

**Geochemische Untersuchungen an hydrothermal  
beeinflußten Sedimenten der Bransfield Straße (Antarktis)**

**Geochemical investigations on hydrothermally  
influenced sediments of Bransfield Strait (Antarctica)**

---

**Anke Dählmann**

**Ber. Polarforsch. Meeresforsch. 392 (2001)  
ISSN 0176 - 5027**

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion</b>   | <b>36</b> |
| 5.1      | Charakterisierung der Untersuchungsgebiete anhand der Porenwasser-Chemie   | 36        |
| 5.1.1    | Hook Ridge   | 36        |
| 5.1.2    | King George Becken   | 38        |
| 5.2      | Einfluß von vulkanischer Aktivität und Hydrothermalismus auf die Sedimente   | 40        |
| 5.2.1    | POC-Gehalte der Sedimente auf Hook Ridge   | 40        |
| 5.2.2    | Datierung der Sedimente auf Hook Ridge mit der Radiocarbon-Methode   | 41        |
| 5.2.3    | Kohlenstoff-Isotopie des POC und der Makrofauna auf Hook Ridge   | 43        |
| 5.2.4    | Charakterisierung der Sedimente im King George Becken  | 44        |
| 5.2.5    | Datierung der Sedimente im King George Becken mit der Radiocarbon-Methode und Tephrochronologie, Bestimmung der Sedimentationsrate | 49        |
| 5.3      | Magmatische, thermogene und bakterielle Quellen des DIC  | 51        |
| 5.3.1    | Diagenetische und magmatische Quellen des CO <sub>2</sub> auf Hook Ridge   | 51        |
| 5.3.2    | Diagenese und Methanogenese im King George Becken  | 54        |
| 5.4      | Temperaturen der Ventfluide auf Hook Ridge   | 58        |
| 5.4.1    | Bildungstemperatur der Silikatpräzipitate  | 58        |
| 5.4.2    | Hinweise auf höher temperierten Fluidaustritt  | 61        |
| 5.4.3    | Beeinflussung des Kieselsäure-Gleichgewichtes durch die Umgebungstemperatur  | 61        |
| 5.5      | Phasenseparation in der oberen Kruste  | 63        |
| 5.5.1    | Bestimmung der Konzentration des hydrothermalen Endmembers   | 63        |
| 5.5.2    | Einfluß von magmatischen und meteorischen Wässern und Basalt-Alteration  | 66        |
| 5.5.3    | Gelöste Gase in der Dampfphase und Cl-Konzentration in der korrespondierenden Brine-Phase  | 68        |
| 5.5.4    | Tiefe der Phasenseparation und Hinweis auf rezente vulkanische Aktivität   | 69        |
| 5.6      | Phasenseparation und Metasomatose: Konzentrationen der Alkali- und Erdalkali-Elemente sowie Bor                                    | 72        |
| 5.6.1    | Alkali- und Erdalkali-Elemente auf Hook Ridge  | 72        |

---

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.6.2    | Lithium und Bor auf Hook Ridge  | 75         |
| 5.6.3    | Alkali- und Erdalkali-Elemente<br>im King George Becken                   | 76         |
| 5.6.4    | Lithium im King George Becken   | 80         |
| 5.7      | Spurenelemente  | 84         |
| 5.7.1    | Leaching von Mangan   | 84         |
| 5.7.2    | Leaching von Eisen und Pyrit-Fällung                                      | 85         |
| 5.7.3    | Molybdän-Anreicherung in der Pyrit-Phase                                  | 86         |
| 5.7.4    | Baryt-Fällung   | 88         |
| 5.8      | Freisetzung von Iodid aus der organischen Substanz                        | 89         |
| 5.9      | Leaching von Bor aus den Sedimenten                                       | 92         |
| 5.9.1    | Einfluß von pH und Temperatur auf Bor-<br>Konzentration und Bor-Isotopie  | 92         |
| 5.9.2    | Diagenetische Effekte im Referenz-Kern                                    | 93         |
| 5.9.3    | Hydrothermale Bor-Freisetzung aus den<br>Sedimenten im King George Becken | 95         |
| 5.10     | Leaching von Strontium aus den Basalten                                   | 97         |
| 5.10.1   | Diagenetische Alteration von vulkanischen Aschen                          | 98         |
| 5.10.2   | Isotopensignatur der Kruste und des<br>hydrothermalen Endmembers          | 99         |
| 5.10.3   | Fluid/Sediment-Wechselwirkung   | 99         |
| 5.11     | Temperaturen der basalten Sedimente<br>im King George Becken              | 101        |
| 5.11.1   | Geochemie von Lithium und Bor   | 101        |
| 5.11.2   | Weitere geochemische Daten  | 103        |
| 5.11.3   | Wärmestrom-Messungen  | 104        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassende Schlußfolgerungen</b>                                 | <b>108</b> |
| <b>7</b> | <b>Literatur</b>  | <b>111</b> |
| <b>8</b> | <b>Danksagung</b>   | <b>125</b> |
| <b>9</b> | <b>Anhang</b>   | <b>127</b> |
| 9.1      | Sedimentologie  | 128        |
| 9.2      | Methodik  | 133        |
| 9.3      | Daten der Ausfahrt ANT-XV/2   | 138        |
| 9.4      | Daten der Ausfahrt NBP 99-04  | 154        |

## ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden Untersuchungen an hydrothermal beeinflussten Sedimenten der Bransfield Straße vorgestellt, einem tektonisch aktiven Randbecken zwischen der Antarktischen Halbinsel und den vorgelagerten Süd-Shetland Inseln. Obwohl die hydrothermale Aktivität in diesem Becken bereits seit den 80er Jahren bekannt ist, wurden die ersten Proben mit warmen ( $\leq 48.6^\circ\text{C}$ ), hydrothermal beeinflussten Sedimenten erst während der Ausfahrten mit *FS Polarstern* 1997/98 und *R/V IB N.B. Palmer* 1999 gewonnen.

Die Fluidaustrittsstellen auf der vulkanischen Erhebung Hook Ridge sind charakterisiert durch weiße Silikatkrusten auf der Sedimentoberfläche; die Porenwässer sind an Silikat und Sulfid angereichert und weisen niedrige pH-Werte auf. Chlorid ist stark abgereichert (bis zu 20 %) und die berechnete Cl-Konzentration des hydrothermalen Endmembers (1 bis 84 mM) ist extrem niedrig. Damit wird das Auftreten einer Dampf-Phase belegt, die während einer Phasenseparation in der oberen Kruste gebildet wird, da andere Mechanismen, die eine Cl-Abreicherung bewirken könnten, ausgeschlossen werden können.

Während die Sedimente auf Hook Ridge durch diffusen Austritt von hydrothermalen Fluiden gekennzeichnet sind, zeigt sich der hydrothermale Einfluß auf die Sedimente des angrenzenden King George Beckens erst in größerer Kerntiefe. Verschiedene geochemische Charakteristika der Porenfluide und deren Tiefenprofile weisen auf einen diffusionskontrollierten Transport aus einer Reaktionsschicht hin, deren Temperatur auf  $\leq 150^\circ\text{C}$  eingegrenzt werden kann. Die unmittelbare Nähe zum hydrothermal aktiven Vulkangebäude Hook Ridge legt nahe, daß diese Reaktionsschicht innerhalb der basalen Sedimente liegt, die durch die heiße Kruste darunter erhitzt werden. Bor- und Strontium-Isotopenanalysen der Porenwässer ergeben Endmember-Signaturen, die eine intensive Wechselwirkung des Hydrothermal-Fluids mit den Sedimenten und der oberen Kruste belegen ( $\delta^{11}\text{B} = 21\text{‰}$ ;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7028$ ). Die Chlorid-Anreicherung im Endmember-Fluid (704 mM) belegt das Vorhandensein einer "Brine"-Phase, die mit der Dampf-Phase auf Hook Ridge korrespondiert.

Eine Abschätzung von Druck und Temperatur während der Phasenseparation wird anhand des Zusammenhanges von p,T-Bedingungen und Salzgehalt der getrennten Phasen vorgenommen. Diese Betrachtung ergibt subkritische Bedingungen (ca. 250 bar und  $390^\circ\text{C}$ ), d.h. die Phasenseparation findet in ca. 1450 m Tiefe unterhalb Hook Ridge statt. Diese p,T-Bedingungen sowie Anomalien in der Wassersäule und der Fund eines Hydrothermalschlot-Bruchstücks liefern eindeutige Hinweise für das Austreten höher temperierter Ventfluide, die bisher jedoch nicht entdeckt wurden.

Die Untersuchungen der Porenwässer von Hook Ridge und dem King George Becken zeigen, daß beide Lokationen von der hydrothermalen Aktivität in der oberen Kruste der Bransfield Straße beeinflusst sind und als Komponenten eines Hydrothermal-Systems betrachtet werden müssen.

## SUMMARY

This work presents investigations of hydrothermally influenced sediments of the Bransfield Strait, an extensional marginal basin between the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands. Although the hydrothermal activity of Bransfield Strait has been documented since the mid-eighties, the first samples of warm ( $\leq 48.6^\circ\text{C}$ ), hydrothermally influenced sediments were obtained during the expeditions with *R/V Polarstern* in 1997/98 and with *R/V IB N.B. Palmer* in 1999.

The vent sites at Hook Ridge, a volcanically active edifice, are characterized by white siliceous crusts on top of the sediment layer; the pore waters are enriched in silica and sulfide and show low pH values. Chloride is strongly depleted (up to 20 %) and the calculated hydrothermal endmember concentration is extremely low (1 to 84 mM). This fluid composition indicates the occurrence of a vapor phase produced during phase separation in the upper crust, since other mechanisms for Cl depletion can clearly be ruled out.

Whereas the sediments on Hook Ridge are characterized by diffuse outflow of hydrothermal fluids, the hydrothermal impact on the sediments of the adjacent King George Basin is shown in deeper sections of the cores. Various geochemical characteristics of the pore fluids and their depth profiles reveal diffusion controlled transport from a reaction layer below the sampling depth with an estimated temperature of  $\leq 150^\circ\text{C}$ . The direct vicinity to the hydrothermally active volcanic edifice Hook Ridge suggests that this reaction layer is within the basal sediments that are heated by the hot crust underneath. Analyses of boron and strontium isotopic compositions of the pore waters yield endmember signatures that indicate an intense interaction of the hydrothermal fluid with the sediments and the upper crust ( $\delta^{11}\text{B} = 21 \text{ ‰}$ ;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7028$ ). The endmember is enriched in chloride (704 mM), which indicates the existence of a "brine" phase that corresponds to the vapor phase sampled at Hook Ridge.

The temperature and depth of phase separation are inferred by using a relationship between p,T conditions and Cl concentrations of the phase separated fluids. This consideration reveals subcritical conditions (ca. 250 bar and  $390^\circ\text{C}$ ), i.e. phase separation takes place at about 1450 m beneath the seafloor at Hook Ridge. These p,T conditions, water column anomalies and a chimney-like fragment within the sediment provide promising evidence of active high temperature venting, which, however, hasn't been discovered yet.

The investigations on the sediments and pore waters of Hook Ridge and King George Basin demonstrate that both locations are affected by the hydrothermal activity within the upper crust at the rift axis of Bransfield Strait. They are to be considered as two components of *one* hydrothermal system.

## VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

| Abk.    | Abkürzung   |
|---------|---|
| BW      | Bodenwasser   |
| CTD     | Sonde für Leitfähigkeit, Temperatur, Tiefe (Conductivity, Temperature, Depth)       |
| DIC     | gelöster anorganischer Kohlenstoff (Dissolved Inorganic Carbon)                     |
| DSDP    | Deep-Sea Drilling Program   |
| EPR     | Ostpazifischer Rücken (East Pacific Rise)   |
| GC      | Gaschromatograph  |
| IAPSO   | Meerwasserstandard der International Association for Physical Sciences of the Ocean |
| IC      | Ionenchromatograph  |
| ICP-AES | Induktiv gekoppeltes Plasma - Atomemissionsspektrometer                             |
| ICP-MS  | Induktiv gekoppeltes Plasma - Massenspektrometer                                    |
| Ma      | Millionen Jahre   |
| MAG-1   | zertifizierter Sedimentstandard des US Geological Survey                            |
| MAR     | Mittelatlantischer Rücken (Mid-Atlantic Ridge)                                      |
| MC      | Minicorer   |
| MilliQ  | deionisiertes Wasser (<0.05 µS)   |
| MOR     | Mittelozeanischer Rücken  |
| NBS     | Standard des National Bureau of Standards   |
| ODP     | Ocean Drilling Program  |
| OFOS    | Video-/Foto-Schlitten (Ocean Floor Observation System)                              |
| POC     | partikulärer organischer Kohlenstoff  |
| PW      | Porenwasser   |
| SL      | Schwerelet  |
| TA      | Gesamt-Alkalinität (Total Alkalinity)   |
| TIMS    | Thermionen-Massenspektrometrie  |
| TVG     | TV-gesteuerter Greifer  |
| W/R     | Wasser/Gesteins-Verhältnis (water/rock ratio)                                       |

## DEZIMALTRENnzeICHEN

In dieser Arbeit wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.

## SYMBOLE IN ABBILDUNGEN

Die Darstellung der hydrothermal beeinflussten Kerne erfolgt mit geschlossenen Symbolen. Die Referenz-Kerne werden mit offenen Symbolen dargestellt.

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Hydrothermale Quellen an divergenten Plattenrändern

Das Auftreten hydrothermaler Zirkulation von Meerwasser durch neu gebildete Ozeankruste an mittelozeanischen Rücken konnte erstmals durch die spektakuläre Entdeckung von thermischen Quellen auf dem Galapagos Rift ( $\leq 17^\circ\text{C}$ , 1977) und dem ostpazifischen Rücken ( $350^\circ\text{C}$ , 1979) belegt werden (Corliss et al. 1979). Nach weiteren Funden im Pazifik (Edmond et al. 1982) wurden 1985 erstmals hydrothermale Quellen auf dem mittelatlantischen Rücken entdeckt (Campbell et al. 1988). Seither sind viele dieser als Hot Vents bezeichneten Fluidaustrittsstellen in verschiedenen tektonischen Rahmen entdeckt und intensiv untersucht worden (siehe Reviews in Rona et al. 1983; Parson et al. 1995; Humphris et al. 1995).

Hot Vents sind gekennzeichnet durch hoch aufragende Austrittsöffnungen (Schlote) aus Metallsulfiden und -sulfaten und sind meist dicht mit chemoautotroph lebenden Muscheln und Röhrenwürmern besiedelt. Beim Kontakt der heißen Fluide ( $> 300^\circ\text{C}$ ) mit dem kalten Meerwasser fallen Metallsulfide aus, weshalb die Schlote auch als Schwarze Raucher bekannt sind. Neben diesem fokussierten Fluidaustritt findet jedoch auch diffuser Ausstrom (meist  $< 50^\circ\text{C}$ ) entlang von Rissen in den Kissenlaven statt, der einen großen Anteil an der Massenbilanz des Fluidausstroms ausmacht.

Die Konvektionszellen bilden sich zwischen dem Zentrum der Spreizungszone und seinen Flanken aus. Meerwasser wird durch Spalten in die obere Kruste eingesogen (Recharge-Zone), strömt in Richtung der Rückenachse und tritt dort als Ventfluid aus (Discharge-Zone). Die Konvektion wird durch Temperatur- und Dichteunterschiede zwischen dem Meerwasser und dem Ventfluid angetrieben und aufrechterhalten. Innerhalb der Kruste (Reaktionszone) wird das Meerwasser durch die Nähe zur Magmakammer stark erhitzt ( $> 350^\circ\text{C}$ ), reagiert mit den Basalten und unterliegt häufig einer Phasenseparation. Während des Aufstiegs kühlt sich dieses alterierte Meerwasser (Hydrothermal-Fluid) durch adiabatische Dekompression, konduktiven Wärmeverlust und die Zumischung von kaltem Meer- oder Porenwasser ab. Die vielfältigen Reaktionen innerhalb der gesamten Konvektionszelle führen dazu, daß das austretende Ventfluid sich in seiner geochemischen Zusammensetzung stark vom ursprünglichen Meerwasser unterscheidet. Ventfluide haben i.d.R. einen niedrigen pH-Wert, sind angereichert mit Sulfid und Metallen und abgereichert an Magnesium und Sulfat.

Neben den Spreizungszonen an mittelozeanischen Rücken gibt es solche in Back Arc Becken, an denen ebenfalls Fluidaustritten beobachtet werden, die ähnliche geologische und biologische Charakteristika aufweisen, z.B. Lau Becken (Fouquet et al. 1991) und Nord Fidji Becken (Ishibashi et al. 1994; Halbach et al. 1999).

An sedimentbedeckten Rücken gelangt das Ventfluid nicht direkt in die Wassersäule, sondern unterliegt zunächst Wechselwirkungen mit dem

aufliegenden Sediment, wobei es wiederum alteriert wird und abkühlt. Das Porenfluid an sediment-bedeckten Spreizungszonen stellt daher eine Mischung aus diagenetischem Porenwasser und hydrothermal alteriertem Meerwasser dar. Die gegenüber gewöhnlichem Tiefseesediment z.T. erhöhten Temperaturen haben jedoch auch einen Einfluß auf Diagenese- und Metamorphose-Reaktionen, die in hydrothermal beeinflussten Sedimenten häufig in geringerer Tiefe durchlaufen werden. Aufgrund der an diesen Lokationen zusätzlich ablaufenden Reaktionen im Sediment unterscheiden sich die Hydrothermalfluide an sediment-bedeckten Austrittsstellen deutlich von denen an sediment-freien Rücken. Der Fluidausstrom ist meist diffus und von geringerer Temperatur. Beispiele für Lokationen, die inzwischen gut untersucht sind, sind das Guaymas Becken (Golf von Kalifornien; Gieskes et al. 1982b) und der Escanaba Trog (Gorda Ridge; Morton et al. 1994).

Die Porenwässer sind stets als ein Gemisch aus aufsteigendem Ventfluid und diagenetischem Porenwasser zu betrachten.

## 1.2 Bearbeitete Fragestellungen

In dieser Arbeit werden zwei Untersuchungsgebiete im Zentralen Becken der Bransfield Straße, einem jungen Spreizungszentrum vor der antarktischen Halbinsel mit rezenter hydrothermal Aktivität, vorgestellt. Das erste Arbeitsgebiet, Hook Ridge, ist eine vulkanisch aktive Struktur mit gering mächtiger Sedimentauflage in einer Wassertiefe von 1050 m. Das zweite Gebiet ist das daran unmittelbar angrenzende King George Becken mit Sedimentmächtigkeiten bis zu 300 m und einer mittleren Wassertiefe von 2000 m.

Die Bransfield Straße weist in vielerlei Hinsicht Besonderheiten auf:

- Hydrothermale Aktivität in hoher südlicher Breite (62°S)
- Hydrothermale Aktivität in geringer Wassertiefe (1050 m)
- Austritt hydrothermalen Fluids durch eine Sedimentauflage
- Intensiver Diagenese in den Beckensedimenten oberhalb der Riftachse als Folge einer hohen Sedimentationsrate aufgrund hoher Primärproduktion im Südozean

Neben der Charakterisierung der Lokationen widmen sich die Untersuchungen dieser Arbeit folgenden Fragestellungen:

Hook Ridge:

- Zusammensetzung des hydrothermalen Endmember-Fluids
- Temperaturen der hydrothermalen Fluids
- Auftreten von Phasenseparation in der Reaktionszone
- Tiefe und Temperatur der Reaktionszone

King George Basin:

- Porenwasser-Transport zur Sedimentoberfläche durch Advektion / Diffusion
- Zusammensetzung des Tiefenfluids, das aus der Kruste in die Sedimentsäule eintritt
- Temperaturen am Kontakt Kruste / Sediment



- Überprägung des diagenetischen Porenwassers durch das hydrothermale Fluid

Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen werden spezielle geochemische Tracer angewendet, die einzeln oder in Kombination miteinander Aussagen über die Prozesse in der Kruste und im Sediment ermöglichen. Die theoretischen Grundlagen, die der Auswahl der Tracer zugrunde liegen, werden in Kapitel 4 dargelegt.

### 1.3 Geochemische Grundbegriffe

Im Vorfeld seien einige Grundbegriffe kurz erläutert, die für die Beschreibung der geochemischen Prozesse in Sedimenten und in der Erdkruste verwendet werden. Hierdurch soll auch den Leserinnen und Lesern, die nicht GeowissenschaftlerInnen sind, das Verständnis der nachfolgenden Diskussionen und der zitierten Literatur erleichtert werden. Die Definitionen sind zusammengestellt aus Mason & Moore (1985) und Murawski (1983); hier könne auch detailliertere Ausführungen entnommen werden.

Unter Diagenese wird die Verfestigung von Sedimenten zu sedimentären Gesteinen verstanden; die Umwandlung während und unmittelbar nach der Ablagerung der Sedimente wird als Frühdiagenese bezeichnet. Die Abgrenzung der Diagenese zur sich anschließenden Metamorphose ist nicht streng definiert, da sich häufig beide Prozesse überlagern; sie liegt bei ca. 200°C und 2 kbar.

Metamorphose bezeichnet die Summe aller Prozesse, die nicht an der Erdoberfläche stattfinden und unter Beibehaltung des festen Zustandes zu raumgreifenden Veränderung in der Mineralzusammensetzung führen. Ihre Ursache sind veränderte pT-Bedingungen oder Veränderungen im geochemischen Milieu. Entscheidend für metamorphe Prozesse ist, daß die Mineralumwandlung weitgehend ohne Veränderung des chemischen Stoffbestandes stattfindet (isochemische Umwandlung). Prograde Metamorphose bezeichnet die Vorgänge bei einer Absenkung des Sediment- oder Gesteinsmaterials, d.h. bei zunehmendem Druck und zunehmender Temperatur. Dabei ist die Temperaturabhängigkeit deutlich stärker als die Druckabhängigkeit, was die Abschätzungen der Bildungstemperatur anhand der Mineralphasen ermöglicht. Retrograde Metamorphose ist entsprechend der Vorgang bei Druckentlastung und einhergehender Temperaturabnahme. Eine metamorphe Reaktion, bei der Stoffe durch eine mobile Phase zu- oder abgeführt werden (allochemische Umwandlung), wird als Metasomatose bezeichnet. Sie geschieht in der Regel ohne Änderung des Gesamtvolumens.

Die Begriffe prograde Alteration und retrograde Alteration werden verwendet, um die Gesamtheit der Prozesse zu bezeichnen, die unter dem Einfluß erhöhter Temperatur (> 400°C) bzw. bei der anschließenden Abkühlung der Gesteine / Sedimente (ab < 350°C) ablaufen (Metamorphose und Metasomatose). Der Begriff Hydrothermale Alteration wird für die Alteration bei Temperaturen von 70° bis 400°C verwendet, die durch thermische Konvektion von erhitztem Meerwasser verursacht wird (Thompson 1991). Die Alteration

bei niedrigen Temperaturen ( $< 70^{\circ}\text{C}$ ) wird im submarinen Milieu als Halmyrolyse (engl. seafloor weathering) bezeichnet (Thompson 1991). Sie ist vergleichbar mit der subaerischen Verwitterung.

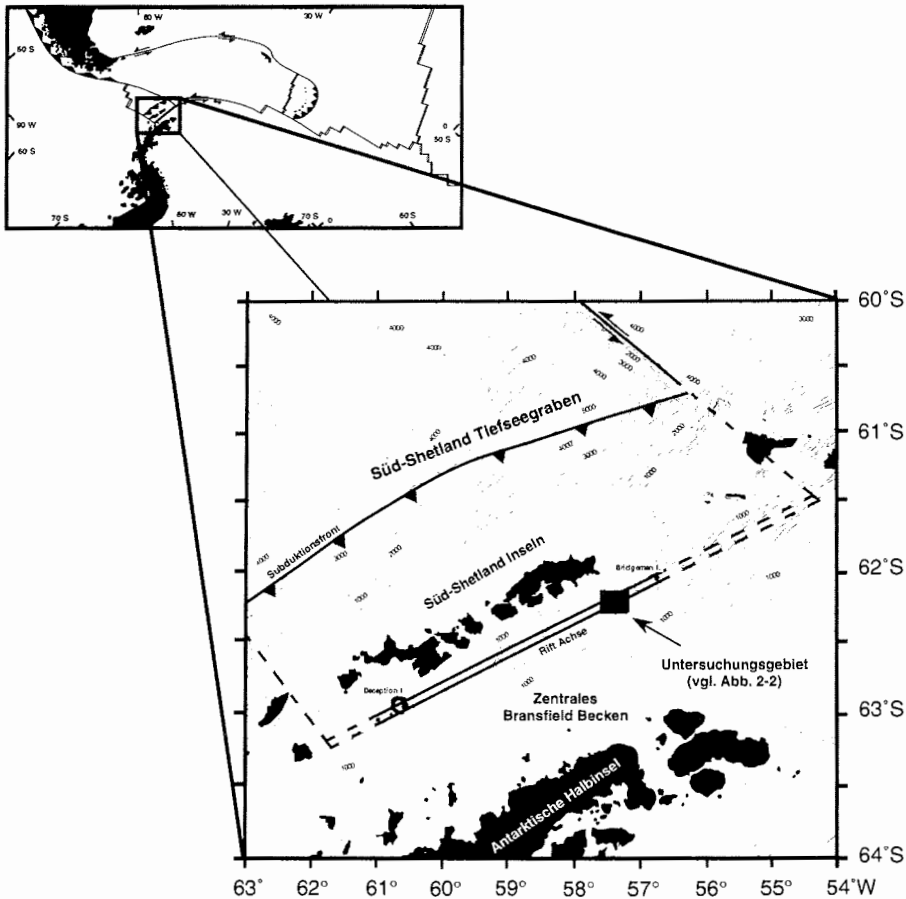
Neben den pT-Bedingungen und der Gesteinszusammensetzung spielt das Wasser/Gesteins-Verhältnis eine wichtige Rolle bei der Bildung bestimmter Minerale. Das Wasser/Gesteins-Verhältnis (W/R, engl. water/rock ratio) ist definiert als die Gesamtmenge an Wasser, die mit dem Gestein reagiert hat. Die hoch-temperierte, prograde Alteration findet i.a. bei niedrigen W/R-Verhältnissen und anoxischen Bedingungen statt, wohingegen die niedrig-temperierte, retrograde Alteration bei relativ hohen W/R-Verhältnissen (meist im oberen Bereich von Kissen-Laven) und unter oxischen Bedingungen abläuft. Diese Situation verändert sich hin zu stärker anoxischen Bedingungen, wenn die Basalte zunehmend mit Sedimenten bedeckt werden und / oder die Fluidkanäle im Gestein infolge der Sekundärmineral-Bildung undurchlässig werden (Thompson 1991).

## 2 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND DATENMATERIAL

### 2.1 Tektonischer und geologischer Rahmen

Bransfield Straße ist ein junges, vulkanisch und tektonisch aktives Randbecken zwischen den Süd-Shetland Inseln und der Antarktischen Halbinsel (Abbildung 2-1). Es ist ca. 400 km lang, erstreckt sich in NE-SW licher Richtung und hat eine maximale Breite von 80 km. Die Bransfield Straße besteht aus drei Becken und mehreren submarinen und z.T. subaerischen vulkanischen Erhebungen. Die bedeutendsten submarinen Erhebungen sind Hook Ridge, Viehoff Seamount, Little Volcano und Three Sisters (nach Lawver et al. 1996), die von den spanischen Arbeitsgruppen als Strukturen F, E, C, und D bezeichnet werden (Gràcia et al. 1997). Abgesehen vom Viehoff Seamount liegen die meisten submarinen Strukturen im Zentralen Bransfield Becken auf einer Achse, die sich zwischen den beiden aktiven Vulkaninseln Deception Island im Südwesten und Bridgeman Island im Nordosten erstreckt und als die rezente Riftachse interpretiert wird (Keller et al. 1991; Lawver et al. 1996; Gràcia et al. 1997). Eine umfangreiche Studie zur Hydrographie der Bransfield Straße ist in Wilson et al. (1999) publiziert.

Nachdem die Spreizung am Antarktis-Phoenix-Rücken vor ca. 8 Ma aufhörte, kam die Subduktion entlang des Süd-Shetland Tiefseegrabens vor ca. 3-4 Ma zum Stillstand oder verlangsamte sich zumindest deutlich (Barker & Austin 1994; Livermoore et al. 2000). Die Dehnung im Backarc-Bereich setzte vor ca. 1-2 Ma ein (Keller & Fisk 1992), während der Backarc-Vulkanismus erst vor ca. 0.3 Ma begann (Lawver et al. 1995). Im Gegensatz zum Backarc-Vulkanismus ist der Arc-Vulkanismus (South Shetland Inseln) schon seit 10-20 Ma nicht mehr aktiv. Das Fehlen von aktiver Subduktion - belegt durch das Fehlen jeglicher Erdbebenaktivität - und Arc-Vulkanismus gilt als das außergewöhnliche tektonische Merkmal der Bransfield Straße (Keller & Fisk 1992). Seismische Untersuchungen führten zunächst zu der Annahme, daß sich entlang der zentralen vulkanischen Zone ozeanische Kruste ausbildet und nur die Flanken des Beckens aus kontinentaler Kruste bestehen. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, daß es sich nicht um eine ozeanische Spreizungszone handelt sondern um intrakontinentales Rifting entlang mehrerer parallel verlaufender Riftachsen (Barker & Austin 1994; Barker & Austin 1998). Dieser Mechanismus erklärt auch die Anordnung der vulkanischen Strukturen (z.B. Three Sisters; Gràcia et al. 1996). Diese stellen magmatische Intrusionen in Dehnungsspalten dar, die sich infolge des extensiven Stresses innerhalb der Kruste gebildet haben. Geodätische Spezialvermessungen belegen, daß die Dehnung aktiv ist, aber mit Raten von ca. 11 mm/a sehr langsam ist (Dietrich et al. 1998).



**Abbildung 2-1:** Tektonische Strukturen im Bereich der Bransfield Straße und Lokation des Untersuchungsgebietes (schwarzes Kästchen, vgl. Abb. 2.2). Die Karte wurde von G. Bohrmann zur Verfügung gestellt und geringfügig bearbeitet.

Aufgrund der genannten Besonderheiten unterscheiden sich die tektonischen Prozesse in der Bransfield Straße grundlegend von denen in gewöhnlicher Back Arc Becken des westlichen Pazifiks. Von den meisten Autoren wird daher auch die Bezeichnung Back Arc Becken vermieden und stattdessen der Begriff eines sich ausdehnenden Randbeckens verwendet (z.B. Keller et al. 1991; Keller & Fisk 1992; Barker & Austin 1994; Bohrmann et al. 1999).

## 2.2 Hydrothermalismus und Geochemie

Aktiver Hydrothermalismus wurde zunächst im King George Becken aufgrund von  $^3\text{He}$ -Plumes in der Wassersäule (Schlosser et al. 1988) und thermogenen Kohlenwasserstoffen im Sediment (Whiticar et al. 1985; Suess et al. 1987; Whiticar & Suess 1990; Brault & Simoneit 1990) beschrieben und später durch weitere Untersuchungen in der Wassersäule (Klinkhammer et al. 1995; Chin et al. 1996) und Wärmeflußmessungen im Sediment (Lawver et al. 1995) erhärtet. Weitere Untersuchungen zeigten Anzeichen von Hydrothermalismus an den Strukturen Hook Ridge, Little Volcano und Three Sisters, die jedoch nicht näher lokalisiert werden konnten. Während der Ausfahrt ANT-XV/2 mit *FS Polarstern* konnten auf einer sediment-bedeckten Lokation auf Hook Ridge erstmals Austrittsstellen von warmen ( $24^\circ\text{C}$ ) Fluiden mit TV-gesteuerten Geräten beobachtet und beprobt werden (Bohrmann et al. 1999). Untersuchungen während der Ausfahrt NBP 99-04 mit *RV/IB N.B. Palmer* legen die Vermutung nahe, daß in der Bransfield Straße auch fokussiertes Venting mit Temperaturen bis zu  $250^\circ\text{C}$  an sediment-freien Stellen auftritt (Klinkhammer et al. 1999; Klinkhammer et al. in prep.).

Die Vulkanite der Bransfield Straße zeichnen sich durch gegenüber N-MORB erhöhte Si-Gehalte aus, wie dies allgemein für Backarc-Becken der Fall ist. Die Analyse ergab eine Zusammensetzung von tholeiitischen Basalten bis basaltischen Andesiten (Keller et al. 1991). Die geochemische Zusammensetzung ist ähnlich der anderer Randbecken des Pazifiks. Gegenüber MORB sind Alkali- und Erdalkali-Elemente deutlich angereichert. Die Isotopensignaturen von Sr, Nd und Pb deuten auf einen nur sehr geringen Anteil von kontinentaler Kruste oder subduzierten Sedimenten in den produzierten Laven hin (0.5-2 %; Keller et al. 1991).  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenverhältnisse unterstützen diesen Hinweis (Schlosser et al. 1988). Im Gegensatz zu den tektonischen Besonderheiten ist die Geochemie dieser Lokation eher typisch für Backarc-Becken (Keller et al. 1991).

An Lokationen mit großen Sedimentmächtigkeiten (King George Becken) überlagert die hydrothermale Signatur, die sich an der Sediment/Kruste-Grenze ausbildet die diagenetischen Prozesse (anoxischer POC-Abbau). Die Bransfield Straße bietet daher die Möglichkeit, beide Prozesse zu untersuchen und die Auswirkungen der Überprägung herauszuarbeiten (Suess et al. 1987).

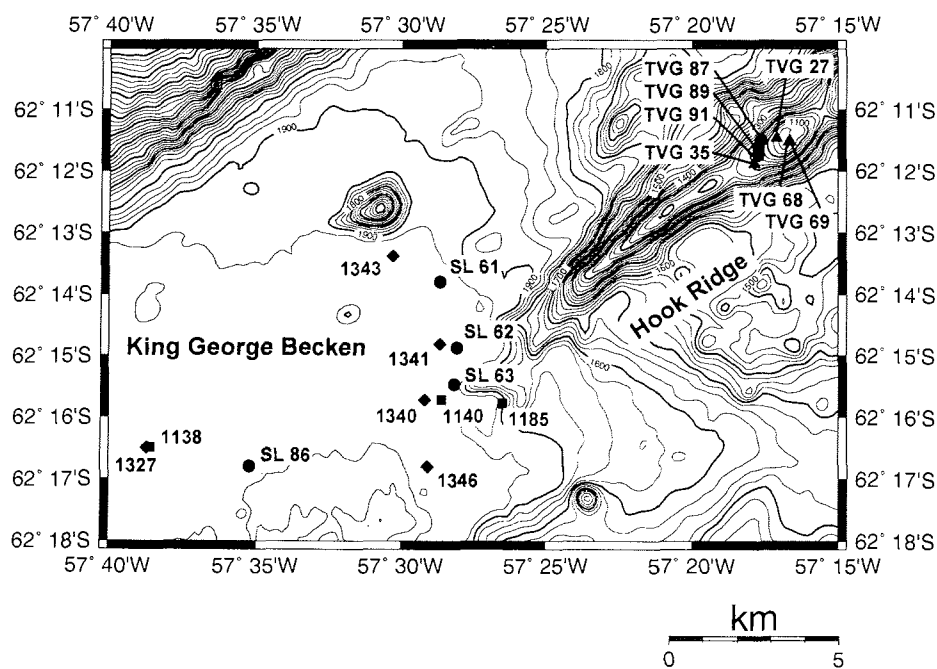
## 2.3 Bearbeitete Stationen

In dieser Arbeit wird nur der östliche, als King George Becken bezeichnete Teil des Zentralen Bransfield Beckens und die nordöstlich angrenzende vulkanische Struktur Hook Ridge betrachtet. Das King George Becken weist einen sehr ebenen Beckenboden auf und stellt mit fast 2000 m den tiefsten Teil des Zentralen Bransfield Beckens dar.

Im folgenden sind die Ausfahrten mit ihren in dieser Arbeit verwendeten Kurzbezeichnungen aufgelistet, während derer im genannten Bereich Sedimentkerne genommen wurden:

- ANT-II/3** bezeichnet die Ausfahrt ANT-II/3 mit *FS Polarstern*:  
Punta Arenas - Punta Arenas, 22.11. - 26.12.83 (Fütterer 1984)
- ANT-IV/2** bezeichnet die Ausfahrt ANT-IV/2 mit *FS Polarstern*:  
Rio de Janeiro - Punta Arenas, 06.11. - 01.12.85 (Fütterer 1986)
- ANT** bezeichnet die Ausfahrt ANT-XV/2 mit *FS Polarstern*:  
Kapstadt - Kapstadt, 09.11.98 - 11.01.99 (Schenke in prep.)
- NBP** bezeichnet die Ausfahrt NBP 99-04 mit *RV/IB N. B. Palmer*:  
Punta Arenas - Punta Arenas, 16.04. - 11.05.99 (Klinkhammer 1999)

Die bearbeiteten Stationen sind in in Abbildung 2-2 dargestellt und in Tabelle 2-1 aufgelistet .



**Abbildung 2-2:** Bathymetrische Karte mit den beprobten Stationen in der Bransfield Straße Quadrate: ANT-II/3; Rauten: ANT-IV/2; Punkte: ANT-XV/2; Dreiecke: NBP 99-04. Die Karte wurde von C. Chin (Oregon State University) unter Verwendung von bathymetrischen Datensätzen der Fahrten NBP 95-07 und NBP 99-04 angefertigt und geringfügig bearbeitet.

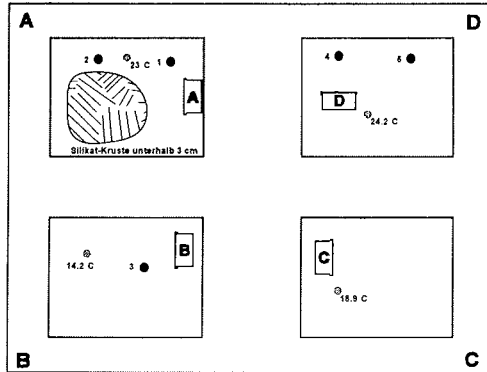
In dieser Arbeit kann neben den in den Jahren 1998 und 1999 gewonnenen Proben auf Daten zurückgegriffen werden, die bereits 1985 bis 1988 während der Expedition ANT-IV/2 erhoben wurden (Fütterer 1986). Dabei wird besonders auf die von Han, Whiticar und Suess untersuchten Schwerelot-Kerne im King George Becken eingegangen (Whiticar et al. 1985; Han 1987; Suess et al. 1987; Han 1988; Whiticar & Suess 1990). Die während ANT-XV/2 gezogenen Schwerelote SL 61 bis SL 63 ergänzen diesen Probensatz, der einen südlich von Hook Ridge gelegenen Transekt im King George Becken bildet. Die Kerne zeigen in unterschiedlichem Maße Einfluß von Hydrothermalismus in der Tiefe. Als Referenzstationen, die ein rein diagenetisches Signal zeigen, dienen die Schwerelotkerne 1327 und SL 86, die westlich des Transektes gezogen wurden.

Während der Expeditionen ANT-XV/2 und NBP 99-04 wurden auch auf der vulkanischen Struktur Hook Ridge Sedimentkerne mit dem videogeführten TV-Greifer (TVG) genommen. Mit dem ANT-TVG 91 wurde eine aktive Fluidaustrittsstelle am Top des Vulkangebäudes mit einer Temperatur bis zu 24°C beprobt. Neben Sedimenten wurden Silikatpräzipitate und Eisensulfide geborgen. Die NBP-TVG 68 und TVG 69 wurden in einer Caldera-artigen Struktur auf dem Top von Hook Ridge abgesetzt. Sie sind ebenso durch Silikatpräzipitate dominiert, weisen jedoch mit 42.6°C bzw. 48.6°C noch höhere Temperaturen auf. Die Beprobung ist in Abbildung 2-3 schematisch dargestellt. Die Stationen ANT-TVG 87 und 89 sowie NBP-TVG 27 befinden sich im Randbereich zu hydrothermal-beeinflußten Sedimenten und dienen im folgenden als Referenz-Stationen.

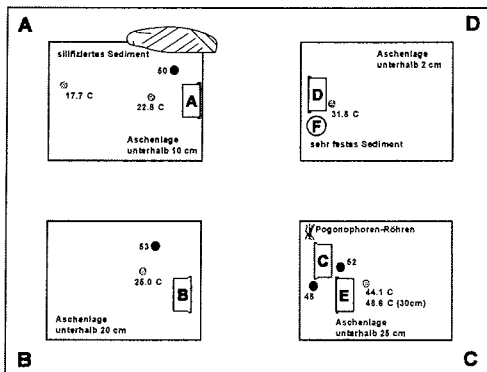
**Tabelle 2-1:** Liste der bearbeiteten Station

| Bezeichnung              | Ausfahrt   | Stations-Nr. | Datum      | geogr. Breite /<br>°S | geogr. Länge<br>°W | Wassertiefe<br>[m] | Ausbeute   | Bemerkung |
|--------------------------|------------|--------------|------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|
| <u>King George Basin</u> |            |              |            |                       |                    |                    |            |           |
| 1138                     | ANT-II / 3 | 225          | 26.11.1983 | 62°16.5'              | 57°38.6'           | 1947               | 12.2 m     |           |
| 1140                     | ANT-II / 3 | 227          | 27.11.1983 | 62°15.7'              | 57°28.6'           | 1943               | 8.5 m      |           |
| 1327                     | ANT-IV / 2 | 279          | 15.11.1985 | 62°16.5'              | 57°38.7'           | 1978               | 7.60 m     |           |
| 1340                     | ANT-IV / 2 | 291          | 22.11.1985 | 62°16.8'              | 57°29.1'           | 1979               | 6.40 m     |           |
| 1341                     | ANT-IV / 2 | 291          | 22.11.1985 | 62°15.7'              | 57°29.2'           | 1980               | 7.70 m     |           |
| 1343                     | ANT-IV / 2 | 291          | 22.11.1985 | 62°14.8'              | 57°28.7'           | 1980               | 5.65 m     |           |
| 1346                     | ANT-IV / 2 | 295          | 23.11.1985 | 62°13.4'              | 57°30.3'           | 1970               | 5.00 m     |           |
| SL 61                    | ANT-XV / 2 | PS 47/061    | 09.12.1997 | 62°13.88'             | 57°28.74'          | 1934               | 5.73 m     |           |
| SL 62                    | ANT-XV / 2 | PS 47/062    | 09.12.1997 | 62°14.99'             | 57°28.13'          | 1992               | 5.71 m     |           |
| SL 63                    | ANT-XV / 2 | PS 47/063    | 09.12.1997 | 62°15.59'             | 57°28.22'          | 1994               | 6.41 m     |           |
| SL 86                    | ANT-XV / 2 | PS 47/086-2  | 18.12.1997 | 62°16.46'             | 57°33.03'          | 2009               | 8.67 m     |           |
| <u>Hook Ridge</u>        |            |              |            |                       |                    |                    |            |           |
| TVG 87                   | ANT-XV / 2 | PS 47/087    | 18.12.1997 | 62°11.48'             | 57°17.61'          | 1137               | 3 Subkerne |           |
| TVG 89                   | ANT-XV / 2 | PS 47/089    | 18.12.1997 | 62°11.64'             | 57°17.67'          | 1134               | 2 Subkerne |           |
| TVG 91                   | ANT-XV / 2 | PS 47/091    | 19.12.1997 | 62°11.80'             | 57°17.67'          | 1133               | 4 Subkerne | 24°C      |
| TVG 27                   | NBP 99-04  | 8.27-tvg(01) | 25.04.1999 | 62°11.45'             | 57°17.07'          | 1058               | 2 Subkerne |           |
| TVG 35                   | NBP 99-04  | 8.35-tvg(02) | 26.04.1999 | 62°11.86'             | 57°17.87'          | 1162               | 2 Subkerne | 11°C      |
| TVG 68                   | NBP 99-04  | 8.68-tvg(04) | 01.05.1999 | 62°11.51'             | 57°16.62'          | 1052               | 6 Subkerne | 48.6°C    |
| TVG 69                   | NBP 99-04  | 8.69-tvg(05) | 01.05.1999 | 62°11.53'             | 57°16.68'          | 1045               | 3 Subkerne | 42.6°C    |

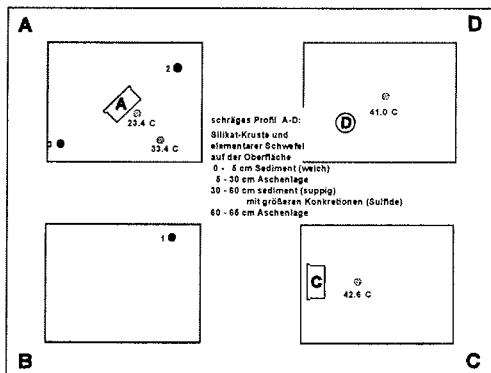
**ANT XV/2  
TVG 91**



**NBP 99-04  
TVG 68**



**NBP 99-04  
TVG 69**



**Legende**

- Subkern für Porenwasser-Gewinnung
- Subkern für Porenwasser-Gewinnung unter Inertgas-Atmosphäre
- Subkern, der für spätere Messungen eingefroren wird
- Oberflächensediment-Proben für spezielle Analysen
- 42.6°C Temperatur-Messung (in ca. 25 cm Tiefe)
- Silikat-Kruste / silifiziertes Sediment

**Abbildung 2-3:** Schematische Darstellung der Beprobung der hydrothermalen TVG-Stationen auf Hook Ridge



### 3 METHODIK

#### 3.1 Probenahme

Die Probenahme von Sedimenten erfolgte für die meisten der hier betrachteten Proben mit dem TV-gesteuerten Greifer (TVG). Andere eingesetzte Geräte sind Multicorer (MUC), Minicorer (MIC) und Schwerelot (SL). Details über die technischen Daten dieser Geräte und ihren Einsatz sowie den Video-/Foto-Schlitten (OFOS) finden sich in den Fahrtberichten der jeweiligen Ausfahrten (Herzig et al. 1997; Suess & Bohrmann 1997; Klinkhammer 1999; Schenke in prep.). Wegen der Bedeutung der Probenahme mit dem TVG und der vorausgehenden OFOS-Einsätze wird die praktizierte Beprobungsstrategie an dieser Stelle ausführlich dargestellt.

##### **OFOS-Einsatz**

Der Sedimentbeprobung geht eine eingehende Beobachtung des Meeresbodens mit dem geschleppten Video-/Foto-Schlitten OFOS (Ocean Floor Observation System) voraus. Mit Hilfe dieses Gerätes werden Fluidaustrittsstellen lokalisiert, deren Vorkommen zunächst anhand geologischer Strukturen (Bathymetrie, Morphologie) und Anomalien in der Wassersäule (Methan, Temperatur, Partikelkonzentration) weitgehend eingegrenzt wurde. Das Gerät wird mit 0.5 bis 1 Knoten in einem Abstand von 2 - 3 m über Grund geschleppt und ein schwarz-weißes Video-Signal wird online in den Kontrollraum gesendet. Der beobachtbare Ausschnitt des Meeresbodens ist etwa 2.5 x 3.5 m. Während eines Einsatzes können maximal 800 Dias aufgenommen werden, was i.d.R. automatisch in regelmäßigen Intervallen (z.B. 15 sec) geschieht, da dies eine statistische Auswertung der Beobachtungen ermöglicht. Zwei am Schlittengestell montierte, parallel ausgerichtete Laser-Pointer erlauben eine Skalierung der aufgenommenen Objekte. Ein Teil der Fotos wird bereits an Bord entwickelt; dies dient zum einen der Qualitätskontrolle, zum anderen jedoch auch der genaueren Auswertung der Beobachtungen, die einen wichtigen Beitrag für die Planung einer späteren Beprobung mit dem TVG liefert. Die am OFOS installierte Memory-CTD wird nach dem Geräteeinsatz ausgelesen. Die aufgezeichnete Temperatur läßt (unter Berücksichtigung des Salzgehaltes) ggf. Anomalien erkennen, die auf das nahe Ausströmen von Fluiden zurückgeführt werden können. Der in Wassertiefe umgerechnete Druck erlaubt eine exaktere Rekonstruktion der abgefahrenen Strecke als es mit der aufgezeichneten Schiffsposition möglich ist, da diese nicht identisch mit der des geschleppten Gerätes ist.

##### **TVG-Einsatz**

Nachdem mit OFOS und aufgrund von Anomalien in der Wassersäule das Auftreten von Fluidaustrittsstellen lokalisiert wurde, wird der TV-Greifer eingesetzt. Dieser wird ebenso über Grund geschleppt und sendet ein schwarz-weißes Videosignal in den Kontrollraum. Die Probenahme erfolgt durch rasches Absenken des Greifers und anschließendes hydraulisches Schließen

der Greiferbacken. Die beprobte Fläche beträgt ca. 1.82 m<sup>2</sup> und die maximale Sedimenttiefe 50 cm.

Nachdem der Greifer an Deck gehievt und festgemacht wurde, werden zunächst nur die vier Klappen an der Oberseite geöffnet und der Fund fotografisch festgehalten. Bei hydrothermal beeinflussten Proben wird die Temperatur des Sedimentes an verschiedenen Stellen gemessen. Für die Porenwasser- und Sedimentgeochemie werden dann Archivkästen (oder Liner von Multicorern) an geeigneten Stellen in das Sediment gesteckt und deren Position im Protokoll aufgenommen. An Ventlokation werden dabei möglichst alle vier Quadranten des Greifers beprobt. Bevor die Subkerne ausgegraben werden, werden ggf. Ventfauna und Präzipitate von der Oberfläche abgesammelt. Die Kerne werden zur weiteren Bearbeitung in den Kühlraum bzw. das Geolabor transportiert, die Greiferbacken anschließend geöffnet und das verbleibende Sediment auf das Deck entleert. Es wird nochmals nach Ventfauna und Präzipitaten durchsucht.

### 3.2 Porenwassergewinnung

Um das Porenwasser aus den Sedimenten zu gewinnen, werden die Subkerne in Tiefenintervalle geteilt (1-3 cm) und das Porenwasser in einer Presse unter Druck (Argongas, ca. 3-4 bar) durch Membranfilter gepreßt. Es werden Celluloseacetat-Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 0.2 µm (z.T. auch 0.45 µm) verwendet. Für die Spurenelementanalytik werden während der Ausfahrt NBP99-04 Durapore®-Filter (0.2 µm) verwendet.

Sollen Spurenelemente an den Proben analysiert werden, erfolgt das Auspressen in Inertgas-Atmosphäre (Argon) in einem Handschuhzelt, um die Oxidation redoxsensitiver Elemente zu vermeiden. Da die Oxidation bereits im feuchten Sediment abläuft und dabei das Verhältnis von gelöstem zu gebundenem Anteil einiger Elemente verändert werden kann, ist auf zügige Beprobung und Überführung der Sedimentintervalle in das Handschuhzelt zu achten. Die Beprobung erfolgt daher mit abgeschnittenen 50 ml Spritzen (je 2 pro Tiefe), die sofort mit Parafilm verschlossen und in Beuteln aufbewahrt werden, bis 12 Tiefen-Intervalle beprobt wurden und die Presse damit bestückt werden kann. Die ersten Milliliter des Porenwassers werden verworfen, dann wird Lösung für die Nährstoffanalytik aufgefangen und anschließend ein Aliquot des Porenwassers direkt in ein 4 ml PE-Gefäß geleitet, das eine Vorlage von 4-10 µl 30% HCl suprapur enthält.

Die beschriebene Prozedur wird bei einer Temperatur durchgeführt, die der in situ Temperatur des Sedimentes möglichst nahe kommt, um Artefakte durch nachträgliche Lösungs-/Fällungs-Reaktionen weitgehend auszuschließen. Im allgemeinen finden die Arbeiten im Kühlraum bei ca. 4°C statt; warme Sedimente werden bei Zimmertemperatur gepreßt.

Für die spätere Messung von TA, H<sub>2</sub>S und DIC werden Aliquote abgefüllt und bis zur Messung der Nährstoffe kühl gelagert bzw. eingefroren. Die gepreßten Sedimentkuchen werden in Plastikbeutel verpackt und bei Raumtemperatur gelagert.

### 3.3 Porenwasser-Analytik

#### **Nährstoffe**

Die Methoden für die Nährstoffanalytik an Bord der Forschungsschiffe basieren auf den Anleitungen von Grasshoff et al. (1983), die im DSDP/ODP-Programm auf kleine Volumina optimiert wurden (Gieskes et al. 1991). Unter Nährstoffen werden hier auch Silikat und Sulfid verstanden. Die Analytik erfolgt auf der Ausfahrt ANT XV/2 mit Hilfe eines Autoanalysers (Einzelanfertigung), auf der Ausfahrt NBP 99-04 wird sie von Hand durchgeführt und die Messungen erfolgen an einem Photometer (Perkin Elmer Lambda 2).

Abweichungen von den zitierten Beschreibungen sind für Porenwässer mit hohen Sulfid-Gehalten notwendig. Es wird ein größeres Volumen Zinkacetat-Gelatine-Lösung zur Fixierung vorgelegt (0.5-1 ml) und die Analyt-Lösung stark verdünnt (1:10 bis 1:1000). Für die Messung der anderen Nährstoffe muß das Sulfid zuvor aus der Probe ausgetrieben werden, da sonst Störungen bei den Farbreaktionen auftreten. Dies wird durch Ansäuern und Durchleiten von  $N_2$  bzw. Stehenlassen über Nacht gewährleistet.

Unter Sulfid wird im Text stets die Summe aller Sulfid-Spezies verstanden, die je nach pH-Wert von  $HS^-$  bzw.  $H_2S(aq)$  dominiert wird.

#### **Gesamtalkalinität**

Die Gesamtalkalinität der Porenwässer (TA) wird mit einer Ein-Punkt-Titration nach Breland & Byrne (1993) ermittelt. Hierbei wird 1 ml Probe mit einer 0.01 N HCl versetzt, so daß der pH-Wert zwischen 3.00 und 3.52 liegt. Proben mit hohen TA-Werten werden mit höher konzentrierter Säure titriert bzw. mit geringerem Volumen eingesetzt. Die Messung des pH-Wertes erfolgt potentiometrisch. Die Kalibration der pH-Elektrode (GAT ionotrode IJ42) erfolgt mit Puffern aus 0.01 N HCl in 70%(v/v) synthetischem Meerwasser (nach Dickson 1993), wobei zunächst der Alkalinitätsblindwert der Salzwassermatrix mit einer Gran-Titration bestimmt wird (Stumm & Morgan 1996). Die Messung wird i.d.R. im Kühlraum durchgeführt (je nach *in situ* Temperatur der Sedimente).

#### **Halogenide und Sulfat**

Ausgewählte Proben werden bereits an Bord mit der Mohr-Titrationsmethode, die von Gieskes et al. (1991) auf Porenwässer optimiert wurde, auf ihren Cl-Gehalt untersucht. Die Probe wird mit 0.1 M Silbernitrat-Lösung titriert und der Umschlagspunkt mit einem Kaliumchromat/Kaliumdichromat-Indikator festgestellt. Als Standard wird der Meerwasserstandard IAPSO titriert. Es erfolgt stets eine Doppelbestimmung, die Präzision der Methode ist besser als 0.3 %.

Die Anionen Cl, Br, I und  $SO_4$  werden im GEOMAR-Labor mit Hilfe der Ionenchromatographie bestimmt. Die Methodenparameter sind in Tabelle 9-1 im Anhang 9.2 zusammengestellt.

### **Hauptelemente**

Für die Bestimmungen der Hauptelemente im Porenwasser an der ICP-AES des GEOMAR wurden im Rahmen dieser Dissertation Methoden entwickelt (s.u.). Die Kalibration erfolgt mit 4-5 Multielement-Standards, die in einer NaCl-Matrix (559 mM) angesetzt werden, die der Probenmatrix angepaßt ist. Die Peak-Intensität wird über ein Gauß-Fitting ermittelt, d.h. es wird eine Gaußkurve durch 3 Punkte am Peakmaximum gelegt und die Intensität am Kurvenmaximum bestimmt. Die Proben werden für die Analytik der Porenwässer 1:10 verdünnt, wobei der Verdünnungslösung ein interner Standard (Yttrium, 10 ppm) zugesetzt ist, mit dem Intensitäts-Schwankungen, die aus dem Plasma herrühren, korrigiert werden können.

Die Bestimmung der Richtigkeit der Methode wird durch Messungen des IAPSO-Standards, dem Mn und Ba zudosiert wird, mindestens einmal nach jeder Kalibration vorgenommen. Die Präzision ergibt sich aus mehreren Doppelbestimmungen. Die Meßparameter für die ICP-AES-Messungen sind in Tabelle 9-2 im Anhang 9.2 zusammengestellt.

#### Methodenentwicklung:

Bei der Methodenentwicklung wird wie folgt vorgegangen: Es wird zunächst für jedes Element eine geeignete Wellenlänge aus der Literatur (Heinrichs & Hermann 1990) und dem Geräte-Manual herausgesucht, die möglichst keine Interferenz mit anderen (insbesondere höher konzentrierten) Meerwasser-Elementen aufweisen sollte. Die Empfindlichkeit der ausgewählten Linie sollte zudem an die Konzentration des Elementes angepaßt sein, d.h. Elementen mit hoher Konzentration (Na) können mit einer unempfindlicheren Linie gemessen werden als gering konzentrierte (Li, B). Für einige Elemente kann eine festinstallierte Linie des Polychromators verwendet werden, die das parallele Messen mehrerer Elemente erlaubt. Dies ist nicht nur aufgrund der Zeit- (und Probenvolumen-) Ersparnis sinnvoll, sondern auch weil dadurch die Korrektur durch den internen Standard optimiert wird. Mit Einzel-Element-Standards wird anschließend ein sog. Profil erstellt, mit dem die Peakform überprüft wird und der Hintergrund (Null-Linie) festgelegt wird. Profile mit Multi-Element-Standards ermöglichen dann das Erkennen von spektralen Interferenzen, die ggf. dazu führen, daß der Hintergrund neu festgelegt werden muß; u.U. ist es notwendig, eine andere Linie auszuwählen. Der letzte Schritt besteht darin, die Signalintensität bei verschiedenen Konzentrationen zu bestimmen und die Hochspannung am Detektor so einzustellen, daß das Signal im erwarteten Konzentrationsbereich optimal ist.

### **Spurenelemente**

Spurenelemente in Porenwässern wurden im ICP-MS-Labor des Instituts für Geowissenschaften der Universität Kiel von C.-D. Garbe-Schönberg und T. Arpe gemessen.

Ba und Mn werden mit der ICP-AES gemessen und die Meßmethode ist in der Hauptelementanalytik beschrieben (Tabelle 9-3 im Anhang 9.2).

### **Gelöster anorganischer Kohlenstoff**

Für die Analyse des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (DIC), d.h. die Summe aller gelösten Karbonat-Spezies, wird vom beprobten Porenwasser eine 2 ml-Subprobe abgefüllt, eingefroren und erst unmittelbar vor der Messung aufgetaut. Einige Proben werden direkt an Bord gemessen (S. Lammers, K. Heeschen), andere werden an ein externes Labor gegeben (GCA, Sehnde).

Mit GEOMAR-Geräten wird 100 µl Probe direkt in eine mit H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> befüllte Zelle im Gaschromatographen (GC) injiziert und das dadurch ausgetriebene CO<sub>2</sub> mit dem Trägergasstrom gestrippt. Anschließend erfolgt die Reduktion des CO<sub>2</sub> zu CH<sub>4</sub> und Detektion mit dem Flammen-Ionisations-Detektor (FID). Bei GCA erfolgt das Ausstreiben des gelösten und gebundenen CO<sub>2</sub> aus dem Porenwasser mittels H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> extern in einem Headspace-Gefäß; 100 µl der Gasphase werden dann in den GC injiziert.

Korrektur der DIC-Werte:

Bei pH-Werten von 7 bis 8 liegt der gelöste anorganische Kohlenstoff zu über 90 % als HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> vor. Bei hydrothermal beeinflussten Proben mit niedrigen pH-Werten (ca. 5.5) hingegen ist das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht zu Gunsten des gelösten CO<sub>2</sub> verschoben. Aufgrund dessen und wegen der an diesen Lokationen erhöhten Temperaturen (20-50°C) kommt es zu erheblichen Verlusten von CO<sub>2</sub> während der Aufarbeitung der Sedimente und der Gewinnung des Porenwassers (Seewald et al. 1994). Die ursprüngliche DIC-Konzentration wird daher aus der Gesamt-Alkalinität (TA) und dem unmittelbar nach der Probenahme im Sediment gemessenen pH-Wert mittels einer thermodynamischen Berechnung bestimmt (Gleichgewichtskonstanten von Millero 1995).

Eine Berücksichtigung des Beitrages von Sulfid zur TA ist nicht erforderlich, da bei Proben mit pH-Werten > 7 die Sulfid-Konzentration unter der Nachweisgrenze liegt und bei pH-Werten < 5.5 das gemessene Sulfid zu > 90 % als H<sub>2</sub>S vorliegt, das keinen Beitrag zur TA liefert. Die Borat-Alkalinität wird nicht berechnet, weil bei pH-Werten < 7.5 Bor zu > 90 % als B(OH)<sub>3</sub> vorliegt, das ebenfalls nicht zur TA beiträgt. Die Korrektur der Werte kann nur für die NBP-Kerne vorgenommen werden, weil für die ANT-Kerne keine Alkalinität bestimmt wurde.

### **$\delta^{13}\text{C}$ -Wert des DIC**

Die Messung des Isotopenverhältnisses im DIC erfolgt im Labor von GCA (Sehnde) direkt im Anschluß an die Quantifizierung des ausgetriebenen CO<sub>2</sub> mit einer GC-CF-IRMS-Kopplung (Gaschromatographie-continuous flow-Infrarot-Massenspektrometer). Das Ergebnis wird als Promill-Abweichung zum Standard PDB (Pee Dee Belemnite) angegeben. Die Reproduzierbarkeit beträgt 0.4 ‰. In der Diskussion wird ggf. die Schreibweise  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  verwendet, um das Isotopenverhältnis im DIC gegen das im Methan ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ) abzugrenzen.

Korrektur der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte:

Die Ausgasung von  $\text{CO}_2$  während der Beprobung führt nicht nur zu einer Reduzierung des DIC-Gehältes sondern auch zu einer Erhöhung des Isotopenverhältnisses im verbleibenden DIC. Der Quotient aus der residualen, d.h. der unmittelbar vor der  $\delta^{13}\text{C}$ -Analyse bestimmten DIC-Konzentration und der initialen DIC-Konzentration ergibt den verbliebenen Anteil an DIC im Porenwasser, aus dem mittels des Ansatzes der Rayleigh-Destillation (Gleichung 4-15 in Kapitel 4.4) der gemessene  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert korrigiert wird. Der Fraktionierungsfaktor der Entgasung wird dafür aus den Molenbrüchen für die Spezies des Karbonatsystems nach Usdowski (1982) berechnet.

Bei niedrigen pH-Werten von ca. 5 (d.h. hoher Anteil an  $\text{CO}_2$ ) weicht der Fraktionierungsfaktor nicht wesentlich von 1.000 ab, so daß die Korrekturen für die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der hydrothermalen Proben innerhalb der Meßgenauigkeit liegen. Für diese Proben wird daher der gemessene Wert verwendet. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Schwerelot-Kerne SL 63 und SL 86 (mit  $\text{pH} \approx 7.5$ ) wurden aus nicht eingefrorenen Subproben untersucht, aus denen aufgrund der Handhabung bei vorangegangenen Analysen ein Anteil des gelösten  $\text{CO}_2$  entgast ist. Hier erfolgte die Korrektur anhand der unmittelbar nach der Probenahme an Bord bestimmte (initialen) DIC-Konzentration. Für diese Kerne betragen die Abweichungen bis zu 11‰.

#### **$\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta\text{D}$ -Wert**

Für die Analyse der Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopenverhältnisse im Porenwasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) wird vom beprobten Porenwasser eine 2 ml-Subprobe abgefüllt, eingefroren und erst unmittelbar vor der Messung aufgetaut. Zur Messung des Sauerstoff-Isotopenverhältnisses wird die Probe (1 ml) mit  $\text{CO}_2$  bekannter Isotopen-Signatur equilibriert und anschließend das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnis im  $\text{CO}_2$  massenspektrometrisch analysiert (GCA, Sehnde). Die Messung des Wasserstoff-Isotopenverhältnisses erfolgt nach Reduktion des  $\text{H}_2\text{O}$  (1  $\mu\text{l}$ ) über Zn-Granulat zu  $\text{H}_2$  und anschließender massenspektrometrischer Analyse des D/H-Verhältnisses (GCA, Sehnde).

Beide Isotopenverhältnisse werden als Promill-Abweichung zum Standard SMOW (Standard Mean Ocean Water) angegeben. Die Reproduzierbarkeit beträgt 0.2 ‰ für  $\delta^{18}\text{O}$  und 2 ‰ für  $\delta\text{D}$ .

#### **$\delta^{11}\text{B}$ -Wert**

Die Bor-Isotopenzusammensetzung in den Porenwässern wurde am Thermionen-Massenspektrometer (TIMS) am GEOMAR gemessen. Das Ergebnis wird in ‰ angegeben und bezieht sich auf den Standard NBS SRM 951 (Borsäure). Gemessen wird der IAPSO-Meerwasser-Standard, dem nach Spivack & Edmond (1987) ein Wert von  $39.5 \pm 0.1$  ‰ rel. zum NBS-Standard zugewiesen wird. Einen Überblick über die Probenaufarbeitung und die bei den hier dokumentierten Messungen verwendeten Parameter bietet Tabelle 9-3 im Anhang 9.2.

### **<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Wert**

Die Strontium-Isotopenzusammensetzung in den Porenwässern wurde ebenfalls am Therm-ionen-Massenspektrometer (TIMS) am GEOMAR gemessen. Das Ergebnis der Messungen wird als Isotopenverhältnis <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr angegeben. Der Standard NBS 987 (SrCO<sub>3</sub>) wird mitgemessen (0.71025), eine Korrektur jedoch vorerst nicht vorgenommen, da die Abweichungen in den Bereich der Meßgenauigkeit fallen. Die Aufarbeitungsschritte und TIMS-Meßparameter sind in Tabelle 9-4 im Anhang 9.2 zusammengestellt.

## **3.4 Sedimentbearbeitung**

### ***Extraktion des leicht-löslichen Eisens***

Die Extraktion des leicht-löslichen Eisens erfolgt nach einer Methode von Wallmann et al. (1993). Diese Methode erfaßt das reaktive Eisen, insbesondere Eisen(oxi)hydroxide, Fe-Karbonate und einige Fe-Silikate.

Eine Spatelspitze Sediment (ca. 1 ml) wird mit 30 ml einer 0.1 M HCl 24 Stunden geschüttelt. Der Überstand wird abzentrifugiert, filtriert (0.45 µm Celluloseacetat) und auf Fe<sup>2+</sup> photometrisch analysiert (Grasshoff et al. 1983). Nach Reduktion mit Hydroxyl-Hydrochlorid wird der Fe-Gesamtgehalt analog bestimmt. Die Fe<sup>3+</sup>-Konzentration im Extrakt ergibt sich aus der Differenz beider Werte. Das abzentrifugierte Sediment wird getrocknet und gewogen und die ermittelte Einwaage zur Umrechnung der Extrakt-Gehalte auf Fe-Gehalte im Sediment herangezogen. Hierbei wird vernachlässigt, daß Karbonat aus dem Sediment gelöst wird und damit für die nachträgliche Bestimmung der Einwaage verloren geht.

### ***Extraktion des Pyrit-Schwefels***

Die Extraktion des Pyrit-Schwefels wird nach einer Methode von Canfield et al. (1986) durchgeführt. Hierbei wird das Pyrit reduktiv gelöst und das freigesetzte Sulfid polarographisch bestimmt. Das eingesetzte Sediment muß von der Probenahme bis zur Bearbeitung in flüssigem Stickstoff bzw. bei -80°C gelagert werden.

Durchführung: In einer Glasapparatur wird in Inertgas-Atmosphäre (N<sub>2</sub>) 1 g Sediment tropfenweise mit 30 ml einer HCl-CrCl<sub>2</sub>-Lösung (5 M / 0.5 M) versetzt. Das entweichende H<sub>2</sub>S wird mit N<sub>2</sub> ausgetrieben (ca. 1.5h) und in ca. 230 ml einer 0.5 M NaOH aufgefangen. Anschließend wird das Volumen mit 0.5 M NaOH auf 250 ml aufgefüllt. Das im Extrakt gelöste Sulfid wird am Polarographen analysiert (ca. 100 µl Aliquot) und auf den Pyrit-Gehalt im Sediment zurückgerechnet.

### ***Sediment-Aufschluß***

Der Sedimentaufschluß wird in Anlehnung an das in Garbe-Schönberg (1993) beschriebene Verfahren mit Aliquoten der Preßkuchen durchgeführt,

die zuvor außer einer Trocknung keiner weiteren Vorbehandlung unterzogen wurden. Die Arbeitsschritte sind in Tabelle 9-5 im Anhang 9.2 aufgelistet.

### 3.5 Sediment-Analytik

#### **pH im Sediment**

Der pH-Wert im Sediment wird unmittelbar vor dem Auspressen des Porenwassers mit einer Einstabelektrode (GAT ionotrode IJ42) gemessen. Für die Richtigkeit der pH-Bestimmung in Meer- und Porenwasser ist die Kalibrierung in entsprechender Salzwassermatrix von großer Bedeutung. Hierfür werden die Puffersubstanzen 2-Amino-2-methyl-1,3-propandiol (BIS) bzw. 2-Aminopyridin in synthetischem Meerwasser angesetzt (Dickson 1993). Spannung und Temperatur der Puffer wird gemessen und der exakte, temperaturabhängige pH-Wert mit einer Gleichung von Dickson (1993) berechnet.

#### **Porosität**

Die Porosität  $\phi$  des Sedimentes wird durch Wägung eines definierten Volumens (5 ml) feuchten Sedimentes, anschließende Trocknung und erneutes Wägen bestimmt. Sie ist eine dimensionslose Größe und wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Porosität } \phi = \frac{Vol_{\text{Wasser}}}{Vol_{\text{feuchtes Sediment}}} = \frac{Vol_{\text{Wasser}}}{Vol_{\text{Wasser}} + Vol_{\text{Sediment}}}$$

Das Volumen wird aus dem Quotienten aus Masse und Dichte berechnet, wobei für das Porenwasser die Dichte  $\rho_{PW}=1.02567 \text{ g/ml}$  und für das Sediment die Dichte  $\rho_{TS}=2.6 \text{ g/ml}$  verwendet wird.

Der Wassergehalt  $\omega$  (in Gewichtsprozent) kann ggf. mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Wassergehalt } \omega = \frac{Masse_{\text{Wasser}}}{Masse_{\text{feuchtes Sediment}}} \cdot 100 = \frac{Masse_{\text{Wasser}}}{Masse_{\text{Wasser}} + Masse_{\text{Sediment}}} \cdot 100$$

#### **Kohlenstoff- und Schwefel-Gehalt**

Gesamt-Kohlenstoff (TC), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Schwefel (S) der Sedimentproben werden durch Verbrennen der Probe in einem Elementanalysator (Carlo Erba NA 1500) und Detektion als  $\text{CO}_2$  bzw.  $\text{SO}_2$  bestimmt. Ein Aliquot des Preßkuchens wird gefriergetrocknet und mit einem Achatmörser von Hand homogenisiert. In Zinn (TC, S) - bzw. Silber (POC) -Tiegeln werden 5-10 mg (C) bzw. 3-4 mg (S) eingewogen. Für die POC-Bestimmung wird die Probe zuvor mit HCl entkarbonatisiert. Zur Kalibrierung dient Acetanilid (C) bzw. 2.5-Bis(5-tert-butyl-2-benzo-oxazol-2-yl)-thiophen (S), das in 7 verschiedenen Einwaagen gemessen wird. Je Proben-satz (50 Messungen) werden zwei hausinterner Standards sowie 4 Blanks



vermessen; es wird generell eine Doppelbestimmung durchgeführt. Die Präzision der Methode beträgt in der Regel 1-2% (C) bzw. 3-5 % (S).

Es zeigt sich, daß der Karbonat-Gehalt allen Proben unterhalb der Nachweisgrenze liegt, so daß der TC-Wert mit dem POC gleichgesetzt werden kann.

### **Hauptelemente**

Die Hauptelemente des Sedimentes werden mit Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg gemessen. Hierfür werden die Sedimente zunächst bei 1050°C geglüht und anschließend aus 0.6 g Probe und 3.6 g Li-Teraborat ein Schmelzling hergestellt. Dieser wird an der RFA (ARL 9400) bei 50 kV und 50 mA analysiert.

### **Spurenelemente**

Spurenelemente in Aufschlußlösungen werden z.T. an der ICP-AES (GEOMAR), z.T. an der ICP-MS (Universität Kiel) gemessen. Für die ICP-AES-Messungen werden die Probe nicht verdünnt und lediglich mit dem Standard (Yttrium, 10 ppm) versetzt. Das Meßverfahren wurde im Rahmen dieser Dissertation entwickelt und ist im Anhang 9.2 tabellarisch aufgeführt (Tabelle A-3). Die Methodenentwicklung erfolgt wie für die Porenwasser-Analytik beschrieben. Zusätzlich ist die Optimierung der Spülzeit, d.h. der Zeit vom Beginn des Ansaugens der Probe bis zum Meßbeginn, von Bedeutung, da das zur Verfügung stehende Probenvolumen aufgrund der unverdünnten Verwendung der Aufschlußlösung relativ klein ist.

Die Messungen an der ICP-MS (C.-D. Garbe-Schönberg, T. Arpe) werden nach einem Routineverfahren vorgenommen (Garbe-Schönberg 1993). Zur Qualitätskontrolle dient in beiden Fällen der Standard MAG-1 und Blindproben, die parallel aufgeschlossen werden.

### **Altersbestimmung**

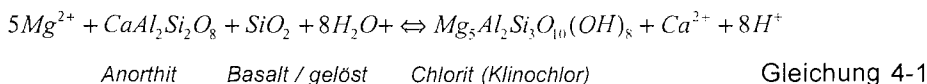
Die Datierung der Proben erfolgt im Leibniz Labor für Altersbestimmung der Universität Kiel an einem Beschleuniger-Massenspektrometer (Accelerated Mass Spectrometry, AMS). Das Sediment wird mit 1 % HCl, 1 % NaOH und wieder mit 1 % HCl bei 60°C extrahiert. Die Verbrennung erfolgte bei 900°C in einer mit CuO und Silberwolle gefüllten Quarzampulle. Die Hydrolyse zu CO<sub>2</sub> erfolgte bei 90°C mit 100 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Das entstandene CO<sub>2</sub> wird mit H<sub>2</sub> bei 600°C über einem Eisen-Katalysator zu Graphit reduziert und das Eisen-Graphit-Gemisch in einen Probenhalter für die AMS-Messung gepreßt. Die <sup>14</sup>C-Messungen wird mit Hilfe des gleichzeitig durch AMS gemessenen <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Verhältnisses auf Isotopenfraktionierungen korrigiert.

## 4 GEOCHEMISCHE TRACER

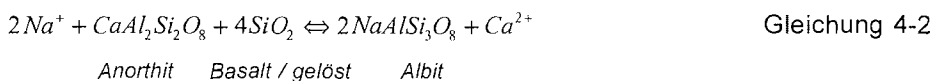
### 4.1 Alkali- und Erdalkali-Elemente: Alterationsreaktionen in der Kruste

Die Veränderungen in der Mineralzusammensetzung der Basalte oder Sedimente während der hydrothermalen Alteration werden durch Temperatur, W/R-Verhältnis und die Gesteinsart bestimmt (Thompson 1991). Die bedeutendsten Prozesse sind die Aufnahme von Mg, die damit verbundene Abnahme des pH-Wertes, die Ca-Freisetzung und das Leaching von Alkali-Elementen sowie deren anschließender Einbau in Tonminerale beim Abkühlen der Fluide (Thompson 1991; Alt 1995). Die Konzentration der Hauptelemente in den Ventfluiden wird kontrolliert durch das Lösungs-Gleichgewicht der entsprechenden Alterationsphasen. Die bedeutendsten Minerale der Grünschiefer-Fazies (ca. 200-500°C, 2-4 kbar) sind Albit (Na), Chlorit (Mg) und Epidot (Ca) (Mason & Moore 1985).

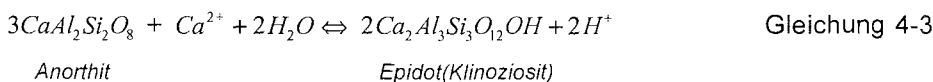
Der Einbau von Mg in Mg(OH)<sub>2</sub>-Gruppen sekundärer Tonminerale (Mg-Metasomatose) bei Temperaturen > 150°C läuft mit zunehmender Erhitzung des Meerwassers ab und kann bis zur fast vollständigen Entfernung von Mg führen. Diese Tatsache wird zur Berechnung von Endmember-Konzentrationen hydrothermaler Fluide herangezogen, da davon ausgegangen werden kann, daß alles im Fluid gelöste Mg auf eine Beimischung von Meerwasser zurückzuführen ist. Bei Temperaturen < 200°C bildet sich Smektit, bei Temperaturen > 200°C Chlorit (Zierenberg & Shanks 1994; Alt 1995). Die Reaktion geht einher mit der Lösung von Plagioklas (Anorthit), d.h. einer Freisetzung von Ca, und einer starken Abnahme des pH-Wertes (Seyfried & Mottle 1995):



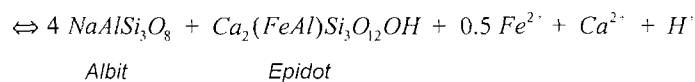
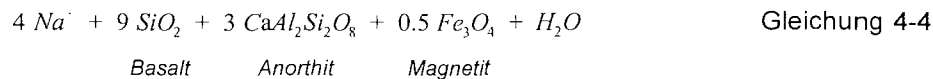
Die Albitisierung (Na-Metasomatose) bezeichnet den Stoffaustausch von Na aus erhitztem Meerwasser und Ca aus der Anorthit-Komponente des Plagioklas im Basalt (Matthes 1993). Im Porenwasser wird dadurch die Na-Konzentration erniedrigt und die Ca-Konzentration erhöht.



Die Albitisierung wird begrenzt durch die Löslichkeit von Epidot, der sich aus der Reaktion von Anorthit mit Ca<sup>2+</sup> bildet. Diese Ca-Fixierung dominiert jedoch erst oberhalb von 350°C / 300-500 bar (Shanks & Seyfried 1987; Seyfried & Mottle 1995):



Die bei den genannten Reaktionen freigesetzten Protonen führen zu einer Lösung von Silikaten, aber auch von Fe- und Mn-haltigen Mineralen. In Fe-reichen Systemen führt die Reaktion mit Magnetit zur Freisetzung von  $Fe^{2+}$  (Shanks & Seyfried 1987):



Das in Lösung gehende  $Fe^{2+}$  reagiert in Gegenwart von Sulfid mit  $HS^-$  zu Pyrit ( $FeS_2$ ).

Das gelöste Ca reagiert mit dem heißen Meerwasser zu Anhydrit ( $CaSO_4$ ), das sich allerdings beim Abkühlen der Fluide ( $< 150^\circ C$ ) wieder auflöst (retrograde Löslichkeit; Thompson 1991). Die Ca-Fixierung bei Temperaturen  $< 350^\circ C$  geschieht hauptsächlich als Plagioklas-Rekristallisation (Umkehr von Gleichung 4-2). Aus den Gleichungen ergibt sich ein mit dem Metamorphose-Grad zunehmender Ca-Anteil im Gestein (zunächst Albit, dann Epidot führend; Seyfried & Mottle 1995).

Eine weitere bedeutende Reaktion ist das Leaching von Alkalimetallen sowie B und Si. Diese Elemente werden bei hohen Temperaturen durch die sauren Fluide, die während der Mg-Metasomatose entstehen, aus den Basalten gelöst und reichern sich im Porenwasser an (Thompson 1991). Im Gegensatz zu K, das schon ab  $150^\circ C$  gelöst wird, wird Li erst bei deutlich höheren Temperaturen frei (Alt 1995). Bei der Halmyrolyse, d.h. bei niedrigeren Temperaturen ( $< 70^\circ C$ , für Li  $< 150^\circ C$ ) werden die zuvor gelösten Alkalimetallionen, B und Si in neugebildete Schichtsilikate (Illit, Smektit) eingebaut.

Häufig überdeckt eine bei niedrigen Temperaturen alterierte Kruste eine Zone, in der metamorphe Reaktionen bei hohen Temperaturen ablaufen. Bei der Interpretation der Fluid-Zusammensetzung müssen daher die Auswirkungen beider Prozesse auf die Alteration des zirkulierenden Meerwassers betrachtet werden (Thompson 1991).

Die bei der Phasenseparation erzeugte Cl-Anreicherung in der salinen Phase führt zu einer intensiven Komplexierung von zweiwertigen Kationen, die gegenüber der von einwertigen Kationen bevorzugt ist und daher die Albitisierung von Anorthit fördert (Charlou et al. 1996). Diese Reaktion erzeugt hohe Ca/Na-Verhältnisse im Fluid (z.B. 0.07 am EPR 18°S (870 mM Cl), vgl. Meerwasser: 0.02; Charlou et al. 1996).

## 4.2 Chlorid: Basalt-Alteration und Phasenseparation

Chlorid gilt allgemein als konservatives Element. In hydrothermalen Fluiden können jedoch erhebliche Abweichungen von der normalen Meerwasser-Konzentration auftreten, die i.a. durch folgende Prozesse erklärt werden können (u.a. Berndt & Seyfried 1990, Palmer 1992):

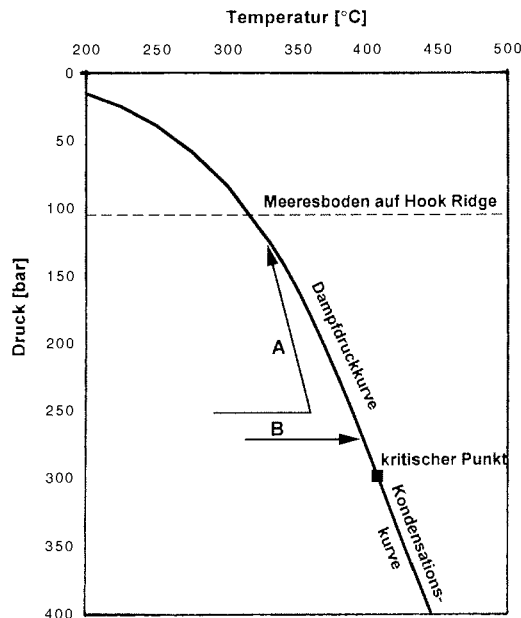
- Lösung bzw. Fällung von Cl-haltigen Mineralen
- Hydratation bzw. Dehydratation von Mineralen
- Phasenseparation
- Einfluß meteorischer Wässer

Bei hohen Temperaturen (400-450°C) und niedrigen Wasser/Gesteins-Verhältnissen wird Chlorid zunächst in Cl-haltige Minerale der Basalte eingebaut und so dem Meerwasser entzogen (hydrothermale Alteration). Bei der anschließenden Abkühlung der alterierten Basalte (< 350°C) und hohen Wasser/Gesteins-Verhältnissen wird Chlorid dann durch Lösung dieser Minerale wieder freigesetzt (retrograde Alteration). Ein weiterer in Frage kommender Prozeß ist die Basalt-Hydratation (bzw. -Dehydratation), bei der die Basalte Wasser aufnehmen (abgeben) und sich die Bestandteile im verbleibenden Porenwasser anreichern (abreichern). Lösungs- bzw. Fällungs-Reaktionen verändern das Element/Cl-Verhältnis, wenn überwiegend Cl bzw. ein anderes Element beteiligt ist. Dagegen bleibt das Element/Cl-Verhältnis bei (De)Hydratations-Reaktionen konstant, weil diese die Konzentrationen aller Elemente beeinflussen. Beide Prozesse sind mit Konzentrationsabweichungen kleiner als 10 % verbunden, während größere Unterschiede meist mit Phasenseparation erklärt werden. Häufig ist eine Kombination verschiedener Prozesse zu berücksichtigen.

Phasenseparation gilt als Hauptursache für die große Variationsbreite von Cl-Konzentrationen in Hydrothermal-Fluiden. Dabei sind die p,T-Bedingungen in der Reaktionszone, der Grad der Entmischung der separierten Phasen und der Anteil von zugemischtem Meerwasser die wichtigsten Parameter, die die Chlorinität des aufsteigenden Fluids bestimmen. Die Phasenseparation tritt in der ozeanischen Kruste bei gegebenem Druck ab einer bestimmten Temperatur auf, wie im pT-Diagramm des Meerwassers illustriert ist (Abbildung 4-1). Analog zum reinen Wasser werden die entsprechenden pT-Bedingungen durch die Dampfdruck-Kurve beschrieben, oberhalb des kritischen Punktes (407°C / 298 bar; Bischoff & Rosenbauer 1988) schließt sich die Kondensationskurve an, die bei reinen Lösungen nicht existent ist.

Zwei verschiedene Mechanismen können Phasenseparation auslösen: Innerhalb einer hydrothermale Konvektionszelle ist die adiabatische Dekompression (Pfeil A in Abbildung 4-1) der entscheidende Mechanismus, an vulkanisch aktiven Lokationen ist die isobare Erwärmung (Pfeil B in Abbildung 4-1) von größerer Bedeutung.

Meerwasser, das in die Kruste eingesogen wird, erwärmt sich und dehnt sich dabei aus. Wenn die Auftriebskräfte aufgrund der geringer werdenden Dichte dominieren, steigt das Fluid auf, wird dekomprimiert und kühlt dabei ab (adiabatische Dekompression; Cowan & Cann 1988). Das plötzliche Eindringen von heißem Magma in die obere Kruste erhitzt das umgebende Porenfluid und läßt zusätzlich Spalten im Gestein entstehen, durch die kaltes Meerwasser einströmt und schlagartig erhitzt wird (isobare Erwärmung; Bischoff & Rosenbauer 1987; Bischoff & Rosenbauer 1989). Wenn die Temperatur des Fluids durch dieses Erhitzen nicht hoch genug ist, um eine Phasenseparation zu bewirken, expandieren die Fluide aufgrund der drastischen Temperaturerhöhung und steigen auf. Die Phasenseparation



**Abbildung 4-1:** pT-Diagramm für Meerwasser (3.2 % NaCl; Bischoff & Rosenbauer 1984); Daten für die Phasengrenze und den kritischen Punkt (407°C/298.5 bar) aus Bischoff & Rosenbauer (1988). Die gestrichelte Linie symbolisiert den Druck am Meeresboden auf Hook Ridge (1050 m). Die Pfeile zeigen mögliche Prozesse an, die zur Phasenseparation führen (Erläuterungen im Text), ihre relative Lage zueinander und zum kritischen Punkt ist willkürlich.

erfolgt dann in geringerer Tiefe durch abiabatische Dekompression wie oben beschrieben.

Bei der Phasenseparation erfolgt eine Verteilung der Meerwasser-Komponenten je nach ihren Eigenschaften: Volatile Elemente gehen in die Dampfphase über, nicht-volatile Elemente werden in der flüssigen Phase (Brine) angereichert. Nach der Phasenseparation (*phase separation*) erfolgt aufgrund des Dichteunterschieds eine Phasentrennung (*phase segregation*) in vertikaler Richtung: Während die leichte Dampfphase aufsteigt, verbleibt die dichte, flüssige Phase in der Kruste. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften kann sie dort über eine längere Zeit verbleiben (Cowan & Cann 1988; Charlou et al. 1996), so daß Cl-Anreicherungen nicht zwangsläufig auf rezente ablaufende Phasenseparation hinweisen. Da die Dampfphase dagegen sehr mobil ist, zeigt ihr Auftreten stets aktuelle Prozesse an (Charlou et al. 1996).

Bei periodisch auftretenden hydrothermalen Ereignissen kann an einer Vent-Lokation zunächst ein abgereichertes Fluid ausströmen und zu einem

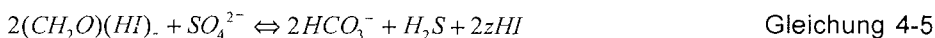
späteren Zeitpunkt tritt das salz-angereicherte Brine aus (Cowan & Cann 1988; Charlou et al. 1996). Die Salinität in hydrothermalen Fluiden variiert deshalb je nach den geologischen Rahmenbedingungen von einer 40 %igen Abreicherung bis zu einer 200 %igen Anreicherung gegenüber Meerwasser (Bischoff & Rosenbauer 1989). Die Trennung der Cl-abgereichten und Cl-angereicherten Phasen kann sich auch lateral entlang der Spreizungszone erstrecken und ist dann auf unterschiedliche magmatische bzw. tektonische Gegebenheiten zurückzuführen, die das Austreten der Dampfphase bzw. des Brines begünstigen (Charlou et al. 1996). Unterschiedliche Cl-Signaturen in benachbarten Rückensegmenten können somit die Folge einer zeitlichen oder einer räumlichen Separation der Phasen sein.

Die bei der Phasenseparation erzeugte Cl-Anreicherung in der salinen Phase führt zu einer intensiven Komplexierung von zweiwertigen Kationen, die gegenüber der von einwertigen Kationen bevorzugt ist. Indirekt werden damit auch die Konzentrationen der Alkali- und Erdalkalielemente und die Alteration der Basalte durch die Bildung von Sekundärmineralphasen beeinflusst (Bischoff & Rosenbauer 1989; Charlou et al. 1996). Bromid wird durch Phasenseparation in ähnlicher Weise beeinflusst wie Chlorid. Konstante Br/Cl-Verhältnisse liefern daher ein weiteres Indiz für diesen physikalischen Vorgang (Charlou et al. 1996). Variationen deuten dagegen auf andere Reaktionen hin, an denen nur eines der Halogene beteiligt ist.

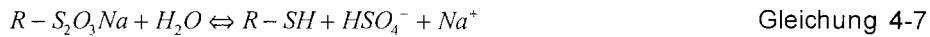
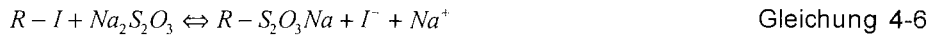
Meteorische Wässer enthalten gegenüber Meerwasser vernachlässigbare Mengen Chlorid. Eine Zumischung dieser Komponente führt daher zu einer starken Verdünnung der Cl-Konzentration.

#### 4.3 Iodid: Zersetzung der organischen Substanz

Schon seit Anfang der 60er Jahre ist Iod als biogeochemisch aktives Element bekannt. Die Konzentration im Meerwasser beträgt 0,4 - 0,5 µM, woraus sich ein atomares I/C-Verhältnis von  $1,0 \cdot 10^{-4}$  ergibt. In der Wassersäule liegt Iod fast ausschließlich als Iodat vor, wobei dieses im Oberflächenwasser gegenüber Iodid stärker angereichert ist, was in der Hauptsache darin begründet liegt, daß Iod (als Iodat) in der photischen Zone vom Plankton aufgenommen wird (Elderfield & Truesdale 1980; Wong & Brewer 1977). Die Aufnahme erfolgt über zwei Enzyme, Nitrat-Reduktase und Iodid-Oxidase, und ist daher nur in einer oxischen Wassersäule möglich (Price & Calvert 1973; Pedersen & Price 1980). Das in das organische Material eingebaute Iod wird mit dem Detritus der Organismen in das Sediment eingebettet (Price & Calvert 1973; Francois 1987b) und während der Diagenese als Iodid in das Porenwasser abgegeben. Price & Calvert (1977) und Ullman & Aller (1983) gehen von einer direkten, mikrobiell unterstützten Zersetzungsreaktion aus:



Francois (1987b) konnte jedoch zeigen, daß Iodid auch in einer nucleophilen Substitutionsreaktion mit  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  freigesetzt wird (R = organischer Rest):



Mit der Vorstellung, daß nicht  $HS^-$  sondern die partiell reduzierte S-Spezies Thiosulfat die Austauschreaktion eingeht, wird der Beobachtung Rechnung getragen, daß bereits vor Erreichen der sulphidischen Zone Iodid aus dem Sediment freigesetzt wird. Die Hauptquelle für Iodid im Porenwasser ist in beiden Konzepten der POC-Abbau in der Sulfatreduktionszone. Das freigesetzte Iodid diffundiert an die Sedimentoberfläche und wird unter suboxischen und oxischen Bedingungen zu Iodat oxidiert:



Unter oxidischen Bedingungen in der Bodenwasser/Sediment-Grenzfläche wird das Iodat dann an frisch sedimentiertem organischen Material gebunden. Dieser Redox-Kreislauf (Kennedy & Elderfield 1987a) führt zu einer Anreicherung an der Sedimentoberfläche, bei der I/C-Verhältnisse bis zu  $25 \cdot 10^{-4}$  erreicht werden (Pavlova & Shishkina 1973; Elderfield & Truesdale 1980), während das Sediment unter reduzierenden Bedingungen ein I/C-Verhältnis in der Größenordnung des Planktons aufweist (ca.  $1.5 \cdot 10^{-4}$ ).

Im Einflußbereich erhöhter Temperaturen (100-400°C) wird Iod von Hydrothermalfluiden auch aus konsolidierten Sedimenten und Gesteinen der oberen Kruste gelöst und an die Sediment/Wasser-Grenzschicht transportiert (Muramatsu & Wedepohl 1998). Da Magmatite jedoch generell sehr wenig Iod enthalten, leisten sie keinen nennenswerten Beitrag zur Iodid-Konzentration in hydrothermalen Fluiden. Aus diesem Grund ist Iodid ein sehr gut geeignetes Element, um die Bedeutung der aufliegenden Sedimente an den sich überlagernden Prozessen einer sediment-bedeckten Spreizungszone herauszuarbeiten (Campbell & Edmond 1989).

#### 4.4 Stabile Isotopensysteme: Grundlagen

Die Fraktionierung stabiler Isotope bezeichnet die Verteilung der Isotope eines Elementes zwischen verschiedenen Phasen, Mineralen, Molekülen, Organismen etc.. Sie ist Ausdruck eines Isotopie-Effektes, der auf dem Massenunterschied der Isotope beruht, der geringe Unterschiede der Schwingungsfrequenzen im Molekül oder Kristallgitter zur Folge hat. Da die relative Massendifferenz stabiler Isotope mit zunehmendem Atomgewicht abnimmt, ist die Fraktionierung besonders bei leichten Elementen zu beobachten. In der Geochemie kommen daher vor allem Isotopie-Effekte der Elemente H, B, C und O zur Anwendung.

Die isotopische Fraktionierung zwischen zwei Spezies oder Phasen wird mit dem Fraktionierungsfaktor  $\alpha$  angegeben:

$$\alpha_{A-B} = \frac{R_A}{R_B} \quad \text{Gleichung 4-9}$$

mit  $R_A, R_B$  Isotopen-Verhältnis in der Spezies oder den Phasen A bzw. B

Das Isotopen-Verhältnis ist i.a. der Quotient aus der Konzentration des schweren und des leichten Isotops und wird mit Multikollektor-Massenspektrometern gemessen. Der Fraktionierungsfaktor ist als thermodynamische Größe von der Temperatur abhängig. Je höher die Temperatur, desto geringer wird die Fraktionierung, da aufgrund der höheren kinetischen Energie der Teilchen dem Massenunterschied eine geringere Relevanz zukommt.

Das Isotopenverhältnis wird meist in der sogenannten  $\delta$ -Notation in ‰ angegeben und bezieht sich auf einen Standard, der stets mit angegeben werden muß:

$$\delta_{Std} = \left( \frac{R_{Probe} - R_{Std}}{R_{Std}} \right) \cdot 10^3 \quad \text{Gleichung 4-10}$$

mit  $R_{Probe}$  gemessenes Isotopen-Verhältnis in der Probe  
 $R_{Std}$  Isotopen-Verhältnis des Standards

Durch Umformen ergibt sich bei einer Fraktionierung bis ca. 10 ‰ als erste Näherung, daß die Differenz der  $\delta$ -Werte der Fraktionierung in ‰ entspricht, die auch als Anreicherungsfaktor  $\epsilon$  angegeben wird (Friedman & O'Neil 1977):

$$\Delta_{A-B} = \delta_A - \delta_B \approx 10^3 \ln \alpha_{A-B} \quad \text{Gleichung 4-11}$$

$$\epsilon_{A-B} = 10^3 \ln \alpha_{A-B} \approx \delta_A - \delta_B \quad \text{Gleichung 4-12}$$

Zur Überprüfung, ob es sich bei einem natürlichen System um eine Zwei-Komponenten-Mischung handelt, wird eine graphische Methode angewendet (Faure 1986). Sie beruht auf der Gleichung

$$R_M = R_A \cdot \frac{C_A \cdot f}{C_M} + R_B \cdot \frac{C_B \cdot (1-f)}{C_M} \quad \text{Gleichung 4-13}$$

mit  $R_A, R_B$ : Isotopenverhältnis des Elementes in der Komponente A bzw. B  
 (Hier kann auch der  $\delta$ -Wert eingesetzt werden)  
 $C_A, C_B$ : Konzentration des Elementes in der Komponente A bzw. B  
 $R_M, C_M$ : Isotopenverhältnis bzw. Konzentration des Elementes in der Mischung  
 $f$ : Mischungsparameter (Anteil der Komponente A in der Mischung)

die vereinfacht werden kann zu

$$R_M = k_1 \cdot \frac{1}{C_M} + k_2 \quad \text{Gleichung 4-14}$$

mit  $k_1, k_2$ : Konstanten



Ein graphischer Auftrag des Isotopenverhältnisses der Mischung  $R_M$  gegen die reziproke Konzentration  $C_M$  ergibt demzufolge für ein Zwei-Komponenten-System eine Gerade.

Viele Fraktionierungen resultieren aus Isotopie-Effekten, die sich nach Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen zwei Phasen ergeben. Die Isotopen-Austauschreaktion sind dabei schnell und reversibel. Dagegen beruhen kinetische Isotopie-Effekte (KIE) darauf, daß das leichte Isotop schneller reagiert oder diffundiert als das schwere. Ist die Isotopen-Austausch-Reaktion irreversibel oder die Rück-Reaktion so langsam, daß sie für den betrachteten Zeitraum irrelevant ist, entsteht ein Reservoir-Effekt. Hiervon sind insbesondere biologische Prozesse und Phasenübergänge (Destillation / Kristallisation) betroffen. Mit dem Ansatz der Rayleigh-Fraktionierung kann der  $\delta$ -Wert der residualen Phase berechnet werden, aus der ein Isotop des betrachteten Elementes kontinuierlich mit dem konstanten Fraktionierungsfaktor  $\alpha$  entfernt wird (Claypool & Kaplan 1974). Für ein geschlossenes System gilt:

$$\delta_t = \left( (\delta_0 + 1000) \cdot f^{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)} \right) - 1000 \quad \text{Gleichung 4-15}$$

mit  $\delta_t$  Isotopenverhältnis in der residualen Phase zum Zeitpunkt  $t$   
 $\delta_0$  initiales Isotopenverhältnis zum Zeitpunkt 0  
 $f$  verbliebener Anteil in der residualen Phase zum Zeitpunkt  $t$  ( $f = C_t/C_0$ )  
 $\alpha$  Fraktionierungsfaktor  
 (residuale Phase / aus dem System entfernte Phase)

Der  $\alpha$ -Wert wird jeweils der Literatur entnommen.

In dieser Arbeit findet Gleichung 4-15 u.a. Anwendung zur Korrektur von  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten des DIC in Porenwässern, aus denen bereits ein Anteil  $(1-f)$  verdunstet ist.

Für einige Berechnungen werden Mischungsgleichungen angewendet, die nicht näher ausformuliert sind. Sie haben die allgemeine Form:

$$\delta_{\text{mix}} \cdot C_{\text{mix}} = \delta_1 \cdot C_1 + \delta_2 \cdot C_2 \quad \text{Gleichung 4-16}$$

mit  $\delta_{1,2,\text{mix}}$  Isotopenverhältnis der Komponenten 1 bzw. 2 bzw. der Mischung  
 $C_{1,2,\text{mix}}$  Konzentration der Komponente 1 bzw. 2 bzw. der Mischung

Statt der Konzentration kann auch der Molenbruch  $x$  angegeben werden, so daß folgt:

$$\delta_{\text{mix}} = \delta_1 \cdot x_1 + \delta_2 \cdot (1-x_1) \quad \text{Gleichung 4-17}$$

Neben den stabilen Isotopen von B, C, H und O wird das chemisch und radiogen gesteuerte Isotopenverhältnis  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  untersucht. Wie die Ausführungen im Kapitel 4.8 deutlich machen, ist im betrachteten geologischen Zeitraum eine Einordnung als stabiles Isotopenverhältnis gerechtfertigt und wurde z.B. auch von Gieskes et al. (1982b) vorgenommen.

#### 4.5 Kohlenstoff-Isotopie: Diagenese und Methanogenese sowie CO<sub>2</sub> aus magmatischer Quelle

Die Kohlenstoff-Isotopie der gelösten C-Spezies im Porenwasser kann genutzt werden, um deren Quelle und damit die relevanten geochemischen Prozesse aufzuklären. Neben dem während der Frühdiagenese freigesetzten DIC ist gelöstes Methan von Bedeutung, das bakteriell oder thermisch gebildet wird. An hydrothermal beeinflussten Lokationen ist zusätzlich der Einfluß von CO<sub>2</sub> magmatischer Herkunft möglich.

An sediment-bedeckten Lokationen ist der Abbau der partikulären organischen Substanz (POC) entscheidend für die Kohlenstoff-Isotopie des DIC. Die organische Substanz von Oberflächensedimenten hat ein C-Isotopenverhältnis von -15 bis -26 ‰, meist -20 bis -22 ‰ (Claypool & Kaplan 1974; Pierre 1989; Gehlen et al. 1999). Der gegenüber Meerwasser (-5 bis +2 ‰) negativere δ<sup>13</sup>C-Wert drückt aus, daß der Kohlenstoff der Organik bakteriell katalysiert aus dem DIC der Wassersäule aufgebaut wird (Photosynthese), wobei stets das leichtere Isotop bevorzugt wird. Die Diskriminierung des schweren Isotops bei mikrobiell katalysierten Reaktionen wird allgemein als kinetischer Isotopie-Effekte (KIE) bezeichnet. Auch der POC-Abbau ist eine mikrobiell katalysierte Reaktion, bei der das in Lösung gehende CO<sub>2</sub> (DIC) jedoch meist ein C-Isotopenverhältnis hat, das dem der Organik entspricht, d.h. bei der Zersetzung findet keine oder nur eine geringe Fraktionierung statt (Seewald et al. 1994; Boehme et al. 1996). Mit zunehmendem Abbau der Organik nimmt daher der δ<sup>13</sup>C-Wert des DIC (δ<sup>13</sup>C<sub>CO2</sub>) im Porenwasser ab; er reicht von nahe Null an der Sedimentoberfläche (DIC-Signatur des Bodengewässers) bis zu einem minimalen Wert von etwa -20 ‰ bei nahezu vollständigem POC-Abbau.

Die Methanogenese beruht im marinen Milieu im wesentlichen auf der bakteriellen Reduktion von DIC zu CH<sub>4</sub> (Carbonat-Reduktion) und setzt erst ein, wenn Sulfat verbraucht ist (< 0.2 mM), weil erst unter diesen Bedingungen die methanogenen Bakterien gegenüber den sulfatreduzierenden Konkurrenzfähig sind (Whiticar 1999). Bei dieser Reaktion wird wiederum das leichte Isotop bevorzugt umgesetzt und es resultieren extrem niedrige δ<sup>13</sup>C-Werte für das Methan (δ<sup>13</sup>C<sub>CH4</sub>; -60 bis -110 ‰; Whiticar 1999). Infolgedessen wird der verbleibende DIC-Pool schwerer. Aufgrund der Prozesse, die die Rayleigh-Fraktionierung beschreibt (Kapitel 4.4), nehmen beide Isotopen-Werte mit fortschreitendem Reaktionsverlauf zu, wobei die Differenz zwischen δ<sup>13</sup>C<sub>CH4</sub> und δ<sup>13</sup>C<sub>CO2</sub> durch einen Anreicherungsfaktor ε gegeben ist, der 50 bis 100 ‰ betragen kann (Whiticar 1996; Whiticar 1999). In einem geochemischen System, in dem Fluide aus tieferen Sedimentschichten aufsteigen, kann isotopisch leichtes Methan aus der Methanogenese-Zone in die Sulfat-Reduktions-Zone gelangen. Dort kommt es zur Re-Oxidation der Kohlenstoff-Spezies durch methanotrophe Bakterien. Dies führt zur Erniedrigung des δ<sup>13</sup>C<sub>CO2</sub>, der zuvor primär von der mikrobiellen Oxidation der Organik bestimmt wurde (Whiticar 1999).

Unter dem Einfluß hoher Temperaturen im Sediment (> 50°C, Claypool & Kaplan 1974) wird organische Substanz thermisch abgebaut. Hierbei entstehen neben CO<sub>2</sub> auch Methan (C<sub>1</sub>) und höhermolekulare Kohlenwas-

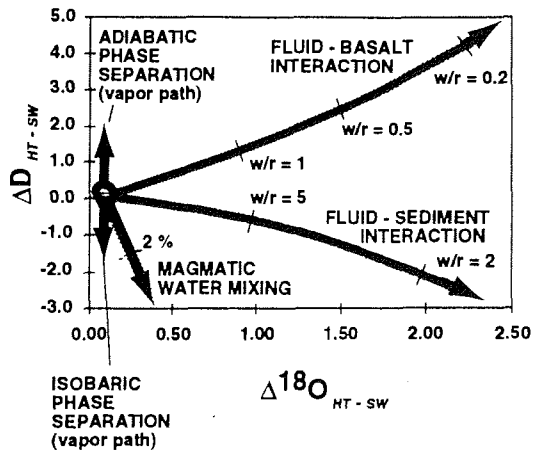
serstoffe (besonders C<sub>2</sub>- und C<sub>3</sub>-Aliphaten). Thermisch gebildetes CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> haben gegenüber dem mikrobiell katalysierten stets positivere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Die thermische Bildung von leichten Kohlenwasserstoffen wird gegenüber der bakteriellen Bildung mit dem Index  $C_1 / (C_2 + C_3)$  (Bernard-Parameter) abgegrenzt. Da bei der bakteriell katalysierten Reaktion fast ausschließlich CH<sub>4</sub> entsteht, ist der Bernard-Parameter sehr groß (typische Werte:  $10^3 - 10^5$ ). Ein Wert kleiner 100 gilt daher als Anzeichen für einen untergeordneten Einfluß mikrobieller Tätigkeit. Ein weiteres Merkmal thermisch gebildeter Kohlenwasserstoffe ist ein weniger negativer  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -Wert, der bei -20 bis -50 ‰ liegt. Bakteriell gebildetes Methan weist dagegen Werte im Bereich -50 bis -110 ‰ auf, wobei CH<sub>4</sub> aus der CO<sub>2</sub>-Reduktion  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -Werte von maximal -60 ‰ zeigt, häufig werden  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -Werte < -80 ‰ beobachtet (Whiticar 1996; Whiticar 1999). Ursachen für diese Differenzen sind einerseits die fehlende biologische Fraktionierung und andererseits die hohen Temperaturen, die die Fraktionierung mindert.

An hydrothermalen Lokationen erfolgt eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Magma-Entgasung nach einem rezente vulkanischen Ereignis oder bei direktem Leaching von Basalten unter sehr hohen Temperaturen. Das CO<sub>2</sub> magmatischer Herkunft hat eine  $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur von -4 bis -11 ‰ (Shanks et al. 1995).

#### **4.6 Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopie: Alteration der Basalte und Sedimente**

Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopenverhältnisse sind geeignete Tracer, um Reaktionen zwischen Gestein und Porenfluid zu charakterisieren. Beide Elemente sind sowohl im Wasser als auch in den Gesteinen in großen Mengen vorhanden und die verschiedenen Wasser-/Gesteins-Wechselwirkungen weisen unterschiedliche Fraktionierungsfaktoren auf (Lawrence et al. 1975; Zheng et al. 1995). Generell sind die Fraktionierungsfaktoren für D/H größer als für  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , weil die relative Massendifferenz zwischen den Isotopen bedeutend größer ist. Alterationsreaktionen führen daher zu größeren Unterschieden im  $\delta\text{D}$  als im  $\delta^{18}\text{O}$ . Die nachfolgende Zusammenstellung der für die  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta\text{D}$ -Werte im Porenwasser relevanten Reaktionen ist den Übersichtsartikeln von Lawrence (1989) und Shanks et al. (1995) entnommen und in Teilen in Abbildung 4-2 illustriert.

Bei der Basalt-Alteration bei hohen Temperaturen (200-350°C) wird der gegenüber Meerwasser (0 ‰) schwere Sauerstoff von Basalten (ca. 6 ‰) aus den magmatischen Mineralen gelöst und an das Porenwasser abgegeben. Aufgrund der an entsprechenden Lokationen niedrigen Wasser/Gesteins (W/R)-Verhältnisse, kann eine Veränderung des  $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes nicht nur im Basalt (Abnahme) sondern auch im Porenfluid (Zunahme) beobachtet werden. Ventfluide an heißen Quellen haben daher normalerweise positive  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und die alterierten Basalte meistens niedrigere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als die frischen Basalte (bis 3 ‰).



**Abbildung 4-2:** Veränderungen ( $\Delta$ ) des  $\delta^{18}\text{O}$ - und des  $\delta\text{D}$ -Wertes von Ventfluiden (HT) gegenüber Meerwasser (SW) bei Fluid/Basalt- bzw. Fluid/Sediment-Wechselwirkungen, bei der Zumischung von magmatischem Wasser und bei der Phasenseparation (aus Shanks et al. 1995)

Der  $\delta\text{D}$ -Wert im Porenwasser nimmt in der Hoch-Temperatur-Reaktionszone ebenfalls zu, da MORB (-60 bis -80 ‰) bei der Hydratation selektiv das leichte  $\text{H}_2\text{O}$  aufnimmt. Die Modellierung der Reaktion von Basalten mit Porenwasser bei 300°C ergibt, daß jedoch erst ab einem W/R-Verhältnis von < 1 deutlich positive  $\delta\text{D}$ -Werte zu erzielen sind.

Die Alteration von Sedimenten hat einen analogen Effekt auf die  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur des Porenwassers wie die Basalt-Alteration. Wegen der i.a. größeren W/R-Verhältnisse ist die Änderung im  $\delta^{18}\text{O}$  des Porenwassers nicht stärker ausgeprägt, obwohl die Sedimente generell isotopisch schwerer sind als Basalte ( $\delta^{18}\text{O} = 5\text{-}40$  ‰). Im Gegensatz zur Reaktion mit Basalten wird der  $\delta\text{D}$ -Wert des Porenwassers bei der Reaktion mit Sedimenten erniedrigt, weil die sedimentbildenden Minerale dehydratisieren und somit Wasser mit einem negativen D/H-Verhältnis (-30 bis -100 ‰) in das Porenwasser abgegeben wird.

Umgekehrte Effekte sind bei der Alteration bei niedrigen Temperaturen (< 100°C) zu erwarten. Bei der Bildung von Sekundärmineralen in Recharge- und Discharge-Zonen nimmt das  $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis im Feststoff zu, weil bevorzugt  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  in Alterationsprodukte vulkanischer Aschen bzw. Basalte eingebaut wird. Bei niedrigen Temperaturen alterierte Basalte sind daher i.a. schwerer (bis 14 ‰). Aufgrund des hohen W/R-Verhältnisses in diesen Bereichen der hydrothermalen Zirkulationszelle ist die entsprechende Abnahme des  $\delta^{18}\text{O}$  im Porenwasser jedoch sehr gering. Der  $\delta\text{D}$ -Wert des

Fluids nimmt auch bei der niedrig-temperierten Alteration zu, weil er unabhängig von der Temperatur auf der Hydratation des Basalts beruht.

Eine Phasenseparation hat keinen Einfluß auf das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis im Porenwasser, weil die Massendifferenz der Isotope und damit der Unterschied in den physikalischen Eigenschaften zu klein ist. Im Gegensatz dazu kommt es jedoch zur Fraktionierung von  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{HDO}$ . Allerdings sind negative  $\delta\text{D}$ -Werte in der Dampfphase nur bei einer isobaren Phasenseparation zu erzielen; eine abiabate Phasenseparation führt dagegen zu positiven  $\delta\text{D}$ -Werten im Dampf.

Die Zumischung von magmatischem Wasser, d.h. Wasser, das aus Basalten freigesetzt wurde, führt zu einer Zunahme des  $\delta^{18}\text{O}$  im Porenwasser, da dieses Fluid eine positive  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur trägt (6 bis 8 ‰). Die  $\delta\text{D}$ -Werte sind hingegen deutlich negativ (-40 bis -80 ‰), so daß eine Abnahme des  $\delta\text{D}$ -Wertes resultiert. Da MORB-Gestein meist nur wenig Wasser enthält, kann nur vollständige Kristallisation zu wasserfreien Mineralphasen zu einer deutlichen Veränderung der Isotopenverhältnisse im Porenfluid führen. Für meteorische Wässer besteht ein linearer Zusammenhang zwischen dem  $\delta^{18}\text{O}$ - und dem  $\delta\text{D}$ -Wert (Meteorische Wasser-Linie; Hoefs 1997). Die stärkste Abreicherung des leichten Wasserstoff-Isotops wird in fossilem Wasser gefunden (-4 bis -7 ‰), weshalb sehr negative  $\delta\text{D}$ -Werte im Porenwasser häufig auf paleo-Ozeanwasser zurückgeführt werden. In polaren Gebieten ist die Eisschmelze eine Ursache für negative  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta\text{D}$ -Werte im Meerwasser.

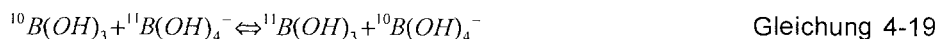
#### 4.7 Bor-Isotopie und Bor-Konzentration: Wechselwirkung des Porenfluids mit den Sedimenten

Bor liegt in Lösung je nach pH als  $\text{B}(\text{OH})_3$  bzw.  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  vor (Spivack & Edmond 1987):



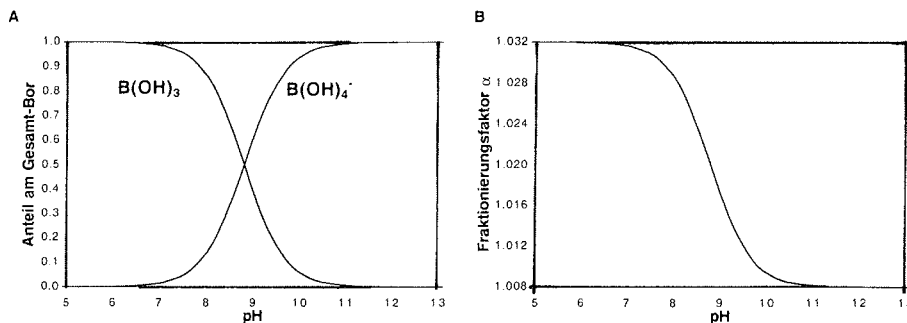
Der pKa-Wert dieses Gleichgewichts beträgt 8.8 (Meerwasser, 25°C, Barth 1993; Spivack & Edmond 1987). Bei pH-Werten unterhalb von 8 liegt daher vorwiegend die dreibindige Form vor (z.B. pH 7.7 - 93 %). Abbildung 4-3 A veranschaulicht diesen Zusammenhang. Das rezente Isotopen-Signal des Meerwassers ist global konstant und wird mit 39.5 ‰ angegeben, die Konzentration beträgt 427  $\mu\text{M}$  (Spivack & Edmond 1987).

Die Fraktionierung der Isotope  $^{11}\text{B}$  und  $^{10}\text{B}$  beruht auf unterschiedlichen Schwingungs-energien der beiden Spezies (Kakihana et al. 1977). Für die Gleichung



wurde die Gleichgewichtskonstante K für Borsäure zu 1.020 bestimmt; die Temperaturabhängigkeit ist gering ( $\pm 0.6$  ‰ für 0-25°C) (Kakihana et al. 1977). Die Konstante gibt an, daß das trigonal koordinierte B, das sich bei *in situ* pH-

Werten von  $< 8$  vorwiegend in Lösung befindet, um 20 ‰ an  $^{11}\text{B}$  angereichert ist. Da in der Festphase das B tetraedrisch koordiniert vorliegt, sind Austauschprozesse mit dem Sediment unter diesen Bedingungen ( $\text{pH} < 8$ ) mit einem Wechsel von der trigonalen zur tetraedrischen Koordinierung verbunden (bzw. umgekehrt) und es wird eine pH-abhängige Fraktionierung beobachtet (Spivack & Edmond 1987). Abbildung 4-3 B veranschaulicht die mit zunehmendem pH-Wert, d.h. zunehmender  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ -Konzentration, abnehmende Fraktionierung.



**Abbildung 4-3:** pH-Abhängigkeit der Speziation (A) und der Fraktionierung (B) von Bor

Beim Einbau von tetraedrisch koordiniertem B in das Carbonat-Skelett von Foraminiferen erfolgt nur eine geringfügige zusätzliche Fraktionierung ( $\epsilon = 0.08$  ‰, Sanyal et al. 1995), so daß die Isotopensignatur des  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  im Meerwasser in den Kalkschalen fixiert und konserviert wird (Hemming & Hanson 1992). Es konnte nachgewiesen werden, daß in den vergangenen 20 Ma im Meerwasser keine Veränderungen im  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert aufgetreten sind und Variationen im  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert von Foraminiferenschalen daher allein auf pH-Änderungen im Meerwasser zurückzuführen sind (Palmer & Swihart 1996). Entscheidend ist ferner, daß beim teilweise Anlösen im Laufe der Diagenese keine Fraktionierung auftritt. Aufgrund dieser Gegebenheiten kann über die Analyse von B-Isotopen in Foraminiferen der paläo-pH des Ozeans rekonstruiert werden, der vom  $\text{CO}_2$ -Partialdruck der Atmosphäre abhängt und daher für die Klimaforschung von Interesse ist (Spivack et al. 1993; Sanyal et al. 1995; 1996; 1997; Sanyal & Bijma 1999). Die Änderung des Meerwasser-pH-Wertes über geologische Zeiträume erstreckt sich von 7.7 bis 9.0 und liegt damit im Bereich maximaler Änderungsraten der Fraktionierung (Abbildung 4-3 B). Diese Tatsache ist für die Anwendung der Methode wesentlich. Für Porenwässer ist keine pH-Abhängigkeit der B-Isotopie zu erwarten, da die pH-Werte i.d.R.  $< 7.7$  sind und damit das Spezies-Gleichgewicht (Gleichung 4-18) soweit zugunsten einer Spezies verschoben ist, daß eine Abnahme des pH-Wertes keine Auswirkungen auf die Fraktionierung mehr hat.

Auch in Silikaten liegt Bor hauptsächlich tetraedrisch koordiniert vor, wobei es im Gitter Si ersetzt. Während verschiedener Stadien der Alteration von Basalten wird leichtes B (ca. -3 ‰; Spivack & Edmond 1987) aus dem Gestein freigesetzt bzw. schweres B aus dem Porenfluid in neue Mineralphasen eingebaut. Bei hohen Temperaturen (ca. 150°C bis 350°C) wird B quantitativ und ohne Isotopenfraktionierung aus den Basalten geleacht, wobei aufgrund des geringen B-Gehaltes (< 1 ppm) nur ein geringer Anteil des Bors im Fluid aus den Basalten kommt (10-25 %) (Palmer 1991). Hydrothermalfluide an sediment-freien Rücken sind daher in ihrer B-Zusammensetzung nur geringfügig gegenüber Meerwasser angereichert und isotopisch leichter (460-560 µM, 30-37 ‰; Spivack & Edmond 1987). Die Fluide an Back Arc Spreizungszentren unterscheiden sich von denen an mittelozeanischen Rücken durch höhere B-Gehalte und niedrigere  $\delta^{11}\text{B}$ -Werte, die von der subduzierten Platte herrühren (Palmer 1991). Der größte B-Anteil im Porenfluid stammt aber auch hier aus dem Meerwasser. Anders stellt sich die Situation an sediment-bedeckten Fluidaustrittsstellen dar. Hier kommt es nach der Reaktion mit den Basalten zu Leaching von Bor aus den Sedimenten, die gegenüber MORB wesentlich höhere Bor-Gehalte besitzen (250-300 fache Anreicherung, Spivack et al. 1987). Dabei erhöht sich die B-Konzentration im Porenwasser (> 1500 µM) und die  $\delta^{11}\text{B}$ -Werte sinken deutlich (< 20 ‰) (Palmer & Swihart 1996). Laufen die genannten Prozesse mit bereits alteriertem Material ab (Basalt oder Sediment), so ist für die Interpretation der Porenwasser-Signatur die geänderte Bor-Zusammensetzung der festen Phase zu berücksichtigen. Bei der Advektion durch das Sediment kühlt das Porenwasser immer weiter ab und ab ca. 100°C kommt es zum Einbau von B in Sekundärminerale (Seyfried et al. 1984; You et al. 1995). Dabei wird bevorzugt das tetraedrisch koordinierte, leichte Isotop dem Porenwasser entzogen, wodurch sich dessen  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert erhöht (Palmer & Swihart 1996) und die Konzentration abnimmt.

Die Fraktionierungsfaktoren der Adsorption und des Einbaus von B an / in Tonmineralphasen sind annähernd gleich, woraus sich schließen lässt, daß beide Reaktionen über einen ähnlichen Mechanismus ablaufen (Palmer & Swihart 1996) bzw. daß dem Einbau meist eine Adsorption vorausgeht (Berndt & Seyfried 1986; You et al. 1996b). Beide Prozesse können daher nicht voneinander getrennt betrachtet werden.

Die Alterationsreaktionen laufen auch in der Recharge-Zone ab, in der Meerwasser durch die Sedimentauflage zu der hydrothermalen Reaktionszone gelangt. Dabei verliert das zirkulierende Meerwasser ca. 10 % seines B-Gehaltes (Spivack & Edmond 1987). Dies ist eine weitere Ursache dafür, daß die Hydrothermalfluide an nicht sediment-bedeckten Rücken eine B-Signatur tragen, die der von Meerwasser sehr ähnlich ist: In der Recharge-Zone wird leichtes B in die Festphase eingebunden, in der Reaktions-Zone wird anschließend leichtes Bor an das Fluid abgegeben (Seyfried et al. 1984).

Kommt es bei entsprechenden p,T-Bedingungen in der oberen Kruste zur einer Phasenseparation, geht B vorwiegend in die Brine-Phase über, gegenüber Chlorid ist Bor jedoch stets im Dampf angereichert (Bischoff & Rosenbauer 1987; Berndt & Seyfried 1990). Bei einer Phasenseparation im superkritischen Zustand ( $T > 400^\circ\text{C}$ ) ist die Fraktionierung vernachlässigbar

( $\epsilon < 0.5 \text{ ‰}$ ), was Spivack et al. (1990) auf eine Gleichverteilung von trigonalem und tetraedrisch koordiniertem B in beiden Phasen zurückführen. Die subkritische Phasenseparation (300-400°C) bewirkt einen Anreicherungsfaktor von  $\epsilon = 2\text{-}3 \text{ ‰}$  in der Dampfphase (Barth 1993; Palmer & Swihart 1996).

Die Ausführungen zeigen, daß die Konzentration und das Isotopensignal von Bor in hydrothermal beeinflussten Porenfluiden vom Grad der Alteration und von der Temperatur bei Wechselwirkungen mit dem Sediment oder dem darunterliegenden Basalt abhängen und daher geeignet sind, hierfür als Indikatoren zu dienen (Barth 1993; You et al. 1995).

#### **4.8 Strontium-Isotopie und Strontium-Konzentration: Wechselwirkungen des Porenfluids mit den Basalten**

Die Strontium-Isotopie wird häufig in der Rb-Sr-Methode zur Datierung verwendet. Diese Methode beruht darauf, daß Rb-87 mit einer Halbwertszeit von ca.  $50 \cdot 10^9$  Jahren zu Sr-87 zerfällt ( $\beta$ -Zerfall) und ist in Dickin (1995) nachzulesen. Eine andere Anwendung besteht darin, die Differentiation aufgrund des unterschiedlichen Chemismus<sup>1</sup> von Rb und Sr in den Vordergrund zu stellen (Elderfield et al. 1990; Dickin 1995). Da  $\text{Rb}^+$  und  $\text{Sr}^{2+}$  unterschiedliche Ionenradien haben, sind sie bei Schmelzprozessen unterschiedlich kompatibel. Bei der Entstehung der Erdkruste aus dem Erdmantel wurden sie daher fraktioniert: Rb ging bevorzugt in die kontinentale Kruste über und befindet sich dort vornehmlich in sauren, K-reichen Gesteinen (z.B. Granit), während Sr im Erdmantel verblieb und demzufolge in der ozeanischen Kruste, vorzugsweise in basischen, Ca-reichen Gesteinen (z.B. Basalt) anreichert ist. Aufgrund dieser Fraktionierung und des höheren Alters findet man in kontinentaler Kruste höhere Rb/Sr-Verhältnisse und daraus resultierend höhere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse vor als in der ozeanischen Kruste. Diese werden als radiogen bezeichnet.

Die Angabe der Sr-Isotopenverhältnisse erfolgt nicht mit der  $\delta$ -Notation, sondern es wird nur R angegeben. Rezenten Meerwasser liegt mit einem Sr-Isotopen-Verhältnis von ca. 0.7092 zwischen den beiden Endgliedern kontinentale Kruste und Mantelmaterial (Elderfield et al. 1990; Paytan et al. 1993). Das Sr-Isotopenverhältnis im Meerwasser ist wegen der langen Verweilzeit des Elementes (2.5 Ma, gegenüber 1ka Mischungszeit) global konstant, unterliegt jedoch Veränderungen in geologischen Zeiträumen. Diese beruhen auf unterschiedlich starken Einträgen, die insbesondere durch subaerische Verwitterung und submarine hydrothermale Aktivität bestimmt sind. Durch Erosion und Verwitterung der kontinentalen Kruste gelangt über die Flüsse vorwiegend radiogenes Sr mit einem Isotopenverhältnis von 0.710 bis maximal 0.730 in die Ozeane, während an den mittelozeanischen Rücken Hydrothermalfluide mit einem Isotopensignal von 0.703 bis 0.705 eingetragen werden (z.B. Von Damm et al. 1985a; Palmer 1992; Palmer & Edmond 1989). Da es beim Sr-Einbau in biogene und anorganische Minerale (Carbonate, Baryte) nicht zu einer Isotopenfraktionierung kommt, spiegelt deren Sr-Isotopenverhältnis das Verhältnis im Meerwasser zum Zeitpunkt ihrer Bildung wieder (Paytan et al. 1993; Banner 1995; Dickin 1995).



Zeigt das Porenwasser an sedimentbedeckten Spreizungszonen eine Abweichung des Isotopenverhältnisses relativ zum rezenten Meerwasser, kann dies auf zwei prinzipiell verschiedene Ursachen zurückgeführt werden: auf den Beitrag eines fossilen Signals oder auf die Wechselwirkung mit Gesteinen oder Sedimenten (Paytan et al. 1993; Dickin 1995; Zheng et al. 1995). Im einzelnen sind folgende Prozesse möglich:

- Fluide aus großer Tiefe, die das Signal des fossilen Meerwassers tragen, steigen auf.
- Biogene oder anorganische marine Minerale, die das Signal des fossilen Meerwassers tragen, lösen sich.
- Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen von rezentem oder fossilem Meer- bzw. Porenwasser mit der ozeanischen Kruste in großer Tiefe
- Wasser-Sediment-Wechselwirkungen von rezentem oder fossilem Meer- bzw. Porenwasser über die gesamte Sedimentsäule

Die Veränderung des Isotopensignals ergibt sich für die ersten zwei genannten Prozesse aus dem Alter des Materials (bis 150 Ma resultiert eine Abnahme). Für Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen mit der ozeanischen Kruste ist ebenfalls eine Abnahme zu erwarten. Für Wasser-Sediment-Wechselwirkungen hängt der Isotopeneffekt von der Zusammensetzung des Sedimentes ab. Für sich lösende marine Minerale ändert sich das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis entsprechend ihren Alters (s.o.), für terrigenes Detritusmaterial, das eine radiogene Signatur trägt, resultiert eine Zunahme des Sr-Isotopenverhältnisses gegenüber dem rezenten Meerwasser-Wert.

Kann der Beitrag einer fossilen Komponente zum Isotopen-Signal nicht bestimmt bzw. ausgeschlossen werden, ist eine eindeutige Interpretation der Daten nur im Kontext mit anderen Analysendaten möglich.

## 5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 5.1 Charakterisierung der Untersuchungsgebiete anhand der Porenwasser-Chemie

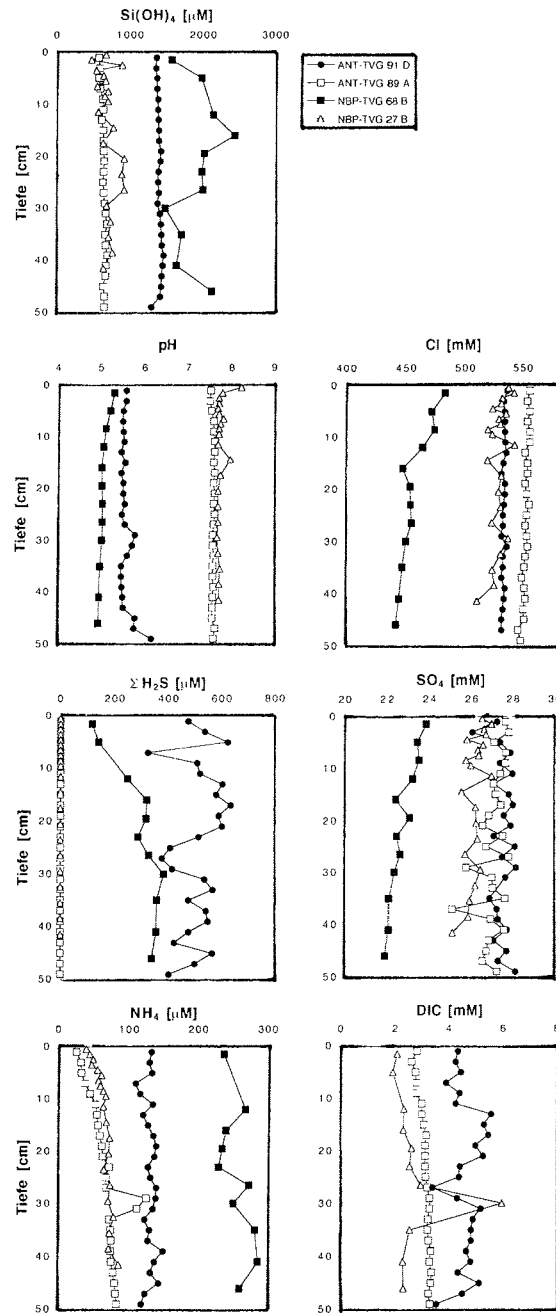
#### 5.1.1 Hook Ridge

Die Charakterisierung der TVG-Stationen als Vent- bzw. Referenz-Station erfolgt anhand der Temperatur, der Präzipitate und der in Abbildung 5-1 dargestellten geochemischen Parametern. Dabei wird aus der Vielzahl der beprobten TV-Greifer und Subkerne jeweils ein repräsentativer Subkern eines hydrothermal beeinflussten Sedimentes (gefüllte Symbole) und einer Referenz-Station (offene Symbole) von beiden Ausfahrten dargestellt. Die Daten aller anderen TV-Greifer und Subkerne sind im Anhang einzusehen.

Alle Proben, sowohl Vent- als auch Referenz-Kerne, wurden auf dem Top von Hook Ridge genommen. Der Referenz-Kern ANT-TVG 89 wurde am Randbereich zu hydrothermal-beeinflussten Sedimenten in einem Feld mit Schlangensteinen abgesetzt, der NBP-TVG 27 am Rande einer Caldera-ähnlichen Struktur auf dem Gipfel des Rückens. Der ANT-TVG 91 wurde unweit des ANT-TVG 89 abgesetzt, während die NBP-TVG 68 und 69 innerhalb der Caldera-Struktur genommen wurden. Die hydrothermal beeinflussten Proben zeichnen sich durch eine erhöhte Temperatur (24°C bzw. 48.6°C) sowie Silikat- und Eisensulfid-Präzipitate aus. In den meisten Parametern in Abbildung 5-1 zeigt sich, daß die Porenwässer des NBP-TVG 68 ein wesentlich deutlicheres Fluid-Signal tragen, was bereits die an Deck gemessene höhere Temperatur andeutet.

Auffällig sind besonders die hohen Gehalte an Silikat (1500-2500  $\mu\text{M}$ ) und die niedrigen pH-Werte (5-6), die typisch für Hydrothermal-Fluide sind. Die relativ hohe Silikat-Konzentration in den Referenz-Kernen (600-800  $\mu\text{M}$ ) ist auf die Zusammensetzung des Sedimentes im Südozean zurückzuführen, das zu einem sehr großen Teil aus Diatomeen besteht. Die Abreicherung im Chlorid, die besonders im TVG 68 stark ausgeprägt ist (440 mM, entsprechend 21 % des Meerwasser-Wertes), ist ein Indiz für eine Phasenseparation auf Hook Ridge. Mit dem TVG 91 wurde wahrscheinlich ein Porenfluid beprobt, das aus derselben Quelle gespeist wird wie der TVG 68, jedoch stärker durch Meerwasser "verdünnt" ist.

In den hydrothermal beeinflussten Kernen ist Sulfid nachzuweisen (200-600  $\mu\text{M}$ ). Dieses wird z.T. von hydrothermalen Fluiden eingetragen, z.T. entsteht es beim Abbau organischer Substanz, der bei den erhöhten Temperaturen beschleunigt abläuft. Erhöhte DIC- und  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen in diesen Kernen belegen verstärkten POC-Abbau. Trotz des reduzierten Milieus ist die  $\text{SO}_4$ -Konzentration nur im TVG 68 deutlich niedriger als im Referenz-Kern.



**Abbildung 5-1:** Nährstoffe, Chlorid, Sulfat und pH-Wert ausgewählter TVG-Stationen der Ausfahrten ANI-XV/2 und NBP 99-04.

### 5.1.2 King George Becken

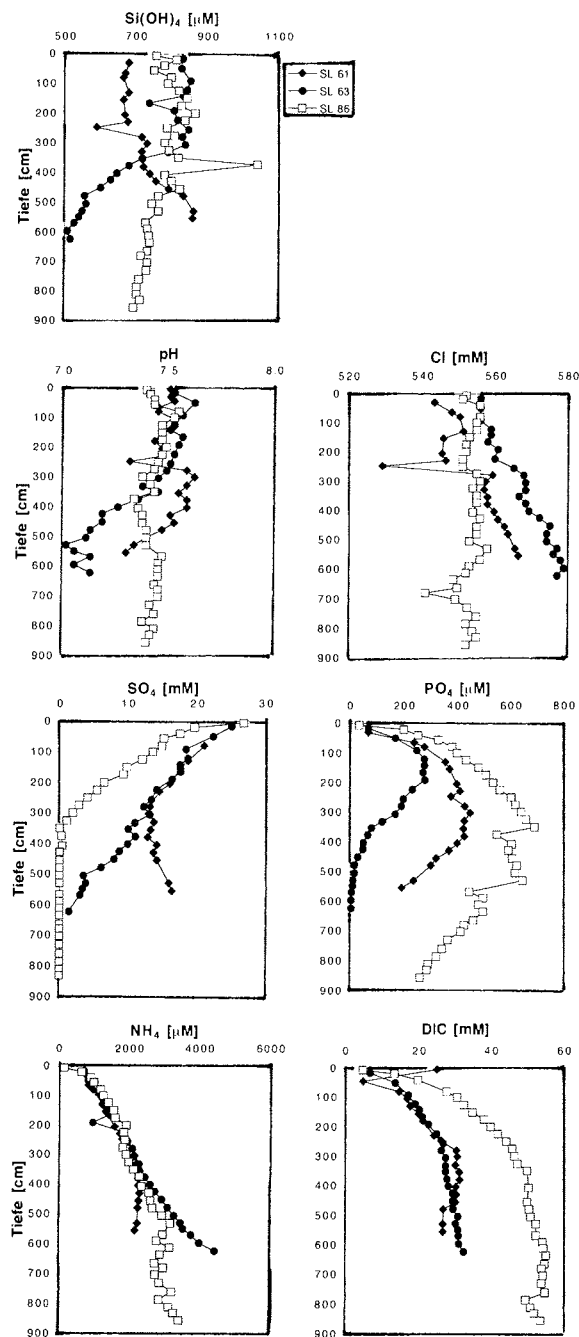
Die Schwerelote SL 61 bis SL 63 bilden einen Transekt südwestlich des Hook Ridge im King George Becken. Sie zeigen in größeren Tiefen einen deutlichen Einfluß von Hydrothermalismus: Zunehmende Cl-Konzentrationen und abnehmende pH-Werte sind nicht mit diagenetischen Reaktionen zu erklären (Abbildung 5-2). Das hydrothermale Signal ist jedoch insbesondere in geringerer Sedimenttiefe überlagert durch den POC-Abbau ( $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  und DIC-Profile). Als Referenz-Station, die ein rein diagenetisches Signal zeigt, dient der Schwerelot-Kern SL 86, der südwestlich des Transektes gezogen wurde. Der Kern SL 62 ist nicht dargestellt. Alle Daten befinden sich im Anhang.

Die  $\text{PO}_4$ -Konzentration im Porenwasser nimmt zunächst zu, da das labile organische Material, das bevorzugt abgebaut wird, P-reich ist. Die anschließende rasche Abnahme ist evtl. mit Mineral-Präzipitation zu erklären. Hierfür kommen Ca-Mineralen (z.B. Phosphatit  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , Apatit  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ) in Betracht.

Die Zunahme von Silikat im Kern SL 61 ab ca. 3.5 m bis auf Werte von ca.  $900 \mu\text{M}$  kann als Leaching der Sedimente oder auch der Kruste bei hohen Temperaturen in größerer Tiefe gedeutet werden. Die Si-Abnahme im Kern SL 63 ab ca. 3.5 m ist mit der Präzipitation von Silikaten zu erklären. Der pH-Wert nimmt in diesem Kern stärker ab als im SL 61, was zusätzlich zu einer verringerten Löslichkeit von Silikat führt.

Das Cl-Profil zeigt eine lineare Zunahme für die Kerne SL 61 und SL 63, die darauf schließen läßt, daß eine Diffusion von salzreicheren Fluiden in der Tiefe stattfindet. Die Cl-Zunahme könnte von einer Brine-Bildung infolge einer Phasenseparation herrühren. Das Cl-Profil des Referenz-Kerns SL 86 zeigt konstante Werte im Bereich der Meerwasser-Konzentration und belegt hiermit das Fehlen einer hydrothermalen Beeinflussung.

Die Beobachtung einer Cl-Abnahme in den Porenwässern auf Hook Ridge und einer Cl-Zunahme in den Kernen des King George Beckens, legt die Vermutung nahe, daß mit den TVG- und SL-Stationen zwei Segmente einer hydrothermalen Konvektionszelle beprobt wurden, innerhalb derer es in der oberen Kruste der Bransfield Straße zu einer Phasenseparation kommt.



**Abbildung 5-2:** Nährstoffe, Chlorid, Sulfat und pH-Wert der Schwerelot-Kerne SL 61, SL 63 und SL 86 im King George Becken

## 5.2 Einfluß von vulkanischer Aktivität und Hydrothermalismus auf die Sedimente

### 5.2.1 POC-Gehalte der Sedimente auf Hook Ridge

Der Kohlenstoff-Gehalt der TVG-Sedimente beträgt ca. 0.6 % für die Referenz-Station ANT-TVG 89 und 0.4 % für die Vent-Station ANT-TVG 91 (Abbildung 5-3). Im Vergleich dazu liegen die POC-Werte der Schwerelote im King George Becken etwa bei 1% (Kapitel 5.2.4). Die in dieser Arbeit nicht untersuchten Minicorer-Kerne, mit denen das Oberflächensediment des Beckens höher aufgelöst beprobt wurde, weisen sogar einen POC-Gehalt bis 1.3 % an der Oberfläche auf (unveröffentlichte Ergebnisse).

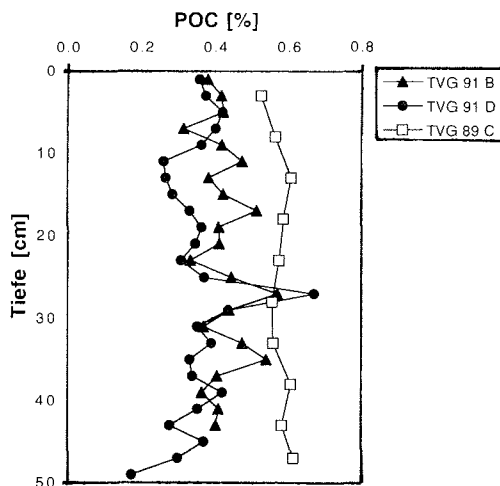


Abbildung 5-3: POC-Gehalte der Sedimentkerne auf Hook Ridge

Die niedrigeren Gehalte auf Hook Ridge lassen sich mit der exponierten Lage in ca. 1100 m Wassertiefe erklären, die dazu führt, daß insbesondere die feinkörnigen und POC-reichen Anteile des Oberflächensediments mit der Strömung abgetragen und im King George Becken (ca. 2000 m Wassertiefe) abgelagert werden, so daß dort die Gehalte entsprechend höher sind. Diese Vermutung wird bestärkt durch die Beobachtung, daß bodennahe Strömungen Materialumlagerungen zwischen den vulkanischen Erhebungen und dem Hangfuß der Antarktischen Halbinsel bewirken und so den Sedimentationsprozeß im Becken beeinflussen (Ercilla et al. 1998). Ein Unterschied zwischen beiden Stationen auf Hook Ridge kann hiermit nicht begründet werden, weil sie sich bzgl. der Bathymetrie nicht unterscheiden. Die geringeren Gehalte an organischem Material in der Vent-Station TVG 91

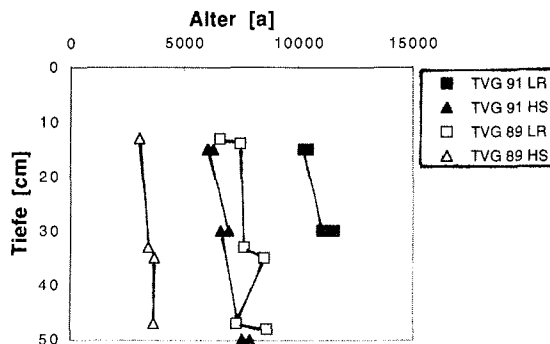
relativ zum Referenz-Kern sind wahrscheinlich auf verstärkten POC-Abbau durch die warmen advektierenden Fluide zurückzuführen, wie dies auch in erhöhten  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen deutlich wird. Eine zusätzliche Erklärung ist der hydromechanisch induzierte Abtrag des Oberflächensedimentes durch den Fluidaustritt. Diese Interpretation wird gestützt durch eine gegenüber dem TVG 89 um bis zu 10 % erhöhte Porosität in den oberen 5 cm.

### 5.2.2 Datierung der Sedimente auf Hook Ridge mit der Radiocarbon-Methode

Ausgewählte Sedimentproben der TV-Greifer ANT-TVG 89 und 91 wurden mit der Radiocarbon-Methode datiert (Tabelle 5-1, Abbildung 5-4). Es wurden jeweils zwei Fraktionen der organischen Substanz getrennt analysiert. Dabei enthält die Huminsäure-Fraktion leicht-lösliche Bestandteile, die in beiden Kernen etwa 4000 a jünger sind als der Kohlenstoff im Laugen-Rückstand. Der Vergleich von Vent- und Referenz-Kern zeigt ebenfalls eine Altersdifferenz von ca. 3000 a in der jeweiligen Fraktion und Tiefe. Beide Befunde könne mit denselben Effekten erklärt werden, wie sie bereits für die Unterschiede im POC-Gehalt genannt wurden (Kapitel 5.2.1): Verstärkter

**Tabelle 5-1:** Radiocarbonalter der Sedimente auf Hook Ridge (in Jahren BP); Daten in gleichen bzw. vergleichbaren Tiefen sind aus verschiedenen Unterproben bzw. Subkernen.

| Kern               | Tiefe [cm] | Laugen-Rückstand | Huminsäure-Fraktion | Alters-Differenz |
|--------------------|------------|------------------|---------------------|------------------|
| TVG 89             | 13         | 6610 ± 50        | 3045 ± 45           | 3565             |
|                    | 14         | 7520 ± 60        |                     |                  |
|                    | 33         | 7660 ± 45        | 3430 ± 40           | 4230             |
|                    | 35         | 8550 ± 90        | 3690 ± 40           | 4860             |
|                    | 47         | 7355 ± 45        | 3680 ± 50           | 3675             |
|                    | 48         | 8670 ± 70        |                     |                  |
| TVG 91             | 15         | 10470 ± 110      | 6035 ± 55           | 4435             |
|                    | 15         | 10260 ± 60       | 6310 ± 70           | 3950             |
|                    | 15         |                  | 6080 ± 40           |                  |
|                    | 30         | 11050 ± 220      |                     |                  |
|                    | 30         | 11580 ± 90       | 6990 ± 80           | 4590             |
|                    | 30         |                  | 6630 ± 60           |                  |
|                    | 50         |                  | 7580 ± 170          |                  |
|                    | 50         |                  | 7930 ± 90           |                  |
|                    |            |                  |                     |                  |
| <b>Mittelwerte</b> |            |                  |                     |                  |
| TVG 89             | 13-14      | 7065             | 3045                | 4020             |
|                    | 33-35      | 8105             | 3560                | 4545             |
|                    | 47-48      | 8013             | 3680                | 4333             |
| TVG 91             | 15         | 10365            | 6142                | 4223             |
|                    | 30         | 11315            | 6810                | 4505             |
|                    | 50         |                  | 7755                |                  |



**Abbildung 5-4:** Radiocarbonalter der Sedimente auf Hook Ridge; LR: Laugen-Rückstand, HS: Huminsäure-Fraktion; Daten in vergleichbaren Tiefen sind aus verschiedenen Subkernen.

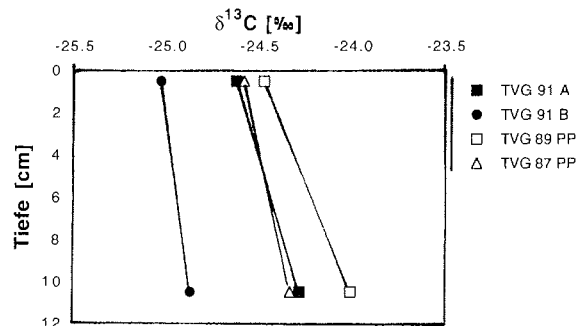
diagenetischer Abbau der labilen, jungen organischen Substanz führt unabhängig vom Standort zu einer Altersdifferenz zwischen den analysierten Fraktionen. Darüber hinaus ist der POC-Abbau an der Lokation TVG 91 hydrothermal beschleunigt, so daß das Alter des organischen Materials zu höheren Werten verschoben wird (pers. Mittlg. P. Grootes). Ferner ist es auch möglich, daß durch die hydrothermale Aktivität altes Material in größerer Tiefe abgebaut wird, das mit den Fluiden aufsteigt und im Oberflächensediment gebunden wird. Dabei müßte es allerdings zu einer Altersangleichung der beiden Fraktionen kommen (vgl. Kapitel 5.2.5), die jedoch nicht beobachtet wird. Aus diesem Grund wird angenommen, daß die relativ hohen Konzentrationen an DIC und  $\text{NH}_4$  im wesentlichen durch autochthone POC-Zersetzung hervorgerufen wird. Dieses ist auch insofern plausibel als die Sedimentbedeckung auf Hook Ridge relativ dünn ist im Vergleich zu der im King George Becken, in dem die Advektion von älteren POC-Metaboliten eine Rolle spielt. Die Fixierung von chemoautotroph produziertem Kohlenstoff kommt als Erklärung nicht in Betracht, weil die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Sedimentes sich nicht von denen des POC der Wassersäule unterscheiden (Kapitel 5.2.3).

Aus den gemessenen Altern berechnen sich Sedimentationsraten von 0.02-0.04 cm/a für den Referenz-Kern bzw. 0.01-0.02 cm/a für den TVG 91, wobei sich aus dem Laugen-Rückstand stets die niedrigeren Werte ergeben. Verglichen mit den Sedimentationsraten im King George Becken (Kapitel 5.2.5) sind die Raten auf der Erhebung (Referenz-Kern) um den Faktor ~20 niedriger. Dies ist mit dem o.g. Abtrag des Oberflächensedimentes und dem Fehlen eines lateralen Eintrages zu erklären. Aufgrund des o.g. Einflusses der hydrothermalen Aktivität auf das Alter der organischen Substanz des Kerns TVG 91 liefert dieser Kern niedrigere Sedimentationsraten als der Referenz-Kern.



### 5.2.3 Kohlenstoff-Isotopie des POC und der Makrofauna auf Hook Ridge

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des detritischen Materials im Sediment sind mit  $-24.5\text{‰}$  verhältnismäßig negativ (Abbildung 5-5), entsprechen aber der Zusammensetzung von POC, das in der Wassersäule der Bransfield Straße mit Sinkstofffallen gewonnen wurde ( $-24$  bis  $-25\text{‰}$ ; Fischer 1989). Sowohl der hydrothermal beeinflusste Kern ANT-TVG 91 als auch die Referenz-Kerne ANT-TVG 87 und 89 liegen innerhalb dieses Wertebereiches. Ein größerer Beitrag chemoautotroph gebildeter organischer Substanz ist daher auszuschließen. Das an der Meeresoberfläche gebildete Material wird demzufolge relativ

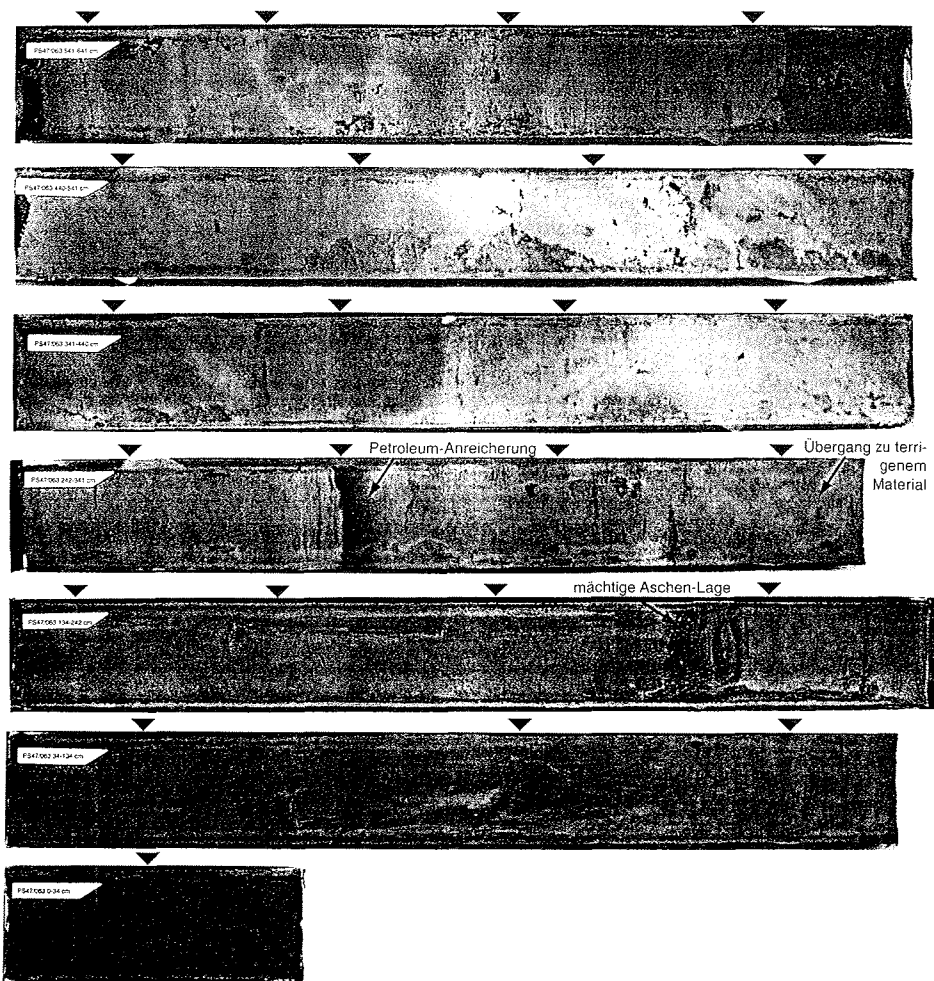


**Abbildung 5-5:** Kohlenstoff-Isotopie des detritischen Materials im Sediment auf Hook Ridge

unverändert in das Sediment eingetragen; durch die anschließende Remineralisierung der Organik nimmt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des POC mit zunehmender Sedimenttiefe zu. Neben Sedimenten wurden mit dem ANT-TVG 89 Schlangensterne, Polychaeten und Crustaceen beprobt. Im ANT-TVG 91 fanden sich leere chitinöse Röhren, aber auch lebende Pogonophoren der Gattung *Sclerolinum*. Da die Schlangensterne am Hook Ridge in extrem hohen Dichten anzutreffen sind, wird vermutet, daß sie die Biomasse der chemoautotrophen, freilebenden Bakterien nutzen, die wahrscheinlich die Fluidaustritte besiedeln. Um diese Hypothese zu prüfen, wurde die isotopische Zusammensetzung der organischen Substanz (C und N) der benthischen Faunen untersucht (H. Förstel, FZ Jülich). Es zeigt sich, daß nur für die Spezies *Sclerolinum* sp. (Pogonophora) und unbewohnte Röhren, die entweder von Pogonophoren oder Polychaeten stammen, eine Ernährung von chemoautotroph gebildeten Material anhand sehr niedriger  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (kleiner  $0\text{‰}$ ) belegt werden kann (H. Sahling, pers. Mittlg.). Die Isotopien der anderen Organismen liegen dagegen mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von  $-20$  bis  $-25\text{‰}$  und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von  $+4$  bis  $+12\text{‰}$  im gleichen Bereich wie die Isotopenwerte der organischen Substanz, die in hohen Breiten durch Phytoplankton produziert wird. Eine Assoziation mit den hydrothermalen Austritten kann damit für den größten Teil der beobachteten Makrofauna nicht belegt werden.

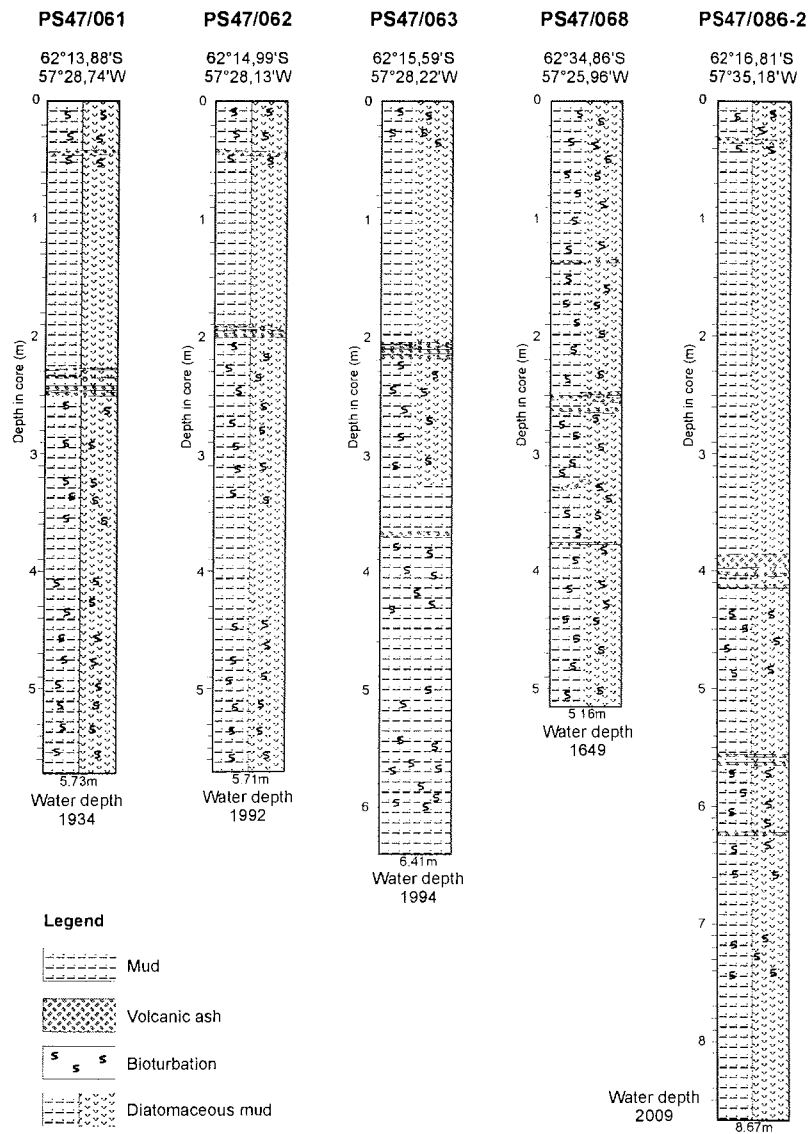
#### 5.2.4 Charakterisierung der Sedimente des King George Beckens

Bereits der optische Eindruck des Kerns SL 63 zeigt Anzeichen von Alteration. In Abbildung 5-6 sind deutlich zwei hell-graue Bereiche (4.03-4.30 m, 4.85-5.15 m) zu erkennen, die sich von den dunkel-grauen umgebenden Sedimenten abgrenzen. Brault & Simoneit (1990) führen Änderungen in Farbe und Fluoreszenz der Sedimente (ANT-IV/2) auf den Einfluß hydrothermalen Fluides zurück, die die Umsetzung von Lipiden in reifere, aromatische Verbindungen mit typischen Charakteristika von Petroleum verursachen.



**Abbildung 5-6:** Photo des Kerns SL 63 (PS 47/063); Photo: S. Fretzdorff. Die Dreiecke symbolisieren die Probenahmetiefen.

Lithology of gravity cores :

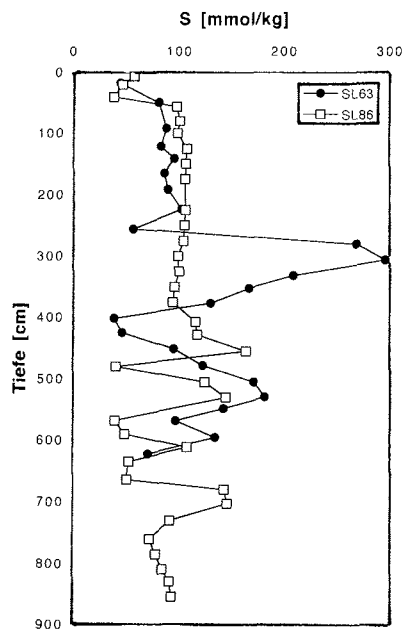
**Bransfield strait / ANT XV/2**

**Abbildung 5-7:** Sedimentologie der beprobten Sedimente im King George Becken und eines weiteren Kerns aus dem Zentralen Bransfield Becken (SL 68); Sedimentaufnahme und Anfertigung der Zeichnung: J.Greinert. Details sind den Abbildungen im Anhang 9.1 zu entnehmen.

Die mit der Tiefe zunehmende Ausprägung dieses Anzeichens deutet auf eine autochthone Temperaturerhöhung durch eine darunterliegende Hitzequelle hin (Simoneit 1986). Eine Akkumulation von leichten Kohlenwasserstoffen in Sedimentschichten, in denen noch unzersetzte Lipide nachgewiesen werden können, kann dagegen mit der "Kondensation" von thermisch gebildeten Kohlenwasserstoffen erklärt werden, die mit hydrothermalen Fluiden aufgestiegen sind (Simoneit 1986). Im Kern SL 63 finden sich Anzeichen für beide Bildungsmechanismen, eine dunkle Lage mit charakteristischem Petroleum-Geruch in 2.72-2.84 m sowie eine zunehmende Aufhellung des Sedimentes ab 5.2 m.

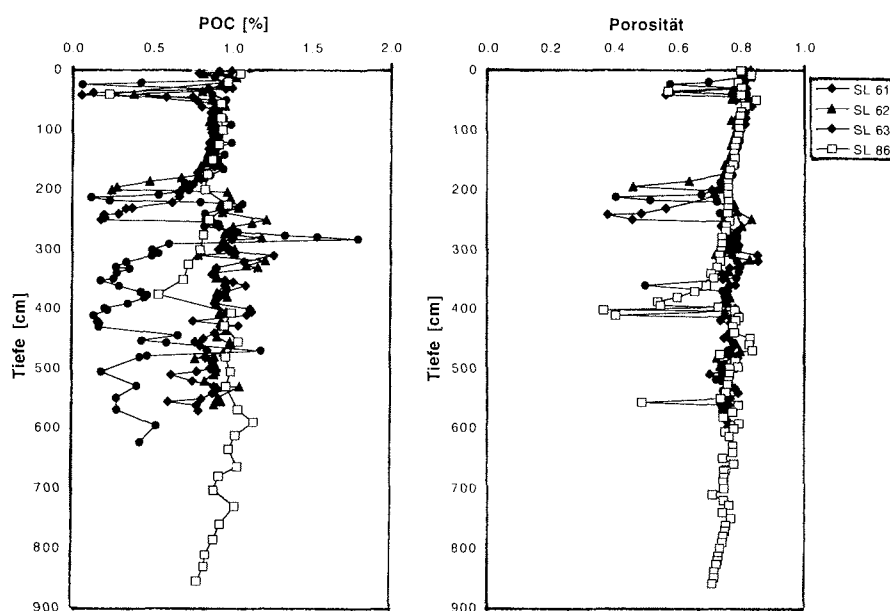
Adern mit schwarzen Sulfiden in den aufgehellten Partien einiger ANT-IV-Kerne werden als mögliche Fluidkanäle interpretiert (Whiticar & Suess 1990; Brault & Simoneit 1990). Auch im SL 63 werden schmale Bereiche dunklerer Färbung vorgefunden, die hohe Schwefel-Gehalte ( $> 0.5\%$ ) aufweisen (Abbildung 5-8); die mächtigsten (5-12 cm) in  $\sim 2.8$  m (s.o.) und in 5.6 m Tiefe. Die Tatsache, daß sich oberhalb einer mächtigen Aschenlage (2-2.2 m), die eine sehr geringe Porosität besitzt ( $\sim 0.4$ ; Abbildung 5-9), keine vergleichbaren Anzeichen finden, deutet darauf hin, daß sie eine Barriere für die aufsteigenden Fluide darstellt.

Die POC-Gehalte der Schwerelot-Kerne im King George Becken liegen etwa bei 1% (Abbildung 5-9). Abweichungen gibt es in allen Kernen in Tiefen, in denen sich Aschenlagen mit Mächtigkeiten  $> 1$  cm befinden (vgl. Tabelle 5-2);



**Abbildung 5-8:** Schwefelgehalt im Sediment der Kerne SL 86 und SL 63

in diesen Tiefen sind sowohl der POC-Gehalt und als auch die Porosität erniedrigt. Der untere Kernbereich des SL 63 weist eine zusätzliche Besonderheit auf: In 2.7-2.8 m steigt der POC-Gehalt bis auf 1.8 % an und fällt darunter drastisch ab (bis < 0.5 % in ca. 3 m). Wie oben erwähnt, befindet sich in ~2.8 m schwarzes Sediment mit starkem Petroleum-Geruch, bei dem es sich offensichtlich um eine Sulfid-Mineralisation mit einer Anreicherung von Kohlenwasserstoffen handelt, wodurch diese Schicht als fluidführend interpretiert werden kann (Whiticar & Suess 1990).



**Abbildung 5-9:** POC-Gehalte und Porositäten der Sedimentkerne im King George Becken

Eine zweite POC-Anreicherung mit 1.2 % (gegenüber einem Hintergrund-Wert von ~0.2 %) ist in 4.5-5 m Tiefe zwischen den beiden ausgebleichten Horizonten zu beobachten und analog zu deuten. Auch hier hebt sich das Sediment durch seine dunkle, rötlich-graue Färbung von dem umliegenden, hell-grauen Sediment ab und der Schwefelgehalt des Sedimentes zeigt eine Zunahme bis einen Meter unterhalb dieser Schicht (Abbildung 5-8).

Die sehr niedrigen POC-Gehalte in der unteren Sedimenthälfte haben zwei mögliche Ursachen: Zum einen kann aufgrund der Einwirkung von Hydrothermalfluiden bereits ein Großteil des organischen Materials abgebaut worden sein. Zum anderen zeigt die Lithologie (Abbildung 5-7 und Anhang 9.1), daß das Sediment ab einer Tiefe von 3.2 m aus terrigenem Material besteht, das sehr viel älter ist (Kapitel 5.2.5) und aus diesem Grund

einen potentiell geringeren Gehalt an organischem Kohlenstoff aufweist. Aufgrund der diskutierten Beobachtungen ist der Einfluß von Fluiden unzweifelhaft, der Beitrag der Sedimentzusammensetzung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, da keine Vergleichsprobe von hydrothermal nicht alteriertem terrigenen Material vorliegt.

**Tabelle 5-2:** Makroskopisch auskartierte Aschenlagen der Sedimentkerne im King George Becken (vgl. Abbildung 5-7 und Anhang 9.1)

| Kern  | Tiefe der Aschenlagen [cm]          |
|-------|-------------------------------------|
| SL 61 | 46- 49<br>224-252                   |
| SL 62 | 42- 48<br>189-202                   |
| SL 63 | 202-220<br>367-369                  |
| SL 86 | 31- 35<br>386-412<br>557-558<br>622 |

Auffällig in den Sedimenten ist ferner, daß in den drei benachbarten und nahe Hook Ridge gelegenen Kernen SL 61 bis 63 unterhalb ca. 50 cm eine 168 cm (SL 61+63) bzw. 134 cm (SL 62) mächtige Schicht auftritt, die keine Bioturbationsspuren zeigt (Abbildung 5-7). Im Kern SL 86, der weiter im Zentrum des Beckens liegt, ist eine analoge Schicht 335 cm mächtig. Diese Sedimente werden als turbiditisches Material interpretiert, das von den Hängen der antarktischen Halbinsel oder den Süd-Shetland Inseln in das Becken transportiert wurde, wobei der Sedimenteintrag von der Antarktischen Halbinsel generell als höher eingestuft wird (Gràcia et al. 1996). In den genannten Tiefen handelt sich um ursprünglich hemipelagisch abgelagerten Diatomeenschlamm, während im Kern SL 63 ab 3.2 m eine weitere turbiditische Lage mit terrigenem Sediment auftritt. Die Interpretation der Lagen als Turbidite stützt sich nicht nur auf die fehlende Bioturbation, die auch andere Ursachen haben könnte, sondern wird bestätigt durch die Datierungen der Sedimente (Kapitel 5.2.5). Ferner ist allgemein bekannt, daß die Sedimente der Bransfield Straße zu einem Großteil durch eingebettete Turbiditströme gekennzeichnet sind (Laban & de Groot 1986; Ercilla et al. 1998; Prieto et al. 1999). Bemerkenswert ist ferner, daß die Turbiditlagen sich jeweils oberhalb einer mächtigen bzw. mehrerer dicht aufeinanderfolgenden Aschenlagen befinden, die von Vulkanausbrüchen der am südwestlichen Ende der Bransfield Straße gelegenen Insel Deception (63°S, 60°W) stammen. Obwohl für die Bransfield Straße belegt ist, daß vulkanische Aktivität ein Auslöser von Turbiditen sein kann (Ercilla et al. 1998), wird in diesem Fall kein ursächlicher Zusammenhang zwischen den Befunden gesehen, da im Kern SL 68, der zur

tephrochronologischen Datierung herangezogen wird und der Vulkaninsel Deception Island am nächsten gelegen ist, kein turbiditisch abgelagertes Material gefunden wird. Turbiditisch abgelagertes Material ist zudem zeitlich vor der Ablagerung des Aschenregens zu erwarten, da Turbiditströme große Geschwindigkeiten erreichen können und die Hanginstabilität als Auslöser meist vor der Eruption einsetzt. Als Ursache für die Turbidite ist daher subglaziale und interglaziale Erosion durch das Schelfeis bzw. driftende Eisberge anzusehen (Prieto et al. 1999).

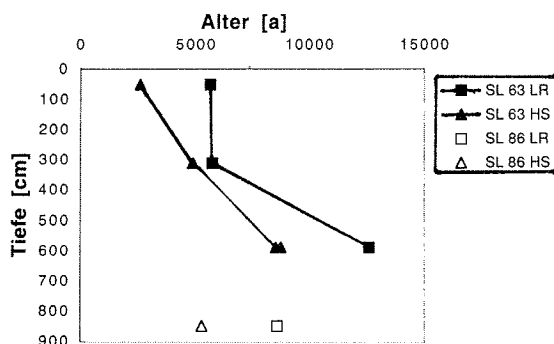
### 5.2.5 Datierung der Sedimente im King George Becken mit der Radiocarbon-Methode und Tephrochronologie, Bestimmung der Sedimentationsrate

Ausgewählte Sedimentproben der Schwerelote SL 63 und SL 86 wurden mit der Radiocarbon-Methode datiert (Tabelle 5-3; Abbildung 5-10). Es zeigt sich, daß das Sediment des Kerns SL 63 in ca. 6 m Tiefe wesentlich älter ist als das Sediment des Referenz-Kerns SL 86 in 8.5 m Tiefe. Eine Alteration der jüngeren, labilen Komponente, die im TVG 91 als Ursache für ein erhöhtes Alter angegeben wurde (Kapitel 5.2.2), ist hier weniger wahrscheinlich, weil die Empfindlichkeit des Alters gegenüber temperaturbeschleunigtem Abbau nur relevant ist, solange die labile Fraktion noch einen erheblichen Anteil des POC liefert (pers. Mittlg. P. Grootes). Daher wird hier die große Altersdifferenz zum darüberliegenden Sediment damit erklärt, daß das terrigene Sediment im Kern SL 63 (ab ca. 3.2 m) als Turbidit anzusprechen ist, der altes Material in das Becken eintragen hat. Auffällig ist ferner die relative Altersgleichheit der beiden analysierten Fraktionen in der Tiefe 310.5 cm, die aufgrund ihres hohen Sulfidgehaltes als fluidführende Schicht identifiziert wurde (Kapitel 5.2.4). Ursache hierfür sind wahrscheinlich die Kohlenwasserstoffe, die an den Sulfiden adsorbiert vorliegen. Diese stellen Abbauprodukte älterer Organik aus größerer Tiefe dar, die das Alter der leicht-löslichen Huminsäure-Fraktion im Sediment verfälschen. Wird das autochthon abgelagerte Material als wesentlich jünger angesehen, ergibt sich für die Huminsäure-Fraktion eine ähnlich große Altersdifferenz zur Turbiditlage wie für den Laugen-Rückstand sowie eine entsprechende Altersgleichheit zur Probe in

**Tabelle 5-3:** Radiocarbonalter der Sedimente im King George Becken (in Jahren BP); Daten in gleichen Tiefen sind aus verschiedenen Unterproben.

| Kern  | Tiefe [cm] | Laugen-Rückstand | Huminsäure-Fraktion |
|-------|------------|------------------|---------------------|
| SL 63 | 51.5       | 5660 ± 40        | 2600 ± 35           |
|       | 310.5      | 5760 ± 80        | 4920 ± 70           |
|       | 310.5      |                  | 4890 ± 60           |
|       | 588.5      | 12630 ± 70       | 8540 ± 280          |
|       | 588.5      |                  | 8770 ± 90           |
| SL 86 | 849.5      | 8620 ± 40        | 5305 ± 40           |

51.5 cm. Dieser Befund ist auf die im Kapitel 5.2.4 beschriebene, 168 cm mächtige Turbiditlage (37-205 cm) zurückzuführen, der die Oberflächenprobe entnommen wurde. Zwischen beiden Proben befindet sich daher - unter Berücksichtigung der 20 cm mächtigen Aschenlage (202-220 cm) - nur 90 cm hemipelagisch abgelagertes Sediment, womit ein geringer Altersunterschied begründet ist. Aufgrund der genannten Komplikationen im Kern SL 63 kann nur aus dem Laugen-Rückstand der Tiefen 51.5 und 310.5 cm eine Sedimentationsrate bestimmt werden. Nimmt man an, daß der Turbidit in einer Zeit abgelagert wurde, die gegenüber der normalen Sedimentation zu vernachlässigen ist und zieht dessen Mächtigkeit von der Beprobungstiefe ab, ergibt sich für das in 310.5 cm Kerntiefe abgelagerte Sediment eine korrigierte Tiefe von 105.5 cm und daraus eine Sedimentationsrate von 1.06 cm/a. Die Berechnung liefert trotz der genannten Einschränkungen einen plausiblen Wert. Aufgrund der hohen Primärproduktion im Südpolarmeer wird für das King George Becken eine hohe Sedimentationsrate erwartet ( $> 1$  cm/a; Laban & de Groot 1986). Das Ergebnis zeigt, daß das verwendete Korrektur-Verfahren sinnvoll ist; dies bestätigt sich auch bei dessen Anwendung auf die tephrochronologisch ermittelten Alter.



**Abbildung 5-10:** Radiocarbonalter der Sedimente im King George Becken; LR: Laugen-Rückstand, HS: Huminsäure-Fraktion; Daten in vergleichbaren Tiefen sind aus verschiedenen Unterproben.

Von S. Fretzdorff (Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel) wurde eine tephrochronologische Untersuchung an weiteren Schwerelot-Kernen vorgenommen. Neben den in dieser Arbeit ebenfalls untersuchten Kernen SL 61 und 62 wurde der Kern SL 68 analysiert, der SW des King George Beckens im Zentralen Bransfield Becken liegt ( $62^{\circ}35'S$   $57^{\circ}26'W$ ). Dafür wurden vulkanische Glaspartikel von Fall-out Aschenlagen ausgelesen und deren Hauptelementzusammensetzung analysiert. Aufgrund charakteristischer geochemischer Signaturen einzelner Vulkanausbrüche können die Aschenlagen den jeweiligen Eruptionen der Vulkaninsel Deception Island zugeordnet werden. Anhand des somit ermittelten Alters der umliegenden



Sedimente werden Sedimentationsraten berechnet (Tabelle 5-4). Dabei wird für die Aschenlage in 242 cm im Kern SL 61 eine Korrektur für die ausgewiesene Turbiditlage wie oben beschrieben vorgenommen.

**Tabelle 5-4:** Datierung der Sedimente mittels Tephrochronologie

| Kern  | Tiefe der Aschenlage [cm] | Eruptionsjahr der Asche | Alter der Aschenlage [a] vor 1997 | Sedimentationsrate [cm/a] |
|-------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| SL 61 | 242                       | 1842                    | 155                               | 0.48*                     |
| SL 61 | 46-49                     | 1912-1914               | 83-85                             | 0.54-0.59                 |
| SL 62 | 42-48                     | 1912-1914               | 83-85                             | 0.49-0.58                 |
| SL 68 | 12                        | 1969                    | 28                                | 0.43                      |
| SL 68 | 263                       | 1641                    | 356                               | 0.74                      |

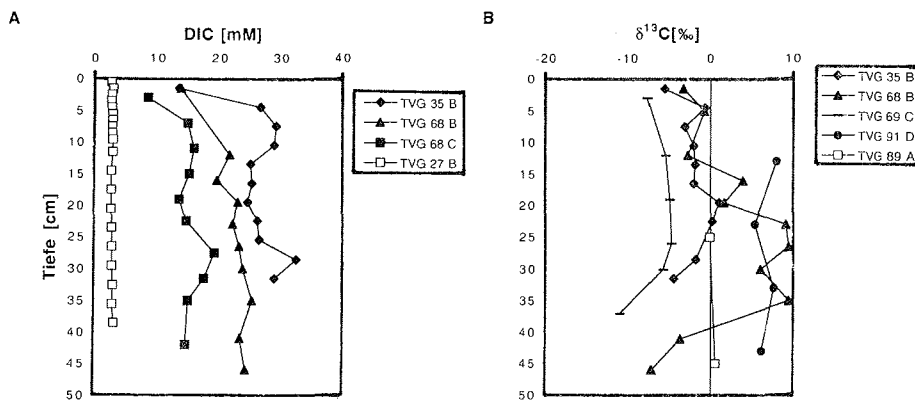
\* Turbidit-korrigiert (siehe Text)

Die aus der 12 cm-Probe des Kerns SL 68 berechnete Rate unterliegt einer größeren Unsicherheit, weil ein Fehler in der Tiefe von nur wenigen Zentimetern einen großen Einfluß auf die berechnete Rate hat. Da es beim Eindringen des Schwerelotes in das Sediment häufig zum Verlust bzw. zu Stauchungen des relativ porösen Oberflächensedimentes kommt, ist dieser Artefakt nicht zu vernachlässigen. Eine Abweichung von nur 3 cm (d.h. 15 cm korrigierte Tiefe) bewirkt bspw. eine Erhöhung der Rate auf 0.54 cm/a. Die ermittelten Sedimentationsraten sind mit einer Variation von 0.43 bis 0.73 cm/a sehr einheitlich und liegen mit einer mittleren Rate von 0.55 cm/a im unteren Bereich der von Brault & Simoneit (1990) publizierten Werte von 0.5-1.0 cm/a ( $^{14}\text{C}$ -Analysen). Eine geringe Abweichung zu den von Han (1988) genannten Raten von 0.26-0.46 cm/a ist mit der von diesem Autor verwendeten  $^{210}\text{Pb}$ -Methode zu erklären, die nur auf der Untersuchung von oberflächennahem Sediment beruht und nur über die Sedimentation innerhalb der letzten ~100 Jahre Auskunft gibt.

### 5.3 Magmatische, thermogene und bakterielle Quellen des DIC

#### 5.3.1 Diagenetische und magmatische Quellen des $\text{CO}_2$ auf Hook Ridge

Aufgrund der niedrigen pH-Werte und der hohen Temperaturen kommt es bei der Probenahme an hydrothermalen Lokationen zu deutlichen Verlusten an gelöstem  $\text{CO}_2$ . Die gemessene DIC-Konzentration wird daher mit Hilfe der an Bord bestimmten Gesamtalkalinität korrigiert; eine Korrektur des Isotopenverhältnisses ist nicht erforderlich (Kapitel 3.3). Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-11 dargestellt.



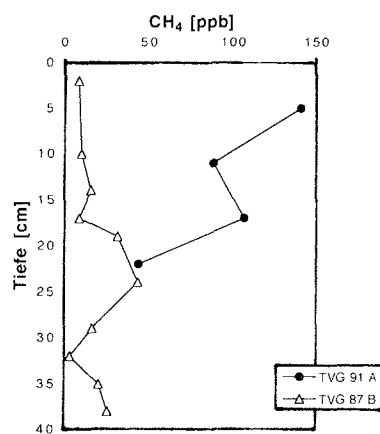
**Abbildung 5-11:** A: DIC-Konzentrationen (korrigierte Werte; vgl. Kapitel 3.3)  
 B:  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des DIC im Porenwasser der TV-Greifer auf Hook Ridge

Alle Ventfluid-beeinflußten Proben zeigen stark erhöhte DIC-Konzentrationen (10-30 mM) gegenüber dem Hintergrund-Wert des TVG 27 (2.5-3 mM). Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Vent-Stationen zeigen insgesamt eine relativ große Variationsbreite von -10 bis +10 ‰, wohingegen der Referenz-Kern TVG 89 eine Meerwasser-Signatur von  $0 \pm 1$  ‰ aufweist.

Hohe DIC-Werte können diagenetischer oder magmatischer Herkunft sein. Wegen der relativ hohen Sulfat-Konzentration ( $> 22$  mM) kann vermutet werden, daß die erhöhten Gehalte an Nährstoffen und DIC nicht nur auf POC-Abbau in der beprobten Tiefe zurückzuführen sind, sondern daß zusätzlich Abbauprodukte von POC aus größerer Sedimenttiefe mit den Hydrothermal-Fluiden an die Oberfläche transportiert werden.  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Hydrothermal-Fluiden des Guaymas Basin (-1 bis -10 ‰) resultieren - bei fast vollständiger Abwesenheit von Sulfat - überwiegend aus der Zersetzung organischer Materie unter thermischem Streß (Seewald et al. 1994; Shanks et al. 1995), wobei die rein thermische Genese des  $\text{CO}_2$  gegenüber der mikrobiell katalysierten stets zu positiveren Werten führt (vgl. Kapitel 5.3.2). Aus diesem Grund sind Kohlenstoff-Isotopien der Fluide des Guaymas Basin und des Hook Ridge ein Mischsignal.

Positive  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sind nur mit der Carbonat-Reduktion, d.h. der Reduktion von  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$ , zu erklären, bei der das residuale DIC schwerer wird. Diese Reaktion ist ausschließlich bei Abwesenheit von Sulfat möglich, so daß die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des TVG 68 und 91 ebenfalls belegen, daß die DIC-Signatur aus größerer Tiefe stammt. Mit einem Rayleigh-Ansatz kann berechnet werden, wie hoch der Anteil des reduzierten DIC sein muß, um  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bis +10 ‰ zu erzeugen. Hierfür werden zwei initiale  $\delta^{13}\text{C}$  vorgegeben (-5, -10 ‰). Es zeigt sich, daß im ersten Fall 15-20 %, im zweiten 20-25 % des anfänglich gelösten  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$  umgesetzt werden müssen, um ein residuales  $\delta^{13}\text{C}$ -

gelösten  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$  umgesetzt werden müssen, um ein residuales  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal von ca. 7 bzw. 11,5 ‰ zu erhalten. Dies bedeutet eine Reduktion der DIC-Konzentration um nur ca. 5 mM. Abbildung 5-12 zeigt eine erhöhte Methan-Konzentration im Sediment des TVG 91, die allerdings erheblich geringer ist als aus der DIC-Reduktion errechnet wird (etwa eine Größenordnung). Dies ist ebenso wie das Konzentrationsprofil (mit nach unten abnehmenden Gehalten) auf Verluste bei der Probenahme und Lagerung zurückzuführen. Aufgrund dieser Artefakte sind die Methan-Konzentrationen nicht quantitativ auszuwerten, sie belegen jedoch qualitativ eine Methanbildung an der hydrothermalen Station als Ursache für positive  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des  $\text{CO}_2$  im Porenwasser.



**Abbildung 5-12:** Methan-Konzentration im Sediment zweier TV-Greifer auf Hook Ridge (ppb: ng  $\text{CH}_4$ /g feuchtes Sediment)

Eine weitere Erklärung für negative  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bis -10 ‰ ist die Zumischung von gelöstem  $\text{CO}_2$  aus magmatischer Herkunft, das bei der Entgasung von Magma oder direktem Leaching von Basalten freigesetzt wird und eine  $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur von -4 bis -11 ‰ hat (Shanks et al. 1995). Auch an einigen sedimentbedeckten Lokationen wird die Isotopensignatur der Ventfluide zu einem Großteil auf eine Beimischung dieser Komponente zurückgeführt, wobei sich die Isotopenverhältnisse nicht wesentlich von denen an sediment-freien Rücken unterscheiden (z.B. Escanaba Trough: -4 bis -12 ‰ (Shanks et al. 1995), Kolbeinsey Ridge: -2 bis -8 ‰ (Botz et al. 1999)). Um  $\text{CO}_2$  aus Basalten zu lösen, müssen sehr hohe Temperaturen vorherrschen oder es muß durch ein rezentes vulkanisches Ereignis zur Entgasung von Magma kommen. Beide Alternativen kommen für das Hydrothermalsystem am Hook Ridge in Frage, wie die ausführliche Diskussion zur Phasenseparation im Kapitel 5.5 belegt. Eine Isotopenfraktionierung tritt bei der Phasenseparation jedoch aufgrund der hohen Temperatur und der - vgl. mit H/D - geringen Massendifferenz nicht auf (vgl. Kapitel 4.6).

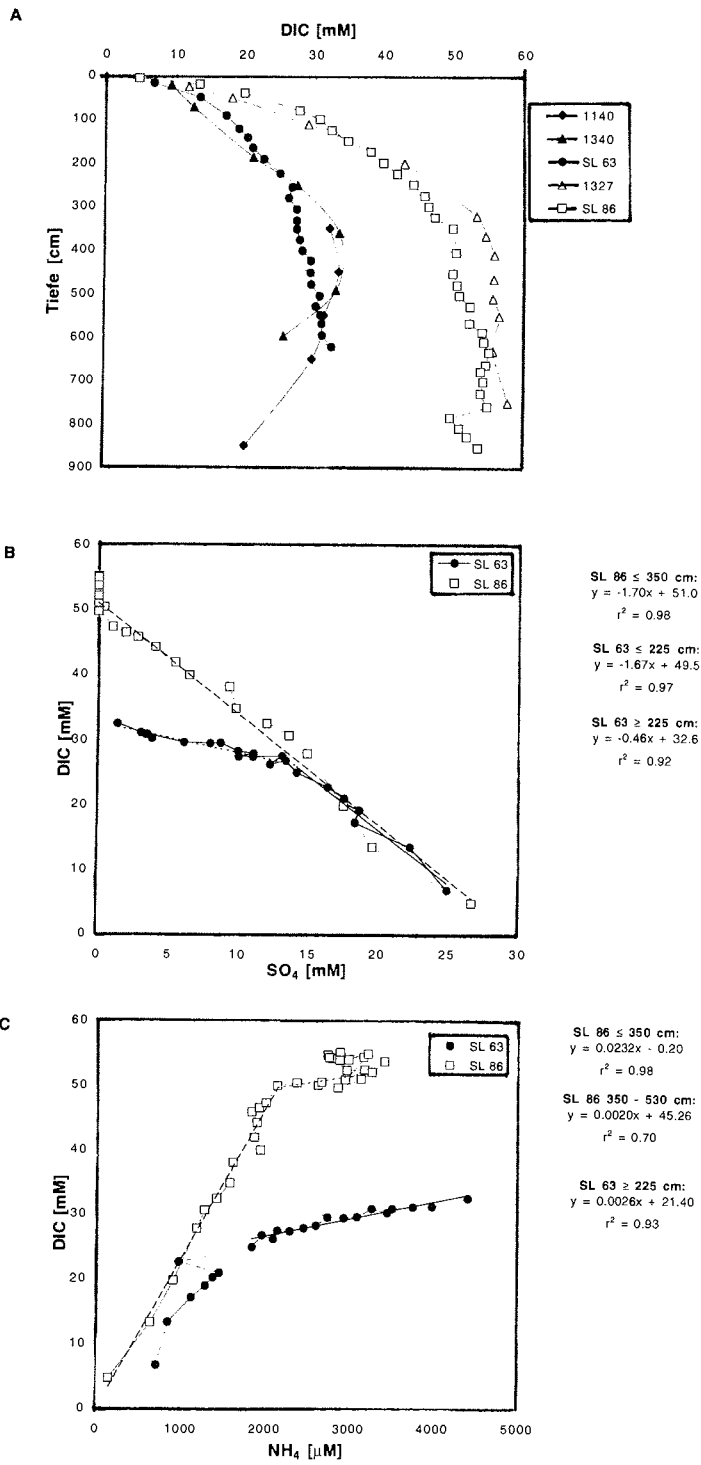
Da sich die  $\delta^{13}\text{C}$ -Signaturen des  $\text{CO}_2$  aus diagenetischer bzw. magmatischer Herkunft nicht eindeutig voneinander unterscheiden, lassen sich die Prozesse nicht getrennt betrachten. Die hohe Konzentration deutet zwar darauf hin, daß ein Großteil des DICs aus der Organik gelöst wurde, weil die DIC-Konzentration an sediment-freien Spreizungszentren bedeutend niedriger ist (5-6 mM; Seewald et al. 1994). Es kann jedoch angenommen werden, daß - wie im Falle des Guaymas Basin (Seewald et al. 1994) - beide Faktoren eine Rolle spielen, weil für beide die entsprechenden Voraussetzungen vorliegen. Das Auftreten von Phasenseparation bietet die Möglichkeit, beide Ansätze miteinander zu verbinden: Die vulkanische Aktivität, d.h. das Vordringen von Magma in geringere Krustentiefen, erzeugt sowohl hohe Temperaturen, die die Diagenese beschleunigen und einen thermischen Abbau der Organik bewirken können, als auch ein Entgasen des Magmas unter der Druckentlastung. Mit der Advektion der bei der Phasenseparation abgetrennten Gasphase wird dann das gelöste  $\text{CO}_2$  aus beiden Quellen an die Sedimentoberfläche transportiert.

### 5.3.1 Diagenese und Methanogenese im King George Becken

Durch den Abbau der organischen Substanz nimmt der DIC-Gehalt im Porenwasser der Kerne im King George Becken mit der Tiefe zu (Abbildung 5-13 A). Für den Referenz-Kern SL 86 ist das Maximum in etwa 350 cm Tiefe erreicht (50 mM), darunter ist die Zunahme an DIC nur noch gering (bis 55 mM). Das Tiefenintervall bis 350 cm ist durch abnehmende  $\text{SO}_4$ -Konzentrationen gekennzeichnet und daher als Sulfatreduktionszone anzusprechen (Abbildung 5-13 B). Das molekulare Verhältnis aus dem POC-Metaboliten DIC und dem beim POC-Abbau reduzierten  $\text{SO}_4$  (C/S-Verhältnis) beträgt im Porenwasser dieses Bereiches -1.7 und zeigt damit die Zersetzung organischer Substanz an, deren Zusammensetzung zwischen der von Redfield und der von Anderson & Sarmiento angegebenen liegt (-2 bzw. -1.4; Anderson & Sarmiento 1994). Im hydrothermal beeinflussten Kern SL 63 erreicht der DIC-Wert am Kernende ein Maximum von 32 mM. Die Sulfatreduktionszone erstreckt sich dabei über die gesamte Kernlänge; die  $\text{SO}_4$ -Konzentration liegt in 622 cm noch knapp oberhalb der Nachweisgrenze. Bis in 225 cm Tiefe beträgt das C/S-Verhältnis wie im Referenz-Kern -1.7, in größerer Tiefe ist es wesentlich weniger negativ.

Zur Abbildung rechts:

**Abbildung 5-13:** DIC-Konzentrationen im Porenwasser der Kerne im King George Becken: **A:** als Funktion der Tiefe; **B:** als Funktion der  $\text{SO}_4$ -Konzentration; **C:** als Funktion der  $\text{NH}_4$ -Konzentration. In den Abbildungen B und C sind rechts die Gleichungen für die lineare Regression einzelner Kernabschnitte angegeben.



C/S-Verhältnisse  $> -2$ , die aus den Porenwasser-Konzentrationen berechnet werden, können zum einen durch unterschiedliche Diffusionskoeffizienten der betrachteten Spezies erklärt werden:  $\text{HCO}_3^-$  wird schneller vom Reaktionsort wegtransportiert als  $\text{SO}_4^{2-}$  herantransportiert werden kann ( $D = 11.8$  bzw.  $10.7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ ;  $25^\circ\text{C}$ ; Li & Gregory 1974). Zum anderen wird das Verhältnis durch den Anteil reduzierter organischer Verbindungen im Sediment (z.B. Fette und Öle) beeinflusst. Da - wie im Kapitel 5.2.4 ausführlich erläutert - die untere Kernhälfte an dieser Lokation aufgrund hydrothormaler Alteration an Kohlenwasserstoffen angereichert ist, ist das erhöhte C/S-Verhältnis auf die Präsenz von niedermolekularen, gesättigten Kohlenstoffverbindungen zurückzuführen.

Das Verhältnis der beiden POC-Metaboliten DIC und  $\text{NH}_4$  (C/N-Verhältnis) ist im Referenz-Kern SL 86 bis 350 cm konstant und beträgt 23.2 (Abbildung 5-13 C). Dieser gegenüber einem Redfield-Ratio (6.6 bzw. 7.3 nach Anderson & Sarmiento 1994) deutlich erhöhte Wert kann zum einen Anzeichen für niedrige N-Gehalte der abgebauten organischen Substanz sein. Zum anderen wird Ammonium an der Festphase adsorbiert und so dem Porenwasser entzogen (Berner 1980; Von Breymann & Suess 1988). Die zunehmende  $\text{NH}_4$ -Konzentration bei fast gleichbleibender DIC-Konzentration belegt ferner, daß auch unterhalb der Sulfatreduktionszone ( $> 350 \text{ cm}$ ) Organik abgebaut wird. Die geringere Zunahme an DIC in diesem Tiefenintervall muß daher die Folge einer Sekundär-Reaktion sein, bei der  $\text{CO}_2$  verbraucht wird. Dies kann zum einen eine Carbonat-Fällung sein (vgl. Ca im Kapitel 5.6.3), zum anderen spielt die Methanogenese durch Carbonat-Reduktion eine Rolle (s.u.).

### ***Thermogene und bakterielle Methanogenese***

Im Rahmen vorangegangener Forschungsfahrten (vgl. Kapitel 2.3) wurden Kerne im King George Becken genommen, die z.T. den hier untersuchten Kernen direkt benachbart sind. Von Whiticar wurden deren Porenwässer auf die Konzentrationen und Isotopenverhältnisse der C-Spezies analysiert (Whiticar et al. 1985; Whiticar & Suess 1990). Aufgrund der geographischen Nähe der Kerne können die damit zusätzlich zur Verfügung stehenden Parameter zur Interpretation der hier untersuchten Kerne herangezogen werden.

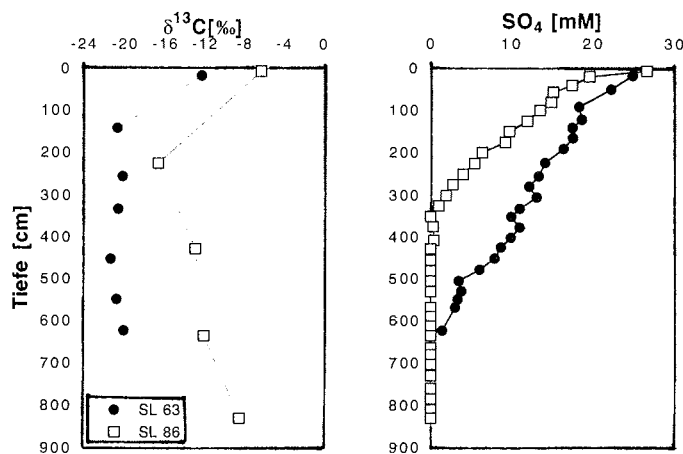
Hohe Konzentrationen an Methan mit stark negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $< -80 \text{ ‰}$ ) und hohen  $\text{C}_1/\text{C}_2+\text{C}_3$ -Verhältnissen belegen die bakterielle Genese des Methans des Referenz-Kerns 1327, wohingegen die Kerne 1140 und 1340 thermogen gebildetes Methan mit weniger negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $-30$  bis  $-70 \text{ ‰}$ ) enthalten. Der mit SL 86 vergleichbare Kern 1327 ist daher als Referenz-Kern mit ausgeprägter diagenetischer Methanogenese anzusehen. Die mit SL 63 vergleichbaren Kerne 1140 und 1340 unterliegen hingegen einem hydrothermalen Einfluß, d.h. einer thermisch induzierten Bildung von leichten Kohlenwasserstoffen.

Die Analysen der höheren Kohlenwasserstoff-Homologen und die Bestimmung deren Reifegrades belegen für die Kerne nahe Hook Ridge zusätzlich die thermische Entstehung der gelösten Gase durch lokale Einwirkung

erhöhter Temperaturen. Aufgrund des in der unteren Kernhälfte des SL 63 sehr geringen POC-Gehaltes (Kapitel 5.2.4) ist eine Methanogenese an dieser Lokation ebenfalls unwahrscheinlich. Ferner sprechen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ -Werte nicht unter  $-25\text{‰}$  gegen  $\text{CO}_2$ , das aus leichtem, bakteriell gebildeten  $\text{CH}_4$  entstanden ist (Abbildung 5-14).

#### **POC-Zersetzung in der Sulfatreduktionszone**

Während die DIC-Konzentration im Referenz-Kern SL 86 innerhalb der Sulfatreduktionszone (bis 350 cm) zunimmt, nimmt der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ -Wert ab (Abbildung 5-14). Dies ist Ausdruck der Freisetzung von  $\text{CO}_2$  aus der Organik, das isotopisch leichter ist als das DIC des Bodenwassers. Im hydrothermal beeinflussten Kern SL 63 spielt die Sulfatreduktion durch POC-Zersetzung in der beprobten Tiefe dagegen nur eine untergeordnete Rolle. Das lineare Sulfat-Profil deutet vielmehr auf eine Reaktionszone knapp unterhalb der Beprobungstiefe hin, in der Sulfat vollständig verbraucht wird, so daß das Profil darüber fast ausschließlich durch Diffusion bestimmt ist (Niewöhner et al. 1998). Bei der sulfatreduzierenden Reaktion handelt es sich um die Oxidation von aufströmendem (thermogenen) Methan (s.o.), wobei die relativ große Sulfat-Eindringtiefe als Ausdruck eines geringen Methanflusses gewertet werden kann (Borowski et al. 1996). Durch einen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ -Wert von ca.  $-20\text{‰}$  und die Konstanz dieses Wertes in Tiefen  $> 225\text{ cm}$  wird nicht angezeigt, daß die gesamte Organik abgebaut ist und im Porenwasser gelöst vorliegt, sondern dies ist vielmehr darauf zurückzuführen, daß eine geringfügige Zunahme des DIC-Wertes nicht zu einer weiteren Abnahme des Isotopenverhältnisses führt, da ohnehin mehr als 90 % des DIC aus der POC-Zersetzung stammen. Die organische Substanz hat einen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert



**Abbildung 5-14:**  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des DIC und Sulfat-Konzentration im Porenwasser der Schwerelote im King George Becken

von  $\geq -25$  ‰ (Kapitel 5.2.3); mit einem Anteil von 10 % DIC aus Bodenwasser (0 ‰) ergibt sich ein  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  des Porenwassers von  $-22.5$  ‰. Die zu erwartende Änderung im  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  durch weitere Zersetzung organischen Materials ist in der Größenordnung der Meßgenauigkeit (0.4 ‰).

### **Carbonat-Reduktion unterhalb der Sulfatreduktionszone**

Die Betrachtungen in diesem Kapitel legen nahe, daß die  $\text{CO}_2$ -Reduktion (Methanogenese) eine Ursache für die Änderung der C/S- und C/N-Verhältnisse im Porenwasser des Referenz-Kerns SL 86 unterhalb der Sulfatreduktionszone (Abbildung 5-13 B und C) ist. Dieser Prozeß ist der  $\text{CO}_2$ -Freisetzung durch POC-Abbau überlagert und annähernd konstante DIC-Konzentrationen spiegeln die Gleichzeitigkeit beider Prozesse mit ähnlich hohen Umsetzungsraten. Aufgrund des kinetischen Isotopie-Effektes bei der bakteriellen Methanogenese bewirkt die Carbonat-Reduktion eine Erhöhung des  $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes im (residualen) DIC.

## **5.4 Temperaturen der Ventfluide auf Hook Ridge**

Aussagen über die Temperaturen der Ventfluide auf Hook Ridge können aufgrund verschiedener Parameter getroffen werden. Die an Deck gemessenen Temperaturen ( $24$ - $48.6^\circ\text{C}$ ) stellen dabei eine Minimalabschätzung der Temperaturen an den sediment-bedeckten Fluidaustrittsstellen dar. Die *in situ* Temperatur kann aus der Porenwasser-Konzentration von Kieselsäure und über die Bestimmung der Bildungstemperatur der charakteristischen weißen Silikatkrusten (amorphes  $\text{SiO}_2$ ) abgeschätzt werden. Die Beobachtung des Meeresbodens, die Untersuchung von Sulfidmineralen und die Analyse der Wassersäule liefern weitere Anhaltspunkte.

### **5.4.1 Bildungstemperatur der Silikatpräzipitate**

Die weißen Silikatpräzipitate im und auf dem Sediment von Hook Ridge bilden sich, wenn die warmen, sehr Si-reichen Fluide mit dem kalten Bodenwasser in Kontakt kommen (Abbildung 5-15 A). Die Si-Gehalte im Porenwasser sind stark von der *in situ* Temperatur abhängig und betragen an den Vent-Stationen  $1300$ - $1600$   $\mu\text{M}$  (ANT-TVG 91) bzw.  $1400$ - $2500$   $\mu\text{M}$  (NBP-TVG 68 und 69), während in den Referenz-Kernen dagegen lediglich  $500$ - $900$   $\mu\text{M}$  (ANT-TVG 89 und NBP-TVG 27) gemessen werden. Trotz der relativ hohen Si-Gehalte der (Backarc-) Basalte auf Hook Ridge (68 %  $\text{SiO}_2$ ) stammt ein beträchtlicher Anteil des Si in den Fluiden vermutlich aus den Sedimenten des Beckens, das hauptsächlich aus Diatomeenschlamm besteht und vom Meerwasser in der Recharge-Zone der hydrothermalen Zirkulationszelle durchströmt wird (Hauer 1998).

Die an Deck gemessenen Temperaturen in den Sedimenten der TV-Greifer (ANT-TVG 91:  $24^\circ\text{C}$ , NBP-TVG 68:  $48.6^\circ\text{C}$ , NBP-TVG 69:  $42.6^\circ\text{C}$ ; vgl. Abbildung 2.3) stellen einen Minimalwert dar, weil während des  $\sim 30$  minütigen Hievens durch die Wassersäule ( $-1.5^\circ\text{C}$ ) und bei der Handhabung des Greifers an Deck ( $< 0^\circ\text{C}$ ) eine deutliche Abkühlung zu erwarten ist.

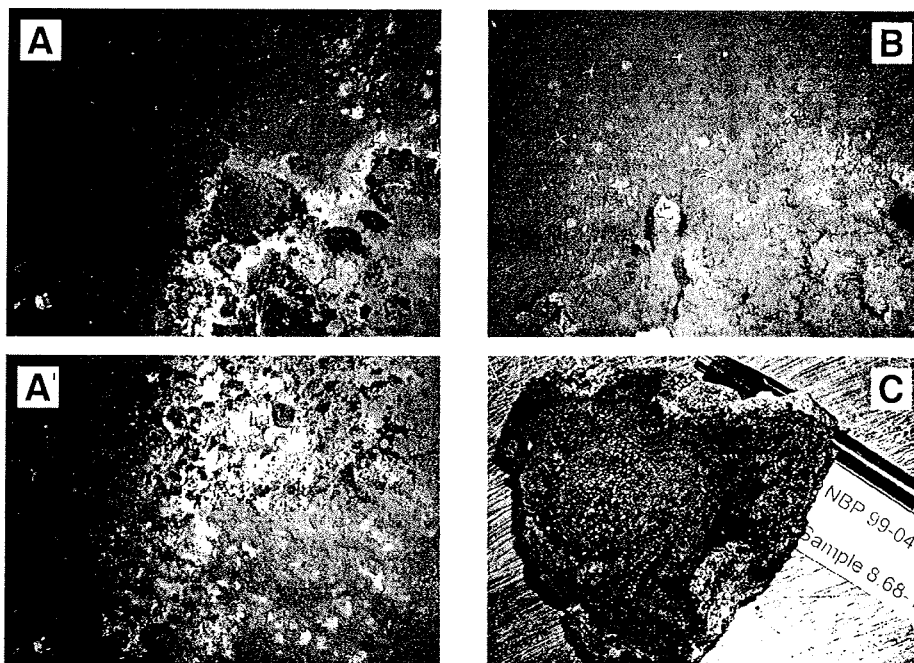


Um die *in situ* Temperatur an den Vent-Stationen abzuschätzen, wird die von Van Cappellen & Qiu (1997) aufgestellte Gleichung herangezogen, die die Löslichkeit von biogenem Opal in Abhängigkeit von der Temperatur angibt:

$$\log C_s = 6.44 - (968 / T) \quad \text{Gleichung 5-1}$$

mit  $C_s$ : Löslichkeit von Silikat [ $\mu\text{M}$ ]  
 $T$ : absolute Temperatur [K]

Diese Gleichung wurde auf der Grundlage von Laborversuchen mit Sedimenten aus dem Südozean mit verschiedenen Gehalten an biogenem Opal erstellt und eignet sich für die hier vorliegenden Proben besser als die bei Hydrothermalquellen häufig angewendete Si-Thermometrie auf der Grundlage von Quarz-Löslichkeiten (z.B. Von Damm & Bischoff 1987; Von Damm et al. 1991). Um die Gleichung anwenden zu können, muß davon ausgegangen werden, daß es im beprobten Sediment bis zum Abtrennen des Porenwassers zu keiner nachträglichen Präzipitation von Silikat kommt. Weil es von entscheidender Bedeutung ist, daß diese Annahme zutrifft, wird sie im Kapitel 5.4.3 detailliert erörtert. Es zeigt sich, daß es nicht zu einem Artefakt kommt.



**Abbildung 5-15:** **A:** Silikat-Präzipitate an der Sedimentoberfläche auf Hook Ridge; **B:** Eisenoxihydroxid-Mineralisationen auf Hook Ridge; Photos (A+B): OFOS - Der Bildausschnitt beträgt ca. 2 m. **C:** Bruchstück eines Massivsulfid-Schlotes (NBP-TVG 68); Photo: S. Petersen / S. Klinkhammer

Die Versuche von Van Cappellen & Qiu (1997) wurden mit einer bei pH 8 gepufferten 0.7 M NaCl-Lösung bei 0-40°C und 1 atm durchgeführt. Der Einfluß des Druckes und anderer Bestandteile des Meerwassers auf das betrachtete Gleichgewicht ist als gering einzuschätzen; die pH-Abhängigkeit der Silikatpräzipitation ist jedoch nicht zu vernachlässigen, insbesondere da der pH-Wert der beprobten Porenwässer deutlich vom Versuchswert abweicht (pH ~5.5). Van Cappellen & Qiu (1997) haben die pH-Abhängigkeit der Opal-Lösung ebenfalls untersucht, hierfür allerdings keine quantitative Beziehung angeben. Aus ihren Abbildungen kann eine Abnahme der Löslichkeit um ca. 150 µM für den Übergang von pH 8 auf pH 5.5 abgeschätzt werden. Setzt man die in den TVG-Quadranten mit der höchsten Temperatur gemessenen maximalen Si-Konzentrationen in Gleichung 5-1 ein, ergeben sich im Gleichgewicht mit der festen Silikatphase die in Tabelle 5-5 angegebenen Temperaturen, die als Abschätzung der *in situ* Temperatur gelten können.

**Tabelle 5-5:** Si-Konzentrationen in den Porenwässern auf Hook Ridge, abgeleitete *in situ* Temperaturen im Gleichgewicht mit der festen Silikatphase (Gleichung 5-1) und Vergleich mit der gemessenen Temperatur im TV-Greifer (Referenz-Kern: Bodenwasser-Temperatur)

| Kern                   | Si(OH) <sub>4</sub><br>[µM] | Gleichgewichts-<br>Temperatur [°C] | TV-Greifer-<br>Temperatur [°C] |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Referenz-Kerne, mittel | ≈ 700                       | ≈ 2.6                              | ≈ -1.5                         |
| ANT-TVG 91 D           | 1465                        | 26.4                               | 24.0                           |
| NBP-TVG 68 C           | 2456                        | 47.0                               | 48.6                           |

Die Diskrepanz zwischen den Temperaturen für mittlere Si-Konzentrationen der Referenz-Kerne zeigt die Grenzen der Übertragbarkeit der von Van Cappellen & Qiu (1997) publizierten Gleichung auf und ist auf das unterschiedliche Lösungs-/Fällungs-Gleichgewicht von biogenem Opal und amorphem anorganischen Silikat zurückzuführen. Eine Temperaturdifferenz von nur 4°C ist unter diesen Voraussetzungen als sehr gute Übereinstimmung zu betrachten, zumal die *in situ* Temperatur bereits außerhalb des Kalibrierungsbereiches liegt. Unter Berücksichtigung dieser methodenabhängigen Differenz zeigt sich für die hydrothermalen Proben, daß das Sediment trotz des großen Temperaturunterschiedes zum umgebenden Meerwasser und der Außentemperatur an Deck nicht abgekühlt ist ( $\Delta T < 3^\circ\text{C}$ ). Für dieses zunächst erstaunliche Ergebnis sind das große Sedimentvolumen von ca. 1 m<sup>3</sup> und die hohe Wärmekapazität des Porenwassers als Erklärung zu nennen, die ein Abkühlen des Sedimentblockes weitestgehend verhindern.

Ein zweiter Ansatz, die *in situ* Temperatur abzuschätzen, ist die Analyse der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse der Silikat-Krusten. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen (TUBA Freiberg) an den Silikaten des TVG 91 ergeben eine Bildungstemperatur von 8-22°C (Hauer 1998). Hierbei ist zu berücksichtigen, daß es nach

der Bildung der Präzipitate zu einer Reequilibration mit dem kälteren Porenwasser im Oberflächensediment kommen kann. Dieser Effekt führt zu einer Unterschätzung der Bildungstemperatur und nach Hauer (1998) ist eine Temperatur von bis zu 60°C möglich. Die oben diskutierten Gleichgewichtsberechnungen zeigen, daß dies unter den gegebenen Bedingungen im Oberflächensediment des TVG 91 nicht wahrscheinlich ist. Eine Silikat-Präzipitation bei wesentlich höheren Temperaturen kann allerdings in größerer Tiefe erfolgt sein oder zu einem Zeitpunkt, als wärmere Fluide ausgetreten sind. Letzteres erscheint plausibel, weil die Variationsbreite der Temperaturen, die auf beiden Ausfahrten gemessen wurden (11-48.6°C), Temperatur-Schwankungen auf kurzen Zeitskalen vermuten lassen.

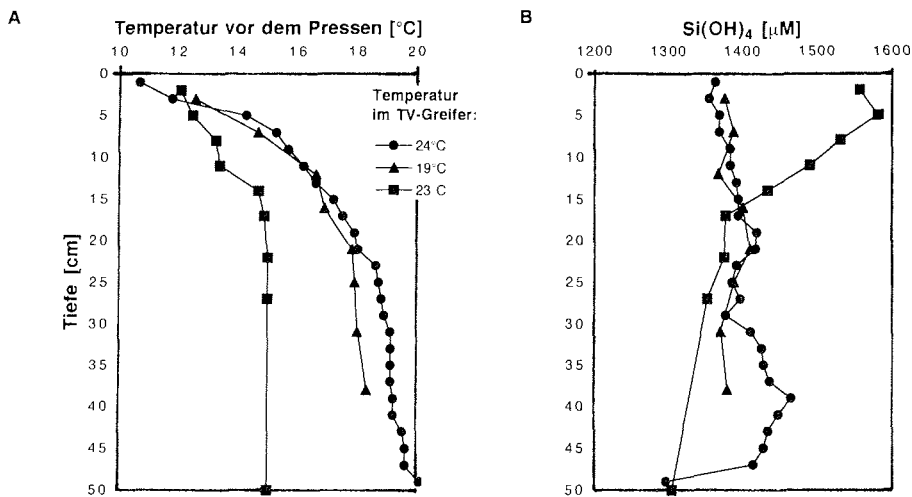
#### 5.4.2 Hinweise auf höher temperierten Fluidaustritt

Die Beobachtung von Eisenoxihydroxid-Mineralisationen (Abbildung 5-15 B) und insbesondere der Fund eines Bruchstücks eines Massivsulfid-Schlotes im NBP-TVG 68 (Abbildung 5-15 C) deuten darauf hin, daß auch Fluide mit wesentlich höheren Temperaturen austreten. Die Mineralogie des Massivsulfids, das vermutlich von einer nahegelegenen Fluidaustrittsstelle stammt, zeigt an, daß Fluide mit Temperaturen von über 250°C durch diesen Schlot geströmt sind (S. Petersen, pers. Mittlg.), wobei mit diesem Bruchstück keine Aussage über die rezente Aktivität getroffen werden kann. Die während der Ausfahrt NBP 99-04 gemessenen Temperatur- und Mangan-Anomalien in der Wassersäule lassen jedoch auf aktives Venting von heißen Fluiden schließen (Klinkhammer et al. subm.). Ein weiteres Indiz ist die im Kapitel 5.5 diskutierte Phasenseparation, die sehr hohe Temperaturen in der Kruste (> 350°C) erfordert, so daß Fluid-Venting mit Temperaturen > 200°C an sediment-freien Stellen auf Hook Ridge äußerst wahrscheinlich ist.

#### 5.4.3 Beeinflussung des Kieselsäure-Gleichgewichtes durch die Umgebungstemperatur

Die Abschätzung der *in situ* Temperatur anhand der Si-Konzentration im Porenwasser (Kapitel 5.4.1) beruht auf der Annahme, daß es trotz der großen Temperaturdifferenz zwischen der *in situ* Temperatur des hydrothermal beeinflussten Sedimentes und der Temperatur der Wassersäule bzw. der Luft nicht zu einer nachträglichen Verschiebung des chemischen Gleichgewichtes zwischen Porenwasser und Sediment kommt, d.h. daß keine Silikatpräzipitation nach der Bergung der Sedimente stattfindet. In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, daß diese Annahme gerechtfertigt ist. Die Betrachtungen hierzu sind mit Hilfe der Temperaturmessungen direkt im TV-Greifer und einer weiteren vor dem Pressen der Sedimente möglich.

In Abbildung 5-16 sind die Temperaturen in den Subkernen des TVG 91, die unmittelbar vor dem Pressen der Sedimente gemessen wurden, der Si-Konzentration im Porenwasser gegenübergestellt. In der Legende sind die jeweiligen Temperaturen angegeben, die direkt im TV-Greifer gemessen wurden. Zwischen beiden Temperaturmessungen liegt die Bearbeitung an Deck (Probenaufnahme, photographische Dokumentation, Festlegung der



**Abbildung 5-16:** A: Temperaturen der Subkerne des TVG 91 vor dem Pressen der Sedimente. Dargestellt sind die drei Subkerne mit den höchsten gemessenen Temperaturen im TV-Greifer (vgl. Legende); der Subkern B weist sowohl im TVG als auch vor dem Pressen eine Temperatur von ca. 14°C auf und ist daher nicht abgebildet. B: Kieselensäure-Konzentration in den Subkernen des TVG 91

Probenahme-Lokationen, Beprobung), die bei  $< 0^{\circ}\text{C}$  stattfindet und mehr als eine halbe Stunde in Anspruch nimmt.

Die Temperatur im Sediment nimmt zur Oberfläche hin deutlich ab (bis auf ca.  $11^{\circ}\text{C}$ ), wobei die Subkerne gegenüber der Temperatur im Greifer (in ca. 25 cm) unterschiedlich stark ausgekühlt sind. Subkern TVG 91 A mit einer TVG-Temperatur von  $23^{\circ}\text{C}$  (Quadrat) wurde neben einer mächtigen Silikat-Kruste entnommen. Trotz der starken Abkühlung des Oberflächensediments (von  $23^{\circ}\text{C}$  auf  $12^{\circ}\text{C}$ ) steigt die Si-Konzentration zur Oberfläche hin stark an und erreicht mit fast  $1600\ \mu\text{M}$  die höchste Konzentration, die im TVG 91 gemessen wurde. Die anderen Subkerne zeigen unabhängig von der mit der Tiefe variierenden Temperatur vor dem Pressen und dem sehr unterschiedlichen Grad der Auskühlung gegenüber der TVG-Temperatur ( $\Delta T$  von  $13^{\circ}\text{C}$  bzw.  $7^{\circ}\text{C}$ ) keine nennenswerten Unterschiede in der Si-Konzentration.

Der Vergleich von Sediment-Temperatur und Silikat-Konzentration im Porenwasser zeigt, daß die Silikat-Fällung so langsam abläuft, daß sie unter den gegebenen Bedingungen keinen Artefakt in der Porenwasser-Chemie erzeugt. Dieses Ergebnis ist mit den niedrigen pH-Werten in Zusammenhang zu bringen, die die Fällungsgeschwindigkeit stark herabsetzen und so die Voraussetzung für eine z.T. hohe Übersättigung der Kieselensäure (bzgl. der Temperatur vor dem Pressen) schafft (Seyfried 1987).

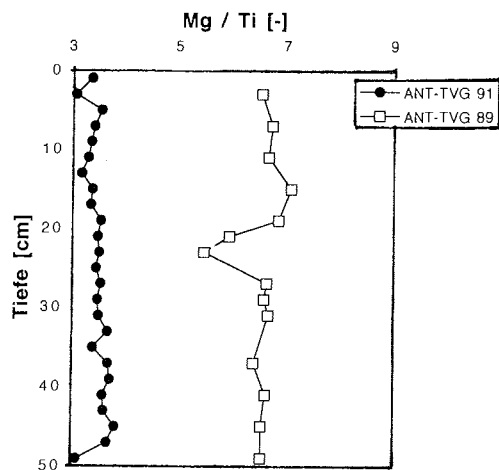
## 5.5 Phasenseparation in der oberen Kruste auf Hook Ridge

Der eindrücklichste Hinweis auf Phasenseparation ist die starke Cl-Abreicherung in den Porenwässern der Sedimente auf Hook Ridge. Die geringste Cl-Konzentration findet sich mit 442 mM im TVG 68 B und entspricht einer Abreicherung gegenüber dem Meerwasser (555 mM) von 20 %. In diesem Kapitel wird zunächst die Konzentration des hydrothermalen Endmembers bestimmt. Anschließend werden andere Prozesse, die ebenfalls eine Cl-Abreicherung bewirken können, sowie weitere Indizien, die das Auftreten einer Phasenseparation belegen, diskutiert. Abschließend wird auf der Grundlage der bestimmten Endmember-Konzentration die Tiefe der Reaktionszone, in der die Phasenseparation stattfindet, abgeschätzt.

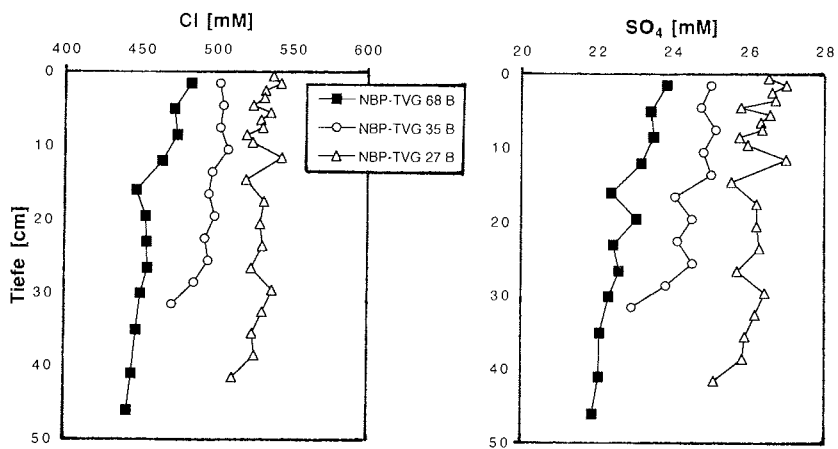
### 5.5.1 Bestimmung der Konzentration des hydrothermalen Endmembers

In Analogie zu Hydrothermal-Fluiden an sediment-freien Rücken werden die Porenwässer an sediment-bedeckten Lokationen als eine Mischung aus einem hydrothermalen Fluid und diagenetischem Porenwasser betrachtet. Da gezeigt werden konnte, daß Mg bei der Basalt-Alteration vollständig aus dem Meerwasser entfernt wird (Mottl 1983), wird die Endmember-Konzentration gewöhnlich über die Extrapolation auf eine Mg-Konzentration von 0 mM berechnet. Sulfat wird in der Recharge-Zone der hydrothermalen Zirkulationszelle dem Meerwasser ebenfalls fast quantitativ entzogen (Alt 1995; Von Damm 1995), weshalb die Berechnung auch über eine Extrapolation auf 0 mM  $\text{SO}_4$  erfolgen kann. An sediment-bedeckten Hydrothermalsystemen muß allerdings berücksichtigt werden, daß sowohl Magnesium als auch Sulfat im Sediment diagenetischen Reaktionen unterliegen: Bei der Zersetzung der organischen Substanz wird Sulfat zu Sulfid reduziert und Ammonium freigesetzt. Erhöhte  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen können ihrerseits dazu führen, daß Mg durch Kationenaustausch vom Sediment desorbiert wird (Von Breyman et al. 1990). An einigen Lokationen wird Mg aus der Festphase gelöst, so daß die Null-Magnesium-Hypothese nicht angewendet werden kann (Butterfield 2000). Die Untersuchung der Sediment-Festphase ergibt, daß dies auch bei den Proben von Hook Ridge der Fall ist: Der Mg-Gehalt im hydrothermalen Kern ist gegenüber dem Referenz-Kern um fast die Hälfte verringert (Abbildung 5-17); die über die Kerntiefe gemittelte, Ti-normalisierte Mg-Konzentration beträgt  $6.5 \pm 0.4$  bzw.  $3.5 \pm 0.2$ . Die Annahme eines Hydrothermal-Fluids mit 0 mM Mg ist für Hook Ridge daher nicht zutreffend und die Bestimmung der Endmember-Konzentration wird für ein Endmember-Fluid mit 0 mM Sulfat durchgeführt.

Daß eine Sulfatreduktion durch Diagenese weitestgehend auszuschließen ist, zeigt Abbildung 5-18: Nicht nur die  $\text{SO}_4$ - sondern auch die Cl-Konzentration nimmt mit der Tiefe geringfügig ab. Die Tatsache, daß die Konzentrations-Abnahme beider Spezies über die gesamte Kerntiefe vergleichbar ist (z.B. TVG 68 B: 8.6 % Cl, 8.1 %  $\text{SO}_4$ ), spricht dafür, daß die Konzentrationen durch denselben Prozeß bestimmt werden, der damit unabhängig vom POC-Abbau sein muß.



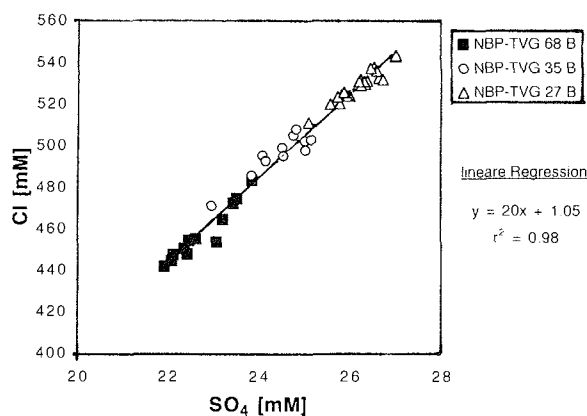
**Abbildung 5-17:** Ti-normalisierte Mg-Gehalte der Sedimente auf Hook Ridge (Es werden exemplarisch die Daten der ANT-Kerne gezeigt, weil für die NBP-Kerne keine Feststoff-Analysen vorliegen.)



**Abbildung 5-18:** Chlorid- und Sulfat-Konzentrationen in Porenwässern auf Hook Ridge

Die Endmember-Konzentration von Chlorid wird mit zwei verschiedenen Ansätzen berechnet, einer Zwei-Komponenten-Mischung und einer Extrapolation. Für den Mischungsansatz wird die tiefste Probe des NBP-TVG 68 B verwendet, die die niedrigsten Konzentrationen an Mg (43.7 mM),  $\text{SO}_4$  (21.9 mM) und Cl (442 mM) aufweist und daher mutmaßlich die Probe mit dem höchsten Anteil einer hydrothermalen Komponente ist. Die  $\text{SO}_4$ -Konzentration dieser Probe ergibt sich aus einer Mischung von 76 % Meerwasser (28.9 mM) mit 24 % eines Endmember-Fluids (0 mM  $\text{SO}_4$ ). Wird dieses Mischungsverhältnis auf die Cl-Konzentration übertragen, berechnet sich mit einer Bodenwasser-Konzentration von 555 mM die Konzentration des Endmembers zu 84 mM.

Der zweite Ansatz, die Extrapolation, wird mit mehreren NBP-TVG-Kernen durchgeführt und ist in Abbildung 5-19 dargestellt. Die Regression über alle Kerne ergibt eine Endmember-Konzentration von  $1 \pm 10$  mM; wird nur der Kern TVG 68 B herangezogen, ergibt sich ein Wert von  $10 \pm 44$  mM ( $r^2 = 0.92$ ). Hieraus berechnet sich für die o.g. TVG 68 B-Probe ein Anteil des Endmember-Fluids am Porenwasser von 20 bzw. 21 %. Die extrem niedrige Endmember-Konzentration belegt eindeutig, daß eine Beeinträchtigung aufgrund einer Sulfatreduktion im Oberflächensediment auszuschließen ist, da die zusätzliche, diagenetische Entfernung von Sulfat aus dem Porenwasser eine Überschätzung des Anteils der hydrothermalen Komponente und damit eine höhere Endmember-Konzentration zur Folge hätte.



**Abbildung 5-19:** Korrelation von Cl mit  $\text{SO}_4$  zur Berechnung der Cl-Endmember-Konzentration

Betrachtet man die Ergebnisse beider Methoden, enthält das Porenwasser einen Anteil von  $22 \pm 2$  % Hydrothermal-Fluid mit einer Cl-Konzentration von  $42 \pm 42$  mM. Damit ist das Endmember-Fluid auf Hook Ridge eines der am stärksten abgereicherten Hydrothermal-Fluide. Die geringste publizierte Cl-Konzentration (33 mM) wurde für eine Hydrothermalquelle am EPR ( $9^\circ 45' \text{N}$ )

bestimmt, die 1991 unmittelbar nach einer vulkanischen Eruption beprobt wurde (Von Damm 1995; Von Damm 2000). Während der Anteil des Endmember-Fluids mit einer Unsicherheit von 10 % angegeben werden kann, beträgt der Fehler in der Konzentration des Endmembers 100 %. Dies zeigt zunächst, daß beide Methoden für die Berechnung geeignet sind, da sie sehr gut übereinstimmende Ergebnisse in der Anteilsberechnung ergeben. Der große Fehler in der Konzentrationsberechnung ist unabhängig davon darauf zurückzuführen, daß die zu bestimmende Endmember-Konzentration im Vergleich zu der Konzentration der Meerwasser-Komponente sehr klein ist und deshalb geringe Unsicherheiten in den Volumen-% hohe Schwankungen in der daraus berechneten Endmember-Konzentration bewirken.

### 5.5.2 Einfluß von magmatischen und meteorischen Wässern und Basalt-Alteration

Obwohl Cl-Abreicherungen in Ventfluiden von mehr als 10 % oft als ausreichend betrachtet werden, um eine Phasenseparation zu begründen (z.B. Charlou et al. 1996), werden im folgenden andere Mechanismen diskutiert, die ebenfalls die Cl-Konzentration erniedrigen, um eine Phasenseparation zweifelsfrei nachzuweisen.

Wegen des sehr niedrigen Wassergehaltes von basaltischen Gesteinen ( $\sim 0.2\%$  bis  $> 1\%$  an Subduktionszonen; Alt 1995) ist es unwahrscheinlich, daß durch Dehydratation eine so große Menge Wasser freisetzt wird, die ausreicht, um die Cl-Konzentration nennenswert zu beeinflussen. Dies wird anhand der Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopenanalysen bestätigt, die ergeben, daß die Vent-Stationen nur geringfügige (TVG 68) bzw. keine (TVG 35) erhöhten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen und die  $\delta\text{D}$ -Werte in Vent- und Referenz-Kernen im selben Wertebereich liegen (Abbildung 5-20).

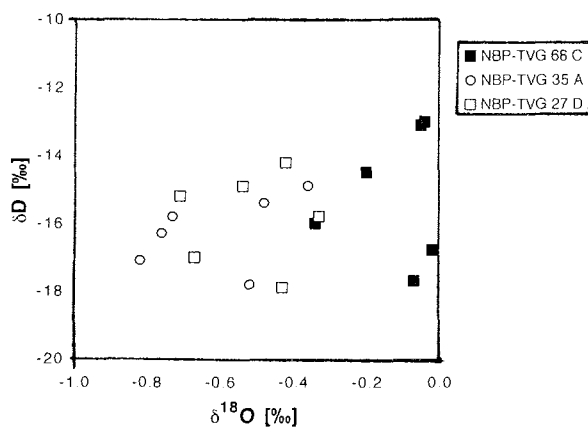


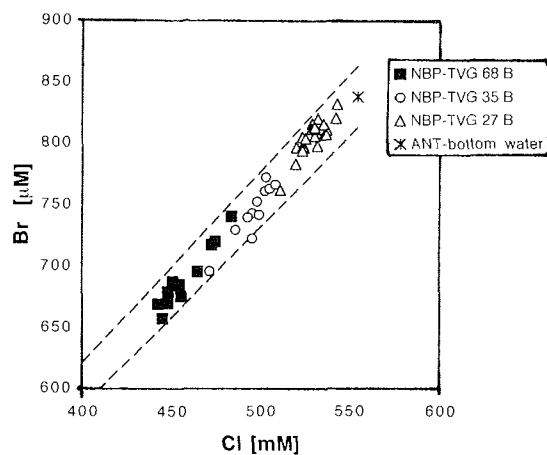
Abbildung 5-20:  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta\text{D}$ -Werte in Porenwässern auf Hook Ridge



Die Daten der Porenwässer sind vergleichbar mit Werten aus der Wassersäule (vgl. Anhang 9.3). Nach Hoefs (1997) weist antarktisches Bodenwasser einen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von  $-0.5\text{‰}$  auf, weil es kälter und weniger salin ist als Standard Mean Ocean Water (SMOW), auf den der Meßwert sich bezieht. Der negative  $\delta\text{D}$ -Wert liegt innerhalb der von Shanks et al. (1995) angegebenen Spanne für globale Variationen der  $\delta\text{D}$ -Werte von Meerwasser ( $-30$  bis  $+10\text{‰}$ ). Die Verschiebung hin zu geringfügig höheren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten im TVG 68 ist aufgrund sich nicht ändernder  $\delta\text{D}$ -Werte nicht einem der in Kapitel 4.6 beschriebenen Prozesse zuzuordnen. Die minimalen Änderungen in der Isotopie der Porenwässer macht deutlich, daß der Einfluß magmatischer oder meteorischer Wässer keinesfalls so groß sein kann, daß damit die Abnahme der Cl-Konzentration erklärt werden könnte.

Auch eine Erniedrigung des Br/Cl-Verhältnisses im Porenwasser aufgrund niedriger Br/Cl-Verhältnisse magmatischer Wässer wird nicht beobachtet (Campbell & Edmond 1989; Berndt & Seyfried 1990; Oosting & Von Damm 1996). Eine Zumischung von meteorischen oder magmatischen Wässern kann daher als Ursache für die niedrigen Cl-Konzentrationen ausgeschlossen werden.

Die Bildung von Cl-haltigen Mineralen ist ein weiterer Prozeß, der die Cl-Konzentration verändern kann. Mit Laborexperimenten konnte nachgewiesen werden, daß Basalt-Alteration eine maximale Cl-Abreicherung im Fluid von 7 % bewirken kann (Seyfried et al. 1986). Weil in den meisten Fällen Cl gegenüber Br bevorzugt in Sekundärminerale aufgenommen wird, ist diese Reaktion nicht nur mit einer Abnahme der Cl-Konzentration sondern auch mit



**Abbildung 5-21:** Korrelation von Br und Cl für NBP-TVG Stationen und eine Bodenwasser-Probe aus dem King George Becken. Die gestrichelten Linien zeigen eine Abweichung von 3 % vom Mittelwert ( $1.50 \pm 0.02 \cdot 10^{-3}$ ) an.

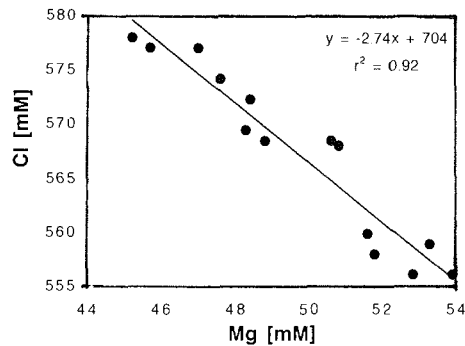
einer Zunahme des Br/Cl-Verhältnisses im Fluid verbunden (z.B. Berndt & Seyfried 1990 and 1997). Wie Abbildung 5-21 zeigt, weichen die Br/Cl-Verhältnisse in allen untersuchten Kernen und im Bodenwasser jedoch nur sehr geringfügig vom globalen Mittel ab ( $1.50 \pm 0.02 \cdot 10^{-3}$  gegenüber  $1.55 \pm 0.04 \cdot 10^{-3}$  im globalen Durchschnitt; Campbell & Edmond 1989). Alle Proben liegen innerhalb einer 3 %igen Abweichung vom Mittelwert (gestrichelte Linien). Die gemessenen Werte sind identisch mit Werten vom Axial Seamount ( $1.50 \pm 0.05 \cdot 10^{-3}$ , Butterfield et al. 1990) und dem North Cleft Segment ( $1.48-1.51 \cdot 10^{-3}$ , Butterfield & Massoth 1994) auf dem Juan de Fuca Rücken. Der kleine Fehler des Mittelwertes und die geringe absolute Abweichung vom Meerwasser-Wert schließen eine nennenswerte Cl-Aufnahme in Mineralphasen aus.

### 5.5.3 Gelöste Gase in der Dampfphase und Cl-Konzentration in der korrespondierenden Brine-Phase

Die Dampfphase eines phasenseparierten Hydrothermal-Fluids weist neben geringen Salz-Gehalten hohe Konzentrationen an gelösten Gasen auf (z.B. Massoth et al. 1989; Charlou et al. 1996) und ist ferner mit der Existenz einer korrespondierenden Brine-Phase verknüpft.

Die auf Hook Ridge gemessenen Konzentrationen von DIC und Sulfid, die bei den niedrigen pH-Werten fast ausschließlich als  $\text{CO}_2$  bzw.  $\text{H}_2\text{S}$  vorliegen, zeigen starke Anreicherungen an den hydrothermal beeinflussten Stationen (vgl. Kapitel 5.1.1 und 5.3.1). Die höchste DIC-Konzentration von ca. 30 mM ergibt mit der Annahme, daß das Porenwasser zu 20 % aus Hydrothermal-Fluid besteht, eine Endmember-Konzentration von ca. 140 mM (Bodenwasser: ca. 2.5 mM). Analog berechnet sich aus der höchsten Sulfid-Konzentration von ca. 1 mM eine Endmember-Konzentration von ca. 5 mM (Bodenwasser: 0 mM). In der Literatur wird die  $\text{H}_2\text{S}$ -Konzentration von Cl-abgereicherten Endmembers mit 5-18 mM angegeben, die  $\text{CO}_2$ -Konzentration ist i.d.R.  $< 20$  mM (Von Damm 1995). Die extrem Cl-abgereicherten Fluide ( $< 50$  mM), die 1991 am EPR ( $9^\circ 45' \text{N}$ ) beprobt wurden, weisen dagegen sehr hohe  $\text{H}_2\text{S}$ -Konzentrationen von  $\leq 110$  mM und  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen von  $\leq 200$  mM auf (Von Damm 1995). Im Gegensatz zu anderen Hydrothermal-systemen ist die potentielle Recharge-Zone in der Bransfield Straße von einer relativ mächtigen Sedimentschicht bedeckt und auch die Discharge-Zone ist sediment-bedeckt.  $\text{H}_2\text{S}$  und  $\text{CO}_2$  gelangen als Abbauprodukte des POC mit dem zirkulierenden Meerwasser in das Hydrothermal-Fluid. Während Sulfid in den Sedimenten als hydrothermales Präzipitat fixiert wird (Kapitel 5.2.4), kommt es nicht zu einer Carbonat-Fällung. Dies erklärt, warum der hier ermittelte Wert für die Endmember-Konzentration von Sulfid im unteren Bereich der publizierten Daten liegt und die  $\text{CO}_2$ -Konzentration relativ hoch ist. Beide Parameter werden von der Diagenese in den Sedimenten geprägt.

Nach einer Phasenseparation steigt die Dampfphase mit niedriger Cl-Konzentration unmittelbar auf, wohingegen sich die korrespondierende Brine-Phase häufig in der Kruste ansammelt, bevor sie ebenfalls austritt (Cowan & Cann 1988; Bischoff & Rosenbauer 1989; Butterfield et al. 1997). Der Nachweis einer korrespondierenden Brine-Phase kann deshalb die Hypothese einer Phasenseparation in der Kruste erhärten.



**Abbildung 5-22:** Bestimmung der Cl-Konzentration des hydrothermalen Endmembers im King George Becken mittels einer Korrelation zu Mg (SL 63). Die Extrapolation auf Mg = 0 mM ergibt 704 mM Cl.

Anhand der Cl-Konzentration im Schwerelot-Kern SL 63 wird durch Extrapolation auf Mg = 0 mM eine Endmember-Konzentration an der Sediment/Kruste-Grenzschicht von  $704 \pm 12$  mM berechnet (Abbildung 5-22), die eindeutig die Existenz einer Brine-Phase in der oberen Kruste des SW-lich von Hook Ridge angrenzenden King George Beckens belegt.

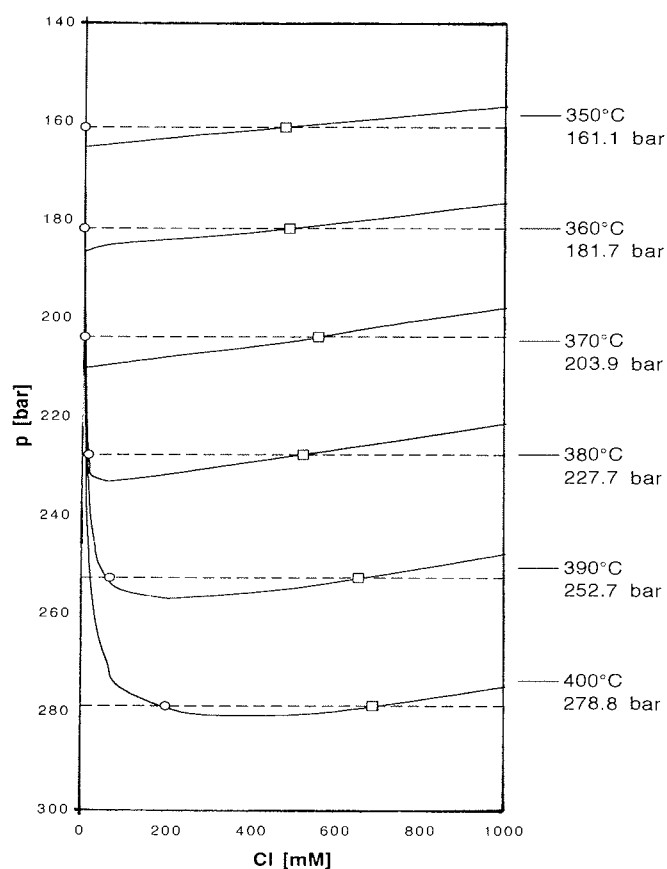
#### 5.5.4 Tiefe der Phasenseparation und Hinweis auf rezente vulkanische Aktivität

Die Konzentrationen beider Endmember können verwendet werden, um die Tiefe, in der die Phasenseparation stattfindet, abzuschätzen. Im folgenden wird zunächst der Zusammenhang zwischen der Salzkonzentration der Phasen und den p,T-Bedingungen bei der Phasenseparation erläutert. Der Druck in Hydrothermalsystemen wird meist mit dem Druck der Wassersäule gleichgesetzt, weil es sich um offene Systeme handelt, in denen der Druck innerhalb der Kruste dem hydrostatischen Druck entspricht, und die Tiefe der Reaktionszone in der Kruste häufig unbekannt ist (Von Damm 1995).

Je nach den p,T-Bedingungen, bei der die Phasenseparation stattfindet, unterscheiden sich die Salz-Gehalte der getrennten Phasen. Am kritischen Punkt können Dampf- und Flüssigphase physikalisch nicht voneinander unterschieden werden und die Salz-Gehalte sind gleich hoch. Unterhalb des kritischen Punktes (subkritische Phasenseparation) siedet das Fluid und die Dampfphase hat eine sehr geringe Salinität. Je geringer die Tiefe ist, d.h. je geringer der Druck bei der Phasenseparation, desto stärker ist der Dampf an Salzen angereichert. Da der größte Anteil des Wassers in der flüssigen Phase verbleibt, ist deren Konzentration dann gegenüber Meerwasser nur wenig angereichert. Im Gegensatz dazu kondensiert oberhalb des kritischen Punktes (superkritische Phasenseparation) eine geringe Menge einer hoch-

salinen Lösung (Brine) und es bildet sich ein großes Volumen einer Dampfphase, die eine relativ hohe Salinität aufweist (Bischoff & Rosenbauer 1987; Cowan & Cann 1988; Berndt & Seyfried 1990). Je tiefer das Fluid in die Kruste eindringt, d.h. je größer der Druck bei der Phasenseparation, desto salzreicher wird die Dampfphase. Bei sehr hohen Drücken kann sie fast Meerwasser-Konzentration annehmen. Über die skizzierten Zusammenhänge liegen quantitative Untersuchungen vor, die mit einer NaCl-Lösung durchgeführt wurden (Bischoff 1991). Da Cl das Hauptanion im Meerwasser ist, und  $\text{SO}_4$ , das zweit-häufigste Anion, im Hydrothermal-Fluid fast vollständig zu Sulfid reduziert bzw. im Anhydrit gebunden ist, sind die Unterschiede zwischen Salinität und Chlorinität vernachlässigbar (Bischoff & Rosenbauer 1984; Butterfield et al. 1990). Um die Tiefe der Phasenseparation abzuschätzen, wird ein p,x-Diagramm verwendet, das die Abhängigkeit der Cl-Konzentration (x) in den getrennten Phasen vom Druck (p) wiedergibt (Abbildungen 5-23). Die in der Abbildung dargestellten Isothermen (350-400°C) beschreiben die Phasentrennung unter subkritischen Bedingungen, wie sie für Hook Ridge zu erwarten sind (1050 m Wassertiefe). Die korrespondierenden Drücke, bei der eine Phasenseparation stattfindet (d.h. die Punkte auf der Dampfdruckkurve), sind mit der Gleichung für das Phasengleichgewicht von Bischoff & Rosenbauer (1988) berechnet und mit gestrichelten Linien dargestellt. Die x-Werte an den Schnittpunkten geben den Cl-Gehalt in den getrennten Phasen für die jeweiligen p,T-Bedingungen an. Die p,x-Isothermen sind charakterisiert durch einen Wendepunkt im Druckmaximum und auseinanderdriftete Kurvenäste mit abnehmendem Druck. Der kritische Punkt von Meerwasser liegt auf der Isothermen, bei der der korrespondierende Druck auf deren Wendepunkt fällt (407°C / 298.5 bar; nicht dargestellt), d.h. Dampf- und Brine-Phase besitzen beim Phasenübergang - wie oben erwähnt - dieselbe Salinität. Die berechneten Endmember mit Konzentrationen von 1-84 mM für die Dampfphase und ca. 700 mM für die Brine-Phase werden am besten mit den Bedingungen auf der 390°C-Isotherme (mit 252.7 bar am Phasenübergang) wiedergeben, bei der Konzentrationen von 65 mM bzw. 653 mM für die phasengetretenen Lösungen auftreten. Die 380°C- und 400°C-Isothermen liefern dagegen eine zu niedrige Konzentration für die Brine-Phase (521 mM) bzw. eine zu hohe Konzentration für die Dampfphase (197 mM). Weil die Isothermen in Bischoff (1991) nur in 10°C-Schritten angegeben sind, können die Bedingungen in der Reaktionszone auf Hook Ridge nicht genauer eingegrenzt werden. Die T,x-Daten zeigen, daß die Phasenseparation unter subkritischen Bedingungen bei einer Gesamttiefe von etwa 2500 m stattfindet, d.h. 1450 m unterhalb der Sedimentoberfläche auf Hook Ridge. Während die Dampfphase an dieser Stelle vertikal aufsteigt, verbleibt die korrespondierende Brine-Phase in der oberen Kruste. Der Einfluß der Phasenseparation erstreckt sich entlang der Riftachse bis in das King George Becken hinein und verursacht die an der Station SL 63 beobachtete Diffusion der Cl-reichen Fluide durch die Sedimentauflage (vgl. Abbildung 6-1 in der Zusammenfassung). Relativ zur Wasser- und Sedimenttiefe an dieser Lokation liegt die Reaktionszone sehr flach unterhalb der Kruste (450 m). Dies ist plausibel in Anbetracht der Häufigkeit von Diapiren in der Bransfield Straße (Barker & Austin 1994), die heißes, magmatisches Material in die obere Kruste bringen. Haymon et al. (1993) beschreiben eine

Phasenseparation sogar in Tiefen < 200 m am EPR (9-10°N). Die Fluide an dieser Lokation waren 1991 als Dampfphase eines phasenseparierten Fluids zu interpretieren (46.5 mM Cl), während drei Jahre später ein Brine-dominiertes Fluid austrat (846 mM Cl)(Von Damm et al. 1997). Beide Konzentrationen sind mit den hier berechneten Werten gleichzusetzen. Aus diesen Gründen kann eine Phasenseparation auch im Becken nicht ausgeschlossen werden.



**Abbildung 5-23:** p,x-Diagramm für sechs Isothermen (350-400°C) des Systems NaCl-H<sub>2</sub>O; Daten aus Bischoff (1991), korrespondierende Drücke auf der Dampfdruckkurve nach Bischoff & Rosenbauer (1988). Die x-Werte an den Schnittpunkten geben den Cl-Gehalt in den getrennten Phasen für die jeweiligen p,T-Bedingungen an (Kreise für die Dampfphase, Quadrate für die Brine-Phase).

Die Ausführungen zeigen, daß die Fluidaustrittsstellen auf Hook Ridge nur den sichtbaren Teil eines Hydrothermalsystems darstellen, das von Hook Ridge zusammen mit dem NE-lichen Teil des King George Beckens gebildet wird.

### **5.6 Phasenseparation und Metasomatose: Konzentrationen der Alkali- und Erdalkali-Elemente sowie Bor**

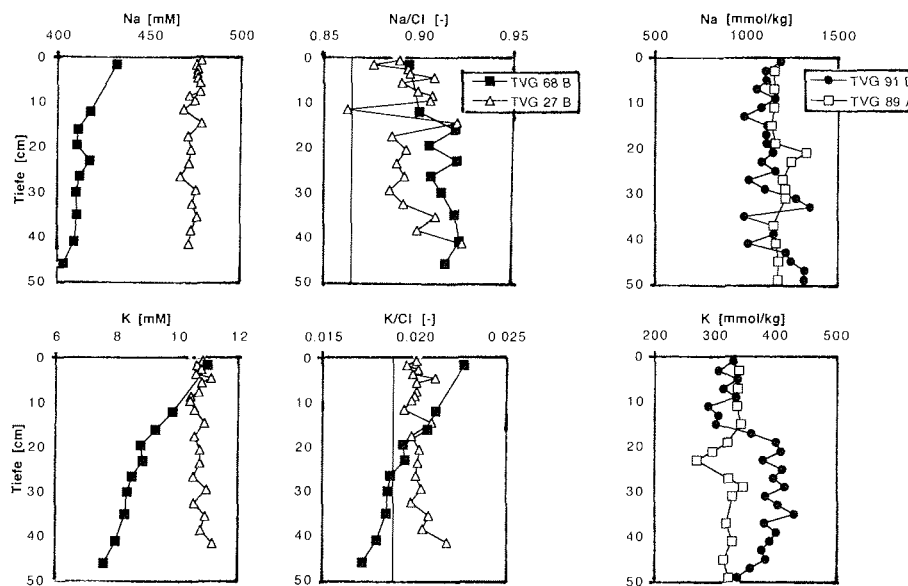
Für Alkali- und Erdalkali-Elemente im Porenwasser wird eine Cl-Normierung vorgenommen, weil - insbesondere bzgl. einer Phasenseparation - nur die Abweichungen der relativen Element-Konzentrationen Rückschlüsse auf Reaktionen der Elemente zweifelsfrei zulassen (Palmer 1992). Für Hook Ridge werden die Porenwasser-Daten der Ausfahrt NBP 99-04 gezeigt, da in diesen Proben ein sehr viel eindeutigerer Trend der geochemischen Parameter zu erkennen ist. Die Porenwässer des TVG 91 zeigen zwar denselben Trend jedoch in wesentlich geringerem Ausmaß (vgl. Daten im Anhang 9.3). Da für die NBP-Proben keine Gehalte der Festphase vorliegen, werden die Sediment-Gehalte von den Kernen der Ausfahrt ANT-XV/2 dargestellt. Diese werden als absolute Konzentrationen angegeben, da sich durch eine Normierung (auf Al oder Ti) kein qualitativ anderes Bild ergibt. Dies liegt für die Sedimente auf Hook Ridge darin begründet, daß hier kein Fazieswechsel vorliegt. Die Sedimente im King George Becken zeigen ebenfalls keine Änderung im Profilverlauf, obwohl im SL 63 ein Fazieswechsel zu verzeichnen ist. Zwei exemplarische Abbildungen für Mg (Abbildung 5-30) und Li (Abbildung 5-32) belegen dies.

#### **5.6.1 Alkali- und Erdalkali-Elemente auf Hook Ridge**

Die Natrium-Konzentration zeigt im hydrothermalen Porenwasser des TVG 68 eine deutliche Abreicherung, die sich jedoch nach der Cl-Normierung aufhebt (Abbildung 5-24). Dies bedeutet, daß die Na-Konzentration durch die Phasentrennung bestimmt ist, bei der es aufgrund eines fast identischen Verteilungskoeffizienten für Na und Cl zwischen der Dampf- und der Brine-Phase nicht zu einer Veränderung des Na/Cl-Verhältnisses kommt (Berndt & Seyfried 1990). Ein zusätzlich möglicher Einfluß einer Albitisierung kann aufgrund der hohen Hintergrund-Konzentration nicht festgestellt werden. (Für Ca wird eine Zunahme von nur ~2 mM beobachtet; Abbildung 5-25). Im Feststoff ist im Gegensatz zum Porenwasser kein signifikanter Unterschied zwischen dem Vent- und Referenz-Kern festzustellen. Dies bestätigt die genannte Interpretation, weil dadurch gezeigt wird, daß - zumindest oberflächennah - keine intensiven Reaktionen mit dem Sediment stattfinden, die eine Auswirkung auf die Porenwasser-Konzentration haben könnten.

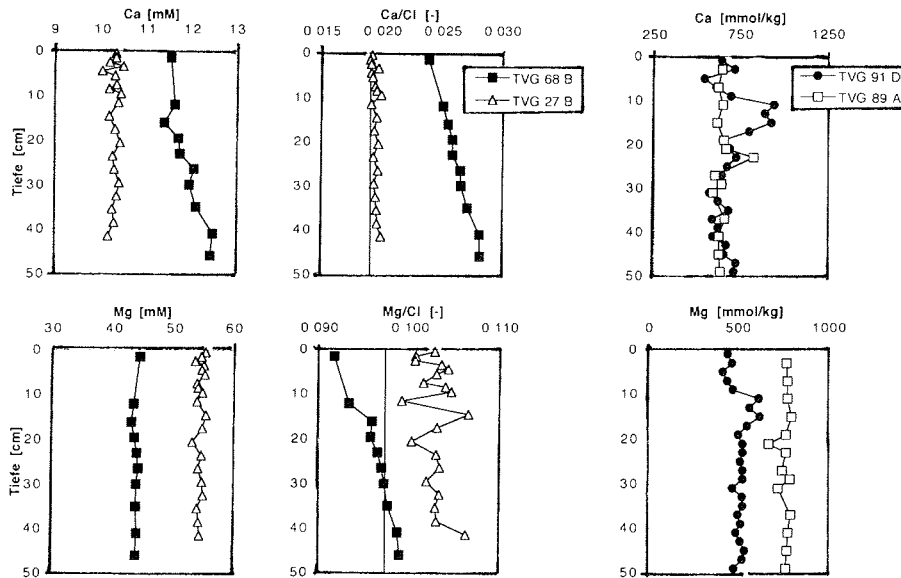
Kalium verhält sich bei der Phasenseparation ähnlich wie Natrium und es wird nur eine äußerst geringe Abreicherung in der Dampfphase beobachtet (Berndt & Seyfried 1990). Die Konzentrations-Tiefenprofile für die absolute und die Cl-normierte Konzentration zeigen jedoch deutliche Unterschiede zu

den Verläufen von Na, die zeigen, daß die Kalium-Konzentration durch eine Alterationsreaktion geprägt ist. Die Cl-normierte Porenwasser-Konzentration in der Tiefe zeigt eine Abreicherung, die auf eine Alteration bei niedrigen Temperaturen zurückzuführen ist (Seyfried & Bischoff 1979). Die zur Sediment-Oberfläche hin zunehmende Konzentration im Porenwasser geht einher mit einer Abnahme der Konzentration im Sediment und ist auf das Leaching des Sedimentes zurückzuführen. Diese Reaktion ist so intensiv, daß sie die Abreicherung an K aufgrund der Phasenseparation und der Alteration kompensiert, so daß an der Sediment-Oberfläche die absolute Konzentration nicht geringer ist als im Referenz-Kern.



**Abbildung 5-24:** Na und K in Porenwässern und Sedimenten auf Hook Ridge. Die Linie in der Abbildung der Cl-normierten Konzentration im Porenwasser kennzeichnet die Meerwasser-Zusammensetzung.

Calcium zeigt im Gegensatz zu den Alkali-Elementen eine Anreicherung in den Porenwässern des Vent-Kerns TVG 68 gegenüber dem Referenz-Kern TVG 27 (Abbildung 5-25). Auch das Ca/Cl-Verhältnis ist erhöht, was darauf hindeutet, daß die Basalt-Alteration die dominierende Reaktion für die Ca-Konzentration darstellt, da eine Phasenseparation mit einer Erniedrigung des Ca/Cl-Verhältnisses in der Dampfphase verbunden ist (Berndt & Seyfried 1990). Da die Festphase keine Abreicherung in Ca zeigt, ist anzunehmen, daß die Reaktion, die zur Freisetzung des Ca führt, in größerer Tiefe und damit bei höheren Temperaturen stattfindet. Damit kommt auch eine Chlorit-Bildung als Prozeß in Frage.



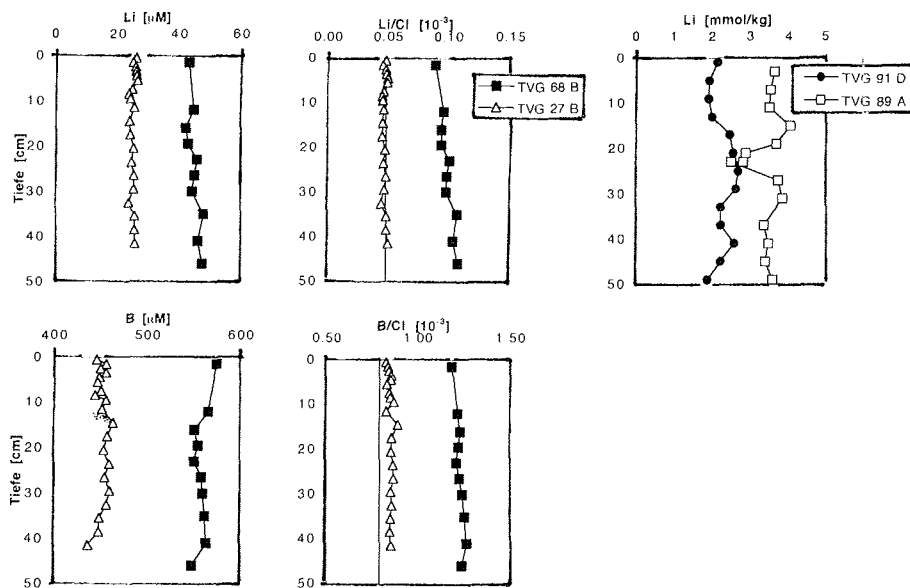
**Abbildung 5-25:** Ca und Mg in Porenwässern und Sedimenten auf Hook Ridge. Die Linie in der Abbildung der Cl-normierten Konzentration im Porenwasser kennzeichnet die Meerwasser-Zusammensetzung.

Die Konzentration von Magnesium ist im Porenwasser des hydrothermalen Kerns gegenüber dem Referenz-Kern deutlich erniedrigt. Auch das Mg/Cl-Verhältnis ist geringer. Bei einer Phasenseparation ist die Verteilung von Mg zwischen Brine- und Dampfphase aufgrund der physikochemischen Eigenschaften ähnlich wie für Ca, d.h. Mg ist in der Dampfphase abgereichert. Mg wird jedoch bei der Reaktion mit den heißen Gesteinen in die Festphase eingebaut, woraus eine zusätzliche Abnahme der Mg-Konzentration im aufsteigenden Fluid resultiert. Im Feststoff des TVG 91 ist Mg ebenfalls stark abgereichert. Dies stellt eine Besonderheit dar, weil sowohl das Porenwasser als auch das Sediment an Mg abgereichert sind, wohingegen in den meisten Fällen gegenläufige Trends zu beobachten sind. Die Abreicherung im Sediment ist auf hydrothermales Leaching zurückzuführen, das sich auch im Mg/Cl-Verhältnis widerspiegelt, das durch das Freisetzen aus der Festphase nachträglich erhöht wird und daher höher ist als für eine phasengetrennte Dampfphase (Bischoff & Rosenbauer 1987). Diese Tatsache führt dazu, daß im Falle der Proben der TV-Greifer eine Endmember-Berechnung nicht anhand der Mg-Konzentration vorgenommen werden kann (vgl. Kapitel 5.5.1).



### 5.6.2 Lithium und Bor auf Hook Ridge

Lithium ist im Porenwasser des hydrothermalen Kerns TVG 68 sowohl in der absoluten als auch in der Cl-normierten Konzentration deutlich angereichert, im Sediment hingegen abgereichert (Abbildung 5-26). Dasselbe gilt für Bor, wobei keine Festphasen-Konzentration bestimmt wurde. Bei einer Phasen-separation reichert sich Li gegenüber Cl nur sehr geringfügig in der Dampfphase an (Berndt & Seyfried 1990). Das Li/Cl-Signal wird an sedimentbedeckten Fluidaustrittsstellen zusätzlich durch das Lösen von Li aus dem Feststoff überprägt, wobei das Li/Cl-Verhältnis wesentlich größer wird. Das gegenüber dem Referenz-Kern doppelt so hohe Li/Cl-Verhältnis ist daher fast



**Abbildung 5-26:** Li und B in Porenwässern und Sedimenten auf Hook Ridge. Die Linie in der Abbildung der Cl-normierten Konzentration im Porenwasser kennzeichnet die Meerwasser-Zusammensetzung.

ausschließlich auf das Leaching von Lithium aus der Festphase zurückzuführen. Die Li-Abreicherung im Feststoff ist etwa genauso groß wie im unteren Teil des SL 63 (ca. 2 mmol/kg, d.h. ca. 50 %; vgl. Kapitel 5.6.4). Hieraus kann geschlossen werden, daß das hydrothermale Leaching auch in den oberflächensedimenten auf Hook Ridge sehr intensiv ist (vgl. Mg). Neben dem Sediment sind auch die Gesteine als Li-Quelle zu nennen, weil das Li/Cl-Verhältnis gegenüber dem Referenz-Kern stärker erhöht ist als das B/Cl-Verhältnis.

Da Bor nicht als Cl-Komplex transportiert wird (Berndt & Seyfried 1990) und bei niedrigen pH-Werten fast ausschließlich als neutrales  $B(OH)_3$  vorliegt (Spivack & Edmond 1987), reichert sich B bei einer Phasenseparation in der Dampfphase von allen hier betrachteten Elementen am stärksten an. Das B/Cl-Verhältnis ist gegenüber dem Referenz-Kern etwa um den Faktor 1.5 erhöht. Aufgrund einer Phasenseparation wird - verglichen mit Li (Faktor 2) - eine stärkere Anreicherung von B gegenüber Cl erwartet. Da dies nicht der Fall ist, muß daraus abgeleitet werden, daß die Li-Konzentration in stärkerem Maße von der Lösung aus der Festphase beeinflußt ist. Dies wiederum kann nur dann der Fall sein, wenn die Freisetzung aus den Gesteinen und nicht in erster Linie aus den Sedimenten erfolgt, die für B die Hauptquelle darstellen. Im Gegensatz zu den Bedingungen im King George Becken (Kapitel 5.6.4) ist dies auf Hook Ridge sehr wahrscheinlich, weil diese vulkanische Struktur nur mit einer relativ dünnen Sedimentdecke überzogen ist und die Fluide beim Aufstieg von der Reaktionszone fast ausschließlich im Kontakt mit Gesteinen stehen.

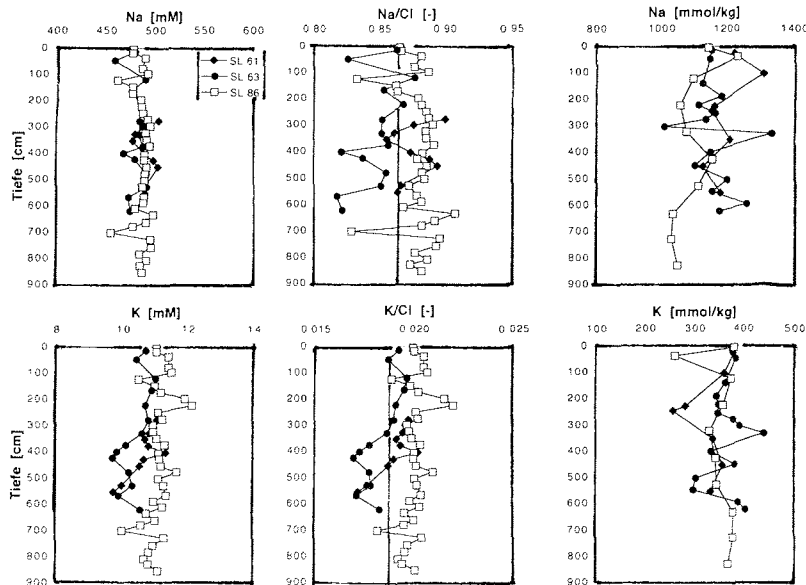
### 5.6.3 Alkali- und Erdalkali-Elemente im King George Becken

Wie von Han (1988) diskutiert ist die Geochemie der Porenwässer im King George Becken charakterisiert durch eine niedrig-temperierte Alteration, die einer hoch-temperierten Basalt-Alteration überlagert ist. Aus diesem Grund hat sich ein differenzierter Mineralbestand mit einer sehr variablen Zusammensetzung ausgebildet, wodurch die Interpretation der Porenwasser-Daten erschwert wird.

Die Cl-normierten Porenwasser-Daten der hydrothermal beeinflussten Kerne SL 61 und SL 63 zeigen für die Elemente Na und K eine geringen Konzentrationsabnahme, die für K auch in der absoluten Konzentration festzustellen ist (Abbildung 5-27). Im Sediment hingegen sind die Schwankungen innerhalb eines Kernes größer als die Unterschiede zwischen den Kernen. Für Na ist eine leichte Anreicherung zu erkennen.

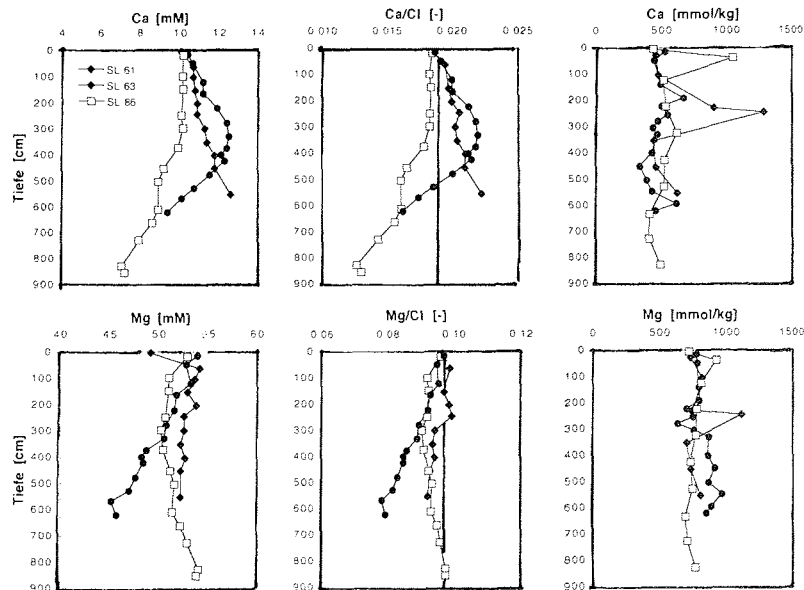
Nach Seyfried & Bischoff (1979) werden Na und K nur bei sehr niedrigen Temperaturen (70°C im Experiment) aus dem Porenwasser entfernt, wohingegen sie bei höheren Temperaturen (150°C im Experiment) aus der Festphase gelöst werden. In der absoluten Konzentration von Na kann dies jedoch aufgrund der größeren Hintergrundkonzentration nicht beobachtet werden. Da Na und Cl sich bei einer Phasenseparation in gleichem Verhältnis in der Brine-Phase anreichern, ist die relative Abreicherung im Porenwasser auf Alterationsreaktionen (Albitisierung) zurückzuführen. Das Alkali-Element Lithium wird in Kapitel 5.6.4 detailliert diskutiert.

Im Gegensatz zu den Alkali-Elementen zeigen die Erdalkali-Elemente Ca und Mg sehr ausgeprägte Trends im Porenwasser und einige Auffälligkeiten im Sediment (Abbildung 5-28). Die Normierung auf Cl verändert die Profilverläufe nicht qualitativ, so daß die Konzentrationen unabhängig von einer Phasenseparation diskutiert werden können.



**Abbildung 5-27:** Na und K in Porenwässern und Sedimenten des King George Beckens. Die Linie in der Abbildung der Cl-normierten Konzentration im Porenwasser kennzeichnet die Meerwasser-Zusammensetzung.

Die Ca-Konzentration nimmt im Referenz-Kern von einem Meerwasser-Wert ( $10.3 \mu\text{M}$ ) auf  $7.0 \mu\text{M}$  am Kern-Ende ab. Dies ist mit der Präzipitation Ca-haltiger Minerale verbunden. Die Betrachtung der DIC-Konzentration im Porenwasser legt zunächst nahe, daß ein Carbonat gefällt wird. Es zeigt sich jedoch, daß das DIC-Profil im unteren Kernbereich auf Methanogenese zurückzuführen ist (Kapitel 5.3.2). Aufgrund des Verlaufes der Phosphat-Konzentration (Kapitel 5.1.2) kommt die Bildung von Phosphatit ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) oder Apatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ) in Betracht, wie sie z.B. von Gieskes et al. (1982a) für das Guaymas Basin angenommen wird. Während der Ausfahrt ANT-IV/2 wurde an dieser Stelle Ikait ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) gefunden (Suess et al. 1982). Dieses seltene und sich äußerst schnell zersetzende Mineral konnte während ANT-XV/2 nicht wieder gefunden werden. Apatit konnte auf beiden Ausfahrten nicht nachgewiesen werden. Ein negativer Befund in der XRD-Analyse schließt jedoch nicht aus, daß ein Mineral gebildet wird, weil die Nachweisgrenzen dieser Methode und der Bestimmung von Carbonat bei  $\geq 1\%$  liegen. Aus diesem Grund sind Rückschlüsse auf mögliche Mineralphasen ggf. nur anhand der Porenwasser-Konzentrationen möglich (Gieskes et al. 1982a).

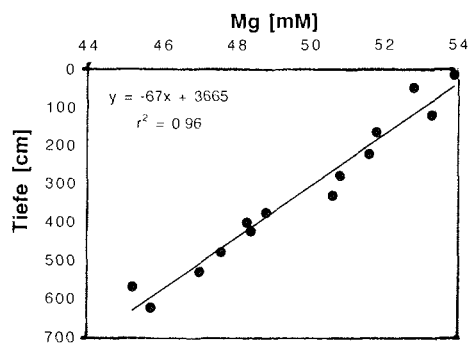


**Abbildung 5-28:** Ca und Mg in Porenwässern und Sedimenten des King George Beckens. Die Linie in der Abbildung der Cl-normierten Konzentration im Porenwasser kennzeichnet die Meerwasser-Zusammensetzung.

Im hydrothermal beeinflussten Kern SL 61 wird im Porenwasser eine stete Ca-Konzentrationszunahme bis 12.6 mM beobachtet. Kern SL 63 zeigt einen etwas steileren Konzentrationsanstieg bis in 3.3 m Tiefe (12.5 mM); darunter nimmt die Konzentration bis zum Kern-Ende wieder ab (9.7 mM). Der starke kommt es zu einer verstärkten Adsorption einiger Elemente, die dadurch im Porenwasser abgereichert werden. Neben Ca betrifft dies vor allem Mg, dessen Adsorptions- und Austauschverhalten von Von Breymann & Suess (1988) und Von Breymann et al. (1990) untersucht wurde. Mit zunehmender POC-Zersetzung führt die Anreicherung von DIC im Porenwasser anschließend zu einer Ionenpaarbildung ( $\text{Mg}^{2+} \cdot \text{CO}_3^{2-}$ ) und somit zu einer Abnahme der freien Mg-Konzentration. Es stellt sich ein neues Gleichgewicht mit dem austauschbaren Mg am Sediment ein, wobei adsorbiertes Mg in Lösung geht. Dieser Lösungsprozeß wird im unteren Kernbereich durch eine Austauschreaktion mit Ammonium verstärkt. Die reduzierenden Bedingungen führen ferner zur Entfernung von Eisen- (und Mangan-)Oxidschichten, die die Oberfläche von Tonmineralen überziehen. Dadurch werden weitere Austauschplätze freigegeben. Die beschriebenen Prozesse führen zu dem im SL 86 beobachteten Mg-Konzentrationsprofil: Zunächst sinkt die Mg-Konzentration mit zunehmender  $\text{NH}_4$ - (und DIC-) Konzentration, bis ab ca. 350 cm die DIC-Konzentration relativ konstant bleibt und die Mg-Konzentration mit zunehmender  $\text{NH}_4$ -Konzentration wieder ansteigt. Die insgesamt desorbierte Menge Mg liegt bei den Untersuchungen von Von Breymann et al. (1990) bei

ca. 1.8 mmol/kg und ist damit in der Festphase nicht nachweisbar. Der hydrothermal beeinflusste Kern SL 61 zeigt nur eine sehr geringe Abnahme der Mg-Konzentration bis 52.2 mM, wohingegen der Kern SL 63 einen sehr steilen Konzentrationsgradienten aufweist, der eine Konzentrationsabnahme bis 45.2 mM bewirkt. Das Konzentrationsprofil des SL 63 ist linear und es muß daher davon ausgegangen werden, daß es weder einen advektiven Transport des Endmember-Fluids gibt, noch daß das Magnesium in der Sedimentsäule einer Reaktion unterliegt.

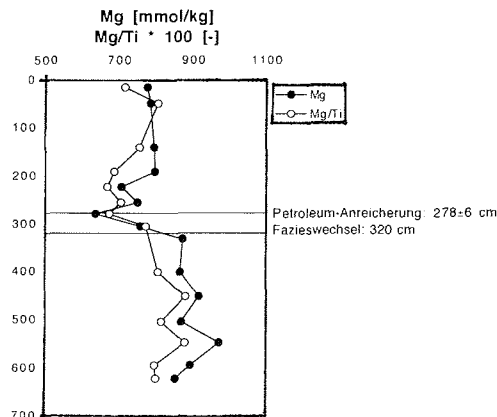
Mit einer linearen Regression und Extrapolation auf  $Mg = 0$  mM kann daher die Tiefe abgeschätzt werden, in der die Mg-Konzentration Null ist (Abbildung 5-29). Diese Tiefe ist ein Maß für die Mächtigkeit der Sedimentschicht, da angenommen wird, daß ein hydrothermales Endmember-Fluid mit 0 mM Mg am Kontakt zur Kruste in die Sedimentsäule übertritt.



**Abbildung 5-29:** Bestimmung der Tiefe der Reaktionsschicht als Maß für die Sedimentmächtigkeit an der Station SL 63. Die lineare Extrapolation auf  $Mg = 0$  mM ergibt eine Tiefe von ca. 37 m.

Die Tiefe von  $37 \pm 2$  m stimmt in etwa mit den Angaben in der Isopachenkarte von Han (1988) überein. Aufgrund akustischer Trübung sind für den beprobten Bereich selbst zwar keine Angaben möglich, die nächstgelegenen Sedimentschichten weisen jedoch Sedimentmächtigkeiten von 68 bis < 44 m auf. Da der Kern SL 63 näher an Hook Ridge liegt als der Bereich, für den Werte vorliegen, ist zu erwarten, daß die Sedimentmächtigkeit an dieser Stelle dünner ist. Die Übereinstimmung bestätigt die Vorstellung, daß das Hydrothermal-Fluid beim Eintritt in die Sedimentsäule ein reines Endmember-Fluid ist.

Die Alterationsreaktion des Mg zeigt sich auch im Sediment, in dem unterhalb von 3 m eine Anreicherung von ca. 30 % zu beobachten ist (Abbildung 5-30). Ein möglicher Zusammenhang mit dem Fazieswechsel in 3.2 m wird für Lithium ausführlich diskutiert (Kapitel 5.6.4) und ist hier nicht auszuschließen.

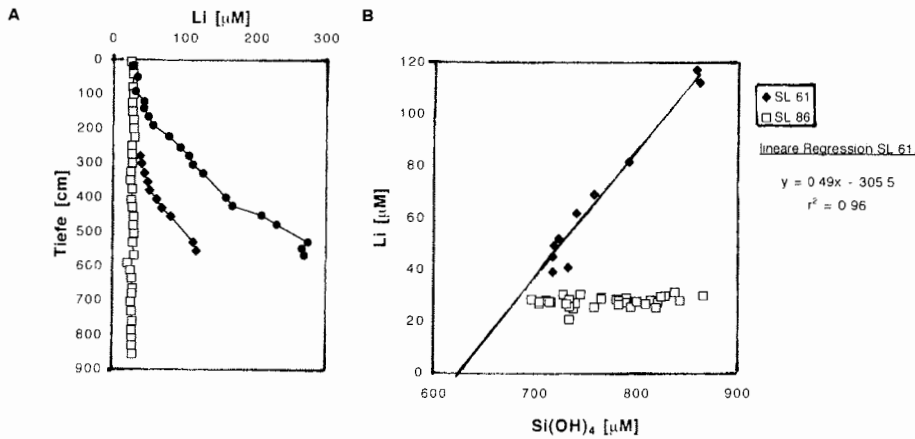


**Abbildung 5-30:** Mg im Sediment des Kerns SL 63 (absolute und Ti-normierte Konzentration)

#### 5.6.4 Lithium im King George Becken: Freisetzung aus Diatomeen und Tonmineralen

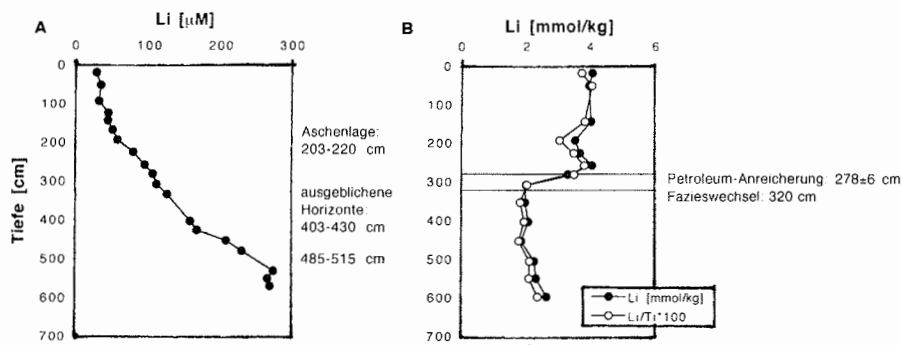
Die Konzentration von Li im Referenz-Kern SL 86 ist konstant und entspricht mit ca. 27-28  $\mu\text{M}$  dem Gehalt im Meerwasser. Ganz im Gegensatz dazu stehen die Konzentrationsverläufe der Kerne SL 61 und SL 63, in denen die Konzentration mit der Tiefe stetig zunimmt und einen max. Werte von ca. 270  $\mu\text{M}$  (SL 63) erreicht (Abbildung 5-31 A). Zunehmende Li-Konzentrationen in Porenwässern können auf die Lösung von biogenem Opal zurückzuführen sein, da Diatomeen Lithium in ihr Skelett einbauen (DSDP sites 474/475; Gieskes et al. 1982a). Während für den Referenz-Kern SL 86 weder die Kieselsäure- noch die Li-Konzentration mit der Tiefe zunimmt, wird im SL 61 ein Anstieg beider Konzentrationen beobachtet, die miteinander sehr gut korrelieren (Abbildung 5-31 B). Da die Konzentrationszunahme im Kern SL 63 viel stärker ist, der Kern jedoch ab einer Tiefe von 320 cm aus terrigenem Material gebildet wird, kann die Li-Zunahme in diesem Kern nicht durch biogenes Opal geprägt sein. Es ist anzunehmen, daß dies auch im Kern SL 61 nicht die Hauptursache ist (vgl. Li/Cl-Verhältnis, s.u.).

Der Konzentrationsanstieg ist in beiden Fällen vielmehr mit der Li-Freisetzung aus den anorganischen Sedimentbestandteilen (Tonminerale) zu begründen. Das Porenwasser-Konzentrationsprofil (Abbildung 5-32 A) zeigt für den Kern SL 63 neben einer generellen Zunahme mit der Tiefe, daß sich der Konzentrationsgradient in ca. 2, 4 und 5 m ändert. In 202-220 cm Tiefe befindet sich eine mächtige Aschenlage, die in Kapitel 5.2.4 als obere Grenze für den hydrothermal alterierten Bereich des Kernes benannt wurde. In den beiden anderen Tiefen sind die Sedimente durch hell-graue Färbung gekennzeichnet, die vermutlich von einer intensive Wechselwirkung mit hydrothermalen



**Abbildung 5-31:** **A:** Li-Konzentration in den Porenwässern der Schwerelotkerne im King George Becken;  
**B:** Korrelation der Li- mit der Si(OH)<sub>4</sub>-Konzentration in den Kernen SL 61 und SL 86

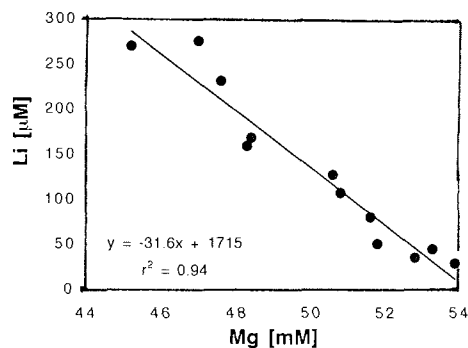
Fluiden verursacht wurde (Kapitel 5.2.4). Der Horizont mit einer Petroleum-Anreicherung in 272-284 cm Tiefe zeigt jedoch ebenso wenig eine Auswirkung auf den Konzentrationsverlauf im Porenwasser wie der Fazieswechsel in 320 cm Tiefe von diatomeen-reichem zu terrigenem Sediment (vgl. Abbildung 5-32 B). In der Festphase ist hingegen ein drastischer Konzentrationsabfall von ~4 auf ~2 mmol/kg zu beobachten (Abbildung 5-32 B). Dieser große Konzentrationsgradient wurde durch zwei Doppelbestimmungen bestätigt. Die sprunghafte Änderung des Lithium-Gehaltes in der Festphase kann mit dem Faziesübergang zu terrigenem Sediment oder der hydro-



**Abbildung 5-32:** Li-Konzentrationen im Kern SL 63 sowie sedimentologische Charakteristika; **A:** Porenwasser; **B:** Sediment

thermalen Alteration zusammenhängen. Die Schärfe des Überganges und die Tatsache, daß terrigenes Material generell einen niedrigeren Li-Gehalt hat als marine Tonminerale (Seyfried et al. 1984; Chan et al. 1994), machen den Fazieswechsel als Ursache wahrscheinlich. Die Konzentrationsabnahme beginnt jedoch bereits in einer Tiefe von ca. 250 cm, während der sedimentologische Wechsel erst in 320 cm eintritt. Zudem nimmt nicht nur die absolute Konzentration sondern auch die Ti-normalisierte Konzentration ab. Die Interpretation bzgl. eines hydrothermalen Leachings wird gestützt durch die Untersuchungen der Li-Gehalte der Sedimente des Guaymas Basin, die im nicht-alterierten Bereich ca. 5.5 - 6 mmol/kg betragen und im hydrothermal alterierten Bereich auf 0.5-3.6 mmol/kg absinken (DSDP site 477; Chan et al. 1994). Diese Werte sind in grober Übereinstimmung mit der hier gemessenen Konzentration für den SL 63 wie auch für den Referenz-Kern SL 86, der mit knapp 4 mmol/kg über die gesamte Kerntiefe nur aus nicht-alteriertem Sediment besteht (ohne Abbildung, Anhang 9.3). Die Tatsache, daß die Li-Abreicherung im Oberflächensediment des TVG 91 gegenüber dem Referenz-Kern TVG 89 A ebenfalls ~2 mmol/kg beträgt (Kapitel 5.6.2), ist ein weiteres Indiz für das hydrothermale Leaching.

Aufgrund dieser Vergleiche und der Betrachtungen der Li-Konzentration im Porenwasser kann die hydrothermale Alteration des Sedimentes als Hauptursache für die Konzentrationsprofile von Lithium im Porenwasser und Sediment des Kerns SL 63 gelten. Die Prozesse im NE-lichen Teil des King George Beckens sind damit in Übereinstimmung mit der Vorstellung von James et al. (1999), die für den Escanaba Trough darlegen, daß hohe Li-Gehalte im Fluid aus einer reaktiven Zone an der Sediment-Basalt-Grenzschicht stammen. Die Endmember-Konzentration kann anhand der Korrelation zu Mg bestimmt werden und beträgt  $1715 \pm 128 \mu\text{M}$  (Abbildung 5-33).

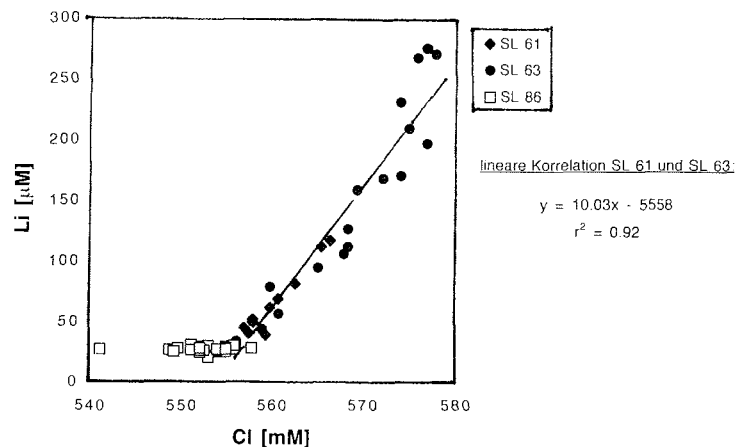


**Abbildung 5-33:** Bestimmung der Konzentration des hydrothermalen Endmembers mittels einer Korrelation zu Mg. Die Extrapolation auf Mg = 0 mM ergibt  $1715 \mu\text{M}$  Li.



Die gute Korrelation von Li und Mg beruht u.a. darauf, daß  $\text{Li}^+$ -Ionen gegen das in den Schichtsilikaten gebundene Mg ausgetauscht werden, weil sie einen ähnlich großen Ionenradius besitzen wie  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen (Seyfried et al. 1984; Chan & Edmond 1988). Das Fluid ist damit stärker an Li angereichert als die meisten Hydrothermal-Fluide an sediment-freien und sediment-bedeckten Rücken (630-1322  $\mu\text{M}$ ; Von Damm 1995). Obwohl Li - wie B - in marinen Sedimenten höhere Konzentrationen aufweist als in Basalten, sind auch an den meisten sediment-freien Rücken hohe Li-Konzentrationen anzutreffen. Dies liegt darin begründet, daß Li bei hohen Temperaturen auch aus den Basalten gelöst wird. Besonders hohe Konzentrationen treten deswegen in Porenwässern im Escanaba Trough auf, die von einem Lagergang im Sediment beeinflusst sind (bis max. 5.7 mM; James et al. 1999). Porenwässer von sediment-bedeckten Rücken weisen gegenüber dem Hydrothermal-Fluid an derselben Lokation höhere Konzentrationen auf, weil beim Aufstieg der Fluide, die in größerer Tiefe an Li angereichert waren, das Li in der Sedimentsäule in Sekundärminerale eingebaut wird und damit die Konzentration beim Austritt an der Sedimentoberfläche deutlich verringert ist (z.B. Guaymas Basin: max. 1054  $\mu\text{M}$  im Hydrothermal-Fluid (Von Damm et al. 1985b), 1466  $\mu\text{M}$  im Porenwasser (Gieskes et al. 1982a)).

Li gilt allgemein als konservatives Element, das überwiegend als Cl-Komplex transportiert wird (Bruland 1983). Hohe Li-Konzentrationen werden daher besonders in Fluiden mit hohen Cl-Konzentrationen gemessen (z. B. Juan de Fuca Ridge: bis 2350  $\mu\text{M}$ ). Es ist daher ein Zusammenhang mit der ebenfalls zunehmenden Cl-Konzentration, d.h. mit der Brine-Bildung infolge der Phasenseparation, zu erwarten. Abbildung 5-34 zeigt, daß Li und Cl in den hydrothermal beeinflussten Kernen SL 61 und SL 63 positiv korreliert sind.



**Abbildung 5-34:** Korrelation der Li- mit der Cl-Konzentration in den Kernen SL 61, 63 und 86

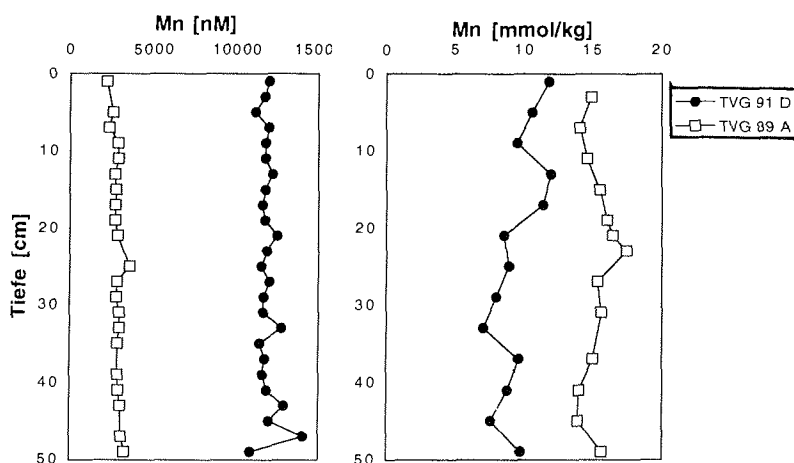
Das Li/Cl-Verhältnis ist in den tiefen Proben des SL 63 ( $0.5 \cdot 10^{-3}$ ) gegenüber dem Meerwasser-Wert ( $0.05 \cdot 10^{-3}$ ) deutlich erhöht; im hydrothermalen Endmember beträgt das Verhältnis  $2.4 \cdot 10^{-3}$ . Die gute Korrelation mit Cl läßt vermuten, daß bereits das hydrothermale Endmember in der oberen Kruste, die Brine-Phase, stark mit Li angereichert ist. Mit Experimenten konnte gezeigt werden, daß die Phasenseparation an sich keine Änderung des Li/Cl-Verhältnisses bewirkt (Berndt & Seyfried 1990), so daß die Anreicherung nicht ursächlich damit zusammenhängt. Der hohe Wert belegt vielmehr, daß Li nicht nur aus den Sedimenten in der heißen Reaktionszone oberhalb der Kruste sondern auch aus der Kruste selbst gelöst wird.

## 5.7 Spurenelemente in hydrothermalen Präzipitaten

Die Spurenelemente Mangan, Eisen, Zink und Barium werden bei hoher Temperatur und hohem Druck in der Reaktionszone aus den Gesteinen herausgelöst und sind in hydrothermalen Fluiden in der Regel angereichert (Seyfried & Mottile 1995). An sediment-bedeckten Standorten verursacht die Mischung mit kaltem diagenetischen Porenwasser die Fällung von Sulfiden, Sulfaten und Oxiden, die eine Anreicherung der Elemente im Sediment sowie eine Abreicherung im Fluid bewirkt. Hydrothermal-Fluide sediment-bedeckter Rücken sind daher nicht so stark an diesen Elementen angereichert wie die Hydrothermal-Fluide an sediment-freien Rücken (German et al. 1995).

### 5.7.1 Leaching von Mangan

Mangan bleibt nach Austritt des Fluids in die Wassersäule zunächst in der reduzierten, gelösten Form erhalten (German et al. 1999), so daß Mn an der Fluidaustrittsstelle mit hohen Konzentrationen in die Wassersäule übertreten und sich als hydrothermaler Plume ausbreiten kann. Mn-Messungen in der Wassersäule werden daher vielfach als Tracer genutzt, um heiße Fluidaustrittsstellen zu lokalisieren. Mn-Anreicherungen im Sediment treten infolgedessen erst nach dem Niederschlag aus dem Plume weiter entfernt von der Rückenachse auf (German et al. 1999). Das Sediment des TVG 91 zeigt gegenüber dem Referenz-Kern eine sehr starke Anreicherung von Mn im Porenwasser ( $\sim 12 \mu\text{M}$ ; Abbildung 5-35), die bei Berücksichtigung der relativ hohen Verdünnung des Endmember-Fluids mit Meerwasser ( $> 90 \%$ ) vergleichbar mit den Hydrothermal-Fluiden des Guaymas Basin ( $130\text{-}240 \mu\text{M}$ ; Von Damm 1995) ist und sehr viel höher ist als das Endmember-Fluid des Escanaba Trough ( $10\text{-}20 \mu\text{M}$ ; Von Damm 1995). Die Mn-Konzentration in der bodennahen Wassersäule über Hook Ridge beträgt bis zu  $5 \text{ nM}$  und ist damit gegenüber Plume-Konzentrationen an MOR eher gering (Klinkhammer et al. subm.). Die Feststoff-Gehalte von Mn sind gegenüber dem Referenz-Kern nur etwa halb so hoch. Das gelöste Mn stammt daher nicht nur aus den magmatischen Gesteinen, sondern es wird auch durch Leaching aus den oberflächennahen Sedimenten in das Porenwasser überführt.

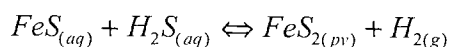


**Abbildung 5-35:** Mn-Konzentrationen im Porenwasser und im Sediment (Porenwasser: ICP-AES, Sediment: ICP-AES nach Aufschluß)

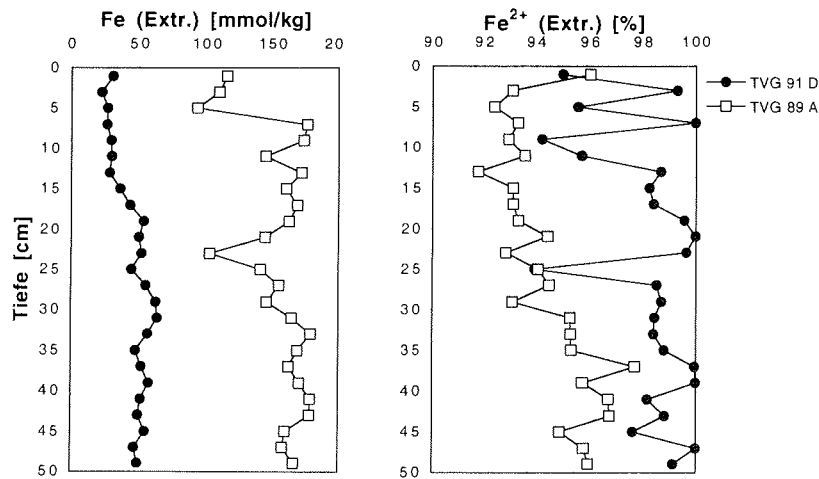
### 5.7.2 Leaching von Eisen und Pyrit-Fällung

Eisen wird aus dem Fluid fast vollständig entfernt und als Sulfid gefällt. Die Fe-Konzentration ist in den Porenwässern der NBP-TVG 68 und 69 sehr stark angereichert ( $< 10 \mu\text{M}$ ), während die Konzentration im Referenz-Kern NBP-TVG 27 bis zu  $50 \mu\text{M}$  beträgt (G. Sarthou, pers. Mittlg.). Die Extraktion des im Sediment gebundenen, leicht-löslichen Eisens zeigt, daß dieses zu einem Großteil aus dem hydrothermal beeinflussten Sediment geleacht wurde (Abbildung 5-36). Die Konzentration dieser Fraktion beträgt im TVG 91 nur ca. ein Fünftel der Konzentration im Referenz-Kern, wobei der Anteil des zweiwertigen Fe in diesem Kern aufgrund der reduzierenden Bedingungen fast 100 % erreicht.

Das durch das hydrothermale Fluid gelöste Fe wird im Sediment als Pyrit gefällt, das schwer-löslich ist und mit dem Extraktionsverfahren deshalb nicht erfaßt wird. Neuere Untersuchungen konnten zeigen, daß sich framboidaler Pyrit, wie er in den Sedimenten auf Hook Ridge (aber auch im King George Becken) gefunden wird (J. Greinert, pers. Mittlg.), ohne eine feste Vorläufer-spezies direkt aus der Reaktion von gelöstem FeS und  $\text{H}_2\text{S}$  bildet (Butler & Rickard 2000):



Gleichung 5-2



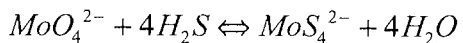
**Abbildung 5-36:** Leicht lösliches Eisen im Sediment (Extraktion): Gesamt-Gehalt und Anteil  $\text{Fe}^{2+}$

Dieser Reaktionsmechanismus gilt besonders für anoxische Sedimente und hydrothermale Fluide. Der bei dieser Reaktion entstehende Wasserstoff kann bei der Methanogenese aus Carbonat-Reduktion genutzt werden (Kapitel 5.3).

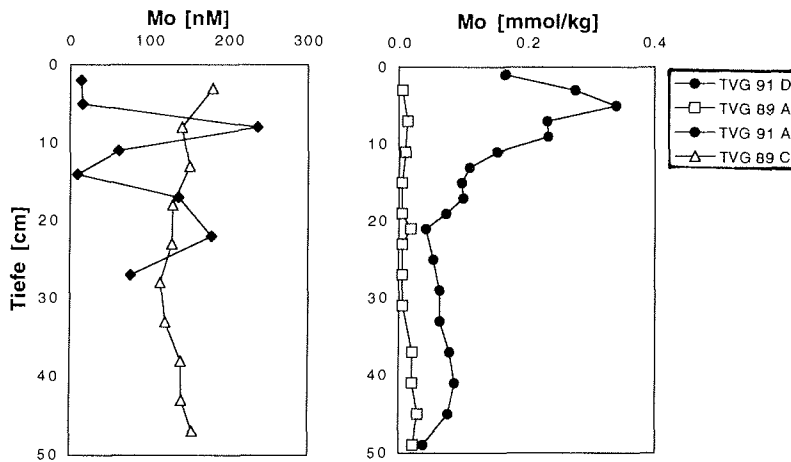
### 5.7.3 Molybdän-Anreicherung in der Pyrit-Phase

Molybdän ist in Pyrit angereichert und wird an der Oberfläche von Pyrit-Framboiden gefunden (Helz et al. 1996; Erickson & Helz 2000). Die Sulfide des TVG 91 enthalten im Mittel 2 mmol/kg Mo, mit einer Spannweite von 1-5.5 mmol/kg (Hauer 1998). In hydrothermalen Ablagerungen im Okinawa Trough wurde eine Mo-Konzentration von 1.8 mmol/kg gemessen (Sohrin et al. 1999), die mit den für Hook Ridge bestimmten Werten vergleichbar ist. In den analysierten Porenwässern des TVG 91 zeigt sich analog zur o.g. Fe-Konzentration eine Abreicherung gegenüber den Konzentrationen im Referenz-Kern (Abbildung 5-37). Die Mo-Gehalte im Sediment liegen im hydrothermal beeinflussten Kern bei 0.05-0.35 mmol/kg. In den Oberflächensedimenten des Escanaba Trough (bis 20 cm) werden ähnlich hohe Mo-Anreicherungen von 0.2-0.6 mmol/kg gefunden (Magenheim & Gieskes 1994).

Für die Speziation von Mo in sulfidischen Wässern wurde von Helz et al. (1996) das Konzept des "geochemischen Schalters" eingeführt. Dies beruht auf thermodynamischen Berechnungen, die ergeben, daß es eine Sulfid-Konzentration gibt, bei der Mo fast quantitativ vom Molybdat zum Thiomolybdat transformiert wird (Erickson & Helz 2000):



Gleichung 5-3



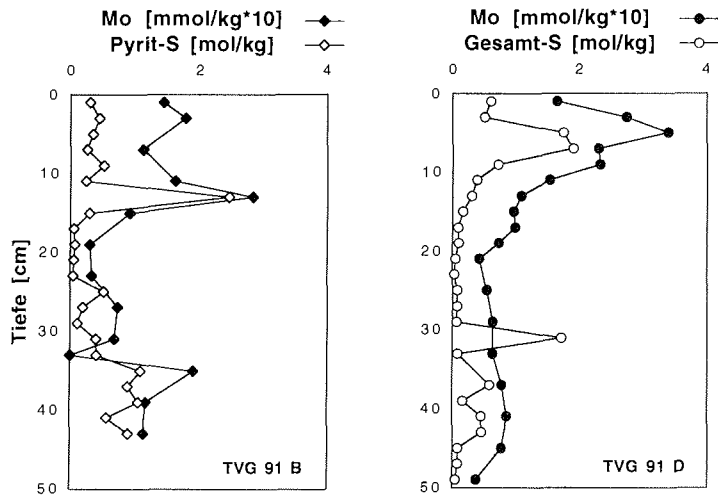
**Abbildung 5-37:** Mo-Konzentrationen im Porenwasser und im Sediment (Porenwasser: ICP-MS, Sediment: ICP-AES nach Aufschluß)

Für die Geochemie ist dies von besonderer Bedeutung, weil sich das Molybdat durch ein konservatives Verhalten auszeichnet, während das Thiomolybdat partikel-reaktiv ist, und zwar besonders gegenüber Übergangsmetallhaltigen Partikeln wie Eisensulfiden. Der Äquivalenzpunkt dieser Reaktion ist vom pH-Wert abhängig und liegt bei pH 7.9-8.5 bei einer Sulfid-Konzentration von etwa 11  $\mu\text{M}$  (Erickson & Helz 2000). Für hydrothermale Lösungen mit einem wesentlich geringeren pH-Wert ist die erforderliche Sulfid-Konzentration noch geringer. Mo liegt in diesen Lösungen fast vollständig als  $\text{MoS}_4^{2-}$  vor. Dieses kann zum Sulfid weiter reagieren (Helz et al. 1996):



Im Gegensatz zu früher vorgeschlagenen Mechanismen hat in diesem Konzept die Co-Präzipitation mit Eisensulfiden zumindest auf kurzen Zeitskalen die größere Bedeutung für die Fixierung von Mo gegenüber der Reduktion von  $\text{Mo}^{\text{VI}}$  zu  $\text{Mo}^{\text{V}}$  und einer anschließenden Adsorption an Partikeln (Erickson & Helz 2000).

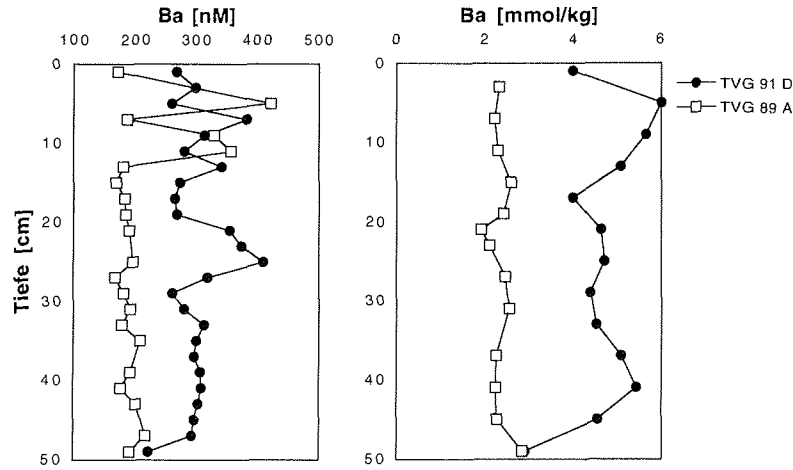
Der enge Zusammenhang zwischen der Pyrit-Ausfällung und Mo-Anreicherungen im Sediment zeigt sich deutlich, wenn Schwefel- und Mo-Gehalte im Sediment direkt gegenübergestellt werden. In Abbildung 5-38 sind die Einheiten so gewählt, daß sich für beide Elemente etwa gleich große numerische Werte ergeben. Mit der Ausnahme eines Wertes (TVG 91 D, 31 cm) zeigt sich eine äußerst gute Korrelation von Schwefel- und Mo-Anreicherungen im Sediment.



**Abbildung 5-38:** Schwefel- und Mo-Gehalt im Sediment. Für den TVG 91 B ist der Gehalt an Schwefel im extrahierten Pyrit dargestellt; für den TVG 91 D der Schwefel-Gesamtgehalt. Die gute Korrelation für beide Methoden zeigt, daß neben Pyrit-Schwefel nur vernachlässigbare Mengen Schwefel in anderen Bindungsformen vorliegen.

#### 5.7.4 Baryt-Fällung

Barium präzipitiert als Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ), wenn das Ba-reiche, aber  $\text{SO}_4$ -arme Fluid mit dem Sulfat des Meer- bzw. Porenwassers gemischt wird. Eine Baryt-Fällung wird an diffusen Austrittsstellen hydrothormaler Lösungen besonders an der Sediment/Wasser-Grenzfläche beobachtet (z.B. Escanaba Trough, Guaymas Basin; Magenheim & Gieskes 1994). Dies zeigt sich im Sediment des TVG 91, das mit 4-6 mmol/kg gegenüber dem Referenz-Kern ( $\sim 2$  mmol/kg) deutlich angereichert ist (Abbildung 5-39). Auch in Silikaten, die sich bei niedrigen Temperaturen bilden, ist Ba angereichert (Charlou et al. 1996). In den Silikaten des TVG 91 beträgt die Ba-Konzentration im Mittel 2 mmol/kg (Hauer 1998) und ist damit höher als in den Gesteinen (1.6 mmol/kg). Die Ba-Konzentration im Porenwasser des TVG 91 ist gegenüber dem Referenz-Kern erhöht ( $\sim 300$ - $400$  nM), im Vergleich mit den Hydrothermal-Fluid des Guaymas Basin ( $> 12$  bis  $> 56$   $\mu\text{M}$ ; Von Damm 1995) ist sie jedoch auch unter Berücksichtigung des Meerwasser-Einflusses geringer.

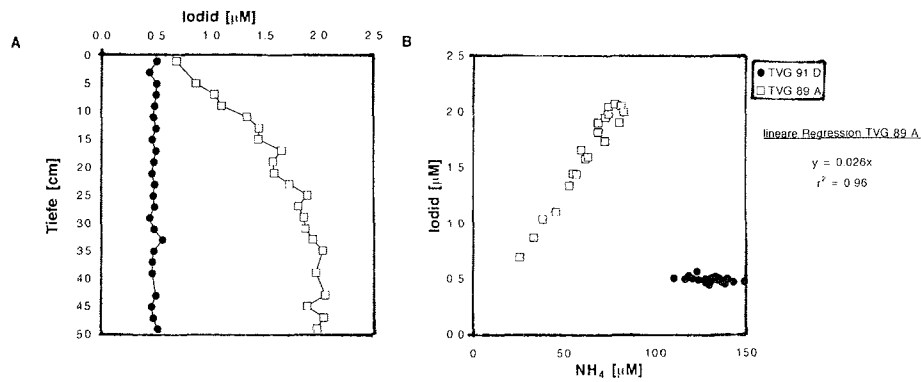


**Abbildung 5-39:** Ba im Porenwasser und im Sediment  
(Porenwasser: ICP-AES, Sediment: ICP-AES nach  
Aufschluß)

### 5.8 Freisetzung von Iodid aus der organischen Substanz

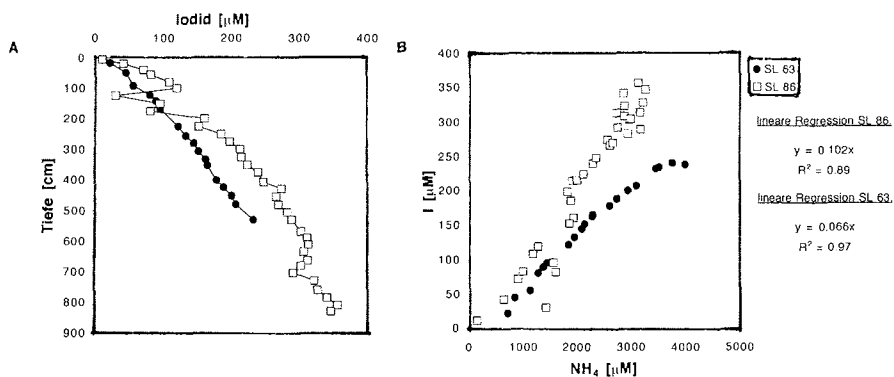
Die Iodid-Konzentration im Referenz-Kern TVG 89 A zeigt eine stete Zunahme mit der Tiefe, die mit der  $\text{NH}_4$ -Konzentration sehr gut korreliert (Abbildung 5-40). Damit ist dokumentiert, daß der POC-Abbau die Quelle ist (Magenheim & Gieskes 1992; You et al. 1994). Im Gegensatz dazu ist die Konzentration im hydrothermal beeinflussten Kern TVG 91 D über die Kernlänge konstant und weicht nur wenig von der Iod-Gesamt-Konzentration im Meerwasser ab ( $0.5 \mu\text{M}$ ; Elderfield & Truesdale 1980). Wie an anderer Stelle erwähnt (z.B. Kapitel 5.3.1) ist davon auszugehen, daß das Porenwasser dieses Kernes POC-Metaboliten aus größerer Tiefe enthält. Die niedrige Iodid-Konzentration zeigt daher, daß das gesamte Sediment an der hydrothermalen Station auf Hook Ridge nicht mit Iod angereichert ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Redox-Bedingungen an der Austrittsstelle der Hydrothermal-Fluide permanent anoxisch sind und daher eine Iodid-Anreicherung an der Sediment-/Wasser-Grenzschicht verhindert wird. Die Iodid-Konzentration von  $0.5 \mu\text{M}$  ist deswegen ausschließlich auf die Reduktion von Meerwasser-Iodat zurückzuführen.

Die Schwerelote im King George Becken zeichnen sich durch sehr viel höhere Iodid-Konzentrationen aus, wobei die Unterschiede zwischen dem rein diagenetisch geprägten Kern SL 86 und dem hydrothermal beeinflussten Kern SL 63 nicht sehr groß sind (Abbildung 5-41 A). Die Iodid-Konzentration beider Kerne korreliert über die gesamte Kerntiefe ebenfalls gut mit  $\text{NH}_4$



**Abbildung 5-40:** A: Iodid-Konzentrationen in TVG-Stationen auf Hook Ridge  
B: Korrelation von Iodid mit  $\text{NH}_4$  als Maß für den POC-Abbau

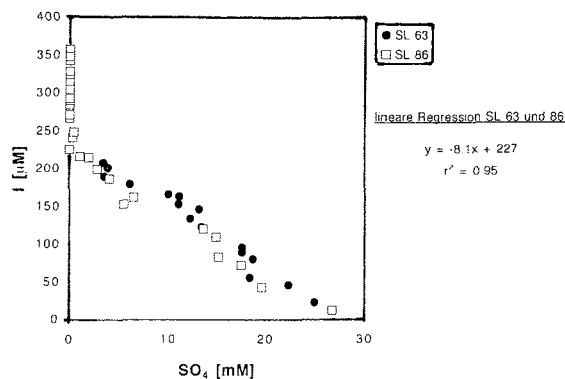
(Abbildung 5-41 B). Dies bestätigt, daß die Iodid-Freisetzung auch im Kern SL 63 nur aus der Organik erfolgt. Eine zusätzliche Freisetzung aus der anorganischen Sedimentmatrix infolge hydrothormaler Einwirkung kann ausgeschlossen werden, da die Steigung für den SL 63 geringer ist als für den Referenz-Kern. Die Unterschiede in der Steigung des  $\text{NH}_4/\text{I}$ -Verhältnisses spiegeln direkt unterschiedliche Iod-Gehalte in der organischen Substanz wieder (Magenheim & Gieskes 1992). Im Falle des SL 63 ist die geringere Steigung auf den Übergang zu terrigenem Sediment ab 3.2 m zurückzuführen (Kapitel 5.2.4), da terrigenes POC im Vergleich zu marinem POC wesentlich geringere Iod-Gehalte aufweist (Muramatsu & Wedepohl 1998).



**Abbildung 5-41:** A: Iodid-Konzentrationen in SL-Stationen des King George Beckens  
B: Korrelation von Iodid mit  $\text{NH}_4$  als Maß für den POC-Abbau



Die Korrelation mit  $\text{SO}_4$  als POC-Metaboliten zeigt, daß in beiden Kernen die Iodid-Freisetzung mit der Sulfatreduktion gekoppelt ist (Abbildung 5-42). Das Auftreten von Iodid in Abwesenheit von  $\text{H}_2\text{S}$  kann nur mit dem von Francois (1987b) vorgeschlagenen Mechanismus der Thiosulfat-Reduktion erklärt werden. Der Konzentrationsanstieg im SL 86 unterhalb der Sulfatreduktionszone belegt, daß die Iodid-Freisetzung auch nach einem anderen als den bisher vorgeschlagenen Mechanismen möglich ist (vgl. Kapitel 4.3).



**Abbildung 5-42:** Korrelation von Iodid mit  $\text{SO}_4$  für die SL 63 und SL 86

Da mit den Korrelationen zu den POC-Metaboliten  $\text{NH}_4$  und  $\text{SO}_4$  gezeigt werden konnte, daß die Iodid-Konzentration keine hydrothermale Komponente enthält, ist eine Endmember-Berechnung mittels einer Extrapolation auf  $\text{Mg} = 0$  mM nicht zulässig, auch wenn ein Korrelationskoeffizient von 0.92 einen Zusammenhang zwischen beiden Elementen vortäuscht. Vergleiche mit publizierten Iodid-Konzentrationen sind daher nur sinnvoll, wenn eine Korrelation zu  $\text{NH}_4$  angegeben ist. You et al. (1994) haben die I/N-Verhältnisse für verschiedene Hydrothermalsysteme untersucht. Im Vergleich zu den Lokationen Guaymas Basin ( $5 \cdot 10^{-3}$ ), Escanaba Trough ( $19 \cdot 10^{-3}$ ) und Okinawa Trough ( $21 \cdot 10^{-3}$ ) weist das Porenwasser des King George Beckens (SL 86) ein extrem hohes I/N-Verhältnis auf ( $120 \cdot 10^{-3}$ ). Der große Unterschied zwischen den Lokationen kann nur auf unterschiedliche Iod-Gehalte zurückgeführt werden, da andere mögliche Faktoren, die die Iodid-Konzentration bestimmen - wie POC-Gehalt oder Diagenese-Stadium -, aufgrund der Normalisierung auf  $\text{NH}_4$  nicht in Betracht kommen.

Ein Grund für hohe Iod-Gehalte im Sediment ist der Anteil an Diatomeen an der Sedimentmatrix, die Iod aus dem Meerwasser um den Faktor 1.5 anreichern. Im Vergleich zu anderen Standorten ist das Sediment im King George Becken (südlich der Polarfront) zu einem höheren Anteil aus Diatomeen zusammengesetzt. Eine stärkere Anreicherung (bis Faktor 25) ist jedoch im Oberflächensediment zu verzeichnen. Kennedy & Elderfield (1987a) beschreiben einen Redox-Kreislauf von Iodat und Iodid, bei dem das

während der Diagenese ins Porenwasser gelangte Iodid durch Diffusion an die Oberfläche transportiert wird, wo es von suspendierter Materie wieder gebunden wird. Dieser Prozeß kann nur unter oxidischen Bedingungen stattfinden, da er über ein mikrobiell gebildetes Zwischenprodukt läuft. Hohe Iodid-Konzentrationen im Porenwasser können daher ein Hinweis darauf sein, daß an der beprobten Lokation stets oxidische Bedingungen im Bodenwasser geherrscht haben, die zu einer intensiven Iod-Anreicherung im Sediment geführt haben (Martin et al. 1993). Bioturbationsspuren in allen hemipelagisch abgelagerten Sedimentschichten der Schwerelote unterstützen diese Interpretation (vgl. Anhang 9.1).

Iodid ist der einzige Parameter im Porenwasser, der - abgesehen von einem hydrothermal beschleunigten POC-Abbau - keiner zusätzlichen Beeinflussung durch die hydrothermale Aktivität unterliegt. Nach Muramatsu & Wedepohl (1998) ist eine thermisch induzierte Iod-Freisetzung aus Sedimentgesteine erst nach einem späten Stadium der Diagenese und vor dem Einsetzen der Metamorphose ( $\geq 400^\circ\text{C}$ ) zu erwarten. Aus den Konzentrationsverläufen für Iodid wird deutlich, daß die Sedimente auch am Sediment/Krusten-Kontakt nicht einer so hohen Temperatur ausgesetzt sind.

## 5.9 Freisetzung von Bor aus den Sedimenten

In der nachfolgenden Diskussion wird nach einer kurzen Erläuterung zur pH- und Temperatur-Abhängigkeit der Bor-Konzentration und des Bor-Isotopenverhältnisses zunächst der Verlauf beider Parameter während der Diagenese betrachtet. Anschließend wird auf die verschiedenen Aspekte der hydrothermalen Mobilisierung von Bor aus den Sedimenten eingegangen, die sich sowohl in der Konzentration als auch im Isotopenverhältnis zeigen. Die Isotopie des Endmembers erlaubt Aussagen über die Temperaturbedingungen in den basalen Sedimenten.

### 5.9.1 Einfluß von pH und Temperatur auf Bor-Konzentration und Bor-Isotopie

Wegen der pH- und T-Abhängigkeit der Adsorption von Bor an Mineraloberflächen sind bei der Probenahme Änderungen der Konzentration und des Isotopenverhältnisses im Porenwasser möglich. Von einigen Autoren werden daher Artefakte bei der Porenwasser-Gewinnung aufgrund von Abweichungen des pH und der Temperatur gegenüber den *in situ*-Werten diskutiert (You et al. 1996b; Kopf et al. 2000). Anders als bei ODP-Proben, auf die sich die zitierten Autoren beziehen, wurde bei der hier beschriebenen Probenahme (Kapitel 3.2) die Preßtemperatur der *in situ*-Temperatur weitestgehend angepaßt, so daß eine Desorption aufgrund von Erwärmung ausgeschlossen werden kann. Die Versuche von You et al. (1996b) belegen, daß bei Temperaturen zwischen 0 und  $50^\circ\text{C}$  keine relevante Änderung des Adsorptionskoeffizienten aufgrund einer Temperaturänderung festzustellen ist; in diesem Temperaturbereich hat die Änderung des pH-Wertes einen größeren Einfluß. Die Änderung des Adsorptionskoeffizienten aufgrund einer möglichen pH-Änderung während der Porenwasser-Abtrennung ist bei pH-Werten von

7 bis 8 jedoch ebenfalls nicht signifikant (You et al. 1993b). Da die *in situ*-Temperatur innerhalb der Beprobungstiefe der hier betrachteten Schwerelot-Kerne mutmaßlich nicht größer als 50°C ist und beim möglichen Abkühlen der Proben der pH sich nicht wesentlich ändert, ist eine Korrektur der Bor-Konzentration nicht notwendig.

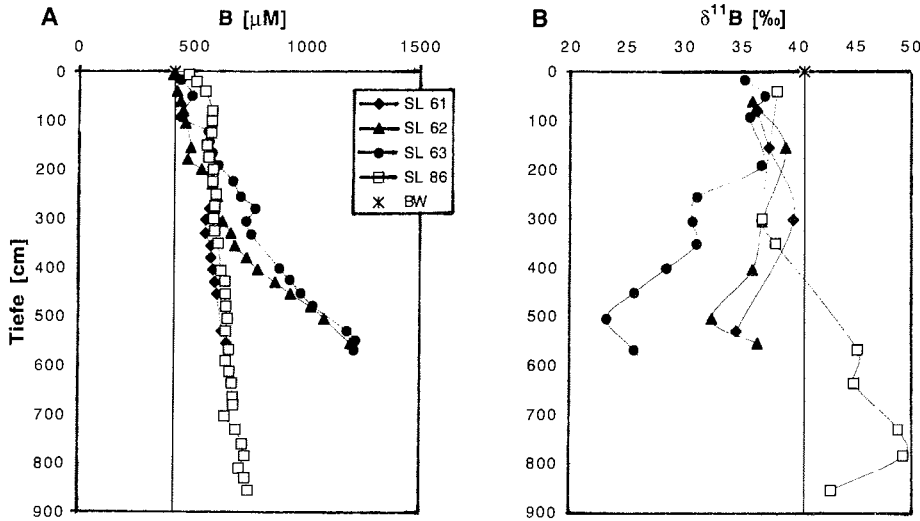
Die B-Konzentration im Bodenwasser des MIC 55 (Oberflächenprobe an derselben Lokation wie SL 86) beträgt 420 µM und entspricht dem in der Literatur angegebenen Wert für Meerwasser (Spivack & Edmond 1987; Kopf et al. 2000). Der  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert beträgt 40.6 ‰ und liegt damit zwischen dem publizierten Mittelwert für Meerwasser bei pH 8.2 (39.5 ‰, Spivack & Edmond 1987) und für Porenwasser bei pH 7.8 (41.5 ‰; Kopf et al. 2000). Diese Abweichung beruht darauf, daß bei dem im Vergleich zu Meerwasser niedrigeren pH-Wert des Bodenwassers (pH 7.8) der Anteil von  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  an der Gesamt-Konzentration geringer ist und daher weniger Bor an Partikeln adsorbiert wird. Dadurch wird weniger leichtes  $^{10}\text{B}$  aus dem Meerwasser entfernt und das verbleibende B wird schwerer (Hemming & Hanson 1992; Kopf et al. 2000).

### 5.9.2 Diagenetische Effekte im Referenz-Kern

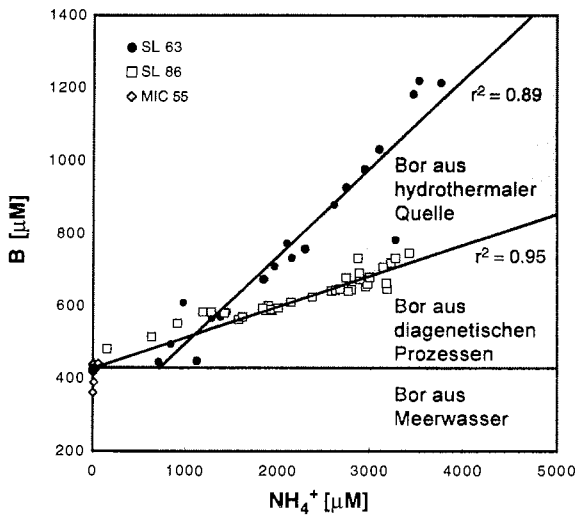
Im Referenz-Kern SL 86 ist zunächst ein geringer Konzentrationsanstieg von Bor zu verzeichnen (600 µM bis 4 m), der einher geht mit einer Abnahme des  $\delta^{11}\text{B}$  bis ca. 35 ‰ (Abbildung 5-43).

Beide Beobachtungen sind im wesentlichen auf die Zersetzung organischer Substanz und die Desorption von  $^{10}\text{B}$  von Oberflächen organischen oder anorganischen Materials zurückzuführen (Brumsack & Zuleger 1992; You et al. 1993a; You et al. 1993b). Von You et al. (1993a) werden nahezu identische Werte im ODP Site 808 gemessen (3 m, 640 µM, 35 ‰). Unterhalb von 5 m ist ein weiterer Anstieg der Konzentration bis 750 µM und ein Anstieg des  $\delta^{11}\text{B}$  auf Werte zu beobachten, die deutlich positiver sind als das Bodenwasser (49 ‰). Positive Anomalien im  $\delta^{11}\text{B}$  sind mit Adsorption von  $^{10}\text{B}$  an Mineralen, besonders an vulkaniklastischen Sedimenten bzw. Aschenlagen zu erklären (Brumsack & Zuleger 1992; Leemann & Sisson 1996). Gegen eine solche Interpretation spricht zunächst die weitere Konzentrationszunahme im Porenwasser. Da jedoch im Kern SL 86 in knapp 4 m Tiefe die mächtigste Aschenlage aller beprobten Sedimente gefunden wurde (13 cm), ist ein Zusammenhang hiermit sehr wahrscheinlich. Die Konzentrationserhöhung läßt sich damit erklären, daß nur ein geringer Teil des freigesetzten Bors an den Aschepartikeln adsorbiert wird.

Der Fazieswechsel im Kern SL 63 (Übergang zu terrigenem Sediment bei 320 cm) trägt möglicherweise zur Konzentrationserhöhung im Porenwasser dieses Kernes bei, da dieses allgemein einen höheren Bor-Gehalt aufweist als biogenes Opal, das einen Großteil der darüberliegenden Sedimentsäule bildet (Leemann & Sisson 1996). Dieser Beitrag ist jedoch als nicht besonders groß einzustufen, da sich im SL 62 gleich hohe Konzentrationen in einem rein diatomeen-geprägten Sediment einstellen.



**Abbildung 5-43:** Bor-Konzentrationen (A) und Bor-Isotopenverhältnisse (B) in Porenwässern und einer Bodenwasser-Probe (BW) des King George Beckens (MIC 55: selbe Lokation wie SL 86). Der jeweilige Bodenwasser-Wert ist über die Beprobungstiefe mit einer Linie gekennzeichnet.



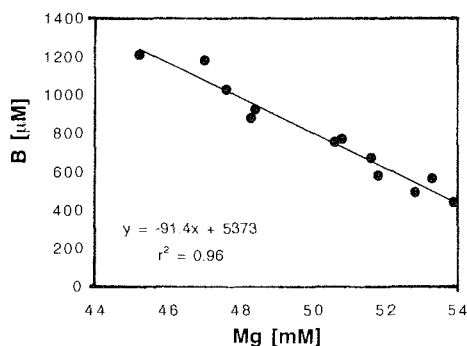
**Abbildung 5-44:** Korrelation zwischen Bor- und  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen im Porenwasser zur Bestimmung des diagenetisch (SL 86 und MIC 55) und des hydrothermal (SL 63) freigesetzten Bors.

### 5.9.3 Hydrothermale Bor-Freisetzung aus den Sedimenten im King George Becken

In den Kernen SL 61 bis 63 nimmt die Bor-Konzentration mit der Kerntiefe zu und der Isotopen-Wert ab (Abbildung 5-43). Am deutlichsten ausgeprägt ist dieser Trend bei SL 63 mit einer maximalen Konzentration von ca. 1200  $\mu\text{M}$  und einem minimalen  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert von 23.3 ‰. Für SL 61 und SL 62 bleiben die  $\delta^{11}\text{B}$ -Werte größer als 32 ‰, die Konzentration nimmt im SL 61 nicht stärker zu als im Referenz-Kern.

In Abbildung 5-44 wird die genannte Korrelation von B und  $\text{NH}_4$  der Referenz-Kerne SL 86 und MIC 55 mit der für den hydrothermal beeinflussten Kern SL 63 verglichen. Aus dem molaren B/N-Verhältnis für die Referenz-Kerne von 0.085 ergibt sich die im Kern SL 63 auf POC-Abbau zurückzuführende Konzentration von B zu max. 380  $\mu\text{M}$  (bei ca. 4400  $\mu\text{M}$   $\text{NH}_4$ ). Die darüber hinausgehende Konzentrationszunahme von Bor (ca. 400  $\mu\text{M}$ ) ist auf eine hydrothermale Freisetzung zurückzuführen.

Die Konzentration des hydrothermalen Endmembers kann mittels einer Extrapolation auf  $\text{Mg} = 0$  mM bestimmt werden (Abbildung 5-45). Es ergibt sich eine Konzentration von  $5373 \pm 304$   $\mu\text{M}$ . Diese Konzentration ist sehr viel größer als bisher publizierte Endmember-Werte für Hydrothermal-Fluide an sediment-bedeckten Rücken (1550-2180  $\mu\text{M}$ ; Spivack et al. 1987; Palmer 1991; Campbell et al. 1994; Von Damm 1995).



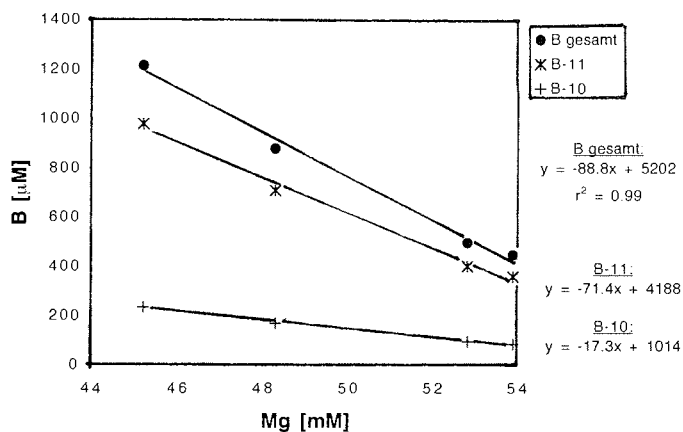
**Abbildung 5-45:** Bestimmung der Konzentration des hydrothermalen Endmembers mittels einer Korrelation zu Mg. Die Extrapolation auf  $\text{Mg} = 0$  mM ergibt 5373  $\mu\text{M}$  B.

Bei einer Phasenseparation reichert sich Bor gegenüber Cl bevorzugt in der Dampfphase an (Kapitel 5.6.2). In verschiedenen Experimenten wurden im Brine entsprechend erniedrigte B/Cl-Verhältnisse  $0.35 - 0.64 \cdot 10^{-3}$  gefunden (vgl. Meerwasser:  $0.76 \cdot 10^{-3}$ ; Bischoff & Rosenbauer 1987; Berndt & Seyfried 1990). Im SL 63 ist das gemessene B/Cl-Verhältnis in 568 cm Tiefe jedoch größer als für Meerwasser ( $2.1 \cdot 10^{-3}$ ) und für das berechnete Endmember der Brine-Phase (5373  $\mu\text{M}$  B, 704 mM Cl), deren Auftreten in der oberen Kruste

unterhalb des Kerns SL 63 postuliert wird, beträgt es sogar  $7.6 \cdot 10^{-3}$ . Es zeigt sich damit, daß der Einfluß der Phasenseparation gegenüber der Freisetzung von Bor aus den basalen Sedimenten zu vernachlässigen ist.

Für die hydrothermale Freisetzung gibt es prinzipiell zwei Mechanismen: Bor kann von Mineraloberflächen desorbiert werden oder es wird aus silikatischen Mineralen gelöst. Da die unterschiedlichen Bindungsformen verschiedene Isotopensignaturen besitzen, kann anhand des  $\delta^{11}\text{B}$ -Wertes die Quelle des Bors und damit die Reaktionstemperatur abgeschätzt werden. Adsorbiertes B, das schon bei relativ niedrigen Temperaturen (25-100°C) desorbiert, hat einen Wert von ca. 15 ‰, während in Tonmineralen gebundenes B erst bei höheren Temperaturen (> 150°C) aus den Gitterplätzen der Minerale herausgelöst wird und ein Isotopenverhältnis von -5 bis -10 ‰ hat (Spivack et al. 1987; You et al. 1995).

Um die Isotopensignatur des hydrothermalen Endmembers zu bestimmen, wird aus den gemessenen  $\delta^{11}\text{B}$ -Werten und den B-Konzentrationen die Konzentration der einzelnen Isotope berechnet. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 4-10 mit dem Isotopenverhältnis im Standard  $R_{\text{SRM}} = 4.0437$ . Anschließend werden die einzelnen Konzentrationen ebenfalls gegen Mg aufgetragen (Abbildung 5-46) und die Isotopensignatur für das Endmember (Mg = 0 mM) aus den Konzentrationen von  $^{11}\text{B}$  (4188  $\mu\text{M}$ ) und  $^{10}\text{B}$  (1014  $\mu\text{M}$ ) berechnet. Es ergibt sich ein  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert von 21.4 ‰. Da nicht für alle Tiefen, in denen  $\delta^{11}\text{B}$ -Werte bestimmt wurden, auch Mg-Konzentrationen gemessen wurden, kann die Berechnung nur anhand von vier Wertepaaren durchgeführt werden. Die mit diesen Daten ermittelte Endmember-Konzentration für die Bor-Gesamtkonzentration (5202  $\mu\text{M}$ ) liegt jedoch innerhalb des Fehlerbereiches des in Abbildung 5-45 bestimmten Endmembers ( $5373 \pm 304 \mu\text{M}$ ), so daß die Abschätzung der Endmember-Konzentrationen der einzelnen



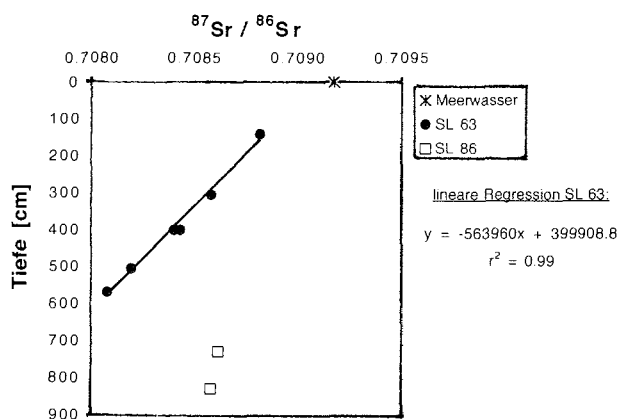
**Abbildung 5-46:** Bestimmung der Konzentration der B-Isotope B-11 und B-10 im hydrothermalen Endmember mittels einer Korrelation zu Mg.

Isotope trotz der geringeren Datendichte verlässlich ist. Die berechnete Endmembersignatur belegt, daß Bor lediglich von Mineraloberflächen desorbiert wird, jedoch keine Freisetzung aus dem Mineralgitter erfolgt. Hieraus folgt wiederum, daß die Temperatur der basalen Sedimente nicht größer als 150°C ist. Aufgrund der sehr hohen Konzentration ist jedoch eine Temperatur nicht wesentlich darunter zu erwarten.

Die Ventfluide des Guaymas Basin haben  $\delta^{11}\text{B}$ -Werte, die denen des hier bestimmten Endmembers entsprechen (16.5 - 23.2 ‰, Spivack et al. 1987). Porenwässer der Sedimente im Escanaba Trough, die mit einem basaltischen Lagergang in Kontakt stehen, haben eine deutlich niedrigere Isotopensignatur und auch die Hydrothermal-Fluide dieser Lokation weisen niedrigere Werte auf als die des Guaymas Basin (10.1-11.5; Campbell et al. 1994). Diese Vergleiche zeigen, daß die Geochemie der Fluide im Escanaba Trough wesentlich stärker von hoch-temperierten Lösungsprozessen aus den Gesteinen (Kruste bzw. Intrusionen) geprägt ist, während im Guaymas Basin und im King George Becken niedrig-temperierte Wechselwirkungen mit den Sedimenten dominieren.

### 5.10 Leaching von Strontium aus den Basalten

Die Strontium-Isotopie wird im folgenden angewendet, um Aussagen über die Quelle der Fluide machen zu können. Die Reaktion der Hydrothermal-Fluide mit der Kruste in der Reaktionszone und die Fluid/Sediment-Wechselwirkung in der darüberliegenden Sedimentsäule werden von diagenetischen Reaktionen in der Sedimentsäule abgegrenzt. Die Ergebnisse der Isotopenanalysen sind in Abbildung 5-47 dargestellt.



**Abbildung 5-47:** Strontium-Isotopenverhältnisse in den Kernen SL 63 und SL 86 sowie für Meerwasser (0.709175; Paytan et al. 1993)

Da Sr-Isotopenverhältnisse nicht nur Interpretationen bzgl. der Quelle sondern auch Aussagen über das Alter der Probe ermöglichen, muß zunächst ausgeschlossen werden, daß der gemessene Wert ein fossiles Signal trägt. Das Alter des Sedimentes ist max. 13000 a (Kapitel 5.2.5) und würde daher lediglich eine nicht meßbare Abweichung vom rezenten Meerwasser-Wert verursachen. Aufgrund der jungen Genese der Bransfield Straße ist es sehr unwahrscheinlich, daß fossile biogene oder anorganische Minerale für die niedrigen Sr-Isotopenverhältnisse verantwortlich sind, da sich für ein Isotopenverhältnis von 0.7086 (SL 86, tiefste Probe) ein Alter von 18 Ma ergibt (Paytan et al. 1993).

### 5.10.1 Diagenetische Alteration von vulkanischen Aschen

Im Folgenden soll zunächst geklärt werden, worauf die vom Meerwasser-Wert negativ abweichende Signatur des Referenz-Kerns SL 86 (0.708622 bzw. 0.708586) zurückzuführen ist. Wie aus anderen analysierten Porenwasser-Bestandteilen geschlossen werden kann, ist dieser Kern durch Diagenese dominiert (z.B. DOC und dessen  $\delta^{13}\text{C}$ , Bor-Konzentration und  $\delta^{11}\text{B}$ ). Die in allen Kernen der Bransfield Straße abgelagerten Aschenlagen unterliegen ebenfalls diagenetischen Alterationsreaktionen. Das vulkanische Material besitzt (analog zur Kruste) ein niedriges Sr-Isotopenverhältnis und kann daher das Isotopenverhältnis im Porenwasser prägen (Elderfield & Gieskes 1982; Elderfield et al. 1990). Der Einfluß der Aschen ist jedoch nicht nur auf die Aschenlagen beschränkt, da Aschepartikel über die gesamte Kernlänge dispers verteilt vorliegen. Im Kern SL 68, der bisher auf seinen Gehalt an vulkanischen Gläsern detailliert untersucht wurde, beträgt der Prozentsatz am gesamten Sediment - ohne die ausgewiesenen Aschenlagen - im Mittel ca. 40 % (S. Fretzdorff, pers. Mittlg.). Dieser Kern liegt sehr nahe an der vulkanisch aktiven Insel Deception Island. Mit zunehmendem Abstand hierzu ist für die Kerne SL 86 und SL 61-63, deren Aschenlagen noch nicht näher untersucht wurden, eine Abnahme des Gehaltes an Aschepartikeln zu erwarten. Ein Hintergrund-Gehalt von ca. 10 % erscheint realistisch (S. Fretzdorff, pers. Mittlg.). Barrett et al. (1986) und Martin et al. (1996) belegen, daß bereits 4-7 % vulkanisches Material im Sediment ausreichen, um das Sr-Isotopenverhältnis auf 0.7088-0.7089 zu erniedrigen. Sowohl der Anteil vulkanischer Gläser im Sediment als auch der Sr-Gehalt der Vulkanite der Bransfield Straße sind etwas höher gegenüber dem von Barrett et al. (1986) und Martin et al. (1996) untersuchten Material, so daß sich das geringere Sr-Isotopenverhältnis von 0.7086 hinreichend mit der Alteration der Aschepartikel im Sediment erklären läßt.

Zur Erklärung des vom Meerwasser-Wert stärker abweichenden Isotopensignals im Kern SL 63 (bis 0.7081) müssen andere Mechanismen herangezogen werden, da dieser Kern gegenüber SL 86 nicht durch eine größere Anzahl Aschenlagen gekennzeichnet ist, so daß eine Wechselwirkung des Porenwassers mit dem vulkanischen Material im Sediment das gemessene Profil nicht allein erklären kann. Das niedrige Sr-Isotopenverhältnis in der Tiefe des Kerns SL 63 muß daher auf Wechselwirkungen des Porenwassers



mit der oberen Kruste oder magmatischen Intrusionen als Träger nicht-radiogener Signatur zurückzuführen sein.

### 5.10.2 Isotopensignatur der Kruste und des hydrothermalen Endmembers

Von Keller et al. (1991) wurden die Isotopenverhältnisse in verschiedenen magmatischen Gesteinen der Bransfield Straße untersucht und ein Wert von etwa 0.7034 (bis maximal 0.7043) ermittelt, der auf eine Beimischung von 0.5 bis 2 % Sediment von der subduzierten Platte zum Mantelmaterial schließen läßt. Da das Sr-Isotopenverhältnis des Porenwassers mit der Tiefe abnimmt, ist auszuschließen, daß die Kruste unterhalb der Sedimente eine kontinentale Sr-Isotopensignatur (d.h. > 0.709) trägt, wie dies aufgrund der tektonischen Rahmenbedingungen durchaus denkbar wäre (vgl. Kapitel 2.2, Keller et al. 1991).

Von Gieskes et al. (1982b) wird angegeben, daß die hydrothermale Wechselwirkung zu einer weitgehenden Gleichgewichtseinstellung zwischen dem Sr-Isotopenverhältnis der Kruste und des Porenwassers führt. Die Intensität der Austauschreaktion und damit die Angleichung der Sr-Signaturen der Festphase und des Fluids ist vom Wasser/Gesteins-Verhältnis und der Temperatur abhängig. Mit zunehmendem Isotopenaustausch nimmt das Porenfluid, das ursprünglich eine Meerwasser-Zusammensetzung trägt,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte an, die mit denen der Gesteine annähernd identisch sind (Von Damm et al. 1985a). Dieser Zusammenhang läßt vermuten, daß der  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert der Porenfluide, die mit der oberen Kruste in der Bransfield Straße in Kontakt stehen (hydrothermales Endmember), dem der untersuchten magmatischen Gesteine entspricht. Eine Endmember-Bestimmung mittels Extrapolation auf  $\text{Mg} = 0 \text{ mM}$  ist leider nicht möglich, weil es aufgrund der geringen Anzahl der Messungen und der Tatsache, daß nicht für jede Tiefe eine Mg-Konzentration bestimmt wurde, nur zwei Wertepaare mit beiden Parametern gibt. Es wird daher eine lineare Regression des Sr-Isotopenverhältnisses über die Tiefe vorgenommen (Abbildung 5-47) und das Endmember in einer Tiefe von 37 m, d.i. am Kontakt Sediment/Kruste (Kapitel 5.6.3) bestimmt. Diese Vorgehensweise ist zulässig, weil sich anhand der anderer Parameter (z.B. Mg, Cl) zeigt, daß der Transport diffusionskontrolliert ist und weil die Änderung des Sr-Isotopenverhältnisses in einem Porenfluid analog zu Konzentrationsänderungen behandelt werden kann (Castrec et al. 1996). Es ergibt sich ein Endmember-Wert von 0.7028, der in sehr guter Übereinstimmung mit den Sr-Isotopen für magmatische Gesteine der Seamounts in der Bransfield Straße steht (0.7030-0.7035; Keller et al. 1991).

### 5.10.3 Fluid/Sediment-Wechselwirkungen

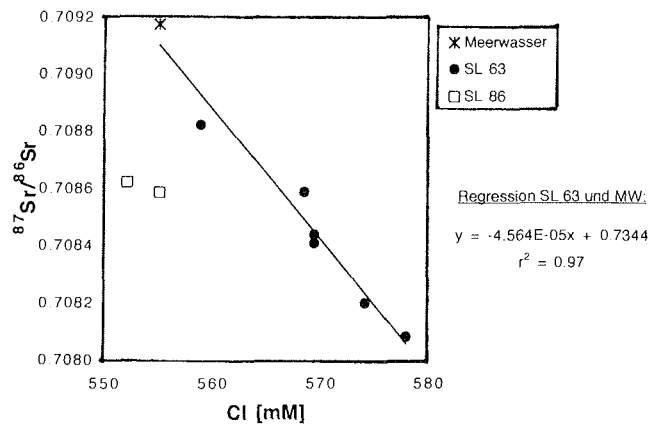
Der Wert des hydrothermalen Endmembers fällt damit innerhalb der Variation von Isotopenverhältnissen von Hydrothermal-Fluiden sediment-freier Rücken (0.7028-0.7047; Palmer 1992; Von Damm et al. 1985a), wohingegen an sediment-bedeckten Fluidaustrittsstellen eine entsprechende Signatur

anschließend durch Wechselwirkungen der Fluide mit den aufliegenden Sedimenten alteriert wird (Von Damm et al. 1985b), so daß die hydrothermalen Fluide hier Isotopenverhältnisse haben, die zwischen denen der heißen Hydrothermal-Fluide und dem Sediment liegen ( $> 0.7056$ ). Da die Sr-Konzentration dieser Fluide allgemein höher ist als an sediment-freien Rücken (bis  $> 300 \mu\text{M}$ ), ist nicht davon auszugehen, daß die gegenüber den Basalten schwereren Werte lediglich auf eine unvollständige Reaktion von Meerwasser mit der Kruste zurückzuführen sind (Von Damm et al. 1985b; Werte aus dem Guaymas Basin von Gieskes et al. 1982a).

Neben dem Guaymas Basin wurde bisher nur an einem weiteren sedimentbedeckten Rücken, dem Escanaba Trough, Porenfluide auf ihre Sr-Isotopie untersucht. Hier wurden sehr hohe Werte von 0.7093 bis 0.7099 gemessen (Campbell et al. 1994), die deutlich darauf schließen lassen, daß eine Reaktion vornehmlich mit den radiogenen Sedimenten stattgefunden hat und daß der Einfluß der Basalte demgegenüber zu vernachlässigen ist (James et al. 1999). Ein solcher Prozeß ist für die Sedimente der Bransfield Straße in guter Übereinstimmung mit den Befunden der Bor-Geochemie (Kapitel 5.9.3), die Sr-Geochemie ist hingegen eindeutig von Wechselwirkungen mit vulkanischem Material geprägt.

Die Sr-Konzentration des SL 63 zeigt allerdings keine Konzentrationszunahme mit der Tiefe (vgl. Anhang 9.3) wie sie bei einer Sr-Freisetzung in der Reaktionszone zu erwarten ist (Elderfield & Gieskes 1982). Aufgrund der abnehmenden Sr-Konzentration (Konzentrationsabnahme auf  $< 70 \mu\text{M}$  in 5.7 m) muß vielmehr eine Ausfällung von Sr-haltigen Mineralen unterhalb von 3 m festgestellt werden. Bei der Ausfällung von Sr-haltigen Mineralen kommt es nicht zu einer Fraktionierung, weil die relative Massendifferenz der Isotope zu gering ist (Paytan et al. 1993; Banner 1995), so daß das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Tiefenprofil hiervon unbeeinflusst bleibt. Um zu überprüfen, ob es sich bzgl. der Sr-Isotopie um ein Zwei-Komponenten-System handelt, kann daher das Sr-Isotopenverhältnis gegen Cl aufgetragen werden, weil Cl nicht an diagenetischen Reaktionen teilnimmt (Martin et al. 1996). Abbildung 5-48 bestätigt anhand eines streng linearen Zusammenhanges zwischen beiden Parametern eine Zwei-Komponenten-Mischung, die nur bzgl. der Konzentration durch eine Sekundärreaktion überprägt ist.

Aus der Regressionsgerade kann als zusätzliche Information die Cl-Konzentration für das potentielle hydrothermale Endmember berechnet werden. Aus den o.g. Isotopenwerten (0.7030-0.7035) ergibt sich eine Konzentration von 677-688 mM Cl, die zwischen dem in Kapitel 5.5.3 berechneten Endmember (704 mM) und dem aus der Betrachtung zur Phasenseparation angegebene Konzentration der korrespondierenden Brine-Phase (653 mM; Kapitel 5.5.4) liegt. Mit diesem Ergebnis ist eindeutig belegt, daß die bei der Phasenseparation in der oberen Kruste gebildete Brine-Phase bereits die Signatur der Kruste trägt und daher die Phasenseparation nach dem Leaching des Sr aus den magmatischen Gesteinen erfolgt.



**Abbildung 5-48:** Korrelation der Sr-Isotopenverhältnisse mit der Cl-Konzentration. Die Regression erfolgt für die SL 63-Porenwässer und Meerwasser (0.709175; Paytan et al. 1993).

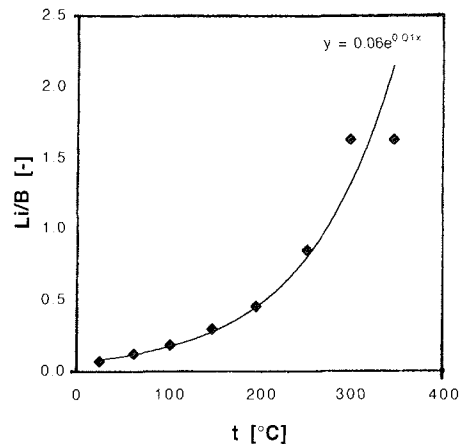
## 5.11 Temperaturen der basalen Sedimente im King George Becken

Die Einwirkung hoher Temperaturen auf das Sediment bzw. die Wechselwirkung mit heißen hydrothermalen Fluiden, die aus der Kruste in das Sediment übertreten, zeigt sich in verschiedenen Sedimentparametern. In diesem Kapitel werden die jeweils abgeleiteten Temperaturbereiche und Wärmestrom-Messungen diskutiert, um zu einer konsistenten Beschreibung des Hydrothermalsystems Bransfield Straße zu gelangen.

### 5.11.1 Geochemie von Lithium und Bor

Da sowohl Lithium als auch Bor zu einem Großteil aus dem Sediment gelöst werden und die Temperatur-Abhängigkeit für das Leaching beider Elemente verschieden ist, kann das Li/B-Verhältnis im hydrothermalen Endmember herangezogen werden, um Aussagen über die Temperaturbedingungen in den basalen Sedimenten zu machen.

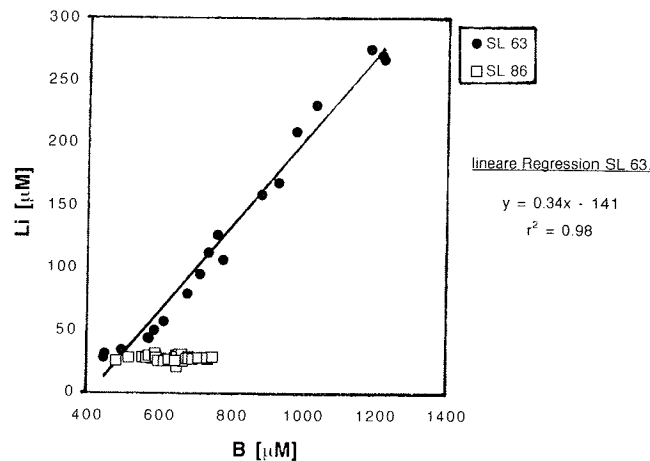
Während B schon ab 150°C gelöst wird, sind für Li höhere Temperaturen erforderlich. Chan et al. (1999) haben die Ergebnisse von Labor-Experimenten über das Lösungsverhalten von Li und B aus dem Sediment zusammengetragen. Mit den Li-Daten von Chan et al. (1994) und den B-Daten von You et al. (1995) kann eine exponentielle Beziehung zwischen dem Li/B-Verhältnis und der Temperatur aufgestellt werden (Abbildung 5-49).



**Abbildung 5-49:** Beziehung zwischen dem Verhältnis der Li- und der B-Konzentration in Extraktionsversuchen mit marinem Sediment und einer NaCl-CaCl<sub>2</sub>-Lösung bei 25-350°C und 800 bar (Chan et al. 1999; Daten aus Chan et al. 1994 und You et al. 1995). Es werden nur Daten berücksichtigt, die nach einer Gleichgewichtseinstellung von 3 Stunden erhoben wurden.

Im hydrothermal beeinflussten Kern SL 63 ist Lithium eng mit Bor korreliert (Abbildung 5-50), was vor allem darauf zurückzuführen ist, daß innerhalb des Kerns keine Temperaturen > 300°C auftreten, bei denen das Li/B-Verhältnis infolge der intensiven Lösung von Li stark ansteigt, und die Elemente bei niedrigen Temperaturen mit einem ähnlichen Mechanismus aus dem Porenwasser entfernt werden (Einbau in sekundäre Tonminerale).

Mit der Beziehung aus Abbildung 5-49 ergibt sich für ein Li/B-Verhältnis von ca. 0.32 im hydrothermalen Endmember (1715 µM Li, Kapitel 5.6.4 und 5373 µM B, Kapitel 5.9.3) eine Temperatur von ca. 170°C, während im Kern SL 63 ein maximales Li/B-Verhältnis 0.23 auftritt, aus dem sich eine Temperatur von ca. 130°C ableitet. Die berechneten Temperaturen geben jedoch nicht die *in situ*-Temperaturen an, da mit Laborexperimenten gezeigt werden konnte, daß nach Aufheizen einer Sedimentprobe bis 350°C (800 bar) eine maximale Konzentration von ca. 4 mM Li erreicht wird, die auch beim Abkühlen unter Druckentlastung auf Standardbedingungen (25°C, 1 bar) erhalten bleibt bzw. sich noch leicht erhöht (Chan et al. 1994). Dies ist damit zu begründen, daß der Einbau von Li in Sekundärminerale kinetisch gehemmt ist oder durch andere Faktoren verzögert wird (z.B. Konkurrenz durch andere Ionen, Mineralogie). Die aus den Experimenten abgeleitete Temperatur stellt daher eine Abschätzung der höchsten Temperatur dar, der die Sedimente ausgesetzt waren. Die Gesteine der Kruste als zusätzliche Quelle für Li führen darüberhinaus zu einer Erhöhung des Li/B-Verhältnisses



**Abbildung 5-50:** Korrelation der Li- mit der B-Konzentration im Porenwasser der Schwerelotkerne im King George Becken

gegenüber einer ausschließlichen Lösung aus den Sedimenten. Aufgrund dessen ist das Li/B-Verhältnis z.T. von den Temperaturen in der oberen Kruste geprägt. In den aufliegenden basalen Sedimenten ist die Temperatur jedoch niedriger. Aus diesem Grund stehen die Ergebnisse der Li/B-Geothermometrie nicht im Widerspruch zu den Erkenntnissen aus der Analyse der B-Isotopie, die Temperaturen von  $< 150^{\circ}\text{C}$  ergibt (Kapitel 5.9.3).

### 5.11.2 Weitere geochemische Daten

Die Untersuchungen der Hauptelement-Zusammensetzung von Kernen der Ausfahrt ANT-IV/2 (vgl. Kapitel 2.3) bzgl. der Wechselwirkung von Porenfluiden mit Basalten lassen ebenfalls auf eine niedrig-temperierte Alteration schließen und Han (1988) grenzt die Temperatur auf  $< 150^{\circ}\text{C}$  ein.

Auch die Analysen der Kohlenwasserstoffe, die von Whiticar et al. (1985), Whiticar & Suess (1990) und Brault & Simoneit (1990) an Kernen der Ausfahrten ANT-II/3 und ANT-IV/2 (vgl. Kapitel 2.3) vorgenommen wurden, zeigen den Einfluß erhöhter Temperatur (Kapitel 5.2.4) und sind in Übereinstimmung mit den o.g. Befunden. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur der Kohlenwasserstoffe deutet auf eine organische Quelle hin, die einem thermischen Streß ausgesetzt war, der unter Einfluß eines normalen geothermischen Gradienten erst in einigen tausend Metern Sedimenttiefe erreicht würde.

Eine hohe Temperatur erscheint insbesondere im Hinblick auf die Phasenseparation auf Hook Ridge angemessen, für die - in weniger als 10 km Entfernung -  $390^{\circ}\text{C}$  in der Kruste notwendig sind (Kapitel 5.5.4).

### 5.11.3 Wärmestrom-Messungen

Von Lawver et al. (1995) wurden Wärmestromdichten im King George Becken gemessen, die eine große Variationsbreite von 49 bis 626 mW/m<sup>2</sup> zeigen, wobei jedoch ca. 25 % größer als 220 mW/m<sup>2</sup> sind. Die höchsten Werte liegen nicht direkt auf der zentralen Riftachse, sondern nahe rezenten Verwerfungen, die offensichtlich den Wärmefluß begünstigen. Die sehr große Heterogenität der Daten, die keinerlei flächenhafte Verteilung erkennen läßt, unterstützt die Annahme, daß die lokale Ausbildung von Störungszonen entlang der Grabenstruktur, nicht nur für die Ausdehnung des Beckens (Barker & Austin 1998) sondern auch für den Wärmefluß entscheidend ist. Neben Störungszonen, die den Wärmetransport aufgrund erhöhter Permeabilität begünstigt, ist auch das Auftreten von basaltischen Intrusionen im Sediment von erheblichem Einfluß auf die räumliche Verteilung der Wärmestromdichten. Die in der Bransfield Straße vorliegenden Bedingungen sind sehr gut vergleichbar mit denen im Guaymas Basin, einem sedimentbedeckten Ausläufer des EPR in den Golf von Kalifornien, und im Escanaba Trough, einem sedimentbedeckten Rückensegment des Gorda Ridge, deren geochemische Daten ebenfalls große Ähnlichkeit mit der Bransfield Straße aufweisen. An beiden Lokationen werden räumlich äußerst begrenzte, sehr hohe Wärmestromdichten von bis zu 1250 mW/m<sup>2</sup> gemessen, während das umliegende Sediment Werte von 170-200 mW/m<sup>2</sup> aufweist (Gieskes et al. 1982b; Davis & Becker 1994). Die hohen Werte werden nahe vulkanischer Aktivität beobachtet und werden auf Lagergänge, die in das Sediment intrudiert sind, zurückgeführt. Im Escanaba Trough ist zusätzlich eine Erhöhung der Werte in der Mitte des axialen Tales festzustellen und die Extremwerte werden dem Ausströmen hydrothermalen Fluides in unmittelbarer Nähe zugeschrieben.

Der Vergleich mit den Daten für das Guaymas Basin und den Escanaba Trough zeigt, daß neben großflächigen, sich in der Bathymetrie abzeichnenden Strukturen, auch die kleinräumigen Strukturen von Intrusionen ins Sediment großen Einfluß auf die gemessenen Wärmestromdichten haben. Dieses führt zu einer Heterogenität der Daten, die es nicht erlaubt, Werte auf eine nahe gelegene Lokation zu extrapolieren. Die Probenahme der Kerne SL 61 bis 63 erfolgte in einer Zone akustischer Trübe, die vermutlich durch freies Gas im Sediment oder hydrothermale Prozesse verursacht wird (Ercilla et al. 1998). Innerhalb dieser Zone befinden sich zahlreiche intrusive, aber auch extrusive vulkanische Strukturen (Fütterer 1986), die z.T. sehr nahe an den beprobten Lokationen liegen (Han 1988). So wurde z.B. eine Sedimentbeprobung in ca. 1.5 km Entfernung SE von SL 63 durch anstehende Basalte verhindert (Fütterer 1984). Aufgrund des Auftretens zahlreicher Gänge und Störungszonen, durch die magmatisches Material aufsteigt, und der Nähe zur vulkanischen Erhebung Hook Ridge wird für die Station SL 63 eine Wärmestromdichte erwartet, die den hohen Werten im Guaymas Basin und im Escanaba Trough entspricht (>1000 mW/m<sup>2</sup>).

Mit den folgenden Betrachtungen werden die temperatur-relevanten Ergebnisse der Geochemie mit denen der Wärmestrom-Messungen verglichen.

Die Wärmeleitfähigkeit von Sediment liegt i.d.R. zwischen 1 und 1.5 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, wobei der Wert aufgrund der zunehmenden Konsolidierung mit der Tiefe zunimmt (Davis & Becker 1994; Pribnow et al. 2000). Nach Yalçın et al. (1997) läßt sich die Wärmeleitfähigkeit des feuchten Sedimentes aus dessen Bestandteilen wie folgt berechnen:

$$K_s = K_r \cdot \left( \frac{K_w}{K_r} \right)^\varphi \quad \text{Gleichung 5-5}$$

mit  $K_s$ : Wärmeleitfähigkeit des feuchten Sedimentes [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]  
 $K_r$ : Wärmeleitfähigkeit der festen Sedimentmatrix (hier: 2 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)  
 $K_w$ : Wärmeleitfähigkeit des Wassers (0.6 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)  
 $\varphi$ : Porosität des feuchten Sedimentes (hier: 0.5)

Mit den angegebenen Werten (aus Literaturdaten von K aus Yalçın et al. 1997) ergibt sich in erster Näherung eine Wärmeleitfähigkeit des Sedimentes von 1.1 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Dies ist in guter Übereinstimmung mit dem von Pribnow et al. (2000) genannten Werte für Sedimente bis 50 m Mächtigkeit an der Flanke des Endeavour Segments (0.8 - 1.2 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

Die gemessene Wärmestromdichte ergibt sich damit aus (Poelchau et al. 1997):

$$j = K \cdot \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \quad \text{Gleichung 5-6}$$

mit  $j$ : Wärmestromdichte [Wm<sup>-2</sup>]  
 $K$ : Wärmeleitfähigkeit des Materials (hier: 1.1 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)  
 $x_2, x_1$ : Sedimenttiefe [m]  
 $T_2, T_1$ : Temperatur in der Tiefe ( $x=x_2$ ) bzw. an der Sedimentoberfläche ( $x=x_1$ ) [°C]

Wenn der vertikale Fluidfluß durch das Sediment klein ist und sich die Sedimentsäule im thermischen Gleichgewicht befindet (*steady state*), kann man die Basement-Temperatur durch Extrapolation der Wärmefluß-Daten abschätzen (Davis & Becker 1994).

Mit  $x_1 = 0$  m und  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  erhält man für Gleichung 5-6:

$$T_2 = j \cdot \frac{x_2}{K} \quad \text{Gleichung 5-7}$$

Für das King George Becken mit einer Sedimenttiefe von 200-300 m und Wärmestromdichten von 200-600 mW/m<sup>2</sup> ergibt sich daraus eine Temperatur am Kontakt zur Kruste von 35-165°C. Mittlere Werte liegen damit im Bereich von Temperaturen, die im Escanaba Trough und an der Flanke des Endeavour Segments bestimmt wurden (60-80°C bei 200-600 m Sediment; Davis & Becker 1994; Pribnow et al. 2000). Im Gegensatz dazu beträgt die *in situ*-Temperatur im Guaymas Basin in 240 m Tiefe mehr als 200°C (DSDP sites 477; Gieskes et al. 1982a).

Die aus den geochemischen Daten abgeleitete Temperatur der basalen Sedimente an der Station SL 63 ( $\leq 150^\circ\text{C}$ ) erzeugt bei einer Sedimentdicke von ca. 37 m (Kapitel 5.6.3) nach Gleichung 5-7 eine Wärmestromdichte von  $\leq 4400 \text{ mW/m}^2$ . Dieser Wert ist wesentlich höher als die im King George Becken und an vergleichbaren Lokationen gemessenen Maximalwerte. Einen ähnlichen Widerspruch zwischen geringen gemessenen Wärmestromdichten und hohen Temperaturen der Ventfluide beschreiben Davis & Becker (1994) für den Escanaba Trough und diskutieren zwei verschiedene Hypothesen: In der ersten Hypothese gehen die Autoren davon aus, daß ein starker Fluidfluß in der Kruste und fokussiertes Venting zu einem Wärmeverlust führt, ohne daß dabei die Sedimente erhitzt werden. Diese Erklärung kann für die Sedimente im King George Becken nicht zutreffen, weil die hohen Konzentrationen im postulierten basalen Endmemberfluid gerade eine starke Erwärmung der Sedimente verlangen. Neuere Untersuchungen im Escanaba Trough erklären die hohen Porenwasser-Konzentrationen von Alkalielementen und Bor ebenfalls durch intensive Wechselwirkung mit erhitzten Sedimenten, die Lagergängen benachbart sind (James et al. 1999). Diese Autoren postulieren für ihr Modell, daß an der Basalt/Sediment-Grenzfläche in 350 m Tiefe ein Fluid mit ca.  $350^\circ\text{C}$  in die Sedimentsäule eintritt, entsprechend der Temperatur von Hydrothermal-Fluide an sediment-freien Rücken des EPR. Abseits von fokussiertem Ausstrom ist daher sowohl im King George Becken als auch im Escanaba Trough die zweite von Davis & Becker (1994) aufgestellte Hypothese zutreffend. Diese besagt, daß sich das Sediment in einem thermischen Übergangszustand befindet. Ebenso wie die geochemisch abgeleitete Temperatur liefert die Abschätzung des Wärmeflusses nur unter der Annahme eines *steady state* korrekte Werte. Rezenter Vulkanismus hingegen verursacht ein thermisches und geochemisches Ungleichgewicht zwischen den basalen Sedimenten und dem Oberflächensediment (bzw. den entsprechenden Porenwässern). Für den Escanaba Trough wird diskutiert, daß der Zeitpunkt der magmatischen Aktivität noch nicht lange genug zurück liegt, um einen meßbaren Effekt auf die an der Sedimentoberfläche gemessene Wärmestromdichte haben zu können. Für das King George Becken kann diese Erklärung so nicht gelten, da bereits in 6 m Tiefe erhöhte Konzentrationen einiger Elemente gemessen werden. Weil molekulare Diffusionskoeffizienten im Vergleich zur thermischen Diffusivität um einen Faktor  $10^3$  kleiner sind, bleibt der Konzentrationsgradient über eine längere Zeitspanne aufrecht erhalten als der Wärmestrom. Daher muß der Zeitpunkt der magmatischen Intrusion, die das kurzzeitige, intensive Leaching bewirkt, mindestens so lange zurückliegen wie es zum Aufbau eines Konzentrationsgradienten bis zur Sedimentoberfläche braucht. In dieser Zeit kühlt die Hitzequelle sich jedoch so weit ab, daß an der Sedimentoberfläche (bei 0.1 m/a und 50 m nach 500 a) zwar ein erhöhter Wärmestrom gemessen wird, der jedoch nicht mehr der anfänglich auf das Sediment übertragenen Wärme entspricht.

Die Annahme eines *steady state*, die den geochemischen Betrachtungen zugrunde liegt, führt zu einer Diskrepanz beim Vergleich mit gemessenen Wärmestromdichten im Becken. Diese Messungen liefern deutlich niedrigere Werte als aufgrund der geochemisch abgeleiteten Temperatur ( $\leq 150^\circ\text{C}$ ) zu erwarten wäre. Die Widersprüchlichkeit ist auf den Einfluß vulkanischer



Aktivität zurückzuführen, die sowohl zu einer räumlichen Heterogenität der Wärmefluß-Daten als auch zu einer zeitlichen Differenz zwischen einem meßbaren Unterschied in der Porenwasser-Konzentration und der Temperatur führt. Wegen der sehr großen Unterschiede zwischen der thermischen Diffusivität ( $\sim 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) und der Diffusion ( $\sim 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) ist bei einer episodisch wirkenden Hitzequelle keine Übereinstimmung der gewonnenen Daten zu erzielen. Während die Wärmestrom-Messungen nur die augenblicklichen Bedingungen erfassen, liefern die geochemischen Untersuchungen eine Abschätzung der maximal aufgetretenen Temperaturen im basalen Sediment.

## 6 ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN

In dieser Arbeit wurden hydrothermal beeinflusste Sedimente an zwei Lokationen in der Bransfield Straße untersucht. Die hydrothermale Aktivität dieses tektonisch aktiven Randbeckens zwischen der Antarktischen Halbinsel und den vorgelagerten Süd-Shetland Inseln wurde anhand von Plumes in der Wassersäule und Kohlenwasserstoffanreicherungen in den Sedimenten des Beckens bereits in den 80er Jahren erkannt.

Auf der vulkanischen Erhebung Hook Ridge manifestiert sich der Fluidaustrom insbesondere anhand von Silikatpräzipitaten, die sich beim Kontakt der warmen, Si-reichen Fluide mit dem kalten Meerwasser bilden. Die hier beprobten Sedimente weisen eine maximale Temperatur von 48.6°C auf, wobei mit Gleichgewichtsberechnungen des Silikatsystems nachgewiesen werden konnte, daß die *in situ*-Temperatur nicht wesentlich von der an Deck gemessenen abweicht. Neben hohen Si-Gehalten weisen die Porenwässer der NBP-TVG 68 und 69 eine starke Abreicherung der Cl-Konzentration auf (442 mM, entsprechend 21 % der Meerwasser-Konzentration), die die Advektion eines niedrig-salinen Fluids anzeigt, das als die Dampfphase eines phasengetretenen Fluids interpretiert wird. Andere Prozesse, die ebenfalls die Cl-Konzentration erniedrigen würden (magmatische oder meteorische Wässer, Basalt-Alteration), können durch die Analyse der  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta\text{D}$ -Isotopenverhältnisse sowie des Br/Cl-Verhältnisses im Porenwasser ausgeschlossen werden. Erhöhte Gehalte von gelösten Gasen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) bzw. Spezies, die mit diesen im Gleichgewicht stehen ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$ ), sowie das Auftreten eines Cl-angereicherten Endmembers (704 mM) im basalen Sediment des Kerns SL 63 (am Fuße des Vulkans) sind weitere Indizien für eine Phasenseparation in der oberen Kruste. Die Bestimmung des hydrothermalen Endmembers erfolgt über eine Mischungsgleichung und eine Extrapolation der Sulfat-Konzentration auf 0 mM, da die Mg-Konzentration aufgrund des hydrothermalen Leachings aus den Sedimenten hierfür nicht geeignet ist. Es ergibt sich eine Konzentration von 84 bzw. 1 mM Cl, wobei die Differenz beider Methoden auf den großen Konzentrationsunterschied der sich mischenden Fluide zurückzuführen ist. Beide Endmemberkonzentrationen entsprechen einem Anteil von  $22 \pm 2$  % des Hydrothermal-Fluids am Porenwasser. Die Tiefe der Reaktionszone wird anhand des Zusammenhanges der p,T-Bedingungen bei der Phasenseparation und dem Salzgehalt der getrennten Phasen abgeschätzt und beträgt ca. 1450 m unterhalb Hook Ridge, d.h. die Phasenseparation findet bei ca. 390°C und 250 bar statt.

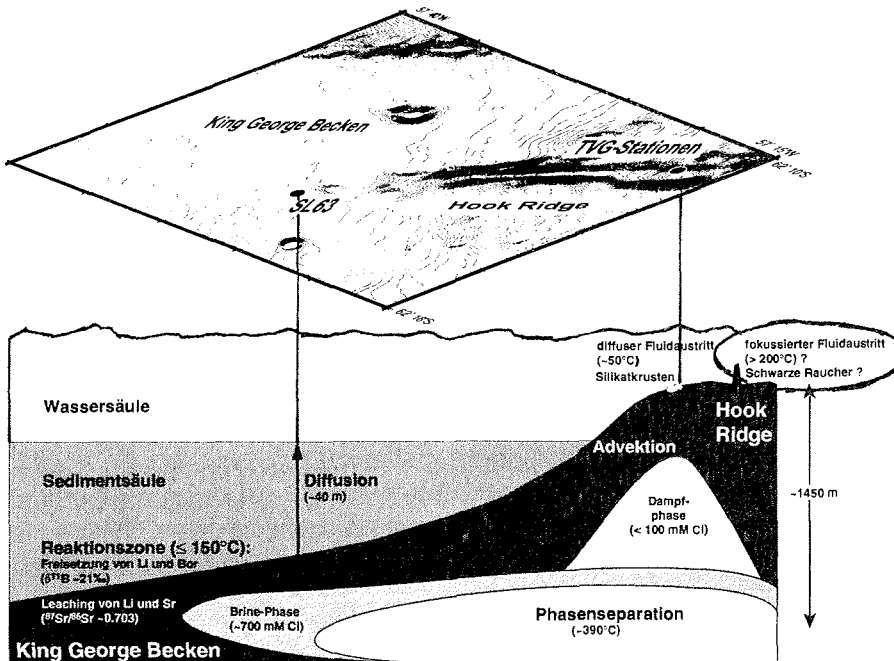
Der Kern SL 63, der direkt im Streichen der Rückenachse von Hook Ridge im nordöstlichen Teil des angrenzenden King George Beckens beprobt wurde, zeigt im unteren Kernbereich deutliche Anzeichen eines hydrothermalen Einflusses. Hierfür ist zunächst eine Kohlenwasserstoffanreicherung mit assoziierter Pyritausfällung zu nennen, die an der schwarzen Färbung des Sedimentes mit starkem Petroleumgeruch bereits bei der Probenahme zu erkennen ist. Ferner deuten zwei stark ausgebleichte Horizonte den Einfluß hydrothermalen Lösungen an. Die POC-Analyse des Sedimentes bestätigt beide Beobachtungen durch hohe Gehalte in der petroleumhaltigen Lage bzw. sehr niedrige Gehalte in den hellen Horizonten.

Die linearen Konzentrationsprofile von Elementen, die nicht an diagenetischen Reaktionen beteiligt sind, deuten deren Diffusion aus einer unterhalb der Beprobungstiefe liegenden Reaktionsschicht an. Die unmittelbare Nähe zum hydrothermal aktiven Vulkangebäude läßt vermuten, daß die Kruste an dieser Lokation sehr heiß ist und daß ein in der oberen Kruste zirkulierendes Hydrothermal-Fluid Auswirkungen auf die Porenwasser-Chemie in den basalen Sedimenten hat. Unter der Annahme, daß dieses Fluid frei von Magnesium ist und am Kontakt des Sedimentes mit der Kruste in die Sedimentsäule übertritt, kann mit der Extrapolation der Mg-Konzentration im Porenwasser des SL 63 auf 0 mM die Mächtigkeit des Sedimentes abgeschätzt werden. Die ungefähre Übereinstimmung der sich auf diese Weise ergebenden Tiefe von 37 m mit den Angaben einer Isopachenkarte (68 bis < 44 m) bestätigt die Annahme, daß das Porenwasser in den basalen Sedimenten die Signatur eines Endmember-Fluids trägt. Aufgrund dieser Voraussetzung können die Endmember-Konzentrationen von Lithium und Bor mittels einer Extrapolation auf 0 mM Mg berechnet werden. Es zeigt sich, daß sehr große Mengen Bor (5373  $\mu\text{M}$ ) bei der hydrothermalen Alteration der Sedimente freigesetzt werden, während Lithium zusätzlich aus den Gesteinen der Kruste gelöst wird (1715  $\mu\text{M}$ ). Für Cl wird ebenfalls eine Extrapolation vorgenommen und das salzreiche Endmember (704 mM) als korrespondierende Brinephase zur auf Hook Ridge beprobten Dampfphase interpretiert (s.o.).

Wichtige Hinweise für die Interpretation des Reaktionsgeschehens in den basalen Sedimenten und der oberen Kruste liefern die Analysen der Bor- und Strontium-Isotopen. Während die Bor-Isotopie Aufschlüsse über die Wechselwirkungen mit den Sedimenten liefert, weil es in diesen sehr stark angereichert ist, spiegelt die Strontium-Isotopie die Signatur des Fluids im Kontakt mit den Gesteinen. Aufgrund unterschiedlicher isotopischer Signaturen und der Temperaturabhängigkeit der Freisetzung von adsorbiertem bzw. gittergebundenem Bor kann eine Abschätzung der Temperatur in der Reaktionszone oberhalb der Kruste vorgenommen werden. Die Berechnung der Isotopensignatur des hydrothermalen Endmembers liefert einen  $\delta^{11}\text{B}$ -Wert von 21.4 ‰, der belegt, daß in den basalen Sedimenten Temperaturen von  $\leq 150^\circ\text{C}$  herrschen. Der lineare Verlauf des  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertes über die gesamte Sedimentsäule erlaubt die Extrapolation auf den Sediment/Krusten-Kontakt in ca. 37 m. Es ergibt sich eine Endmembersignatur von 0.7028, die der Sr-Isotopie von magmatischen Gesteinen aus der Bransfield Straße etwa entspricht. Diese Übereinstimmung belegt, daß das Porenwasser in den basalen Sedimenten im isotopischen Gleichgewicht mit den Gesteinen der Kruste steht.

Die Untersuchungen der Porenwässer auf Hook Ridge und im King George Becken zeigen, daß beide Lokationen von der hydrothermalen Aktivität in der oberen Kruste beeinflusst sind und zusammen eine detaillierte Interpretation des Gesamtsystems ermöglichen. Insbesondere die postulierte Phasenseparation, die anhand der Cl-Abreicherungen in den Porenwässern auf Hook Ridge abgeleitet werden kann, bietet eine - gegenüber bisherigen Publikationen - neue Sichtweise, mit der die Geochemie der Kerne im King George Becken betrachtet werden kann. In vielen Fällen lassen sich Vergleiche zum Guaymas Basin und zum Escanaba Trough, zwei sediment-

bedeckten Rückensegmenten, ziehen. Im Gegensatz dazu ist der Einfluß der dünnen Sedimentbedeckung auf Hook Ridge sehr gering, so daß hier nicht im klassischen Sinne von einem sediment-bedeckten Rücken gesprochen werden sollte. Abbildung 6-1 stellt die in dieser Arbeit entwickelte Interpretation des Hydrothermalsystems Hook Ridge schematisch dar.



**Abbildung 6-1:** Schematische Darstellung des Hydrothermalsystems Hook Ridge (nicht maßstabsgerecht)

Mit den beiden Expeditionen ANT-XV/2 und NBP 99-04 wurden erstmals warme Sedimente einer hydrothermalen Fluidaustrittsstelle in der Bransfield Straße beprobt, wobei die TVG-Kerne der zweiten Ausfahrt wesentlich höhere Temperaturen und ein intensiveres Fluidsignal zeigen. Die Temperatur- und Mangan-Anomalien in der Wassersäule sowie ein Bruchstück eines Hydrothermal-Schlotes, das mit dem Sediment des NBP-TVG 68 geborgen wurde, liefern eindeutige Hinweise auf das Austreten höher temperierter Ventfluide. Das damit postulierte zeitgleiche Auftreten von diffusen, warmen und fokussierten, heißen Quellen kann entweder auf rezente vulkanische Aktivität oder auf das junge Alter dieses Hydrothermalsystems zurückgeführt werden, das sich in der Entwicklung von einem intrakontinentalen Rifting zu einem Backarc-Spreizen befindet.

Die heißen Quellen - möglicherweise in Form von Schwarzen Rauchern mit assoziierter Ventfauna - zu suchen und zu finden bleibt die Aufgabe weiterer Expeditionen zu diesem südlichsten Hydrothermalsystem.

## 7 LITERATUR

- Alt, J. (1995): Subseafloor Processes in Mid-Ocean Ridge Hydrothermal Systems. In: Humphris, S. et al. (Eds.): *Seafloor Hydrothermal Systems*, Geophysical Monographs 91, pp. 85-114, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Anderson, L.A. & Sarmiento, J.L. (1994): Redfield ratios of remineralization determined by nutrient data analysis. *Global Biogeochem. Cycles* 8(1), 65-80.
- Banner, J.L. (1995): Application of the trace element and isotope geochemistry of strontium to studies of carbonate diagenesis. *Sedimentology* 42, 805-824.
- Barker, D.H.N. & Austin, J.A., Jr. (1994): Crustal diapirism in Bransfield Strait, West Antarctica: Evidence for distributed extension in marginal-basin formation. *Geology* 22, 657-660.
- Barker, D.H.N. & Austin, J.A., Jr. (1998): Rift propagation, detachment faulting, and associated magmatism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *J. of Geophys. Res.* 103(B10), 24017-24043.
- Barrett, T.J., Taylor, P.N., Jarvis, I. & Lugowski, J. (1986): Pb and Sr isotope and rare earth element composition of selected metalliferous sediments from Sites 597 to 601, Deep Sea Drilling Project Leg 92. In: Leinen, M. et al. (Eds.): *Init. Repts. DSDP*, 92, pp. 391 ff., U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- Barth, S. (1993): Boron isotope variations in nature: a synthesis. *Geol. Rundschau* 82, 640-651.
- Berndt, M. & Seyfried, W.E., Jr. (1986): B, Li, and associated trace element chemistry of alteration minerals, Holes 597B and 597C. In: Leinen, M. et al. (Eds.): *Init. Repts. DSDP*, 92, pp. 491-497, U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- Berndt, M.E. & Seyfried, W.E., Jr. (1990): Boron, bromine, and other trace elements as clues to the fate of chlorine in mid-ocean ridge vent fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 2235-2245.
- Berndt, M.E. & Seyfried, W.E., Jr. (1997): Calibration of Br/Cl fractionation during subcritical phase separation of seawater: Possible halite at 9 to 10°N East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61(14), 2849-2854.
- Berner, R.A. (1980): *Early Diagenesis - A Theoretical Approach*. Princeton Series in Geochemistry Princeton University Press, Princeton, NJ, 237 pp.
- Bischoff, J.L. (1991): Densities of Liquid and Vapors in Boiling NaCl-H<sub>2</sub>O solutions: A pVTx summary from 300°C to 500°C. *Am. J. Sci.* 291, 309-338.
- Bischoff, J.L. & Pitzer, K.S. (1985b): Phase relations and adiabats in boiling seafloor geothermal systems. *Earth Planet. Sci. Lett.* 75, 327-338.
- Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1984): The critical point and two-phase boundary of seawater, 200-500°C. *Earth Planet. Sci. Lett.* 68, 172-180.

- Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1985a): An empirical equation of state for hydrothermal seawater (3.2 % NaCl). *Am. J. Sci.* 285, 725-763.
- Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1987): Phase Separation in Seafloor Geothermal Systems: An Experimental Study of the Effects on Metal Transport. *Am. J. Sci.* 287, 953-978.
- Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1988): Liquid-vapour relations in the critical region of the system NaCl-H<sub>2</sub>O from 380 to 415°C: A refined determination of the critical point and two-phase boundary of seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2121-2126.
- Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1989): Salinity variations in submarine hydrothermal systems by layered double-diffusive convection. *J. Geol.* 97, 613-623.
- Boehme, S.E., Blair, N.E. & Chanton, J.P. (1996): A mass balance of <sup>13</sup>C and <sup>12</sup>C in an organic-rich methane-producing marine sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60(20), 3835-3848.
- Bohrmann, G., Chin, C., Petersen, S., Sahling, H., Schwarz-Schampera, U., Greinert, J., Lammers, S., Rehder, G., Dähmann, A., Wallmann, K., Dijkstra, S. & Schenke, H.-W. (1999): Hydrothermal activity at Hook Ridge in the Central Bransfield Basin, Antarctica. *Geo-Mar. Lett.* 18, 277-284.
- Borowski, W.S., Paull, C.K. & Ussler III, W. (1996): Marine pore-water sulfate profiles indicate in situ methane flux from underlying gas hydrate. *Geology* 24(7), 655-658.
- Botz, R., Winckler, G., Bayer, R., Schmitt, M., Schmidt, M., Garbe-Schönberg, D., Stoffers, P. & Kristjánsson, J.K. (1999): Origin of trace gases in submarine hydrothermal vents of the Kolbeinsey Ridge, north Iceland. *Earth Planet. Sci. Lett.* 171, 83-93.
- Brault, M. & Simoneit, B.R.T. (1990): Mild hydrothermal alteration of immature organic matter in sediments from the Bransfield Strait, Antarctica. *Appl. Geochem.* 5, 149-158.
- Breland, J. & Byrne, R. (1993): Spectrophotometric procedures for determination of sea water alkalinity using bromocresol green. *Deep-Sea Res. I* 40(3), 629-641.
- Bruland, K.W. (1983): Trace Elements in Sea-water. In: Riley, J. & Chester, R. (Eds.): *Chemical Oceanography*, 8, pp. 157- 220, Harcourt Brace Jovanovich, London.
- Brumsack, H.-J. & Zuleger, E. (1992): Boron and boron isotopes in pore waters from ODP Leg 127, Sea of Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.* 113, 427-433.
- Butler, I.B. & Rickard, D. (2000): Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulphide. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64(15), 2665-2672.
- Butterfield, D.A. (2000): Deep Ocean Hydrothermal Vents. In: Sigurdsson, H. (Ed.): *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego.
- Butterfield, D.A., Jonasson, I.R., Massoth, G.J., Feely, R.A., Roe, K.K., Embley, R.E., Holden, J.F., McDuff, R.E., Lilley, M.D. & Delaney, J.R. (1997): Seaf-

- loor eruptions and evolution of hydrothermal fluid chemistry. *Phil. Trans. R. Soc. London A* 355, 369-386.
- Butterfield, D.A. & Massoth, G.J. (1994): Geochemistry of North Cleft segment vent fluids: Temporal changes in chlorinity and their possible relation to recent volcanism. *J. of Geophys. Res.* 99(B3), 4951-4968.
- Butterfield, D.A., Massoth, G.J., McDuff, R.E., Lupton, J.E. & Lilley, M.D. (1990): Geochemistry of Hydrothermal Fluids From Axial Seamount Hydrothermal Emissions Study Vent Field, Juan de Fuca Ridge: Subseafloor Boiling and Subsequent Fluid-Rock Interaction. *J. of Geophys. Res.* 95(B8), 12895-12921.
- Butterfield, D.A., McDuff, R.E., Mottl, M.J., Lilley, M.D., Lupton, J.E. & Massoth, G.J. (1994): Gradients in the composition of hydrothermal fluids from the Endeavour segment vent field: Phase separation and brine loss. *J. of Geophys. Res.* 99(B5), 9561-9583.
- Campbell, A.C. & Edmond, J.M. (1989): Halide systematics of submarine hydrothermal vents. *Nature* 342, 168-170.
- Campbell, A.C., German, C.R., Palmer, M.R., Gamo, T. & Edmond, J.M. (1994): Chemistry of Hydrothermal Fluids from Escanaba Trough, Gorda Ridge. In: Morton, J.L. et al. (Eds.): *Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California*, U. S. Geol. Surv. Bull. 2022, pp. 201-221, U. S. Geological Survey, Denver, CO.
- Campbell, A.C., Palmer, M.R., Klinkhammer, G.P., Bowers, T.S., Edmond, J.M., Lawrence, J.R., Casey, J.F., Thompson, G., Humphris, S., Rona, P. & Karson, J.A. (1988): Chemistry of hot springs on the Mid-Atlantic Ridge. *Nature* 335, 514-519.
- Canfield, D.E., Raiswell, R.R., Westrich, J.T., Reaves, C.M. & Berner, R.A. (1986): The use of chromium reduction in the analysis of reduced inorganic sulfur in sediments and shales. *Chem. Geol.* 54, 149-155.
- Castrec, M., Dia, A.N. & Boulègue, J. (1996): Major- and trace-element and Sr isotope constraints on fluid circulation in the Barbados accretionary complex. Part II: circulation rates and fluxes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 142, 487-499.
- Chan, L.-H. & Edmond, J.M. (1988): Variation of lithium isotope composition in the marine environment: A preliminary report. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 1711-1717.
- Chan, L.-H., Gieskes, J.M., You, C.-F. & Edmond, J.M. (1994): Lithium isotope geochemistry of sediments and hydrothermal fluids of Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 4443-4454.
- Chan, L.H., Leeman, W.P. & You, C.-F. (1999): Lithium isotopic composition of Central American Volcanic Arc lavas: implications for modification of subarc mantle by slab-derived fluids. *Chem. Geol.* 160, 255-280.
- Charlou, J.L., Fouquet, Y., Donval, J.P. & Auzende, J.M. (1996): Mineral and gas chemistry of hydrothermal fluids on an ultrafast spreading ridge: East Pacific Rise, 17° to 19°S (Naudur cruise, 1993) phase separation processes controlled by volcanic and tectonic activity. *J. of Geophys. Res.* 101(B7), 15,899-15,919.

- Chin, C.S., Klinkhammer, G.P., Wilson, C., Lawver, L.A. & Lupton, J.E. (1996): Hydrothermal activity in a Nascent Backarc Basin: The Bransfield Strait, Antarctica. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 77(46), F413.
- Claypool, G.E. & Kaplan, I.R. (1974): The Origin and Distribution of Methane in Marine Sediments. In: Kaplan, I.R. (Ed.): *Natural Gases in Marine Sediments*, pp. 99-139, Plenum Press, New York.
- Coleman, D.D., Risatti, J.B. & Schoell, M. (1981): Fractionation of carbon and hydrogen isotopes by methane-oxidizing bacteria. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 45, 1033-1037.
- Corliss, J.B., Dymond, J., Gordon, L.I., Edmond, J.M., Herzen, R.P.v., Ballard, R.D., Green, K., Williams, D., Bainbridge, A., Crane, K. & Andel, T.H.v. (1979): Submarine thermal springs on the Galápagos Rift. *Science* 203(4385), 1073-1082.
- Cowan, J. & Cann, J. (1988): Supercritical two-phase separation of hydrothermal fluids in the Troodos ophiolite. *Nature* 333, 259-261.
- Crusius, J. & Thomson, J. (2000): Comparative behavior of authigenic Re, U, and Mo during reoxidation and subsequent long-term burial in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64(13), 2233-2242.
- Davis, E.E. & Becker, K. (1994): Thermal and Tectonic Structure of Escanaba Trough: New Heat-Flow Measurements and Seismic-Reflection Profiles. In: Morton, J.L. et al. (Eds.): *Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California*, U. S. Geol. Surv. Bull. 2022, pp. 45-65, U. S. Geological Survey, Denver, CO.
- Dickin, A.P. (1995): The Rb-Sr method, in: *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge University Press, Cambridge, 56-65 pp.
- Dickson, A.G. (1993): pH buffer for sea water media based on the total hydrogen ion concentration scale. *Deep-Sea Res.* 140, 107-118.
- Dietrich, R., Dach, R., Engelhardt, G., Kutterer, H., Lindner, K., Mayer, M., Menge, F., Mikolajski, H.-W., Niemeier, W., Orths, A., Perlt, J., Pohl, M., Salbach, H., Schenke, H.-W., Schöne, T., Seeber, G. & Soltau, G. (1998): GAP: Ein geodätisches Antarktisprojekt zur Lösung geodynamischer Aufgabenstellung. *Zeitschrift für Vermessungskunde* 2, 49-60.
- Edmond, J.M., Damm, K.L.V., McDuff, R.E. & Measures, C.I. (1982): Chemistry of hot springs on the East Pacific Rise and their effluent dispersal. *Nature* 297, 187-191.
- Elderfield, H. & Gieskes, J.M. (1982): Sr isotopes in interstitial waters of marine sediments from Deep Sea Drilling Project cores. *Nature* 300, 493-497.
- Elderfield, H., Kastner, M. & Martin, J.B. (1990): Compositions and Sources of Fluids in Sediments of the Peru Subduction Zone. *J. of Geophys. Res.* 95(B6), 8819-8827.
- Elderfield, H. & Truesdale, V.W. (1980): On the biophilic nature of iodine in seawater. *Earth Planet. Sci. Lett.* 50, 105-114.
- Emerson, S.R. & Huested, S.S. (1991): Ocean anoxia and the concentrations of molybdenum and vanadium in seawater. *Mar. Chem.* 34, 177-196.



- Ercilla, G., Baraza, J., Alonso, B. & Canals, M. (1998): Recent geological processes in the Central Bransfield Basin (Western Antarctic Peninsula). In: Stoker, M.S. et al. (Eds.): *Geological Processes on Continental Margins: Sedimentation, Mass-Wasting and Stability*, Special Publication 129, pp. 205-216, Geological Society, London.
- Erickson, B.E. & Helz, G.R. (2000): Molybdenum(VI) speciation in sulfidic waters: Stability and lability of thiomolybdates. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64(7), 1149-1158.
- Faure, G. (1986): Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, New York.
- Fischer, G. (1989): Stabile Kohlenstoff-Isotope in partikulärer organischer Substanz aus dem Südpolarmeer (Atlantischer Sektor). Doktorarbeit, Universität Bremen, Bremen.
- Fouquet, Y., Charlou, J.-L., Costa, I., Donval, J.-P., Radford-Knoery, J., Pellé, H., Ondréas, H., Lourenço, N., Ségonzac, M. & Tivey, M.K. (1994): A Detailed Study of the Lucky Strike Hydrothermal Site and Discovery of a New Hydrothermal Site: Menez Gwen; Preliminary Results of the DIVA1 Cruise. *InterRidge News* 3(2), 14-17.
- Fouquet, Y., Von Stackelberg, U., Charlou, J.L., Donval, J.P., Foucher, J.P., Erzinger, J., Herzig, P., Mühe, R., Wiedicke, M., Soakai, S. & Whitechurch, H. (1991): Hydrothermal activity in the Lau back-arc basin: Sulfides and water chemistry. *Geology* 19(4), 303-306.
- Francois, R. (1987a): A study of sulphur enrichment in the humic fraction of marine sediments during early diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 17-27.
- Francois, R. (1987b): The influence of humic substances on the geochemistry of iodine in nearshore and hemipelagic marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2417-2427.
- Friedman, I. & O'Neil, J.R. (1977): Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 440-KK, 1-12.
- Fütterer, D. (Ed.) (1984): Die Expedition ANTARKTIS II mit FS 'Polarstern' 1983/84. Berichte zur Polarforschung 18, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Fütterer, D. (Ed.) (1986): Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS 'Polarstern' 1985/86. Berichte zur Polarforschung 32, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Garbe-Schönberg, C.-D. (1993): Simultaneous Determination of Thirty-Seven Trace Elements in Twenty-Eight International Rock Standards By ICP-MS. *Geostandards Newsletter* 17(1), 81-97.
- Gehlen, M., Mucci, A. & Boudreau, B. (1999): Modelling the distribution of stable carbon isotopes in porewaters of deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63(18), 2763-2773.
- German, C.R., Barreiro, B.A., Higgs, N.C., Nelsen, T.A., Ludford, E.M. & Palmer, M.R. (1995): Seawater-metasomatism in hydrothermal sediments (Escanaba Trough, northeast Pacific). *Chem. Geol.* 119, 175-190.

- German, C.R., Hergt, J., Palmer, M.R. & Edmond, J.M. (1999): Geochemistry of a hydrothermal sediment core from OBS vent-field, 21°N East Pacific Rise. *Chem. Geol.* 155, 65-75.
- Gieskes, J.M., Elderfield, H., Lawrence, J.R., Johnson, J., Meyers, B. & Campbell, A. (1982a): Geochemistry of interstitial waters and sediments, Leg 64, Gulf of California. In: Curray, J.R. & Moore, D.G. (Eds.): *Init. Repts. DSDP*, 64, pp. 675-694, U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- Gieskes, J.M., Gamo, T. & Brumsack, H. (1991): Chemical Methods for Interstitial Water Analysis aboard Joides Resolution. ODP Technical Note 15, Ocean Drilling Program, College Station, TX.
- Gieskes, J.M., Kastner, M., Einsele, G., Kelts, K. & Niemitz, J. (1982b): Hydrothermal Activity in the Guaymas Basin, Gulf of California: A Synthesis. In: Curray, J.R. & Moore, D.G. (Eds.): *Init. Repts. DSDP*, 64, pp. 1159-1167, U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- Gràcia, E., Canals, M., Farràn, M., Sorribas, J. & Pallàs, R. (1997): Central and eastern Bransfield basin (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarct. Sci.* 9(2), 168-180.
- Gràcia, E., Canals, M., Farràn, M.L., Prieto, M.J., Sorribas, J. & Team, G. (1996): Morphostructure and Evolution of the Central and Eastern Bransfield Basin (NW Antarctic Peninsula). *Marine Geophysical Researches* 18, 429-448.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M. & Kremling, K. (1983): Methods of seawater analysis. VCH, Weinheim.
- Halbach, P., Koschinski, A., Seifert, R., Giere, O., Kuhn, T. & Shipboard Scientific Party. (1999): Diffuse Hydrothermal Activity, Biological Communities, and Mineral Formation in the North Fiji Basin (SW Pacific): Preliminary Results of the R/V Sonne Cruise SO-134. *InterRidge News* 8(1), 38-44.
- Han, M.W. (1987): Lateral Migration of Pore Fluids Through Sediments of an Active Back-Arc Basin: Bransfield Strait, Antarctica. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 68(50), 1769.
- Han, M.W. (1988): Dynamics and Chemistry of Pore Fluids in Marine Sediments of Different Tectonic Settings: Oregon Subduction Zone and Bransfield Strait Extensional Basin. Doctoral Thesis, Oregon State University, Corvallis.
- Hauer, R. (1998): Geochemistry, Mineralogy, and Isotope Geochemistry of Hydrothermal Precipitates, Sediments, and Volcanic Rocks of the Hook Ridge Hydrothermal Deposit, Bransfield Strait, Antarctica. Diploma Thesis, TU Bergakademie, Freiberg.
- Haymon, R.M., Fornari, D.J., Von Damm, K.L., Lilley, M.D., Perfit, M.R., Edmond, J.M., Shanks, W.C., III, Lutz, R.A., Grebmeier, J.M., Carbotte, S., Wright, D., McLaughlin, E., Smith, M., Beedle, N. & Olson, E. (1993): Volcanic eruption of the mid-ocean ridge along the East Pacific Rise crest 9°45-52'N: Direct submersible observations of seafloor phenomena associated with an eruption event in April, 1991. *Earth Planet. Sci. Lett.* 119, 85-101.

- Heinrichs, H. & Hermann, A.G. (1990): *Praktikum der Analytischen Geochemie*. Springer, Berlin / Heidelberg, 669 pp.
- Helz, G., Miller, C., Charnock, J., Mosselmans, J., Patrick, R., Garner, C. & Vaughan, D. (1996): Mechanism of molybdenum removal from the sea and its concentration in black shales: EXAFS evidence. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60(19), 3631-3642.
- Hemming, N.G. & Hanson, G.N. (1992): Boron isotopic composition and concentration in modern marine carbonates. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 537-543.
- Herzig, P., Suess, E. & Linke, P. (Eds.) (1997): RV Sonne Cruise Report SO109 Hydrotrace. GEOMAR Report 58, GEOMAR Forschungszentrum, Kiel.
- Hoefs, J. (1997): *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, Berlin - Heidelberg.
- Humphris, S.E., Zierenberg, R.A., Mullineaux, L.S. & Thomson, R.E. (Eds.) (1995): *Seafloor Hydrothermal Systems*. Geophysical Monograph 91, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Ishibashi, J.-I., Grimaud, D., Nojiri, Y., Auzende, J.-M. & Urabe, T. (1994): Fluctuations on chemical compositions of the phase-separated hydrothermal fluid from the North Fiji Basin Ridge. *Mar. Geol.* 116, 215-226.
- James, R.H., Rudnicki, M.D. & Palmer, M.R. (1999): The alkali element and boron geochemistry of the Escanaba Trough sediment-hosted hydrothermal system. *Earth Planet. Sci. Lett.* 171, 157-169.
- Kakahana, H., Kotaka, M., Satoh, S., Nomura, M. & Okamoto, M. (1977): Fundamental Studies on the Ion-Exchange Separation of Boron Isotopes. *Bull. Chem. Soc. Japan* 50(1), 158-163.
- Keller, R.A. & Fisk, M.R. (1992): Quarternary marginal basin volcanism in the Bransfield Strait as a modern analogue of the southern Chilean ophiolites. In: Parson, L.M. et al. (Eds.): *Ophiolites and their Modern Oceanic Analogues*, Geological Society Special Publication 60, pp. 155-169, The Geological Society, London.
- Keller, R.A., Fisk, M.R., White, W.M. & Birkenmajer, K. (1991): Isotopic and trace element constraints on mixing and melting models of marginal basin volcanism, Bransfield Strait, Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.* 111, 287-303.
- Kennedy, H.A. & Elderfield, H. (1987a): Iodine diagenesis in pelagic deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2489-2504.
- Kennedy, H.A. & Elderfield, H. (1987b): Iodine diagenesis in non-pelagic deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2505-2514.
- Klinkhammer, G.P. (Ed.) (1999): *Search for Hydrothermal Vents in Bransfield Strait, Antarctica - Cruise Report NBP 9904*, Oregon State University, Corvallis, OR.
- Klinkhammer, G.P., Chin, C.S., Keller, R., Daehlmann, A., Sahling, H., Sarthou, G., Petersen, S., Smith, F. & Wilson, C. (1999): Discovery of Hydrothermal Vent Sites in Bransfield Strait, Antarctica. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 80(46), 1174.

- Klinkhammer, G.P., Chin, C.S., Keller, R., Daehlmann, A., Sahling, H., Sarthou, G., Petersen, S., Smith, F. & Wilson, C. (subm.): Discovery of hydrothermal vent sites in Bransfield Strait, Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.*
- Klinkhammer, G.P., Chin, C.S., Wilson, C., Rudnicki, M.D., Keller, R.A., Fisk, M.R. & Lawver, L.A. (1995): Results of a search for hydrothermal activity in the Bransfield Strait, Antarctica. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 78(46), F710.
- Kopf, A., Deyhle, A. & Zuleger, E. (2000): Evidence for deep fluid circulation and gas hydrate dissociation using boron and boron isotopes of pore fluids in forearc sediments from Costa Rica (ODP Leg 170). *Mar. Geol.* 167, 1-28.
- Laban, C. & de Groot, T. (1986): A preliminary interpretation of the gravity cores. In: Fütterer, D. (Ed.): *Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS 'Polarstern' 1985/86*, Berichte zur Polarforschung 32, pp. 96-98, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Lawrence, J.R. (1989): The Stable Isotope Geochemistry of Deep-Sea Pore Water. In: Fritz, P. & Fontes, J.C. (Eds.): *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, 3, pp. 317-356, Elsevier, Amsterdam.
- Lawrence, J.R., Gieskes, J.M. & Broecker, W.S. (1975): Oxygen Isotope and Cation Composition of DSDP Pore Water and the Alteration of Layer II Basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 27, 1-10.
- Lawver, L., Sloan, B., Barker, D., Ghidella, M., Von Herzen, R., Keller, R., Klinkhammer, G. & Chin, C. (1996): Distributed, Active Extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from Multibeam Bathymetry. *GSA Today* 6(11), 1-5.
- Lawver, L.A., Keller, R.A., Fisk, M.R. & Strelin, J.A. (1995): Bransfield Strait, Antarctic Peninsula - Active Extension behind a Dead Arc. In: Taylor, B. (Ed.): *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*, pp. 315-343, Plenum Press, New York.
- Leemann, W.P. & Sisson, V.B. (1996): Geochemistry of Boron and Its Implications for Crustal and Mantle Processes. In: Grew, E.S. & Anovitz, L. (Eds.): *Boron - Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 33, pp. 645-707, Mineral Society of America, Washington, DC.
- Li, Y.-H. & Gregory, S. (1974): Diffusion of ions in sea water and deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 703-714.
- Livermoore, R., Balayá, J.C., Maldonado, A., Martínez, J.M., De Galdeano, C.S., Zaldívar, J.G., Jabaloy, A., Barnolas, A., Somoza, L., Hernández-Molina, J., Sfriñach, E. & Viseras, C. (2000): Autopsy on a dead spreading center: The Phoenix Ridge, Drake Passage, Antarctica. *Geology* 28(7), 607-610.
- Magenheim, A.J. & Gieskes, J.M. (1992): Hydrothermal discharge and alteration in near-surface sediments from the Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 2329-2338.
- Magenheim, A.J. & Gieskes, J.M. (1994): Evidence for Hydrothermal Fluid Flow Trough Surficial Sediments, Escanaba Trough. In: Morton, J.L. et al. (Eds.): *Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California*, U. S. Geol. Surv. Bull. 2022, pp. 241-255, U. S. Geological Survey, Denver, CO.

- Martin, J., Kastner, M., Henry, P., Le Pichon, X. & Lallement, S. (1996): Chemical and isotopic evidence for sources of fluids in a mud volcano field seaward of the Barbados accretionary wedge. *J. of Geophys. Res.* 101(B9), 20,325-20,345.
- Martin, J.B., Gieskes, J.M., Torres, M. & Kastner, M. (1993): Bromine and iodine in Peru margin sediments and pore fluids: Implications for fluid origins. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 4377-4389.
- Mason, B. & Moore, C. (1985): Grundzüge der Geochemie. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Massoth, G.J., Butterfield, D.A., Lupton, J.E., McDuff, R.E., Lilley, M.D. & Jonasson, I.R. (1989): Submarine venting of phase-separated hydrothermal fluids at Axial Volcano, Juan de Fuca Ridge. *Nature* 340, 702-705.
- Matthes, S. (1993): Mineralogie. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.
- Millero, F. (1995): Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59(4), 661-677.
- Morton, J.L., Zierenberg, R.A. & Reiss, C.A. (Eds.) (1994): Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California. U. S. Geol. Surv. Bull. 2022, U. S. Geological Survey, Denver, CO.
- Mottl, M.J. (1983): Hydrothermal processes at seafloor spreading centers: Application of basalt-seawater experimental results. In: Rona, P.A. et al. (Eds.): *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*, NATO conference series IV (12), Plenum Press, New York.
- Muramatsu, Y. & Wedepohl, K.H. (1998): The distribution of iodine in the earth's crust. *Chem. Geol.* 147, 201-216.
- Murawski, H. (1983): Geologisches Wörterbuch. Enke Verlag, Stuttgart.
- Niewöhner, C., Hensen, C., Kasten, S., Zabel, M. & Schulz, H.D. (1998): Deep sulfate reduction completely mediated by anaerobic methane oxidation in sediments of the upwelling area off Namibia. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 62(3), 455-464.
- Oosting, S.E. & Von Damm, K.L. (1996): Bromide/chloride fractionation in seafloor hydrothermal fluids from 9-10°N East Pacific Rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 144, 133-145.
- Palmer, M.R. (1991): Boron isotope systematics of hydrothermal fluids and tourmalines: A synthesis. *Chem. Geol.* 94, 111-121.
- Palmer, M.R. (1992): Controls over the chloride concentration of submarine hydrothermal vent fluids: evidence from Sr/Ca and 87-Sr/86-Sr ratios. *Earth Planet. Sci. Lett.* 109, 37-46.
- Palmer, M.R. & Edmond, J.M. (1989): The strontium isotope budget of the modern ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.* 92, 11-26.
- Palmer, M.R. & Swihart, G.H. (1996): Boron isotope geochemistry: An overview. In: Grew, E.S. & Anovitz, L. (Eds.): *Boron - Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 33, pp. 709-744, Mineral Society of America, Washington, DC.

- Parson, L.M., Walker, C.L. & Dixon, D.R. (Eds.) (1995): Hydrothermal Vents and Processes. Geological Society Special Publication 87, The Geological Society, London.
- Pavlova, G.A. & Shishkina, O.V. (1973): Accumulation of iodine in interstitial water during metamorphism in relation to the iodine distribution in Pacific sediments. *Geochemistry International* 10, 804-813.
- Paytan, A., Kastner, M., Martin, E.E., Macdougall, J.D. & Herbert, T. (1993): Marine barite as a monitor of seawater strontium isotope composition. *Nature* 366, 445-449.
- Pedersen, T.F. & Price, N.B. (1980): The geochemistry of iodine and bromine in sediments of the Panama Basin. *J. Mar. Res.* 38, 397-411.
- Pierre, C. (1989): Sedimentation and Diagenesis in Restricted Marine Basins. In: Fritz, P. & Fontes, J.C. (Eds.): *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, 3, pp. 257-315, Elsevier, Amsterdam.
- Poelchau, H.S., Baker, D.R., Hantschel, T., Horsfield, B. & Wygrala, B. (1997): Basin Simulation and the Design of the Conceptual Basin Model. In: Welte, D.H. et al. (Eds.): *Petroleum and Basin Evolution*, pp. 5-70, Springer, Berlin Heidelberg.
- Pribnow, D.F.C., Davis, E.E. & Fisher, A.T. (2000): Borehole heat flow along the eastern flank of the Juan de Fuca Ridge, including effects of anisotropy and temperature dependence of sediment thermal conductivity. *J. of Geophys. Res.* 105(B6), 13449-13456.
- Price, N.B. & Calvert, S.E. (1973): The geochemistry of iodine in oxidised and reduced Recent marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37, 2149-2158.
- Price, N.B. & Calvert, S.E. (1977): The contrasting geochemical behaviors of iodine and bromine in recent sediments from the Namibian shelf. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41, 1769-1775.
- Prieto, M.J., Ercilla, G., Canals, M. & Batist, M.d. (1999): Seismic stratigraphy of the Central Bransfield Basin (NW Antarctic Peninsula): interpretation of deposits and sedimentary processes in a glacio-marine environment. *Mar. Geol.* 157, 47-68.
- Rona, P.A., Boström, K., Laubier, L. & Smith, K.L.J. (Eds.) (1983): Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers. NATO conference series IV (12), Plenum Press, New York.
- Sanyal, A. & Bijma, J. (1999): A comparative study of northwest Africa and eastern equatorial Pacific upwelling zones as sources of CO<sub>2</sub> during glacial periods based on boron isotope paleo-pH estimation. *Paleoceanography* (in press).
- Sanyal, A., Hemming, N.G. & Broecker, W.S. (1997): Changes in pH in the eastern equatorial Pacific across stage 5-6 boundary based on boron isotopes in foraminifera. *Global Biogeochem. Cycles* 11(1), 125-133.
- Sanyal, A., Hemming, N.G., Broecker, W.S., Lea, D.W., Spero, H.J. & Hanson, G.N. (1996): Oceanic pH control on the boron composition of foraminifera: Evidence from culture experiments. *Paleoceanography* 11(5), 513-517.

- Sanyal, A., Hemming, N.G., Hanson, G.N. & Broecker, W.S. (1995): Evidence for a higher pH in the glacial ocean from boron isotopes in foraminifera. *Nature* 373, 234-236.
- Schenke, H.-W. (Ed.) (in prep.): Fahrtbericht ANT XV/2. Berichte zur Polarforschung, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Schlosser, P., Suess, E., Bayer, R. & Rhein, M. (1988):  $^3\text{He}$  in the Bransfield Strait waters: indication for local injection from back-arc rifting. *Deep-Sea Res.* 1 35(12), 1919-1935.
- Seewald, J.S., Seyfried, W.E., Jr. & Shanks, W.C., III. (1994): Variations in the chemical and stable isotope composition of carbon and sulfur species during organic-rich sediment alteration: An experiment and theoretical study of hydrothermal activity at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58(22), 5056-5082.
- Seyfried, W.E., Jr. (1987): Experimental and theoretical constraints on hydrothermal alteration processes at mid-ocean ridges. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 15, 317-335.
- Seyfried, W.E., Jr., Berndt, M.E. & Janecky, D.R. (1986): Chloride depletions and enrichments in seafloor hydrothermal fluids: Constraints from experimental basalt alteration studies. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50, 459-475.
- Seyfried, W.E., Jr. & Bischoff, J.L. (1979): Low temperature basalt alteration by seawater: an experimental study at 70°C and 150°C. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 1937-1947.
- Seyfried, W.E., Jr., Janecky, D.R. & Mottl, M.J. (1984): Alteration of the oceanic crust: Implications for geochemical cycles of lithium and boron. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 557-569.
- Seyfried, W.E., Jr. & Mottl, M.J. (1995): Geologic Setting and Chemistry of Deep-Sea Hydrothermal Vents. In: Karl, D.M. (Ed.): *The Microbiology of Deep-Sea Hydrothermal Vents, The Microbiology of Extreme and Unusual Environments* pp. 1-34, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Shanks, W.C., III, Böhlke, J.K. & Seal, R.R. (1995): Stable Isotopes in Mid-Ocean Ridge Hydrothermal Systems: Interactions between Fluids, Minerals, and Organisms. In: Humphris, S.E. et al. (Eds.): *Seafloor Hydrothermal Systems, Geophysical Monograph* 91, pp. 194-221, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Shanks, W.C., III & Seyfried, W.E., Jr. (1987): Stable isotope studies of vent fluids and chimney minerals, southern Juan de Fuca Ridge: Sodium Metasomatism and seawater sulfate reduction. *J. of Geophys. Res.* 92(B11), 11387-11399.
- Simoneit, B.R.T. (1986): Solvent-soluble organic matter. In: Fütterer, D. (Ed.): *Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS 'Polarstern' 1985/86, Berichte zur Polarforschung* 32, pp. 109-111, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Sohrin, Y., Matsui, M. & Nakayama, E. (1999): Contrasting behavior of tungsten and molybdenum in the Okinawa Trough, the East China Sea and the Yellow Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63(19/20), 3457-3466.

- Spivack, A.J., Berndt, M.E. & Seyfried, W.E., Jr. (1990): Boron isotope fractionation during supercritical phase separation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 2337-2339.
- Spivack, A.J. & Edmond, J.M. (1987): Boron isotope exchange between seawater and oceanic crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1033-1043.
- Spivack, A.J., Palmer, M.R. & Edmond, J.M. (1987): The sedimentary cycle of boron isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1939-1949.
- Spivack, A.J., You, C.-F. & Smith, H.J. (1993): Foraminiferal boron isotope ratios as a proxy for surface ocean pH over the past 21 Myr. *Nature* 363(13.5.93), 149-151.
- Stumm, W. & Morgan, J. (1996): *Aquatic Chemistry*. John Wiley & Sons, New York.
- Suess, E., Balzer, W., Hesse, K.-F., Müller, P.J., Ungerer, C.A. & Wefer, G. (1982): Calcium Carbonate Hexahydrate from Organic-Rich Sediments of the Antarctic Shelf: Precursors of Glendolites. *Science* 216, 1128-1131.
- Suess, E. & Bohrmann, G. (Eds.) (1997): RV Sonne Cruise Report SO110 SO-RO. GEOMAR Report 59, GEOMAR Forschungszentrum, Kiel.
- Suess, E., Fisk, M. & Kadko, D. (1987): Thermal interaction between back-arc volcanism and basin sediments in the Bransfield Strait, Antarctica. *Antarctic J. US* 22(5), 47-49.
- Thompson, G. (1991): Metamorphic and hydrothermal processes: basalt-seawater interaction. In: Floyd, P. (Ed.): *Oceanic Basalts*, pp. 148-173, Blackie, Glasgow & London.
- Ullman, W.J. & Aller, R.C. (1983): Rates of iodine remineralization in terrigenous near-shore sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 1423-1432.
- Uzdowski, E. (1982): Reactions and Equilibria in the Systems CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and CaCO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (0°-50°C) - A Review. *N. Jb. Miner. Abh.* 144(2), 148-171.
- Van Cappellen, P. & Qiu, L. (1997): Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean. I. Solubility. *Deep-Sea Res. II* 44(5), 1109-1128.
- Von Breymann, M.T., Collier, R. & Suess, E. (1990): Magnesium adsorption and ion exchange in marine sediments: A multi-component model. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 3295-3313.
- Von Breymann, M.T. & Suess, E. (1988): Magnesium in the marine sedimentary environment: Mg-NH<sub>4</sub> ion exchange. *Chem. Geol.* 70, 359-371.
- Von Damm, K. (1995): Controls on the Chemistry and Temporal Variability of Seafloor Hydrothermal Fluids. In: Humphris, S.E. et al. (Eds.): *Seafloor Hydrothermal Systems*, Geophysical Monograph 91, pp. 222-247, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Von Damm, K.L. (2000): Chemistry of hydrothermal vent fluids from 9°-11°N, East Pacific Rise: "Time zero," the immediate post-eruptive period. *J. of Geophys. Res.* 105(B5), 11203-11222.



- Von Damm, K.L. & Bischoff, J.L. (1987): Chemistry of Hydrothermal Solutions From the Southern Juan de Fuca Ridge. *J. of Geophys. Res.* 92(B11), 11334-11346.
- Von Damm, K.L., Bischoff, J.L. & Rosenbauer, R.J. (1991): Quartz solubility in hydrothermal seawater: An experimental study and equation describing quartz solubility for up to 0.5 M NaCl solutions. *Am. J. Sci.* 291, 977-1007.
- Von Damm, K.L., Edmond, J.M., Grant, B. & Measures, C.I. (1985a): Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21°N, East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, 2197-2220.
- Von Damm, K.L., Edmond, J.M., Measures, C.I. & Grant, B. (1985b): Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, 2221-2237.
- Wallmann, K., Hennies, K., König, I., Petersen, W. & Knauth, H. (1993): A new procedure for the determination of 'reactive' ferric iron and ferrous iron minerals in sediments. *Limnol. Oceanogr.* 38, 1803-1812.
- Whiticar, M.J. (1996): Isotope tracking of microbial methane formation and oxidation. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 25, 39-54.
- Whiticar, M.J. (1999): Carbon and hydrogen isotope systematics of microbial formation and oxidation of methane. *Chem. Geol.* 161, 291-314.
- Whiticar, M.J. & Suess, E. (1990): Hydrothermal hydrocarbon gases in the sediments of the King George Basin, Bransfield Strait, Antarctica. *Appl. Geochem.* 5, 135-147.
- Whiticar, M.J., Suess, E. & Wehner, H. (1985): Thermogenic hydrocarbons in surface sediments of the Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *Nature* 314, 87-90.
- Wilson, C., Klinkhammer, G. & Chin, C. (1999): Hydrography within the Central and East Basins of the Bransfield Strait, Antarctica. *J. Phys. Oceanogr.* 29, 465-479.
- Wong, G.T.F. & Brewer, P.G. (1977): The marine chemistry of iodine in anoxic basins. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41, 151-159.
- Yalçın, M.N., Littke, R. & Sachsenhofer, R.F. (1997): Thermal History of Sedimentary Basins. In: Welte, D.H. et al. (Eds.): *Petroleum and Basin Evolution*, pp. 73-167, Springer, Berlin Heidelberg.
- You, C.-F., Butterfield, D.A., Spivack, A.J., Gieskes, J.M., Gamo, T. & Campbell, A.J. (1994): Boron and halide systematics in submarine hydrothermal systems: Effects of phase separation and sedimentary contributions. *Earth Planet. Sci. Lett.* 123, 227-238.
- You, C.-F., Castillo, P.R., Gieskes, J.M., Chan, L.H. & Spivack, A.J. (1996a): Trace element behavior in hydrothermal experiments: Implications for fluid processes at shallow depths in subduction zones. *Earth Planet. Sci. Lett.* 140, 41-52.
- You, C.-F., Gieskes, J.M., Chen, R.F., Spivack, A. & Gamo, T. (1993a): Iodine, bromine, manganese, boron, and dissolved organic carbon in interstitial waters of organic carbon-rich marine sediments: observations in the Nankai accretionary prism. In: Hill, I.A. et al. (Eds.): *Proc. ODP, Sci. Results*, 131, pp. 165-175, College Station, TX (Ocean Drilling Program).

- You, C.-F., Spivack, A.J., Gieskes, J.M., Martin, J.B. & Davisson, M.L. (1996b): Boron contents and isotopic compositions in pore waters: a new approach to determine temperature induced artifacts - geochemical implications. *Mar. Geol.* 129, 351-361.
- You, C.-F., Spivack, A.J., Gieskes, J.M., Rosenbauer, R. & Bischoff, J.L. (1995): Experimental study of boron geochemistry: Implications for fluid processes in subduction zones. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59(12), 2435-2442.
- You, C.-F., Spivack, A.J., Smith, J.A. & Gieskes, J.M. (1993b): Mobilization of boron in convergent margins: Implications for the boron geochemical cycle. *Geology* 21, 207-210.
- Zheng, Y., Froelich, P.N., Torres, M.E. & Dia, A.N. (1995): Stable Isotopes ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ratios in Pore Fluids of the Chile Triple Junction Accretionary Prism: Implications for Diagenesis and Fluid Migration. In: Lewis, S.D. et al. (Eds.): *Proc. ODP, Scientific Results*, 141, pp. 313-320, Ocean Drilling Program, College Station, TX.
- Zierenberg, R.A. & Shanks, W.C., III. (1994): Sediment Alteration Associated with Massive Sulfide Formation in Escanaba Trough, Gorda Ridge: The Importance of Seawater Mixing and Magnesium Metasomatism. In: Morton, J.L. et al. (Eds.): *Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California*, U. S. Geol. Surv. Bull. 2022, pp. 257-277, U. S. Geological Survey, Denver, CO.

## 8 DANKSAGUNG

Pläne ohne Beratung schlagen fehl;  
durch gute Ratgeber führen sie zum Ziel.  
(Sprüche Salomos)

Ein besonders herzliches Dankeschön geht an PD Dr. Klaus Wallmann für seine ausgezeichnete Betreuung meiner Promotion. Er hat diese Arbeit engagiert begleitet, in intensiven und lehrreichen Diskussionen vielfältige Anregungen geliefert und so zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Besonders dankbar bin ich seine Offenheit gegenüber meinen Prioritäten.

Prof. E. Suess danke ich für die Aufnahme in seine Arbeitsgruppe, in der ich - über den Inhalt dieser Arbeit hinaus - sehr viel über die marinen Geowissenschaften gelernt habe. Prof. P. Stoffers gilt mein Dank für die Übernahme des Korreferats.

Für wissenschaftliche Diskussionen über Teilaspekte dieser Arbeit bzw. das Korrekturlesen einzelner Abschnitte danke ich Dr. Gerhard Bohrmann, Heiko Sahling, Dr. Matthias Haeckel, Sven Petersen, Dr. Evelyn Zuleger, Annette Deyhle und PD Dr. Matthias Hort.

Für unzählige Laboranalysen, Aufschlüsse und Extraktionen möchte ich mich herzlich bei Anke Bleyer, Regina Surberg, Ana Kolevica und Bettina Domeyer bedanken. Für die Einführung in die Thermionen-Massenspektrometrie und Hilfestellungen bei den Messungen danke ich Dr. E. Zuleger (Bor), sowie Prof. K. Hoernle, Dr. F. Hauff und S. Vetter (Strontium).

Meinen KollegInnen der Abteilung Marine Umweltgeologie, sowie den StipendiatInnen und Postdocs des Graduiertenkollegs gilt mein Dank für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die stete Hilfsbereitschaft. Den GKlerInnen möchte ich für die angenehme Gemeinschaft danken und die Bereitwilligkeit, immer wieder meine geologischen Fragen zu beantworten. Meinen Zimmerkollegen Sebastian Krastel und Matthias Haeckel danke ich darüber hinaus sehr für manchen Rat in Sachen Computer, fachliche Diskussionen und willkommene Unterhaltung im Doktorandinnen-Alltag. Heiko Sahling sei ganz herzlich gedankt für die gute Zusammenarbeit sowie für anregende Diskussionen über die Wissenschaft im allgemeinen und die Biogeochemie von kalten und warmen Quellen zwischen 58°N und 62°S.

Ich habe während meiner Tätigkeit bei GEOMAR viele Stunden auf See verbracht, die ich nicht missen möchte. Das Leben und Arbeiten an Bord hat seinen ganz besonderen Reiz und lebt vom engen Miteinander der beteiligten WissenschaftlerInnen, TechnikerInnen und der Besatzung. Für diese Erfahrung danke ich allen, denen ich auf meinen Fahrten begegnet bin. Prof. E. Suess, Dr. G. Bohrmann und Prof. G. Klinkhammer (Oregon State University) danke ich, daß sie mir die Teilnahme an den Ausfahrten mit *FS Sonne* (SO 109/110), *FS Polarstern* (ANT-XV/2) und *RV/IB N.B. Palmer* (NBP 99-04) ermöglicht haben.

Prof. P. Stoffers (Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel) stellte für die Antarktis-Ausfahrten OFOS und TV-Greifer zur Verfügung. Dr. M. van der Loeff (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung) und Dr. E. Sauter (GEOMAR/SFB 313) haben uns ihre Porenwasserpressen ausgeliehen. Für die Fahrtvorbereitungen und viele weitere Hilfestellungen gilt mein besonderer Dank Bettina Domeyer.

Diese Dissertation wurde gefördert mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Graduiertenkolleges "Dynamik globaler Kreisläufe im System Erde" und des Projektes "Hydrothermale Fluidaustritte in der Bransfield Straße" (WA 1083/1).

**9 ANHANG**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 9.1 | Sedimentaufnahme der Schwerelot-Kerne im<br>King George Becken (Abbildungen von Dr. Jens Greinert) | 128 |
| 9.2 | Methodik   | 133 |
| 9.3 | Daten der Ausfahrt ANT-XV/2  | 138 |
| 9.4 | Daten der Ausfahrt NBP 99-04   | 154 |

na: nicht analysiert (not analyzed)

bdl: unterhalb der Nachweisgrenze (below detection limit)

Abbildung 9-1: PS 47/061 (SL 61)

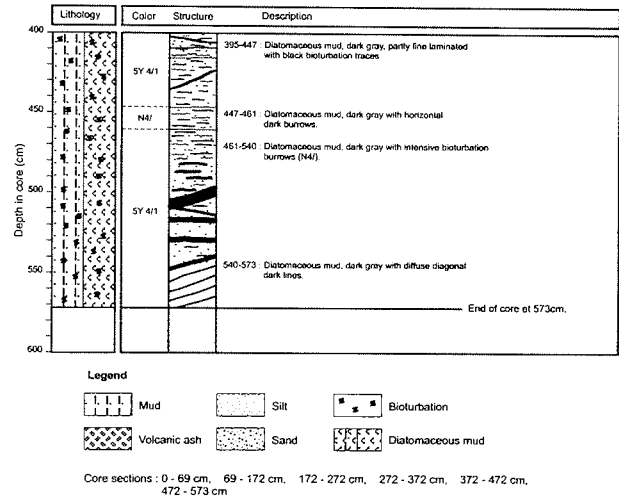
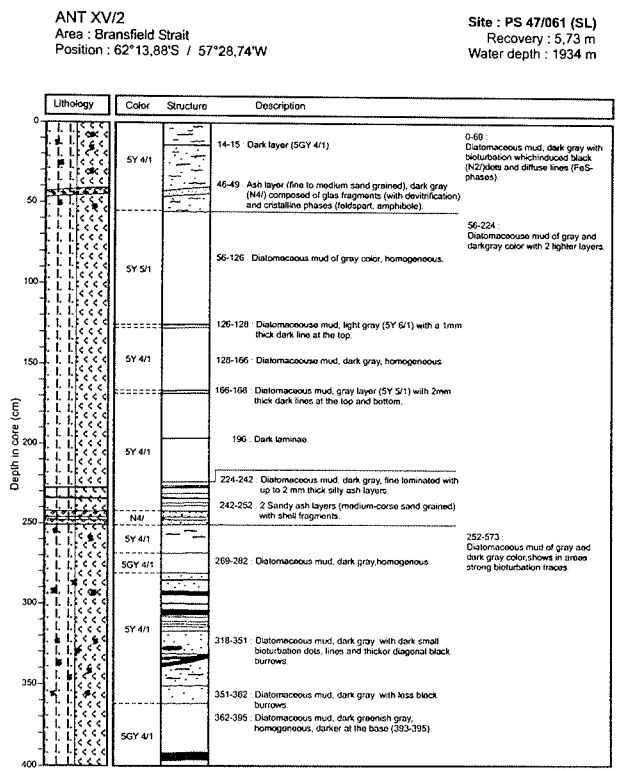


Abbildung 9-2: PS 47/062 (SL 62)

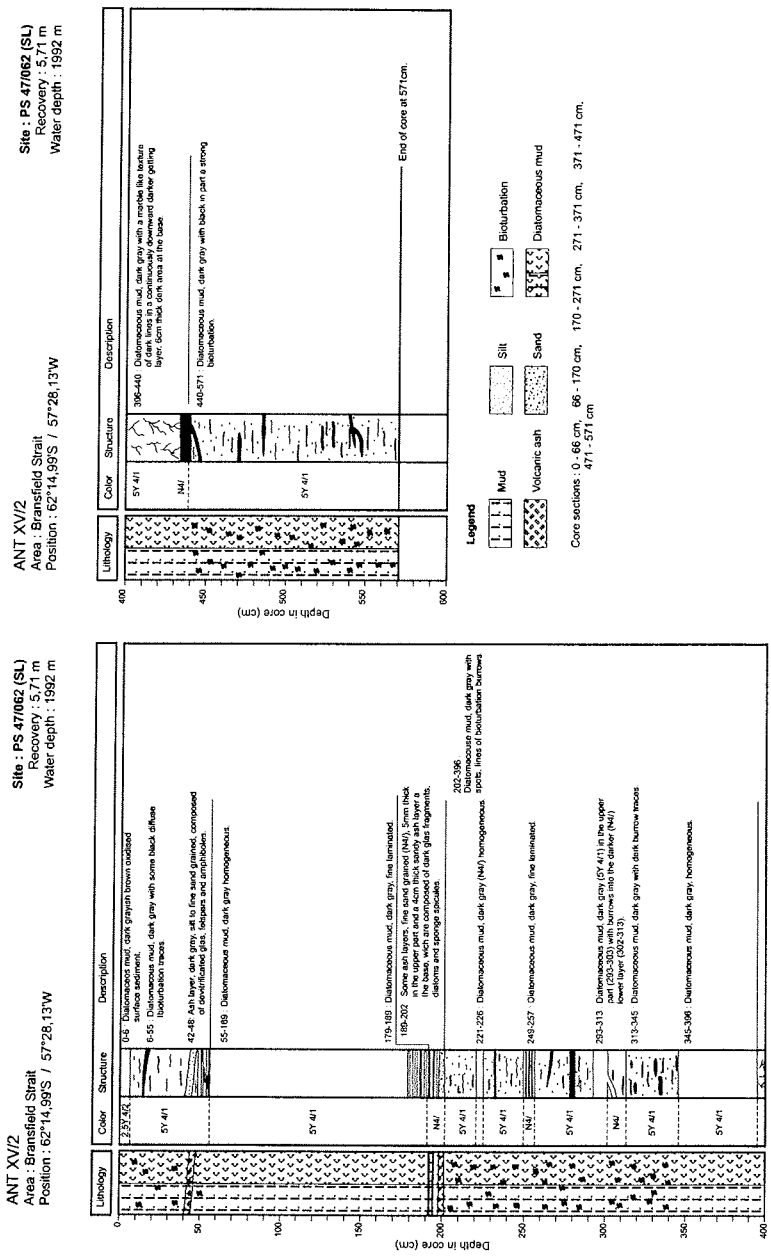
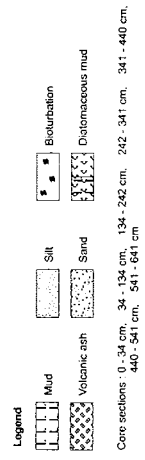
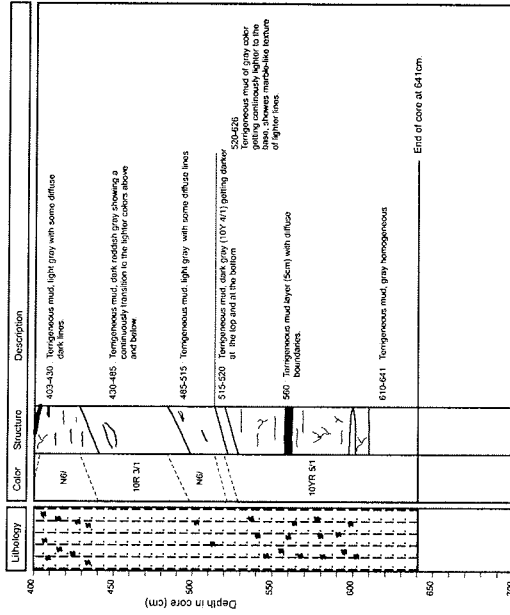


Abbildung 9-3: PS 47/063 (SL 63)

Site : PS 47/063 (SL)  
 Recovery : 6,41 m  
 Water depth : 1994 m

ANT XV/2  
 Area : Bransfield Strait  
 Position : 62°15,59'S / 57°28,22'W



Site : PS 47/063 (SL)  
 Recovery : 6,41 m  
 Water depth : 1994 m

ANT XV/2  
 Area : Bransfield Strait  
 Position : 62°15,59'S / 57°28,22'W

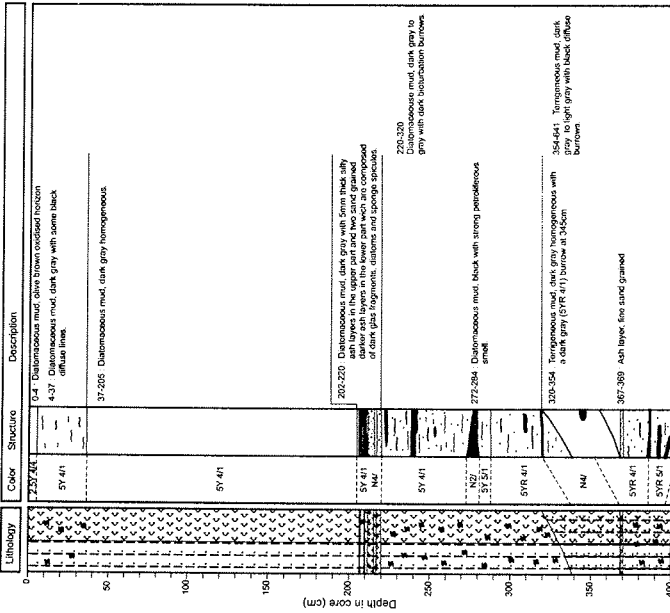
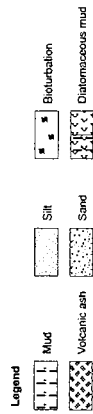
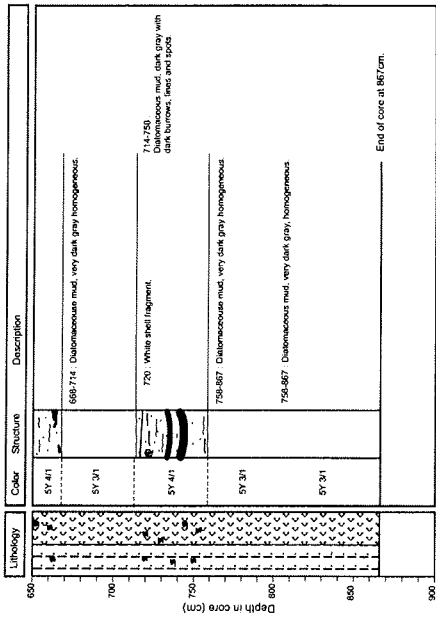






Abbildung 9-4: PS 47/086 (SL 86) - Fortsetzung

ANT XVI/2  
 Area : Bransfield Strait  
 Position : 62°16,81'S / 57°35,18'W  
 Site : PS 47/086-2 (SL)  
 Recovery : 8,67 m  
 Water depth : 2009 m



Core sections : 0 - 64 cm, 64 - 164 cm, 164 - 265 cm, 265 - 365 cm, 365 - 477 cm, 477 - 572 cm, 572 - 670 cm, 670 - 770 cm, 770 - 867 cm

**Tabelle 9-1:** Meßparameter für die Halogenid- und Sulfat-Bestimmung mit Hilfe von Ionenchromatographie

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Geräte:</b>                 | Sykam S1100 Solvent Delivery System<br>Sykam S3111 Column Heating Modul<br>Sykam S2210 Regeneration Valve Controller<br>Spark Holland Basic+ Marathon Probengeber |
| <b>Säule:</b>                  | Anionentrennsäule LCA A14 mit Vorsäule  |
| <b>Detektoren:</b>             | Cl, SO <sub>4</sub> : Leitfähigkeitsdetektor Sykam S3110 mit Suppressorverfahren<br>Br, I: UV-Detektor Linear UVIS 200 (Br: 204nm, I: 232 nm)                     |
| <b>Cl, Br, SO<sub>4</sub>:</b> |   |
| <b>Eluent:</b>                 | 7.5 mM Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -Lösung<br>vor der Verwendung Filtration durch 0.2 µm Celluloseacetatmembranfilter   |
| <b>Injektionsvolumen:</b>      | 20 µl   |
| <b>Injektionsmethode:</b>      | Loop-Fill (Total)   |
| <b>Probenfließrate:</b>        | 1.75 ml/min   |
| <b>Temperatur:</b>             | Säulenofentemperatur 70 °C  |
| <b>Kalibration:</b>            | Standards aus Verdünnungen des IAPSO (mit dem Eluenten)<br>Intergration über die Peakfläche   |
| <b>Verdünnung:</b>             | 1: 50 (mit dem Eluenten)  |
| <b>Qualitätskontrolle:</b>     | 1 IAPSO-Standard ca. nach jeder 10 Probe<br>Doppeltbestimmung von jeder Probe   |
| <b>I:</b>                      |   |
| <b>Eluent:</b>                 | 80 mM NaCl-Lösung<br>vor der Verwendung Filtration durch 0.2 µm Celluloseacetatmembranfilter  |
| <b>Injektionsvolumen:</b>      | 20 µl   |
| <b>Injektionsmethode:</b>      | Loop-Fill (Total)   |
| <b>Probenfließrate:</b>        | 1.9 ml/min  |
| <b>Temperatur:</b>             | Säulenofentemperatur 70 °C  |
| <b>Kalibration:</b>            | Standards aus Verdünnungen von KI (mit dem Eluenten)<br>Intergration über die Peakfläche  |
| <b>Verdünnung:</b>             | keine   |
| <b>Qualitätskontrolle:</b>     | 15.1 µM KI-Lösung als Standard ca. nach jeder 10 Probe<br>Doppeltbestimmung von jeder Probe   |
| <b>Richtigkeit:</b>            | Cl: 0.5 %<br>Br: 2.0 %<br>SO <sub>4</sub> : 1.2 %   |
| <b>Präzision:</b>              | I: 1.5 %<br>Cl: 0.5 %<br>Br: 1 %<br>SO <sub>4</sub> : 1.5 %<br>I: 1.5 %   |

**Tabelle 9-2:** Meßparameter für die Analytik von Porenwässern und Aufschlußlösung mit Hilfe von ICP-AES

|                             |                             |                         |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>Gerät:</b>               | Jobin Yvon 170 Ultratrace   |                         |
| <b>Sprühkammer:</b>         | Scott Double Path           |                         |
| <b>Plasmafackel:</b>        | JY Demountable Quartz Torch |                         |
|                             | <u>Porenwasser</u>          | <u>Aufschlußlösung</u>  |
| <b>Zerstäuber:</b>          | Cross-Flow                  | Meinhard-Typ            |
| <b>Zerstäuber-Vordruck:</b> | 3 bar                       | 3 bar                   |
| <b>Plasma Leistung:</b>     | 1200 W                      | 1000 W                  |
| <b>Gasfließraten (Ar):</b>  |                             |                         |
| <b>Plasma-Gas:</b>          | 12 l/min                    | 12 l/min                |
| <b>Coating-Gas:</b>         | 0.3 l/min                   | 0.3 l/min               |
| <b>Nebulizer-Gas:</b>       | 0.35 l/min                  | 1 l/min                 |
| <b>Pumpgeschwindigkeit:</b> | 20 Upm                      | 15 Upm                  |
| <b>Probenfließrate:</b>     | 1 ml/min                    | 0.4 ml/min              |
| <b>Spülzeit:</b>            | 60 sec                      | 60 sec                  |
| <b>Verzögerungszeit:</b>    | 40 sec                      | 40 sec                  |
| <b>Rekalibrierung:</b>      | nach ca. 7 Proben           | nach ca. 7 Proben       |
| <b>Element</b>              | <u>Wellenlänge [nm]</u>     | <u>Wellenlänge [nm]</u> |
| Mo                          |                             | 202.030                 |
| W                           |                             | 207.911                 |
| Zn                          |                             | 213.856                 |
| B                           | 249.773                     |                         |
| Mn                          | 257.610                     | 257.610                 |
| Fe                          |                             | 259.941                 |
| Cr                          |                             | 267.716                 |
| Mg                          | 279.553                     |                         |
| V                           |                             | 290.882                 |
| Ca                          | 317.933                     |                         |
| Cu                          |                             | 324.754                 |
| Na                          | 330.237                     |                         |
| Sc                          |                             | 361.384                 |
| La                          |                             | 398.852                 |
| Sr                          | 407.771                     | 407.771                 |
| Ba                          | 455.500                     | 455.500                 |
| Li                          | 670.784                     | 670.784                 |
| K                           | 766.490                     |                         |

**Tabelle 9-3:** Probenaufarbeitung und Meßparameter für die Bestimmung des B-Isotopenverhältnisses im Porenwasser mit Hilfe von TIMS

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Gerät:</b>             | Finnigan MAT 262   |
| <b>Geräteeinstellung:</b> | negativ; simultan; Faraday-Cups  |
| <b>Ion:</b>               | $\text{BO}_2^-$  |
| <b>Massen:</b>            | m/z = 42 (B-10)<br>m/z = 43 (B-11)<br>m/z = 41.5 (Grundlinie)  |
| <b>Filamente:</b>         | Re, gegläht  |
| <b>Probenmenge:</b>       | Ausglühen der Filamente 30 min bei 4.6 A im Vakuum ( $< 1 \cdot 10^{-6}$ mbar).<br>1 $\mu\text{l}$ , entsprechend etwa 5 ng B bei Meerwasser-Konzentration<br>hier: Proben mit max. 3 facher Meerwasser-Konzentration;<br>verstärkte Fraktionierung tritt jedoch erst ab ca. 100 ng auf.                 |
| <b>Laden:</b>             | Nach Aufgabe der Probe auf das Filament<br>bei 0.8 A bis zur Trockne eindampfen, anschließend 15 sec bei 1.5 A.  |
| <b>Vakuum:</b>            | Ionenquelle: $< 1 \cdot 10^{-7}$ mbar<br>Analysator: $< 5 \cdot 10^{-8}$ mbar  |
| <b>Peak Scan:</b>         | Nach der Änderung der Cup-Konfiguration (d.h. Einstellung anderer Massen)<br>wird zur Überprüfung der Cup-Positionen ein Peak Scan durchgeführt.   |
| <b>Filamentstrom:</b>     | ca. 1600 mA (richtet sich nach dem erzeugten Ionenstrom)   |
| <b>Ionenstrom:</b>        | 40 pA, max. 100 pA, i. allg. nicht über 60 pA<br>Bei einem zwischengeschalteten Widerstand von $10^{11} \Omega$<br>entspricht dies 4 V, max. 10 V.   |
| <b>Aufheizprozedur:</b>   | automatisches Programm:<br>mit 400 mA/min bis 1200 mA Filamentstrom<br>mit 40 mA/min bis 875°C Filament-Temperatur<br>mit 20 mA/min bis 890°C Filament-Temperatur<br>mit 20 mA/min bis 10 pA Ionenstrom (entspricht: 1 V, s.o.)<br>mit 20 mA/min bis 40 pA Ionenstrom (entspricht: 4 V, s.o.)            |
| <b>Fokussierung:</b>      | automatisch während des Aufheizprogramms<br>Zur Optimierung muß das Programm jedoch einige Male unterbrochen<br>werden, um manuell nachzufokussieren.  |
| <b>Peak-Zentrierung:</b>  | Auf der Pilotmasse (m/z = 43) wird der Massenpeak vor jeder<br>Messung so zentriert, daß das Maximum in die Cup-Mitte fällt.   |
| <b>Messung:</b>           | 3 Blöcke à 20 Scans<br>Vor jedem Block wird die Grundlinie neu bestimmt.<br>Die Meerwasser-Matrix verringert i.a. die Fraktionierung.<br>Wurde eine größere Fraktionierung festgestellt, wurde ein vierter Block durchgeführt,<br>die Probe wiederholt gemessen bzw. im Offline-Programm nachbearbeitet. |
| <b>Standard:</b>          | Meerwasser (IAPSO) mit $\delta^{11}\text{B} = 39.5 \%$ bezogen auf NBS SRM 951 (Borsäure)  |

**Tabelle 9-4:** Probenaufarbeitung und Meßparameter für die Bestimmung des Sr-Isotopenverhältnisses im Porenwasser mit Hilfe von TIMS

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Gerät:</b>             | Finnigan MAT 262  |
| <b>Geräteeinstellung:</b> | positiv; simultan; Faraday-Cups   |
| <b>Ion:</b>               | Sr <sup>+</sup>   |
| <b>Massen:</b>            | m/z = 84<br>m/z = 85 (Rb-Kontrolle)<br>m/z = 86<br>m/z = 87<br>m/z = 88<br>m/z = 86.5 (Grundlinie)  |
| <b>Chromatographie:</b>   | eindampfen von 1-1.5 ml Probe, aufnehmen in 0.5 ml 2.5 N HCl<br>1. Dowex-Säule: einspülen und eluieren mit 2.5 N HCl<br>eindampfen der Probe, aufnehmen in 0.5 ml 3 N HNO <sub>3</sub><br>2. Sr-Spec <sup>®</sup> -Säule: einspülen mit 3 N HNO <sub>3</sub> , eluieren mit H <sub>2</sub> O<br>eindampfen der Probe, aufnehmen in 3 µl 0.35 N H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>   |
| <b>Filamente:</b>         | Re single, geglüht<br>Ausglühen der Filamente 30 min bei 4.6 A im Vakuum (< 1*10 <sup>-6</sup> mbar)  |
| <b>Ionisierungshilfe:</b> | 2 µl TaCl <sub>5</sub>  |
| <b>Probenmenge:</b>       | 2-3 µl, Laden der gesamten Probe  |
| <b>Laden:</b>             | nach Aufgabe von TaCl <sub>5</sub> auf das Filament bei 0.5 A weitgehend eindampfen<br>nach Zugabe der Probe stufenweise bis 2 A eindampfen und glühen  |
| <b>Vakuum:</b>            | Ionenquelle: < 1*10 <sup>-7</sup> mbar<br>Analysator: < 1*10 <sup>-8</sup> mbar   |
| <b>Vorheizen:</b>         | ca. 15 Min. bei 1350°C (entspricht 2.3 mV)  |
| <b>Peak Scan:</b>         | Nach der Änderung der Cup-Konfiguration (d.h. Einstellung anderer Massen) wird zur Überprüfung der Cup-Positionen ein Peak Scan durchgeführt.   |
| <b>Filamentstrom:</b>     | ca. 3000 mA (richtet sich nach dem erzeugten Ionenstrom)  |
| <b>Ionenstrom:</b>        | 30-50 pA, max. 100 pA, auf Masse 88<br>Bei einem zwischengeschalteten Widerstand von 10 <sup>11</sup> Ω entspricht dies 3-5 V, max. 10 V.   |
| <b>Aufheizprozedur:</b>   | automatisch mit 500 mA/min bis 2300 mA Filamentstrom<br>manuell stufenweise bis etwa: 1300°C, 1400°C, 1450°C, 1500°C<br>anschließend bis stabiles Signal auf Masse 88: ca. 50 pA Ionenstrom (entspricht: 5 V, s.o.)<br>falls die Spannung auf Masse 88 nicht erreicht werden kann, mind. auf 3 V einregeln<br>falls die Spannung auf den Massen 87 und 86 mit 5 V auf Masse 88 nicht hoch genug ist (mehrere hundert mV), bis max. 7 V auf Masse 88 aufdrehen |
| <b>Fokussierung:</b>      | manuell während des Aufheizens  |
| <b>Peak-Zentrierung:</b>  | Auf der Pilotmasse (m/z = 86) wird der Massenpeak vor jeder Messung so zentriert, daß das Maximum in die Cup-Mitte fällt.   |
| <b>Messung:</b>           | 5 Blöcke à 20 Scans<br>Vor jedem Block wird die Grundlinie neu bestimmt.  |
| <b>Standard:</b>          | NBS 987 (SrCO <sub>3</sub> ) mit <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr = 0.71025   |

**Tabelle 9-5: Sedimentaufschluß-Verfahren**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Probenvorbereitung:</b> | Ein Aliquot des Preßkuchens wird bei 60°C über Nacht im Trockenschrank getrocknet und anschließend mit einem Achat-Mörser homogenisiert.  |
| <b>Geräte:</b>             | Aufschlußgefäß: Savillex-Teflonbehälter, 15ml<br>Heizplatte mit Thermostat<br>Meßkolben, 25ml<br>PE-Fläschchen, 50ml  |
| <b>Reagenzien:</b>         | HNO <sub>3</sub> , 65%, suprapur<br>HF, 40%, suprapur<br>HClO <sub>4</sub> , 60%, p.a.<br>MilliQ  |
| <b>Gefäß-Reinigung:</b>    | Die PE-Fläschchen werden mit 100 µl HNO <sub>3</sub> und 50 ml MilliQ gefüllt und über Nacht im Trockenschrank (65°C) konditioniert, anschließend werden sie je 2x mit MilliQ gefüllt und ebenfalls über Nacht erwärmt.   |
| <b>Tiegel-Reinigung:</b>   | Die Gefäße werden mit einem weichen Tuch mechanisch gereinigt, mit 3 ml HNO <sub>3</sub> und 5 ml MilliQ befüllt und mit geschlossenem Deckel 4 h auf der Heizplatte gekocht (160°C). Nach dem Abkühlen werden sie mit reichlich MilliQ gespült und im Trockenschrank verdeckt getrocknet.  |
| <b>Einwaage:</b>           | 100 mg Sediment werden mit wenigen ml MilliQ angefeuchtet und aufgeschlämmt.  |
| <b>Aufschluß:</b>          | 2 ml HF, 2 ml HNO <sub>3</sub> und 3 ml HClO <sub>4</sub> werden hinzu gegeben, etwaige Gasbildung abgewartet, die Gefäße verschlossen und die Tiegel bei 190°C 10h gekocht.  |
| <b>Abrauchen:</b>          | Die abgekühlten Tiegel werden geöffnet, die Säure wird abgeraucht (bis kurz vor der Trockne), der Rückstand in 1 ml HNO <sub>3</sub> aufgenommen, die Säure erneut abgeraucht, der Rückstand wiederum in 1 ml HNO <sub>3</sub> aufgenommen, es werden 5ml MilliQ zugeben, die Tiegel werden verschlossen und 2 h gekocht (160°C). |
| <b>Überführen:</b>         | Die abgekühlten Tiegel werden ggf. wieder leicht erwärmt (80°C), die Lösung wird in Glaskolben überführt, die Tiegel und Deckel werden mit MilliQ nachgespülen, die Kolben werden aufgefüllt (25 ml) und die Lösung wird in säuregereinigte PE-Fläschchen überführt (3x vorspülen).   |
| <b>Qualitätskontrolle:</b> | je Probensatz (ca. 30 Proben):<br>1 MAG-1 Standard (US Geological Survey)<br>1 Blindprobe<br>2 Doppelbestimmungen   |

**Tabelle 9-6:** Nährstoffe, DIC und Anionen im Porenwasser sowie pH im Sediment der TVG 87 und 89

| TVG 87.A   |                       |                      |                      |                      |                      |                       |          |           |         |                      |         |        |  |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------|--------|--|
| depth [cm] | SiO <sub>2</sub> [µM] | NO <sub>3</sub> [µM] | NO <sub>2</sub> [µM] | PO <sub>4</sub> [µM] | NH <sub>4</sub> [µM] | H <sub>2</sub> S [µM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO <sub>4</sub> [mM] | Br [µM] | I [µM] |  |
| 1          | 514                   | 3.02                 | 0.37                 | 3.34                 | 25.08                | bdl                   | 2.77     | 7.26      | 558     | 28.6                 | 823     | 0.41   |  |
| 3          | 546                   | 1.30                 | 0.17                 | 3.12                 | 20.90                | bdl                   | 2.71     | 7.24      | 555     | 28.9                 | 838     | 0.44   |  |
| 5          | 552                   | 2.48                 | 0.36                 | 3.30                 | 22.40                | bdl                   | 2.72     | 7.24      | 552     | 28.3                 | 866     | 0.48   |  |
| 7          | 559                   | 0.07                 | 0.08                 | 3.34                 | 21.63                | bdl                   | 2.86     | 7.22      | 555     | 28.4                 | 836     | 0.54   |  |
| 9          | 534                   | 0.36                 | 0.14                 | 2.94                 | 24.53                | bdl                   | 2.72     | 7.22      | 556     | 28.0                 | 827     | 0.58   |  |
| 11         | 591                   | bdl                  | 0.05                 | 2.32                 | 24.56                | bdl                   | 2.79     | 7.22      | 555     | 28.2                 | 851     | 0.50   |  |
| 13         | 592                   | bdl                  | 0.13                 | 2.68                 | 26.04                | bdl                   | 2.73     | 7.20      | 556     | 28.7                 | 844     | 0.51   |  |
| 15         | 604                   | bdl                  | 0.07                 | 3.04                 | 26.09                | bdl                   | 2.77     | 7.20      | 554     | 28.2                 | 840     | 0.57   |  |
| 17         | 608                   | bdl                  | 0.00                 | 2.00                 | 28.21                | bdl                   | 2.65     | 7.22      | 555     | 28.9                 | 852     | 0.61   |  |
| 19         | 606                   | bdl                  | 0.00                 | 2.80                 | 28.38                | bdl                   | 2.77     | 7.22      | 555     | 26.7                 | 798     | 0.50   |  |
| 21         | 611                   | bdl                  | 0.06                 | 3.07                 | 28.74                | bdl                   | 2.73     | 7.24      | 554     | 28.8                 | 837     | 0.58   |  |
| 23         | 626                   | bdl                  | 0.05                 | 3.31                 | 28.16                | bdl                   | 2.75     | 7.24      | 554     | 29.2                 | 854     | 0.63   |  |
| 25         | 559                   | 0.48                 | 0.07                 | 3.56                 | 35.15                | bdl                   | 2.76     | 7.26      | 554     | 28.1                 | 838     | 0.61   |  |
| 27         | 638                   | bdl                  | 0.13                 | 4.40                 | 28.49                | bdl                   | 2.77     | 7.22      | 554     | 18.9                 | 542     | 0.36   |  |
| 29         | 626                   | bdl                  | 0.10                 | 4.54                 | 28.47                | bdl                   | 2.68     | 7.15      | 552     | 28.2                 | 829     | 0.56   |  |
| 31         | 639                   | bdl                  | 0.20                 | 5.05                 | 30.55                | bdl                   | 2.64     | 7.22      | 552     | 28.7                 | 844     | 0.58   |  |
| 33         | 569                   | bdl                  | 0.22                 | 6.58                 | 29.40                | bdl                   | 2.61     | 7.20      | 551     | 27.6                 | 836     | 0.58   |  |
| 35         | 564                   | bdl                  | 0.28                 | 6.90                 | 29.51                | bdl                   | 2.62     | 7.17      | 552     | 28.8                 | 841     | 0.58   |  |
| 37         | 562                   | bdl                  | 0.31                 | 6.88                 | 52.29                | bdl                   | 2.61     | 7.20      | 551     | 29.2                 | 844     | 0.56   |  |

| TVG 87.B   |                       |                      |                      |                      |                      |                       |          |           |         |                      |         |        |  |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------|--------|--|
| depth [cm] | SiO <sub>2</sub> [µM] | NO <sub>3</sub> [µM] | NO <sub>2</sub> [µM] | PO <sub>4</sub> [µM] | NH <sub>4</sub> [µM] | H <sub>2</sub> S [µM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO <sub>4</sub> [mM] | Br [µM] | I [µM] |  |
| 2          | 568                   | na                   | na                   | na                   | na                   | bdl                   | 2.45     | 7.40      | 539     | 27.9                 | 881     | na     |  |
| 7          | 502                   | 0.55                 | 0.54                 | 5.11                 | 12.51                | bdl                   | 2.55     | 7.30      | 568     | na                   | na      | na     |  |
| 10         | 534                   | 0.85                 | 0.75                 | 4.14                 | 7.58                 | bdl                   | 2.30     | 7.25      | 556     | 28.5                 | 908     | na     |  |
| 14         | 468                   | bdl                  | 0.49                 | 2.11                 | 7.23                 | bdl                   | 2.39     | 7.42      | 554     | 29.0                 | 999     | na     |  |
| 19         | 681                   | bdl                  | 0.73                 | 7.04                 | 19.1                 | bdl                   | 2.38     | 7.15      | 561     | 26.3                 | 896     | na     |  |
| 24         | 786                   | bdl                  | 0.31                 | 0.23                 | 28.1                 | bdl                   | 2.59     | 7.02      | 554     | 27.5                 | 911     | 0.62   |  |
| 29         | 751                   | bdl                  | 0.57                 | 6.14                 | 35.9                 | bdl                   | 2.70     | 6.95      | 553     | 28.7                 | 941     | 1.10   |  |
| 32         | 769                   | bdl                  | 0.30                 | 5.89                 | 28.5                 | bdl                   | 2.49     | 6.95      | 553     | 27.8                 | 830     | 0.62   |  |
| 35         | 803                   | bdl                  | 0.28                 | 7.40                 | 78.6                 | bdl                   | 2.61     | 6.95      | 554     | 28.6                 | 841     | 0.85   |  |
| 38         | 769                   | bdl                  | 0.28                 | 7.38                 | 9.57                 | bdl                   | 2.56     | 6.91      | 552     | 28.2                 | 823     | 0.83   |  |

| TVG 87.D   |                       |                      |                      |                      |                      |                       |          |           |         |                      |         |        |  |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------|--------|--|
| depth [cm] | SiO <sub>2</sub> [µM] | NO <sub>3</sub> [µM] | NO <sub>2</sub> [µM] | PO <sub>4</sub> [µM] | NH <sub>4</sub> [µM] | H <sub>2</sub> S [µM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO <sub>4</sub> [mM] | Br [µM] | I [µM] |  |
| 1          | 573                   | 0.94                 | 0.20                 | 2.63                 | 18.3                 | bdl                   | 2.35     | 7.28      | 554     | 28.8                 | 827     | 0.33   |  |
| 3          | 576                   | bdl                  | 0.14                 | 2.07                 | 21.5                 | bdl                   | 2.43     | 7.24      | 552     | 26.0                 | 825     | 0.40   |  |
| 5          | 571                   | bdl                  | 0.13                 | 1.83                 | 26.0                 | bdl                   | 2.44     | 7.18      | 553     | 28.6                 | 813     | 0.47   |  |
| 7          | 578                   | bdl                  | 0.23                 | 1.29                 | 26.6                 | bdl                   | 2.40     | 7.17      | 555     | 28.1                 | 616     | 0.47   |  |
| 9          | 588                   | 2.91                 | 0.07                 | 1.51                 | 27.6                 | bdl                   | 2.45     | 7.17      | 552     | 28.6                 | 826     | 0.53   |  |
| 11         | 609                   | bdl                  | 0.25                 | 5.97                 | 32.4                 | bdl                   | 2.48     | 7.17      | 550     | 28.2                 | 826     | 0.58   |  |
| 13         | 640                   | 0.58                 | 0.68                 | 5.09                 | 34.0                 | bdl                   | 2.49     | 7.17      | 553     | 28.7                 | 824     | 0.66   |  |
| 15         | 637                   | bdl                  | 0.20                 | 5.01                 | 33.7                 | bdl                   | 2.52     | 7.15      | 552     | 27.8                 | 805     | 0.64   |  |
| 17         | 595                   | bdl                  | 0.33                 | 4.54                 | 34.2                 | bdl                   | 2.50     | 7.15      | 552     | 28.4                 | 823     | 0.63   |  |
| 19         | 607                   | 0.07                 | 0.24                 | 4.49                 | 34.0                 | bdl                   | 2.31     | 7.17      | 554     | 27.9                 | 796     | 0.58   |  |
| 21         | 618                   | 1.98                 | 0.28                 | 4.41                 | 33.8                 | bdl                   | 2.40     | 7.17      | 552     | 28.0                 | 806     | 0.59   |  |
| 23         | 628                   | 0.90                 | 0.53                 | 8.90                 | 36.2                 | bdl                   | 2.45     | 7.17      | 552     | 28.8                 | 913     | 0.77   |  |
| 25         | 826                   | 1.90                 | 0.98                 | 6.99                 | 36.1                 | bdl                   | 2.56     | 7.17      | 552     | 27.6                 | 783     | 0.70   |  |
| 27         | 818                   | 1.39                 | 0.83                 | 7.65                 | 38.1                 | bdl                   | 2.45     | 7.17      | 550     | 28.6                 | 801     | 0.68   |  |
| 29         | 828                   | 0.87                 | 1.33                 | 6.26                 | 38.0                 | bdl                   | 2.48     | 7.20      | 551     | 24.0                 | 681     | 0.69   |  |
| 31         | 572                   | 3.19                 | 0.39                 | 5.68                 | 37.1                 | bdl                   | 2.54     | 7.18      | 550     | 28.5                 | 800     | 0.71   |  |

| TVG 89.A   |                       |                      |                      |                      |                      |                       |          |           |         |                      |         |        |  |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------|--------|--|
| depth [cm] | SiO <sub>2</sub> [µM] | NO <sub>3</sub> [µM] | NO <sub>2</sub> [µM] | PO <sub>4</sub> [µM] | NH <sub>4</sub> [µM] | H <sub>2</sub> S [µM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO <sub>4</sub> [mM] | Br [µM] | I [µM] |  |
| 1          | 579                   | 1.14                 | 0.23                 | 6.89                 | 25.8                 | bdl                   | 2.81     | 7.52      | 556     | 27.7                 | 857     | 0.69   |  |
| 3          | 591                   | bdl                  | 0.34                 | 4.52                 | 32.5                 | bdl                   | 2.61     | 7.50      | 554     | 27.8                 | 841     | na     |  |
| 5          | 579                   | bdl                  | 0.16                 | 5.03                 | 33.0                 | bdl                   | 2.75     | 7.53      | 556     | 27.1                 | 840     | 0.87   |  |
| 7          | 601                   | bdl                  | 0.23                 | 5.17                 | 38.3                 | bdl                   | 2.78     | 7.50      | 554     | 27.7                 | 844     | 1.04   |  |
| 9          | 631                   | bdl                  | 0.07                 | 6.46                 | 45.8                 | bdl                   | 2.78     | 7.50      | 556     | 27.7                 | 840     | 1.10   |  |
| 11         | 639                   | bdl                  | 0.08                 | 7.48                 | 53.2                 | bdl                   | 2.99     | 7.61      | 556     | 27.4                 | 845     | 1.34   |  |
| 13         | 619                   | bdl                  | 0.02                 | 7.10                 | 55.3                 | bdl                   | 2.99     | 7.61      | 552     | 27.1                 | 756     | 1.45   |  |
| 15         | 636                   | bdl                  | 0.05                 | 8.13                 | 57.0                 | bdl                   | 3.05     | 7.59      | 554     | 27.2                 | 843     | 1.44   |  |
| 17         | 644                   | bdl                  | 0.03                 | 8.26                 | 59.8                 | bdl                   | 3.14     | 7.61      | 554     | 27.4                 | 842     | 1.66   |  |
| 19         | 644                   | bdl                  | 0.14                 | 8.94                 | 62.2                 | bdl                   | 3.10     | 7.59      | 552     | 26.9                 | 838     | 1.58   |  |
| 21         | 654                   | bdl                  | 0.09                 | 10.11                | 63.5                 | bdl                   | 3.11     | 7.61      | 553     | 26.6                 | 839     | 1.59   |  |
| 23         | 644                   | bdl                  | 0.19                 | 8.35                 | 72.6                 | bdl                   | 3.10     | 7.59      | 555     | 27.5                 | 839     | 1.74   |  |
| 25         | 631                   | bdl                  | 0.08                 | 9.51                 | 69.0                 | bdl                   | 3.13     | 7.61      | 553     | 26.7                 | 836     | 1.90   |  |
| 27         | 645                   | bdl                  | 0.05                 | 10.0                 | 69.0                 | bdl                   | 3.19     | 7.59      | 552     | 27.8                 | 845     | 1.82   |  |
| 29         | 658                   | bdl                  | 0.18                 | 2.96                 | 125                  | bdl                   | 3.26     | 7.57      | 553     | 25.8                 | 785     | 1.87   |  |
| 31         | 671                   | bdl                  | 0.03                 | 2.64                 | 112                  | bdl                   | 3.26     | 7.57      | 554     | 27.0                 | 905     | 1.88   |  |
| 33         | 692                   | bdl                  | 0.02                 | 2.59                 | 73.0                 | bdl                   | 3.22     | 7.59      | 552     | 27.0                 | 905     | 1.95   |  |
| 35         | 684                   | bdl                  | 0.02                 | 2.48                 | 74.9                 | bdl                   | 3.20     | 7.57      | 551     | 27.6                 | 915     | 2.04   |  |
| 37         | 672                   | bdl                  | 0.03                 | 2.42                 | 75.9                 | bdl                   | 3.24     | 7.57      | 549     | 25.1                 | 540     | 1.27   |  |
| 39         | 999                   | bdl                  | 0.01                 | 2.16                 | 74.8                 | bdl                   | 3.33     | 7.59      | 551     | 28.9                 | 909     | 1.98   |  |
| 41         | 697                   | bdl                  | 0.02                 | 2.18                 | 75.8                 | bdl                   | 3.27     | 7.57      | 552     | 27.6                 | 913     | na     |  |
| 43         | 675                   | bdl                  | 0.03                 | 2.70                 | 78.5                 | bdl                   | 3.34     | 7.55      | 556     | 26.8                 | 894     | 2.07   |  |
| 45         | 648                   | bdl                  | 0.04                 | 2.22                 | 80.5                 | bdl                   | 3.32     | 7.55      | 551     | 26.7                 | 780     | 1.90   |  |
| 47         | 657                   | bdl                  | 0.02                 | 2.09                 | 81.7                 | bdl                   | 3.24     | 7.63      | 546     | 26.5                 | 846     | 2.05   |  |
| 49         | 657                   | bdl                  | 0.04                 | 2.07                 | 83.3                 | bdl                   | 3.29     | 7.59      | 548     | 27.2                 | 855     | 1.99   |  |

| TVG 89.C   |                       |                      |                      |                      |                      |                       |          |           |         |                      |         |        |  |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------|--------|--|
| depth [cm] | SiO <sub>2</sub> [µM] | NO <sub>3</sub> [µM] | NO <sub>2</sub> [µM] | PO <sub>4</sub> [µM] | NH <sub>4</sub> [µM] | H <sub>2</sub> S [µM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO <sub>4</sub> [mM] | Br [µM] | I [µM] |  |
| 3          | 628                   | bdl                  | 0.72                 | 3.56                 | 26.2                 | bdl                   | 3.07     | 7.52      | 553     | 27.7                 | 848     | 1.08   |  |
| 8          | 634                   | bdl                  | 0.21                 | 4.84                 | 28.4                 | bdl                   | 2.99     | 7.48      | 551     | 26.9                 | 820     | 1.03   |  |
| 13         | 654                   | bdl                  | 0.28                 | 7.16                 | 45.4                 | bdl                   | 3.14     | 7.48      | 554     | 27.6                 | 840     | 1.14   |  |
| 18         | 664                   | bdl                  | 0.26                 | 8.10                 | 44.7                 | bdl                   | 3.02     | 7.48      | 552     | 28.9                 | 824     | 1.25   |  |
| 23         | 678                   | bdl                  | 0.10                 | 3.67                 | 53.2                 | bdl                   | 3.12     | 7.44      | 550     | 27.2                 | 821     | 1.35   |  |
| 28         | 682                   | bdl                  | 0.13                 | 3.62                 | 51.1                 | bdl                   | 3.21     | 7.44      | 552     | 26.6                 | 823     | 1.52   |  |
| 33         | 685                   | bdl                  | 0.11                 | 3.75                 | 53.2                 | bdl                   | 3.17     | 7.44      | 551     | 27.5                 | 837     | 1.50   |  |
| 38         | 707                   | bdl                  | 0.10                 | 3.92                 | 59.5                 | bdl                   | 3.22     | 7.40      | 552     | 26.7                 | 810     | 1.50   |  |
| 43         | 704                   | bdl                  | 0.08                 | 3.87                 | 65.3                 | bdl                   | 3.22     | 7.40      | 552     | 27.5                 | 818     | 1.54   |  |
| 47         | 677                   | bdl                  | 0.09                 | 3.15                 | 69.5                 | bdl                   | 3.27     | 7.38      | 532     | 24.4                 | 744     | 1.55   |  |



**Tabelle 9-7:** Nährstoffe, DIC und Anionen im Porenwasser sowie pH im Sediment des TVG 91

| TVG 91 A   |                 |                |                |                |                |                |          |           |         |          |               |              |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-----------|---------|----------|---------------|--------------|
| depth [cm] | SiO2 [ $\mu$ M] | NO3 [ $\mu$ M] | NO2 [ $\mu$ M] | PO4 [ $\mu$ M] | NH4 [ $\mu$ M] | H2S [ $\mu$ M] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [ $\mu$ M] | I [ $\mu$ M] |
| 2          | 1557            | na             | na             | 11 9           | 122            | 863            | 6 80     | 5 42      | 535     | 26 3     | 774           | 0 56         |
| 5          | 1582            | na             | na             | 11 7           | 117            | 864            | 7 14     | 5 33      | 535     | 25 9     | 783           | 0 63         |
| 8          | 1532            | na             | na             | 10 0           | 136            | 640            | 7 38     | 5 33      | 533     | 25 3     | 768           | 0 68         |
| 11         | 1490            | na             | na             | 9 5            | 142            | 589            | 6 30     | 5 32      | 537     | 26 5     | 806           | 0 73         |
| 14         | 1434            | na             | na             | 9 8            | 124            | 584            | 6 46     | 5 27      | 531     | 26 2     | 810           | 0 58         |
| 17         | 1378            | na             | na             | 9 1            | 153            | 132            | 5 55     | 5 38      | 528     | 26 4     | 804           | 0 67         |
| 22         | 1376            | na             | na             | 10 3           | 143            | 272            | 4 53     | 5 30      | 529     | 26 1     | 811           | 0 72         |
| 27         | 1353            | na             | na             | 9 5            | 145            | 348            | 6 20     | 5 30      | 532     | 26 3     | 841           | 0 72         |
| 70         | 1306            | na             | na             | 10 0           | 145            | 229            | 5 93     | 5 47      | 527     | 25 5     | 808           | 0 69         |

| TVG 91 B   |                 |                |                |                |                |                |          |           |         |          |               |              |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-----------|---------|----------|---------------|--------------|
| depth [cm] | SiO2 [ $\mu$ M] | NO3 [ $\mu$ M] | NO2 [ $\mu$ M] | PO4 [ $\mu$ M] | NH4 [ $\mu$ M] | H2S [ $\mu$ M] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [ $\mu$ M] | I [ $\mu$ M] |
| 1          | 1323            | na             | na             | 11 4           | 153            | 210            | 4 66     | 5 81      | 531     | 26 8     | 819           | 1 11         |
| 3          | 1412            | na             | na             | 11 2           | 159            | 228            | 4 81     | 5 66      | 531     | 27 2     | 818           | 0 65         |
| 5          | 1447            | na             | na             | 10 5           | 155            | 480            | 6 34     | 5 53      | 529     | 27 1     | 807           | 0 79         |
| 7          | 1320            | na             | na             | 10 3           | 170            | 85             | 3 35     | 5 52      | 531     | 27 7     | 839           | 0 75         |
| 9          | 1555            | na             | na             | 10 5           | 140            | 469            | 5 69     | 5 47      | 529     | 27 8     | 834           | 0 60         |
| 11         | 1459            | na             | na             | 10 5           | 127            | 493            | 5 37     | 5 50      | 527     | 27 0     | 812           | 0 59         |
| 13         | 1471            | na             | na             | 11 0           | 166            | 615            | 5 62     | 5 74      | 529     | 27 9     | 825           | 0 62         |
| 15         | 1474            | na             | na             | 10 7           | 174            | 481            | 5 46     | 5 61      | 528     | 26 8     | 809           | 0 63         |
| 17         | 1474            | na             | na             | 10 3           | 159            | 570            | 4 89     | 5 64      | 529     | 27 7     | 825           | 0 75         |
| 19         | 1468            | na             | na             | 10 7           | 145            | 339            | 4 27     | 5 69      | 527     | 26 1     | 756           | 0 55         |
| 21         | 1453            | na             | na             | 10 7           | 139            | 352            | 4 68     | 5 53      | 530     | 27 6     | 821           | 0 57         |
| 23         | 1444            | na             | na             | 10 5           | 135            | 480            | 5 30     | 5 58      | 530     | 27 9     | 827           | 0 52         |
| 25         | 1441            | na             | na             | 10 3           | 140            | 382            | 4 31     | 5 50      | 529     | 27 3     | 807           | 0 70         |
| 27         | 1441            | na             | na             | 10 7           | 118            | 575            | 5 69     | 5 52      | 527     | 27 8     | 818           | 0 58         |
| 29         | 1441            | na             | na             | 10 7           | 128            | 602            | 5 47     | 5 66      | 529     | 24 2     | 709           | 0 50         |
| 31         | 1435            | na             | na             | 11 0           | na             | 674            | 5 90     | 5 57      | 529     | 27 9     | 820           | 0 55         |
| 33         | 1429            | na             | na             | 11 0           | 131            | 573            | 5 37     | 5 60      | 530     | 27 2     | 810           | 0 56         |
| 35         | 1435            | na             | na             | 11 0           | 169            | 532            | 5 44     | 5 57      | 529     | 27 9     | 815           | na           |
| 37         | 1410            | na             | na             | 11 0           | 139            | 562            | 5 78     | 5 55      | 530     | 27 9     | 821           | 0 54         |
| 39         | 1432            | na             | na             | 11 2           | 140            | 516            | 5 30     | 5 55      | 532     | 27 5     | 800           | 0 59         |
| 41         | 1413            | na             | na             | 11 0           | 133            | 314            | 4 58     | 5 53      | 530     | 27 8     | 783           | na           |
| 43         | 1398            | na             | na             | 11 0           | 137            | 585            | 5 54     | 5 60      | 530     | 27 2     | 786           | 0 59         |

| TVG 91 C   |                 |                |                |                |                |                |          |           |         |          |               |              |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-----------|---------|----------|---------------|--------------|
| depth [cm] | SiO2 [ $\mu$ M] | NO3 [ $\mu$ M] | NO2 [ $\mu$ M] | PO4 [ $\mu$ M] | NH4 [ $\mu$ M] | H2S [ $\mu$ M] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [ $\mu$ M] | I [ $\mu$ M] |
| 3          | 1377            | na             | na             | 9 54           | 106            | 489            | 5 03     | 5 47      | 537     | 27 9     | 842           | 0 60         |
| 7          | 1369            | na             | na             | 9 08           | 123            | 518            | 5 22     | 5 38      | 536     | 26 6     | 814           | 0 57         |
| 12         | 1368            | na             | na             | 9 30           | 130            | 565            | 5 48     | 5 30      | 525     | 27 2     | 838           | 0 62         |
| 16         | 1401            | na             | na             | 11 21          | 83             | 771            | 6 49     | 5 28      | 529     | 24 3     | 723           | 0 54         |
| 21         | 1410            | na             | na             | 9 78           | 104            | 698            | 6 41     | 5 27      | 530     | 27 2     | 828           | 0 46         |
| 25         | 1369            | na             | na             | 10 26          | 109            | 836            | 5 80     | 5 27      | 531     | 26 3     | 846           | 0 53         |
| 31         | 1371            | na             | na             | 10 26          | 100            | 375            | 4 97     | 5 25      | 530     | 27 3     | 810           | 0 66         |
| 36         | 1380            | na             | na             | 10 26          | 90             | 609            | 6 43     | 5 28      | 532     | 27 5     | 828           | 0 54         |

| TVG 91 D   |                 |                |                |                |                |                |          |           |         |          |               |              |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-----------|---------|----------|---------------|--------------|
| depth [cm] | SiO2 [ $\mu$ M] | NO3 [ $\mu$ M] | NO2 [ $\mu$ M] | PO4 [ $\mu$ M] | NH4 [ $\mu$ M] | H2S [ $\mu$ M] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [ $\mu$ M] | I [ $\mu$ M] |
| 1          | 1364            | na             | na             | 9 30           | 132            | 475            | 4 32     | 5 57      | 536     | 27 3     | 827           | 0 51         |
| 3          | 1356            | na             | na             | 9 30           | 130            | 536            | 4 24     | 5 57      | 534     | 26 1     | 768           | 0 45         |
| 5          | 1370            | na             | na             | 9 54           | 133            | 623            | 4 42     | 5 50      | 535     | 27 4     | 824           | 0 51         |
| 7          | 1370            | na             | na             | 9 54           | 110            | 324            | 3 88     | 5 49      | 536     | 27 9     | 823           | 0 51         |
| 9          | 1384            | na             | na             | 9 54           | 118            | 509            | 4 38     | 5 50      | 535     | 27 4     | 801           | 0 50         |
| 11         | 1384            | na             | na             | 9 54           | 134            | 520            | 4 24     | 5 52      | 535     | 26 0     | 829           | 0 48         |
| 13         | 1392            | na             | na             | 9 78           | 120            | 604            | 5 56     | 5 46      | 535     | 27 1     | 817           | 0 50         |
| 15         | 1395            | na             | na             | 9 78           | 128            | 579            | 5 28     | 5 55      | 533     | 27 8     | 829           | 0 47         |
| 17         | 1395            | na             | na             | 9 54           | 135            | 635            | 5 44     | 5 46      | 532     | 26 0     | 829           | 0 50         |
| 19         | 1420            | na             | na             | 9 54           | 139            | 589            | 4 96     | 5 50      | 535     | 27 5     | 827           | 0 49         |
| 21         | 1418            | na             | na             | 9 78           | 136            | 601            | 5 25     | 5 50      | 535     | 27 9     | 807           | 0 47         |
| 23         | 1392            | na             | na             | 9 30           | 128            | 514            | 4 39     | 5 53      | 534     | 27 1     | 812           | 0 50         |
| 25         | 1387            | na             | na             | 9 06           | 131            | 409            | 4 35     | 5 47      | 533     | 28 1     | 850           | 0 48         |
| 27         | 1398            | na             | na             | 8 82           | 140            | 377            | 3 38     | 5 53      | 533     | 27 5     | 855           | 0 50         |
| 29         | 1378            | na             | na             | 8 82           | 138            | 415            | 4 28     | 5 77      | 532     | 26 1     | 856           | 0 45         |
| 31         | 1412            | na             | na             | 9 84           | 134            | 536            | 5 16     | 5 70      | 536     | 27 6     | 870           | 0 49         |
| 33         | 1426            | na             | na             | 9 78           | 123            | 565            | 4 88     | 5 60      | 533     | na       | na            | 0 57         |
| 35         | 1429            | na             | na             | 9 54           | 130            | 475            | 4 80     | 5 46      | 533     | 26 9     | 819           | 0 49         |
| 37         | 1437            | na             | na             | 9 54           | 128            | 541            | 4 80     | 5 46      | 532     | 27 2     | 809           | 0 47         |
| 39         | 1465            | na             | na             | 8 54           | 149            | 548            | 4 63     | 5 47      | 535     | 27 3     | 814           | 0 47         |
| 41         | 1468            | na             | na             | 9 30           | 136            | 478            | 4 78     | 5 49      | 534     | 27 7     | 814           | na           |
| 43         | 1434            | na             | na             | 10 26          | 131            | 423            | 4 33     | 5 50      | 533     | 27 1     | 813           | 0 51         |
| 45         | 1429            | na             | na             | 9 78           | 143            | 565            | 5 11     | 5 77      | 532     | 27 7     | 815           | 0 47         |
| 47         | 1415            | na             | na             | 10 02          | 124            | 500            | 4 48     | 5 75      | 532     | 27 3     | 821           | 0 49         |
| 49         | 1297            | na             | na             | 9 54           | 118            | 403            | 3 51     | 6 15      | na      | 28 1     | 817           | 0 53         |

Tabelle 9-8: Nährstoffe, DIC, Alkalinität und Anionen im Porenwasser sowie pH im Sediment der SL 61, 62, 63 und 86

| SL 61      |           |          |          |          |          |          |          |         |           |         |          |         |        |
|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| depth [cm] | SiO2 [µM] | NO3 [µM] | NO2 [µM] | PO4 [µM] | NH4 [µM] | H2S [µM] | DIC [mM] | TA [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
| 5          | na        | na       | na       | na       | na       | na       | 23.0     | na      | 7.51      | na      | na       | na      | na     |
| 30         | 681       | 0.36     | 0.25     | 69       | 778      | na       | na       | na      | 7.51      | 543     | na       | na      | na     |
| 45         | na        | na       | na       | na       | na       | na       | 4.9      | na      | 7.53      | na      | na       | na      | na     |
| 65         | 672       | 0.61     | 0.2      | 239      | 846      | na       | na       | 18.2    | 7.46      | 548     | na       | na      | na     |
| 80         | 667       | na       | na       | 227      | 909      | na       | na       | 14.7    | 7.46      | 550     | 21.1     | na      | na     |
| 105        | na        | na       | na       | na       | na       | na       | 16.9     | na      | 7.52      | na      | na       | na      | na     |
| 130        | 681       | na       | na       | 356      | 1248     | na       | na       | 17.7    | 7.53      | 551     | 18.8     | na      | na     |
| 155        | 667       | na       | na       | 373      | 1343     | na       | na       | 20.0    | 7.47      | 546     | 17.6     | na      | na     |
| 180        | na        | na       | na       | na       | na       | na       | 21.3     | na      | 7.44      | na      | na       | na      | na     |
| 205        | 670       | na       | na       | 399      | 1603     | na       | na       | na      | 7.47      | 546     | 16.1     | 849     | na     |
| 230        | 678       | na       | na       | 412      | 1761     | na       | na       | 24.3    | 7.47      | 546     | 14.6     | 851     | na     |
| 247        | 592       | na       | na       | 378      | 1829     | na       | na       | 26.2    | na        | 7.32    | 529      | na      | 77.7   |
| 280        | 717       | na       | na       | 430      | 2097     | na       | na       | 30.4    | 22.6      | 7.59    | 559      | 13.3    | 912    |
| 302        | 733       | na       | na       | 450      | 2175     | na       | na       | 30.7    | 23.3      | 7.63    | 557      | 13.0    | 875    |
| 330        | 717       | na       | na       | 427      | 2237     | na       | na       | 30.2    | 26.3      | 7.59    | 557      | 13.9    | 892    |
| 355        | 719       | na       | na       | 424      | 2326     | na       | na       | 31.3    | 28.2      | 7.55    | 558      | 13.4    | 860    |
| 380        | 723       | na       | na       | 438      | 2376     | na       | na       | 32.2    | 27.9      | 7.59    | 557      | 12.9    | 897    |
| 405        | 741       | na       | na       | 402      | 2288     | na       | na       | 30.3    | 27.2      | 7.59    | 560      | 14.3    | 932    |
| 430        | 758       | na       | na       | 370      | 2318     | na       | na       | 30.5    | 29.3      | 7.51    | 561      | 13.8    | 888    |
| 455        | 752       | na       | na       | 351      | 2393     | na       | na       | 30.3    | 27.0      | 7.53    | 565      | 14.4    | 911    |
| 480        | 833       | na       | na       | 303      | 2286     | na       | na       | 26.8    | 26.3      | 7.47    | 564      | na      | na     |
| 505        | na        | na       | na       | na       | na       | na       | na       | na      | 7.40      | na      | na       | na      | na     |
| 530        | 863       | na       | na       | 238      | 2438     | na       | na       | 26.4    | na        | 7.34    | 565      | 18.0    | 955    |
| 555        | 860       | na       | na       | 193      | 2178     | na       | na       | 26.7    | 26.3      | 7.30    | 566      | 16.5    | 941    |
| SL 62      |           |          |          |          |          |          |          |         |           |         |          |         |        |
| depth [cm] | SiO2 [µM] | NO3 [µM] | NO2 [µM] | PO4 [µM] | NH4 [µM] | H2S [µM] | DIC [mM] | TA [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
| 6          | 553       | na       | 0.41     | 12       | 21       | na       | 2.6      | 2.4     | 7.59      | 556     | 27.9     | 837     | 1.8    |
| 20         | 772       | 3.39     | 0.21     | 99       | 433      | na       | 7.8      | 7.9     | 7.51      | 548     | 25.9     | 875     | 29.9   |
| 40         | 717       | na       | na       | 118      | 612      | na       | 14.2     | 17.3    | 7.49      | 554     | 20.0     | 948     | 43.8   |
| 60         | 780       | na       | na       | 250      | 1076     | na       | 18.5     | 19.3    | 7.46      | 555     | 29.9     | 1285    | 128.5  |
| 80         | 770       | na       | na       | 289      | 1293     | na       | 21.7     | 23.0    | 7.51      | 554     | 18.8     | 950     | 51.0   |
| 100        | 774       | na       | na       | 338      | 1456     | na       | 24.2     | 24.9    | na        | 556     | 22.5     | 1242    | 156.1  |
| 130        | na        | na       | na       | na       | na       | na       | na       | na      | 7.37      | na      | na       | na      | 128.0  |
| 155        | 788       | na       | na       | 379      | 1759     | na       | 27.4     | 26.5    | na        | 556     | 14.8     | 910     | na     |
| 180        | 785       | na       | na       | 376      | 1806     | na       | 30.8     | 28.1    | 7.59      | 555     | 12.7     | 885     | 109.3  |
| 200        | 749       | na       | na       | 365      | 2052     | na       | 30.9     | 30.6    | 7.55      | 557     | 10.3     | 920     | 126.5  |
| 230        | 791       | na       | na       | 428      | 2237     | na       | 35.8     | 32.3    | 7.59      | 560     | 8.8      | 918     | 131.1  |
| 255        | 800       | na       | na       | 427      | 2335     | na       | 36.5     | 37.2    | 7.58      | 560     | 9.0      | 949     | 145.6  |
| 280        | 791       | na       | na       | 407      | 2456     | na       | 36.3     | 41.3    | 7.65      | 559     | 7.4      | 944     | 182.7  |
| 305        | 799       | na       | na       | 443      | 2615     | na       | 38.9     | 43.3    | 7.59      | 566     | 6.5      | 1126    | 187.9  |
| 330        | 767       | na       | na       | 420      | 2680     | na       | 39.4     | 45.9    | 7.59      | 564     | 7.9      | 927     | 176.9  |
| 355        | 785       | na       | na       | 414      | 2815     | na       | 42.3     | 45.2    | 7.55      | 564     | 7.4      | 936     | 206.5  |
| 380        | 774       | na       | na       | 410      | 2961     | na       | 42.5     | 44.8    | 7.61      | 564     | 3.3      | 942     | 213.1  |
| 405        | 799       | na       | na       | 409      | 3137     | na       | 45.1     | 48.2    | 7.57      | 567     | 2.6      | 920     | 215.1  |
| 430        | 811       | na       | na       | 401      | 3320     | na       | 45.1     | 50.0    | 7.53      | 589     | 2.6      | 974     | 245.9  |
| 455        | 864       | na       | na       | 379      | 3804     | na       | 46.7     | 50.6    | 7.51      | 573     | 1.5      | 982     | 257.2  |
| 480        | 910       | na       | na       | 382      | 3826     | na       | 47.2     | 49.7    | 7.47      | 576     | 0.6      | 974     | 265.6  |
| 505        | 866       | na       | na       | 287      | 4011     | na       | 48.4     | 49.9    | 7.44      | 579     | 0.3      | 1005    | 283.3  |
| 530        | 838       | na       | na       | 174      | 4241     | na       | 47.5     | na      | 7.38      | 578     | 0.0      | 1029    | 295.9  |
| 555        | 923       | na       | na       | 170      | 4063     | na       | na       | 52.2    | 7.34      | 580     | 0.0      | 1024    | 295.3  |
| SL 63      |           |          |          |          |          |          |          |         |           |         |          |         |        |
| depth [cm] | SiO2 [µM] | NO3 [µM] | NO2 [µM] | PO4 [µM] | NH4 [µM] | H2S [µM] | DIC [mM] | TA [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
| 16.5       | 831       | 5.81     | 0.37     | 88.6     | 711      | na       | 6.8      | 8.7     | 7.33      | 556     | 25.0     | 856     | 22.5   |
| 49.5       | 826       | 1.28     | 0.18     | 168      | 842      | na       | 13.4     | 16.7    | 7.63      | 566     | 20.2     | 832     | 45.3   |
| 91.5       | 853       | 0.12     | 0.16     | 249      | 1125     | na       | 17.2     | 18.1    | 7.57      | 556     | 18.4     | 659     | 55.3   |
| 121.5      | 843       | 0.02     | 0.10     | 277      | 1287     | na       | 19.0     | 21.0    | 7.53      | 559     | 18.7     | 913     | 80.3   |
| 141.5      | 831       | na       | 0.37     | 271      | 1316     | na       | 20.1     | 21.1    | 7.51      | 539     | 18.0     | 892     | 86.0   |
| 165.5      | 707       | na       | na       | 272      | 1453     | na       | 21.0     | 25.0    | 7.57      | 559     | 17.6     | 896     | 95.5   |
| 191.5      | 808       | na       | na       | 278      | 1716     | na       | 22.6     | 26.7    | 7.55      | 561     | 16.4     | 931     | na     |
| 222.5      | 816       | na       | na       | 232      | 1845     | na       | 24.9     | 27.8    | 7.59      | 560     | 14.2     | 928     | 122.3  |
| 255.5      | 838       | na       | na       | 197      | 1981     | na       | 26.7     | 26.5    | 7.51      | 565     | 13.4     | 916     | 103.1  |
| 279.5      | 830       | na       | na       | 198      | 2096     | na       | 27.4     | 27.4    | 7.49      | 568     | 15.3     | 917     | 145.4  |
| 305.5      | 838       | na       | na       | 168      | 2146     | na       | 27.4     | 29.9    | 7.46      | 568     | 13.2     | 952     | 152.3  |
| 331.5      | 791       | na       | na       | 121      | 2292     | na       | 27.4     | 29.8    | 7.38      | 588     | 11.1     | 929     | 162.9  |
| 351.5      | 718       | na       | na       | 81       | 2294     | na       | 28.1     | 27.9    | 7.36      | 566     | 10.0     | 923     | 165.6  |
| 376.5      | 681       | na       | na       | 65.6     | 2459     | na       | 27.9     | na      | 7.35      | 588     | 11.1     | 954     | na     |
| 401.5      | 648       | na       | na       | 50.7     | 2609     | na       | 28.2     | 29.3    | 7.27      | 559     | 10.0     | 900     | 179.1  |
| 421.5      | 631       | na       | na       | 41.8     | 2741     | na       | 27.4     | 29.7    | 7.19      | 572     | 8.8      | 942     | 188.9  |
| 451.5      | 602       | na       | na       | 29.4     | 2942     | na       | 29.4     | 30.5    | 7.19      | 575     | 8.0      | 961     | 200.6  |
| 476.5      | 557       | na       | na       | 15.9     | 3099     | na       | 29.6     | 28.1    | 7.13      | 574     | 6.1      | 922     | 207.2  |
| 504.5      | 560       | na       | na       | 15.9     | 3277     | na       | 30.8     | 32.7    | 7.11      | 574     | 3.5      | 718     | na     |
| 529.5      | 550       | na       | na       | 10.6     | 3465     | na       | 30.2     | 32.1    | 7.02      | 577     | 3.9      | 978     | 232.8  |
| 548.5      | 340       | na       | na       | 8.20     | 3527     | na       | 30.8     | 32.2    | 7.08      | 578     | 3.4      | 926     | 234.5  |
| 568.5      | 528       | na       | na       | 4.80     | 3765     | na       | 31.0     | 32.1    | 7.13      | 578     | 3.1      | 974     | 240.7  |
| 595.5      | 508       | na       | na       | 3.88     | 3995     | na       | 31.2     | na      | 7.06      | 579     | na       | 989     | 239.1  |
| 622.5      | 516       | na       | na       | 3.36     | 4423     | na       | 32.4     | 34.0    | 7.13      | 577     | 1.4      | 775     | na     |
| SL 86      |           |          |          |          |          |          |          |         |           |         |          |         |        |
| depth [cm] | SiO2 [µM] | NO3 [µM] | NO2 [µM] | PO4 [µM] | NH4 [µM] | H2S [µM] | DIC [mM] | TA [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
| 5          | 758       | na       | na       | 4        | 153      | na       | 4.7      | 5.8     | 7.20      | 552     | 26.8     | 803     | 11.3   |
| 20         | 914       | na       | na       | 200      | 839      | na       | 13.3     | 14.6    | 7.42      | 551     | 19.7     | 748     | 42.3   |
| 40         | 780       | na       | na       | 253      | 915      | na       | 19.8     | 22.7    | 7.44      | 556     | 17.6     | 761     | 71.7   |
| 58         | 751       | na       | na       | 329      | 1002     | na       | na       | na      | 7.41      | na      | 15.2     | 805     | 82.4   |
| 80         | 799       | na       | na       | 382      | 1192     | na       | 27.7     | 30.0    | 7.55      | 556     | 15.0     | 877     | 108.6  |
| 100        | 790       | na       | na       | 398      | 1282     | na       | 30.6     | 31.4    | 7.53      | 555     | 13.6     | 885     | 119.8  |
| 125        | 821       | na       | na       | 434      | 1423     | na       | 32.4     | 41.7    | 7.47      | 553     | 12.1     | 705     | 29.9   |
| 150        | 813       | na       | na       | 479      | 1579     | na       | 34.8     | 33.8    | 7.47      | 553     | 9.8      | 842     | 85.6   |
| 175        | 828       | na       | na       | 508      | 1816     | na       | 38.0     | 31.5    | 7.37      | 549     | 6.4      | 940     | 81.7   |
| 200        | 886       | na       | na       | 537      | 1942     | na       | 39.9     | 34.1    | 7.49      | 557     | 6.5      | 925     | 161.2  |
| 225        | 838       | na       | na       | 560      | 1868     | na       | 41.9     | 38.0    | 7.47      | 551     | 5.5      | 978     | 152.7  |
| 250        | 789       | na       | na       | 605      | 1897     | na       | 44.2     | 38.9    | 7.56      | 551     | 4.1      | 869     | 192.7  |
| 275        | 809       | na       | na       | 620      | 1935     | na       | 45.8     | 39.0    | 7.44      | 555     | 2.8      | 847     | 198.5  |
| 300        | 782       | na       | na       | 642      | 1926     | na       | 46.4     | 43.7    | 7.38      | 556     | 2.0      | 932     | 214.2  |
| 325        | 794       | na       | na       | 661      | 2004     | na       | 47.3     | 51.4    | 7.42      | 544     | 1.1      | 939     | 215.8  |
| 350        | 819       | na       | na       | 692      | 2140     | na       | 49.9     | 53.2    | 7.44      | 555     | 0.0      | 981     | 224.8  |
| 375        | 1041      | na       | na       | 553      | 2313     | na       | na       | na      | 7.24      | 555     | 0.3      | 938     | 240.5  |
| 407        | 782       | na       | na       | 806      | 2371     | na       | 59.4     | 54.2    | 7.58      | 544     | 0.4      | 869     | 218.6  |
| 428        | 800       | na       | na       | 584      | 2581     | na       | na       | na      | 7.38      | 556     | na       | 970     | 274.1  |
| 455        | 824       | na       | na       | 608      | 2627     | na       | 50.0     | 51.8    | 7.38      | 553     | na       | 762     | 286.9  |
| 480        | 765       | na       | na       | 625      | 2632     | na       | 50.5     | na      | 7.40      | 556     | na       | 904     | 276.5  |
| 505        | 745       | na       | na       | 618      | 2652     | na       | 50.9     | 50.4    | 7.50      | 553     | na       | 944     | 289.5  |
| 530        | 765       | na       | na       | 648      | 3187     | na       | 52.4     | 53.2    | 7.40      | 558     | na       | 940     | 299.6  |
| 558        | 728       | na       | na       | 646      | 2979     | na       | 52.4     | 53.1    | 7.42      | 556     | na       | 931     | 304.0  |
| 590        | 734       | na       | na       | 498      | 2680     | na       | 54.2     | 54.3    | 7.46      | 553     | na       | 974     | 312.8  |
| 612        | 738       | na       | na       | 478      | 3175     | na       | 54.4     | 56.2    | 7.48      | 556     | na       | 951     | 314.3  |
| 635        | 740       | na       | na       | 488      | 2891     | na       | 55.1     | 57.3    | 7.46      | 549     | na       | 933     | 308.2  |
| 664        | 734       | na       | na       | 480      | 2742     | na       | 54.7     | 56.9    | 7.44      | 550     | na       | 978     | 313.5  |
| 680        | 716       | na       | na       |          |          |          |          |         |           |         |          |         |        |

Tabelle 9-9: Hauptelemente im Porenwasser der TVG 87 und 89

| TVG 87_A       |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbstf] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 1              | 481     | 10.3   | 24.8    | 423    | 2.11    | 10.1    | 52.1    | 87.5    | na      |
| 3              | 480     | na     | 25.3    | 449    | 2.41    | 10.4    | 55.1    | 89.6    | 222     |
| 7              | 466     | 10.3   | 25.3    | 455    | 2.86    | 10.3    | 54.8    | 87.5    | 210     |
| 11             | 477     | na     | na      | 433    | 2.50    | 10.4    | 52.7    | 86.7    | 198     |
| 13             | 492     | 10.4   | 25.1    | 440    | 2.39    | 10.3    | 53.3    | 89.5    | na      |
| 15             | 471     | na     | 25.1    | 438    | 2.53    | 10.2    | 54.2    | 87.2    | 214     |
| 19             | 473     | 10.5   | 24      | 430    | 2.30    | 10.1    | 53.8    | 86.1    | 214     |
| 21             | 483     | 11.0   | 24.6    | 443    | 2.58    | 10.2    | 54.3    | 86.9    | na      |
| 23             | 479     | 10.8   | 23.7    | 443    | 5.89    | 10.1    | 53.0    | 85.8    | 207     |
| 25             | 475     | 11.1   | 23.7    | 446    | 2.47    | 10.4    | 54.7    | 89.5    | na      |
| 29             | 481     | 10.9   | 24.1    | 428    | 2.60    | 10.5    | 54.4    | 88.7    | na      |
| 31             | 441     | 9.8    | 21.7    | 421    | 2.57    | 9.9     | 52.6    | 83.2    | 217     |
| 33             | 475     | 9.0    | 25.7    | 431    | 2.54    | 10.4    | 53.1    | 85.8    | na      |
| 35             | 484     | 10.7   | 23.9    | 452    | 2.81    | 10.7    | 55.9    | 90.4    | 217     |

| TVG 87_B       |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbstf] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 10             | 467     | 10.6   | 24.0    | 426    | 1.42    | 10.4    | 52.6    | 85.6    | 155     |
| 14             | 473     | 11.1   | 23.8    | 425    | 1.06    | 10.5    | 53.1    | 85.6    | 153     |
| 24             | 451     | 10.2   | 23.9    | 410    | 2.82    | 9.8     | 50.8    | 81.0    | 154     |
| 29             | 466     | 10.8   | 25.2    | 419    | 3.26    | 10.2    | 52.5    | 85.0    | 177     |
| 32             | 473     | 11.0   | 26.5    | 432    | 3.14    | 10.3    | 52.8    | 85.9    | 173     |
| 35             | 477     | 10.9   | 25.8    | 417    | 3.21    | 10.5    | 53.8    | 85.9    | 171     |
| 38             | 458     | 10.6   | 25.2    | 421    | 3.05    | 10.3    | 51.9    | 85.0    | 160     |

| TVG 87_D       |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbstf] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 1              | 482     | na     | na      | 438    | 1.82    | 11.1    | 56.5    | 89.6    | na      |
| 3              | 491     | na     | 26.3    | 447    | 2.48    | 11.0    | 56.1    | 89.9    | na      |
| 5              | 487     | na     | 26.2    | 432    | 2.85    | 11.1    | 56.7    | 89.4    | na      |
| 7              | 478     | 10.7   | 25.1    | 433    | 2.38    | 10.6    | 55.1    | 88.4    | 202     |
| 9              | 485     | na     | na      | 439    | 2.42    | 11.3    | 57.3    | 90.5    | na      |
| 11             | 482     | 10.8   | 25.5    | 442    | 2.88    | 11.0    | 56.1    | 89.3    | na      |
| 13             | 493     | na     | na      | 441    | 3.13    | 11.5    | 58.3    | 91.7    | na      |
| 15             | 487     | na     | 25.4    | 449    | 3.15    | 11.2    | 56.9    | 90.0    | na      |
| 17             | 489     | 10.9   | 26.1    | 438    | 3.39    | 10.5    | 54.1    | 87.4    | 221     |
| 19             | 477     | 10.8   | 26.4    | 429    | 3.66    | 10.4    | 53.2    | 86.6    | 231     |
| 21             | 485     | 10.9   | 25.8    | 430    | 4.04    | 10.5    | 54.1    | 86.0    | 209     |
| 23             | 459     | 10.6   | 25.6    | 436    | 4.10    | 10.3    | 53.8    | 85.8    | 201     |
| 25             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 27             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 29             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 31             | 482     | na     | 26.1    | 422    | 4.25    | 10.7    | 54.4    | 87.4    | na      |

| TVG 89_A       |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbstf] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 1              | 471     | 10.9   | 26.5    | 434.4  | 2.20    | 10.4    | 53.1    | 86.0    | 171     |
| 3              | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 5              | 478     | 11.1   | 26.7    | 423.7  | 2.58    | 10.4    | 53.1    | 86.8    | 422     |
| 7              | 463     | 10.7   | 26.1    | 424.1  | 2.35    | 10.4    | 52.7    | 85.6    | 188     |
| 9              | 470     | 11.0   | 26.2    | 447.3  | 2.88    | 10.5    | 53.6    | 86.6    | 329     |
| 11             | 467     | 10.9   | 26.6    | 427.5  | 2.90    | 10.3    | 52.2    | 85.4    | 356     |
| 13             | 471     | 11.1   | 25.8    | 427.5  | 2.70    | 10.3    | 52.9    | 86.3    | 181     |
| 15             | 463     | 11.0   | 26.9    | 426.5  | 2.78    | 10.1    | 52.3    | 84.1    | 170     |
| 17             | 475     | 11.0   | 26.8    | 427.6  | 2.72    | 10.5    | 53.4    | 86.9    | 183     |
| 19             | 469     | 11.1   | 26.4    | 430.6  | 2.73    | 10.2    | 52.3    | 85.5    | 184     |
| 21             | 465     | 10.7   | 26.1    | 431.5  | 2.87    | 9.4     | 52.4    | 82.9    | 184     |
| 23             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 25             | 475     | 11.6   | 27.3    | 429.0  | 3.57    | 10.3    | 52.6    | 85.9    | 197     |
| 27             | 465     | 10.8   | 26.2    | 431.4  | 2.84    | 10.3    | 52.8    | 85.5    | 188     |
| 29             | 460     | 10.7   | 26.1    | 428.2  | 2.80    | 10.3    | 52.7    | 84.9    | 182     |
| 31             | 474     | 11.7   | 28.3    | 442.3  | 2.97    | 10.3    | 52.6    | 85.8    | 192     |
| 33             | 469     | 11.0   | 25.6    | 438.9  | 2.97    | 10.2    | 52.7    | 85.3    | 179     |
| 35             | 484     | 12.3   | 29.6    | 434.8  | 2.88    | 10.2    | 53.0    | 86.1    | 208     |
| 37             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 39             | 483     | 12.1   | 29.1    | 444.3  | 2.88    | 10.3    | 52.9    | 86.2    | 192     |
| 41             | 473     | 11.1   | 26.2    | 426.7  | 2.91    | 10.2    | 52.2    | 85.2    | 177     |
| 43             | 493     | 12.4   | 29.7    | 433.5  | 3.03    | 10.3    | 53.0    | 86.0    | 201     |
| 45             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 47             | 481     | 12.0   | 29.8    | 425.9  | 3.10    | 10.1    | 52.4    | 85.2    | 217     |
| 49             | 464     | 10.9   | 25.7    | 428.2  | 3.28    | 10.1    | 52.2    | 84.3    | 192     |

| TVG 89_C       |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbstf] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 3              | 456     | 10.5   | 25.2    | 448    | 2.85    | 10.7    | 54.7    | 86.3    | 261     |
| 8              | 482     | 11.1   | 27.4    | 436    | 2.51    | 10.2    | 51.9    | 85.4    | 188     |
| 13             | 477     | 11.0   | 26.1    | 445    | 2.65    | 10.5    | 52.2    | 85.1    | 186     |
| 18             | 455     | 10.5   | 25.0    | 448    | 2.73    | 10.7    | 54.5    | 85.9    | 179     |
| 23             | 458     | 10.5   | 25.1    | 455    | 2.77    | 10.6    | 54.2    | 85.6    | 173     |
| 28             | 453     | 10.3   | 25.1    | 455    | 2.87    | 10.7    | 54.8    | 85.9    | 186     |
| 33             | 489     | 10.7   | 26.4    | 448    | 2.88    | 10.3    | 52.0    | 85.1    | 195     |
| 38             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 43             | 406     | na     | 17.6    | 456    | 3.11    | 10.5    | 54.7    | 86.9    | 179     |
| 47             | 439     | 10.4   | 24.5    | 445    | 2.91    | 10.1    | 52.2    | 82.1    | 181     |

Tabelle 9-10: Hauptelemente im Porenwasser des TVG 91

| TVG 91 A      |         |        |         |        |         |         |         |         |         |  |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| depth [cmbef] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |  |
| 2             | 450     | 9.35   | 27.9    | 409    | 11.1    | 10.7    | 51.2    | 83.4    | na      |  |
| 5             | 454     | 9.12   | 28.9    | 408    | 10.9    | 10.8    | 51.8    | 83.8    | na      |  |
| 8             | 448     | 9.33   | 28.4    | 403    | 10.9    | 10.7    | 51.1    | 83.3    | na      |  |
| 11            | 445     | 9.04   | 27.9    | 410    | 11.1    | 10.6    | 51.1    | 83.3    | na      |  |
| 14            | 453     | 9.01   | 28.7    | 415    | 11.3    | 10.8    | 52.4    | 84.1    | na      |  |
| 17            | 452     | na     | 28.6    | 398    | 11.2    | 10.7    | 51.0    | 83.5    | 232     |  |
| 22            | 447     | 8.94   | 28.2    | 401    | 11.9    | 10.7    | 51.1    | 83.0    | na      |  |
| 27            | 450     | na     | 29.3    | 394    | 11.0    | 10.7    | 50.7    | 83.4    | 270     |  |
| 50            | 452     | 9.08   | 29.2    | 406    | 10.6    | 10.7    | 51.2    | 83.2    | na      |  |

| TVG 91 B      |         |        |         |        |         |         |         |         |         |  |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| depth [cmbef] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |  |
| 1             | 457     | 10.67  | 28.4    | 435    | 11.8    | 10.6    | 50.7    | 83.7    | 337     |  |
| 3             | 458     | 10.34  | 27.8    | 433    | 10.9    | 10.7    | 50.8    | 83.7    | 363     |  |
| 5             | 465     | 10.53  | 28.7    | 434    | 11.1    | 10.6    | 50.6    | 84.6    | 385     |  |
| 7             | 462     | 10.45  | 28.9    | 440    | 10.8    | 10.7    | 51.2    | 84.6    | 394     |  |
| 9             | 463     | 10.32  | 27.8    | 425    | 10.8    | 10.6    | 50.3    | 83.7    | 398     |  |
| 11            | 463     | 10.25  | 28.2    | 433    | 11.1    | 10.8    | 51.6    | 85.1    | 380     |  |
| 13            | 476     | 10.66  | 28.9    | 444    | 10.7    | 10.6    | 51.1    | 85.2    | 371     |  |
| 15            | 460     | 10.28  | 28.7    | 427    | 10.7    | 10.7    | 51.4    | 84.2    | 369     |  |
| 17            | 460     | 10.31  | 28.1    | 430    | 10.5    | 10.6    | 51.0    | 83.9    | 350     |  |
| 19            | 444     | 9.76   | 26.3    | 411    | 10.0    | 10.1    | 48.6    | 80.1    | 327     |  |
| 21            | 462     | 10.31  | 27.9    | 419    | 10.3    | 10.8    | 50.7    | 83.7    | 330     |  |
| 23            | 458     | 10.16  | 27.5    | 433    | 10.7    | 10.7    | 50.7    | 83.6    | 346     |  |
| 25            | 468     | 10.28  | 29.0    | 436    | 10.6    | 10.7    | 50.8    | 84.3    | 374     |  |
| 27            | 457     | 10.06  | 28.3    | 423    | 10.6    | 10.7    | 50.7    | 83.5    | 349     |  |
| 29            | 425     | 9.07   | 25.6    | 386    | 9.3     | 9.4     | 45.2    | 75.0    | 295     |  |
| 31            | 459     | 9.39   | 28.2    | 434    | 10.8    | 10.9    | 51.6    | 85.2    | 341     |  |
| 33            | 470     | 10.32  | 28.6    | 435    | 10.5    | 10.8    | 50.8    | 84.6    | 318     |  |
| 35            | 464     | 10.10  | 29.1    | 435    | 10.5    | 10.8    | 51.4    | 84.7    | 338     |  |
| 37            | 468     | 10.17  | 28.8    | 425    | 10.5    | 10.7    | 51.1    | 84.6    | 337     |  |
| 39            | 463     | 10.04  | 28.4    | 429    | 10.5    | 10.8    | 51.3    | 84.6    | 325     |  |
| 41            | 459     | 10.01  | 28.4    | 425    | 10.4    | 10.8    | 50.9    | 84.4    | 325     |  |
| 43            | 467     | 10.05  | 29.1    | 433    | 10.8    | 10.9    | 52.0    | 85.8    | 335     |  |

| TVG 91 C      |         |        |         |        |         |         |         |         |         |  |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| depth [cmbef] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |  |
| 3             | 452     | 8.90   | 28.2    | 428    | 10.8    | 10.9    | 51.9    | 84.7    | 275     |  |
| 7             | 458     | 8.87   | 28.0    | 415    | 10.8    | 10.8    | 51.2    | 84.3    | 276     |  |
| 12            | 444     | 8.64   | 28.2    | 417    | 10.6    | 10.5    | 49.9    | 82.5    | 248     |  |
| 16            | 457     | 8.83   | 27.2    | 431    | 10.9    | 10.8    | 51.4    | 84.4    | 262     |  |
| 21            | 451     | 8.83   | 27.7    | 424    | 10.8    | 10.9    | 51.7    | 85.1    | 278     |  |
| 25            | 454     | 9.01   | 28.5    | 410    | 10.9    | 10.6    | 50.9    | 84.2    | 262     |  |
| 31            | 453     | 8.83   | 28.0    | 413    | 10.7    | 10.7    | 51.0    | 83.7    | 248     |  |
| 38            | 456     | 9.00   | 27.8    | 422    | 11.0    | 10.7    | 51.2    | 84.0    | 219     |  |

| TVG 91 D      |         |        |         |        |         |         |         |         |         |  |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| depth [cmbef] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |  |
| 1             | 449     | 8.67   | 26.9    | 420    | 12.0    | 11.0    | 51.7    | 85.8    | 267     |  |
| 3             | 458     | 8.67   | 28.8    | 417    | 11.7    | 10.9    | 52.3    | 85.4    | 299     |  |
| 5             | 450     | 9.00   | 28.0    | 424    | 11.2    | 10.8    | 50.3    | 85.6    | 260     |  |
| 7             | 446     | 9.06   | 26.4    | 424    | 12.0    | 10.9    | 51.0    | 85.2    | 383     |  |
| 9             | 455     | 9.22   | 28.6    | 422    | 11.8    | 10.9    | 51.4    | 85.2    | 314     |  |
| 11            | 454     | 9.28   | 28.5    | 422    | 11.8    | 11.0    | 52.1    | 85.2    | 281     |  |
| 13            | 450     | 9.24   | 28.3    | 420    | 12.2    | 11.0    | 51.9    | 85.5    | 343     |  |
| 15            | 453     | 9.23   | 28.0    | 423    | 11.8    | 11.0    | 52.3    | 85.4    | 274     |  |
| 17            | 449     | 9.14   | 28.3    | 414    | 11.6    | 10.8    | 51.2    | 85.6    | 266     |  |
| 19            | 456     | 9.30   | 29.0    | 422    | 11.7    | 11.0    | 52.1    | 84.1    | 268     |  |
| 21            | 453     | 9.22   | 27.2    | 427    | 12.5    | 11.0    | 51.4    | 85.3    | 355     |  |
| 23            | 461     | 9.32   | 28.4    | 415    | 11.9    | 11.0    | 52.5    | 85.8    | 375     |  |
| 25            | 449     | 9.23   | 27.3    | 405    | 11.5    | 11.0    | 50.9    | 85.5    | 410     |  |
| 27            | 455     | 9.18   | 28.8    | 400    | 12.0    | 11.1    | 52.3    | 86.0    | 320     |  |
| 29            | 450     | 8.75   | 28.7    | 402    | 11.7    | 11.1    | 52.4    | 85.6    | 262     |  |
| 31            | 455     | 9.32   | 28.5    | 419    | 11.7    | 11.1    | 52.7    | 85.8    | 280     |  |
| 33            | 457     | 9.44   | 28.8    | 408    | 12.8    | 10.9    | 50.7    | 86.9    | 314     |  |
| 35            | 447     | 9.36   | 26.8    | 431    | 11.4    | 11.0    | 51.4    | 85.2    | 301     |  |
| 37            | 453     | 9.30   | 28.6    | 413    | 11.7    | 11.0    | 52.0    | 85.8    | 297     |  |
| 39            | 457     | 9.39   | 29.0    | 417    | 11.6    | 11.0    | 52.3    | 85.3    | 308     |  |
| 41            | 460     | 9.40   | 28.8    | 415    | 11.9    | 11.1    | 52.5    | 85.9    | 309     |  |
| 43            | 452     | 9.41   | 28.2    | 413    | 12.9    | 10.9    | 50.6    | 85.9    | 304     |  |
| 45            | 448     | 9.21   | 26.7    | 427    | 12.0    | 11.0    | 51.3    | 85.5    | 297     |  |
| 47            | 454     | 9.14   | 27.8    | 416    | 11.1    | 11.0    | 51.8    | 85.6    | 293     |  |
| 49            | 455     | 9.31   | 28.7    | 378    | 10.9    | 10.9    | 50.6    | 85.4    | 222     |  |

Tabelle 9-11: Hauptelemente im Porenwasser der SL 61, 62, 63 und 86

| SL 61         |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbst] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 5             | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 65            | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 105           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 155           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 205           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 247           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 280           | 504     | 11.1   | 38.9    | 572    | 25.9    | na      | na      | na      | 311     |
| 362           | 488     | 10.9   | 40.7    | 556    | 30.8    | 11.3    | 52.6    | 84.0    | 408     |
| 390           | 490     | 10.8   | 45.0    | 554    | 32.9    | na      | na      | na      | 325     |
| 355           | 477     | 10.7   | 49.3    | 580    | 35.1    | 11.4    | 52.3    | 84.5    | 364     |
| 380           | na      | 10.8   | 51.9    | 579    | 38.2    | na      | na      | na      | 382     |
| 405           | 489     | 11.3   | 61.7    | 589    | 36.8    | 11.8    | 52.7    | 96.1    | na      |
| 430           | 498     | 10.7   | 69.0    | 598    | 45.6    | na      | na      | na      | 447     |
| 455           | 503     | 10.5   | 81.5    | 605    | 51.3    | 11.8    | 52.2    | 95.9    | 501     |
| 480           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 530           | 490     | 10.0   | 111.9   | 623    | 62.7    | na      | na      | na      | 546     |
| 555           | 489     | 9.7    | 116.9   | 648    | 60.2    | 12.6    | 52.2    | 101.0   | 475     |

| SL 62         |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbst] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 6             | 481     | 10.6   | 26.7    | 414    | 2.8     | 10.2    | 53.9    | 88.3    | 158     |
| 20            | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 40            | 461     | 10.4   | 28.8    | 430    | 21.4    | na      | na      | na      | 175     |
| 60            | 452     | 10.2   | 28.2    | 444    | 18.8    | 10.5    | 53.6    | 81.7    | 231     |
| 80            | 451     | 10.2   | 28.5    | 455    | 17.6    | na      | na      | na      | 245     |
| 105           | 458     | 10.4   | 30.0    | 466    | 18.4    | 10.5    | 53.6    | 82.0    | 303     |
| 130           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 155           | 460     | 10.6   | 30.6    | 489    | 19.6    | 10.5    | 53.1    | 92.4    | 342     |
| 180           | 449     | 10.5   | 35.0    | 476    | 20.3    | na      | na      | na      | 338     |
| 200           | 456     | 10.5   | 41.0    | 537    | 21.1    | 10.2    | 52.7    | 91.9    | 358     |
| 230           | 458     | 10.7   | 32.4    | 583    | 28.6    | na      | na      | na      | 502     |
| 255           | 479     | 10.7   | 36.0    | 607    | 30.7    | 10.1    | 52.9    | 94.9    | 534     |
| 280           | 465     | 9.8    | 26.0    | 595    | 28.4    | na      | na      | na      | 473     |
| 305           | 461     | 10.4   | 38.3    | 629    | 28.9    | 9.89    | 53.1    | 96.4    | 626     |
| 330           | 512     | 13.8   | 51.7    | 655    | 25.7    | na      | na      | na      | 534     |
| 355           | 497     | 13.8   | 62.8    | 685    | 25.7    | 9.26    | 52.0    | 97.1    | 788     |
| 380           | 496     | 13.5   | 70.2    | 736    | 25.4    | na      | na      | na      | 1014    |
| 405           | 488     | 11.6   | 73.6    | 765    | 26.4    | 8.65    | 52.6    | 101     | 1251    |
| 430           | 490     | 13.8   | 97.9    | 862    | 29.6    | na      | na      | na      | 2255    |
| 455           | 524     | 13.1   | 119.9   | 929    | 34.0    | 9.05    | 52.5    | 107     | 4862    |
| 480           | 481     | 12.2   | 145.2   | 1023   | 33.8    | na      | na      | na      | 6887    |
| 505           | 472     | 11.9   | 173.7   | 1082   | 26.7    | 8.32    | 51.2    | 113     | 8612    |
| 530           | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 555           | 488     | 11.9   | 253.6   | 1197   | 18.0    | 8.28    | 51.8    | 119     | 13231   |

| SL 63         |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbst] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 16.5          | 480     | 10.7   | 28      | 445    | 17.6    | 10.4    | 53.9    | 89.2    | 252     |
| 49.5          | 459     | 10.4   | 34      | 456    | 17.0    | 10.7    | 52.8    | 89.8    | 235     |
| 81.5          | na      | na     | 31      | 448    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 121.5         | 490     | 11.0   | 44      | 567    | 17.3    | 11.2    | 53.3    | 93.3    | 432     |
| 141.5         | na      | na     | 43      | 569    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 185.5         | 476     | 10.9   | 50      | 584    | 20.0    | 11.2    | 51.8    | 92.8    | 452     |
| 191.5         | na      | na     | 57      | 608    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 223.5         | 486     | 10.7   | 79      | 674    | 27.3    | 11.9    | 51.6    | 93.3    | 350     |
| 265.5         | na      | na     | 95      | 709    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 279.5         | 484     | 10.8   | 106     | 723    | 30.6    | 12.4    | 50.8    | 94.1    | 632     |
| 305.5         | na      | na     | 112     | 732    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 331.5         | 484     | 10.6   | 126     | 757    | 28.1    | 12.5    | 50.6    | 93.3    | 682     |
| 351.5         | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 376.5         | 487     | 10.1   | na      | na     | 25.4    | 12.4    | 48.8    | 90.9    | 584     |
| 401.5         | 467     | 9.8    | 155     | 880    | 24.0    | 12.1    | 48.3    | 89.3    | 551     |
| 424.5         | 479     | 9.7    | 163     | 927    | 22.9    | 12.3    | 48.4    | 88.9    | 603     |
| 451.5         | na      | na     | 209     | 977    | na      | na      | na      | na      | na      |
| 479.5         | 491     | 10.2   | 230     | 1032   | 16.7    | 11.5    | 47.6    | 89.3    | 575     |
| 504.5         | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 529.5         | 491     | 10.3   | 275     | 1182   | 14.9    | 10.7    | 47.0    | 78.1    | 924     |
| 548.5         | na      | na     | 267     | 1220   | na      | na      | na      | na      | na      |
| 568.5         | 472     | 9.9    | 270     | 1214   | 13.7    | 10.1    | 46.2    | 68.6    | 1138    |
| 595.5         | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 622.5         | 474     | 10.6   | na      | na     | 10.2    | 9.4     | 45.7    | 65.5    | 2527    |

| SL 86         |         |        |         |        |         |         |         |         |         |
|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| depth [cmbst] | Na [mM] | K [mM] | Li [µM] | B [µM] | Mn [µM] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [µM] | Ba [nM] |
| 6             | 478     | 11.5   | 25.3    | 480    | 12.7    | na      | na      | na      | 222     |
| 20            | 478     | 11.0   | 28.1    | 514    | 20.4    | 10.2    | 52.9    | 88.7    | 225     |
| 40            | 490     | 11.4   | 28.5    | 551    | 20.0    | na      | na      | na      | 254     |
| 55            | na      | na     | na      | na     | na      | na      | na      | na      | na      |
| 80            | 487     | 11.4   | 27.5    | 583    | 14.7    | na      | na      | na      | 378     |
| 100           | 492     | 11.5   | 28.9    | 582    | 13.3    | 10.2    | 51.1    | 88.1    | 391     |
| 125           | 462     | 10.5   | 27.1    | 580    | 12.4    | na      | na      | na      | 398     |
| 150           | 477     | 11.0   | 27.8    | 661    | 12.8    | 10.2    | 51.0    | 90.0    | 486     |
| 175           | 477     | 11.2   | 29.6    | 569    | 12.8    | na      | na      | na      | 558     |
| 200           | 486     | 11.9   | 29.8    | 588    | 13.2    | na      | na      | na      | 607     |
| 225           | 486     | 12.1   | 31.1    | 587    | 13.5    | na      | na      | na      | 817     |
| 250           | 488     | 11.1   | 27.1    | 600    | 13.6    | 10.1    | 50.7    | 91.3    | 929     |
| 275           | 493     | 11.2   | 26.6    | 594    | 14.2    | na      | na      | na      | 1277    |
| 300           | 495     | 10.9   | 27.9    | 590    | 13.8    | 10.2    | 50.2    | 93.4    | 1570    |
| 325           | 490     | 10.9   | 25.4    | 594    | 14.4    | na      | na      | na      | 2300    |
| 350           | 492     | 11.0   | 25.2    | 610    | 14.1    | na      | na      | na      | 2896    |
| 375           | 495     | 11.3   | 27.8    | na     | na      | 9.9     | 50.5    | 96.0    | na      |
| 407           | 489     | 11.1   | 26.4    | 624    | 26.6    | na      | na      | na      | 3683    |
| 428           | 489     | 11.1   | 27.4    | 642    | 30.3    | na      | na      | na      | 4500    |
| 455           | 492     | 11.2   | 29.4    | 644    | 35.8    | 9.19    | 51.2    | 97.4    | 4892    |
| 480           | 490     | 11.7   | 29.2    | 647    | 39.8    | na      | na      | na      | 5435    |
| 505           | 489     | 11.1   | 30.3    | 653    | 46.5    | 8.69    | 51.6    | 98.8    | 5271    |
| 530           | 486     | 11.3   | 28.5    | 647    | 45.0    | na      | na      | na      | 4809    |
| 558           | 488     | 11.3   | 30.3    | 660    | 46.0    | na      | na      | na      | 4259    |
| 590           | 488     | 11.0   | 20.7    | 646    | 50.2    | na      | na      | na      | 4673    |
| 612           | 479     | 11.2   | 25.3    | 652    | 54.6    | 8.50    | 51.4    | 97.7    | 4568    |
| 635           | 498     | 10.7   | 27.0    | 673    | 59.2    | na      | na      | na      | 5089    |
| 664           | 490     | 11.0   | 28.4    | 678    | 60.6    | 8.59    | 52.2    | 102.0   | 5840    |
| 690           | 477     | 10.6   | 27.4    | 678    | 68.0    | na      | na      | na      | 5740    |
| 703           | 465     | 10.0   | 25.7    | 641    | 51.0    | na      | na      | na      | 4929    |
| 730           | 495     | 11.3   | 26.8    | 691    | 47.0    | 7.92    | 52.9    | 105.7   | 6345    |
| 760           | 496     | 10.9   | 28.1    | 719    | 32.5    | na      | na      | na      | 10938   |
| 785           | 484     | 10.8   | 25.8    | 732    | 17.3    | na      | na      | na      | 14590   |
| 810           | 491     | 10.7   | 27.4    | 706    | 11.7    | na      | na      | na      | 13554   |
| 830           | 485     | 10.8   | 27.5    | 731    | 12.9    | 7.02    | 54.0    | 110.1   | 12011   |
| 855           | 487     | 11.1   | 28.4    | 746    | 16.5    | 7.18    | 53.8    | 108.0   | 10931   |

**Tabelle 9-12:** Gesamt-Kohlenstoff und Stickstoff im Sediment der TVG 87, 98 und 91

| TVG87A     |        |       | TVG87B     |        |       | TVG87D     |        |       | TVG88A     |        |       | TVG88C     |        |       |
|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|
| depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] |
| 1          | 0.62   | 0.06  | 2          | 0.28   | 0.02  | 1          | 0.62   | 0.06  | 1          | 0.56   | 0.05  | 3          | 0.53   | 0.07  |
| 3          | 0.67   | 0.07  | 7          | 0.36   | 0.02  | 3          | 0.61   | 0.06  | 3          | 0.66   | 0.05  | 8          | 0.56   | 0.06  |
| 5          | 0.63   | 0.06  | 10         | 0.42   | 0.04  | 5          | 0.67   | 0.05  | 5          | 0.65   | 0.07  | 13         | 0.61   | 0.06  |
| 7          | 0.69   | 0.07  | 14         | 0.53   | 0.03  | 7          | 0.69   | 0.06  | 7          | 0.59   | 0.03  | 18         | 0.59   | 0.06  |
| 9          | 0.65   | 0.06  | 19         | 0.65   | 0.07  | 9          | 0.60   | 0.05  | 9          | 0.66   | 0.05  | 23         | 0.57   | 0.06  |
| 11         | 0.62   | 0.06  | 24         | 0.79   | 0.05  | 11         | 0.72   | 0.06  | 11         | 0.60   | 0.06  | 28         | 0.56   | 0.06  |
| 13         | 0.67   | 0.07  | 29         | 0.76   | 0.07  | 13         | 0.67   | 0.05  | 13         | 0.25   | 0.02  | 33         | 0.56   | 0.06  |
| 15         | 0.61   | 0.06  | 32         | 0.78   | 0.07  | 15         | 0.63   | 0.05  | 15         | 0.60   | 0.08  | 38         | 0.61   | 0.05  |
| 17         | 0.57   | 0.06  | 35         | 0.69   | 0.06  | 17         | 0.67   | 0.06  | 17         | 0.58   | 0.08  | 43         | 0.58   | 0.06  |
| 19         | 0.67   | 0.07  | 38         | 0.71   | 0.06  | 19         | 0.62   | 0.05  | 19         | 0.55   | 0.07  | 47         | 0.61   | 0.07  |
| 21         | 0.67   | 0.07  |            |        |       | 21         | 0.53   | 0.05  | 21         | 0.43   | 0.05  |            |        |       |
| 23         | 0.64   | 0.06  |            |        |       | 23         | 0.50   | 0.04  | 23         | 0.39   | 0.05  |            |        |       |
| 25         | 0.62   | 0.05  |            |        |       | 25         | 0.53   | 0.05  | 25         | 0.62   | 0.08  |            |        |       |
| 26         | 0.67   | 0.05  |            |        |       | 27         | 0.50   | 0.05  | 26         | 0.67   | 0.08  |            |        |       |
| 29         | 0.71   | 0.04  |            |        |       | 29         | 0.47   | 0.05  | 29         | 0.68   | 0.09  |            |        |       |
| 31         | 0.65   | 0.04  |            |        |       | 31         | 0.39   | 0.04  | 31         | 0.62   | 0.08  |            |        |       |
| 33         | 0.60   | 0.04  |            |        |       |            |        |       | 33         | 0.61   | 0.08  |            |        |       |
| 35         | 0.69   | 0.05  |            |        |       |            |        |       | 35         | 0.64   | 0.08  |            |        |       |
| 37         | 0.70   | 0.06  |            |        |       |            |        |       | 37         | 0.66   | 0.08  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 39         | 0.72   | 0.09  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 41         | 0.64   | 0.07  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 43         | 0.66   | 0.09  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 45         | 0.75   | 0.10  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 47         | 0.63   | 0.08  |            |        |       |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 49         | 0.67   | 0.09  |            |        |       |

| TVG81A     |        |       | TVG81B     |        |       | TVG81C     |        |       | TVG81D     |        |       |
|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|
| depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] | depth [cm] | TC [%] | N [%] |
| 2          | 0.46   | 0.04  | 1          | 0.38   | 0.04  | 3          | 0.38   | 0.04  | 1          | 0.36   | 0.03  |
| 5          | 0.31   | 0.04  | 3          | 0.42   | 0.04  | 7          | 0.28   | 0.03  | 3          | 0.38   | 0.03  |
| 8          | 0.24   | 0.04  | 5          | 0.42   | 0.05  | 12         | 0.56   | 0.06  | 5          | 0.42   | 0.04  |
| 11         | 0.42   | 0.04  | 7          | 0.32   | 0.03  | 16         | 0.60   | 0.07  | 7          | 0.40   | 0.04  |
| 14         | 0.37   | 0.04  | 9          | 0.42   | 0.05  | 21         | 0.50   | 0.06  | 9          | 0.38   | 0.03  |
| 17         | 0.42   | 0.04  | 11         | 0.47   | 0.05  | 25         | 0.30   | 0.04  | 11         | 0.26   | 0.02  |
| 22         | 0.28   | 0.03  | 13         | 0.38   | 0.05  | 31         | 0.29   | 0.04  | 13         | 0.27   | 0.02  |
| 27         | 0.40   | 0.04  | 15         | 0.42   | 0.04  | 38         | 0.45   | 0.06  | 15         | 0.28   | 0.06  |
| 50         | 0.21   | 0.02  | 17         | 0.51   | 0.05  |            |        |       | 17         | 0.33   | 0.03  |
|            |        |       | 19         | 0.41   | 0.04  |            |        |       | 19         | 0.36   | 0.04  |
|            |        |       | 21         | 0.41   | 0.04  |            |        |       | 21         | 0.35   | 0.05  |
|            |        |       | 23         | 0.33   | 0.03  |            |        |       | 23         | 0.31   | 0.03  |
|            |        |       | 25         | 0.44   | 0.04  |            |        |       | 25         | 0.37   | 0.05  |
|            |        |       | 27         | 0.57   | 0.05  |            |        |       | 27         | 0.67   | 0.06  |
|            |        |       | 29         | 0.44   | 0.04  |            |        |       | 29         | 0.44   | 0.06  |
|            |        |       | 31         | 0.37   | 0.03  |            |        |       | 31         | 0.35   | 0.04  |
|            |        |       | 33         | 0.47   | 0.04  |            |        |       | 33         | 0.39   | 0.05  |
|            |        |       | 35         | 0.54   | 0.04  |            |        |       | 35         | 0.33   | 0.04  |
|            |        |       | 37         | 0.41   | 0.05  |            |        |       | 37         | 0.34   | 0.05  |
|            |        |       | 39         | 0.37   | 0.05  |            |        |       | 39         | 0.42   | 0.05  |
|            |        |       | 41         | 0.41   | 0.05  |            |        |       | 41         | 0.35   | 0.04  |
|            |        |       | 43         | 0.40   | 0.05  |            |        |       | 43         | 0.28   | 0.02  |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 45         | 0.37   | 0.04  |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 47         | 0.30   | 0.03  |
|            |        |       |            |        |       |            |        |       | 49         | 0.18   | 0.02  |



**Tabelle 9-14: Schwefel im Sediment (Verbrennungs-Methode)**

| TYG 87 D   |             | TYG 89 A   |             | TYG 89 C   |             | TYG 81 B   |             | TYG 81 C   |             | TYG 81 D   |             |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] |
| 1          | 55.2        | 1          | 45.5        | 3.0        | 24.2        | 1          | 307         | 3          | 27.3        | 1          | 603         |
| 3          | 67.8        | 3          | 58.0        | 8.0        | 30.6        | 3          | 457         | 7          | 27.6        | 3          | 511         |
| 5          | 47.7        | 5          | 49.0        | 13.0       | 44.4        | 5          | 360         | 12         | 121         | 5          | 1759        |
| 7          | 52.1        | 7          | 47.9        | 18.0       | 53.2        | 7          | 263         | 16         | 802         | 7          | 1910        |
| 9          | 66.6        | 9          | 47.4        | 23.0       | 49.9        | 9          | 523         | 21         | 266         | 9          | 718         |
| 11         | 106.4       | 11         | 43.5        | 28.0       | 38.5        | 11         | 243         | 25         | 210         | 11         | 584         |
| 13         | 74.7        | 13         | 30.3        | 33.0       | 38.4        | 13         | 2461        | 31         | 2939        | 13         | 301         |
| 15         | 49.6        | 15         | 40.4        | 38.0       | 43.0        | 15         | 300         | 38         | 132         | 15         | 161         |
| 17         | 69.6        | 17         | 43.7        | 43.0       | 36.8        | 17         | 59          |            |             | 17         | 89          |
| 19         | 63.9        | 19         | 48.3        | 47.0       | 47.3        | 19         | 76          |            |             | 19         | 97          |
| 21         | 51.6        | 21         | 75.0        |            |             | 21         | 54          |            |             | 21         | 53          |
| 23         | 52.6        | 23         | 49.0        |            |             | 23         | 48          |            |             | 23         | 36          |
| 25         | 52.6        | 25         | 47.9        |            |             | 25         | 520         |            |             | 25         | 75          |
| 27         | 47.1        | 27         | 71.4        |            |             | 27         | 196         |            |             | 27         | 75          |
| 29         | 39.5        | 29         | 58.2        |            |             | 29         | 117         |            |             | 29         | 69          |
| 31         | 37.3        | 31         | 57.1        |            |             | 31         | 407         |            |             | 31         | 1725        |
|            |             | 33         | 49.3        |            |             | 33         | 415         |            |             | 33         | 79          |
|            |             | 35         | 65.0        |            |             | 35         | 1097        |            |             | 35         | 591         |
|            |             | 37         | 60.0        |            |             | 37         | 900         |            |             | 37         | 166         |
|            |             | 39         | 66.6        |            |             | 39         | 1063        |            |             | 39         | 458         |
|            |             | 41         | 64.6        |            |             | 41         | 573         |            |             | 41         | 457         |
|            |             | 43         | 78.0        |            |             | 43         | 904         |            |             | 43         | 79          |
|            |             | 45         | 75.0        |            |             |            |             |            |             | 45         | 84          |
|            |             | 47         | 103.7       |            |             |            |             |            |             | 47         | 84          |
|            |             | 49         | 75.6        |            |             |            |             |            |             | 49         | 50          |

| SL61       |             | SL62       |             | SL63       |             | SL68       |             |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] |
| 5          | 101.3       | 5          | 34.0        | 16.5       | 44.1        | 5          | 57.5        |
| 30         | 59.2        | 20         | 65.0        | 49.5       | 81.3        | 20         | 46.2        |
| 45         | 59.0        | 40         | 46.2        | 91.5       | 86.6        | 40         | 38.1        |
| 65         | 89.6        | 60         | 87.5        | 121.5      | 83.4        | 56         | 98.2        |
| 80         | 86.6        | 80         | 96.5        | 141.5      | 96.0        | 80         | 101.4       |
| 105        | 98.4        | 105        | 100.9       | 165.5      | 86.4        | 100        | 99.3        |
| 130        | 106.6       | 130        | 103.0       | 191.5      | 89.6        | 125        | 108.2       |
| 155        | 107.3       | 155        | 102.4       | 223.5      | 102.9       | 150        | 107.5       |
| 180        | 104.3       | 180        | 93.9        | 255.5      | 57.0        | 175        | 106.1       |
| 205        | 105.5       | 200        | 34.0        | 279.5      | 268.9       | 200        |             |
| 230        | 80.6        | 230        | 96.7        | 305.5      | 296.1       | 225        | 107.0       |
| 247        | 109.1       | 255        | 265.8       | 331.5      | 208.9       | 250        | 105.9       |
| 280        | 142.9       | 280        | 111.4       | 351.5      | 167.4       | 275        | 105.0       |
| 302        | 118.8       | 305        | 108.7       | 376.5      | 130.7       | 300        | 100.0       |
| 330        | 105.3       | 330        | 132.1       | 401.5      | 38.9        | 325        | 100.8       |
| 355        | 85.6        | 355        | 73.1        | 424.5      | 47.0        | 350        | 96.6        |
| 380        | 162.2       | 380        | 77.8        | 451.5      | 96.1        | 375        | 95.0        |
| 405        | 130.5       | 405        | 106.3       | 478.5      | 124.2       | 407        | 116.9       |
| 430        | 131.7       | 430        | 111.2       | 504.5      | 171.7       | 428        | 118.3       |
| 455        | 159.0       | 455        | 170.5       | 529.5      | 182.4       | 455        | 165.0       |
| 480        | 134.6       | 480        | 74.7        | 548.5      | 143.3       | 480        | 41.0        |
| 505        | 139.4       | 505        | 96.9        | 568.5      | 97.7        | 505        | 125.3       |
| 530        | 106.2       | 530        | 46.2        | 595.5      | 135.6       | 530        | 145.4       |
| 555        | 195.0       | 555        | 101.4       | 622.5      | 71.8        | 568        | 39.8        |
|            |             |            |             |            |             | 590        | 49.2        |
|            |             |            |             |            |             | 612        | 108.8       |
|            |             |            |             |            |             | 635        | 53.7        |
|            |             |            |             |            |             | 664        | 51.2        |
|            |             |            |             |            |             | 680        | 144.0       |
|            |             |            |             |            |             | 703        | 146.8       |
|            |             |            |             |            |             | 730        | 92.4        |
|            |             |            |             |            |             | 760        | 73.2        |
|            |             |            |             |            |             | 785        | 79.2        |
|            |             |            |             |            |             | 810        | 85.5        |
|            |             |            |             |            |             | 830        | 91.8        |
|            |             |            |             |            |             | 855        | 93.8        |



**Tabelle 9-15:** Pyrit-Schwefel im Sediment (Extraktions-Verfahren)

| SL 61      |             | SL 62      |             | SL 63      |             | SL 86      |             |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] |
| 7.5        | 18.35       | 23.5       | 36.94       | 16.5       | 99.65       | 6          | 15.58       |
| 47.5       | 44.57       | 63.5       | 34.44       | 91.5       | 75.99       | 20         | 16.66       |
| 82.5       | 35.66       | 133.0      | 73.12       | 141.5      | 94.93       | 40         | 27.02       |
| 107.5      | 59.24       | 233.5      | 93.24       | 191.5      | 34.83       | 56         | 61.97       |
| 133.5      | 66.01       | 333.5      | 53.39       | 279.5      | 148.10      | 75         | 106.18      |
| 158.5      | 71.22       | 433.5      | 103.08      | 331.5      | 403.63      | 100        | 86.58       |
| 208.5      | 81.63       | 533.5      | 140.01      | 401.5      | 76.24       | 150        | 87.55       |
| 298.5      | 55.51       |            |             | 451.5      | 58.16       | 225        | 93.26       |
| 325.5      | 52.83       |            |             | 506.0      | 175.56      | 275        | 96.80       |
| 383.5      | 118.74      |            |             | 595.5      | 123.33      | 300        | 98.51       |
| 408.5      | 489.18      |            |             |            |             | 350        | 89.84       |
| 483.5      | 101.79      |            |             |            |             | 428        | 121.51      |
| 508.5      | 80.84       |            |             |            |             | 480        | 43.91       |
|            |             |            |             |            |             | 540        | 80.75       |
|            |             |            |             |            |             | 568        | 63.77       |
|            |             |            |             |            |             | 635        | 74.84       |
|            |             |            |             |            |             | 680        | 131.96      |
|            |             |            |             |            |             | 703        | 145.54      |
|            |             |            |             |            |             | 730        | 80.59       |
|            |             |            |             |            |             | 785        | 75.41       |
|            |             |            |             |            |             | 855        | 91.89       |

| TVG 89 C   |             | TVG 91 A   |             | TVG 91 C   |             |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] | depth [cm] | S [mmol/kg] |
| 3.0        | 7.49        | 2.0        | 123.22      | 3.0        | 233.45      |
| 8.0        | 10.03       | 8.0        | 83.57       | 7.0        | 116.87      |
| 18.0       | 32.70       | 14.0       | 16.84       | 16.0       | 1504.62     |
| 28.0       | 26.41       | 27.0       | 240.37      | 21.0       | 173.27      |
| 33.0       | 23.58       | 50.0       | 660.31      | 25.0       | 102.99      |
| 43.0       | 14.27       |            |             | 31.0       | 93.78       |
| 47.0       | 27.65       |            |             | 38.0       | 222.82      |

Tabelle 9-16: Porosität des Sedimentes der TVG 87, 89 und 91

| TVG87_PP   |          | TVG87R     |          | TVG89_PP_C |          | TVG91A     |          | TVG91_PP_A |          | TVG91_PP_B |          |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity |
| 0.5        | 0.76     | 2.5        | 0.67     | 0.5        | 0.67     | 2          | 0.82     | 0.5        | 0.79     | 0.5        | 0.81     |
| 1.5        | 0.74     | 6.5        | 0.61     | 1.5        | 0.66     | 7          | 0.81     | 1.5        | 0.78     | 1.5        | 0.76     |
| 2.5        | 0.66     | 9.5        | 0.81     | 2.5        | 0.67     | 12         | 0.86     | 2.5        | 0.78     | 2.5        | 0.80     |
| 3.5        | 0.73     | 14.5       | 0.65     | 3.5        | 0.68     | 15         | 0.79     | 3.5        | 0.76     | 3.5        | 0.74     |
| 4.5        | 0.72     | 18.5       | 0.75     | 4.5        | 0.68     | 19         | 0.73     | 4.5        | 0.77     | 4.5        | 0.80     |
| 5.5        | 0.71     | 22.5       | 0.38     | 5.5        | 0.70     | 23         | 0.72     | 5.5        | 0.73     | 5.5        | 0.82     |
| 6.5        | 0.75     | 27.5       | 0.77     | 6.5        | 0.69     | 30         | 0.76     | 6.5        | 0.60     | 6.5        | 0.83     |
| 7.5        | 0.74     | 30.5       | 0.78     | 7.5        | 0.68     | 50         | 0.86     | 7.5        | 0.77     | 7.5        | 0.83     |
| 8.5        | 0.74     | 34.5       | 0.74     | 8.5        | 0.70     |            |          | 8.5        | 0.68     | 8.5        | 0.83     |
| 9.5        | 0.73     | 37.5       | 0.74     | 9.5        | 0.71     |            |          | 9.5        | 0.79     | 9.5        | 0.84     |
| 10.5       | 0.76     |            |          | 10.5       | 0.70     |            |          | 10.5       | 0.72     | 10.5       | 0.84     |
| 11.5       | 0.76     |            |          | 11.5       | 0.63     |            |          | 11.5       | 0.75     | 11.5       | 0.82     |
| 12.5       | 0.79     |            |          | 12.5       | 0.61     |            |          | 12.5       | 0.75     | 12.5       | 0.79     |
| 13.5       | 0.79     |            |          | 13.5       | 0.51     |            |          | 13.5       | 0.75     | 13.5       | 0.79     |
| 14.5       | 0.79     | 5.0        | 0.68     | 14.5       | 0.64     | 4          | 0.73     | 14.5       | 0.75     | 14.5       | 0.80     |
| 15.5       | 0.78     | 9.0        | 0.70     | 15.5       | 0.66     | 9          | 0.73     | 15.5       | 0.73     | 15.5       | 0.81     |
| 16.5       | 0.77     | 14.0       | 0.73     | 16.5       | 0.73     | 14         | 0.80     | 16.5       | 0.75     | 16.5       | 0.78     |
| 17.5       | 0.77     | 20.0       | 0.71     | 17.5       | 0.73     | 18         | 0.76     | 17.5       | 0.73     | 17.5       | 0.80     |
| 18.5       | 0.77     | 25.0       | 0.71     | 18.5       | 0.73     | 24         | 0.77     | 18.5       | 0.70     | 18.5       | 0.81     |
| 19.5       | 0.76     | 29.0       | 0.71     | 19.5       | 0.72     | 29         | 0.83     | 19.5       | 0.70     | 19.5       | 0.81     |
| 20.5       | 0.76     | 35.0       | 0.71     | 20.5       | 0.72     | 35         | 0.82     | 20.5       | 0.70     | 20.5       | 0.79     |
| 21.5       | 0.75     | 39.0       | 0.71     | 21.5       | 0.72     |            |          | 21.5       | 0.75     | 21.5       | 0.80     |
| 22.5       | 0.75     | 44.0       | 0.72     | 22.5       | 0.72     |            |          | 22.5       | 0.72     | 22.5       | 0.67     |
| 23.5       | 0.76     | 48.0       | 0.71     | 23.5       | 0.71     |            |          | 23.5       | 0.74     | 23.5       | 0.76     |
| 24.5       | 0.76     |            |          | 24.5       | 0.66     |            |          | 24.5       | 0.76     | 24.5       | 0.83     |
| 25.5       | 0.76     |            |          | 25.5       | 0.72     |            |          | 25.5       | 0.71     | 25.5       | 0.81     |
| 26.5       | 0.74     |            |          | 26.5       | 0.72     |            |          | 26.5       | 0.80     | 26.5       | 0.75     |
| 27.5       | 0.75     |            |          | 27.5       | 0.72     |            |          | 27.5       | 0.78     | 27.5       | 0.78     |
| 28.5       | 0.71     |            |          | 28.5       | 0.71     |            |          | 28.5       | 0.80     | 28.5       | 0.80     |
| 29.5       | 0.73     |            |          | 29.5       | 0.72     |            |          | 29.5       | 0.79     | 29.5       | 0.80     |
|            |          |            |          | 30.5       | 0.72     |            |          | 30.5       | 0.79     | 30.5       | 0.80     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 31.5       | 0.80     | 31.5       | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 32.5       | 0.74     | 32.5       | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 33.5       | 0.77     | 33.5       | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 34.5       | 0.77     | 34.5       | 0.76     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 35.5       | 0.76     | 35.5       | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 36.5       | 0.77     |            |          |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 37.5       | 0.78     |            |          |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 38.5       | 0.79     |            |          |
|            |          |            |          |            |          |            |          | 39.5       | 0.78     |            |          |

Tabelle 9-17: Porosität des Sedimentes der SL 61, 62, 63 und 86

| SL61       |          | SL62       |          | SL63       |          | SL86       |          |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity | depth [cm] | Porosity |
| 1.5        | 0.83     | 2.0        | 0.82     | 2.5        | 0.81     | 2.5        | 0.80     |
| 11.5       | 0.80     | 12.0       | 0.83     | 11.5       | 0.82     | 9.5        | 0.83     |
| 21.5       | 0.81     | 25.0       | 0.81     | 20.5       | 0.70     | 21.5       | 0.79     |
| 31.5       | 0.82     | 35.0       | 0.77     | 23.5       | 0.58     | 30.5       | 0.80     |
| 41.5       | 0.56     | 49.0       | 0.77     | 31.5       | 0.79     | 35.5       | 0.57     |
| 51.5       | 0.79     | 57.0       | 0.82     | 40.5       | 0.82     | 42.5       | 0.80     |
| 61.5       | 0.84     | 70.0       | 0.80     | 51.5       | 0.83     | 50.5       | 0.85     |
| 37.5       | 0.58     | 85.0       | 0.77     | 60.5       | 0.82     | 60.5       | 0.82     |
| 45.5       | 0.78     | 92.0       | 0.79     | 70.5       | 0.82     | 70.5       | 0.80     |
| 71.5       | 0.82     | 100.0      | 0.79     | 80.5       | 0.81     | 77.5       | 0.80     |
| 81.5       | 0.82     | 110.0      | 0.78     | 94.5       | 0.80     | 89.5       | 0.80     |
| 91.5       | 0.82     | 119.0      | 0.78     | 101.5      | 0.80     | 98.5       | 0.80     |
| 101.5      | 0.80     | 126.0      | 0.77     | 110.5      | 0.80     | 110.5      | 0.79     |
| 111.5      | 0.80     | 140.0      | 0.77     | 119.5      | 0.80     | 120.5      | 0.79     |
| 121.5      | 0.78     | 149.0      | 0.76     | 129.5      | 0.79     | 130.5      | 0.78     |
| 131.5      | 0.78     | 160.0      | 0.75     | 138.5      | 0.78     | 140.5      | 0.78     |
| 141.5      | 0.78     | 175.0      | 0.75     | 150.5      | 0.79     | 148.5      | 0.78     |
| 151.5      | 0.78     | 186.0      | 0.64     | 160.5      | 0.78     | 159.5      | 0.78     |
| 161.5      | 0.78     | 195.0      | 0.46     | 176.5      | 0.78     | 168.5      | 0.77     |
| 171.5      | 0.76     | 203.0      | 0.76     | 180.5      | 0.75     | 179.5      | 0.76     |
| 182.5      | 0.76     | 261.0      | 0.81     | 189.5      | 0.74     | 189.5      | 0.76     |
| 191.5      | 0.75     | 213.0      | 0.76     | 200.5      | 0.74     | 197.5      | 0.76     |
| 201.5      | 0.71     | 225.0      | 0.78     | 208.5      | 0.88     | 208.5      | 0.76     |
| 211.5      | 0.72     | 237.0      | 0.79     | 212.5      | 0.41     | 219.5      | 0.76     |
| 231.5      | 0.56     | 250.0      | 0.84     | 217.5      | 0.51     | 230.5      | 0.76     |
| 239.5      | 0.49     | 272.0      | 0.79     | 220.5      | 0.73     | 240.5      | 0.76     |
| 241.5      | 0.38     | 284.0      | 0.77     | 230.5      | 0.77     | 252.5      | 0.77     |
| 249.5      | 0.46     | 299.0      | 0.78     | 239.5      | 0.73     | 260.5      | 0.76     |
| 253.5      | 0.77     | 309.0      | 0.72     | 249.5      | 0.75     | 269.5      | 0.76     |
| 261.5      | 0.74     | 318.0      | 0.83     | 260.5      | 0.75     | 280.5      | 0.74     |
| 269.5      | 0.75     | 326.0      | 0.79     | 270.5      | 0.76     | 290.5      | 0.74     |
| 282.5      | 0.76     | 338.0      | 0.76     | 276.5      | 0.77     | 302.5      | 0.74     |
| 293.5      | 0.80     | 347.0      | 0.75     | 282.5      | 0.79     | 310.5      | 0.73     |
| 300.5      | 0.76     | 358.0      | 0.76     | 290.5      | 0.77     | 320.5      | 0.74     |
| 310.5      | 0.85     | 372.0      | 0.75     | 300.5      | 0.79     | 330.5      | 0.72     |
| 320.5      | 0.86     | 382.0      | 0.77     | 310.5      | 0.77     | 340.5      | 0.71     |
| 331.5      | 0.77     | 391.0      | 0.76     | 320.5      | 0.79     | 348.5      | 0.72     |
| 341.5      | 0.74     | 407.0      | 0.75     | 328.5      | 0.80     | 360.5      | 0.69     |
| 350.5      | 0.74     | 420.0      | 0.77     | 338.5      | 0.79     | 370.5      | 0.65     |
| 360.5      | 0.78     | 435.0      | 0.77     | 348.5      | 0.79     | 380.5      | 0.60     |
| 370.5      | 0.76     | 446.0      | 0.76     | 360.5      | 0.50     | 388.5      | 0.54     |
| 376.5      | 0.76     | 459.0      | 0.79     | 370.5      | 0.74     | 394.5      | 0.55     |
| 390.5      | 0.75     | 472.0      | 0.80     | 380.5      | 0.75     | 397.5      | 0.73     |
| 399.5      | 0.78     | 483.0      | 0.73     | 390.5      | 0.75     | 402.5      | 0.37     |
| 410.5      | 0.80     | 497.0      | 0.73     | 398.5      | 0.73     | 403.5      | 0.78     |
| 420.5      | 0.74     | 510.0      | 0.76     | 410.5      | 0.75     | 411.5      | 0.41     |
| 428.5      | 0.78     | 520.0      | 0.75     | 420.5      | 0.78     | 415.5      | 0.80     |
| 440.5      | 0.77     | 531.0      | 0.77     | 429.5      | 0.77     | 420.5      | 0.79     |
| 449.5      | 0.75     | 548.0      | 0.75     | 437.5      | 0.78     | 430.5      | 0.78     |
| 461.5      | 0.78     | 560.0      | 0.74     | 444.5      | 0.77     | 440.5      | 0.78     |
| 469.5      | 0.77     |            |          | 456.5      | 0.78     | 450.5      | 0.83     |
| 482.5      | 0.79     |            |          | 470.5      | 0.76     | 460.5      | 0.83     |
| 490.5      | 0.78     |            |          | 480.5      | 0.77     | 470.5      | 0.84     |
| 500.5      | 0.79     |            |          | 493.5      | 0.75     | 477.5      | 0.74     |
| 510.5      | 0.70     |            |          | 507.5      | 0.75     | 488.5      | 0.79     |
| 520.5      | 0.75     |            |          | 509.5      | 0.74     | 497.5      | 0.79     |
| 533.5      | 0.78     |            |          | 519.5      | 0.72     | 500.5      | 0.77     |
| 541.5      | 0.79     |            |          | 521.5      | 0.75     | 510.5      | 0.77     |
| 550.5      | 0.77     |            |          | 537.5      | 0.74     | 520.5      | 0.76     |
| 561.5      | 0.76     |            |          | 550.5      | 0.75     | 527.5      | 0.76     |
| 570.5      | 0.76     |            |          | 559.5      | 0.74     | 540.5      | 0.75     |
|            |          |            |          | 572.5      | 0.74     | 550.5      | 0.74     |
|            |          |            |          | 588.5      | 0.76     | 558.5      | 0.49     |
|            |          |            |          | 599.5      | 0.76     | 562.5      | 0.79     |
|            |          |            |          |            |          | 573.5      | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          | 582.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 592.5      | 0.80     |
|            |          |            |          |            |          | 601.5      | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          | 606.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 614.5      | 0.76     |
|            |          |            |          |            |          | 630.5      | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          | 640.5      | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          | 650.5      | 0.74     |
|            |          |            |          |            |          | 660.5      | 0.78     |
|            |          |            |          |            |          | 670.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 671.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 682.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 690.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 700.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 710.5      | 0.71     |
|            |          |            |          |            |          | 720.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 728.5      | 0.76     |
|            |          |            |          |            |          | 740.5      | 0.74     |
|            |          |            |          |            |          | 750.5      | 0.77     |
|            |          |            |          |            |          | 762.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 771.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 780.5      | 0.75     |
|            |          |            |          |            |          | 790.5      | 0.74     |
|            |          |            |          |            |          | 800.5      | 0.73     |
|            |          |            |          |            |          | 813.5      | 0.73     |
|            |          |            |          |            |          | 820.5      | 0.73     |
|            |          |            |          |            |          | 827.5      | 0.72     |
|            |          |            |          |            |          | 839.5      | 0.72     |
|            |          |            |          |            |          | 849.5      | 0.72     |
|            |          |            |          |            |          | 859.5      | 0.71     |

Tabelle 9-18: Hauptelemente im Sediment der TVG 87, 89 und 91 (XRF)

| Si, Al, Fe: [mol%g] |      |      |      |      | Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti: [mmol%g] |      |      |     |     |
|---------------------|------|------|------|------|---------------------------------|------|------|-----|-----|
| <b>TVG 87B</b>      |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 2                   | 9.5  | 3.16 | 1.16 | 19.7 | 844                             | 1123 | 1181 | 261 | 208 |
| 7                   | 9.9  | 3.14 | 1.04 | 17.5 | 779                             | 1015 | 1110 | 265 | 191 |
| 10                  | 9.9  | 3.10 | 1.09 | 17.9 | 794                             | 999  | 1075 | 293 | 195 |
| 14                  | 10.3 | 3.08 | 0.94 | 14.5 | 744                             | 892  | 1036 | 340 | 155 |
| 19                  | 10.5 | 2.92 | 0.96 | 14.8 | 707                             | 731  | 978  | 384 | 146 |
| 24                  | 10.8 | 2.79 | 0.84 | 12.7 | 660                             | 622  | 1094 | 361 | 135 |
| 29                  | 10.8 | 2.88 | 0.95 | 13.5 | 690                             | 651  | 897  | 357 | 141 |
| 32                  | 10.8 | 2.86 | 0.84 | 13.3 | 687                             | 606  | 955  | 382 | 135 |
| 35                  | 10.6 | 2.98 | 0.89 | 13.5 | 707                             | 653  | 894  | 399 | 144 |
| 38                  | 10.3 | 2.88 | 1.03 | 15.5 | 762                             | 685  | 1013 | 386 | 144 |
| <b>TVG 89C</b>      |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 3                   | 10.3 | 2.98 | 1.08 | 19.7 | 843                             | 738  | 1181 | 325 | 139 |
| 8                   | 10.0 | 3.00 | 1.18 | 19.7 | 762                             | 856  | 1013 | 342 | 160 |
| 13                  | 10.4 | 2.92 | 1.06 | 19.7 | 885                             | 733  | 1087 | 340 | 139 |
| 18                  | 10.1 | 3.04 | 1.11 | 17.3 | 784                             | 774  | 1065 | 352 | 148 |
| 23                  | 10.1 | 3.00 | 1.11 | 16.8 | 791                             | 738  | 1075 | 359 | 146 |
| 28                  | 10.1 | 3.06 | 1.14 | 17.2 | 764                             | 749  | 1036 | 369 | 146 |
| 33                  | 10.2 | 3.10 | 1.10 | 17.3 | 777                             | 770  | 942  | 367 | 146 |
| 38                  | 10.2 | 2.96 | 1.09 | 18.3 | 779                             | 733  | 975  | 376 | 144 |
| 43                  | 10.1 | 3.02 | 1.13 | 16.8 | 779                             | 753  | 997  | 378 | 149 |
| 47                  | 10.2 | 3.04 | 1.09 | 18.0 | 744                             | 744  | 1058 | 359 | 151 |
| <b>TVG91A</b>       |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 2                   | 11.2 | 2.79 | 0.70 | 11.1 | 509                             | 670  | 1023 | 338 | 140 |
| 5                   | 10.8 | 2.86 | 0.84 | 11.6 | 519                             | 745  | 1013 | 321 | 156 |
| 8                   | 11.2 | 2.71 | 0.85 | 10.7 | 489                             | 731  | 1100 | 304 | 143 |
| 11                  | 11.6 | 2.47 | 0.58 | 9.3  | 434                             | 574  | 897  | 297 | 124 |
| 14                  | 12.7 | 1.98 | 0.43 | 6.9  | 352                             | 432  | 878  | 272 | 8.8 |
| 17                  | 11.2 | 2.80 | 0.70 | 12.0 | 506                             | 703  | 513  | 333 | 144 |
| 22                  | 13.1 | 1.59 | 0.51 | 6.3  | 308                             | 423  | 797  | 195 | 8.4 |
| 27                  | 11.6 | 2.49 | 0.59 | 8.2  | 422                             | 633  | 1094 | 306 | 120 |
| 50                  | 13.8 | 1.08 | 0.54 | 3.2  | 201                             | 214  | 665  | 166 | 4.5 |
| <b>TVG91B</b>       |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 1                   | 10.1 | 2.94 | 1.14 | 17.5 | 833                             | 856  | 1104 | 276 | 180 |
| 3                   | 11.0 | 2.47 | 0.94 | 9.9  | 449                             | 585  | 1094 | 323 | 116 |
| 5                   | 10.8 | 2.86 | 0.85 | 11.6 | 533                             | 699  | 1126 | 350 | 141 |
| 7                   | 11.9 | 2.29 | 0.63 | 8.3  | 424                             | 547  | 1023 | 291 | 108 |
| 9                   | 10.2 | 2.73 | 1.37 | 13.4 | 526                             | 669  | 1062 | 329 | 138 |
| 11                  | 10.6 | 2.94 | 0.83 | 12.8 | 571                             | 738  | 1058 | 355 | 149 |
| 13                  | 9.5  | 2.47 | 2.22 | 12.8 | 454                             | 619  | 965  | 299 | 123 |
| 15                  | 11.0 | 2.80 | 0.74 | 11.3 | 519                             | 628  | 1084 | 359 | 138 |
| 17                  | 10.9 | 2.86 | 0.70 | 11.4 | 543                             | 692  | 1084 | 361 | 143 |
| 19                  | 11.5 | 2.53 | 0.64 | 10.3 | 494                             | 654  | 1058 | 304 | 133 |
| 21                  | 10.9 | 2.80 | 0.68 | 11.7 | 573                             | 729  | 1210 | 348 | 149 |
| 23                  | 10.2 | 3.14 | 0.88 | 14.1 | 630                             | 999  | 1136 | 291 | 173 |
| 25                  | 10.2 | 2.88 | 1.14 | 13.7 | 585                             | 779  | 1126 | 327 | 159 |
| 27                  | 10.7 | 2.98 | 0.79 | 12.5 | 553                             | 663  | 1052 | 267 | 149 |
| 29                  | 10.1 | 2.92 | 1.06 | 17.1 | 618                             | 692  | 1187 | 297 | 188 |
| 31                  | 10.2 | 2.90 | 1.16 | 15.9 | 573                             | 638  | 1052 | 293 | 176 |
| 33                  | 11.0 | 2.71 | 0.85 | 12.1 | 479                             | 631  | 1142 | 325 | 138 |
| 35                  | 11.0 | 2.45 | 1.13 | 9.7  | 409                             | 501  | 1207 | 348 | 110 |
| 37                  | 11.3 | 2.37 | 0.99 | 9.4  | 399                             | 514  | 1155 | 325 | 113 |
| 39                  | 11.5 | 2.14 | 1.09 | 8.5  | 362                             | 462  | 984  | 295 | 96  |
| 41                  | 11.7 | 2.28 | 0.80 | 8.3  | 390                             | 498  | 1071 | 312 | 105 |
| 43                  | 11.1 | 2.47 | 1.04 | 11.1 | 422                             | 622  | 1052 | 295 | 120 |
| <b>TVG91C</b>       |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 3                   | 10.9 | 2.92 | 0.78 | 11.3 | 491                             | 758  | 1126 | 325 | 154 |
| 7                   | 10.7 | 3.00 | 0.78 | 12.5 | 546                             | 874  | 1016 | 312 | 169 |
| 12                  | 11.0 | 2.90 | 0.64 | 10.4 | 511                             | 670  | 1097 | 380 | 145 |
| 16                  | 10.6 | 2.75 | 1.05 | 11.7 | 511                             | 606  | 849  | 346 | 141 |
| 21                  | 11.1 | 2.90 | 0.75 | 10.0 | 461                             | 592  | 1010 | 382 | 133 |
| 25                  | 11.8 | 2.51 | 0.71 | 10.0 | 419                             | 581  | 939  | 310 | 128 |
| 31                  | 12.3 | 1.45 | 1.32 | 7.3  | 246                             | 310  | 855  | 202 | 66  |
| 38                  | 11.7 | 2.57 | 0.58 | 8.7  | 432                             | 569  | 958  | 338 | 116 |
| <b>TVG91D</b>       |      |      |      |      |                                 |      |      |     |     |
| depth [cm]          | Si   | Al   | Fe   | Mn   | Mg                              | Ca   | Na   | K   | Ti  |
| 1                   | 10.6 | 2.82 | 0.95 | 13.0 | 442                             | 648  | 1151 | 331 | 131 |
| 3                   | 10.7 | 2.84 | 0.95 | 12.1 | 466                             | 720  | 1110 | 306 | 153 |
| 5                   | 10.2 | 2.53 | 1.59 | 12.7 | 417                             | 544  | 1113 | 338 | 118 |
| 7                   | 10.0 | 2.61 | 1.60 | 12.4 | 439                             | 612  | 1058 | 314 | 129 |
| 9                   | 10.5 | 2.88 | 1.03 | 12.0 | 474                             | 697  | 1156 | 335 | 141 |
| 11                  | 11.9 | 3.10 | 1.10 | 16.9 | 618                             | 945  | 1084 | 269 | 188 |
| 13                  | 10.2 | 3.12 | 0.96 | 14.9 | 566                             | 892  | 991  | 306 | 179 |
| 15                  | 10.0 | 3.16 | 0.94 | 15.8 | 623                             | 927  | 1117 | 301 | 185 |
| 17                  | 10.4 | 3.20 | 0.80 | 13.7 | 561                             | 802  | 1110 | 361 | 165 |
| 19                  | 10.5 | 3.18 | 0.79 | 11.1 | 594                             | 647  | 1113 | 401 | 143 |
| 21                  | 10.7 | 3.16 | 0.66 | 11.3 | 628                             | 690  | 1149 | 410 | 151 |
| 23                  | 10.6 | 3.22 | 0.88 | 11.7 | 526                             | 728  | 1087 | 380 | 150 |
| 25                  | 10.6 | 3.18 | 0.74 | 11.3 | 514                             | 672  | 1162 | 412 | 149 |
| 27                  | 10.7 | 3.20 | 0.73 | 10.3 | 526                             | 642  | 1016 | 397 | 149 |
| 29                  | 10.6 | 3.25 | 0.70 | 10.9 | 526                             | 648  | 1107 | 416 | 151 |
| 31                  | 10.6 | 2.84 | 1.04 | 10.9 | 471                             | 571  | 1275 | 384 | 135 |
| 33                  | 10.9 | 3.00 | 0.61 | 9.2  | 524                             | 619  | 1352 | 403 | 143 |
| 35                  | 10.6 | 3.10 | 0.80 | 10.3 | 526                             | 681  | 994  | 431 | 155 |
| 37                  | 10.3 | 2.88 | 1.16 | 12.4 | 501                             | 585  | 1149 | 382 | 136 |
| 39                  | 10.7 | 3.04 | 0.74 | 9.2  | 516                             | 621  | 1152 | 401 | 139 |
| 41                  | 10.5 | 2.90 | 1.10 | 11.3 | 489                             | 590  | 1013 | 391 | 136 |
| 43                  | 10.5 | 2.94 | 0.86 | 10.4 | 514                             | 667  | 1220 | 378 | 143 |
| 45                  | 10.7 | 3.06 | 0.68 | 9.7  | 538                             | 653  | 1246 | 384 | 141 |
| 47                  | 10.6 | 3.06 | 0.79 | 10.9 | 524                             | 724  | 1320 | 359 | 143 |
| 49                  | 10.7 | 2.90 | 0.78 | 13.5 | 479                             | 711  | 1317 | 338 | 155 |

Tabelle 9-19: Hauptelemente im Sediment der SL 61, 62, 63 und 86 (XRF)

| Si, Al, Fe: [mol%g]; |       |      |      | Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti: [mmol%g] |      |      |      |     |     |  |
|----------------------|-------|------|------|---------------------------------|------|------|------|-----|-----|--|
| <b>SL_61</b>         |       |      |      |                                 |      |      |      |     |     |  |
| depth [cm]           | Si    | Al   | Fe   | Mn                              | Mg   | Ca   | Na   | K   | Ti  |  |
| 30                   | 9.86  | 2.40 | 0.82 | 11.8                            | 735  | 463  | 1226 | 379 | 98  |  |
| 105                  | 9.25  | 2.47 | 0.87 | 13.2                            | 823  | 480  | 1313 | 360 | 102 |  |
| 230                  | 9.49  | 3.04 | 0.88 | 14.8                            | 750  | 903  | 1162 | 282 | 114 |  |
| 247                  | 8.98  | 3.07 | 0.99 | 18.2                            | 1117 | 1284 | 1154 | 257 | 120 |  |
| 355                  | 9.88  | 2.30 | 0.79 | 12.1                            | 705  | 445  | 1208 | 337 | 91  |  |
| 455                  | 9.59  | 2.39 | 0.86 | 13.1                            | 736  | 459  | 1127 | 356 | 97  |  |
| 555                  | 9.86  | 2.76 | 0.91 | 14.8                            | 808  | 520  | 1177 | 333 | 109 |  |
| <b>SL_62</b>         |       |      |      |                                 |      |      |      |     |     |  |
| depth [cm]           | Si    | Al   | Fe   | Mn                              | Mg   | Ca   | Na   | K   | Ti  |  |
| 105                  | 9.47  | 2.57 | 0.90 | 13.6                            | 803  | 511  | 1119 | 354 | 107 |  |
| 230                  | 9.09  | 3.02 | 1.10 | 18.7                            | 934  | 1102 | 1201 | 239 | 151 |  |
| 280                  | 9.81  | 2.21 | 0.79 | 11.5                            | 679  | 423  | 1118 | 351 | 91  |  |
| 380                  | 9.83  | 2.45 | 0.81 | 12.1                            | 836  | 420  | 1231 | 416 | 97  |  |
| 555                  | 9.86  | 2.35 | 0.83 | 12.2                            | 700  | 443  | 1095 | 363 | 94  |  |
| <b>SL_63</b>         |       |      |      |                                 |      |      |      |     |     |  |
| depth [cm]           | Si    | Al   | Fe   | Mn                              | Mg   | Ca   | Na   | K   | Ti  |  |
| 16.5                 | 9.62  | 2.53 | 0.89 | 13.3                            | 776  | 530  | 1154 | 376 | 108 |  |
| 49.5                 | 9.57  | 2.41 | 0.85 | 12.7                            | 786  | 450  | 1148 | 385 | 98  |  |
| 141.5                | 9.38  | 2.53 | 0.88 | 13.6                            | 794  | 497  | 1125 | 362 | 105 |  |
| 191.5                | 9.53  | 2.74 | 0.94 | 14.9                            | 796  | 668  | 1181 | 345 | 116 |  |
| 223.5                | 9.63  | 2.36 | 0.85 | 12.6                            | 705  | 503  | 1112 | 349 | 106 |  |
| 255.5                | 9.60  | 2.53 | 0.85 | 13.1                            | 749  | 548  | 1163 | 348 | 106 |  |
| 279.5                | 9.89  | 2.34 | 0.75 | 10.6                            | 635  | 474  | 1135 | 379 | 95  |  |
| 305.5                | 10.03 | 2.46 | 0.84 | 15.0                            | 757  | 436  | 1009 | 392 | 98  |  |
| 331.5                | 9.84  | 2.56 | 0.90 | 15.7                            | 870  | 471  | 1336 | 441 | 108 |  |
| 401.5                | 10.29 | 2.76 | 0.93 | 13.4                            | 864  | 431  | 1149 | 333 | 107 |  |
| 451.5                | 10.17 | 2.56 | 0.90 | 13.3                            | 913  | 335  | 1102 | 381 | 104 |  |
| 504.5                | 10.09 | 2.61 | 0.95 | 14.7                            | 857  | 385  | 1199 | 302 | 107 |  |
| 548.5                | 9.50  | 2.70 | 1.16 | 14.8                            | 969  | 426  | 1152 | 298 | 111 |  |
| 595.5                | 9.59  | 2.73 | 0.95 | 15.5                            | 891  | 613  | 1262 | 388 | 112 |  |
| 622.5                | 9.96  | 2.62 | 0.87 | 14.4                            | 851  | 452  | 1174 | 404 | 107 |  |
| <b>SL_86</b>         |       |      |      |                                 |      |      |      |     |     |  |
| depth [cm]           | Si    | Al   | Fe   | Mn                              | Mg   | Ca   | Na   | K   | Ti  |  |
| 6                    | 9.61  | 2.38 | 0.82 | 11.4                            | 723  | 441  | 1144 | 382 | 97  |  |
| 40                   | 9.43  | 2.98 | 0.69 | 15.7                            | 930  | 1051 | 1235 | 261 | 107 |  |
| 125                  | 9.54  | 2.56 | 0.92 | 14.0                            | 812  | 522  | 1097 | 375 | 109 |  |
| 225                  | 9.50  | 2.57 | 0.90 | 13.7                            | 781  | 532  | 1058 | 358 | 109 |  |
| 325                  | 9.71  | 2.73 | 0.90 | 13.9                            | 774  | 620  | 1077 | 330 | 113 |  |
| 428                  | 9.59  | 2.41 | 0.84 | 13.0                            | 730  | 525  | 1156 | 342 | 104 |  |
| 530                  | 9.86  | 2.51 | 0.88 | 13.7                            | 748  | 518  | 1111 | 345 | 106 |  |
| 635                  | 9.82  | 2.42 | 0.81 | 12.4                            | 697  | 410  | 1034 | 378 | 93  |  |
| 730                  | 9.63  | 2.34 | 0.85 | 12.1                            | 706  | 407  | 1030 | 377 | 93  |  |
| 830                  | 9.61  | 2.55 | 0.87 | 12.9                            | 770  | 488  | 1048 | 366 | 105 |  |

Tabelle 9-20: Spurenelemente im Sediment (Aufschluß, ICP-AES)

| Konzentrationen in [mmol/kg] |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| <b>SL63</b>                  |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |
| depth [cm]                   | Ba   | Cr   | Cu   | La    | Li   | Mn    | Mo    | Sc   | Sr   | V    | Zn   |
| 16.5                         | 2.52 | 0.95 | 0.88 | 0.092 | 4.05 | 13.28 | bdl   | 0.42 | 2.65 | 3.27 | 1.69 |
| 49.5                         | 2.32 | 0.86 | 0.89 | 0.076 | 3.95 | 12.70 | bdl   | 0.41 | 2.41 | 3.06 | 1.70 |
| 91.5                         | 2.45 | 0.93 | 0.93 | 0.085 | 4.13 | 13.69 | bdl   | 0.44 | 2.58 | 3.30 | 1.76 |
| 141.5                        | 2.40 | 0.95 | 0.92 | 0.083 | 4.01 | 14.13 | bdl   | 0.44 | 2.68 | 3.35 | 1.80 |
| 191.5                        | 2.28 | 1.06 | 0.86 | 0.087 | 3.72 | 14.62 | bdl   | 0.46 | 3.27 | 3.46 | 1.58 |
| 191.5                        | na   | na   | na   | na    | 3.31 | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 223.5                        | na   | na   | na   | na    | 3.67 | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 255.5                        | na   | na   | na   | na    | 3.90 | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 255.5                        | 2.59 | 1.03 | 0.83 | 0.090 | 4.19 | 13.39 | bdl   | 0.41 | 2.79 | 3.32 | 1.69 |
| 279.5                        | na   | na   | na   | na    | 3.30 | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 305.5                        | na   | na   | na   | na    | 1.84 | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 305.5                        | 2.77 | 1.00 | 0.86 | 0.093 | 2.13 | 15.17 | bdl   | 0.39 | 2.32 | 3.02 | 1.96 |
| 351.5                        | 3.00 | 1.01 | 0.99 | 0.088 | 1.96 | 14.55 | bdl   | 0.44 | 2.66 | 3.42 | 1.63 |
| 401.5                        | 3.13 | 1.04 | 1.10 | 0.102 | 2.07 | 13.55 | bdl   | 0.44 | 2.92 | 3.33 | 1.11 |
| 451.5                        | 2.86 | 0.96 | 0.99 | 0.100 | 1.84 | 13.58 | bdl   | 0.43 | 2.34 | 3.32 | 2.28 |
| 504.5                        | 2.93 | 1.01 | 1.70 | 0.098 | 2.24 | 15.29 | bdl   | 0.45 | 2.71 | 3.44 | 2.41 |
| 529.5                        | na   | na   | 0.91 | na    | na   | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 548.5                        | 2.35 | 1.01 | 14.7 | 0.104 | 2.30 | 15.04 | bdl   | 0.45 | 2.87 | 3.46 | 2.38 |
| 548.5                        | na   | na   | 13.7 | na    | na   | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 568.5                        | na   | na   | 1.03 | na    | na   | na    | na    | na   | na   | na   | na   |
| 595.5                        | 2.85 | 0.98 | 0.96 | 0.100 | 2.63 | 15.11 | bdl   | 0.44 | 3.78 | 3.35 | 1.84 |
| <b>SL86</b>                  |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |
| depth [cm]                   | Ba   | Cr   | Cu   | La    | Li   | Mn    | Mo    | Sc   | Sr   | V    | Zn   |
| 6                            | 2.64 | 2.42 | 0.87 | 0.090 | 4.08 | 12.18 | bdl   | 0.39 | 2.43 | 3.13 | 1.73 |
| 40                           | 1.58 | 3.14 | 1.14 | 0.055 | 2.51 | 15.50 | 0.044 | 0.52 | 2.78 | 3.22 | 1.29 |
| 125                          | 2.42 | 2.74 | 0.94 | 0.085 | 3.77 | 14.06 | 0.038 | 0.43 | 2.66 | 3.36 | 1.76 |
| 225                          | 2.39 | 1.97 | 0.92 | 0.085 | 3.91 | 14.27 | 0.049 | 0.44 | 2.81 | 3.45 | 1.74 |
| 325                          | 2.13 | 3.07 | 0.82 | 0.076 | 3.19 | 14.21 | bdl   | 0.43 | 3.08 | 3.40 | 1.59 |
| 428                          | 2.38 | 2.34 | 0.91 | 0.076 | 3.98 | 13.27 | 0.050 | 0.41 | 2.67 | 3.14 | 1.60 |
| 530                          | 2.24 | 1.78 | 0.80 | 0.080 | 3.47 | 13.59 | bdl   | 0.40 | 2.57 | 3.19 | 1.70 |
| 635                          | 2.70 | 1.41 | 0.82 | 0.092 | 4.26 | 12.65 | 0.026 | 0.37 | 2.36 | 2.94 | 1.73 |
| 730                          | 2.73 | 1.52 | 0.84 | 0.092 | 4.39 | 12.49 | 0.036 | 0.37 | 2.42 | 3.03 | 1.73 |
| 830                          | 2.41 | 1.28 | 0.84 | 0.090 | 3.86 | 13.45 | bdl   | 0.42 | 2.52 | 3.28 | 1.77 |
| <b>TVG87D</b>                |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |
| depth [cm]                   | Ba   | Cr   | Cu   | La    | Li   | Mn    | Mo    | Sc   | Sr   | V    | Zn   |
| 1                            | 2.34 | 0.87 | 0.77 | 0.082 | 3.32 | 14.48 | 0.017 | 0.43 | 2.99 | 3.25 | 1.66 |
| 5                            | 2.37 | 0.97 | 0.68 | 0.078 | 3.47 | 12.75 | bdl   | 0.43 | 3.13 | 3.44 | 1.68 |
| 9                            | 2.29 | 0.98 | 0.81 | 0.083 | 3.22 | 13.37 | 0.044 | 0.46 | 3.29 | 3.59 | 1.64 |
| 13                           | 2.39 | 0.99 | 0.83 | 0.080 | 3.17 | 12.11 | 0.047 | 0.44 | 3.17 | 3.38 | 1.67 |
| 17                           | 2.47 | 0.98 | 0.89 | 0.083 | 3.25 | 12.43 | 0.032 | 0.45 | 3.09 | 3.51 | 1.64 |
| 21                           | 1.84 | 0.84 | 0.78 | 0.083 | 2.83 | 14.15 | 0.039 | 0.49 | 3.54 | 3.86 | 1.59 |
| 25                           | 1.72 | 1.23 | 0.74 | 0.075 | 2.83 | 13.19 | 0.027 | 0.45 | 3.15 | 3.49 | 1.48 |
| 29                           | 1.66 | 0.87 | 0.88 | 0.074 | 2.76 | 14.94 | 0.035 | 0.49 | 3.47 | 3.82 | 1.64 |
| <b>TVG89A</b>                |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |
| depth [cm]                   | Ba   | Cr   | Cu   | La    | Li   | Mn    | Mo    | Sc   | Sr   | V    | Zn   |
| 3                            | 2.32 | 0.97 | 0.84 | 0.085 | 3.62 | 14.96 | 0.006 | 0.46 | 3.32 | 3.65 | 1.74 |
| 7                            | 2.21 | 0.95 | 0.83 | 0.080 | 3.52 | 14.13 | 0.013 | 0.45 | 3.12 | 3.53 | 1.62 |
| 11                           | 2.30 | 1.00 | 0.81 | 0.082 | 3.50 | 14.64 | 0.010 | 0.46 | 3.33 | 3.63 | 1.69 |
| 15                           | 2.60 | 1.06 | 0.94 | 0.093 | 4.02 | 15.57 | 0.005 | 0.50 | 3.56 | 3.93 | 1.85 |
| 19                           | 2.42 | 0.93 | 0.86 | 0.092 | 3.66 | 16.09 | 0.004 | 0.48 | 3.44 | 3.68 | 1.77 |
| 21                           | 1.92 | 0.60 | 0.88 | 0.086 | 2.85 | 16.51 | 0.018 | 0.39 | 2.80 | 3.03 | 1.63 |
| 23                           | 2.10 | 0.84 | 0.70 | 0.070 | 2.63 | 17.49 | 0.005 | 0.48 | 3.45 | 3.95 | 1.55 |

Tabelle 9-21: Isotopenanalysen der Porenwässer

| standards             |                       |                       |                       |                  | Bottom Water   |   |                       |                       |                  | Deep Water     |                       |                       |                       |                  |  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------|---|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--|
| $\delta^{11}\text{B}$ | [‰, SRM]              | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$                     | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ |  |
| $\delta^{18}\text{O}$ | [‰, SMOW]             |                       |                       |                  | MIC 55         | 40.6                                      | na                    | na                    | na               | CTD 57 / 1204  | na                    | -0.2                  | -0.4                  | -18.7            |  |
| $\delta\text{D}$      | [‰, SMOW]             |                       |                       |                  | MIC 86         | na  | 4.4                   | -0.09                 | -16.9            | CTD 55 / 1923  | na                    | na                    | -0.63                 | -18.60           |  |
| $\delta^{13}\text{C}$ | [‰, PDB]              |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | CTD 55 / 1898  | na                    | na                    | -0.64                 | -9.8             |  |
| <b>SL 61</b>          |                       |                       |                       |                  | <b>SL 63</b>   |   |                       |                       |                  | <b>SL 86</b>   |                       |                       |                       |                  |  |
| depth [cm]            | $\delta^{11}\text{B}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$                     | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ |  |
| 80                    | 36.5                  | na                    | na                    | na               | 16.5           | 35.3                                      | -5.3                  | -1.74                 | -10.7            | 6              | na                    | -2.0                  | -1.22                 | -13.20           |  |
| 155                   | 37.5                  | na                    | na                    | na               | 49.5           | 37.1                                      | na                    | -0.27                 | -16.4            | 40             | 38.2                  | na                    | na                    | na               |  |
| 302                   | 59.6                  | na                    | na                    | na               | 91.5           | 35.8                                      | na                    | na                    | na               | 200            | na                    | na                    | -0.48                 | -12.4            |  |
| 530                   | 34.6                  | na                    | na                    | na               | 121.5          | na  | na                    | -0.72                 | -9.7             | 225            | na                    | -9.6                  | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 141.5          | na  | -9.6                  | na                    | na               | 300            | 38.3                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 191.5          | 36.8                                      | na                    | -0.84                 | -12.5            | 350            | 38.0                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 255.5          | 31.2                                      | -9.3                  | -0.43                 | -11.5            | 407            | na                    | na                    | -0.48                 | -13.80           |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 305.5          | 30.7                                      | na                    | 0.50                  | -11.0            | 428            | na                    | -7.6                  | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 331.5          | na  | -9.5                  | na                    | na               | 568            | 44.9                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 351.5          | 31.1                                      | na                    | -1.55                 | -17.4            | 612            | na                    | na                    | -1.55                 | -15.6            |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 401.5          | 28.5                                      | na                    | na                    | na               | 635            | 44.6                  | -7.4                  | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 451.5          | 25.7                                      | -9.9                  | -1.12                 | -12.7            | 730            | 48.5                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 504.5          | 23.3                                      | na                    | na                    | na               | 785            | 49.0                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 529.5          | na  | na                    | -0.37                 | -12.0            | 810            | na                    | na                    | -0.61                 | -11.00           |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 548.5          | na  | -11.7                 | na                    | na               | 830            | na                    | -3.4                  | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 568.5          | 25.7                                      | na                    | na                    | na               | 855            | 39.9                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 595.5          | na  | na                    | -0.83                 | -11.2            |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 622.5          | na  | -11.9                 | na                    | na               |                |                       |                       |                       |                  |  |
| <b>TVG 89A</b>        |                       |                       |                       |                  | <b>TVG 91B</b> |   |                       |                       |                  | <b>TVG 91D</b> |                       |                       |                       |                  |  |
| depth [cm]            | $\delta^{11}\text{B}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$                     | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | depth [cm]     | $\delta^{11}\text{B}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ |  |
| 5                     | 40.4                  | na                    | -0.43                 | -15.7            | 1              | na  | na                    | -0.44                 | -15.4            | 1              | na                    | na                    | -0.45                 | 13.50            |  |
| 11                    | 38.1                  | na                    | na                    | na               | 3              | na  | na                    | -0.54                 | -9.1             | 3              | na                    | na                    | -1.04                 | 14.40            |  |
| 19                    | na                    | na                    | -1.13                 | -13.3            | 5              | na  | na                    | -0.39                 | -11.5            | 5              | 42.3                  | na                    | -0.09                 | -11.70           |  |
| 21                    | 39.2                  | na                    | na                    | na               | 7              | na  | na                    | -0.44                 | -14.0            | 9              | na                    | na                    | -0.45                 | -13.90           |  |
| 25                    | na                    | -0.1                  | na                    | na               | 9              | na  | na                    | -0.16                 | -10.2            | 13             | na                    | 8.1                   | -0.51                 | -12.40           |  |
| 31                    | 40.6                  | na                    | na                    | na               | 11             | na  | na                    | -0.75                 | -9.4             | 15             | 41.2                  | na                    | na                    | na               |  |
| 41                    | 39.5                  | na                    | -0.18                 | -11.7            | 15             | na  | na                    | -0.68                 | -11.9            | 17             | na                    | na                    | -1.55                 | -12.60           |  |
| 45                    | na                    | 0.6                   | na                    | na               | 19             | na  | na                    | 0.15                  | -11.2            | 21             | na                    | na                    | 0.27                  | -10.80           |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 23             | na  | na                    | 0.83                  | -10.4            | 23             | 40.0                  | 5.4                   | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 27             | na  | na                    | -0.35                 | -10.3            | 25             | na                    | na                    | -0.41                 | -11.10           |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 31             | na  | na                    | 0.24                  | -11.7            | 27             | 44.4                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 35             | na  | na                    | -0.15                 | -13.8            | 29             | na                    | na                    | -1.02                 | -9.70            |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 37             | na  | na                    | -0.25                 | -18.1            | 33             | na                    | 7.7                   | 0.26                  | -18.00           |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 43             | na  | na                    | -0.07                 | -18.3            | 35             | 40.5                  | na                    | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | 37             | na                    | na                    | -0.56                 | -1.3             |  |
|                       |                       |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | 41             | na                    | na                    | -0.39                 | -9.5             |  |
|                       |                       |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | 43             | na                    | 6.2                   | na                    | na               |  |
|                       |                       |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | 45             | 39.6                  | na                    | -1.38                 | -12.8            |  |
|                       |                       |                       |                       |                  |                |   |                       |                       |                  | 49             | na                    | na                    | -0.26                 | -11.2            |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | <b>TVG 91</b>  |   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | depth [cm]     | $\delta^{34}\text{S}/\delta^{32}\text{S}$ |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | TVG 91A        | 27  | 0.7091                |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | TVG 91C        | 38  | 0.7091                |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | <b>SL 63</b>   |   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | depth [cm]     | $\delta^{34}\text{S}/\delta^{32}\text{S}$ |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 141.5          | 0.70882                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 305.5          | 0.70859                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 401.5          | 0.70844                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 401.5          | 0.70841                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 504.5          | 0.70820                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 568.5          | 0.70808                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | <b>SL 86</b>   |   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | depth [cm]     | $\delta^{34}\text{S}/\delta^{32}\text{S}$ |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 730            | 0.70862                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |
|                       |                       |                       |                       |                  | 830            | 0.70859                                   |                       |                       |                  |                |                       |                       |                       |                  |  |

**Tabelle 9-22:** Nährstoffe, DIC, Alkalinität und Anionen im Porenwasser sowie pH im Sediment der TVG 27 und 35

**TVG 8-27\_B**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 0.5        | 682       | 39.8     | 4.88     | bdl      | 3.02    | na       | 8.23      | 538     | 26.5     | 810     | 1.32   |
| 1.5        | 481       | 44.8     | 6.97     | bdl      | 3.12    | na       | 7.79      | 543     | 27.0     | 820     | 1.27   |
| 2.5        | 895       | 49.5     | 7.32     | bdl      | 2.85    | na       | 7.71      | 532     | 26.6     | 819     | 1.32   |
| 3.5        | 542       | 47.3     | 7.44     | bdl      | 2.73    | na       | 7.71      | 532     | 26.7     | 808     | 1.39   |
| 4.5        | 646       | 55.9     | 6.74     | bdl      | 2.85    | na       | 7.68      | 524     | 25.8     | 796     | 1.72   |
| 5.5        | 672       | 61.7     | 6.28     | bdl      | 3.02    | na       | 7.71      | 536     | 26.6     | 815     | 1.80   |
| 6.5        | 559       | 57.7     | 4.76     | bdl      | 3.02    | na       | 7.81      | 529     | 26.3     | 815     | 1.77   |
| 7.5        | 708       | 60.6     | 6.51     | bdl      | 2.96    | na       | 7.75      | 531     | 26.4     | 805     | 1.83   |
| 8.5        | 656       | 64.5     | 8.37     | bdl      | 2.91    | na       | 7.71      | 520     | 25.8     | 796     | 1.78   |
| 9.5        | 704       | 58.1     | 7.44     | bdl      | 2.96    | na       | 7.71      | 524     | 26.0     | 797     | 1.91   |
| 11.5       | 572       | 64.2     | 6.39     | bdl      | 2.96    | na       | 7.88      | 543     | 27.0     | 831     | 1.99   |
| 14.5       | 776       | 68.5     | 8.88     | bdl      | 2.91    | na       | 7.97      | 520     | 25.6     | 783     | 2.04   |
| 17.5       | 636       | 73.5     | 8.48     | bdl      | 2.79    | na       | 7.75      | 532     | 26.2     | 797     | 2.09   |
| 20.5       | 928       | 72.4     | 7.09     | bdl      | 2.73    | na       | 7.68      | 529     | 26.2     | 811     | 2.03   |
| 23.5       | 892       | 64.9     | 7.20     | bdl      | 2.73    | na       | 7.68      | 531     | 26.3     | 811     | 2.15   |
| 26.5       | 925       | 74.2     | 7.44     | bdl      | 2.85    | na       | 7.68      | 523     | 25.7     | 793     | 2.16   |
| 29.5       | 688       | 71.7     | 6.74     | bdl      | 2.85    | na       | 7.66      | 537     | 26.4     | 806     | 2.22   |
| 32.5       | 740       | 78.9     | 8.13     | bdl      | 3.02    | na       | 7.68      | 531     | 26.2     | 812     | 2.31   |
| 35.5       | 711       | 73.5     | 6.39     | bdl      | 2.91    | na       | 7.73      | 524     | 25.9     | 804     | 2.39   |
| 38.5       | 763       | 72.1     | 6.18     | bdl      | 3.12    | na       | 7.71      | 526     | 25.9     | 803     | 2.42   |
| 41.5       | 646       | 86.0     | 4.42     | bdl      | na      | na       | 7.71      | 511     | 25.1     | 761     | 2.49   |

**TVG 8-27\_D**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 3.0        | 555       | 35.9     | 9.7      | bdl      | 2.55    | na       | 8.01      | 507     | 25.0     | 772     | 1.10   |
| 7.0        | 727       | 46.6     | 14.2     | bdl      | 2.81    | na       | 7.75      | 514     | 25.6     | 779     | 1.31   |
| 11.0       | 834       | 46.3     | 10.2     | bdl      | 2.86    | na       | 7.68      | 511     | 25.3     | 762     | 1.51   |
| 14.5       | 737       | 49.9     | 9.7      | bdl      | 2.91    | na       | 7.66      | 495     | 24.4     | 751     | 1.60   |
| 18.5       | 847       | 49.9     | 12.5     | bdl      | 2.96    | na       | 7.64      | 513     | 25.4     | 772     | 1.65   |
| 22.5       | 678       | 54.2     | 10.4     | bdl      | 2.81    | na       | 7.62      | 499     | 24.4     | 753     | 1.70   |
| 28.5       | 818       | 47.7     | 10.4     | bdl      | na      | na       | 7.62      | 495     | 24.4     | 733     | 1.71   |
| 30.5       | 789       | 49.5     | 9.5      | bdl      | na      | na       | 7.62      | 492     | 24.2     | 747     | 1.80   |
| 34.0       | 487       | 56.7     | 9.3      | bdl      | 2.81    | na       | 7.60      | 507     | 25.5     | 760     | 1.80   |
| 38.0       | 785       | 54.5     | 9.7      | bdl      | 2.91    | na       | 7.60      | 498     | 24.3     | 743     | 1.84   |
| 41.5       | 873       | 58.1     | 10.2     | bdl      | 2.69    | na       | 7.64      | 497     | 24.7     | 742     | 1.95   |
| 45.0       | 640       | 62.7     | 10.7     | bdl      | 2.81    | na       | 7.64      | 503     | 24.7     | 754     | 1.99   |

**TVG 8-35\_A**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 2.0        | 1345      | 86.4     | 6.69     | 738      | 2.60    | na       | 5.14      | 458     | 22.3     | 863     | 0.57   |
| 5.0        | 1057      | 97.9     | 6.96     | 735      | 2.50    | na       | 4.94      | 465     | 22.6     | 886     | 0.54   |
| 8.5        | 1427      | 97.1     | 6.96     | 824      | 2.59    | na       | 4.85      | 513     | 25.4     | 789     | 0.58   |
| 11.5       | 1468      | 89.6     | 6.24     | 890      | 2.59    | na       | 4.83      | 469     | 23.0     | 700     | 0.54   |
| 16.0       | 1057      | 92.1     | 6.21     | 631      | 2.36    | na       | 4.80      | 455     | 22.1     | 682     | 0.59   |
| 21.0       | 1238      | 97.5     | 7.20     | 453      | 2.43    | na       | 4.83      | 465     | 22.8     | 687     | 0.61   |

**TVG 8-35\_B**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 1.5        | 1244      | 53.5     | 7.44     | 482      | 2.76    | 0.74     | 5.25      | 502     | 25.0     | 760     | 0.71   |
| 4.5        | 1407      | 76.4     | 8.07     | 698      | 2.87    | 0.59     | 4.93      | 505     | 24.8     | 762     | 0.61   |
| 7.5        | 1603      | 78.8     | 8.07     | 723      | 2.87    | 1.49     | 4.88      | 502     | 25.1     | 772     | 0.60   |
| 10.5       | 1468      | 86.3     | 7.91     | 628      | 2.85    | 1.66     | 4.88      | 508     | 24.8     | 766     | 0.60   |
| 13.5       | 1373      | 122.1    | 9.16     | 276      | 2.58    | 0.58     | 4.91      | 498     | 25.0     | 752     | 0.64   |
| 16.5       | 1231      | 79.9     | 8.38     | 383      | 2.73    | 1.50     | 4.93      | 495     | 24.1     | 742     | 0.63   |
| 19.5       | 1346      | 94.5     | 7.44     | 436      | 2.66    | 1.05     | 4.93      | 499     | 24.5     | 741     | 0.64   |
| 22.5       | 1234      | 85.1     | 7.44     | 433      | 2.69    | 1.12     | 4.91      | 492     | 24.1     | 739     | 0.60   |
| 25.5       | 1285      | 79.2     | 7.13     | 449      | 2.73    | na       | 4.91      | 495     | 24.5     | 722     | 0.60   |
| 28.5       | 1444      | 85.5     | 6.81     | 385      | 2.79    | 0.82     | 4.82      | 486     | 23.8     | 729     | 0.60   |
| 31.5       | 1140      | 97.7     | 4.93     | 143      | 2.85    | 0.44     | 4.88      | 471     | 22.9     | 695     | 0.61   |



**Tabelle 9-23:** Nährstoffe, DIC, Alkalinität und Anionen im Porenwasser sowie pH im Sediment der TVG 68 und 69

**TVG 8-68 A**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 0.5        | 1726      | 249      | 7.13     | bdl      | 2.99    | na       | 5.70      | 477     | 23.4     | 707     | 2.37   |
| 1.5        | 1708      | 259      | 7.28     | 2.3      | 2.99    | na       | 5.45      | 478     | 23.4     | 707     | 1.53   |
| 2.5        | 2010      | 261      | 7.28     | 6.9      | 2.94    | na       | 5.34      | 473     | 23.4     | 713     | 1.44   |
| 3.5        | 1752      | 289      | 8.07     | bdl      | 3.12    | na       | 5.34      | 475     | 23.3     | 713     | 1.71   |
| 4.5        | 1248      | 265      | 8.53     | 2.6      | 3.03    | na       | 5.32      | 480     | 23.7     | 702     | 1.54   |
| 5.5        | 2054      | 301      | 7.44     | 1.5      | 3.16    | na       | 5.30      | 478     | 23.6     | 725     | 1.51   |
| 6.5        | 1580      | 270      | 6.97     | bdl      | 3.19    | na       | 5.28      | 469     | 23.3     | 701     | 1.32   |
| 7.5        | 1565      | 313      | 7.28     | 8.0      | 3.12    | na       | 5.20      | 482     | 23.1     | 699     | 1.38   |
| 8.5        | 1525      | 304      | 7.91     | bdl      | 3.19    | na       | 5.20      | 480     | 23.8     | 718     | 1.57   |
| 9.5        | 1847      | 331      | 8.38     | bdl      | 4.00    | na       | 5.13      | 474     | 23.6     | 721     | 1.50   |
| 11.5       | 1752      | 331      | 7.44     | 5.1      | 3.16    | na       | 5.11      | 469     | 23.5     | 690     | 1.35   |
| 14.5       | 1722      | 352      | 5.72     | 9.0      | 3.19    | na       | 5.40      | 478     | 23.7     | 725     | 1.40   |
| 17.5       | 2101      | 347      | 5.25     | 9.4      | 2.99    | na       | 5.20      | 483     | 23.3     | 712     | 1.38   |
| 20.5       | 2409      | na       | 5.56     | 16.6     | 2.94    | na       | 5.11      | 483     | 23.5     | 703     | 1.35   |
| 23.5       | 2355      | 335      | 5.25     | 15.8     | 2.99    | na       | 5.13      | 480     | 23.5     | 713     | 1.30   |
| 26.5       | 2040      | 324      | 5.56     | 14.8     | 3.03    | na       | 5.28      | 480     | 23.4     | 709     | 1.35   |
| 29.5       | 1768      | 304      | 6.66     | 25.6     | 3.39    | na       | 5.13      | 484     | 24.0     | 728     | 1.50   |
| 32.5       | 1908      | 298      | 8.53     | 4.0      | 3.49    | na       | 5.13      | 488     | 23.2     | 895     | 1.62   |
| 35.5       | 2213      | 280      | 7.28     | 1.22     | 3.58    | na       | 5.13      | 481     | 23.0     | 700     | 1.64   |
| 38.5       | 2064      | 307      | 8.38     | 1.36     | 3.56    | na       | 5.13      | 485     | 23.8     | 720     | 1.69   |
| 41.5       | 1614      | 289      | 7.75     | 1.30     | 3.60    | na       | 5.15      | 476     | 23.0     | 710     | 1.85   |
| 44.5       | 2087      | 311      | 7.28     | 14.6     | 3.58    | na       | 5.09      | na      | na       | na      | 1.82   |

**TVG 8-68 B**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 1.5        | 1575      | 237      | 6.8      | 11.9     | 3.11    | 2.08     | 5.31      | 493     | 23.8     | 740     | 1.64   |
| 5.0        | 1987      | na       | 6.2      | 14.2     | na      | 1.91     | 5.21      | 472     | 23.4     | 717     | 1.57   |
| 8.5        | na        | na       | na       | na       | na      | na       | 5.11      | 474     | 23.5     | 719     | 1.67   |
| 12.0       | 2151      | 268      | 4.8      | 24.9     | 3.01    | 2.32     | 5.05      | 484     | 23.2     | 695     | 1.46   |
| 16.0       | 2439      | 240      | na       | 32.0     | 2.53    | 2.31     | 5.01      | 448     | 22.4     | 679     | 1.43   |
| 19.5       | 2020      | 234      | 4.1      | 31.9     | 2.96    | 2.62     | 5.01      | 454     | 23.1     | 684     | 1.58   |
| 23.0       | 1987      | 229      | 5.5      | 28.8     | 2.96    | 2.54     | 5.03      | 454     | 22.5     | 684     | 1.75   |
| 26.5       | 2003      | 273      | 6.0      | 32.7     | 3.11    | 2.94     | 5.03      | 455     | 22.6     | 675     | 1.73   |
| 30.0       | 1485      | 251      | 4.8      | 38.4     | 3.06    | 5.95     | 5.01      | 450     | 22.3     | 687     | 1.70   |
| 35.0       | 1707      | 281      | 5.5      | 35.8     | 3.01    | 2.54     | 4.98      | 447     | 22.1     | 689     | 1.80   |
| 41.0       | 1641      | 285      | 4.1      | 35.5     | 3.57    | 2.29     | 4.98      | 444     | 22.1     | 657     | 1.53   |
| 46.0       | 2127      | 258      | 3.8      | 33.9     | 2.67    | 2.30     | 4.94      | 442     | 21.9     | 669     | 1.51   |

**TVG 8-68 C**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 3.0        | 1468      | 230      | 6.72     | 5.8      | 3.13    | na       | 5.61      | 480     | 23.9     | 734     | 2.00   |
| 7.0        | 1666      | 242      | 5.27     | 13.0     | 3.72    | na       | 5.37      | 481     | 22.8     | 692     | 1.88   |
| 11.0       | 1452      | 227      | 6.24     | 9.9      | 3.51    | na       | 5.30      | 465     | 23.2     | 681     | 1.79   |
| 15.0       | 1822      | 228      | 4.07     | 13.4     | 3.24    | na       | 5.28      | 454     | 22.8     | 693     | 1.85   |
| 19.0       | 1921      | 218      | na       | 13.8     | 2.57    | na       | 5.21      | 456     | 22.8     | 691     | 1.47   |
| 22.5       | 1847      | 194      | 3.35     | 18.2     | 2.67    | na       | 5.19      | 445     | 22.1     | 650     | 1.35   |
| 27.5       | 1863      | 201      | 3.10     | 22.1     | 2.78    | na       | 5.07      | 481     | 23.0     | 676     | 1.35   |
| 31.5       | 1888      | 213      | 2.62     | 13.4     | 2.62    | na       | 5.08      | 459     | 22.8     | 701     | 1.32   |
| 35.0       | 1732      | 199      | 2.62     | 13.3     | 2.01    | na       | 5.04      | 448     | 22.3     | 679     | 1.44   |
| 39.0       | 2036      | 236      | 3.59     | na       | na      | na       | 5.50      | na      | na       | na      | na     |
| 42.0       | 1847      | 277      | bdl      | bdl      | 3.11    | na       | 5.28      | na      | na       | na      | na     |
| 46.5       | 2456      | 233      | bdl      | na       | na      | na       | 5.61      | na      | na       | na      | na     |

**TVG 8-68 E**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 0.5        | 1644      | 254      | 5.25     | 1.3      | 3.60    | na       | 5.73      | 457     | 24.1     | 758     | 2.70   |
| 1.5        | 1617      | 300      | 6.81     | 2.8      | 3.68    | na       | 5.69      | 466     | 24.3     | 738     | 2.39   |
| 2.5        | 1735      | 301      | 8.38     | 2.9      | na      | na       | 5.57      | 490     | 24.0     | 722     | 2.26   |
| 3.5        | 1729      | na       | 7.60     | bdl      | 3.99    | na       | 5.34      | 480     | 23.6     | 740     | 2.25   |
| 4.5        | 1966      | 324      | 6.66     | 3.4      | 3.97    | na       | 5.28      | 488     | 24.0     | 748     | 2.17   |
| 5.5        | 1383      | 310      | 7.44     | 6.0      | 3.99    | na       | 5.42      | 476     | 23.4     | 715     | 2.14   |
| 6.5        | 1597      | 280      | 6.81     | 7.2      | 3.92    | na       | 5.32      | 475     | 23.4     | 699     | 2.06   |
| 7.5        | 1874      | 276      | 6.50     | 1.22     | 3.88    | na       | 5.24      | 472     | 23.4     | 723     | 2.07   |
| 8.5        | 1847      | 329      | 6.86     | 13.4     | 3.76    | na       | 5.21      | 470     | 23.3     | 715     | 2.06   |
| 9.5        | 1698      | 278      | 6.19     | 1.20     | 3.64    | na       | 5.21      | 473     | 23.3     | 707     | 1.95   |
| 11.5       | 1630      | 290      | 6.19     | 1.51     | 3.64    | na       | 5.17      | 474     | 23.5     | 703     | 1.88   |
| 14.5       | 1634      | 295      | 4.78     | 2.06     | 3.36    | na       | 5.40      | 471     | 23.4     | 720     | 1.72   |
| 17.5       | 1864      | 247      | 3.52     | 2.52     | 2.98    | na       | 5.23      | 463     | 22.9     | 683     | 1.55   |
| 20.5       | 1779      | 275      | 3.05     | 2.85     | 3.06    | na       | 5.12      | 415     | 22.7     | 604     | 1.23   |
| 23.5       | 1380      | 258      | 3.21     | 8.6      | 2.79    | na       | 5.12      | 463     | 23.0     | 702     | 1.44   |
| 26.5       | 1729      | 289      | 2.90     | 1.00     | 2.60    | na       | 5.25      | 460     | 22.7     | 704     | 1.38   |
| 29.5       | 1759      | 289      | 3.68     | 1.92     | 2.78    | na       | 5.15      | 464     | 22.7     | 696     | 1.38   |
| 32.5       | 1759      | 247      | 3.21     | 2.51     | 2.98    | na       | 5.04      | 474     | 23.2     | 702     | 1.36   |
| 35.5       | 1898      | 285      | 3.21     | na       | 3.01    | na       | 5.06      | 459     | 22.6     | 697     | 1.36   |
| 38.5       | 1840      | 286      | 4.46     | 4.5      | na      | na       | 5.04      | na      | na       | na      | na     |

**TVG 8-69 A**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 3.5        | 2143      | 317      | 2.67     | 31.3     | 2.12    | na       | 5.34      | 439     | 22.0     | 680     | 1.67   |
| 10.0       | 2332      | 291      | 4.55     | bdl      | 1.02    | na       | na        | 451     | 22.4     | 674     | 1.80   |
| 16.0       | 2279      | 330      | 3.61     | bdl      | 1.57    | na       | 6.43      | 459     | 22.8     | 668     | 1.32   |
| 21.5       | 2423      | 296      | 3.29     | 5.4      | na      | na       | 5.76      | 450     | 22.4     | 679     | 1.21   |
| 26.5       | 2433      | 288      | na       | 20.5     | 2.25    | na       | 5.59      | 453     | 22.5     | 672     | 1.32   |
| 31.5       | 2391      | 278      | 3.29     | 32.7     | 2.10    | na       | 5.49      | na      | na       | na      | na     |

**TVG 8-69 C**

| depth [cm] | SiO2 [µM] | NH4 [µM] | PO4 [µM] | H2S [µM] | TA [mM] | DIC [mM] | pH (Sed.) | Cl [mM] | SO4 [mM] | Br [µM] | I [µM] |
|------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|
| 3.0        | 1936      | 246      | 2.67     | 7.91     | 2.45    | 1.94     | na        | 460     | 23.1     | 673     | 1.20   |
| 12.0       | 2412      | 195      | 2.35     | 107.6    | 2.54    | 2.65     | na        | 455     | 22.9     | 675     | 1.20   |
| 19.0       | 2317      | 200      | 2.67     | 111.5    | 2.62    | 2.93     | na        | 449     | 22.9     | 625     | 1.13   |
| 26.0       | 2051      | 186      | 3.29     | 114.7    | 2.55    | 2.74     | na        | 455     | 22.9     | 688     | 1.27   |
| 30.0       | 2161      | 137      | na       | 109.6    | 2.53    | 3.01     | na        | 452     | 23.2     | 661     | 1.14   |
| 37.0       | 2204      | 282      | 2.98     | 67.4     | 2.12    | 1.35     | na        | na      | na       | na      | 1.22   |

Tabelle 9-24: Hauptelemente im Porenwasser

## TVG 27 B

| depth [cmbsf] | Na [mM] | K [mM] | Li [ $\mu$ M] | B [ $\mu$ M] | Mn [ $\mu$ M] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [ $\mu$ M] | Ba [nM] |
|---------------|---------|--------|---------------|--------------|---------------|---------|---------|---------------|---------|
| 0.5           | 478     | 10.8   | 26.0          | 446          | 1.85          | 10.3    | 55.2    | 87.9          | 257     |
| 1.5           | 476     | 10.6   | 25.1          | 456          | 2.12          | 10.3    | 54.6    | 88.5          | 260     |
| 2.5           | 476     | 10.7   | 25.8          | 450          | 2.21          | 10.2    | 53.6    | 88.2          | 249     |
| 3.5           | 476     | 10.6   | 26.0          | 456          | 2.03          | 10.5    | 55.0    | 89.7          | 251     |
| 4.5           | 476     | 11.1   | 26.2          | 449          | 2.23          | 10.0    | 54.7    | 87.5          | 329     |
| 5.5           | 477     | 10.8   | 26.6          | 446          | 2.28          | 10.3    | 55.2    | 87.9          | 317     |
| 6.5           | na      | na     | na            | na           | na            | na      | na      | na            | na      |
| 7.5           | 477     | 10.7   | 24.9          | 450          | 2.54          | 10.3    | 53.9    | 88.0          | 294     |
| 8.5           | 472     | 10.4   | 23.7          | 444          | 2.56          | 10.2    | 54.1    | 87.0          | 266     |
| 9.5           | 474     | 10.4   | 24.2          | 456          | 3.16          | 10.4    | 54.8    | 88.1          | 306     |
| 11.5          | 468     | 10.5   | 25.6          | 451          | 2.85          | 10.4    | 53.8    | 88.7          | 336     |
| 14.5          | 478     | 10.9   | 24.0          | 463          | 2.70          | 10.2    | 55.4    | 87.8          | 243     |
| 17.5          | 471     | 10.5   | 24.1          | 458          | 2.88          | 10.3    | 54.8    | 87.9          | 251     |
| 20.5          | 473     | 10.7   | 25.2          | 453          | 2.92          | 10.4    | 53.0    | 88.2          | 270     |
| 23.5          | 472     | 10.7   | 24.6          | 459          | 3.07          | 10.2    | 54.6    | 88.2          | 244     |
| 26.5          | 467     | 10.5   | 25.3          | 454          | 3.12          | 10.3    | 54.1    | 87.8          | 276     |
| 29.5          | 475     | 10.9   | 25.4          | 459          | 3.22          | 10.4    | 54.7    | 88.7          | 272     |
| 32.5          | 473     | 10.5   | 23.8          | 456          | 3.45          | 10.3    | 54.8    | 88.3          | 265     |
| 35.5          | 476     | 10.9   | 25.5          | 449          | 3.42          | 10.2    | 53.9    | 88.6          | 340     |
| 38.5          | 473     | 10.7   | 25.5          | 448          | 3.63          | 10.3    | 54.1    | 88.1          | 254     |
| 41.5          | 471     | 11.1   | 25.7          | 436          | 3.30          | 10.1    | 54.3    | 87.8          | 337     |

## TVG 35 B

| depth [cmbsf] | Na [mM] | K [mM] | Li [ $\mu$ M] | B [ $\mu$ M] | Mn [ $\mu$ M] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [ $\mu$ M] | Ba [nM] |
|---------------|---------|--------|---------------|--------------|---------------|---------|---------|---------------|---------|
| 1.5           | 463     | 10.1   | 27.8          | 470          | 5.54          | 10.2    | 53.2    | 86.3          | 342     |
| 4.5           | 444     | 9.9    | 29.6          | 482          | 5.60          | 9.8     | 50.7    | 82.7          | 336     |
| 7.5           | 444     | 9.5    | 30.3          | 487          | 5.74          | 9.8     | 49.9    | 83.2          | 338     |
| 10.5          | 444     | 9.5    | 31.0          | 487          | 5.75          | 9.9     | 50.9    | 83.5          | 348     |
| 13.5          | 442     | 9.3    | 30.7          | 481          | 5.94          | 10.0    | 50.2    | 84.1          | 431     |
| 16.5          | 439     | 9.3    | 30.9          | 479          | 5.86          | 10.1    | 50.7    | 84.3          | 331     |
| 19.5          | 441     | 9.2    | 30.4          | 482          | 5.80          | 9.8     | 50.8    | 83.2          | 363     |
| 22.5          | 445     | 9.3    | 30.4          | 482          | 5.81          | 9.9     | 50.9    | 83.5          | 412     |
| 25.5          | 439     | 8.8    | 29.0          | 460          | 5.54          | 10.0    | 47.8    | 82.3          | 330     |
| 28.5          | 451     | 9.3    | 30.8          | 482          | 5.97          | 10.1    | 51.6    | 84.1          | 375     |
| 31.5          | 440     | 9.2    | 30.7          | 479          | 5.89          | 10.1    | 51.1    | 84.5          | 334     |

## TVG 68 B

| depth [cmbsf] | Na [mM] | K [mM] | Li [ $\mu$ M] | B [ $\mu$ M] | Mn [ $\mu$ M] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [ $\mu$ M] | Ba [nM] |
|---------------|---------|--------|---------------|--------------|---------------|---------|---------|---------------|---------|
| 1.5           | 433     | 10.9   | 43.1          | 575          | 32.2          | 11.5    | 44.3    | 80.3          | 534     |
| 5.0           | na      | na     | na            | na           | na            | na      | na      | na            | na      |
| 8.5           | na      | na     | na            | na           | na            | na      | na      | na            | na      |
| 12.0          | 418     | 9.8    | 44.7          | 565          | 33.0          | 11.6    | 43.3    | 80.3          | 517     |
| 16.0          | 411     | 9.3    | 42.1          | 551          | 32.0          | 11.4    | 42.9    | 78.4          | 523     |
| 19.5          | 411     | 8.8    | 42.7          | 555          | 32.3          | 11.7    | 43.4    | 80.1          | 505     |
| 23.0          | 418     | 8.8    | 45.7          | 550          | 32.6          | 11.7    | 43.8    | 81.1          | 474     |
| 26.5          | 412     | 8.5    | 44.9          | 558          | 33.9          | 12.0    | 44.1    | 82.4          | 481     |
| 30.0          | 411     | 8.3    | 44.3          | 560          | 35.2          | 11.9    | 43.7    | 81.8          | 487     |
| 35.0          | 411     | 8.2    | 47.8          | 562          | 36.9          | 12.1    | 43.6    | 81.6          | 525     |
| 41.0          | 410     | 8.0    | 46.0          | 563          | 37.2          | 12.5    | 43.8    | 83.5          | 563     |
| 46.0          | 404     | 7.6    | 47.5          | 548          | 38.0          | 12.4    | 43.7    | 82.5          | 557     |

## TVG 69 C

| depth [cmbsf] | Na [mM] | K [mM] | Li [ $\mu$ M] | B [ $\mu$ M] | Mn [ $\mu$ M] | Ca [mM] | Mg [mM] | Sr [ $\mu$ M] | Ba [nM] |
|---------------|---------|--------|---------------|--------------|---------------|---------|---------|---------------|---------|
| 3.0           | 419     | 8.6    | 46.6          | 579          | 23.9          | 11.2    | 45.2    | 83.2          | 515     |
| 12.0          | 421     | 8.5    | 46.6          | 584          | 24.8          | 11.3    | 45.2    | 83.1          | 495     |
| 19.0          | 418     | 8.0    | 44.2          | 563          | 23.5          | 11.3    | 42.4    | 82.2          | 494     |
| 26.0          | 413     | 8.5    | 47.8          | 585          | 24.8          | 11.5    | 45.8    | 83.7          | 528     |
| 30.0          | 419     | 8.3    | 45.2          | 574          | 23.5          | 11.2    | 44.5    | 83.3          | 548     |
| 37.0          | 421     | 9.5    | 46.2          | 588          | 23.4          | 11.1    | 44.8    | 81.5          | 618     |

Tabelle 9-25: Isotopenanalysen im Porenwasser

**standards** $\delta^{18}\text{O}$  im  $\text{H}_2\text{O}$  [‰ SMOW] $\delta\text{D}$  im  $\text{H}_2\text{O}$  [‰ SMOW] $\delta^{13}\text{C}$  im  $\text{CO}_2$  [‰ PDB]**TVG 27 D**

| depth [cmbsf] | $\delta^{18}\text{O}$ [‰] | $\delta\text{D}$ [‰] |
|---------------|---------------------------|----------------------|
| 3.0           | -0.67                     | -17.0                |
| 10.8          | -0.71                     | -15.2                |
| 22.5          | -0.54                     | -14.9                |
| 30.3          | -0.42                     | -14.2                |
| 38.0          | -0.33                     | -15.8                |
| 45.0          | -0.43                     | -17.9                |

**TVG 35 A**

| depth [cmbsf] | $\delta^{18}\text{O}$ [‰] | $\delta\text{D}$ [‰] |
|---------------|---------------------------|----------------------|
| 2.0           | -0.73                     | -15.8                |
| 5.0           | -0.52                     | -17.8                |
| 8.5           | -0.36                     | -14.9                |
| 11.5          | -0.48                     | -15.4                |
| 16.0          | -0.82                     | -17.1                |
| 21.0          | -0.76                     | -16.3                |
| 25.5          |                           | -14.6                |

**TVG 35 B**

| depth [cmbsf] | $\delta^{13}\text{C}$ [‰] | DIC [mM]* |
|---------------|---------------------------|-----------|
| 1.5           | -5.53                     | 13.52     |
| 4.5           | -0.68                     | 26.71     |
| 7.5           | -3.12                     | 29.23     |
| 10.5          | -2.05                     | 28.96     |
| 13.5          | -1.85                     | 25.09     |
| 16.5          | -2.04                     | 25.33     |
| 19.5          | 1.08                      | 24.68     |
| 22.5          | 0.21                      | 26.16     |
| 25.5          |                           |           |
| 28.5          | -1.79                     | 32.53     |
| 31.5          | -4.46                     | 28.96     |

**TVG 68 C**

| depth [cmbsf] | $\delta^{18}\text{O}$ [‰] | $\delta\text{D}$ [‰] |
|---------------|---------------------------|----------------------|
| 3.0           | -0.05                     | -13.1                |
| 11.0          | -0.04                     | -13.0                |
| 19.0          | -0.29                     |                      |
| 27.5          | -0.20                     | -14.5                |
| 35.0          | -0.34                     | -16.0                |
| 42.0          | -0.07                     | -17.7                |
| 46.5          | -0.02                     | -16.8                |

**TVG 68 B**

| depth [cmbsf] | $\delta^{13}\text{C}$ [‰] | DIC [mM]* |
|---------------|---------------------------|-----------|
| 1.5           | -3.26                     | 13.87     |
| 5             | -0.74                     | 15.99     |
| 8.5           |                           |           |
| 12            | -2.75                     | 21.67     |
| 16            | 3.99                      | 19.65     |
| 19.5          | 1.7                       | 23.03     |
| 23            | 9.16                      | 22.15     |
| 26.5          | 9.51                      | 23.23     |
| 30            | 6.11                      | 23.79     |
| 35            | 9.49                      | 25.33     |
| 41            | -3.65                     | 23.34     |
| 46            | -7.14                     | 24.28     |

**TVG 69 A**

| depth [cmbsf] | $\delta^{18}\text{O}$ [‰] | $\delta\text{D}$ [‰] |
|---------------|---------------------------|----------------------|
| 3.5           | -0.26                     |                      |
| 16.0          | -0.23                     | -11.6                |
| 21.5          | -0.21                     | -13.6                |
| 26.5          | -0.11                     | -14.8                |
| 31.5          | -0.01                     | -12.5                |

**TVG 69 C**

| depth [cmbsf] | $\delta^{13}\text{C}$ [‰] | DIC [mM]* |
|---------------|---------------------------|-----------|
| 3             | -7.61                     |           |
| 12            | -5.44                     |           |
| 19            | -4.89                     |           |
| 26            | -4.72                     |           |
| 30            | -5.79                     |           |
| 37            | -10.92                    |           |

\* DIC-Werte korrigiert (Kapitel 3.3)

## Folgende Hefte der Reihe „Berichte zur Polarforschung“ sind bisher erschienen:

- **Sonderheft Nr. 1/1981** – „Die Antarktis und ihr Lebensraum“  
Eine Einführung für Besucher – Herausgegeben im Auftrag von SCAR
- **Heft Nr. 1/1982** – „Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 2/1982** – „Deutsche Antarktis-Expedition 1980/81 mit FS ‚Meteor‘“  
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Liste der Zooplankton- und Mikronektonnetzlänge  
zusammengestellt von Norbert Klages
- **Heft Nr. 3/1982** – „Digitale und analoge Krill-Echolot-Rohdatenerfassung an Bord des Forschungsschiffes ‚Meteor‘“ (im Rahmen von FIBEX 1980/81, Fahrtabschnitt ANT III), von Bodo Morgenstern
- **Heft Nr. 4/1982** – „Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
Liste der Planktonfänge und Lichtstärkemessungen  
zusammengestellt von Gerd Hubold und H. Eberhard Drescher
- **Heft Nr. 5/1982** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982“  
by G. Hempel and R. B. Heywood
- **Heft Nr. 6/1982** – „Antarktis-Expedition 1981/82 (Unternehmen ‚Eiswarte‘)“  
zusammengestellt von Gode Gravenhorst
- **Heft Nr. 7/1982** – „Marin-Biologisches Begleitprogramm zur Standorterkundung 1979/80 mit MS ‚Polarstern‘ (Pre-Site Survey)“ – Stationslisten der Mikronekton- und Zooplanktonfänge sowie der Bodenfischerei  
zusammengestellt von R. Schneppenheim
- **Heft Nr. 8/1983** – „The Post-Fibex Data Interpretation Workshop“  
by D. L. Cram and J.-C. Freytag with the collaboration of J. W. Schmidt, M. Mall, R. Kresse, T. Schwinghammer
- **Heft Nr. 9/1983** – „Distribution of some groups of zooplankton in the inner Weddell Sea in summer 1979/80“  
by I. Hempel, G. Hubold, B. Kaczmaruk, R. Keller, R. Weigmann-Haass
- **Heft Nr. 10/1983** – „Fluor im antarktischen Ökosystem“ – DFG-Symposium November 1982  
zusammengestellt von Dieter Adelung
- **Heft Nr. 11/1983** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982 (II)“  
Data of micronekton and zooplankton hauls, by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 12/1983** – „Das biologische Programm der ANTARKTIS-I-Expedition 1983 mit FS ‚Polarstern‘“  
Stationslisten der Plankton-, Benthos- und Grundscheppnetzlänge und Liste der Probennahme an Robben und Vögeln, von H. E. Drescher, G. Hubold, U. Piatkowski, J. Plötz und J. Voß
- **Heft Nr. 13/1983** – „Die Antarktis-Expedition von MS ‚Polarbjörn‘ 1982/83“ (Sommerkampagne zur Atka-Bucht und zu den Kraul-Bergen), zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Sonderheft Nr. 2/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition von FS ‚Polarstern‘ (Kapstadt, 20. Januar 1983 – Rio de Janeiro, 25. März 1983)“, Bericht des Fahrtleiters Prof. Dr. Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 3/1983** – „Sicherheit und Überleben bei Polarexpeditionen“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 14/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition (ANTARKTIS I) von FS ‚Polarstern‘ 1982/83“  
herausgegeben von Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 4/1983** – „On the Biology of Krill *Euphausia superba*“ – Proceedings of the Seminar and Report of the Krill Ecology Group, Bremerhaven 12. - 16. May 1983, edited by S. B. Schnack
- **Heft Nr. 15/1983** – „German Antarctic Expedition 1980/81 with FRV ‚Walther Herwig‘ and RV ‚Meteor‘“ – First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Data of micronekton and zooplankton hauls  
by Uwe Piatkowski and Norbert Klages
- **Sonderheft Nr. 5/1984** – „The observatories of the Georg von Neumayer Station“, by Ernst Augstein
- **Heft Nr. 16/1984** – „FIBEX cruise zooplankton data“  
by U. Piatkowski, I. Hempel and S. Rakusa-Suszczewski
- **Heft Nr. 17/1984** – „Fahrtbericht (cruise report) der ‚Polarstern‘-Reise ARKTIS I, 1983“  
von E. Augstein, G. Hempel und J. Thiede
- **Heft Nr. 18/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht von den Fahrtabschnitten 1, 2 und 3, herausgegeben von D. Fütterer
- **Heft Nr. 19/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht vom Fahrtabschnitt 4, Punta Arenas-Kapstadt (Ant-II/4), herausgegeben von H. Köhnen
- **Heft Nr. 20/1984** – „Die Expedition ARKTIS II des FS ‚Polarstern‘ 1984, mit Beiträgen des FS ‚Valdivia‘ und des Forschungsflugzeuges ‚Falcon 20‘ zum Marginal Ice Zone Experiment 1984 (MIZEX)“  
von E. Augstein, G. Hempel, J. Schwarz, J. Thiede und W. Weigel
- **Heft Nr. 21/1985** – „Euphausiid larvae in plankton from the vicinity of the Antarctic Peninsula, February 1982“ by Sigrid Marschall and Elke Mizdalski
- **Heft Nr. 22/1985** – „Maps of the geographical distribution of macrozooplankton in the Atlantic sector of the Southern Ocean“ by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 23/1985** – „Untersuchungen zur Funktionsmorphologie und Nahrungsaufnahme der Larven des Antarktischen Krills *Euphausia superba* Dana“ von Hans-Peter Marschall

- Heft Nr. 24/1985** – „Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln/ Antarktika. Deutsche physiogeographische Forschungen in der Antarktis. – Bericht über die Kampagne 1983/84“ von Dietrich Barsch, Wolf-Dieter Blümel, Wolfgang Flügel, Roland Mäusbacher, Gerhard Stäblein, Wolfgang Zick
- \* **Heft Nr. 25/1985** – „Die Expedition ANTARKTIS III mit FS ‚Polarstern‘ 1984/1985“ herausgegeben von Gotthilf Hempel.
  - \* **Heft Nr. 26/1985** – „The Southern Ocean“; A survey of oceanographic and marine meteorological research work by Hellmer et al.
  - **Heft Nr. 27/1986** – „Spätpleistozäne Sedimentationsprozesse am antarktischen Kontinentalhang vor Kapp Norvegia, östliche Weddell-See“ von Hannes Grobe
  - Heft Nr. 28/1986** – „Die Expedition ARKTIS III mit ‚Polarstern‘ 1985 mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Rainer Gersonde
  - **Heft Nr. 29/1986** – „5 Jahre Schwerpunktprogramm ‚Antarktisforschung‘ der Deutschen Forschungsgemeinschaft.“ Rückblick und Ausblick. Zusammengestellt von Gotthilf Hempel, Sprecher des Schwerpunktprogramms
  - Heft Nr. 30/1986** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station for 1981 and 1982“ by Marianne Gube and Friedrich Obleitner
  - **Heft Nr. 31/1986** – „Zur Biologie der Jugendstadien der Notothenioidei (Pisces) an der Antarktischen Halbinsel“ von A. Kellermann
  - **Heft Nr. 32/1986** – „Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86“ mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Dieter Fütterer
  - Heft Nr. 33/1987** – „Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86 – Bericht zu den Fahrtabschnitten ANT-IV/3-4“ von Dieter Karl Fütterer
  - Heft Nr. 34/1987** – „Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an antarktischen Makroplankton“ von U. Piatkowski
  - Heft Nr. 35/1987** – „Zur Verbreitung des Meso- und Makrozooplanktons in Oberflächenwasser der Weddell See (Antarktis)“ von E. Boysen-Ennen
  - Heft Nr. 36/1987** – „Zur Nahrungs- und Bewegungsphysiologie von *Salpa thompsoni* und *Salpa fusiformis*“ von M. Reinke
  - Heft Nr. 37/1987** – „The Eastern Weddell Sea Drifting Buoy Data Set of the Winter Weddell Sea Project (WWSP)“ 1986 by Heinrich Hoerber und Marianne Gube-Lehnhardt
  - Heft Nr. 38/1987** – „The Meteorological Data of the Georg von Neumayer Station for 1983 and 1984“ by M. Gube-Lehnhardt
  - Heft Nr. 39/1987** – „Die Winter-Expedition mit FS ‚Polarstern‘ in die Antarktis (ANT V/1-3)“ herausgegeben von Sigrid Schnack-Schiel
  - Heft Nr. 40/1987** – „Weather and Synoptic Situation during Winter Weddell Sea Project 1986 (ANT V/2) July 16 - September 10, 1986“ by Werner Rabe
  - Heft Nr. 41/1988** – „Zur Verbreitung und Ökologie der Seegurken im Weddellmeer (Antarktis)“ von Julian Gutt
  - Heft Nr. 42/1988** – „The zooplankton community in the deep bathyal and abyssal zones of the eastern North Atlantic“ by Werner Beckmann
  - **Heft Nr. 43/1988** – „Scientific cruise report of Arctic Expedition ARK IV/3“ Wissenschaftlicher Fahrtbericht der Arktis-Expedition ARK IV/3, compiled by Jörn Thiede
  - **Heft Nr. 44/1988** – „Data Report for FV ‚Polarstern‘ Cruise ARK IV/1, 1987 to the Arctic and Polar Fronts“ by Hans-Jürgen Hirche
  - Heft Nr. 45/1988** – „Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis)“ von Joachim Voß
  - Heft Nr. 46/1988** – „Meteorological and Oceanographic Data of the Winter-Weddell-Sea Project 1986 (ANT V/3)“ by Eberhard Fahrbach
  - Heft Nr. 47/1988** – „Verteilung und Herkunft glazial-mariner Gerölle am Antarktischen Kontinentalrand des östlichen Weddellmeeres“ von Wolfgang Oskierski
  - Heft Nr. 48/1988** – „Variationen des Erdmagnetfeldes an der GvN-Station“ von Arnold Brodscholl
  - **Heft Nr. 49/1988** – „Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton“ von Wilhelm Hagen
  - **Heft Nr. 50/1988** – „Die gezeitenbedingte Dynamik des Ekström-Schelfeises, Antarktis“ von Wolfgang Kobarg
  - Heft Nr. 51/1988** – „Ökomorphologie nototheniider Fische aus dem Weddellmeer, Antarktis“ von Werner Ekau
  - Heft Nr. 52/1988** – „Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Fram-Straße“ von Dieter Piepenburg
  - **Heft Nr. 53/1988** – „Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) im Jan./Febr. 1985“ von Eva-Maria Nöthig
  - Heft Nr. 54/1988** – „Die Fischfauna des östlichen und südlichen Weddellmeeres: geographische Verbreitung, Nahrung und trophische Stellung der Fischarten“ von Wiebke Schwarzbach
  - Heft Nr. 55/1988** – „Weight and length data of zooplankton in the Weddell Sea in austral spring 1986 (Ant. V/3)“ by Elke Mizdalski
  - Heft Nr. 56/1989** – „Scientific cruise report of Arctic expeditions ARK IV/1, 2 & 3“ by G. Krause, J. Meinke und J. Thiede

- Heft Nr. 57/1989 – „Die Expedition ANTARKTIS V mit FS ‚Polarstern‘ 1986/87“  
Bericht von den Fahrtabschnitten ANT V/4-5 von H. Miller und H. Oerter
- Heft Nr. 58/1989 – „Die Expedition ANTARKTIS VI mit FS ‚Polarstern‘ 1987/88“  
von D. K. Fütterer
  - Heft Nr. 59/1989 – „Die Expedition ARKTIS V/1a, 1b und 2 mit FS ‚Polarstern‘ 1988“  
von M. Spindler
  - Heft Nr. 60/1989 – „Ein zweidimensionales Modell zur thermohalinen Zirkulation unter dem Schelfeis“  
von H. H. Hellmer
  - Heft Nr. 61/1989 – „Die Vulkanite im westlichen und mittleren Neuschwabenland,  
Vestfjella und Ahlmannryggen, Antarktika“ von M. Peters
  - Heft Nr. 62/1989 – „The Expedition ANTARKTIS VII/1 and 2 (EPOS I) of RV ‚Polarstern‘  
in 1988/89“, by I. Hempel
  - Heft Nr. 63/1989 – „Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse  
sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten“ von Annette Bartsch
  - Heft Nr. 64/1989 – „Meteorological Data of the G.-v.-Neumayer-Station (Antarctica)“ by L. Helmes
  - Heft Nr. 65/1989 – „Expedition Antarktis VII/3 in 1988/89“ by I. Hempel, P. H. Schalk, V. Smetacek
  - Heft Nr. 66/1989 – „Geomorphologisch-glaziologische Detailkartierung  
des arid-hochpolaren Borgmassivet, Neuschwabenland, Antarktika“ von Karsten Brunk
  - Heft Nr. 67/1990 – „Identification key and catalogue of larval Antarctic fishes“,  
edited by Adolf Kellermann
  - Heft Nr. 68/1990 – „The Expedition Antarktis VII/4 (Epos leg 3) and VII/5 of RV ‚Polarstern‘ in 1989“,  
edited by W. Arntz, W. Ernst, I. Hempel
  - Heft Nr. 69/1990 – „Abhängigkeiten elastischer und rheologischer Eigenschaften des Meereises vom  
Eisgefüge“, von Harald Hellmann
  - Heft Nr. 70/1990 – „Die beschalten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des  
Weddellmeeres, Antarktis“, von Stefan Hain
  - Heft Nr. 71/1990 – „Sedimentologie und Paläomagnetik an Sedimenten der Maudkuppe (Nordöstliches  
Weddellmeer)“, von Dieter Cordes
  - Heft Nr. 72/1990 – „Distribution and abundance of planktonic copepods (Crustacea) in the Weddell Sea  
in summer 1980/81“, by F. Kurbjweit and S. Ali-Khan
  - Heft Nr. 73/1990 – „Zur Frühdiagenese von organischem Kohlenstoff und Opal in Sedimenten des südlichen  
und östlichen Weddellmeeres“, von M. Schlüter
  - Heft Nr. 74/1990 – „Expeditionen ANTARKTIS-VIII/3 und VIII/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1989“  
von Rainer Gersonde und Gotthilf Hempel
  - Heft Nr. 75/1991 – „Quartäre Sedimentationsprozesse am Kontinentalhang des Süd-Orkey-Plateaus im  
nordwestlichen Weddellmeer (Antarktis)“, von Sigrun Grünig
  - Heft Nr. 76/1990 – „Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthal von King George Island  
(Südshetlandinseln, Antarktis)“, von Martin Rauschert
  - Heft Nr. 77/1990 – „Verteilung von Mikroplankton-Organismen nordwestlich der Antarktischen Halbinsel  
unter dem Einfluß sich ändernder Umweltbedingungen im Herbst“, von Heinz Klöser
  - Heft Nr. 78/1991 – „Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer  
Meeresgebiete“, von Norbert R. Nowaczyk
  - Heft Nr. 79/1991 – „Ökophysiologische Untersuchungen zur Salinitäts- und Temperaturtoleranz  
antarktischer Grünalgen unter besonderer Berücksichtigung des  $\beta$ -Dimethylsulfoniumpropionat  
(DMSP) - Stoffwechsels“, von Ulf Karsten
  - Heft Nr. 80/1991 – „Die Expedition ARKTIS VII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“,  
herausgegeben von Jörn Thiede und Gotthilf Hempel
  - Heft Nr. 81/1991 – „Paläoglazologie und Paläozeanographie im Spätquartär am Kontinentalrand des  
südlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Martin Melles
  - Heft Nr. 82/1991 – „Quantifizierung von Meereseigenschaften: Automatische Bildanalyse von  
Dünnschnitten und Parametrisierung von Chlorophyll- und Salzgehaltsverteilungen“, von Hajo Eicken
  - Heft Nr. 83/1991 – „Das Fließen von Schelfeisen - numerische Simulationen  
mit der Methode der finiten Differenzen“, von Jürgen Determann
  - Heft Nr. 84/1991 – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII/1-2, 1989 mit der Winter Weddell Gyre Study  
der Forschungsschiffe ‚Polarstern‘ und ‚Akademik Fedorov‘“, von Ernst Augstein,  
Nikolai Bagriantsev und Hans Werner Schenke
  - Heft Nr. 85/1991 – „Zur Entstehung von Unterwassereis und das Wachstum und die Energiebilanz  
des Meereises in der Atka Bucht, Antarktis“, von Josef Kipfstuhl
  - Heft Nr. 86/1991 – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht vom  
Fahrtabschnitt ANT-VIII/5“, von Heinz Miller und Hans Oerter
  - Heft Nr. 87/1991 – „Scientific cruise reports of Arctic expeditions ARK VI/1-4 of RV ‚Polarstern‘  
in 1989“, edited by G. Krause, J. Meincke & H. J. Schwarz
  - Heft Nr. 88/1991 – „Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*,  
*C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße“, von Sabine Diel

- Heft Nr. 89/1991** – „Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddell-Meeres vor Kapp Norvegia, Antarktis“, von Norbert E. Kaul
- Heft Nr. 90/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-VIII/6-7“, herausgegeben von Dieter Karl Fütterer und Otto Schrems
- Heft Nr. 91/1991** – „Blood physiology and ecological consequences in Weddell Sea fishes (Antarctica)“, by Andreas Kunzmann
- Heft Nr. 92/1991** – „Zur sommerlichen Verteilung des Mesozooplanktons im Nansen-Becken, Nordpolarmeer“, von Nicolai Mumm
- Heft Nr. 93/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII mit FS ‚Polarstern‘, 1990. Bericht vom Fahrtabschnitt ARK VII/2“, herausgegeben von Gunther Krause
- Heft Nr. 94/1991** – „Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr“, von Renate Scharek
- Heft Nr. 95/1991** – „Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans“, von Horst Bohrmann
- Heft Nr. 96/1991** – „Holozäne Sedimentationsentwicklung im Scoresby Sund, Ost-Grönland“, von Peter Marlenfeld
- Heft Nr. 97/1991** – „Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte von Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Joachim Jacobs
- Heft Nr. 98/1991** – „Zur Besiedlungsgeschichte des antarktischen Schelfes am Beispiel der Isopoda (Crustacea, Malacostraca)“, von Angelika Brandt
- **Heft Nr. 99/1992** – „The Antarctic ice sheet and environmental change: a three-dimensional modelling study“, by Philippe Huybrechts
  - **Heft Nr. 100/1992** – „Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1990/91“ herausgegeben von Ulrich Bathmann, Meinhard Schulz-Baldes, Eberhard Fahrbach, Victor Smetacek und Hans-Wolfgang Hubberten
  - Heft Nr. 101/1992** – „Wechselbeziehungen zwischen Schwermetallkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks“, von Christa Pohl
  - Heft Nr. 102/1992** – „Physiologie und Ultrastruktur der antarktischen Grünalge *Prasiola crispata* ssp. *antarctica* unter osmotischem Stress und Austrocknung“, von Andreas Jacob
  - **Heft Nr. 103/1992** – „Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer“, von Gerd Hubold
  - Heft Nr. 104/1992** – „Mehrkanaelige adaptive Filter für die Unterdrückung von multiplen Reflexionen in Verbindung mit der freien Oberfläche in marinen Seismogrammen“, von Andreas Rosenberger
  - Heft Nr. 105/1992** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1991 (REFLEX I)“, von Jörg Hartmann, Christoph Kottmeier und Christian Wamser
  - Heft Nr. 106/1992** – „Ostracoden im Epipelagial vor der Antarktischen Halbinsel - ein Beitrag zur Systematik sowie zur Verbreitung und Populationsstruktur unter Berücksichtigung der Saisonalität“, von Rüdiger Kock
  - **Heft Nr. 107/1992** – „ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, von Dieter K. Fütterer
  - Heft Nr. 108/1992** – „Dehnungsbeben an einer Störungszone im Ekström-Schelfeis nördlich der Georg-von-Neumayer-Station, Antarktis. – Eine Untersuchung mit seismologischen und geodätischen Methoden“, von Uwe Nixdorf.
  - **Heft Nr. 109/1992** – „Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Michael Weber.
  - **Heft Nr. 110/1992** – „Sedimentfazies und Bodenwasserstrom am Kontinentalhang des norwestlichen Weddellmeeres“, von Isa Brehme.
  - Heft Nr. 111/1992** – „Die Lebensbedingungen in den Solekanalchen des antarktischen Meeres“, von Jürgen Weissenberger.
  - Heft Nr. 112/1992** – „Zur Taxonomie von rezenten benthischen Foraminiferen aus dem Nansen Becken, Arktischer Ozean“, von Jutta Wollenburg.
  - Heft Nr. 113/1992** – „Die Expedition ARKTIS VIII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Gerhard Kattner.
  - **Heft Nr. 114/1992** – „Die Gründungsphase deutscher Polarforschung, 1865 - 1875“, von Reinhard A. Krause.
  - Heft Nr. 115/1992** – „Scientific Cruise Report of the 1991 Arctic Expedition ARK VIII/2 of RV ‚Polarstern‘ (EPOS II)“, by Eike Racher.
  - Heft Nr. 116/1992** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station (Antarctica) for 1988, 1989, 1990 and 1991“, by Gert König-Langlo.
  - Heft Nr. 117/1992** – „Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der zentralen Heimefrontfjella (westliches Dronning Maud Land / Antarktis)“, von Peter Schulze.
  - Heft Nr. 118/1993** – „Die mafischen Gänge der Shackleton Range / Antarktika: Petrographie, Geochemie, Isotopengeochemie und Paläomagnetik“, von Rüdiger Hotten.
  - **Heft Nr. 119/1993** – „Gefrierschutz bei Fischen der Polarmeere“, von Andreas P. A. Wöhrmann.
  - **Heft Nr. 120/1993** – „East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - its Significance for Arctic Sea-Ice Formation and Transpolar Sediment Flux“, by D. Dethleff, D. Nürnberg, E. Reimnitz, M. Saarso and Y. P. Sacchenko. – „Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV ‚Dainie Zelensky‘“, by D. Nürnberg and E. Groth.

- \* **Heft Nr. 121/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Michael Spindler, Gerhard Dieckmann und David Thomas
- Heft Nr. 122/1993** – „Die Beschreibung der Korngestalt mit Hilfe der Fourier-Analyse: Parametrisierung der morphologischen Eigenschaften von Sedimentpartikeln“, von Michael Diepenbroek.
- \* **Heft Nr. 123/1993** – „Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente“, von Sebastian Gerland.
- Heft Nr. 124/1993** – „Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen“, von Martin Graeve.
- Heft Nr. 125/1993** – „Ökologie und Respiration ausgewählter arktischer Bodenfischarten“, von Christian F. von Dorrien.
- Heft Nr. 126/1993** – „Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartier anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen“, von Ulrich Zielinski
- \* **Heft Nr. 127/1993** – „Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht“, von Ingo Wollenburg.
- Heft Nr. 128/1993** – „Cruise ANTARKTIS X/3 of RV ‚Polarstern‘: CTD-Report“, von Marek Zwierz.
- Heft Nr. 129/1993** – „Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer, Antarktis“, von Frank Kurbjewit
- Heft Nr. 130/1993** – „Untersuchungen zu Temperaturregime und Massenhaushalt des Filchner-Ronne-Schelfeises, Antarktis, unter besonderer Berücksichtigung von Anfrier- und Abschmelzprozessen“, von Klaus Grosfeld
- Heft Nr. 131/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/5 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Rainer Gersonde
- Heft Nr. 132/1993** – „Bildung und Abgabe kurzketziger halogener Kohlenwasserstoffe durch Makroalgen der Polarregionen“, von Frank Laturnus
- Heft Nr. 133/1994** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1993 (REFLEX II)“, by Christoph Kottmeier, Jörg Hartmann, Christian Wamser, Axel Bochert, Christof Lüpkes, Dietmar Freese and Wolfgang Cohrs
- \* **Heft Nr. 134/1994** – „The Expedition ARKTIS-IX/1“, edited by Hajo Eicken and Jens Meincke
- Heft Nr. 135/1994** – „Die Expeditionen ANTARKTIS X/6-8“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek, Hein de Baar, Eberhard Fahrbach und Gunter Krause
- Heft Nr. 136/1994** – „Untersuchungen zur Ernährungsökologie von Kaiserpinguinen (*Aptenodytes forsteri*) und Königspinguinen (*Aptenodytes patagonicus*)“, von Klemens Pütz
- \* **Heft Nr. 137/1994** – „Die kanozoische Vereisungsgeschichte der Antarktis“, von Werner U. Ehrmann
- Heft Nr. 138/1994** – „Untersuchungen stratosphärischer Aerosole vulkanischen Ursprungs und polarer stratosphärischer Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar auf Spitzbergen (79° N, 12° E)“, von Georg Beyerle
- Heft Nr. 139/1994** – „Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz“, von Holger Winkler.
- Heft Nr. 140/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS X/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Peter Lemke
- Heft Nr. 141/1994** – „Satellitenaltimetrie über Eis – Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmsen, Antarktis“, von Clemens Heidland
- Heft Nr. 142/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV ‚Polarstern‘ Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG ‚Polar Bear‘ cruise NEWP and the NEWLand expedition“, edited by Hans-Jürgen Hirche and Gerhard Kattner
- Heft Nr. 143/1994** – „Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby Sund Ost-Grönland“, von Notker Fechner
- Heft Nr. 144/1994** – „Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens, Hans-Wolfgang Hubberten, Sergey M. Pryamikov and Rüdiger Stein
- \* **Heft Nr. 145/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV ‚Polarstern‘ Arctic Cruises IX/2 and 3“, edited by Gerhard Kattner and Hans-Jürgen Hirche.
- Heft Nr. 146/1994** – „Radiation Measurements at the German Antarctic Station Neumayer 1982 - 1992“, by Torsten Schmidt and Gerd König-Langlo.
- Heft Nr. 147/1994** – „Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell-See / Antarktis“, von Christian Hübscher.
- \* **Heft Nr. 148/1994** – „The expeditions NORILSK/TAYMYR 1993 and BUNGER OASIS 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam“, edited by Martin Melles.
- \*\* **Heft Nr. 149/1994** – „Die Expedition ARCTIC '93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1993“, herausgegeben von Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 150/1994** – „Der Energiebedarf der Pygoscelis-Pinguine: eine Synopse“, von Boris M. Culik.
- Heft Nr. 151/1994** – „Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens and Valeriy Y. Karpiy.
- Heft Nr. 152/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS-X mit FS ‚Polarstern‘ 1992. Bericht von den Fahrtabschnitten / ANT-X / 1a und 2“, herausgegeben von Heinz Miller.
- Heft Nr. 153/1994** – „Aminosäuren und Huminstoffe im Stickstoffkreislauf polarer Meere“, von Ulrike Hubberten.
- Heft Nr. 154/1994** – „Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea“, by Claudio Richter.



- Heft Nr. 155/1995** – „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft Nr. 156/1995** – „An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients“, by Reiner Schlitzer.
- Heft Nr. 157/1995** – „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, von Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 158/1995** – „Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, von Cornelia Lüdecke.
- Heft Nr. 159/1995** – „The distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters“, by Dorothea Bauch.
- Heft Nr. 160/1995** – „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, von Gerhard Schmiedl.
- Heft Nr. 161/1995** – „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros sp.* und *Navicula sp.* unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin“, von Jürgen Nothnagel.
- Heft Nr. 162/1995** – „Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, von Thomas Letzig.
- Heft Nr. 163/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft Nr. 164/1995** – „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, von Thomas Frederichs.
- Heft Nr. 165/1995** – „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, von Georg Hanke.
- Heft Nr. 166/1995** – „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, von Holger Fischer.
- Heft Nr. 167/1995** – „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, von Hans-Stefan Niebler.
- Heft Nr. 168/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2“, herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer.
- Heft Nr. 169/1995** – „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf einer antarktischen Forschungsstation“, von Hans Wortmann.
- Heft Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften – Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft Nr. 171/1995** – „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontfjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Wilfried Bauer.
- Heft Nr. 172/1995** – „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, von Holger Mandler.
- Heft Nr. 173/1995** – „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, von Stefan Matzer.
- Heft Nr. 174/1995** – „The Expedition ARKTIS-X/2 of RV ‚Polarstern‘ in 1994“, edited by Hans-W. Hubberten.
- Heft Nr. 175/1995** – „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, edited by Christine Siegert and Gmityr Bolshiyarov.
- Heft Nr. 176/1995** – „Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
- Heft Nr. 177/1995** – „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, von Carsten J. Schubert.
- Heft Nr. 178/1995** – „Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV ‚Polarstern‘ in 1995: CTD-Report“, by Jüri Sildam.
- Heft Nr. 179/1995** – „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 180/1995** – „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, von Wolfgang J. Bonn.
- Heft Nr. 181/1995** – „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 182/1995** – „Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 183/1996** – „Interpretation digitaler Parasound Echolotlaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften“, von Uwe Bergmann.
- Heft Nr. 184/1996** – „Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas“, by María Dolores Andrés Hernández.
- Heft Nr. 185/1996** – „Verbreitung und Lebensweise der Aphroditen und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarevmeer (Antarktis)“, von Michael Stiller.
- Heft Nr. 186/1996** – „Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{238}\text{U}$ : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antarctic Circumpolar Current System“, by Martin Frank.
- Heft Nr. 187/1996** – „The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994“, by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
- Heft Nr. 188/1996** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
- Heft Nr. 189/1996** – „Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.

- Heft Nr. 190/1996** – "Cruise report of the Joint Chilean-German-Italian Magellan 'Victor Hensen' Campaign in 1994", edited by Wolf Arntz and Matthias Gorny.
- Heft Nr. 191/1996** – „Leitfähigkeits- und Dichtemessung an Eisbohrkernen“, von Frank Wilhelms.
- Heft Nr. 192/1996** – „Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategie antarktischer Makroalgen“, von Gabriele Weykam.
- Heft Nr. 193/1996** – „Heterogene Reaktionen von  $N_2O_5$  und HBr und ihr Einfluß auf den Ozonabbau in der polaren Stratosphäre“, von Sabine Seisel.
- Heft Nr. 194/1996** – „Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)“, von Corinna Dahm.
- Heft Nr. 195/1996** – „Die planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis“, von Doris Berberich.
- Heft Nr. 196/1996** – „Untersuchungen zum Beitrag chemischer und dynamischer Prozesse zur Variabilität des stratosphärischen Ozons über der Arktis“, von Birgit Heese.
- Heft Nr. 197/1996** – "The Expedition ARKTIS-XI/2 of 'Polarstern' in 1995", edited by Gunther Krause.
- Heft Nr. 198/1996** – „Geodynamik des Westantarktischen Riftsystems basierend auf Apatit-Spaltspuranalysen“, von Frank Lisker.
- Heft Nr. 199/1996** – "The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report on CTD Measurements of RV 'Polarstern' Cruises ARKTIS IX/2 and 3", by Gerion Budéus and Wolfgang Schneider.
- Heft Nr. 200/1996** – "Stability of the Thermohaline Circulation in analytical and numerical models", by Gerrit Lohmann.
- Heft Nr. 201/1996** – „Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George-Insel, Antarktis)“, von Katrin Iken.
- Heft Nr. 202/1996** – „Zur Verbreitung und Respiration ökologisch wichtiger Bodentiere in den Gewässern um Svalbard (Arktis)“, von Michael K. Schmid.
- Heft Nr. 203/1996** – „Dynamik, Rauigkeit und Alter des Meereises in der Arktis – Numerische Untersuchungen mit einem großskaligen Modell“, von Markus Harder.
- Heft Nr. 204/1996** – „Zur Parametrisierung der stabilen atmosphärischen Grenzschicht über einem antarktischen Schelfeis“, von Dörthe Handorf.
- Heft Nr. 205/1996** – "Textures and fabrics in the GRIP ice core, in relation to climate history and ice deformation", by Thorsteinn Thorsteinsson.
- Heft Nr. 206/1996** – „Der Ozean als Teil des gekoppelten Klimasystems: Versuch der Rekonstruktion der glazialen Zirkulation mit verschiedenen komplexen Atmosphärenkomponenten“, von Kerstin Fieg.
- Heft Nr. 207/1996** – „Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopoida, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoida, Copepoda) im Bellingshausenmeer“, von Cornelia Metz.
- Heft Nr. 208/1996** – „Atmosphäreneinfluß bei der Fernerkundung von Meereis mit passiven Mikrowellenradiometern“, von Christoph Oelke.
- Heft Nr. 209/1996** – „Klassifikation von Radarsatellitendaten zur Meereiserkennung mit Hilfe von LIne-Scanner-Messungen“, von Axel Bochert.
- Heft Nr. 210/1996** – „Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna“, von Kathrin Kunzmann.
- Heft Nr. 211/1996** – "Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1995 and the Expedition KOLYMA 1995", by Dima Yu. Bolshiyakov and Hans-W. Hubberten.
- Heft Nr. 212/1996** – "Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin", by Ruediger Stein, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 213/1996** – „Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier *Calanus*-Arten (Copepoda): Freilandbeobachtungen, Histologie und Experimente“, von Barbara Niehoff.
- Heft Nr. 214/1996** – „Numerische Modellierung der Übergangszone zwischen Eisschild und Eisschelf“, von Christoph Mayer.
- Heft Nr. 215/1996** – „Arbeiten der AWI-Forschungsstelle Potsdam in Antarktika, 1994/95“, herausgegeben von Ulrich Wand.
- Heft Nr. 216/1996** – „Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmees anhand von Radiolarien“, von Uta Brathauer.
- Heft Nr. 217/1996** – „Adaptive Semi-Lagrange-Finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen: Implementierung und Parallelisierung“, von Jörn Behrens.
- Heft Nr. 218/1997** – "Radiation and Eddy Flux Experiment 1995 (REFLEX III)", by Jörg Hartmann, Axel Bochert, Dietmar Freese, Christoph Kottmeier, Dagmar Nagel and Andreas Reuter.
- Heft Nr. 219/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS 'Polarstern' 1995. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XII/3, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 220/1997** – „Ein Beitrag zum Schwerfeld im Bereich des Weddellmeeres, Antarktis. Nutzung von Altimetermessungen des GEOSAT und ERS-1“, von Tilo Schöne.
- Heft Nr. 221/1997** – „Die Expeditionen ANTARKTIS-XIII/1-2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1995/96“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Mike Lukas und Victor Smetacek.
- Heft Nr. 222/1997** – "Tectonic Structures and Glaciomarine Sedimentation in the South-Eastern Weddell Sea from Seismic Reflection Data", by László Oszkó.

- Heft Nr. 223/1997** – „Bestimmung der Meereisdicke mit seismischen und elektromagnetisch-induktiven Verfahren“, von Christian Haas.
- Heft Nr. 224/1997** – „Troposphärische Ozonvariationen in Polarregionen“, von Silke Wessel.
- Heft Nr. 225/1997** – „Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryptopelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises“, von Michael Poltermann.
- Heft Nr. 226/1997** – „Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XI/1 of RV 'Polarstern' in 1995“, edited by Eike Rächor.
- Heft Nr. 227/1997** – „Der Einfluß kompatibler Substanzen und Kryoprotektoren auf die Enzyme Malatdehydrogenase (MDH) und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G6P-DH) aus *Acrosiphonia arctica* (Chlorophyta) der Arktis“, von Katharina Kück.
- Heft Nr. 228/1997** – „Die Verbreitung epibenthischer Mollusken im chilenischen Beagle-Kanal“, von Katrin Linse.
- Heft Nr. 229/1997** – „Das Mesozooplankton im Laptevmeer und östlichen Nansen-Becken - Verteilung und Gemeinschaftsstrukturen im Spätsommer“, von Hinrich Hanssen.
- Heft Nr. 230/1997** – „Modell eines adaptierbaren, rechnergestützten, wissenschaftlichen Arbeitsplatzes am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meerestforschung“, von Lutz-Peter Kurdelski.
- Heft Nr. 231/1997** – „Zur Ökologie arktischer und antarktischer Fische: Aktivität, Sinnesleistungen und Verhalten“, von Christopher Zimmermann.
- Heft Nr. 232/1997** – „Persistente chlororganische Verbindungen in hochantarktischen Fischen“, von Stephan Zimmermann.
- Heft Nr. 233/1997** – „Zur Ökologie des Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP)-Gehaltes temperierter und polarer Phytoplanktongemeinschaften im Vergleich mit Laborkulturen der Coccolithophoride *Emiliania huxleyi* und der antarktischen Diatomee *Nitzschia lecontei*“, von Doris Meyerdierks.
- Heft Nr. 234/1997** – „Die Expedition ARCTIC '96 des FS 'Polarstern' (ARK XIII) mit der Arctic Climate System Study (ACSYS)“, von Ernst Augstein und den Fahrteilnehmern.
- Heft Nr. 235/1997** – „Polonium-210 und Blei-210 im Südpolarmeer: Natürliche Tracer für biologische und hydrographische Prozesse im Oberflächenwasser des Antarktischen Zirkumpolarstroms und des Weddellmeeres“, von Jana Friedrich.
- Heft Nr. 236/1997** – „Determination of atmospheric trace gas amounts and corresponding natural isotopic ratios by means of ground-based FTIR spectroscopy in the high Arctic“, by Arndt Meier.
- Heft Nr. 237/1997** – „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR/SEVERNAYA ZEMLYA 1996“, edited by Martin Melles, Birgit Hagedorn and Dmitri Yu. Bolshiyarov.
- Heft Nr. 238/1997** – „Life strategy and ecophysiology of Antarctic macroalgae“, by Iván M. Gómez.
- Heft Nr. 239/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS XIII/4-5 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1996“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach und Dieter Gerdes.
- Heft Nr. 240/1997** – „Untersuchungen zur Chrom-Speziation in Meerwasser, Meereis und Schnee aus ausgewählten Gebieten der Arktis“, von Heide Giese.
- Heft Nr. 241/1997** – „Late Quaternary glacial history and paleoceanographic reconstructions along the East Greenland continental margin: Evidence from high-resolution records of stable isotopes and ice-rafted debris“, by Seung-Il Nam.
- Heft Nr. 242/1997** – „Thermal, hydrological and geochemical dynamics of the active layer at a continuous permafrost site, Taymyr Peninsula, Siberia“, by Julia Boike.
- Heft Nr. 243/1997** – „Zur Paläoozeanographie hoher Breiten: Stellvertreterdaten aus Foraminiferen“, von Andreas Mackensen.
- Heft Nr. 244/1997** – „The Geophysical Observatory at Neumayer Station, Antarctica, Geomagnetic and seismological observations in 1995 and 1996“, by Alfons Eckstaller, Thomas Schmidt, Viola Graw, Christian Müller and Johannes Røgenhagen.
- Heft Nr. 245/1997** – „Temperaturbedarf und Biogeographie mariner Makroalgen - Anpassung mariner Makroalgen an tiefe Temperaturen“, von Bettina Bischoff-Bäsmann.
- Heft Nr. 246/1997** – „Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises“, von Christine Friedrich.
- Heft Nr. 247/1997** – „Entstehung und Modifizierung von marinen gelösten organischen Substanzen“, von Berit Kirchoff.
- Heft Nr. 248/1997** – „Laptev Sea System: Expeditions in 1995“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 249/1997** – „The Expedition ANTARKTIS XIII/3 (EASIZ I) of RV 'Polarstern' to the eastern Weddell Sea in 1996“, edited by Wolf Arntz and Julian Gutt.
- Heft Nr. 250/1997** – „Vergleichende Untersuchungen zur Ökologie und Biodiversität des Mega-Epibenthos der Arktis und Antarktis“, von Adreas Starmans.
- Heft Nr. 251/1997** – „Zeitliche und räumliche Verteilung von Mineralvergesellschaftungen in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans und ihre Nützlichkeit als Klimaindikatoren während der Glazial/Interglazial-Wechsel“, von Christoph Vogt.
- Heft Nr. 252/1997** – „Solitäre Ascidien in der Potter Cove (King George Island, Antarktis). Ihre ökologische Bedeutung und Populationsdynamik“, von Stephan Kühne.
- Heft Nr. 253/1997** – „Distribution and role of microprotozoa in the Southern Ocean“, by Christine Klaas.
- Heft Nr. 254/1997** – „Die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte der Bunge-Oase, Ostantarktis“, von Thomas Kulbe.

- Heft Nr. 255/1997** – "Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV 'Polarstern' in 1997", edited by Ruediger Stein and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 256/1998** – „Das Radionuklid Tritium im Ozean: Meßverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddellmeer“, von Jürgen Sültenfuß.
- Heft Nr. 257/1998** – „Untersuchungen der Saisonalität von atmosphärischem Dimethylsulfid in der Arktis und Antarktis“, von Christoph Kleefeld.
- Heft Nr. 258/1998** – „Bellingshausen- und Amundsenmeer: Entwicklung eines Sedimentationsmodells“, von Frank-Oliver Nitsche.
- Heft Nr. 259/1998** – "The Expedition ANTARKTIS-XIV/4 of RV 'Polarstern' in 1997", by Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 260/1998** – „Die Diatomeen der Laptevsee (Arktischer Ozean): Taxonomie und biogeographische Verbreitung“, von Holger Cremer
- Heft Nr. 261/1998** – „Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean: Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen“, von Estella Weigelt.
- Heft Nr. 262/1998** – "The Expedition ARKTIS-XIII/3 of RV 'Polarstern' in 1997", by Gunther Krause.
- Heft Nr. 263/1998** – „Thermo-tektonische Entwicklung von Oates Land und der Shackleton Range (Antarktis) basierend auf Spaltisuranalysen“, von Thorsten Schäfer.
- Heft Nr. 264/1998** – „Messungen der stratosphärischen Spurengase ClO, HCl, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O und OH mittels flugzeuggetragener Submillimeterwellen-Radiometrie“, von Joachim Urban.
- Heft Nr. 265/1998** – „Untersuchungen zu Massenhaushalt und Dynamik des Ronne Ice Shelves, Antarktis“, von Astrid Lambrecht.
- Heft Nr. 266/1998** – "Scientific Cruise Report of the Kara Sea Expedition of RV 'Akademic Boris Petrov' in 1997", edited by Jens Matthiessen and Oleg Stepanets.
- Heft Nr. 267/1998** – „Die Expedition ANTARKTIS-XIV mit FS ‚Polarstern‘ 1997. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XIV/3“, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 268/1998** – „Numerische Modellierung der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Meereis in der arktischen Eisrandzone“, von Gerit Birnbaum.
- Heft Nr. 269/1998** – "Katabatic wind and Boundary Layer Front Experiment around Greenland (KABEG '97)", by Günther Heinemann.
- Heft Nr. 270/1998** – "Architecture and evolution of the continental crust of East Greenland from integrated geophysical studies", by Vera Schindwein.
- Heft Nr. 271/1998** – "Winter Expedition to the Southwestern Kara Sea - Investigations on Formation and Transport of Turbid Sea-Ice", by Dirk Dethleff, Per Loewe, Dominik Weiel, Hartmut Nies, Gesa Kuhlmann, Christian Bahe and Gennady Tarasov.
- Heft Nr. 272/1998** – „FTIR-Emissionsspektroskopische Untersuchungen der arktischen Atmosphäre“, von Edo Becker.
- Heft Nr. 273/1998** – „Sedimentation und Tektonik im Gebiet des Agulhas Rückens und des Agulhas Plateaus („SETA-RAP“), von Gabriele Uenzelmann-Neben.
- Heft Nr. 274/1998** – "The Expedition ANTARKTIS XIV/2", by Gerhard Kattner.
- Heft Nr. 275/1998** – „Die Auswirkung der 'NorthEastWater'-Polynya auf die Sedimentation von NO-Grönland und Untersuchungen zur Paläo-Ozeanographie seit dem Mittelweichsel“, von Hanne Notholt.
- Heft Nr. 276/1998** – „Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana“, von Michael Studinger.
- Heft Nr. 277/1998** – „Koordiniertes Programm Antarktisforschung“. Berichtskolloquium im Rahmen des Koordinierten Programms „Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“, herausgegeben von Hubert Miller.
- Heft Nr. 278/1998** – „Messung stratosphärischer Spurengase über Ny-Ålesund, Spitzbergen, mit Hilfe eines bodengebundenen Mikrowellen-Radiometers“, von Uwe Raffalski.
- Heft Nr. 279/1998** – "Arctic Paleo-River Discharge (APARD). A New Research Programme of the Arctic Ocean Science Board (AOSB)", edited by Ruediger Stein.
- Heft Nr. 280/1998** – „Fernerkundungs- und GIS-Studien in Nordostgrönland“ von Friedrich Jung-Rothenhäusler.
- Heft Nr. 281/1998** – „Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen“, von Martina Kunz-Pirrung.
- Heft Nr. 282/1998** – "Scavenging of <sup>231</sup>Pa and <sup>230</sup>Th in the South Atlantic: Implications for the use of the <sup>231</sup>Pa/<sup>230</sup>Th ratio as a paleoproductivity proxy", by Hans-Jürgen Walter.
- Heft Nr. 283/1998** – „Sedimente im arktischen Meereis - Eintrag, Charakterisierung und Quantifizierung“, von Frank Lindemann.
- Heft Nr. 284/1998** – „Langzeitanalyse der antarktischen Meereisbedeckung aus passiven Mikrowellendaten“, von Christian H. Thomas.
- Heft Nr. 285/1998** – „Mechanismen und Grenzen der Temperaturanpassung beim Pierwurm *Arenicola marina* (L.)“, von Angela Sommer.
- Heft Nr. 286/1998** – „Energieumsätze benthischer Filtrierer der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Jens Kowalke.
- Heft Nr. 287/1998** – "Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev Sea", edited by Eike Racher.

- Heft Nr. 288/1998** – „Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens“, von Ulrich Wutzke.
- Heft Nr. 289/1998** – „Retrieval of Atmospheric Water Vapor Content in Polar Regions Using Spaceborne Microwave Radiometry“, by Jyngang Miao.
- Heft Nr. 290/1998** – „Strukturelle Entwicklung und Petrogenese des nördlichen Kristallingürtels der Shackleton Range, Antarktis: Proterozoische und Ross-orogene Krustendynamik am Rand des Ostantarktischen Kratons“, von Axel Brommer.
- Heft Nr. 291/1998** – „Dynamik des arktischen Meeres - Validierung verschiedener Rheologieansätze für die Anwendung in Klimamodellen“, von Martin Kreyscher.
- Heft Nr. 292/1998** – „Anthropogene organische Spurenstoffe im Arktischen Ozean, Untersuchungen chlorierter Biphenyle und Pestizide in der Laptevsee, technische und methodische Entwicklungen zur Probenahme in der Arktis und zur Spurenstoffanalyse“, von Sven Utschakowski.
- Heft Nr. 293/1998** – „Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Schirmacher Oase und des Wohlthat Massivs (Ostantarktika)“, von Markus Julius Schwab.
- Heft Nr. 294/1998** – „Besiedlungsmuster der benthischen Makrofauna auf dem ostgrönländischen Kontinentalhang“, von Klaus Schnack.
- Heft Nr. 295/1998** – „Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen während der letzten 140.000 Jahre“, von Harald Hommers.
- Heft Nr. 296/1998** – „Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/1 of RV 'Polarstern' in 1997“, edited by Michael Spindler, Wilhelm Hagen and Dorothea Stübing.
- Heft Nr. 297/1998** – „Radiometrische Messungen im arktischen Ozean - Vergleich von Theorie und Experiment“, von Klaus-Peter Johnsen.
- Heft Nr. 298/1998** – „Patterns and Controls of CO<sub>2</sub> Fluxes in Wet Tundra Types of the Taimyr Peninsula, Siberia - the Contribution of Soils and Mosses“, by Martin Sommerkorn.
- Heft Nr. 299/1998** – „The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica. Synopsis of research performed within the frame of the Argentinean-German Cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station (King George Island, Antarctica, 1991 - 1997)“, by Christian Wiencke, Gustavo Ferreyra, Wolf Arntz & Carlos Rinaldi.
- Heft Nr. 300/1999** – „The Kara Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' 1997: First Results of a Joint Russian-German Pilot Study“, edited by Jens Matthiessen, Oleg V. Stepanets, Ruediger Stein, Dieter K. Fütterer, and Eric M. Galimov.
- Heft Nr. 301/1999** – „The Expedition ANTARKTIS XV/3 (EASIZ II)“, edited by Wolf E. Arntz and Julian Gutt.
- Heft Nr. 302/1999** – „Sterole im herbstlichen Weddellmeer (Antarktis): Großräumige Verteilung, Vorkommen und Umsatz“, von Anneke Mühlebach.
- Heft Nr. 303/1999** – „Polare stratosphärische Wolken: Lidar-Beobachtungen, Charakterisierung von Entstehung und Entwicklung“, von Jens Biele.
- Heft Nr. 304/1999** – „Spätquartäre Paläoumweltbedingungen am nördlichen Kontinentalrand der Barents- und Kara-See. Eine Multi-Parameter-Analyse“, von Jochen Knies.
- Heft Nr. 305/1999** – „Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study (ARTIST)“, by Jörg Hartmann, Frank Abers, Stefania Argenti, Axel Bocher, Ubaldo Bonafé, Wolfgang Cohrs, Alessandro Conidi, Dietmar Freese, Teodoro Georgiadis, Alessandro Ippoliti, Lars Kaleschke, Christof Lüpkes, Uwe Maixner, Gianguseppe Mastrantonio, Fabrizio Ravegnani, Andreas Reuter, Giuliano Trivellone and Angelo Viola.
- Heft Nr. 306/1999** – „German-Russian Cooperation: Biogeographic and biostratigraphic investigations on selected sediment cores from the Eurasian continental margin and marginal seas to analyze the Late Quaternary climatic variability“, edited by Robert R. Spielhagen, Max S. Barash, Gennady I. Ivanov, and Jörn Thiede.
- Heft Nr. 307/1999** – „Struktur und Kohlenstoffbedarf des Makrobenthos am Kontinentalhang Ostgrönlands“, von Dan Seiler.
- Heft Nr. 308/1999** – „ARCTIC '98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV 'Polarstern' in 1998“, edited by Wilfried Jokat.
- Heft Nr. 309/1999** – „Variabilität der arktischen Ozonschicht: Analyse und Interpretation bodengebundener Millimeterwellenmessungen“, von Björn-Martin Sinnhuber.
- Heft Nr. 310/1999** – „Rekonstruktion von Meereisdrift und terrigenem Sedimenteintrag im Spätquartär: Schwermineralassoziationen in Sedimenten des Laptev-See-Kontinentalrandes und des zentralen Arktischen Ozeans“, von Marion Behrends.
- Heft Nr. 311/1999** – „Parameterisierung atmosphärischer Grenzschichtprozesse in einem regionalen Klimamodell der Arktis“, von Christoph Abegg.
- Heft Nr. 312/1999** – „Solare und terrestrische Strahlungswechselwirkung zwischen arktischen Eisflächen und Wolken“, von Dietmar Freese.
- Heft Nr. 313/1999** – „Snow accumulation on Ekströmsen, Antarctica“, by Elisabeth Schlosser, Hans Oerter and Wolfgang Graf.
- Heft Nr. 314/1999** – „Die Expedition ANTARKTIS XV/4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1998“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 315/1999** – „Expeditions in Siberia in 1998“, edited by Volker Rachold.
- Heft Nr. 316/1999** – „Die postglaziale Sedimentationsgeschichte der Laptevsee: schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen“, von Bernhard Peregovich.
- Heft-Nr. 317/1999** – „Adaption an niedrige Temperaturen: Lipide in Eisdiatomeen“, von Heidi Lehmal.
- Heft-Nr. 318/1999** – „Effiziente parallele Lösungsverfahren für elliptische partielle Differentialgleichungen in der numerischen Ozeanmodellierung“, von Natalja Rakowsky.

**Heft-Nr. 319/1999** – „The Ecology of Arctic Deep-Sea Copepods (Euchaetidae and Aetideidae). Aspects of their Distribution, Trophodynamics and Effect on the Carbon Flux“, by Holger Auel.

**Heft-Nr. 320/1999** – „Modellstudien zur arktischen stratosphärischen Chemie im Vergleich mit Meßdaten“, von Veronika Eyring.

**Heft-Nr. 321/1999** – „Analyse der optischen Eigenschaften des arktischen Aerosols“, von Dagmar Nagel.

**Heft-Nr. 322/1999** – „Messungen des arktischen stratosphärischen Ozons: Vergleich der Ozonmessungen in Ny-Ålesund, Spitzbergen, 1997 und 1998“, von Jens Langer.

**Heft-Nr. 323/1999** – „Untersuchung struktureller Elemente des südöstlichen Weddellmeeres / Antarktis auf der Basis mariner Potentialfelddaten“, von Uwe F. Meyer.

**Heft-Nr. 324/1999** – „Geochemische Verwitterungstrends eines basaltischen Ausgangsgesteins nach dem spätpleistozänen Gletscherrückzug auf der Taimyrhalbinsel (Zentralsibirien) - Rekonstruktion an einer sedimentären Abfolge des Lama Sees“, von Stefanie K. Harwart.

**Heft-Nr. 325/1999** – „Untersuchungen zur Hydrologie des arktischen Meereises - Konsequenzen für den kleinskaligen Stofftransport“, von Johannes Freitag.

**Heft-Nr. 326/1999** – „Die Expedition ANTARKTIS XIV/2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1998“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.

**Heft-Nr. 327/1999** – „Gemeinschaftsanalytische Untersuchungen der Harpacticoidenfauna der Magellanregion, sowie erste simularitätsanalytische Vergleiche mit Assoziationen aus der Antarktis“, von Kai Horst George.

**Heft-Nr. 328/1999** – „Rekonstruktion der Paläo-Umweltbedingungen am Laptev-See-Kontinentalrand während der beiden letzten Glazial/Interglazial-Zyklen anhand sedimentologischer und mineralogischer Untersuchungen“, von Claudia Müller.

**Heft-Nr. 329/1999** – „Räumliche und zeitliche Variationen atmosphärischer Spurengase aus bodengebundenen Messungen mit Hilfe eines Michelson Interferometers“, von Justus Notholt.

**Heft-Nr. 330/1999** – „The 1998 Danish-German Excursion to Disko Island, West Greenland“, edited by Angelika Brandt, Helge A. Thomsen, Henning Heide-Jørgensen, Reinhardt M. Kristensen and Hilke Ruhberg.

**Heft-Nr. 331/1999** – „Poseidon“ Cruise No. 243 (Reykjavik - Greenland - Reykjavik, 24 August - 11 September 1998): Climate change and the Viking-age fjord environment of the Eastern Settlement, sw Greenland“, by Gerd Hoffmann, Antoon Kuijpers, and Jörn Thiede.

**Heft-Nr. 332/1999** – „Modelling of marine biogeochemical cycles with an emphasis on vertical particle fluxes“, by Regina Usbeck.

**Heft-Nr. 333/1999** – „Die Tanaidaceenfauna des Beagle-Kanals und ihre Beziehungen zur Fauna des antarktischen Festlandssockels“, von Anja Schmidt.

**Heft-Nr. 334/1999** – „D-Aminosäuren als Tracer für biogeochemische Prozesse im Fluß-Schelf-Ozean-System der Arktis“, von Hans Peter Fitznar.

**Heft-Nr. 335/1999** – „Ökophysiologische Ursachen der limitierten Verbreitung reptanter decapoder Krebse in der Antarktis“, von Markus Frederich.

**Heft-Nr. 336/1999** – „Ergebnisse der Untersuchung des grönländischen Inlandeises mit dem elektromagnetischen Reflexionsverfahren in der Umgebung von NGRIP“, von Fidan Göktas.

**Heft-Nr. 337/1999** – „Paleozoic and mesozoic tectono-thermal history of central Dronning Maud Land, East Antarctica, – evidence from fission-track thermochronology“, by Stefanie Meier.

**Heft-Nr. 338/1999** – „Probleme hoher Stoffwechselraten bei Cephalopoden aus verschiedenen geographischen Breiten“, von Susanne Zielinski.

**Heft-Nr. 339/1999** – „The Expedition ARKTIS XV/1“, edited by Gunther Krause.

**Heft-Nr. 340/1999** – „Microbial Properties and Habitats of Permafrost Soils on Taimyr Peninsula, Central Siberia“, by Nicolé Schmidt.

**Heft-Nr. 341/1999** – „Photoacclimation of phytoplankton in different biogeochemical provinces of the Southern Ocean and its significance for estimating primary production“, by Astrid Bracher.

**Heft-Nr. 342/1999** – „Modern and Late Quaternary Depositional Environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea“, edited by Ruediger Stein, Kirsten Fahl, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Gennady Tarasov.

**Heft-Nr. 343/1999** – „ESF-IMPACT Workshop/Oceanic impacts: mechanisms and environmental perturbations, 15 - 17 April 1999 in Bremerhaven“, edited by Rainer Gersonde and Alexander Deutsch.

**Heft-Nr. 344/1999** – „Die Klimageschichte der hohen nördlichen Breiten seit dem mittleren Miozän: Hinweise aus sedimentologischen-ionsmineralogischen Analysen (OPD Leg 151, zentrale Framstraße)“, von Amelie Winkler.

**Heft-Nr. 345/1999** – „Kurzfristige Klimaschwankungen im Scotiameer und Ergebnisse zur Kalbungsgeschichte der Antarktis während der letzten 200 000 Jahre“, von Annette Hofmann.

**Heft-Nr. 346/2000** – „Glazialmarine Sedimentationsentwicklung am westantarktischen Kontinentalrand im Amundsen- und Bellingshausenmeer - Hinweise auf Paläumweltveränderungen während der quartären Klimazyklen“, von Claus-Dieter Hillenbrand.

**Heft-Nr. 347/2000** – „Zur Ökologie des Phytoplanktons im arktischen Laptevmeer - ein jahreszeitlicher Vergleich“, von Kirsten Tuschling.

**Heft-Nr. 348/2000** – „Untersuchungen zum Fettstoffwechsel des Südlichen See-Elefanten (*Mirounga leonina* L.) in der Antarktis“, von Sven Ramdohr.

**Heft-Nr. 349/2000** – „Licht- und Temperatureinfluß auf den enzymatischen Oxidationsschutz der antarktischen Eisdiatomee *Entomoneis kufferathii* Manguin“, von Raimund Schriek.

- Heft-Nr. 350/2000** – „Die Expedition ARKTIS XV/3 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1999“  
herausgegeben von Ursula Schauer.
- Heft-Nr. 351/2000** – „Dissolution kinetics of biogenic silica in marine environments“, by Dirk Rickert.
- Heft-Nr. 352/2000** – „Geometrie und Kinematik des tertiären Deckenbaus im West Spitzbergen Falten- und Überschiebungsgürtel, Brøggerhalvøya, Svalbard“, von Kerstin Saalman.
- Heft-Nr. 353/2000** – „Zur Ökologie der Benthos-Foraminiferen der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Michaela Mayer.
- Heft-Nr. 354/2000** – „Expeditions in Siberia in 1999“, edited by Volker Rachold.
- Heft-Nr. 355/2000** – „Temperaturrekonstruktion im Tropischen Atlantik für das Letzte Glaziale Maximum: CLIMAP neu betrachtet.“, von Carsten Porthun.
- Heft-Nr. 356/2000** – „Niederfrequente Variabilität großräumiger atmosphärischer Zirkulationsstrukturen in spektralen Modellen niedriger Ordnung“, von Antje Weisheimer.
- Heft-Nr. 357/2000** – „Late Quaternary paleoclimatic reconstructions along the Eurasian continental margin“, by Hans Peter Kleiber.
- Heft-Nr. 358/2000** – „Holocene environmental history of East Greenland - evidence from lake sediments“, by Bernd Wagner.
- Heft-Nr. 359/2000** – „Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Ecology of the White Sea with Emphasis on its Deep Basin“, edited by Eike Rachor.
- Heft-Nr. 360/2000** – „Scientific Cruise Report of the Joint Russian-German Kara-Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' in 1999“, edited by Ruediger Stein and Oleg Stepanets.
- Heft-Nr. 361/2000** – „Planktic foraminifer ecology and stable isotope geochemistry in the Arctic Ocean: implications from water column and sediment surface studies for quantitative reconstructions of oceanic parameters“ by Renate Volkmann.
- Heft-Nr. 362/2000** – „Eisbohrkernuntersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität von Temperatur und Niederschlagsrate im Spätholozän in Nordgrönland“, von Matthias Schwager.
- Heft-Nr. 363/2000** – „Benthische Peracarida (Crustacea, Malacostraca) des arktischen Møllermfjordes, West-Grönland“, von Anne-Nina Lörz.
- Heft-Nr. 364/2000** – Die Expeditionen ANTARKTIS XVI / 3-4 des Forschungsschiffes „POLARSTERN“ 1999, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek und Manfred Reinke.
- Heft-Nr. 365/2000** – „Organic carbon in Late Quaternary sediments: Responses to paleoenvironmental changes in the Laptev and Kara seas (Arctic Ocean)“ by Bettina Boucsein.
- Heft-Nr. 366/2000** – „Flugzeuggestützte Topographie- und Schweremessung: Meßsystem und Anwendung auf die Region Framstraße, Spitzbergen und Nordostgrönland“, von Tobias Boebel.
- Heft-Nr. 367/2000** – „Messung dielektrischer Eigenschaften polarer Eiskerne“, von Frank Wilhelms.
- Heft-Nr. 368/2000** – „The Expedition ARKTIS-XV/2 of RV 'Polarstern' in 1999“, edited by Wilfried Jokat.
- Heft-Nr. 369/2000** – „Interpretation seismischer und gravimetrischer Daten des Weddellmeeres, Antarktis“, von Johannes Rogenhagen.
- Heft-Nr. 370/2000** – „Struktureigenschaften und Nahrungsbedarf der Zoobenthosgemeinschaften im Bereich des Lomonossowrückens im Arktischen Ozean“, von Hendrik Deubel.
- Heft-Nr. 371/2000** – „Die Rolle der Schneebedeckung für die Kryptogamen-Vegetation in der maritimen Antarktis (Potter-Halbinsel, King George Island)“, von Jana Barbro Winkler.
- Heft-Nr. 372/2000** – „Biodiversity of the Weddell Sea: macrozoobenthic species (demersal fish included) sampled during the expedition ANT XIII/3 (EASIZ I) with RV 'Polarstern'“, edited by Julian Gutt, Boris I. Sirenko, Wolf E. Arntz, Igor S. Smirnov, and Claude De Broyer.
- Heft-Nr. 373/2000** – „Benthische Foraminiferen im Boreas-Becken, Grönlandsee: Verbreitung und paläo-ozeanographische Rekonstruktionen für die letzten 450.000 Jahre“, von Sabine Magnus.
- Heft-Nr. 374/2000** – „Schwelligendoppelbrechungsanalyse von Registrierungen der Stationen des seismologischen Netzwerkes an der Neumayer Station, Antarktis: Seismische Anisotropie und die tektonische Entwicklung des Kontinentalrandes Queen Maud Lands“, von Christian Müller.
- Heft-Nr. 375/2000** – „Effects of enhanced UV-radiation on photosynthesis of Arctic/cold-temperate macroalgae“, by Kai Bischof.
- Heft-Nr. 376/2000** – „Saisonalität und kurzperiodische Variabilität des Seesatz-Aerosols und des bodennahen Ozons in der Antarktis (Neumayer-Station) unter Berücksichtigung der Meereisbedeckung“, von Jörg Hofmann.

**Ab dem Heft-Nr. 377 erscheint die Reihe unter dem Namen:  
„Berichte zur Polar- und Meeresforschung“**

- Heft-Nr. 377/2000** – „Rekrutierungsmuster ausgewählter Wattfauna nach unterschiedlich strengen Wintern“  
von Matthias Strasser
- Heft-Nr. 378/2001** – „Der Transport von Wärme, Wasser und Salz in den Arktischen Ozean“, von Boris Cisewski
- Heft-Nr. 379/2001** – „Analyse hydrographischer Schnitte mit Satellitenaltimetrie“, von Martin Losch

**Heft-Nr. 380/2001** – „Die Expeditionen ANTARKTIS XI/1-2 des Forschungsschiffes POLARSTERN 1998/1999“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach und Saad El Naggar.  
**Heft-Nr. 381/2001** – „UV-Schutz- und Reparaturmechanismen bei antarktischen Diatomeen und *Phaeocystis antarctica*“, von Lieselotte Riegger.  
**Heft-Nr. 382/2001** – „Age determination in polar Crustacea using the autofluorescent pigment lipofuscin“, by Bodil Bluhm.  
**Heft-Nr. 383/2001** – „Zeitliche und räumliche Verteilung, Habitatspräferenzen und Populationsdynamik benthischer Copepoda Harpacticoida in der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Gritta Veit-Köhler.  
**Heft-Nr. 384/2001** – „Beiträge aus geophysikalischen Messungen in Dronning Maud Land, Antarktis, zur Auffindung eines optimalen Bohrpunktes für eine Eiskerntiefbohrung“, von Daniel Steinhage.  
**Heft-Nr. 385/2001** – „Actinium-227 als Tracer für Advektion und Mischung in der Tiefsee“, von Walter Geibert.  
**Heft-Nr. 386/2001** – „Messung von optischen Eigenschaften troposphärischer Aerosole in der Arktis“ von Rolf Schumacher.  
**Heft-Nr. 387/2001** – „Bestimmung des Ozonabbaus in der arktischen und subarktischen Stratosphäre“, von Astrid Schulz.  
**Heft-Nr. 388/2001** – „Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000: The Expedition LENA 2000“, edited by Volker Rachold and Mikhail N. Grigoriev.  
**Heft-Nr. 389/2001** – „The Expeditions ARKTIS XVI/1 and ARKTIS XVI/2 of the Research Vessel 'Polarstern' in 2000“, edited by Gunther Krause and Ursula Schauer.  
**Heft-Nr. 390/2001** – „Late Quaternary climate variations recorded in North Atlantic deep-sea ostracodes“, by Claudia Didié.  
**Heft-Nr. 391/2001** – „The polar and subpolar North Atlantic during the last five glacial-interglacial cycles“, by Jan. P. Helmke.  
**Heft-Nr. 392/2000** – „Geochemische Untersuchungen an hydrothermal beeinflussten Sedimenten der Bransfield Straße (Antarktis)“, von Anke Dähmann.

\* vergriffen/out of print.

\*\* nur noch beim Autor/only from the author.