± 0.08                 | 0.91 ± 0.07 | 0.12 ± 0.14                                    | 1.2                         |
| 645.0 - 655.0    | 9.21 ± 0.26                | 1.25 ± 0.05                  | 1.62 ± 0.03                 | 1.36 ± 0.06                 | 0.84 ± 0.05 | -0.11 ± 0.11                                   | 0.4                         |
| 655.0 - 665.0    | 9.50 ± 0.34                | 1.32 ± 0.06                  | 1.78 ± 0.06                 | 1.39 ± 0.13                 | 0.78 ± 0.10 | -0.07 ± 0.19                                   | 0.3                         |
| 665.0 - 672.0    | 12.20 ± 0.36               | 1.58 ± 0.06                  | 1.75 ± 0.04                 | 1.54 ± 0.09                 | 0.88 ± 0.07 | 0.04 ± 0.15                                    | 0.9                         |
| 672.0 - 682.0    | 11.00 ± 0.43               | 1.65 ± 0.08                  | 1.68 ± 0.05                 | 1.76 ± 0.10                 | 1.05 ± 0.09 | -0.11 ± 0.18                                   | 0.5                         |
| 682.0 - 692.0    | 9.31 ± 0.30                | 1.38 ± 0.06                  | 1.65 ± 0.06                 | 1.50 ± 0.14                 | 0.91 ± 0.12 | -0.12 ± 0.20                                   | 0.3                         |
| 692.0 - 699.5    | 11.50 ± 0.30               | 1.56 ± 0.06                  | 1.68 ± 0.05                 | 1.68 ± 0.12                 | 1.00 ± 0.10 | -0.12 ± 0.18                                   | 2.5                         |
| 699.5 - 703.5    | 9.50 ± 0.29                | 1.39 ± 0.05                  | 1.68 ± 0.05                 | 1.38 ± 0.09                 | 0.82 ± 0.08 | 0.01 ± 0.14                                    | 1.7                         |
| 708.5 - 718.5    | 10.30 ± 0.32               | 1.65 ± 0.06                  | 1.96 ± 0.04                 | 1.67 ± 0.06                 | 0.85 ± 0.05 | -0.02 ± 0.12                                   | 1.4                         |

(\*): korrigiert nach Vogelsang (1990)

(#): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$

(§): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}_{\text{detritisch}} - ^{234}\text{U}_{\text{authigen}} * (1 - e^{-j * t})$



Tabelle A-14 Radionuklide in einzelnen Kornfraktionen

Station E (GIK 23059-3)

| Tiefe<br>[cm] | Fraktion          |        | $^{232}\text{Th}$<br>[ppm] | $^{230}\text{Th}$<br>[dpm/g] | $^{238}\text{U}$<br>[dpm/g] | $^{234}\text{U}$<br>[dpm/g] | AU          | $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ (#)<br>[dpm/g] |
|---------------|-------------------|--------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|--|
|               | [ $\mu\text{m}$ ] | [Gew%] |                            |                              |                             |                             |             |  |
| 180           | <6.3              | 52.4   | 13.90 ± 0.35               | 6.70 ± 0.12                  | 2.14 ± 0.07                 | 1.82 ± 0.11                 | 0.85 ± 0.08 | 4.88 ± 0.22                                  |
|               | 6.3-20            | 14.1   | 8.26 ± 0.59                | 2.75 ± 0.17                  | 1.77 ± 0.03                 | 1.56 ± 0.15                 | 0.88 ± 0.1  | 1.19 ± 0.25                                  |
|               | 20-63             | 16.6   | 6.77 ± 0.39                | 2.06 ± 0.11                  | 1.57 ± 0.02                 | 1.62 ± 0.12                 | 1.03 ± 0.09 | 0.44 ± 0.18                                  |
|               | <63               | 83.1   | 10.40 ± 0.29               | 4.91 ± 0.10                  | 1.98 ± 0.05                 | 1.78 ± 0.09                 | 0.90 ± 0.07 | 3.13 ± 0.18                                  |
| 202           | <2                | 35.2   | 11.60 ± 0.30               | 4.93 ± 0.10                  | 1.82 ± 0.02                 | 1.86 ± 0.05                 | 1.02 ± 0.04 | 3.07 ± 0.13                                  |
|               | 2-6.3             | 12.4   | 17.10 ± 0.95               | 5.22 ± 0.26                  | 1.60 ± 0.03                 | 1.95 ± 0.29                 | 1.22 ± 0.21 | 3.27 ± 0.43                                  |
|               | 6.3-20            | 7.2    | 16.30 ± 4.52               | 6.47 ± 1.41                  | 2.56 ± 0.04                 | 2.56 ± 0.47                 | 1.00 ± 0.2  | 3.91 ± 1.50                                  |
|               | 20-63             | 6.8    | 6.29 ± 0.58                | 1.85 ± 0.16                  | 1.71 ± 0.02                 | 1.86 ± 0.20                 | 1.09 ± 0.13 | -0.01 ± 0.27                                 |
|               | <63               | 61.6   | 9.19 ± 0.29                | 3.84 ± 0.09                  | 1.67 ± 0.03                 | 1.45 ± 0.05                 | 0.87 ± 0.05 | 2.39 ± 0.13                                  |
| 210           | <6.3              | 47.1   | 14.10 ± 0.35               | 3.09 ± 0.08                  | 1.93 ± 0.03                 | 1.76 ± 0.04                 | 0.91 ± 0.04 | 1.33 ± 0.11                                  |
|               | 6.3-20            | 13.8   | 8.72 ± 0.36                | 1.70 ± 0.08                  | 1.88 ± 0.02                 | 1.65 ± 0.07                 | 0.88 ± 0.05 | 0.05 ± 0.12                                  |
|               | 20-63             | 17.3   | 8.65 ± 0.74                | 1.86 ± 0.17                  | 1.52 ± 0.03                 | 2.23 ± 0.29                 | 1.47 ± 0.22 | -0.37 ± 0.38                                 |
|               | <63               | 78.3   | 12.00 ± 0.23               | 2.52 ± 0.05                  | 2.10 ± 0.05                 | 1.62 ± 0.06                 | 0.77 ± 0.05 | 0.90 ± 0.12                                  |
| 260           | <2                | 31.6   | 12.80 ± 0.25               | 3.15 ± 0.06                  | 2.44 ± 0.03                 | 2.03 ± 0.04                 | 0.83 ± 0.03 | 1.12 ± 0.10                                  |
|               | 2-6.3             | 15.1   | 10.80 ± 0.73               | 2.42 ± 0.17                  | 2.48 ± 0.02                 | 2.43 ± 0.15                 | 0.98 ± 0.07 | -0.01 ± 0.24                                 |
|               | 6.3-20            | 16.7   | 10.80 ± 0.56               | 2.18 ± 0.12                  | 2.29 ± 0.02                 | 2.15 ± 0.07                 | 0.94 ± 0.04 | 0.03 ± 0.15                                  |
|               | 20-63             | 18.4   | 7.00 ± 0.34                | 1.82 ± 0.08                  | 1.90 ± 0.02                 | 1.75 ± 0.09                 | 0.92 ± 0.06 | 0.07 ± 0.14                                  |
|               | <63               | 81.8   | 8.40 ± 0.15                | 2.23 ± 0.04                  | 2.24 ± 0.02                 | 1.95 ± 0.04                 | 0.87 ± 0.03 | 0.28 ± 0.08                                  |
| 280           | <6.3              | 67.4   | 17.9 ± 0.45                | 3.89 ± 0.1                   | 2.18 ± 0.05                 | 1.81 ± 0.08                 | 0.83 ± 0.06 | 2.08 ± 0.17                                  |
|               | 6.3-20            | 10.7   | 9.19 ± 0.49                | 2.15 ± 0.12                  | 2.17 ± 0.02                 | 1.93 ± 0.13                 | 0.89 ± 0.07 | 0.22 ± 0.19                                  |
|               | 20-63             | 9.4    | 7.79 ± 0.59                | 2.15 ± 0.15                  | 1.56 ± 0.02                 | 1.76 ± 0.16                 | 1.13 ± 0.12 | 0.39 ± 0.24                                  |
|               | <63               | 87.5   | 13.70 ± 0.37               | 3.08 ± 0.09                  | 2.18 ± 0.04                 | 1.70 ± 0.07                 | 0.78 ± 0.05 | 1.38 ± 0.14                                  |

(#): berechnet nach  $^{230}\text{Th}_{\text{ex}} = ^{230}\text{Th} - ^{234}\text{U}$



Tabelle A-16 Akkumulationsraten

Oberflächensedimente

| Probe | GIK-<br>Nummer | $A_X$   | $F_P$   | $\sigma$  | $s$                    | $AR$  | $A_0$                  | $s^*$                                   | $AR^*$                    | $AR^*$                                   | $AR^*$                                   |
|-------|----------------|---|---|---|------------------------|---|------------------------|---|---------------------------|--|--|
|       |                | ( $^{230}Th_{ex}$ )<br>[dpm*g <sup>-1</sup> ]<br>[dpm*g <sup>-1</sup> *ka <sup>-1</sup> ] | [g*cm <sup>-3</sup> ]<br>[cm*ka <sup>-1</sup> ] | [g*cm <sup>-2</sup> *ka <sup>-1</sup> ]<br>[dpm*g <sup>-1</sup> ] | [cm*ka <sup>-1</sup> ] | [g*cm <sup>-2</sup> *ka <sup>-1</sup> ]<br>[dpm*g <sup>-1</sup> ] | [cm*ka <sup>-1</sup> ] | [g*cm <sup>-2</sup> *ka <sup>-1</sup> ] | gesamt<br>biogen lithogen | [mg*cm <sup>-2</sup> *ka <sup>-1</sup> ] | [mg*cm <sup>-2</sup> *ka <sup>-1</sup> ] |
| 1     | 21703-1        | 0.05  | 0.199   | 0.6   | 6.66                   | 4.00  | 0.05                   | 6.57                                    | 3.94                      | 110                                      | 3830                                     |
| 2     | 21704-1        | 2.88  | 3.142   | 0.7   | 1.56                   | 1.09  | 3.05                   | 1.47                                    | 1.03                      | 62                                       | 968                                      |
| 15    | 21702-1        | 3.98  | 8.487   | 0.6   | 3.55                   | 2.13  | 4.08                   | 3.46                                    | 2.08                      | 538                                      | 1542                                     |
| 16    | 23258-3        | 4.61  | 4.662   | 0.53  | 1.91                   | 1.01  | 4.83                   | 1.82                                    | 0.97                      | 293                                      | 677                                      |
| 18    | 23257-3        | 5.02  | 6.527   | 0.66  | 1.97                   | 1.30  | 5.26                   | 1.88                                    | 1.24                      | 483                                      | 757                                      |
| 23    | 21701-1        | 0.52  | 0.620   | 0.6   | 1.99                   | 1.19  | 0.54                   | 1.90                                    | 1.14                      | 28                                       | 1112                                     |
| 24    | 23270-2        | 7.92  | 7.245   | 0.45  | 2.04                   | 0.92  | 8.27                   | 1.95                                    | 0.88                      | 197                                      | 683                                      |
| 25    | 23254-3        | 5.19  | 5.959   | 0.59  | 1.95                   | 1.15  | 5.44                   | 1.86                                    | 1.10                      | 452                                      | 648                                      |
| 26    | 21700-1        | 0.57  | 0.733   | 0.7   | 1.84                   | 1.28  | 0.60                   | 1.75                                    | 1.23                      | 26                                       | 1204                                     |
| 27    | 23293-2        | 6.31  | 6.769   | 0.73  | 1.47                   | 1.07  | 6.71                   | 1.38                                    | 1.01                      | 168                                      | 842                                      |
| 29    | 23291-1        | 6.18  | 8.355   | 0.57  | 2.37                   | 1.35  | 6.43                   | 2.28                                    | 1.30                      | 425                                      | 875                                      |
| 30    | 23289-2        | 6.79  | 8.702   | 0.7   | 1.83                   | 1.28  | 7.13                   | 1.74                                    | 1.22                      | 456                                      | 764                                      |
| 31    | 23294-3        | 5.74  | 5.849   | 0.67  | 1.52                   | 1.02  | 6.08                   | 1.44                                    | 0.96                      | 132                                      | 828                                      |
| 32    | 23260-1        | 3.89  | 5.494   | 0.59  | 2.39                   | 1.41  | 4.04                   | 2.30                                    | 1.36                      | 496                                      | 864                                      |
| 34    | 23279-1        | 7.04  | 8.150   | 0.55  | 2.10                   | 1.16  | 7.35                   | 2.02                                    | 1.11                      | 274                                      | 836                                      |
| 35    | 23277-1        | 6.49  | 7.093   | 0.55  | 1.99                   | 1.11  | 6.78                   | 1.90                                    | 1.05                      | 328                                      | 722                                      |
| 36    | 23259-3        | 4.25  | 6.609   | 0.52  | 2.99                   | 1.56  | 4.38                   | 2.90                                    | 1.51                      | 575                                      | 935                                      |
| 37    | 23267-2        | 5.68  | 7.821   | 0.7   | 1.97                   | 1.38  | 5.95                   | 1.88                                    | 1.32                      | 606                                      | 714                                      |
| 38    | 23266-1        | 4.94  | 7.279   | 0.45  | 3.28                   | 1.48  | 5.07                   | 3.19                                    | 1.44                      | 610                                      | 826                                      |
| 39    | 23344-4        | 3.61  | 2.877   | 0.83  | 0.96                   | 0.80  | 3.96                   | 0.88                                    | 0.73                      | 51                                       | 679                                      |
| 40    | 23269-2        | 5.78  | 7.553   | 0.73  | 1.79                   | 1.31  | 6.08                   | 1.70                                    | 1.24                      | 507                                      | 733                                      |
| 41    | 23346-3        | 3.88  | 3.179   | 0.77  | 1.07                   | 0.82  | 4.21                   | 0.98                                    | 0.76                      | 23                                       | 737                                      |
| 42    | 23264-3        | 2.24  | 4.407   | 0.62  | 3.17                   | 1.97  | 2.31                   | 3.08                                    | 1.91                      | 436                                      | 1474                                     |
| 43    | 23295-4        | 1.30  | 4.084   | 0.88  | 3.57                   | 3.14  | 1.33                   | 3.48                                    | 3.06                      | 248                                      | 2812                                     |
| 44    | 23341-2        | 4.21  | 4.568   | 0.78  | 1.39                   | 1.09  | 4.49                   | 1.30                                    | 1.02                      | 320                                      | 700                                      |
| 45    | 23353-2        | 4.65  | 3.684   | 0.62  | 1.28                   | 0.79  | 4.99                   | 1.19                                    | 0.74                      | 81                                       | 659                                      |
| 46    | 23347-4        | 4.56  | 3.248   | 0.71  | 1.00                   | 0.71  | 4.98                   | 0.92                                    | 0.65                      | 53                                       | 597                                      |
| 47    | 23351-4        | 3.35  | 4.415   | 0.85  | 1.55                   | 1.32  | 3.55                   | 1.46                                    | 1.24                      | 58                                       | 1182                                     |
| 48    | 23354-4        | 3.04  | 4.589   | 0.60  | 2.52                   | 1.51  | 3.15                   | 2.43                                    | 1.46                      | 446                                      | 1014                                     |
| 49    | 23059-2        | 4.63  | 5.999   | 0.87  | 1.49                   | 1.30  | 4.92                   | 1.40                                    | 1.22                      |  |  |
| 50    | 23297-1        | 6.04  | 8.665   | 0.7   | 2.05                   | 1.44  | 6.30                   | 1.96                                    | 1.38                      | 635                                      | 745                                      |
| 51    | 23352-2        | 3.97  | 4.791   | 0.66  | 1.83                   | 1.21  | 4.17                   | 1.74                                    | 1.15                      | 550                                      | 600                                      |
| 53    | 23065-2        | 5.08  | 7.369   | 0.72  | 2.01                   | 1.45  | 5.32                   | 1.92                                    | 1.38                      | 807                                      | 573                                      |
| 54    | 23298-2        | 4.72  | 7.245   | 0.57  | 2.69                   | 1.54  | 4.88                   | 2.60                                    | 1.48                      | 817                                      | 663                                      |
| 55    | 23304-1        | 3.53  | 3.426   | 0.7   | 1.39                   | 0.97  | 3.77                   | 1.30                                    | 0.91                      | 322                                      | 578                                      |
| 56    | 23303-1        | 2.50  | 3.753   | 0.68  | 2.20                   | 1.50  | 2.62                   | 2.11                                    | 1.44                      | 495                                      | 945                                      |
| 57    | 23301-2        | 1.05  | 2.580   | 0.70  | 3.51                   | 2.46  | 1.08                   | 3.42                                    | 2.39                      | 500                                      | 1890                                     |
| 58    | 16331-1        | 1.68  | 2.785   | 0.7   | 2.37                   | 1.66  | 1.75                   | 2.28                                    | 1.60                      |  |  |
| 59    | 23009          | 0.63  | 2.472   | 0.7   | 5.61                   | 3.94  | 0.64                   | 5.51                                    | 3.86                      |  |  |
| 60    | 16340-1        | 1.61  | 2.798   | 0.7   | 2.47                   | 1.73  | 1.68                   | 2.38                                    | 1.67                      |  |  |
| 61    | 16339-1        | 1.50  | 2.774   | 0.7   | 2.64                   | 1.85  | 1.55                   | 2.55                                    | 1.79                      |  |  |
| 62    | 16059-1        | 0.69  | 2.075   | 0.7   | 4.30                   | 3.01  | 0.70                   | 4.21                                    | 2.94                      |  |  |
| 63    | 23359-2        | 3.54  | 7.419   | 0.65  | 3.22                   | 2.09  | 3.65                   | 3.13                                    | 2.03                      | 1242                                     | 788                                      |

$A(^{230}Th_{ex})_X$   $^{230}Th_{ex}$ -Aktivität im Oberflächensediment (gemessen)  
 $F_P$   $^{230}Th_{ex}$ -Produktion in der Wassersäule (berechnet)  
 $\sigma$  Trockenraumdichte  
 $s$  Sedimentationsrate  
 $AR$  Akkumulationsrate  
 $A(^{230}Th_{ex})_0$   $^{230}Th_{ex}$ -Aktivität an der Wasser-Sediment-Grenzfläche (berechnet)

\* korrigiert nach Bioturbationsmodell

Tabelle A-17 Sedimentalter

| Station B<br>(GIK 17728-1/2) |              | Station C<br>(GIK 23294-3/4) |              | Station E<br>(GIK 23059-2/3) |              | Station F<br>(GIK 23065-2/3) |              |
|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
| Tiefe<br>[cm]                | Alter<br>[a] | Tiefe<br>[cm]                | Alter<br>[a] | Tiefe<br>[cm]                | Alter<br>[a] | Tiefe<br>[cm]                | Alter<br>[a] |
| 5                            | 5883         | 10                           | 2127         | 2                            | 994          | 2.5                          | 1383         |
| 10                           | 10389        | 20                           | 4646         | 11                           | 6368         | 12.5                         | 6652         |
| 15                           | 14138        | 30                           | 7483         | 21                           | 10227        | 22.5                         | 10379        |
| 20                           | 16910        | 40                           | 9812         | 31                           | 16560        | 32.5                         | 16044        |
| 25                           | 21015        | 50                           | 11915        | 41                           | 22701        | 42                           | 20444        |
| 30                           | 23731        | 60                           | 14197        | 47                           | 22701        | 49                           | 23842        |
| 40                           | 29860        | 70                           | 15688        | 57                           | 25728        | 59                           | 28409        |
| 50                           | 36178        | 80                           | 16431        | 67                           | 29578        | 69                           | 34337        |
| 60                           | 44460        | 90                           | 17502        | 74.5                         | 32331        | 76.5                         | 37798        |
| 70                           | 51474        | 100                          | 19358        | 84.5                         | 36982        | 86.5                         | 42714        |
| 80                           | 58550        | 110                          | 20601        | 94.5                         | 40562        | 96.5                         | 47519        |
| 90                           | 65012        | 120                          | 21941        | 102                          | 43578        | 104                          | 50139        |
| 100                          | 72488        | 130                          | 23207        | 112                          | 49150        | 114                          | 53803        |
| 110                          | 79017        | 140                          | 24148        | 122                          | 53195        | 124                          | 59555        |
| 120                          | 90840        | 150                          | 25467        | 129.5                        | 57364        | 131.5                        | 61673        |
| 130                          | 106858       | 160                          | 26392        | 139.5                        | 63208        | 141.5                        | 61753        |
| 140                          | 126704       | 170                          | 27546        | 149.5                        | 71114        | 149                          | 68878        |
| 150                          | 145841       | 180                          | 28465        | 157                          | 77676        | 156                          | 68880        |
| 160                          | 146619       | 190                          | 29732        | 167                          | 83499        | 166                          | 76908        |
| 170                          | 155250       | 200                          | 31108        | 177                          | 91689        | 176                          | 86977        |
| 180                          | 161126       | 210                          | 32918        | 184.5                        | 100282       | 183.5                        | 94281        |
| 190                          | 173666       | 220                          | 34023        | 194.5                        | 115498       | 193.5                        | 104296       |
| 200                          | 178322       | 230                          | 35425        | 204.5                        | 123409       | 203.5                        | 114346       |
| 210                          | 185725       | 238                          | 36267        | 212                          | 126057       | 210                          | 116276       |
| 220                          | 212561       | 250                          | 36888        | 222                          | 129302       | 220                          | 120285       |
| 230                          | 219443       | 260                          | 37488        | 232                          | 134206       | 230                          | 123142       |
| 240                          | 219443       | 270                          | 38110        | 239.5                        | 135814       | 237                          | 125426       |
| 250                          | 219443       | 280                          | 39003        | 249.5                        | 142651       | 247                          | 129179       |
| 260                          | 222007       | 290                          | 40698        | 259.5                        | 147934       | 257                          | 131038       |
| 270                          | 234004       | 300                          | 42837        | 267                          | 148311       | 264                          | 135467       |
| 280                          | 245015       | 310                          | 44752        | 277                          | 151852       | 274                          | 136548       |
| 290                          | 262818       | 320                          | 46538        | 287                          | 153774       | 284                          | 141288       |
| 300                          | 280718       | 330                          | 48991        | 294                          | 155490       | 291                          | 144411       |
| 310                          | 296493       | 340                          | 51564        | 304.5                        | 162204       | 301                          | 144419       |
| 320                          | 329864       | 350                          | 54054        | 314.5                        | 168221       | 311                          | 148164       |
|                              |              | 360                          | 55549        | 322                          | 173579       | 318                          | 153941       |
|                              |              | 370                          | 57159        | 332                          | 176150       | 328                          | 156998       |
|                              |              | 380                          | 58896        | 342                          | 183204       | 338                          | 161416       |
|                              |              | 390                          | 59752        | 349.5                        | 188561       | 345                          | 163750       |
|                              |              | 400                          | 60378        | 359                          | 193486       | 355                          | 167644       |
|                              |              | 410                          | 61530        | 369                          | 199617       | 365                          | 170893       |
|                              |              | 420                          | 62346        | 374.5                        | 203561       | 372                          | 175764       |
|                              |              | 430                          | 63655        | 384.5                        | 211965       | 382                          | 183443       |
|                              |              | 440                          | 64871        | 394.5                        | 220819       | 392                          | 191302       |
|                              |              | 450                          | 65925        | 402                          | 226011       | 399                          | 196821       |
|                              |              | 460                          | 66939        | 412                          | 234016       | 409                          | 201099       |
|                              |              | 470                          | 68175        | 422                          | 239129       | 419                          | 202366       |
|                              |              | 480                          | 69909        | 429.5                        | 245515       | 426                          | 202715       |
|                              |              | 490                          | 71928        | 439.5                        | 251062       | 436                          | 202715       |
|                              |              | 500                          | 74606        | 449.5                        | 261909       | 446                          | 204538       |
|                              |              | 510                          | 76324        | 457                          | 266656       | 453.5                        | 205164       |
|                              |              | 520                          | 79511        | 467                          | 275368       | 463.5                        | 206364       |
|                              |              | 530                          | 83767        | 477                          | 285096       | 473.5                        | 210092       |
|                              |              | 540                          | 86648        | 484.5                        | 289927       | 481                          | 215921       |
|                              |              | 550                          | 90560        | 494.5                        | 305658       | 490.5                        | 222992       |
|                              |              | 560                          | 92461        | 504.5                        | 313180       | 500.5                        | 228656       |
|                              |              | 570                          | 94543        | 512                          | 315336       | 508                          | 237156       |
|                              |              | 580                          | 99163        | 522                          | 324997       | 518                          | 248360       |
|                              |              | 590                          | 104900       | 532                          | 324997       | 528                          | 253070       |
|                              |              | 600                          | 106455       | 539.5                        | 332655       | 536                          | 258234       |
|                              |              | 610                          | 112106       | 549.5                        | 332655       | 546                          | 259426       |
|                              |              | 620                          | 117099       | 559.5                        | 335088       | 556                          | 264553       |
|                              |              | 630                          | 120565       | 567                          | 335088       | 563.5                        | 275541       |
|                              |              | 640                          | 122898       | 573                          | 335088       | 573.5                        | 286354       |
|                              |              | 650                          | 125000       |                              |              | 583.5                        | 290138       |
|                              |              | 660                          | 126213       |                              |              | 591                          | 293638       |
|                              |              | 670                          | 126972       |                              |              | 601                          | 300369       |
|                              |              | 680                          | 127639       |                              |              | 611                          | 307730       |
|                              |              | 690                          | 128885       |                              |              | 618                          | 313000       |
|                              |              | 700                          | 129635       |                              |              | 628                          | 321168       |
|                              |              | 710                          | 129635       |                              |              | 638                          | 327991       |
|                              |              | 720                          | 130002       |                              |              | 645                          | 330769       |
|                              |              | 730                          | 130002       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 740                          | 130002       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 750                          | 130239       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 760                          | 130758       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 770                          | 131782       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 780                          | 133864       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 790                          | 135616       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 800                          | 137255       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 810                          | 138601       |                              |              |                              |              |
|                              |              | 817                          | 140216       |                              |              |                              |              |