

1. Projektvorstellung und Zielsetzung

Die folgende Arbeit entstand im Rahmen des interdisziplinären „Boreal Cretaceous Cycle Project“ (BCCP) im Schwerpunktprogramm „Globale und regionale Steuerungsprozesse biogener Sedimentation: Riff-Evolution und Kreide Sedimentation“.

Im BCCP werden u.a. Sedimente der borealen Unterkreide Nordwestdeutschlands bearbeitet. Mit den Forschungsbohrungen Kirchrode I/91 und Kirchrode II/94 (Alb) sowie den Bohrungen Hoheneggelsen (KB3, KB40, KB50, KB54; Ober-Barrême und Apt) aus dem Raum Hannover erfolgt die Einbindung des BCCP in die internationalen Teilprojekte ALBI-core und APTI-core des „Global Sedimentary Geology Program“ (LARSON et al. 1993).

Ziel des APTI-core Projektes ist eine genaue Studie über die Apt-Sequenz mit detaillierter Bearbeitung des ersten globalen Schwarzschieferereignisses der Kreide im unteren Apt (OCEANIC ANOXIC EVENT 1a). In Nordwestdeutschland wird dieses Event vermutlich durch den unter reduzierenden Bedingungen abgelagerten „Fischschiefer“ repräsentiert. Hochauflösende geochemische Untersuchungen zum „Fischschiefer“, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, erfolgten anhand von Kernmaterial der Bohrung Hoheneggelsen KB40.

Das ALBI-core Projekt befaßt sich neben einer allgemeinen Charakterisierung der Alb-Abfolge vor allem mit den Ursachen und Steuerungsprozessen sedi-

mentärer Zyklen im Ober-Alb (LARSON et al. 1993), wobei im BCCP im wesentlichen Zyklen dritter (Sequenzstratigraphie nach VAIL et al. 1977) und fünfter Ordnung (Milankovitch-Zyklen) berücksichtigt werden. Zyklische Variationen im Bereich der Milankovitch-Frequenzen sind im Profil Kirchrode I/91 anhand geochemischer Daten deutlich nachzuweisen (RACHOLD 1994). Die in dieser Arbeit vorgestellten geochemischen Ergebnisse der Alb-Vertiefungsbohrung Kirchrode II/94 dienen zunächst einer weiterführenden Charakterisierung der Ablagerungsbedingungen und des Ablagerungsraumes der Unterkreidesedimente von Hannover. Unter Einbeziehung des Datenmaterials von Kirchrode I/91 werden Aussagen über die Bioproduktivität im Oberflächenwasser, Redoxbedingungen in der Wassersäule, an der Sediment-Meerwassergrenze und im Sediment sowie Änderungen des detritischen Elementeintrags gemacht. Dabei werden diagenetisch bedingte Elementan- oder -abreicherungen, wie sie z.B. in Konkretionen auftreten, berücksichtigt. Die multidisziplinäre Bearbeitung identischer Proben ermöglicht direkte Vergleiche mit sedimentologischen, paläontologischen, mineralogischen und geophysikalischen Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen, so daß am Ende des Gesamtprojektes ein möglichst präzises Ablagerungsmodell der Unterkreide entwickelt werden kann.

2. Geologischer Überblick

Im Zuge der aktuellen Umwelt- und Klimadiskussion, insbesondere des sogenannten „Treibhauseffektes“, sind Kenntnisse über die erdgeschichtliche Entwicklung der Kreidezeit (144 - 65 Ma (Ma = Millionen Jahre), GRADSTEIN et al. 1994) von besonderem Interesse, da diese Zeit zu einer der wärmsten Klimaperioden im gesamten Phanerozoikum zählt.

Das Klimageschehen der Vergangenheit kann zwar nicht direkt auf zukünftige Vorgänge übertragen werden, jedoch bieten die Kenntnis und das Verstehen der Ursachen dieser Prozesse und des relativen Einflusses einzelner Parameter auf das damalige Klima die Möglichkeit abzuschätzen, wie sich das zukünftige Klimasystem der Erde langfristig entwickeln kann (BARRON 1992, PRICE et al. 1995, HAY et al. 1997).

Komplexe plattentektonische Prozesse, mit einer verstärkten Produktion ozeanischer Kruste und intensivem Vulkanismus führten in der Kreide zu einschneidenden Veränderungen der ozeanographischen, klimatischen und biotischen Rahmenbedingungen (JENKYN 1980, HALLAM 1985, HAQ et al. 1987, SPICER & CORFIELD 1992, LARSON & KINCAID 1996). Die weltweite Ablagerung von Schwarzschiefern (SCHLANGER & JENKYN 1976, ARTHUR et al. 1987, SCHLANGER et al. 1987), große Öl-, Gas und Kohlevorkommen (LARSON 1991a), ausgedehnte Karbonatserien (SCHOLLE 1977), die Bildung süd-afrikanischer Diamantlagerstätten (HAG-

GERTY 1994) und auch das über einen relativ langen Zeitraum stabile Erdmagnetfeld (HARLAND et al. 1990, LARSON & OLSON 1991, LARSON & KINCAID 1996) bezeugen die außergewöhnliche Stellung der Kreide in der Erdgeschichte (Abb. 1).

Zu den wichtigsten paläogeographischen Entwicklungen gehörte der relativ schnell fortschreitende Zerfall des Superkontinentes Pangäa. Von zentraler Bedeutung war dabei das Auseinanderbrechen von Gondwanaland und die damit beginnende Öffnung des Südatlantiks in der Unterkreide. Als Ursache für die in der Kreide beschleunigte Kontinentaldrift wird der Aufstieg einer heißen Mantelkomponente („super plume“) vermutet (LARSON 1991b, LARSON & KINCAID 1996).

In der mittleren Kreide (Apt-Turon) führte die Verbindung des Südatlantiks mit dem schon seit dem Jura bestehenden Nordatlantik zu einer Veränderung der frühmesozoisch angelegten ozeanischen Zirkulationsmuster (SUMMERHAYES 1987, LECKIE 1989, ERBACHER 1994). Das bis dahin vorherrschende Ost-West orientierte Tethysregime wurde allmählich von einem modernen Nord-Süd ausgerichteten Atlantikregime abgelöst.

Die plattentektonischen Vorgänge führten zudem zu eustatischen Meeresspiegelschwankungen (HAYS & PITMAN 1973, SCHLANGER 1986, LARSON 1991a, LARSON & KINCAID 1996, HELLER et al. 1996), die sich in langfristigen Transgressions-/Regressionszyklen (1 - 10 Ma) im

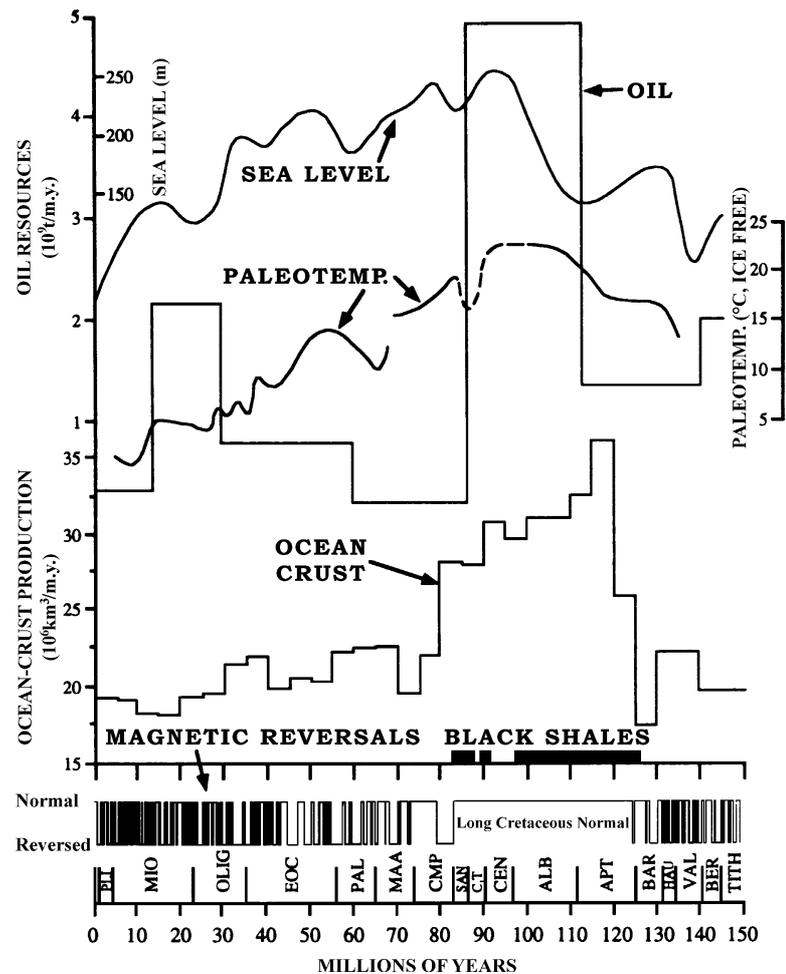


Abb. 1: Magnetische Polaritäts- und Zeitskala, „world ocean-crust production“, „high-latitude sea-surface paleotemperatures“, Meeresspiegelkurve, Ablagerung von Schwarzschiefern und „world oil resources“ nach LARSON (1991a).

Sediment abzeichneten (VAIL et al. 1977, VAIL et al. 1991). Hochfrequente, kurzzeitige rhythmische Variationen von Sedimentabfolgen, wie sie u.a. für kretazische Kalk/Mergel- und Ton/Mergelwechselfolgen beschrieben werden (ARTHUR & DEAN 1991, FISCHER 1991, EICHER & DINER 1991), sind dagegen vielmehr auf periodische, erdbahnbedingte Fluktuationen der Sonneneinstrahlung auf die Erde (Milankovitch-Zyklen) und damit auf klimatisch bedingte Effekte zurückzuführen. Der Zeitraum der Milankovitch-Zyklen entspricht den Schwankungen der orbitalen Parameter Präzession (19

und 23 ka (ka = 1000 Jahre)), Neigung (41 ka) und Exzentrizität (100 und 400 ka) (MILANKOVITCH 1941, BERGER 1988).

Das Klima der Kreide wird im allgemeinen als warm und ausgeglichen, mit eisfreien Polen und einem geringen meridionalen Temperaturgradienten beschrieben. Die globalen Temperaturen lagen durchschnittlich um etwa 6 - 14°C über den heutigen Werten (BARRON 1983, ARTHUR et al. 1985, BERNER 1994). Entsprechend höher waren die Wassertemperaturen, wie anhand von Sauerstoffisotopendaten benthischer und planktonischer Foraminiferen gezeigt werden

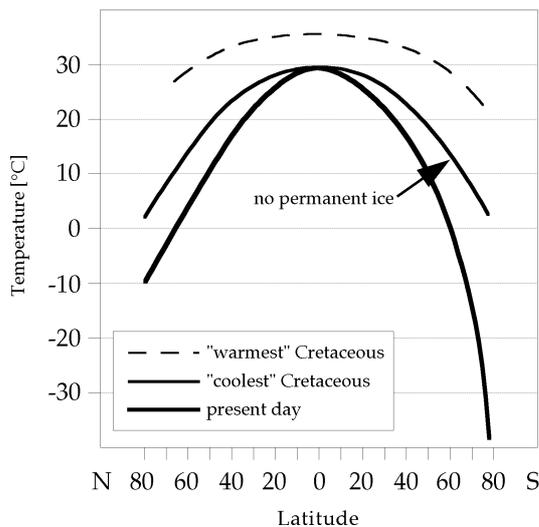


Abb. 2: Verteilung mittelkretazischer Oberflächenwassertemperaturen in Abhängigkeit von der geographischen Breite (HALLAM 1985).

konnte (HALLAM 1985). In Abb. 2 sind beispielhaft die Oberflächenwassertemperaturen der mittleren Kreide dargestellt.

Im Vergleich zur Oberkreide nehmen FRAKES et al. 1992 für die Unterkreide deutlich kühlere Bedingungen an. Auch die Existenz zirkumpolarer Eismassen ist in der Unterkreide nicht ausgeschlossen (KEMPER 1987, ZIEGLER 1990, FRAKES & FRANCIS 1988, 1990). Allerdings reichten die Eismassen nicht aus, um einen steileren Temperaturgradienten zwischen Pol und Äquator oder sogar eine an die Bildung von kaltem Tiefenwasser gekoppelte Ozeanwasserzirkulation zu bewirken (FRAKES et al. 1992). Größere Auftriebsgebiete, hervorgerufen durch eine mit der heutigen Situation vergleichbaren Tiefenwasserzirkulation, sind daher eher eine Ausnahme gewesen. Es wird jedoch ein saisonaler Küstenauftrieb durch monsunale Winde vermutet (KUTZBACH & GALLIMORE 1989, PRICE et al. 1995).

Aufgrund der in der Unterkreide noch recht kompakten Landmasse der Pangäa konnten sich ausgedehnte Monsunsysteme entwickeln, wie sie z.B. für die Nordufer der Tethys angenommen werden (HALLAM 1985, KUTZBACH & GALLIMORE 1989, FRAKES et al. 1992).

Die generelle Temperaturzunahme ab der Unterkreide wird neben Änderungen von Insolation und Paläogeographie vor allem durch einen erhöhten vulkanischen CO_2 -Ausstoß erklärt (HALLAM 1985, ARTHUR et al. 1985, LARSON 1991a). Im Vergleich zu heutigen Daten werden für die Kreide 2 - 10 mal höhere pCO_2 -Werte angenommen (BERNER 1994, LARSON 1991a). Zusammen mit anderen „Treibhausgasen“ (vor allem Wasserdampf, HAY et al. 1997) führte dies in der mittleren Kreide zu ausgesprochen warmen Klimabedingungen, die mit einem hohen Meeresspiegelstand und einer zumindest teilweise eingeschränkten Ozeanzirkulation verbunden waren (Abb. 1). Während der Zeitintervalle Apt-Alb, Cenoman-Turon und Coniac-Santon kam es zur nahezu weltweiten Ausbildung von Schwarzschiefern. Diese Sedimente zeichnen sich durch ungewöhnlich hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff aus (SCHLANGER & JENKYN 1976, BRALOWER & THIERSTEIN 1984, ARTHUR et al. 1985, SCHLANGER et al. 1987, THIERSTEIN 1989, ARTHUR et al. 1990). In Anlehnung an die lithologisch, faunistisch und geochemisch häufig belegten sauerstofffreien oder zumindest sauerstoffarmen Bedingungen während der Ablagerung dieser Sedimente werden Schwarzschieferer-

eignisse von SCHLANGER & JENKYNS (1976) als „Oceanic Anoxic Events“ (OAE) bezeichnet.

Inwieweit die Genese von kohlenstoffreichen Sedimenten vorrangig auf eine hohe Primärproduktion oder eine Steigerung der Erhaltungsrate von orga-

nischem Material aufgrund anoxischer Verhältnisse in der Wassersäule (Stagnation) zurückzuführen ist, wird noch immer kontrovers diskutiert (BRUMSACK 1980, ARTHUR et al. 1987, ARTHUR & SAGEMAN 1994, CANFIELD 1994, LEE 1994, CALVERT et al. 1996, SOETAERT et al. 1996).

2.1. Paläogeographische Entwicklung des Niedersächsischen Beckens (Barrême - Alb)

In der Unterkreide stellte das Niedersächsische Becken (NSB) ein relativ kleines epikontinentales Randmeer dar, dessen Ausdehnung in Ost-West-Richtung etwa 280 km und in Nord-Süd-Richtung ca. 80 km betrug (KEMPER 1995). Nördlich des mitteleuropäischen Festlandes gelegen, kann es mit zumindest zeitweise bestehenden Verbindungen zu den Nachbarbecken im Westen (Niederländisches Becken) und Osten (Polnisches Becken) als Teil der kretazischen Nordsee angesehen werden (Abb. 3) (KEMPER 1995). Eine dem NSB im Norden vorgelagerte, im wesentlichen submarine Schwellenregion - die Pompeckjische Schwelle - schränkte zeitweilig den Wasseraustausch zwischen NSB und Paläo-Nordsee stark ein, bewirkte jedoch nie eine vollständige Trennung (KEMPER & ZIMMERLE 1982).

Im Barrême bildete das NSB ein nach Südwesten und Osten geschlossenes Nebenmeer, wobei durch regressive Tendenzen auch die Pompeckjische Schwelle eine wirksame Barriere darstellte. Aufgrund einer eingeschränkten Wasserzirkulation kam es zur Ablagerung reduzierender, mit organischem Material an-

gereicherter Sedimente. Charakteristisch sind dunkle, karbonatarme Tonsteine im Wechsel mit karbonatreichen, feinklamierten Sedimenten, die als Blättertone bezeichnet werden. Während die dunkle Tonsteinfolge als sogenanntes „Kaltwassersediment“ unter relativ kühlen Wassertemperaturen, bedingt durch den Zustrom borealer Wässer aus dem Norden, abgelagert wurde (KEMPER 1982), dokumentiert die Zusammensetzung des kalkigen Nannoplanktons der Blättertone wärmere Wassertemperaturen. Zusätzlich stagnierende Bedingungen in der Wassersäule führten dabei zu einer stabilen thermischen Schichtung mit anoxischen Bedingungen an der Sediment-Meerwasser-Grenze (KEMPER 1982, MUTTERLOSE 1992, MUTTERLOSE & WIEDENROTH 1995).

Im tiefen Unter-Apt bestanden für das NSB ähnliche paläogeographische Rahmenbedingungen wie im Barrême, so daß es zur Ausbildung vergleichbarer Sedimente kam. Die Grenze Barrême/Apt, die lithologisch im Sediment nicht hervortritt, ist durch einen signifikanten Umbruch in der Floren- und Faunengemeinschaft des NSB gekennzeichnet. Die

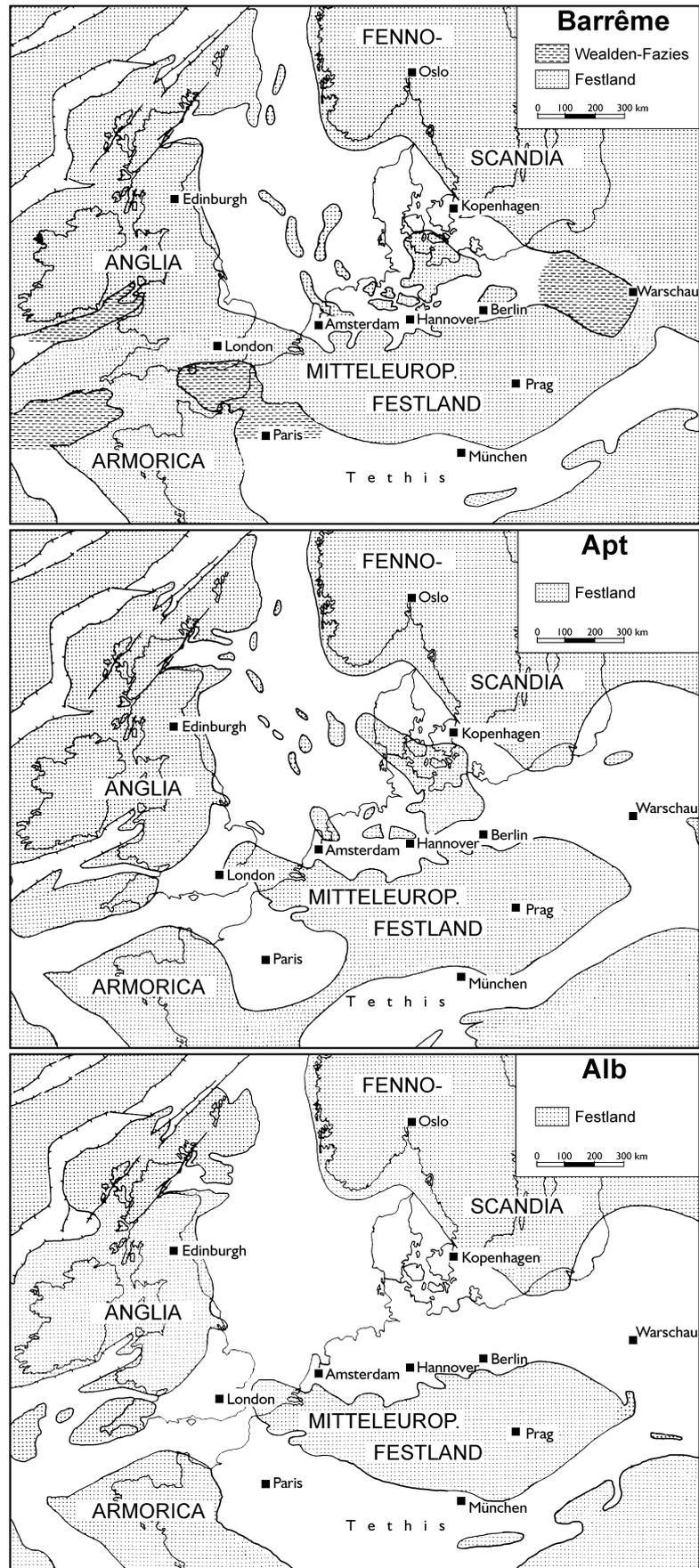


Abb. 3: Paläogeographische Entwicklung des NSB. Vereinfachte Darstellung nach KEMPER & ZIMMERLE (1978), MUTTERLOSE (1995) und KEMPER (1995).

aufgrund des mangelnden Austausches mit anderen Meeresbecken auf den Nordseeraum beschränkten borealen, zum Teil endemischen Floren- und Faunenarten des Barrême wurden durch kosmopolitische Gruppen ersetzt (MICHAEL 1979, MUTTERLOSE 1992, ERBA 1993, KEUPP & MUTTERLOSE 1994). Davon betroffen waren zunächst nur planktonische (kalkiges Nannoplankton, Calcisphären, Foraminiferen) und nektonische Gruppen (Ammoniten, Belemniten). Die Öffnung neuer Meeresstraßen, bedingt durch geotektonische Umgestaltungen und weltweit einsetzende Transgression (HAQ et al. 1987, VAIL et al. 1977), ermöglichte einen Floren- und Faunenaustausch im Westen über den Protokanal bis zum Atlantik und über die Karpatenstraße im Osten mit der Tethys (KEMPER 1995).

Während die Migration der Organismen einsetzte sobald die Meeresverbindungen bestanden, wurden die reduzierenden Verhältnisse in den tieferen Bekenteilen des NSB noch nicht durch neu einströmende Wassermassen aufgehoben. Dem lebensfeindlichen Bodenmilieu entsprechend (sub- bis anoxisch) erfolgte ein Wechsel in den Benthosassoziationen erst nach Ablagerung der letzten, mehrere Meter mächtigen Blättertonlage, dem sogenannten „Fischschiefer“, im mittleren Unter-Apt (MUTTERLOSE 1995, MUTTERLOSE & WIEDENROTH 1995).

Anschließend finden sich im zentralen Beckenbereich oxische, hell gefärbte, karbonatreiche Sedimente, die nach dem massenhaften Auftreten kleiner Forami-

niferen als *Hedbergella*-Mergel bezeichnet werden. Paläontologische Arbeiten bestätigen ab diesem Zeitpunkt die Etablierung eines neuen Strömungssystems mit einer dominanten von Süden nach Norden gerichteten Strömung (KEUPP 1992, KEUPP & MUTTERLOSE 1994). Oxische Bedingungen, das Auftreten von tethyalen Floren und Faunen sowie höhere Wassertemperaturen zeigen, daß sich das NSB von einem relativ abgeschlossenen Nebenmeer zu einem stärker pelagisch beeinflussten Randmeer entwickelt hat.

Im Ober-Apt kam es infolge eines Klimaeinbruchs zu einer Unterbrechung der Transgressionsphase und einem damit verbundenen Sedimentationswechsel (TYSON & FUNNELL 1987, KEMPER 1987). Anstelle der hellen bunten *Hedbergella*-Mergel treten im NSB dunkle, karbonatarme Tonsteine auf.

Die bis in das Unter-Alb andauernde Kälteperiode führte zu Beginn dieses Zeitabschnittes ebenfalls zur Ablagerung dunkler Tone. Dem generellen Erwärmungstrend der Unterkreide folgend, setzten jedoch relativ schnell erneut weitere Transgressionsschübe ein, durch die im Alb alle noch im NSB vorhandenen Inseln und weite Teile der bisherigen Landmassen überflutet wurden (KEMPER 1978, KEMPER & ZIMMERLE 1982, MUTTERLOSE 1995). Neben den bestehenden Wasserstraßen erfolgte eine zusätzliche Anbindung des NSB an die Tethys über das Pariser Becken im Süden (Abb. 3). Von Polen bis nach Mittelengland erstreckte sich ein einheitlicher, pelagisch geprägter Ablagerungsraum.

Die Sedimente des Mittel- und Ober-Alb setzen sich im zentralen Teil des Niedersächsischen Beckens überwiegend aus lithologisch sehr homogenen, mittel- bis dunkelgrauen Ton- und Mergeltonsteinen zusammen. In den südlichen Randgebieten entwickelte sich dagegen eine biosilicische Fazies mit Diatomeen, Radiolarien und Kieselschwämmen („Flammenmergel“ des Alb) und dunklen Tonen mit leichten Anreicherungen an organischem Material (WEHNER 1982).

Die als Flammenmergel bezeichneten glaukonit-, phosphorit- und kieselsäurereichen Ablagerungen stellen nach KEMPER (1982) typische Auftriebssedimente dar. Sie werden auf den Zufluß kalter, sauerstoffgesättigter, nährstoffreicher Tiefenwässer aus den nördlich gelege-

nen, arktischen Meeresbecken zurückgeführt. Die Anreicherungen an organischem Kohlenstoff in den dunklen Tonen bringt KEMPER (1982) mit einer lokalen Sauerstoffminimumzone, induziert durch eine höhere Primärproduktion im Auftriebsgebiet vor dem mitteleuropäischen Festland, in Verbindung.

Während der gesamten Unterkreide ist das NSB durch eine zum Teil starke Subsidenz charakterisiert, die in Kombination mit einem hohen terrigenen Eintrag im Beckenzentrum zu großen Sedimentmächtigkeiten führte. Entsprechend hoch sind die Sedimentationsraten, die für die Schichtfolgen Apt und Alb bei etwa 4 - 12 cm/ka liegen (BCCP-GROUP 1994).

3. Probenmaterial und Methodik

Die in dieser Arbeit untersuchten Sedimentproben aus der Unterkreide von Hannover entstammen den Kernbohrungen Hoheneggelsen KB40 (Unter-Apt) und Kirchrode II/94 (Unter- bis Ober-Alb). Die zeitliche Einordnung des Probenmaterials erfolgte anhand biostratigraphischer Daten durch die an dem Projekt beteiligten paläontologischen Arbeitsgruppen:

- Mikropaläontologie: CEPEK, FENNER, TY-SZKA, WEIß (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover), KEUPP (Institut für Paläontologie, TU-Berlin), BISCHOFF, MUTTERLOSE (Institut für Geologie, Univ. Bochum)
- Ammoniten-Stratigraphie: OWEN (Natural History Museum, London)
- Palynologie: PRAUSS, RIEGEL (Institut für Geologie und Paläontologie, Univ. Göttingen)

Probenahme, Probenaufbereitung, angewandte Meßtechniken sowie Angaben zu Richtigkeit und Genauigkeit der Daten sind ausführlich in Anhang A2 dargestellt, so daß hier nur ein kurzer Überblick zur Methodik gegeben wird.

3.1. Hoheneggelsen KB40

Aus dem Kern Hoheneggelsen KB40 wurden insgesamt 233 Proben mittels Röntgenfluoreszenzanalyse auf 10 Hauptelemente und 14 Spurenelemente analysiert. Zusätzlich wurden an einigen Proben As-, Cd-, C-, S-, Se-Gehalte sowie S-Isotopen-Werte und der Pyritisierungsgrad (DOP) bestimmt. Für einige Sedimentabschnitte (dunkle Tonsteinfohle, Fischschiefer) wurden bereits vorliegende C- und S-Daten aus der Arbeit von LOKAY (1994) übernommen.

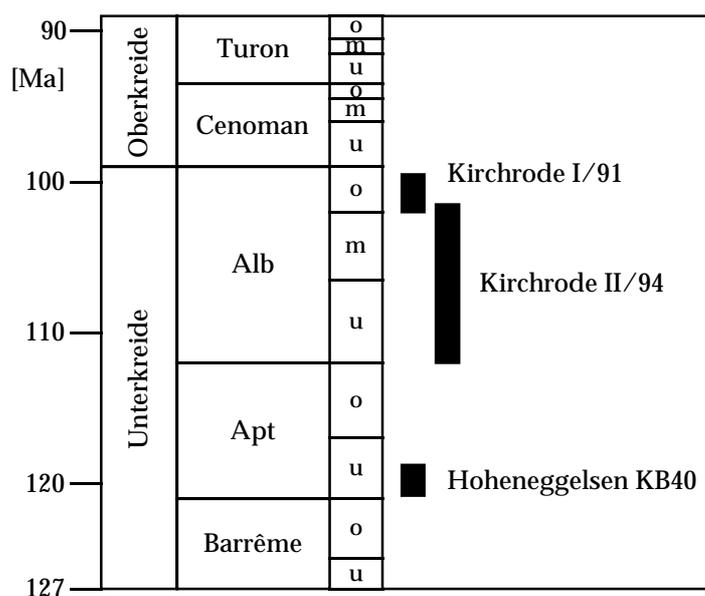


Abb. 4: Stratigraphische Einordnung des untersuchten Probenmaterials. Die Zeitskala stammt von GRADSTEIN et al. (1994).

- Probenraster:

0,01 m

(Übergang dunkle Tonsteinfolge -> Fischeschiefer, Fischeschiefer -> *Hedbergella*-Mergel)

0,05 m

(Fischeschiefer)

0,10 - 0,30 m

(dunkle Tonsteinfolge, *Hedbergella*-Mergel)

- Analytik:

Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Hauptelemente (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti)

Spurenelemente (Ba, Ce, Co, Cr, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr)

Graphitrohr-Atom-Absorptions-Spektrometrie (GAAS)

Cd

Hydrid-Atom-Absorptions-Spektrometrie (Hydrid-AAS)

As, Se

Induktiv gekoppeltes Plasma-Atom-Emissions-Spektrometrie (ICP-AES)

HCl-löslicher Fe-Anteil
(zur Berechnung des DOP-Wertes)

Massenspektrometrie (C-irMS)

$\delta^{34}\text{S}$

Coulometrie

S, C_{ges}, TOC

Röntgendiffraktometrie

Tonmineralzusammensetzung

3.2. Kirchrode II/94

Die Sedimente des 280 m langen Bohrkerns Kirchrode II/94 (KiII) entsprechen bis zu einer Kerntiefe von etwa 150 m der Abfolge der 1991 abgeteufte Forschungsbohrung Kirchrode I/91 (KiI) (FENNER et al. 1996, ROSE et al. 1996). Daher konzentrieren sich die in dieser Ar-

beit vorgestellten geochemischen Analysen auf den unteren Kernabschnitt von 130 - 280 m. Insgesamt wurden 320 Proben mittels Röntgenfluoreszenzanalyse auf ihren Haupt- und Spurenelementchemismus untersucht. An ausgewähltem Probenmaterial wurden zusätzlich die Gehalte der Seltenen Erden Elemente und weiterer Spurenelemente bestimmt. Um eine optimale Vergleichbarkeit zu den Ergebnissen von KiI zu gewährleisten, erfolgten Probenahme und geochemische Analysen analog.

- Probenraster:

0,5 m

- Analytik:

Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Hauptelemente (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti)

Spurenelemente (Ba, Ce, Co, Cr, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr)

Induktiv gekoppeltes Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS)

Lanthaniden (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)

weitere Spurenelemente (Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Li, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U, V, Y, Zn, Zr)

Schwefel-Gehalte sowie Gesamt- (C_{ges}) und Karbonatkohlenstoff (C_{min}) wurden coulometrisch von der Arbeitsgruppe „Organische Geochemie, Oldenburg“ bestimmt und allen am Projekt beteiligten Arbeitsgruppen zur Verfügung gestellt. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff (TOC) berechnen sich aus der Differenz von Gesamt- und Karbonatkohlenstoffdaten.

Bei der Interpretation und Darstellung der geochemischen Parameter wird der Datensatz von KII (RACHOLD 1994) mit berücksichtigt. Die Parallelisierung beider Kernbohrungen erfolgte mittels geophysikalischer und biostratigraphischer Bestimmungen (ROSE et al. 1996, FENNER et al. 1996). Die geochemischen Daten stimmen ebenfalls gut überein, so daß beide Kerne als ein Gesamtprofil betrachtet werden können.

4. Geochemische Charakterisierung der Sedimente

4.1. Hoheneggelsen KB40 (Unter-Apt)

Die ca. 30 km SE von Hannover gelegene Kernbohrung „Hoheneggelsen KB40“ zeigt eine Abfolge tonig-mergeliger, teilweise laminiertes Sedimente des frühen Unter-Apt. Erfasst werden die lithologischen Einheiten dunkle Tonsteinfohle mit Einschaltungen laminiertes Blättertonhorizonte, Fischschiefer und *Hedbergella*-Mergel (Abb. 5).

Um reine Verdünnungseffekte durch z.B. Karbonat (Abb. 5), organisches Material oder schwankende Korngrößenzusammensetzungen bei der Erklärung von Elementvariationen auszuschließen, wird in dieser Arbeit häufig eine Normierung der Elementgehalte auf Al durchgeführt.

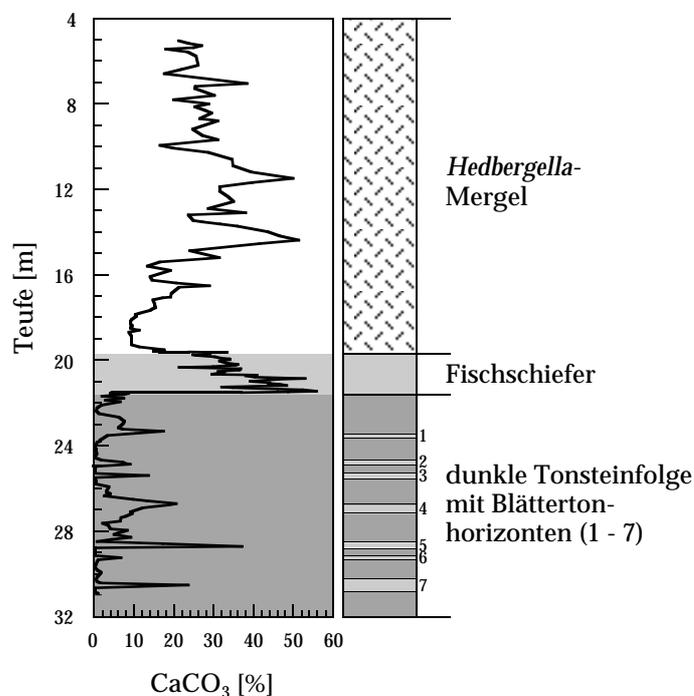


Abb. 5: Lithologische Ansprache und CaCO_3 -Gehalte im Tiefenprofil der Bohrung Hoheneggelsen KB40.

4.1.1. Elementchemismus

Hauptelemente

Das untersuchte Probenmaterial kann als Mischung von tonig-detritischem Material mit variierenden Karbonatanteilen charakterisiert werden (Abb. 6). Ähnliche Ergebnisse lieferten Untersuchungen an Proben der Parallelbohrung Hoheneggelsen KB50 (RACHOLD 1994) und der in der Nähe von Hannover abgeteufte Forschungsbohrung Wiechendorf 1/86 (RACHOLD & BRUMSACK 1995). Hohe Gehalte an Quarz oder biogener Kieselsäure treten nicht auf.

Die gute Korrelation im Gesamtprofil von SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 sowie der Spurenelemente Zr, Rb, Ba und Nb untereinander (Tab. 1) verdeutlicht den Eintrag dieser Elemente mit terrigenem Detritus. Variationen von Element/Al-Verhältnissen innerhalb des Tiefenprofils sind auf den unterschiedlichen Eintrag von Quarz (Si), Schwermineralen (Ti, Zr, Rb, Nb) und Änderungen in der Tonmineralzusammensetzung (Si, Al, K) zurückzuführen. Insgesamt niedrige Element/Al-Verhältnisse, zum Teil weit unter denen eines mittleren Tonschiefers (WEDEPOHL 1971, 1991) sind durch die relativ hohen Al-Gehalte der untersuchten Proben bedingt. Die Al-Anreicherung ist in Abb. 6 gut

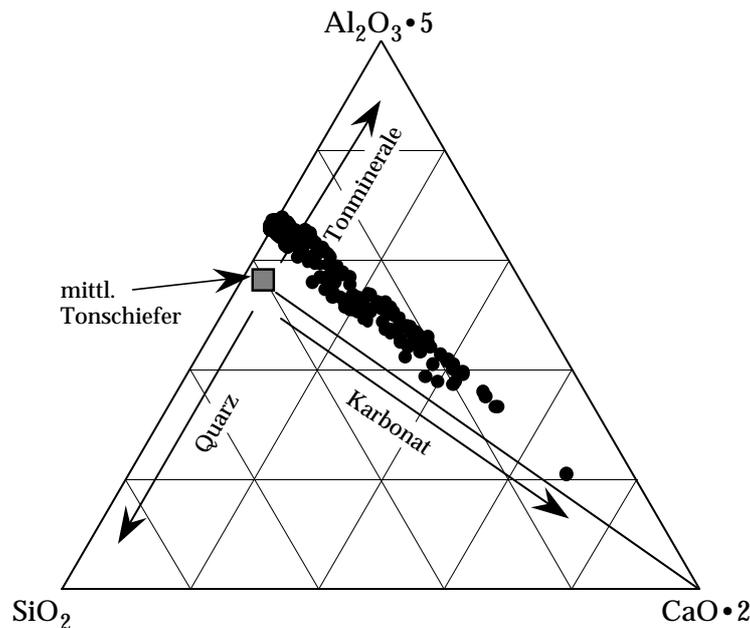


Abb. 6: Al_2O_3 - SiO_2 - CaO - Dreiecksdiagramm der Proben Hoheneggelsen KB40 (mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971).

erkennbar. Das detritische Endglied der durch Karbonat verdünnten Proben liegt deutlich oberhalb des Wertes eines mittleren Tonschiefers.

Eine signifikante Änderung im Hauptelementchemismus ist vor und nach Ablagerung des Fischschiefers erkennbar (Abb. 7): Si/Al-, Ti/Al- und Zr/Al-Verhältnisse nehmen ab, während die K/Al-Verhältnisse ansteigen. Wie die hochauflösende Bearbeitung des Profils zeigt, beginnt die Entwicklung allmählich im oberen Teil der dunklen Tonstein-

folge (DTF) ab 22,5 m, bis sich im Fischschiefer (FS) relativ stabile Bedingungen einstellen. Nach Ablagerung des Fischschiefers (bei ca. 17 m Teufe im Kernprofil) steigen die Element/Al-Verhältnisse von Si, Ti, und Zr wieder in etwa auf ihre ursprünglichen Werte an, während die K/Al-Verhältnisse weiterhin den Werten des Fischschiefers entsprechen. Ab 12 m Teufe nehmen die Werte von K/Al und Si/Al erneut geringfügig zu.

Bei Betrachtung der drei Elemente Si, Al und K zeigt sich, daß vor und nach

Tab. 1: Korrelationskoeffizienten (r) ausgesuchter Haupt- und Spurenelemente (p-Wert <0,0001; n = 228) der Proben des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40. Nicht bei der Berechnung berücksichtigt wurden fünf Konkretionen.

| | | | | | | | |
|--|-------|--|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| SiO_2 - TiO_2 | 0,991 | TiO_2 - Al_2O_3 | 0,974 | Al_2O_3 -Rb | 0,969 | Ba-Zr | 0,736 |
| SiO_2 - Al_2O_3 | 0,960 | TiO_2 -Ba | 0,863 | Al_2O_3 -Zr | 0,899 | Nb-Rb | 0,687 |
| SiO_2 - K_2O | 0,878 | TiO_2 -Nb | 0,778 | K_2O -Ba | 0,922 | Nb-Zr | 0,802 |
| SiO_2 -Ba | 0,848 | TiO_2 -Rb | 0,927 | K_2O -Nb | 0,693 | Rb-Zr | 0,843 |
| SiO_2 -Nb | 0,770 | TiO_2 -Zr | 0,961 | K_2O -Rb | 0,960 | Ca-Sr | 0,909 |
| SiO_2 -Rb | 0,935 | Al_2O_3 - K_2O | 0,908 | K_2O -Zr | 0,765 | | |
| SiO_2 -Zr | 0,964 | Al_2O_3 -Ba | 0,934 | Ba-Nb | 0,591 | | |
| TiO_2 - K_2O | 0,865 | Al_2O_3 -Nb | 0,727 | Ba-Rb | 0,940 | | |

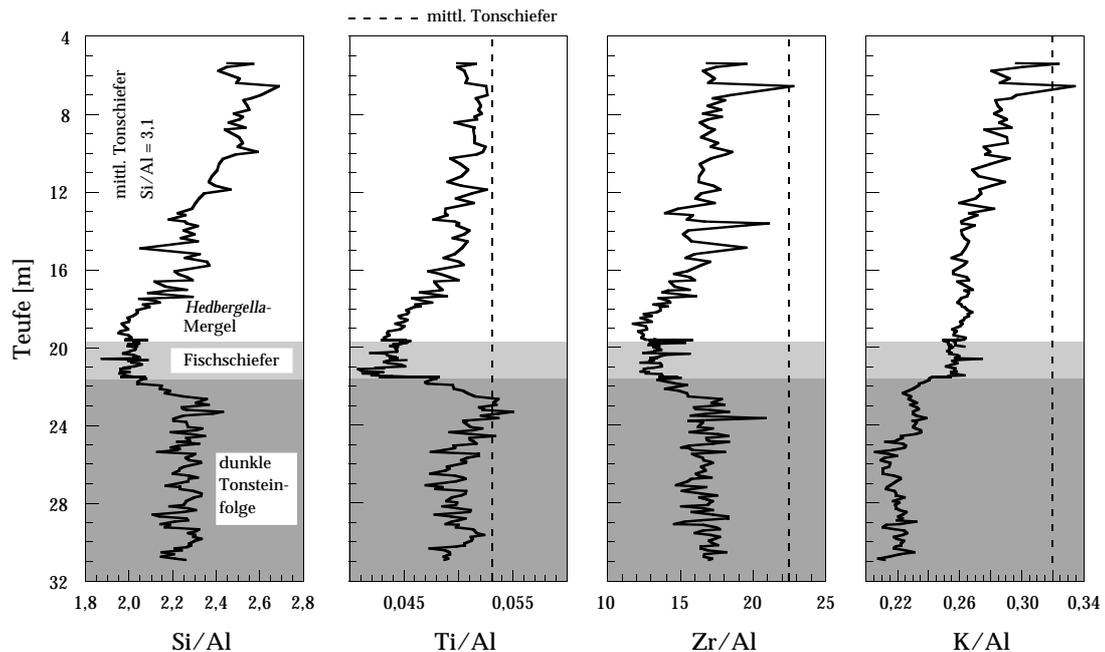


Abb. 7: Tiefenprofile der Element/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh.] von Si, Ti und K sowie von Zr/Al [Gew.-Verh. $\cdot 10^4$] im Bohrkern Hoheneggelsen KB40 (mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971).

Ablagerung des Fischschiefers, im Vergleich zu Al und K, Si die relativ geringste Schwankungsbreite aufweist. Mit Ablagerung des Fischschiefers werden die vergleichsweise höchsten K- und Al-Werte erreicht (Abb. 8). In der dunklen Tonsteinfolge treten die relativ geringsten K-Werte auf. Im Fischschiefer werden maximale relative K-Gehalte erreicht, die in den *Hedbergella*-Mergeln wiederum abfallen, sich aber auf einem höheren Niveau als in der dunklen Tonsteinfolge einpendeln. Die relativen Al-Werte durchlaufen ebenfalls im Fischschiefer ein Maximum und nehmen in den *Hedbergella*-Mergeln nahezu kontinuierlich ab. Mineralogische Untersuchungen belegen, daß die Variationen dieser Elementverhältnisse einerseits durch Unterschiede im Quarzgehalt (Si), andererseits durch Änderung der tonmineralogischen

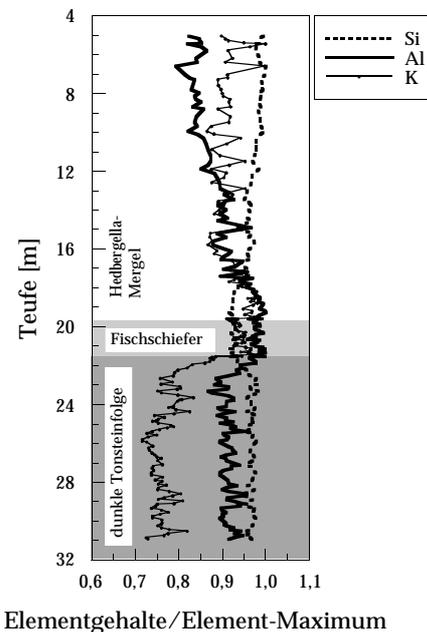


Abb. 8: Tiefenprofil der relativen Elementgehalte von Si, Al und K im Bohrkern Hoheneggelsen KB40 (Elementgehalte dividiert durch den jeweiligen Element-Maximalwert).

Zusammensetzung (Al, K, Si) erklärt werden können.

Den Hauptbestandteil der Tonminerale in den hier untersuchten Sedimenten stellt Illit mit einem durchschnittlichen Anteil von 55 %. Als weiteres wichtiges Tonmineral tritt Kaolinit (28 %) auf. Chlorit und Vermiculit/Illit-Wechsellaagerungsminerale („mixed-layers“) stellen zusammen einen Anteil von durchschnittlich 17 %. Die Angaben beziehen sich auf Mittelwerte der Fraktion $<20\ \mu\text{m}$ (BENESCH 1998).

Wie aus Abb. 9 ersichtlich, sind allerdings deutliche Unterschiede in der Tonmineralzusammensetzung von dunkler Tonsteinfolge, Fischschiefer und *Hedbergella*-Mergeln zu beobachten.

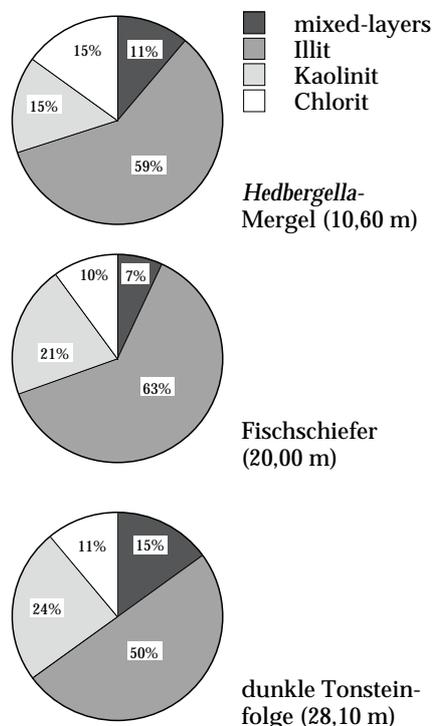


Abb. 9: Prozentuale Tonmineralverteilung der Fraktion $<2\ \mu\text{m}$ für 3 Proben aus dem Kern Hoheneggelsen KB40 (diese Arbeit).

Im Gegensatz zur dunklen Tonsteinfolge weisen die Sedimente des Fischschiefers und der *Hedbergella*-Mergel einen deutlich höheren Anteil an Illit auf, wobei maximale Gehalte im Fischschiefer auftreten (Abb. 9). Die Zunahme von Illit im Fischschiefer erfolgt vor allem zuungunsten von Chlorit und der mixed-layer Minerale, während der Kaolinitanteil im Vergleich zur dunklen Tonsteinfolge nur geringfügig abnimmt. In den *Hedbergella*-Mergeln ist, bei einem relativ hohen Illit-Anteil und mit der dunklen Tonsteinfolge vergleichbaren Gehalten an Chlorit und mixed-layer Mineralen, eine Abnahme von Kaolinit zu verzeichnen.

Da Illit eine wichtige Mineralphase für K darstellt und Feldspäte in diesen Sedimenten nur untergeordnet auftreten, können die Variationen von K auf die unterschiedlichen Illitanteile der Sedimente zurückgeführt werden (s.a. RUFFEL & BATTEN 1995, BENESCH 1998). Die Al-Gehalte variieren ebenfalls entsprechend der Mineralzusammensetzung. Da jedoch Al in allen Tonmineralen als Hauptbestandteil auftritt, lassen sich die Änderungen im Tiefenprofil nicht eindeutig mit einem spezifischen Tonmineral in Beziehung setzen.

Die geringeren Si-Gehalte im Fischschiefer sind nach mineralogischen Untersuchungen hauptsächlich durch einen niedrigeren Quarzanteil in diesem Sediment zu erklären (BENESCH 1998).

TOC- und S-Gehalte / Pyritisierungsgrad (DOP) / S-Isotopie

Geringe TOC- und S-Gehalte (TOC <0,7 %, S ≤0,04 %) belegen den oxischen Charakter der bunten *Hedbergella*-Mergel. Die im unteren Kernabschnitt auftretenden dunklen Tone und laminierten Mergel zeichnen sich dagegen durch hohe TOC-Gehalte (durchschnittlicher TOC-Gehalt der dunklen Tonsteinfole 2,11 %, des Fischeschiefers 4,81 %) und das Auftreten von Pyrit (FeS₂) aus.

Die Bildung von Pyrit ist im wesentlichen ein mikrobiell ausgelöster, frühdiagenetischer Prozeß (BERNER 1984). Limitierende Faktoren sind die Verfügbarkeit von metabolisierbarem organischen Material sowie das Angebot an Sulfat und Eisen.

Sobald energetisch günstigere Oxidationsmittel (Sauerstoff, Mn^(IV), Nitrat, Fe^(III)) zum Abbau organischer Substanzen nicht mehr ausreichend zur Verfügung stehen, oxidieren anaerobe Bakterien TOC mit Hilfe des bei der bakteriellen Reduktion von Sulfat gewonnenen Sauerstoffs, wobei gleichzeitig H₂S und CO₂ erzeugt werden (FROELICH et al. 1979, JØRGENSEN 1982). Über verschiedene Zwischenprodukte reagiert H₂S mit zweiwertigem Eisen schließlich zu Pyrit und wird im Sediment fixiert (BERNER 1984).

Die gute Korrelation zwischen Schwefel und Gesamteisen (Abb. 10) sowie mineralogische Untersuchungen (BENESCH 1998) belegen, daß Eisen bzw. Schwefel in der dunklen Tonsteinfole, den Blättertonhorizonten und dem Fischeschiefer überwiegend als Pyrit gebunden vorliegen.

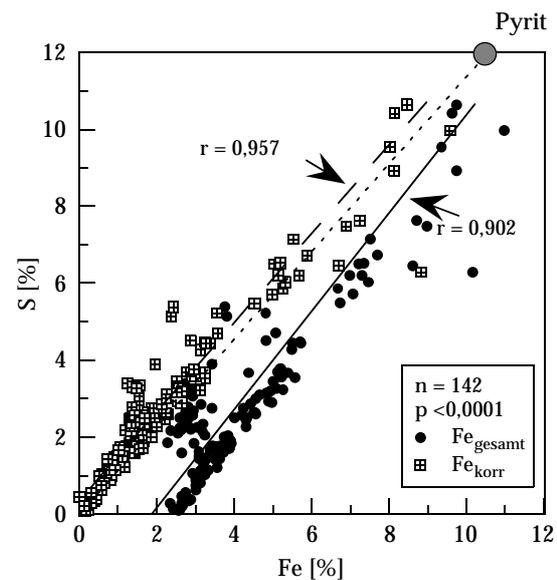


Abb. 10: Korrelation von Fe_{korr} und Fe_{gesamt} zu S in Proben des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40 mit Ausnahme der *Hedbergella*-Mergel.

Unter der Annahme, daß der silikatische Eisenanteil der Proben nicht für die Pyritbildung zur Verfügung steht, wurde in Abb. 10 neben den original Fe- und S-Daten auch die Korrelation zwischen S und „verfügbarem“ Fe (Fe_{korr}) dargestellt, wobei:

$$\text{Fe}_{\text{korr}} = \text{Fe}_{\text{gesamt}} - 0,22 \cdot \text{Al}$$

Es wird dabei davon ausgegangen, daß ein Fe/Al-Verhältnis von 0,22 (zugleich das geringste Fe/Al-Verhältnis im gesamten Datensatz), den Fe-Gehalt der silikatischen Komponente repräsentiert. Unter Berücksichtigung des silikatisch gebundenen Eisenanteils liegen die Werte dieser Sedimente bis auf wenige Ausnahmen auf oder oberhalb der Pyrit-Linie (2S/Fe = 1,15). Datenpunkte oberhalb dieser Linie entsprechen Proben aus dem Fischeschiefer und den Blättertonlagen der dunklen Tonsteinfole.

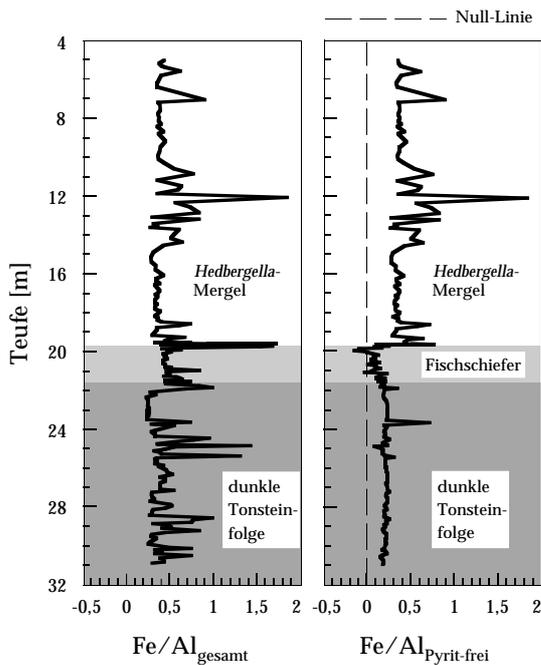


Abb. 11: $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{gesamt}}$ - und $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ -Verhältnisse [Gew.-Verh.] im Bohrkern Hoheneggelsen KB40.

In Abb. 11 sind die Al-Verhältnisse von $\text{Fe}_{\text{gesamt}}$ und $\text{Fe}_{\text{Pyrit-frei}}$ gegenübergestellt.

$$\text{Fe}_{\text{Pyrit-frei}} = \text{Fe}_{\text{gesamt}} - \text{Fe}_{\text{Pyrit}}$$

Fe_{Pyrit} wurde aus den S-Gehalten berechnet, unter der Annahme, daß sämtlicher Schwefel als Pyrit gebunden vorliegt (vgl. Abschnitt DOP).

Entsprechend der geringen Schwefelgehalte in den *Hedbergella*-Mergeln entspricht in diesen Sedimenten das $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ -Verhältnis in etwa den Werten von $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{gesamt}}$. Für die dunkle Tonsteinfolge einschließlich der Blättertonhorizonte liegt das $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ -Verhältnis bei etwa 0,2. Da in einigen Lagen dieser Sedimentabfolge zum Teil ebenfalls sehr geringe S-Gehalte auftreten (z.B. im Bereich zwischen 22 - 24 m Kerntiefe, s.a. S/Al-Verhältnisse in Abb. 18, Seite 24) entsprechen in diesem Fall die Werte von $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ auch hier dem $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{gesamt}}$ -

Verhältnis. In den Blättertonhorizonten der dunklen Tonsteinfolge, die ein relativ hohes Fe/Al -Verhältnis aufweisen ($>0,5$), sind die $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ -Verhältnisse im Vergleich zu den $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{gesamt}}$ -Verhältnissen deutlich geringer. Noch niedrigere Werte ergeben sich für den Fischschiefer, wobei die $\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}}$ -Verhältnisse einiger Proben sogar unter Null liegen. Die nahezu vollständige Pyritisierung des gesamten, also auch des silikatisch gebundenen Eisenanteils (s.a. CANFIELD et al. 1992), der in einigen Proben überschüssige Schwefelanteil ($\text{Fe}/\text{Al}_{\text{Pyrit-frei}} < 0$) sowie die Anreicherung spezifischer Spurenmetalle (Cd, Mo, Se) sprechen für H_2S -haltiges Poren- oder auch Bodenwasser bei Ablagerung des Fischschiefers. Limitierender Faktor der Pyritgenese ist vermutlich der Eisengehalt der Sedimente, da neben Schwefel auch noch relativ hohe TOC-Gehalte im Sediment vorliegen.

Zur Differenzierung zwischen oxidischen, suboxidischen und anoxischen Bedingungen während der Ablagerung der Sedimente wurde außerdem der Pyritisierungsgrad „Degree of Pyritisation“ (DOP) (LEVENTHAL & TAYLOR 1990, BERNER 1970) an ausgewählten Proben bestimmt.

$$\text{DOP} = \frac{\text{Fe}_{\text{py}}}{\text{Fe}_{\text{py}} + \text{Fe}_{\text{x}}}$$

$$\text{Fe}_{\text{py}} = \text{S}_{\text{ges}} \cdot 0,871 \text{ (pyritischer Fe-Anteil)}$$

$$\text{Fe}_{\text{x}} = \text{säurelöslicher bzw. reaktiver Anteil}$$

DOP-Werte kleiner 0,42 deuten auf Ablagerung in einer normal marinen, oxidischen Wassersäule hin. Werte von 0,42

bis 0,7 zeigen ein suboxisches Milieu an und Werte größer 0,7 anoxische Sedimente mit freiem H_2S in der Wassersäule (RAISWELL et al. 1988, ANDERSON et al. 1987). In Übereinstimmung mit den bisherigen Resultaten ergeben sich für die *Hedbergella*-Mergel niedrige DOP-Werte, für den Fischschiefer und die dunkle Tonsteinfolge höhere Werte (Abb. 12).

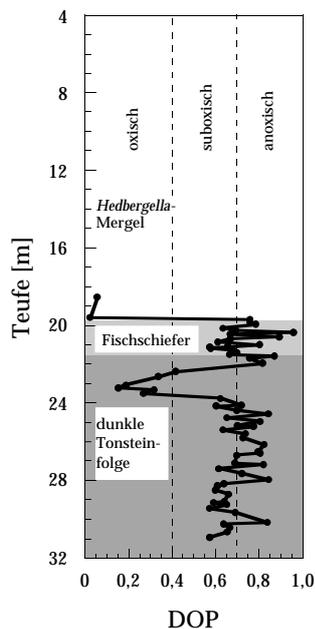


Abb. 12: Pyritisierungsgrad (DOP) einiger Proben aus der Bohrung Hoheneggelsen KB40.

Im Durchschnitt zeigt der Fischschiefer mit 0,72 die höchsten DOP-Werte und liegt damit knapp in dem als „anoxisch“ definierten Bereich. Einen ähnlichen Wert weist die dunkle Tonsteinfolge auf (0,71), wenn ein ca. 1,3 m mächtiger Bereich unterhalb des Fischschiefers (im Profilabschnitt 22,38 - 23,68 m) bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt wird. Dieser Bereich weist DOP-Werte $\leq 0,42$ auf. Bei einer durchschnittlichen Sedimentationsrate des Unter-Apt von

3 cm/ka (GRADSTEIN et al. 1994) hätten damit ca. 40.000 Jahre lang oxische Verhältnisse vor Ablagerung der anoxischen Fischschiefersedimente geherrscht. Die DOP-Werte der in die dunkle Tonsteinfolge eingeschalteten Blättertonhorizonte liegen im Durchschnitt geringfügig niedriger (0,66) als im Fischschiefer, während andere Parameter, wie C, S oder Mo, zum Teil ähnlich hohe Gehalte aufweisen und damit anoxische Ablagerungsbedingungen vermuten lassen.

Eine Verfälschung der DOP-Werte, d.h. zu geringe Werte könnten dadurch verursacht werden, daß ein Teil des Eisens als Karbonat gebunden vorliegt. Tatsächlich weisen einige Proben, insbesondere aus dem Fischschiefer eine relativ gute Korrelation zwischen Fe/Al- und Ca/Al-Verhältnissen auf (Abb. 13), so daß eine Bindung des Eisens an Karbonat nicht auszuschließen ist. Möglicherweise kann aufgrund dessen eine eindeutige Unterscheidung zwischen anoxischen und suboxischen Ablagerungsbedingungen der drei Lithofazies Fischschiefer, Blättertonhorizonte und dunkle Tonsteinfolge ausschließlich anhand von DOP-Werten nicht getroffen werden.

Mineralogisch wird eine sideritische, bzw. eine Mn-Fe-Karbonatphase nur für TOC-arme Sedimente beschrieben (BENESCH 1998). Hinweise auf sideritische Bildungen z.B. im TOC-reichen Fischschiefer gibt es diesbezüglich nicht.

Die Beziehung von organischem Material zu Gesamtschwefel im Sediment der Proben des Kerns Hoheneggelsen

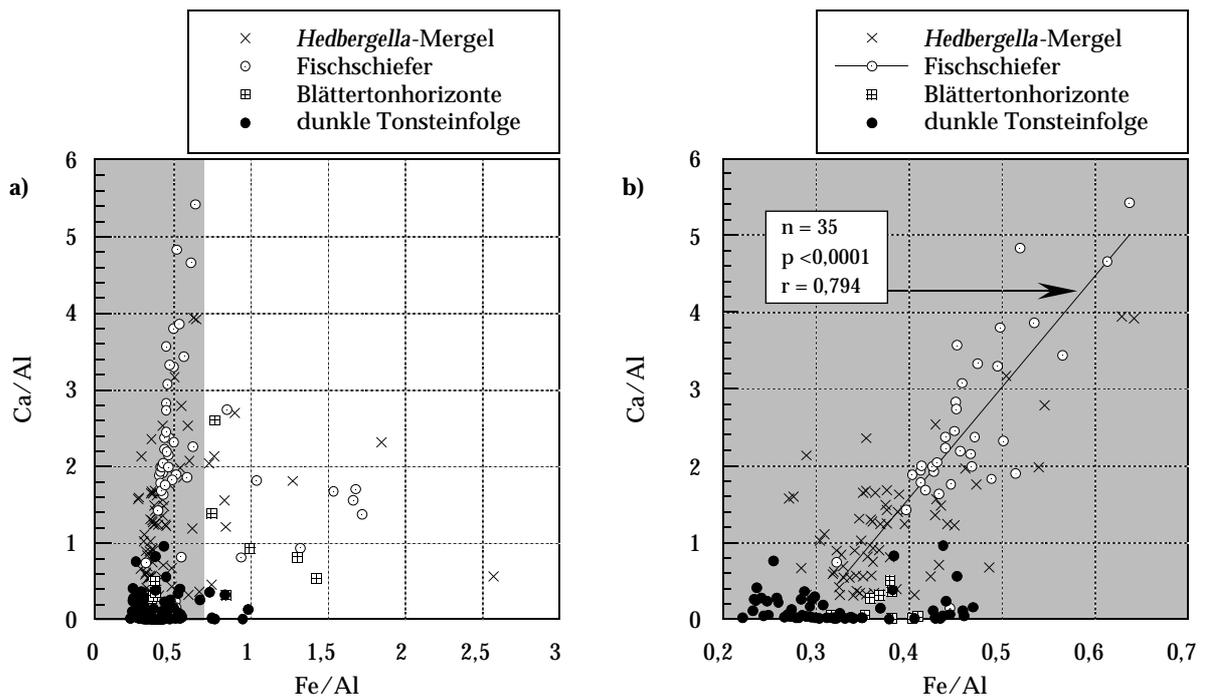


Abb. 13: (a) Korrelation der Ca/Al- und Fe/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh.] von Proben des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40; (b) Ausschnitt aus (a) - Fe/Al-Intervall von 0,2 bis 0,7.

KB40 ist in Abb. 14 dargestellt. In einem normal marinen, oxischen Milieu wird die Ausbildung reduzierender Bedingungen in oberflächennahen Sedimenten und damit die Pyritbildung durch die Quantität und Qualität des organischen Materials kontrolliert und es besteht eine positive Korrelation zwischen (Pyrit-) Schwefel zu organischem Kohlenstoff in einem relativ konstanten Verhältnis von $S/TOC = 0,37$ (LEVENTHAL 1983, BERNER 1984). Unter anoxischen Bedingungen im Bodenwasser führt die Anwesenheit von H_2S zur Bildung von Pyrit in der Wassersäule. Daraus resultiert eine Anreicherung von Schwefel im Sediment unabhängig vom organischen Kohlenstoffgehalt. Wie Abb. 14 zeigt, liegen bis auf wenige Ausnahmen alle Proben des Fischechiefers und der dunklen Tonsteinfolge oberhalb der Geraden, die das Verhältnis von Pyritschwefel zu organi-

chem Kohlenstoff unter normal marinen, oxischen Bedingungen beschreibt und es besteht keine Korrelation zwischen S und TOC. Dementsprechend kann bei der Sedimentation dieser TOC-reichen Ablagerungsfolge von sub- bis

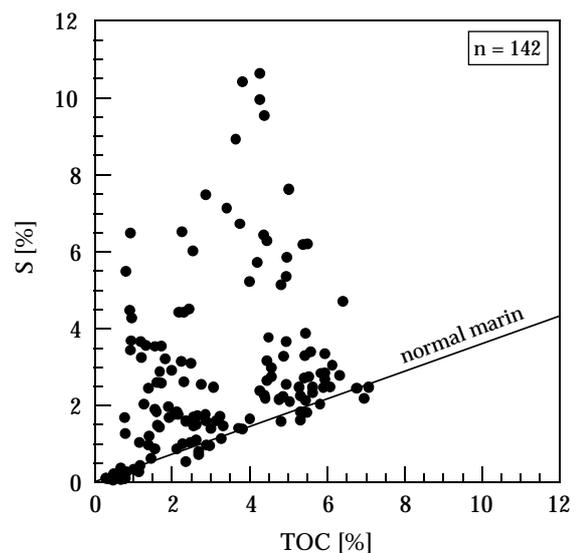


Abb. 14: Korrelation zwischen TOC und S von Proben des Fischechiefers und der dunklen Tonsteinfolge einschließlich der Blättertonhorizonte im Bohrkern Hoheneggelsen KB40.

anoxischen Bedingungen im Bodenwasser ausgegangen werden.

Einen weiteren Parameter, der Aussagen über oxische bzw. anoxische Ablagerungsbedingungen ermöglicht, sehen STEIN (1986, 1990) und STEIN et al. (1989) in der Beziehung von (marinem) organischem Kohlenstoffgehalt zur Sedimentationsrate. Mit einem mittleren Gehalt von 4,81 % überwiegend marinem organischen Material und einer Sedimentationsrate von ca. 3,2 cm/ka (JENDRZEJEWSKI 1995) können für den Fischechiefer nach dem von STEIN (1986) definierten Verhältnis von TOC zu Sedimentationsrate eindeutig anoxische Ablagerungsbedingungen angenommen werden.

Einen Hinweis auf die Bedingungen während der Pyritgenese bzw. auf die Herkunft des abgelagerten Schwefels können $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ -Isotopen-Verhältnisse geben, da die bakterielle Sulfatreduktion mit einer kinetisch bedingten Isotopenfraktionierung verbunden ist (HOEFS 1987). Die Fraktionierung äußert sich in der relativen Anreicherung des leichteren ^{32}S -Isotopes in dem bei der bakteriellen Reduktion entstehenden Schwefelwasserstoff gegenüber dem koexistierenden Rest-Sulfat. Ein weiterer wichtiger mikrobieller Fraktionierungsprozeß findet bei der Disproportionierung von S^0 statt. So konnten CANFIELD & THAMDRUP (1994) zeigen, daß das bei der Disproportionierung gebildete Sulfid an ^{34}S gegenüber dem „original“ S^0 abgereichert ist. Durch die wiederholte Oxidation von Sulfid zu elementarem Schwefel mit an-

schließender Disproportionierung können die sedimentären Sulfide stärker an ^{34}S verarmt sein als das ursprünglich von sulfatreduzierenden Bakterien produzierte Sulfid (CANFIELD et al. 1998). Die Umsetzung (Oxidation, Reduktion, Disproportionierung) anderer Zwischenstufen im Schwefelkreislauf, wie z.B. Thio-sulfat oder Sulfit scheint ebenfalls einen nicht unbedeutenden Einfluß auf das S-Isotopenverhältnis zu haben (JØRGENSEN, 1990, HABICHT et al. 1998, CYPIONKA et al. 1998).

Die bakteriell bedingten Fraktionierungsbeträge der letzten 220 Ma gegenüber Meerwassersulfat liegen zwischen 35 ‰ bis 55 ‰ (CANFIELD 1996). Ausgehend von einem $\delta^{34}\text{S}$ -Wert (rel. CDT = Cañón Diablo Troilite; Definition von $\delta^{34}\text{S}$ siehe Anhang A2 (Methodik)) für Meerwassersulfat von 15 ‰ in der Kreide (NIELSEN 1979) sind in Pyriten mikrobieller Herkunft $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von etwa -40 ‰ bis -20 ‰ zu erwarten. Voraussetzung ist, daß die Sulfatreduktion in einem für Sulfat „offenen“ System, nahe an der Sediment-Wasser-Grenze oder, bei reduzierenden Verhältnissen, auch in der Wassersäule erfolgte (LYONS 1997).

Mit größerer Sedimenttiefe nimmt die diffusionsgesteuerte Zufuhr von Meerwassersulfat immer mehr ab, das System „schließt“ sich. In einem „geschlossenen“ System bleibt für die mikrobielle Umsetzung nur ein begrenztes Sulfat-Reservoir, so daß im Vergleich zum „offenen“ System ein größerer Anteil des angebotenen Sulfates reduziert wird.

Entsprechend „schwerer“ ist das produzierte Sulfid und die daraus gebildeten Pyrite weisen positivere $\delta^{34}\text{S}$ -Werte auf (JØRGENSEN 1979).

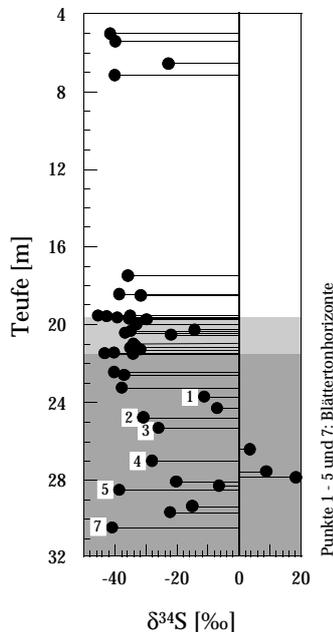


Abb. 15: Schwefel-Isotopen-Daten (rel. CDT) ausgesuchter Proben im Bohrkern Hoheneggelsen KB40.

Insgesamt niedrige $\delta^{34}\text{S}$ -Werte (im Mittel $-27,8$ ‰ rel. CDT) zeigen, daß der im Sediment vorhandene Pyrit durch bakterielle Sulfatreduktion in einem „offenen“ System nahe an der Sediment- Meerwasser-Grenze oder eventuell sogar in einer anoxischen Wassersäule gebildet wurde. Ausnahmen bilden drei Proben im unteren Abschnitt der dunklen Tonsteinfolge, die positive $\delta^{34}\text{S}$ -Werte aufweisen (Abb. 15). Mit $\delta^{34}\text{S}$ -Werten um $-15,8$ ‰ sind die Werte der dunklen Tonsteinfolge im Mittel positiver als die des Fischschiefers ($\delta^{34}\text{S} = -33,8$ ‰). Dies deutet darauf hin, daß die Zersetzung des organischen Materials und parallel dazu die Pyritbildung der dunklen Tonstein-

folge in einem „geschlosseneren“ System in tieferen Sedimentschichten erfolgte. Eine eindeutige Korrelation zwischen Isotopen-Daten und Ablagerungsmilieu ist allerdings nicht nachweisbar.

Mangan

Aufgrund der guten Löslichkeit von $\text{Mn}^{(II)}$ sind unter reduzierten Bedingungen abgelagerte Sedimente häufig an Mn verarmt, sofern keine Fixierung des Mn im Karbonat erfolgt ist (DEAN & ARTHUR 1987). Ausgesprochen geringe Mn/Al-Verhältnisse wurden für die dunkle Tonsteinfolge bestimmt ($\bar{\text{Mn/Al}} = 0,0014$ [Gew.-Verh.]). Unter der Annahme, daß das Mn/Al-Verhältnis des detritischen Materials ursprünglich mindestens dem eines mittleren Tonschiefers entsprach ($\text{Mn/Al} = 0,0078$ [Gew.-Verh.] (WEDEPOHL 1971)), wurden über 80 % des Mn mobilisiert. Die in der dunklen Tonsteinfolge zwischengeschalteten Blättertonhorizonte enthalten im Mittel etwas mehr Mn ($\text{Mn/Al} = 0,0028$, Tab. 3, Seite 27), jedoch sind auch diese Sedimente, bezogen auf mittlere Tonschieferdaten, signifikant an Mn verarmt. Die erkennbare Mn-Mobilisierung in der dunklen Tonsteinfolge und den Blättertonen ist mit dem Austrag suboxischer Wassermassen aus diesem Teil des Beckens zu erklären (LANDING & BRULAND 1980).

Hohe Mn-Gehalte des Fischschiefers lassen auf stagnierende Bedingungen in der Wassersäule zur Zeit der Ablagerung schließen. Das Mn/Al-Verhältnis des Fischschiefers entspricht in etwa dem des jurassischen *Posidonien*-Schiefers

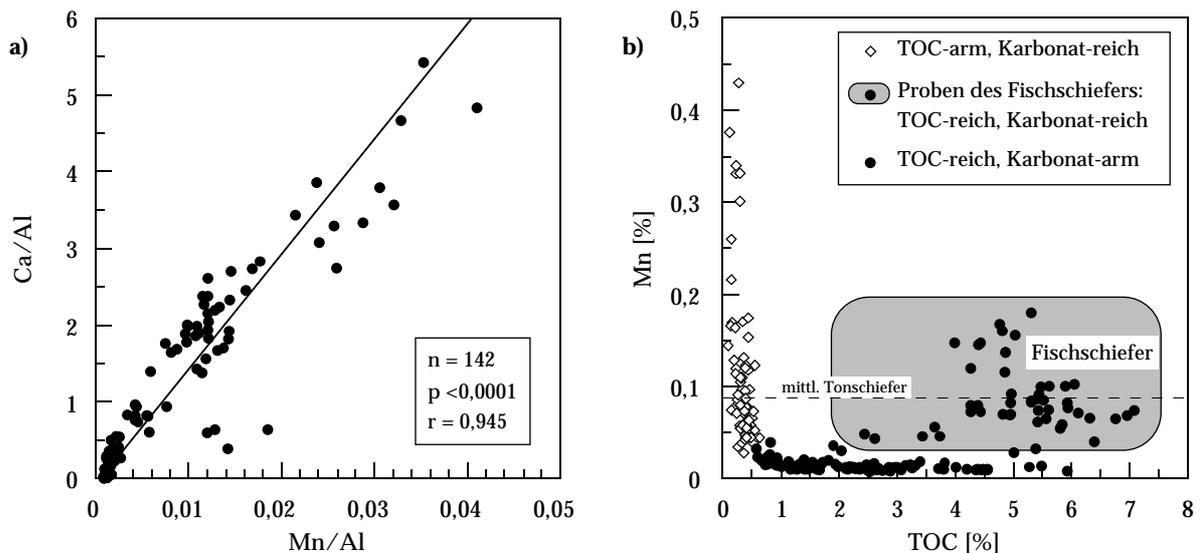


Abb. 16: (a) Korrelation von Mn/Al- und Ca/Al-Verhältnissen [Gew.-Verh.] im Fischeischiefer, der dunklen Tonsteinsfolge und Blättertonlagen des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40; (b) Abhängigkeit der Mn-Konzentration vom TOC- und CaCO_3 -Gehalt verschiedener Sediment-Abfolgen des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40 (verändert nach RACHOLD 1994, mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971).

oder dem rezenter Ablagerungen aus dem Schwarzen Meer (Tab. 3). Es liegt deutlich über den durchschnittlichen Mn/Al-Verhältnissen von Blättertonen und dunkler Tonsteinsfolge. Die gute Korrelation zwischen Mn/Al und Ca/Al in diesen Sedimenten (Abb. 16a) und der Zusammenhang zwischen Mn, TOC und CaCO_3 in den *Hedbergella*-Mergeln (TOC-arm, Karbonat-reich), im Fischeischiefer (TOC-reich, Karbonat-reich) und der dunklen Tonsteinsfolge (TOC-reich, Karbonat-arm) (Abb. 16b) zeigt die Mn-Fixierung in Karbonatphasen und verdeutlicht die „Fallenfunktion“ anoxischer Ablagerungsräume für dieses Element (BRUMSACK 1991, 1988).

Spurenelemente

Die Variation der Spurenelementgehalte im Tiefenprofil wird durch ihr Verhalten in der Wassersäule (konservativ, gekop-

pelt an biogene Kreisläufe, etc. (BRULAND 1983)), durch die Redoxverhältnisse in der Wassersäule und im Sediment zur Zeit der Ablagerung sowie durch den Eintrag an detritischem Material gesteuert. Zum Beispiel zeigt Sr eine ausgeprägte Korrelation zu Ca (Tab. 1), da es primär in das Karbonatgitter von Kalkschalern eingebaut wird. Ba, Zr und Rb werden, wie die gute Korrelation mit Al_2O_3 belegt, bei den hier untersuchten Proben überwiegend durch detritisches Material in das Sediment eingetragen (Tab. 1). Cr zeigt, außer in Proben der dunklen Tonsteinsfolge, ebenfalls eine gute Korrelation zu Al_2O_3 (Abb. 17, Tab. 2). In der dunklen Tonsteinsfolge kann daher für Cr mit hoher Wahrscheinlichkeit eine andere Art der Elementfixierung oder eine andere Eintragsquelle als ausschließlich durch detritisches Material angenommen werden.

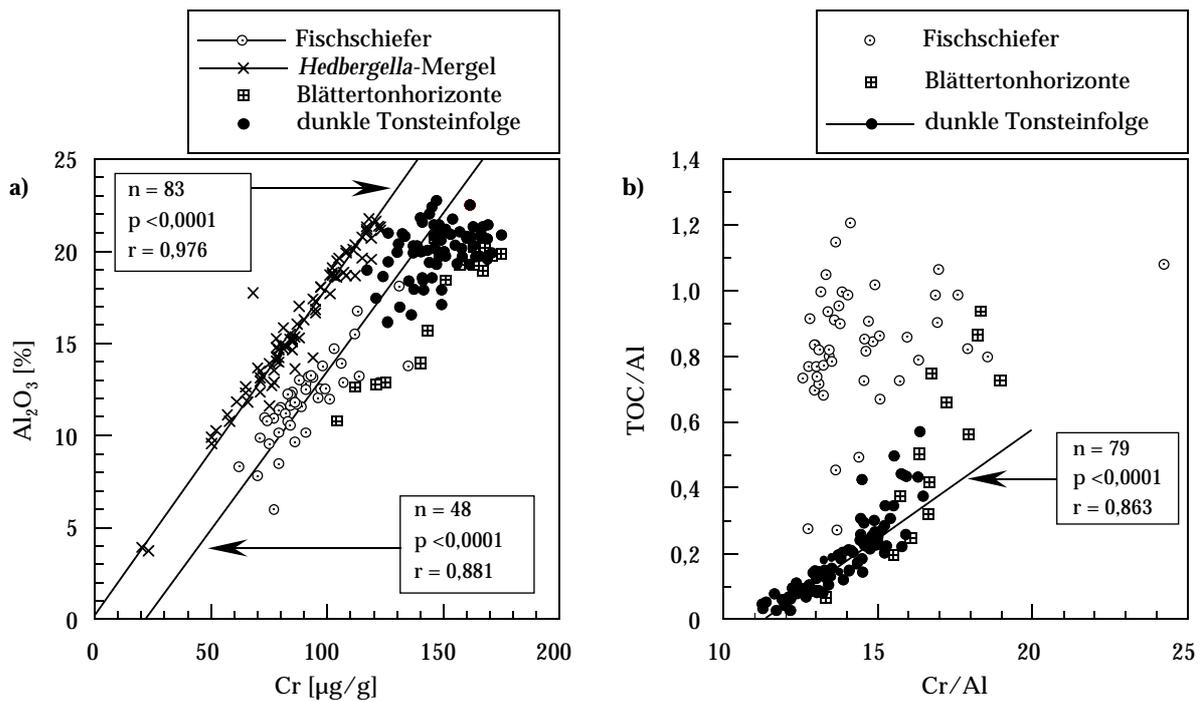


Abb. 17: (a) Korrelation von Cr und Al_2O_3 unterschiedlicher Sediment-Typen des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40; (b) Korrelation von Cr/Al [Gew.-Verh. $\cdot 10^4$] und TOC/Al [Gew.-Verh.] verschiedener Sediment-Abfolgen des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40.

Als redoxsensitives Element, dessen reduzierte Form schwerer löslich ist als die oxidierte, kann Cr unter sub- bis anoxischen Bedingungen im Sediment fixiert werden (CALVERT & PEDERSEN 1993). Dies ist im Kernprofil an den gegenüber einem Tonschiefer erhöhten Cr/Al-Verhältnissen in Fischeischiefer und dunkler Tonsteinfole deutlich erkennbar (Abb. 17). Die gute Korrelation der Al normierten Cr- und TOC-Gehalte in der dunklen Tonsteinfole (Abb. 17b) zeigt zudem die Bindung von Cr in bzw. an organisches Material (BRUMSACK & GIES-

KES 1983) oder die Adsorption an absinkende Partikeln (PIPER 1991). Möglicherweise können auch hydrodynamische Sortierungseffekte, wie sie von SHIMMIELD et al. (1990) und PEDERSEN et al. (1992) für Sedimente der Oman Margin beschrieben werden, eine Cr-Anreicherung und Korrelation zu TOC bewirken. Allerdings sollten sich signifikante Sortierungsprozesse auch in der Anreicherung von Elementen wie Ti oder Zr widerspiegeln, die in Schwerminerallogen angereichert werden. Dies ist jedoch nicht der Fall (Abb. 7, Abb. 18).

Tab. 2: Korrelationskoeffizienten (r) zwischen Cr mit Al_2O_3 und Cr/Al mit TOC/Al in der Kernbohrung Hoheneggelsen KB40.

| | | Hedbergella-Mergel | Fischeischiefer, Blättertone | dunkle Tonsteinfole |
|-----------------------------|---|--------------------|------------------------------|---------------------|
| Cr- Al_2O_3 | r | 0,976 | 0,881 | 0,384 |
| | n | 83 | 63 | 79 |
| | p | <0,0001 | <0,0001 | 0,0004 |
| Cr/Al-TOC/Al | r | 0,093 | 0,157 | 0,863 |
| | n | 83 | 63 | 79 |
| | p | 0,4051 | 0,2199 | <0,0001 |

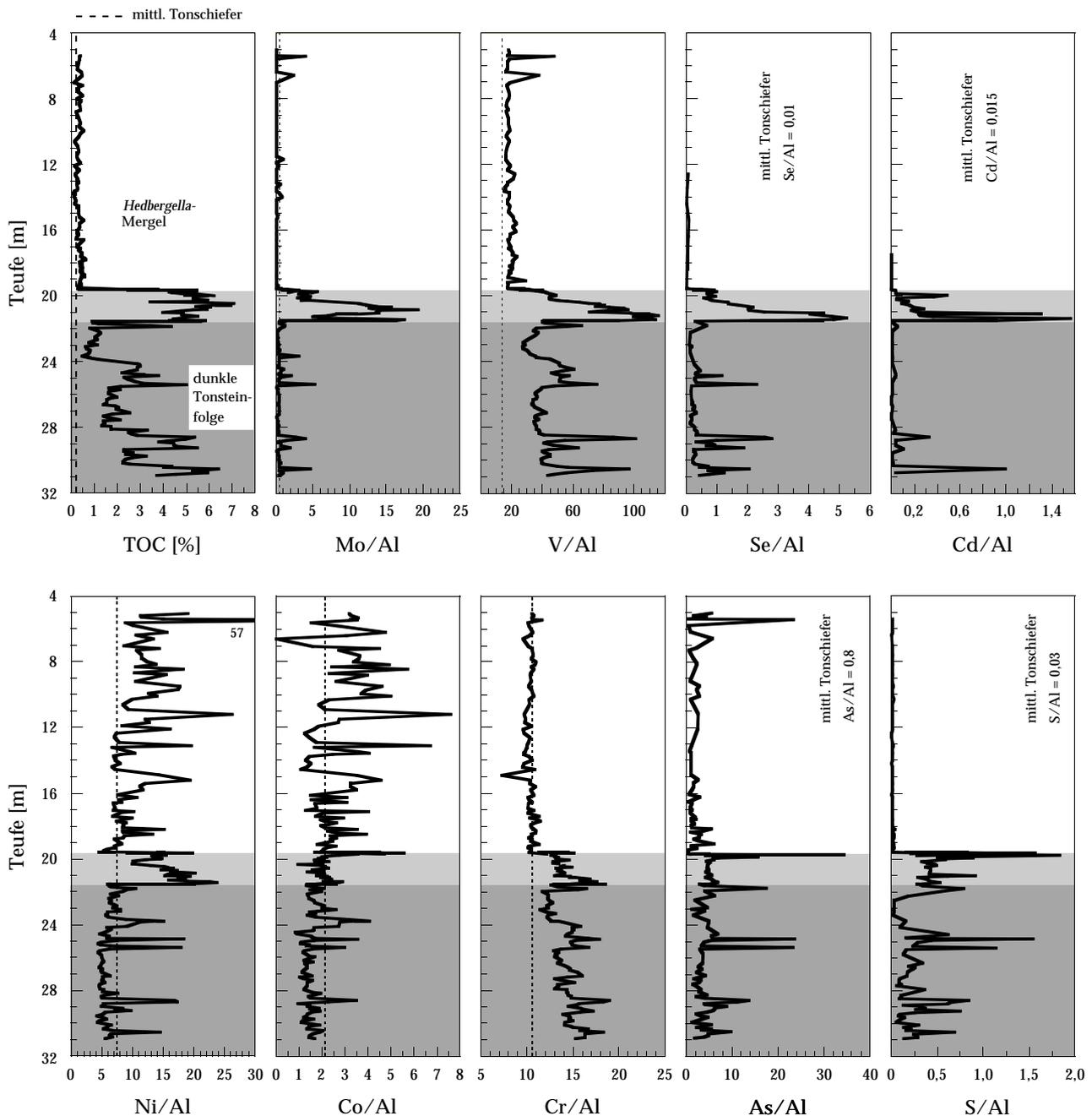


Abb. 18: Tiefenprofile von TOC [%] und der Element/Al-Verhältnisse von S [Gew.-Verh.] sowie von Mo, V, Se, Cd, Ni, Co, Cr und As [Gew.-Verh. $\cdot 10^4$] im Bohrkern Hoheneggelsen KB40 (mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971, 1991).

Die hohen Element/Al-Verhältnisse von As, Cd, Mo, Ni, Se und V in den Blättertonhorizonten und im Fischschiefer können einerseits auf die Bindung an organisches Material, andererseits auf die Bildung von stabilen Sulfiden zurückgeführt werden.

Es ist bekannt, daß V und Ni in Porphyriminen fixiert werden können (BAKER & LOUDA 1986, SUNDARARAMAN & BOREHAM 1993), Ni zusätzlich als Sulfid. Mo wird unter anoxischen Bedingungen leicht zu $\text{Mo}^{(V)}$ reduziert und als Sulfid gefällt (EMERSON & HUESTED 1991), kann aber

auch an organisches Material gebunden vorliegen (BRUMSACK & GIESKES 1983). Cd und Se weisen im Meerwasser ein ähnliches Verhalten wie Nährstoffelemente auf und können teilweise schon primär mit organischem Kohlenstoff in das Sediment eingetragen werden (BRULAND 1980, TAKAYANAGI & WONG 1985, TAMARI et al. 1990). Allerdings lassen sich hierdurch nicht die extrem hohen Gehalte von 10 µg/g Se im unteren Teil des Fischeschiefers und in einigen Blättertonlagen erklären. Die Korrelation der Se/Al-Verhältnisse ($n = 80$; $p < 0,0001$) mit S/Al- ($r = 0,608$) und Mo/Al-Verhältnissen ($r = 0,709$) zeigt zudem die Fixierung von Se im Sediment unter sub- bzw. anoxischen Bedingungen als Metallse-lenide (MASSCHELEYN et al. 1991). Eine vergleichbar gute Korrelation zu TOC/Al ($r = 0,807$) schließt eine strenge Affinität zu organischem Material nicht aus. Im Mittel (ausgenommen die *Hedbergella*-Mergel) zeigt das Se/Al-Verhältnis ($n = 100$; $p < 0,0001$) die beste Korrelation mit den Element/Al-Verhältnissen von V ($r = 0,855$), Mo ($r = 0,749$), Ni ($r = 0,733$) und TOC ($r = 0,715$). In den oxischen *Hedbergella*-Mergeln sind die Se-Gehalte generell niedriger ($\bar{x} = 0,48$ µg/g) und dokumentieren damit die gute Löslichkeit von Se^(VI), der dominanten Oxidationsstufe von Se im oxischen Milieu (MASSCHELEYN et al. 1991).

Cd/Al- und TOC/Al-Verhältnisse sind ebenfalls gut miteinander korreliert ($r = 0,825$; $n = 47$; $p < 0,0001$). Cd bildet jedoch ebenfalls in Anwesenheit von H₂S stabile Sulfide (JACOBS et al. 1985, 1987).

Dementsprechend fanden sich die maximalen Cd-Gehalte (47 µg/g) in einer Pyritkonkretion aus dem Fischeschiefer.

Im Gegensatz zu Cd und Se bestehen für As in der dunklen Tonsteinfohle, den Blättertonen und im Fischeschiefer gute Korrelationen ($n = 101$; $p < 0,0001$) zu Fe/Al- ($r = 0,84$) und S/Al-Verhältnissen ($r = 0,81$) und damit zu Pyrit. Der maximale As-Gehalt einer Pyritkonkretion im Fischeschiefer betrug 437 µg/g.

Im oxischen Milieu liegt As in fünfwertiger Form als Oxoanion (Arsenat) vor und wird von Fe^(III)- und Mn^(IV)- Oxi/Hydroxiden adsorbiert (BELZILE 1988, MASSCHELEYN et al. 1991, BELZILE et al. 1989). Entsprechend höher ist das durchschnittliche As/Al-Verhältnis der *Hedbergella*-Mergel (As/Al = 2,4) im Vergleich zu einem mittleren Tonschiefer (As/Al = 0,8). Eine Korrelation zwischen Fe/Al- oder Mn/Al- und As/Al-Verhältnissen konnte, ebenso wie zwischen Co/Al- bzw. Ni/Al- und Mn/Al- oder Fe/Al-Verhältnisse, in diesen Sedimenten nicht beobachtet werden.

Die Elemente Co und Ni sind sowohl in den *Hedbergella*-Mergeln als auch in der dunklen Tonsteinfohle und den Blättertonen gut miteinander korreliert ($r = 0,835$; $n = 183$; $p < 0,0001$), während im Fischeschiefer keine Korrelation vorliegt. Im Fischeschiefer ist Ni aufgrund seiner höheren Verfügbarkeit in Meerwasser, der starken Affinität zu organischem Material und der Fähigkeit, relativ leicht stabile Sulfide zu bilden, im Gegensatz zu Co deutlich angereichert (Abb. 18). Co, in seinem chemischen Ver-

halten dem Mn ähnlich, zeigt in den oxidischen *Hedbergella*-Mergeln die höchsten durchschnittlichen Co/Al-Verhältnisse ($\approx 2,8 \cdot 10^{-4}$, Abb. 12), während unter suboxischen Bedingungen Co gelöst und dadurch dem Sediment entzogen werden kann (GENDRON et al. 1986, PETERSEN et al. 1995). Eine relativ gute Korrelation von erhöhten Co/Al- zu S/Al- und As/Al-Verhältnissen in den Blättertonhorizonten und im Fischschiefer zeigt jedoch, daß auch dieses Element bei steigenden Sulfidkonzentrationen stabile Sulfide bildet (HEGGIE & LEWIS 1984).

Co-Anreicherungen in den Blättertonen sowie im Hangenden des Fischschiefers sind zudem diagenetisch bedingte Effekte, hervorgerufen durch einen Wechsel von anoxischen zu suboxischen (Blättertone -> dunkle Tonsteinfoolge) bzw. von anoxischen zu oxidischen (Fischschiefer -> *Hedbergella*-Mergel) Verhältnissen im Sediment. Insbesondere der Übergang vom Fischschiefer zu den *Hedbergella*-Mergeln wird durch einen deutlichen Anstieg der Spurenelementgehalte von As, Co, Ni, Pb und Zn markiert. Aufgrund des engen Probenrasters (1 cm-Intervalle) ist dieser Bereich (zwischen 19,61 und 19,65 m Teufe) sehr genau belegt und läßt erkennen, daß die Metallanreicherungen in dieser Zone zum größten Teil diagenetischen Ursprungs sind. In den Blättertonen, denen ein Probenraster von 6 bis 12 cm zugrunde lag, verwischen sich die Grenzen stark, so daß nicht eindeutig zwischen Anreicherungen, die durch einen Milieuwechsel oder anoxische Sedimentations-

prozesse bedingt sind, unterschieden werden kann.

4.1.2. Ablagerungsbedingungen

Entsprechend der geochemischen Zusammensetzung sowie paläontologischer Befunde können für die lithologischen Einheiten dunkle Tonsteinfoolge, Blättertonhorizonte, Fischschiefer und *Hedbergella*-Mergel unterschiedliche Ablagerungsbedingungen, die im wesentlichen auf Änderungen der Paläozeographie zurückzuführen sind, nachgewiesen werden.

Die chemische Zusammensetzung der dunklen Tonsteinfoolge, wie z.B. Anreicherung von V oder erhöhte DOP-Werte, bestätigt die zumindest zeitweise reduzierenden Bedingungen im Bodenvasser. Die geringen Gehalte von Mn und Co in der dunklen Tonsteinfoolge deuten einen Austrag dieser Elemente durch suboxische Wassermassen an und setzen somit eine gewisse Wasserzirkulation voraus. KEMPER (1982) postuliert aufgrund niedriger Karbonatgehalte der dunklen Tonsteinfoolge einen Zustrom kalter Wässer aus nördlicher Richtung.

Die Abfolgen der Blättertone und des Fischschiefers unterscheiden sich von der dunklen Tonsteinfoolge vor allem durch höhere TOC- und Karbonat-Gehalte und den Anstieg redoxsensitiver (Cr, V) und stabile Sulfide bildender Spurenelemente (As, Cd, Mo, Ni, Pb, Se) (Tab. 3). Weiterhin sind diese Laminite durch die Fixierung des Mn in Karbonatphasen relativ Mn-reich.

Tab. 3: Mittlere Al-, TOC- und S-Gehalte [Gew. %], Haupt- [Gew.-Verh.] und Spurenelement/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh. • 10⁴] des Fischeschiefers, der Blättertone und der dunklen Tonsteinfolge des Bohrkerns KB40 sowie von rezenten und fossilen TOC-reichen Sedimenten. Vergleichsdaten nach BRUMSACK 1988 (+) und WEDEPOHL 1971, 1991 (#).

| | Fischeschiefer | Blättertone | dunkle Tonsteinfolge | <i>Posidonien</i> -Schiefer + | Schwarzes Meer + | Schw. Meer Sapropel + | mittl. Ton-schiefer # |
|--------|----------------|--------------|----------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | n = 48 | n = 15 | n = 79 | | | | |
| Al | 6,59 | 9,01 | 10,61 | 4,98 | 5,88 | 5,13 | 8,89 |
| Si/Al | 2,02 | 2,20 | 2,25 | 2,89 | 2,86 | 2,79 | 3,05 |
| Ti/Al | 0,044 | 0,049 | 0,050 | 0,056 | 0,053 | 0,047 | 0,053 |
| Fe/Al | 0,63 | 0,63 | 0,41 | 0,65 | 0,65 | 0,63 | 0,54 |
| K/Al | 0,26 | 0,22 | 0,23 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,32 |
| P/Al | 0,006 | 0,008 | 0,003 | 0,017 | 0,013 | 0,016 | 0,008 |
| TOC | 4,81 | 3,96 | 2,11 | 6,49 | 3,89 | 6,47 | 0,20 |
| TOC/Al | 0,78 | 0,48 | 0,20 | 1,30 | 0,80 | 1,37 | 0,02 |
| S | 3,39 | 3,74 | 2,25 | 2,64 | 1,05 | 1,28 | 0,24 |
| S/Al | 0,54 | 0,48 | 0,23 | 0,53 | 0,20 | 0,27 | 0,03 |
| As/Al | 7,5 (n = 47) | 6,1 (n = 13) | 4,0 (n = 40) | 5,22 | 3,9 | 5,1 | 0,8 |
| Ba/Al | 39 | 33 | 32 | 51 | 91 | 130 | 65 |
| Cd/Al | 0,29 (n = 25) | 0,28 (n = 5) | 0,02 (n = 28) | 0,40 | 0,13 | 0,22 | 0,02 |
| Co/Al | 2,4 | 2,1 | 1,5 | 4,0 | 4,9 | 5,6 | 2,1 |
| Cr/Al | 14 | 17 | 14 | 13 | 19 | 14 | 10 |
| Mn/Al | 156 | 28 | 14 | 154 | 149 | 117 | 78 |
| Mo/Al | 7,20 | 1,60 | 0,41 | 4,62 | 9,00 | 16,10 | 0,15 |
| Ni/Al | 15 | 10 | 6,1 | 18 | 20 | 20 | 7,6 |
| Pb/Al | 6,6 | 7,0 | 4,5 | 4,4 | 2,8 | 3,4 | 2,5 |
| Se/Al | 1,75 (n = 36) | 1,16 | 0,33 (n = 46) | --- | --- | --- | 0,01 |
| V/Al | 65 | 62 | 41 | 32 | 29 | 35 | 15 |
| Zn/Al | 24 | 16 | 11 | 41 | 14 | 16 | 11 |

Als vergleichbare rezente Ablagerungsmodelle zum kreidezeitlichen NSB können die anoxischen Becken der Ostsee oder das Schwarze Meer herangezogen werden. Diese rezenten Lokationen sind charakterisiert durch eine stabile Dichteschichtung der Wassersäule, hohe Gehalte an HS⁻ und Mn^(II) im Tiefenwasser sowie der Akkumulation von Spurenelementen im darunter liegenden Sediment (RHEINHEIMER 1996, BRUMSACK 1989, MURRAY et al. 1989). Demnach dokumentieren die relativ hohen TOC-Gehalte der Blättertone, einschließlich des Fischeschiefers ($\bar{\text{TOC}} = 4,3 \%$) eine gute Erhaltung des organischen Materials, bedingt durch eine verminderte Sauerstoffzufuhr mit Ausbildung anoxischer Ver-

hältnisse im Tiefenwasser aufgrund stagnierender Bedingungen in der Wassersäule (Stagnations-Modell).

In Abb. 19 werden Anreicherungsfaktoren ausgewählter Element/Al-Verhältnisse der dunklen Tonsteinfolge, der Blättertonhorizonte und des Fischeschiefers Daten des *Posidonien*-Schiefers sowie Sedimenten und Sapropelen aus dem Schwarzen Meer gegenübergestellt. Aus den Graphiken wird deutlich, wie sehr die Elementzusammensetzung des Fischeschiefers dem Chemismus fossiler und rezenter anoxischer Ablagerungen ähnelt. Im Vergleich zum Fischeschiefer zeigen die Blättertonhorizonte und die dunkle Tonsteinfolge geringfügige aber signifikante Unterschiede (z.B. geringe-

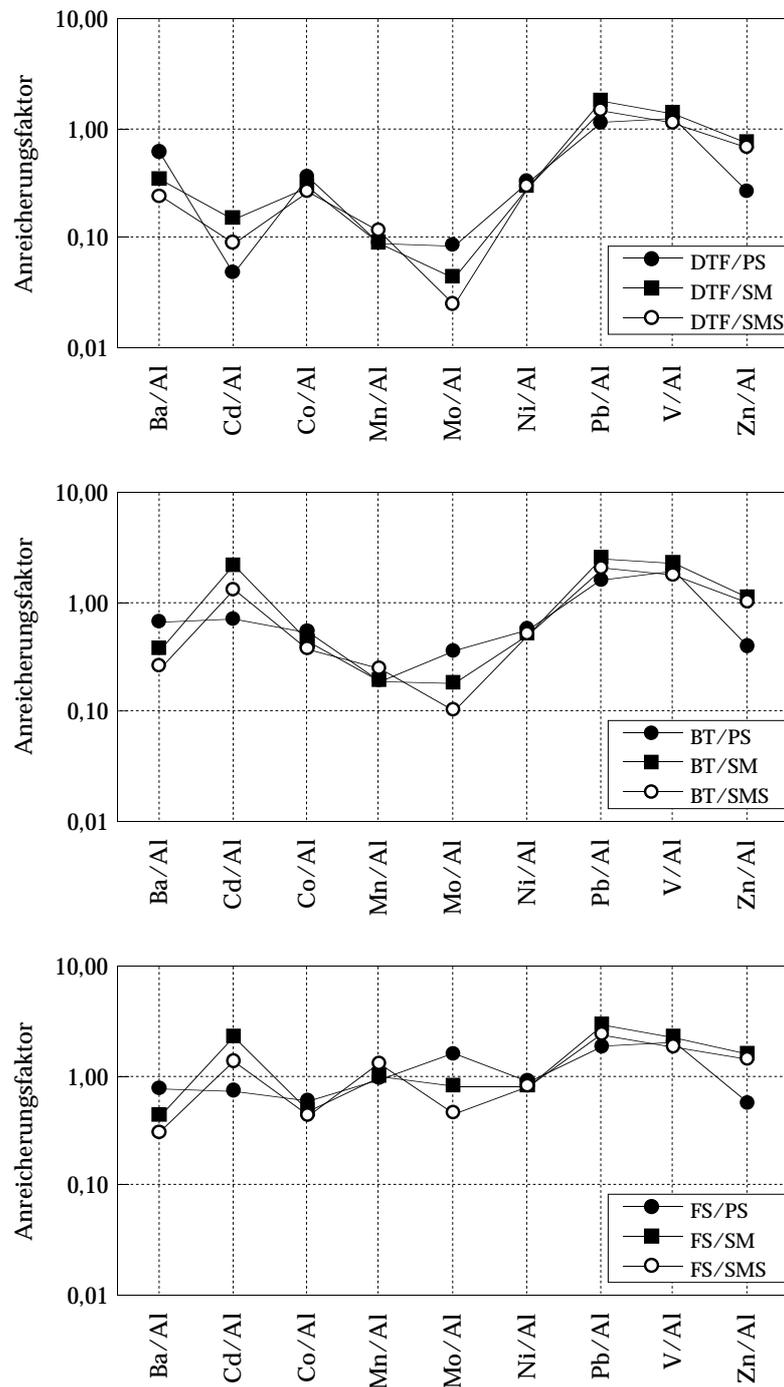


Abb. 19: Vergleich ausgewählter Spurenelement/Al-Verhältnisse verschiedener Sedimenttypen des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40 mit Daten des jurassischen *Posidonien*-Schiefers und rezenter Ablagerungen aus dem Schwarzen Meer.

DTF: dunkle Tonsteinfolge; BT: Blättertonhorizonte; FS: Fischschiefer; PS: *Posidonien*-Schiefer; SM: Schwarzes Meer; SMS: Schwarzes Meer Sapropel;

Anreicherungs faktor = $(\text{Element}/\text{Al})_{\text{Sediment}} / (\text{Element}/\text{Al})_{\text{Standard}}$

DTF, BT und FS: Daten dieser Arbeit; PS, SM und SMS: BRUMSACK 1988; s.a. Tab. 3.

re Mo/Al-Verhältnisse), die auf ein weniger anoxisches Milieu zurückzuführen sind.

Ein Hochproduktivitätsmodell, wie es für Sedimente, die unter Auftriebsgebieten abgelagert werden zur Anwendung kommt (BERGER 1991), wurde in diesem Fall zur Erklärung der TOC-reichen Sedimente nicht in Betracht gezogen. Niedrige Gehalte der Nährstoffelemente P und Si (weit unter denen eines mittl. Ton-schiefers (Tab. 3)) sowie die hohen Mn-Gehalte der untersuchten Sedimente sprechen gegen eine deutlich erhöhte Primärproduktion (BRUMSACK 1989). KEMPER & ZIMMERLE (1978) schließen Auftriebsphänomene im NSB zur Zeit des Barrême/Apt aufgrund geringer Wassertiefen (max. 300 m (MUTTERLOSE 1991)) ebenfalls aus.

Die Interpretation der geochemischen Daten stimmt weitgehend mit Befunden aus paläontologischen und organisch geochemischen Arbeiten überein. In einigen Punkten bestehen jedoch auch Abweichungen.

So nehmen KEUPP & MUTTERLOSE (1994) aufgrund der Verteilung kalkiger Nanofossilien für die dunkle Tonsteinfohle kühle Wassertemperaturen und ein pelagisch geprägtes Ablagerungsregime an. Im Fischschiefer dominieren dagegen Arten, die neben wärmeren Wassertemperaturen auch einen leichten Anstieg der Nährstoffgehalte im Oberflächenwasser und küstennähere Sedimentationsbedingungen anzeigen (BISCHOFF & MUTTERLOSE 1998). Die Ursache für die unterschiedliche Artenzusammenset-

zung sehen die Autoren in einer kurzen regressiven Phase am Ende der *Prodeshayesites tenuicostatus* Zone (112 Ma (HAQ et al. 1987)).

Untersuchungen von Dinoflagellaten-Vergesellschaftungen bestätigen dies. So wurden deutliche Änderungen im Verhältnis von *Gonyaulacoiden* zu *Peridinoïden* im Fischschiefer gegenüber der dunklen Tonsteinfohle festgestellt. In der dunklen Tonsteinfohle wird die Zusammensetzung der Dinoflagellaten von bis zu 90 % durch *Gonyaulacoiden* bestimmt, während sie im Fischschiefer nur noch 40 % ausmachen. Gleichzeitig ist ein Anstieg der *Peridinoïden* von weniger als 5 % in der dunklen Tonsteinfohle auf 40 % - 60 % im Fischschiefer zu verzeichnen. Es wird angenommen, daß *Gonyaulacoiden* ein offen marines Milieu und geringe Produktivität widerspiegeln, während *Peridinoïden* eher küstennahe Bedingungen und/oder eine hohe Produktivität reflektieren (BELOW & KIRSCH 1997). Hinzu kommt eine Verringerung der Abundanz und Diversität von Dinoflagellaten im Fischschiefer.

Weiterhin deuten die Ergebnisse palynologischer Untersuchungen eine Abnahme der Salinität im Oberflächenwasser sowie einen erhöhten Eintrag an terrestrischem Material im Fischschiefer an (BELOW & KIRSCH 1997).

Die in den Sedimenten beobachteten Änderungen in der geochemischen Zusammensetzung des detritischen Materials an der Basis des Fischschiefers, wie die Abnahme von Quarz (Si/Al), der Schwermineralgehalte (Ti/Al, Zr/Al)

sowie Variationen in der Tonmineralogie (Si/Al, K/Al) interpretiert RACHOLD (1994) dagegen als das erste Signal der Unter-Apt-Transgression. Der Wechsel in der Zusammensetzung des terrigen-detritischen Materials könnte dann als ein Korngrößeneffekt aufgrund der zunehmenden Entfernung zur Küste interpretiert werden, was auch Auswirkungen auf die Zusammensetzung des organischen Materials gehabt haben könnte.

JENDRZEJEWSKI (1995) konnte zeigen, daß die Mazeralzusammensetzung des Fischeschiefers erstmals in der Unterkreide eine Dominanz organischer Partikel mariner Herkunft aufweist. Ein möglicher Grund liegt darin, daß im Zuge der Unter-Apt-Transgression verstärkt Nährstoffe aus den überfluteten Schelfgebieten freigesetzt wurden, die wiederum eine Steigerung der Primärproduktion bewirkten. JENDRZEJEWSKI (1995) berechnete für den Fischeschiefer einen Produktivitätswert von $170 \text{ gC/m}^2/\text{a}$. Dieser Wert liegt nur geringfügig über dem von STEIN (1991) gegebenen Richtwert einer normal-marinen Küstenfazies ($150 \text{ gC/m}^2/\text{a}$) und deutlich unterhalb der Primärproduktion in Auftriebsgebieten ($250 \text{ gC/m}^2/\text{a}$).

Die organisch-geochemischen Befunde stehen aber nicht unbedingt im Widerspruch zu den Ergebnissen der palynologischen Untersuchungen, da diese sich nur auf einen geringen Anteil des gesamten organischen Materials beziehen.

Eine leicht erhöhte Produktivität und eine stabile Schichtung der Wassersäule

durch eine Verringerung der Salinität im Oberflächenwasser könnten die streng anoxischen Bedingungen, insbesondere im tieferen Bereich des Fischeschiefers erklären (Abb. 18). Im Vergleich zu den anderen lithologischen Einheiten (mit Ausnahme der *Hedbergella*-Mergel) treten in diesem Bereich die höchsten Element/Al-Verhältnisse von Ca, Mn, Ni, Mo, Se und V auf.

Im oberen Teil des Fischeschiefers sind die Element/Al-Verhältnisse u.a. von Ca und Mn wesentlich niedriger, vermutlich in Abhängigkeit einer Temperaturverringerung durch den Zustrom borealer Kaltwassermassen. Die ersten zwei Meter im Hangenden des Fischeschiefers (19 - 17 m im Kernprofil) weisen sogar ähnlich geringe Karbonatgehalte wie einige Sedimentlagen der dunklen Tonsteinfole auf, so daß von vergleichbaren niedrigen Wassertemperaturen ausgegangen werden kann (KEUPP & MUTTERLOSE 1994). Während jedoch die Sedimente im Liegenden des Fischeschiefers unter sub- bis anoxischen Bedingungen abgelagert wurden, sind die im Hangenden anstehenden *Hedbergella*-Mergel geochemisch eindeutig als oxische Sedimente zu klassifizieren.

Mit einsetzender Ablagerung der *Hedbergella*-Mergel sind die stagnierenden Bedingungen in der Wassersäule aufgehoben. Oxische Bedingungen und das Auftreten tethyalen Floren und Faunen deuten auf einen mehr pelagisch geprägten Ablagerungsraum und gravierende Veränderungen der paläozeanographischen Gegebenheiten hin. Die Öffnung

neuer Wasserstraßen zwischen der Tethys und dem borealem Raum über Nordfrankreich und Südengland etabliert ein neues Strömungssystem von Süden her in nördliche Richtung (KEUPP & MUTTERLOSE 1994, MUTTERLOSE & WIENDENROTH 1995). Wie vielleicht zu erwarten wäre, ist eine signifikante Änderung in der chemischen Zusammensetzung des detritischen Materials mit Einsetzen der oxischen Sedimente nicht nachweisbar, erfolgt aber ca. drei Meter oberhalb des Fischschiefers (Kap. 4.1.1.). Möglicherweise sind die Variationen auf Veränderungen der Eintragsquellen oder klimatisch bedingte Effekte (z.B. Verwitterung) zurückzuführen.

Nach BENESCH (1998) stammt der überwiegende Teil des terrigenen Detritus von dem südlich gelegenen Festland, wobei es sich vor allem um aufgearbeitete Ober-Karbon-Sedimente handelt. Der geringe Anteil an Vermiculit/Illit-Wechsellagerungsmineralen im Sediment stammt vermutlich von aufgearbeiteten Unterkreide-Sedimenten. Schwankungen in der mineralogischen Zusammensetzung des terrigenen Detritus führt BENESCH (1998) auf eine Änderung des fluviatil transportierten Materials, im Zusammenhang mit der in dieser Phase angenommenen Transgression, zurück.

4.1.3. Zusammenfassung

→ Die geochemische Zusammensetzung des Bohrkerns Hoheneggelsen KB40 spiegelt die unterschiedlichen Sedimentationseinheiten *Hedbergella*-Mergel, Fischschiefer und dunkle Tonsteinfoolge wider. Die Variation der Spurenelemente in den einzelnen Abfolgen erlaubt eine Differenzierung in oxische, suboxische und anoxische Ablagerungsbedingungen, resultierend aus Veränderungen der Paläozeanographie.

→ Aufgrund einer hochauflösenden (1 cm) Beprobung können, insbesondere im Übergangsbereich von anoxischen zu oxischen Sedimentabschnitten (Fischschiefer -> *Hedbergella*-Mergel), frühdiagenetische Spurenelement-Anreicherungen (As, Co, Ni, Pb, Zn), bedingt durch einen Milieuwechsel in diesem Bereich, verdeutlicht werden.

→ Im Vergleich zum jurassischen *Posidonia*-Schiefer oder Sedimenten und Sapropelen aus dem Schwarzen Meer zeigt der Fischschiefer, Höhepunkt und Endsequenz der unter sub- bis anoxischen Bedingungen abgelagerten Barrême/Apt Laminite im NSB, eine relativ gute Übereinstimmung mit diesen Sedimenten, so daß von vergleichbaren Ablagerungsbedingungen ausgegangen werden kann.

→ Der durch paläontologische und organisch-geochemische Ergebnisse ange deutete leichte Anstieg der Primärproduktion im Oberflächenwasser konnte anhand geochemischer Daten nicht nach-

vollzogen werden. Sehr geringe Element/Al-Verhältnisse von P und Si (unterhalb eines mittleren Tonschiefers) sprechen gegen eine Steigerung der Primärproduktion. Es ist wahrscheinlicher, daß die erhöhten TOC-Gehalte der Blätertone und des Fischeschiefers auf eine bessere Erhaltung des organischen Materials durch ausgeprägtere anoxische Verhältnisse zurückzuführen sind.

→ Durchschnittlich niedrige $\delta^{34}\text{S}$ -Werte (-33,8 ‰) im Fischeschiefer deuten auf eine Pyritbildung nahe der Sediment-
Meerwassergrenze hin. Pyritbildungen aus einer anoxischen Wassersäule sind ebenfalls möglich. Höhere $\delta^{34}\text{S}$ -Werte (-15,8 ‰) in der dunklen Tonsteinfohle lassen eine Pyritgenese in tieferen Sedimentlagen vermuten.

→ Im Hauptelementchemismus des Kernprofils sind, basierend auf unterschiedlichen Eintragungsmengen von Quarz, Schwermineralen und Variationen in der Tonmineralogie vor und nach Sedimentation des Fischeschiefers, signifikante Elementvariationen insbesondere von K, Si, Ti und Zr zu beobachten. Als mögliche Ursachen werden Veränderungen auf dem südlich gelegenen Festland (Hauptliefergebiet des terrigen-detritischen Materials), wie Schwankungen im fluvialen Eintrag, angenommen.

→ Mit Einsetzen der *Hedbergella*-Mergel haben sich, wie die Elementzusammensetzung der Sedimente zeigt, die paläogeographischen Rahmenbedingungen des NSB endgültig von einer abgeschlossenen Nebenmeersituation zu einem deutlich pelagisch beeinflussten Randmeer gewandelt.

4.2. Kirchrode II/94 (Alb)

Das folgende Kapitel stellt die Ergebnisse der geochemischen Bearbeitung des Bohrkerns Kirchrode II/94 (KiII) vor. Es handelt sich dabei um eine Nachfolgebohrung zu Kirchrode I/91 (KiI). Beide Bohrungen wurden im Stadtgebiet von Hannover abgeteuft, ca. 2 km voneinander entfernt.

Der 280 m lange Bohrkern KiII beinhaltet von der Basis bis zu einer Kerntiefe von ca. 144 m eine Abfolge von tonigen bis schwach siltigen, zum Teil bunt gefärbten Sedimenten des Unter- und Mittel-Alb. Ab 144 m Teufe treten mittel- bis dunkelgraue, lithologisch sehr einheitliche Tone und Tonmergel des Ober-Alb auf (Abb. 20).

Die stratigraphische Einordnung des Kernmaterials erfolgte anhand von Ammonitenzonen (OWEN 1997, FENNER 1997):

- Basis Unter-Alb -> möglicherweise bei 278 m Teufe erreicht (370 m Teufe im Gesamtprofil)
- Grenze Unter-/Mittel-Alb -> 229 - 241 m Teufe (321 - 333 m Teufe im Gesamtprofil)
- Grenze Mittel-/Ober-Alb -> 144 m Teufe (236 m Teufe im Gesamtprofil)

Wie im methodischen Teil (Kap. 3) erwähnt, werden die geochemischen Ergebnisse der Bohrung KiI (RACHOLD 1994) und die Ergebnisse dieser Arbeit miteinander verknüpft und in „Gesamtprofilen“ dargestellt.

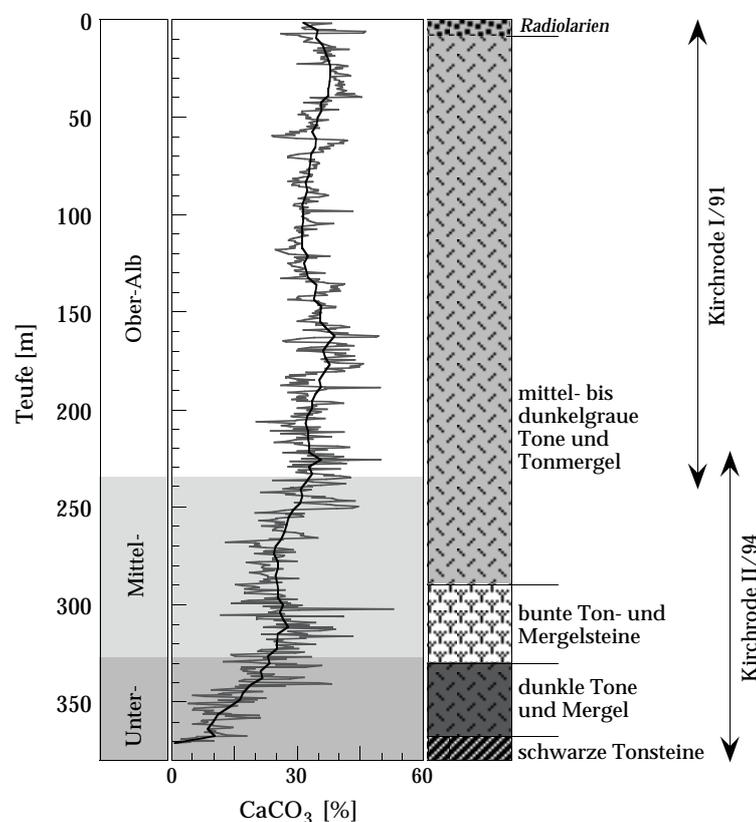


Abb. 20: Karbonatgehalte und Lithologie der Bohrkern KiI und KiII.

Zusammengefügt erfassen beide Bohrungen stratigraphisch nahezu das gesamte Alb. Während der Bohrkern KiI allerdings eine weitgehend ungestörte Abfolge des Ober-Alb zeigt, treten in der Bohrung KiII im oberen Unter-Alb und an der Grenze Mittel-/Ober-Alb tektonisch bedingte Abschiebungen auf, die beträchtliche Schichtlücken verursacht haben (FENNER et al. 1996).

Insgesamt decken die Sedimente von KiI und KiII einen Zeitraum von etwa 5 Ma ab, wenn eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 10 - 12 cm/ka für das Ober-Alb bzw. 4 - 5 cm/ka für das Mittel- und Unter-Alb zugrunde gelegt wird (KEMPER 1982, RACHOLD 1994, JENDRZEJEWSKI 1995, FENNER et al. 1996, MUTTERLOSE et al. 1996).

4.2.1. Haupt- und Spurenelementchemismus

Zur allgemeinen Charakterisierung der untersuchten Sedimente wurden mit Hilfe einer Faktoranalyse (principle component factor analysis) Multielementkorrelationen aus dem chemischen Datenmaterial von KiI und KiII berechnet (Tab. 4). Die statistische Auswertung basiert auf einem Datensatz von 522 Proben und 27 Elementen. Nicht in die Berechnung mit einbezogen wurden 245 Proben mit fehlenden S-Werten sowie 14 Proben mit Mn-Gehalten >1 % und Ba-Gehalten >400 µg/g. Die in Tab. 4 dargestellten 5 Faktoren beinhalten 67 % der Gesamtvarianz.

Faktor 1 mit 25,7 % Varianz beschreibt mit hohen positiven Faktorladungen der

Tab. 4: Varimax-rotierte Faktorladungen (27 Elemente, n = 522) der Bohrkerne KiI und KiII.

| Varianz (%) | F1 (25,7) | F2 (22,7) | F3 (8,8) | F4 (5,0) | F5 (5,0) |
|------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Si | 0,393 | 0,772 | 0,060 | -0,056 | -0,398 |
| Ti | 0,585 | 0,635 | 0,199 | 0,025 | -0,006 |
| Al | 0,796 | 0,467 | 0,262 | -0,031 | 0,067 |
| Fe | 0,498 | 0,406 | 0,127 | 0,130 | 0,148 |
| Mn | -0,233 | -0,625 | -0,183 | 0,280 | 0,128 |
| Mg | 0,365 | 0,234 | 0,056 | 0,000 | -0,091 |
| Ca | -0,580 | -0,709 | -0,117 | 0,009 | 0,263 |
| Na | 0,215 | 0,560 | 0,164 | -0,009 | -0,051 |
| K | 0,902 | 0,158 | 0,185 | -0,029 | 0,039 |
| P | -0,033 | -0,102 | -0,058 | 0,816 | -0,101 |
| S | -0,133 | -0,009 | 0,024 | 0,004 | -0,457 |
| C _{min} | -0,568 | -0,717 | -0,125 | 0,030 | 0,281 |
| TOC | 0,117 | 0,384 | 0,082 | 0,056 | -0,577 |
| Ba | 0,853 | 0,291 | 0,171 | 0,039 | 0,004 |
| Ce | 0,302 | 0,586 | 0,164 | 0,366 | 0,048 |
| Co | 0,176 | 0,091 | 0,828 | 0,001 | -0,122 |
| Cr | 0,820 | 0,354 | 0,231 | 0,000 | -0,046 |
| Nb | 0,240 | 0,564 | 0,272 | 0,042 | 0,250 |
| Ni | 0,280 | 0,173 | 0,747 | -0,003 | -0,012 |
| Pb | 0,600 | 0,508 | 0,394 | 0,015 | 0,096 |
| Rb | 0,888 | 0,240 | 0,178 | -0,072 | 0,059 |
| Sr | -0,444 | -0,606 | -0,293 | 0,019 | -0,245 |
| Th | 0,291 | 0,302 | -0,016 | 0,006 | 0,005 |
| V | 0,756 | 0,389 | 0,340 | 0,031 | 0,182 |
| Y | -0,010 | 0,284 | 0,273 | 0,566 | 0,480 |
| Zn | 0,312 | 0,355 | 0,455 | 0,084 | 0,118 |
| Zr | 0,243 | 0,869 | 0,168 | 0,081 | -0,022 |

Elemente Al, K, Ba und Rb die Tonmineralkomponente der Sedimente. Die ebenfalls hohen positiven Ladungen von V und Cr sowie erhöhte Faktorladungen von Pb und Ti deuten auf einen an die Tonfraktion gekoppelten Eintrag dieser Elemente hin.

Die in Faktor 2 (Varianz 22,7 %) mit relativ hohen positiven Ladungen gekennzeichneten Elemente Si, Ti, Zr, Nb und Ce repräsentieren den Quarzanteil (Si) und eine Schwermineralkomponente (Ti, Zr, Nb, Ce). Demgegenüber stehen die überwiegend in der Karbonatphase enthaltenen Elemente Ca, C_{\min} und Sr sowie Mn mit hohen negativen Ladungen. Mit Faktor 3 wird das Verhalten von Co und Ni dargestellt. Faktor 4 beinhaltet eine Phosphatkomponente und Faktor 5 beschreibt mit relativ niedrigen negativen Faktorladungen das Verhalten von TOC und S.

Entsprechend den Ergebnissen der Faktoranalyse läßt sich der Elementchemismus der Kirchrode-Sedimente im wesentlichen durch eine Mischung aus tonig-detritischem Material und biogenem Karbonat erklären. Bedingt durch einen hohen Tonmineralanteil des detritischen Materials von bis zu 90 % (BENESCH 1998) liegen die Al_2O_3 -Gehalte der Sedimente um 2 - 4 % über dem Wert eines mittleren Tonschiefers (WEDEPOHL 1971, Tab. 5).

Die Karbonatgehalte weisen mit durchschnittlichen Gehalten von 15 - 34 % im Profilverlauf beträchtliche Schwankungen auf (Tab. 5, Abb. 20). Ein Vergleich der gemittelten Haupt- und Spurenelement/Al-Verhältnisse von Unter-, Mittel- und Ober-Alb Sedimenten gegenüber dem Gesamtmittelwert aller untersuchten Kirchrode-Proben zeigt, daß entsprechend dem variierenden Karbonatanteil signifikante Abweichungen gegenüber der durchschnittlichen Elementzusammensetzung bei Ca/Al, Sr/Al und Mn/Al auftreten (Abb. 21, Tab. A1.7. im Anhang).

Alle weiteren Element/Al-Verhältnisse unterliegen dagegen nur geringfügigen Schwankungen. Im Vergleich zu einem mittleren Tonschiefer fallen jedoch die niedrigeren Al-Verhältnisse von Fe, K, Mg, Na, P, Si, S, Ti, Ba, Zr und Y der Kirchrode-Sedimente auf.

Anreicherungen gegenüber einem mittleren Tonschiefer wurden außer für Ca/Al, Sr/Al und Mn/Al für die Al-normierten Gehalte von TOC, Co und Ni festgestellt. Während das organische Material überwiegend aufgearbeiteten Karbon-Kohlen entstammt (JENDRZEJEWSKI 1995), ist der Eintrag von Co und Ni unter oxischen Bedingungen eng an die Fällung von Mn-Oxiden/Hydroxiden gebunden (SHAW et al. 1990, THOMSON et al. 1984, 1993). Eine Korrelation zwischen

Tab. 5: Al_2O_3 - (karbonatfrei) und $CaCO_3$ -Gehalte der Kirchrode-Sedimente und eines mittleren Tonschiefers (WEDEPOHL 1971).

| | Ober-Alb | Mittel-Alb | Unter-Alb | Gesamt | mittl. Tonschiefer |
|---------------|----------|------------|-----------|--------|--------------------|
| Al_2O_3 [%] | 20,1 | 21,0 | 19,1 | 20,2 | 16,9 |
| $CaCO_3$ [%] | 34,3 | 26,9 | 15,5 | 30,4 | --- |

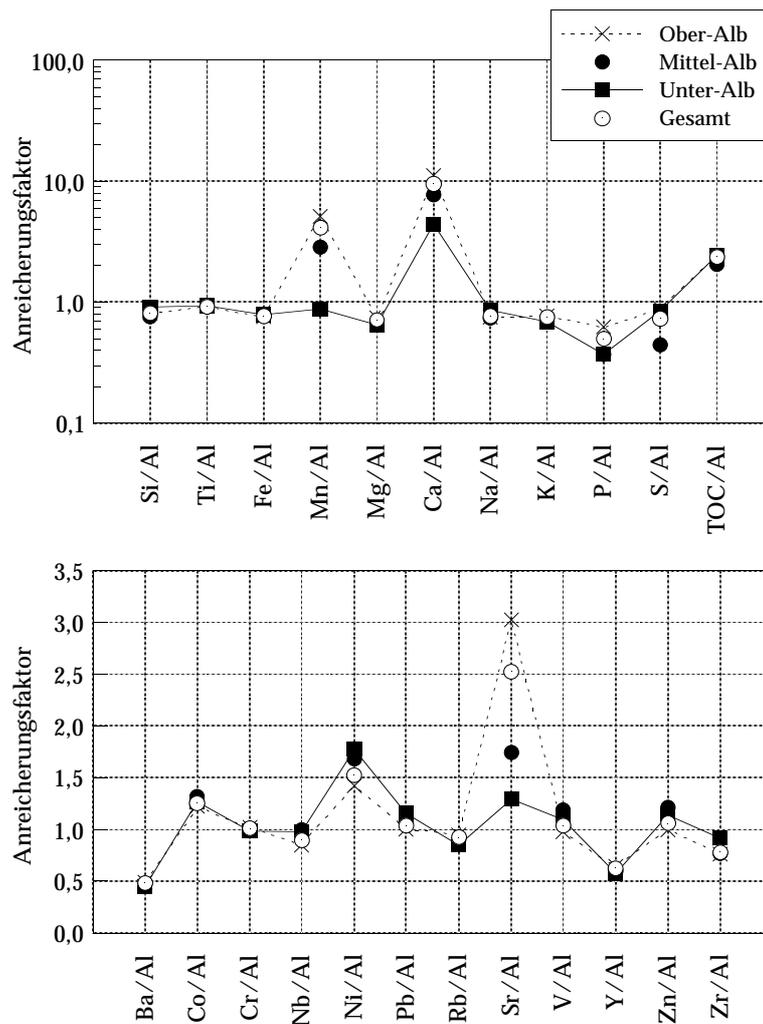


Abb. 21: Anreicherungen der gemittelten Haupt- und Spurenelement/Al-Verhältnisse von Ober-, Mittel- und Unter-Alb Sedimenten der Bohrungen Kil und KiII gegenüber einem mittleren Tonschiefer (WEDEPOHL 1971, 1991). Probenanzahl (n): Ober-Alb n = 507, Mittel-Alb n = 184, Unter-Alb n = 90, alle Proben (Gesamt) n = 781, Anreicherungsfaktor = $(\text{Element}/\text{Al})_{\text{Sediment}} / (\text{Element}/\text{Al})_{\text{Tonschiefer}}$.

Mn und Co oder Ni liegt in den Sedimenten der Bohrungen KiI und KiII allerdings nicht vor. Eine mögliche Ursache sieht RACHOLD (1994) in der diagenetischen Bildung von Mn-Karbonaten im reduzierenden Porenwasser und der daraus resultierenden Entkopplung der Elemente.

Bei Betrachtung der Element/Al-Verhältnisse im Tiefenprofil liegen in Übereinstimmung mit der lithologischen Beschreibung, insbesondere im Unter-Alb

sowie in den obersten 10 m des Tiefenprofils im Ober-Alb, auffällige Variationen im Elementchemismus vor (Abb. 22, Abb. 23).

In den schwarzen Tonsteinen und dunklen Mergeltonen des Unter-Alb treten bis zu einer Kerntiefe von ca. 350 m erhöhte Element/Al-Verhältnisse von Si, Ti, TOC, S und Zr sowie minimale Werte von Ca, Sr, Mn, Rb und K auf. Der Bereich zwischen 350 m - 310 m und elementspezifisch zum Teil bis 240 m Teu-

fe ist durch eine stetige Abnahme bzw. Zunahme dieser Elemente gekennzeichnet. Zwischen 240 m - 40 m Teufe (Ober-Alb) sind, mit Ausnahme von Ca, Sr und Mn, nur noch geringfügige Schwankungen der oben genannten Elemente zu verzeichnen. Dementsprechend kann zumindestens für den detritischen Elementeintrag von relativ gleichmäßigen Bedingungen bei Ablagerung dieser Sedimente ausgegangen werden. Ab 40 m Teufe und vor allem in den obersten 10 m des Tiefenprofils wird mit dem vermehrten Auftreten von Radiolarien ein weiterer Umbruch im Sedimentationsgeschehen signalisiert, der sich auch in der Elementzusammensetzung widerspiegelt (Kap. 4.2.2. und RACHOLD 1994)

Die erhöhten Gehalte der detritisch eingetragenen Elemente (Si, Ti, Zr) und eventuell die TOC/Al-Verhältnisse im Unter-Alb könnten auf einen stärkeren fluviatilen Eintrag hindeuten. Nach KEMPER (1982, 1987) kam es infolge eines Klimateinbruchs in diesem Zeitabschnitt zu einer Unterbrechung der seit dem Unter-Apt andauernden Transgressionsphase. Durch regressive Tendenzen verringerte sich dabei die Entfernung zum Küstenbereich, so daß ein relativ hoher Anteil des terrigenen Eintrags abgelagert wurde. Paläontologische Ergebnisse, wie das Fehlen planktonischer Foraminiferen und das Verhältnis von terrigenen Sporomorphen zu marinen Palynomorphen (t/m Index) bestätigen einen relativ niedrigen Meeresspiegelstand für diesen Profilabschnitt (PRAUSS 1998, FENNER et al. 1996).

Die Schwankungen der K/Al-Verhältnisse können auf Änderungen der Tonmineralogie zurückgeführt werden. Als Tonminerale treten vor allem gut kristalliner Illit, Kaolinit und Montmorillonit auf (KÜHN 1995, BENESCH 1998). Die Zusammensetzung der Tonminerale wird im Unter-Alb von Montmorillonit bestimmt. Ab 330 m Teufe ist zum Hangenden hin, bei gleichzeitigem Rückgang der Montmorillonit-Gehalte, eine deutliche Zunahme der Illit- und Kaolinit-Gehalte zu verzeichnen. BENESCH (1998) führt die Abnahme der Montmorillonit-Gehalte auf Veränderungen im Liefergebiet zurück. Während er die Montmorillonite vorwiegend umgelagerten Unterkreide-Sedimenten in denen etwa ab dem Mittel-Apt Smektite auftreten zuordnet, handelt es sich bei den Illit- und Kaolinitmineralen hauptsächlich um Verwitterungsmaterial von paläozoischen Gesteinen des südlichen Festlandes.

Niedrigere Wassertemperaturen, bedingt durch die von KEMPER (1982) postulierte Kälteperiode, bewirkten eine geringe Karbonatproduktion, was sich in niedrigen CaCO_3 -Gehalten bzw. Ca/Al- und Sr/Al-Verhältnissen dieser Sedimente widerspiegelt. Im weiteren Profilverlauf ist für diese Elemente infolge einer Erwärmung des Klimas und erneut einsetzender Transgression (RUFFELL 1991) eine Zunahme der Gehalte von Unter- bis Ober-Alb zu verzeichnen.

Weiterhin wurden im Kirchrode-Profil im untersten Teufenbereich bis 350 m sehr geringe Mn/Al-Verhältnisse be-

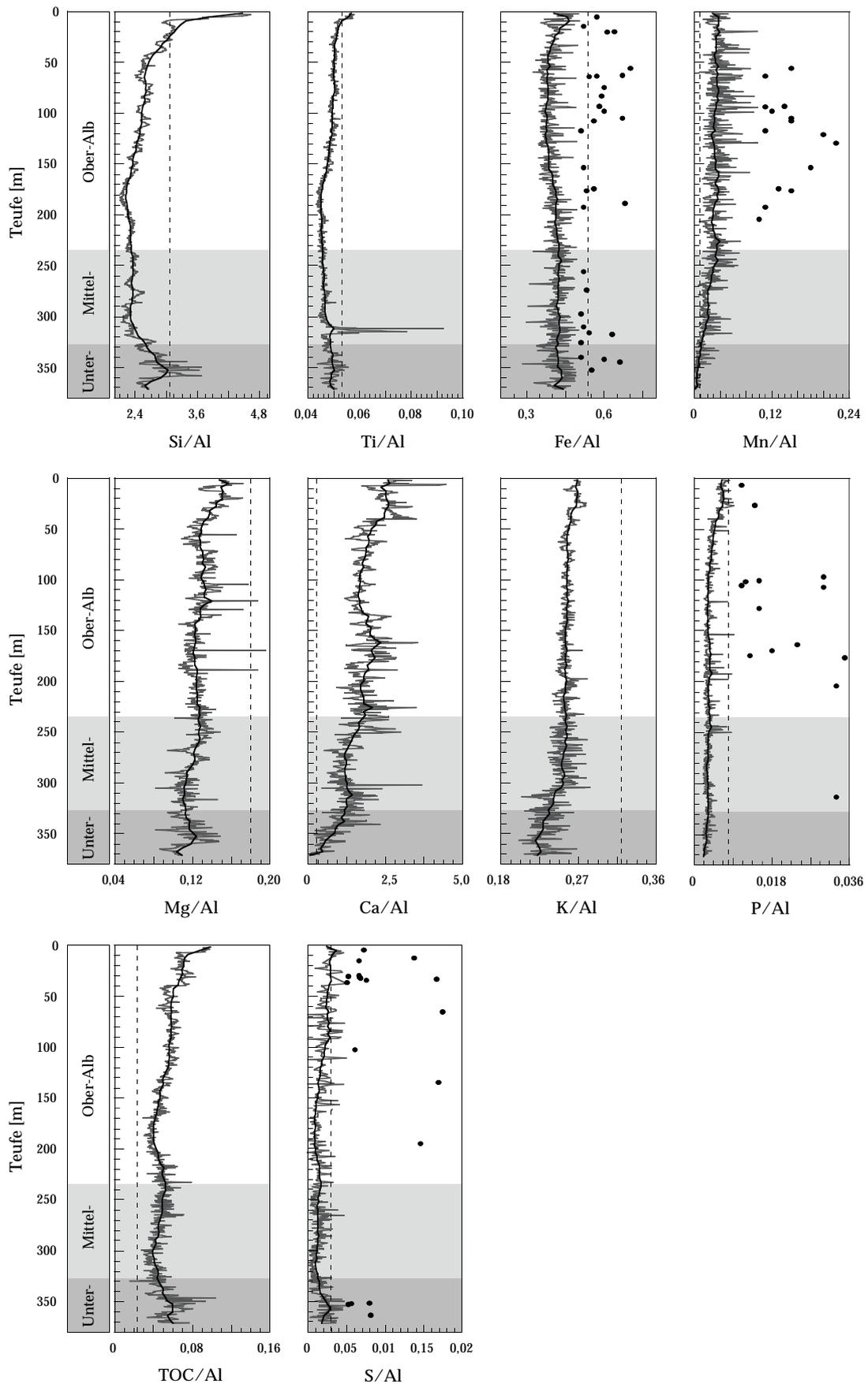


Abb. 22: Hauptelement-/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh.] im Tiefenprofil der Kerne KiI und KiII. Einzelproben mit überdurchschnittlich hohen Elementgehalten sind gesondert als schwarze Punkte dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt das jeweilige Element/Al-Verhältnis eines mittleren Tonschiefers (WEIDEPHOL 1971, 1991) an.

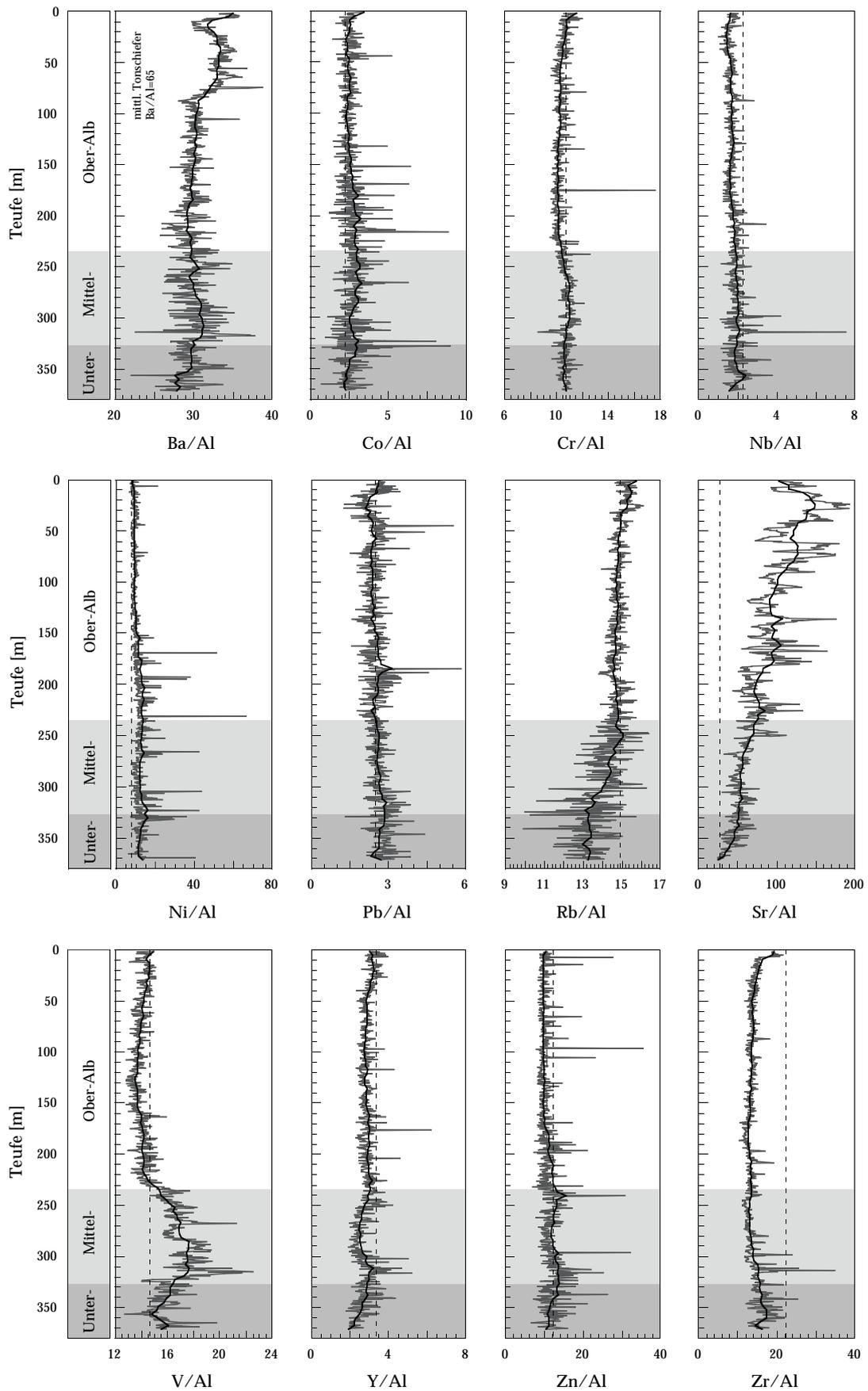


Abb. 23: Spurenelement-/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh. • 10^4] im Tiefenprofil der Kerne KiI und KiII. Die gestrichelte Linie gibt das jeweilige Element/Al-Verhältnis eines mittleren Tonschiefers (WEDEPOHL 1971, 1991) an.

stimmt. Bezogen auf einen mittleren Ton-schiefer ist eine leichte Mn-Mobilisierung erkennbar, so daß von leicht reduzierende Bedingungen im Bodenwasser ausgegangen werden kann (Abb. 22, Abb. 23). Ein geringer Anstieg der S/Al-Verhältnisse stützt diese Annahme (Kap. 4.2.2.).

Ab 350 m Teufe ist, einhergehend mit ansteigenden CaCO_3 -Gehalten, eine stetige Zunahme der Mn/Al-Verhältnisse zum Hangenden hin zu beobachten.

Die Fixierung des Mn in Karbonatmineralen belegt die Korrelation zwischen MnO und CaCO_3 (Abb. 24). Mineralogisch wurden als Hauptkarbonatphasen Ca-Rhodochrosit und Mn-Calcit nachgewiesen (KÜHN 1995, BENESCH 1998). Die Ausfällung Mn-reicher Karbonate im Porenwasser ist abhängig von pH, Alkalinität, der Konzentration an gelösten $\text{Mn}^{(II)}$ -Ionen sowie Korngröße, Karbonatgehalt und Sedimentationsrate (MIDDELBURG et al. 1987, CALVERT & PEDERSEN 1996). Neben hohen Karbonatgehalten

spielt die Korngröße eine entscheidende Rolle. Je feinkörniger die Karbonatpartikel, desto eher kann eine Bindung des Mn an diese erfolgen. Alkalinität und pH beeinflussen dagegen nur in geringem Maße die Gleichgewichtskonzentration von gelöstem $\text{Mn}^{(II)}$ (BOYLE 1983, PEDERSEN & PRICE 1982).

Die Berechnung von Mn-Akkumulationsraten des nicht detritischen, überschüssigen Mn-Anteils ($\text{Mn}_{\text{Excess}}$) der Sedimente sowie der Vergleich mit Mn-reichen, oxischen Sedimenten aus dem Mittelmeer (Tab. 6) zeigt, daß ein relativ hoher Mn-Eintrag für die Kirchrode-Sedimente bestand. Im Ober-Alb ergibt sich aufgrund der hohen Sedimentationsraten mindestens eine bis zu 5 mal höhere $\text{Mn}_{\text{Excess}}$ -Akkumulation, als für die Mittelmeer-Sedimente.

Die signifikante Mn-Anreicherung der Kirchrode-Sedimente setzt einen effektiven Transport von Mn in das Sedimentationsbecken voraus. RACHOLD (1994) vermutet außer einem starken flu-

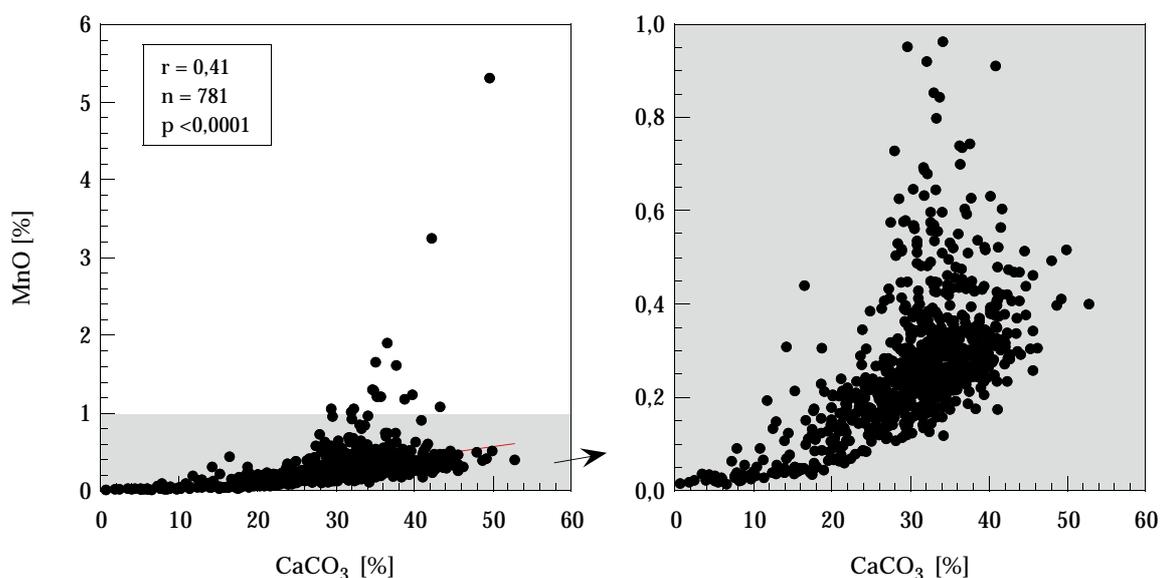


Abb. 24: Korrelation zwischen MnO- und CaCO_3 -Gehalten der Bohrungen KiI und KiII.

Tab. 6: Durchschnittliche Mn-Akkumulationsraten der Sedimente aus den Bohrungen KiI und KiII sowie für oxische Mittelmeer-Sedimente aus dem Pliozän (MM, Angaben der Elementgehalte und Sedimentationsraten nach WEHAUSEN 1998, WEHAUSEN & BRUMSACK 1998);

$$\text{Mn}_{\text{Excess}} = \text{Mn}_{\text{Probe}} - (\text{Mn}/\text{Al})_{\text{Tonschiefer}} \cdot \text{Al}_{\text{Probe}}$$

Mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971.

| | Ober-Alb | Mittel-Alb | Unter-Alb | Gesamt | MM ODP Site 964 | MM ODP Site 967 | MM ODP Site 966 |
|--|-----------|------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mn [%] (karbonatfrei) | 0,43 | 0,26 | 0,080 | 0,35 | 0,53 | 0,34 | 0,16 |
| Al [%] (karbonatfrei) | 10,6 | 11,1 | 10,1 | 10,7 | 8,7 | 9,3 | 8,3 |
| detritischer Mn-Anteil [%] | 0,084 | 0,088 | 0,080 | 0,085 | 0,069 | 0,073 | 0,066 |
| Mn _{Excess} [%] | 0,35 | 0,17 | --- | 0,27 | 0,46 | 0,27 | 0,09 |
| Sedimentationsrate [cm/1000 a] | 10 | 4 | 4 | 6 | 2 | 2 | 2 |
| Sediment-Akkumulationsrate [mg/(cm ² •a)] | 20 | 8 | 8 | 12 | 3 | 3 | 2 |
| Mn_{Excess}-Sedimentation [µg/(cm²•a)] | 70 | 14 | --- | 32 | 14 | 8 | 2 |

viatilen Eintrag eine zusätzliche Mn-Quelle in einer weiter südlich gelegenen, den Schelf schneidenden Sauerstoffminimumzone (SMZ).

Sedimente, die im Bereich einer SMZ liegen, weisen aufgrund der guten Löslichkeit von Mn unter sauerstoffarmen Bedingungen meist eine typische Mn-Verarmung auf (BRULAND 1983, LANDING & BRULAND 1980). So kann das Mn/Al-Verhältnis rezenter Auftriebssedimente (z.B. Golf von Kalifornien), bei denen Mn innerhalb der SMZ gelöst, abtransportiert und damit dem Sediment entzogen wurde, um ca. die Hälfte bis 2/3 geringer sein, als das eines mittleren Tonschiefers (BRUMSACK 1989). Außerhalb der SMZ erfolgt eine Reoxidation der löslichen Mn^(II)-Ionen zu partikulären Mn-Oxiden/Hydroxiden mit anschließender Partikeldeposition in Sedimenten unterhalb der SMZ. Tatsächlich finden sich in der südlich von Kirchrode gelegenen Beckenrandfazies bei Alfeld kieselsäure-, phosphorit- und glaukonitreiche Sedimente (Flammenmergel), die nach KEMPER (1989) ein typisches Auftriebssedi-

ment darstellen. Ausgesprochen geringe MnO-Gehalte von 0,02 % (KELLER et al. 1989) belegen eindeutig einen Mn-Austrag aus dem Sediment. Bezogen auf einen mittleren Tonschiefer wurden bei einem durchschnittlichen Mn/Al-Verhältnis der Flammenmergel von 0,002 mindestens 3/4 des ursprünglich im Sediment vorhandenen Mn-Anteils mobilisiert.

4.2.2. Redoxbedingungen und Paläoproduktivität

Durchschnittlich niedrige TOC- (0,54 % karbonatfrei) und S-Gehalte (0,19 % karbonatfrei) der Kirchrode-Sedimente lassen auf ein oxidierendes Ablagerungsmilieu schließen. Ein Gleiches zeigt die Darstellung des nicht silikatisch gebundenen Eisenanteils sowie von S und TOC im Dreiecksdiagramm Fe_x - S • 2 - TOC (Abb. 25).

Die Datensätze beider Kernbohrungen weisen eine gute Übereinstimmung auf. Wie zu erkennen, liegen bis auf wenige Ausnahmen alle aufgezeigten Datenpunkte weit oberhalb der Verbin-

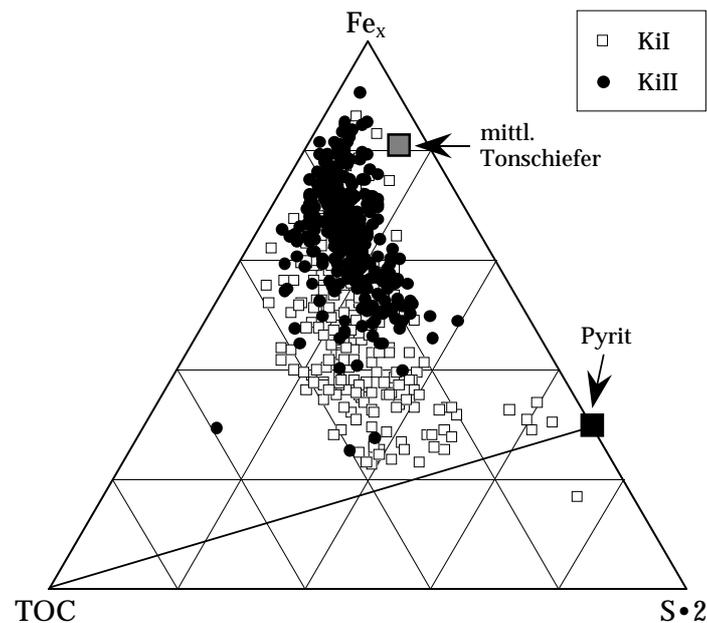


Abb. 25: Dreiecksdiagramm Fe_x - $S \cdot 2$ - TOC aller Kirchrode-Proben;
 $Fe_x = Fe_{\text{Probe}} - 0,25 \cdot Al_{\text{Probe}}$. Mittlerer Tonschiefer nach WEDEPOHL 1971.

dungslinie TOC-Pyrit. Demnach kann von einer Limitierung der Pyritgenese durch geringe TOC- oder Sulfatgehalte im Sediment bzw. Porenwasser ausgegangen werden. Proben, die einen höheren Pyritisierungsgrad aufweisen, enthalten Teile größerer Pyritkonkretionen (z.B. pyritisierte Fossilreste). Deren Bildung war im Sediment aber lokal eng begrenzt, so daß sie keine Rückschlüsse auf den Redoxzustand des Gesamtsedimentes erlauben.

Ein weiterer Beleg für den oxischen Charakter der Sedimente sind die in etwa einem Tonschiefer entsprechenden Element/Al-Verhältnisse redoxsensitiver Spurenelemente wie Co, Cr oder V (Abb. 21 bis Abb. 23). Bei Betrachtung des Kirchrode-Profiles liegt für V zwar eine signifikante Anreicherung der Element/Al-Verhältnisse im Mittel-Alb gegenüber Ober- und Unter-Alb-Sedimenten vor, jedoch weichen die Werte nur ge-

ringfügig vom mittleren Tonschiefergehalt ab und liegen deutlich unterhalb der V/Al-Verhältnisse sub- oder anoxischer Sedimente (Kap. 4.1.2., s.a. HILD & BRUMSACK 1998). Ein stärker reduzierendes Milieu, wie es aufgrund der sensiblen Redoxchemie bei erhöhten V-Gehalten zu erwarten wäre (WEHRLI & STUMM 1989, SHAW et al. 1990, CALVERT & PEDERSEN 1993), kann auch durch andere Element/Al-Verhältnisse in diesem Bereich nicht bestätigt werden.

An Sedimenten aus der Bohrung KiI konnte RACHOLD (1994) nachweisen, daß V an die detritische Tonmineralkomponente Illit oder Kaolinit gebunden ist. Mineralogische Untersuchungen (Fraktion $<20 \mu\text{m}$) bestätigen leicht erhöhte Illit- und Kaolinitgehalte im Mittel-Alb gegenüber Unter- und Ober-Alb-Sedimenten (BENESCH 1998). Wie aus Abb. 26 ersichtlich ist, sind in den Sedimenten der Bohrung KiII die V-Gehalte deutlich

mit Al_2O_3 und damit mit dem Tonmineralanteil korreliert. Die Adsorption von V an Tonminerale wird u.a. in Arbeiten von BREIT & WANTY (1991) beschrieben.

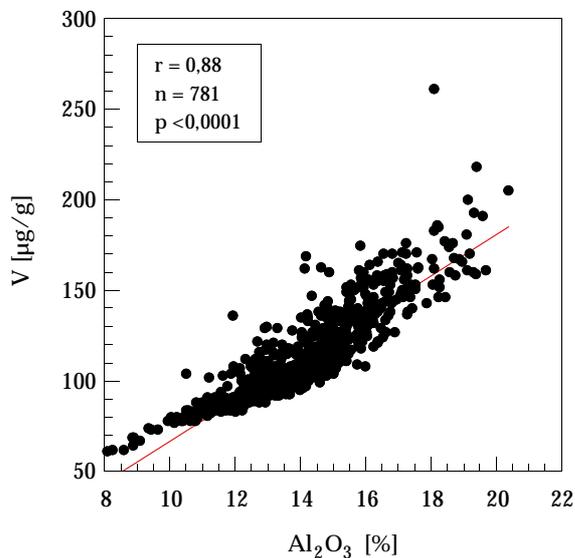


Abb. 26: Korrelation zwischen Al_2O_3 - und V-Gehalten (Bohrkern KiI und KiII).

Eine zusätzliche V-Quelle, möglicherweise vulkanische Aktivität, ist im Bereich zwischen 310 - 320 m Tiefe nicht auszuschließen. Hohe Gehalte an Ti, Zr, Nb und Seltenen Erden Elementen in diesem Abschnitt weisen auf eine vulkanogene Komponente im Sediment hin. In diesem Bereich liegen auch die höchsten V/Al-Verhältnisse vor (Abb. 22, Abb. 23).

Organisch-geochemische Untersuchungen des organischen Materials aus KiI (JENDRZEJEWSKI 1995) belegen ebenfalls eindeutig oxische Verhältnisse in der Wassersäule und den oberen Sedimentschichten. Die TOC-Ablagerungen beinhalten überwiegend aufgearbeitetes, wenig reaktives Oberkarbonmaterial. Entsprechend einer starken aeroben Degradation konnte leicht abbaubares, marines organisches Material nur zu einem

geringen Anteil (unter 0,1 %) nachgewiesen werden (JENDRZEJEWSKI 1995). Auffällig ist eine extrem niedrige TOC-Akkumulation trotz hoher Sedimentationsraten (Abb. 27). Nach Modellvorstellungen sollte eine schnelle Einbettung organischer Substanzen in das Sediment deren Erhaltung begünstigen (MÜLLER & SUESS 1979, SUMMERHAYES 1987, STEIN 1991).

In Abb. 27 ist die Beziehung von TOC-Akkumulation zu Sedimentationsrate von Ober-, Mittel- und Unter-Alb-Sedimenten der Bohrungen Kirchrode, von Kreidesedimente des Nordatlantiks (SUMMERHAYES 1987), pliozänen Mittelmeer-Sedimenten (WEHAUSEN 1998) und rezenten pelagischen Sedimenten des zentralen Pazifiks dargestellt. Während zwischen Kirchrode-, Mittelmeer- und Pazifik-Sedimenten eine relativ gute Korrelation besteht, weichen die Werte von SUMMERHAYES (1987) deutlich ab.

Mit Ausnahme der Nordatlantik-Sedimente mit TOC-Gehalten $>1\%$ können für die dargestellten Sedimente weitgehend oxische Bedingungen in der Wassersäule und an der Sediment-Meerwasser-Grenze angenommen werden.

Unterschiede bestehen in der Wassertiefe der einzelnen Sedimentationsräume. Mit einer Wassertiefe von ca. 600 m im Ober-Alb (FENNER et al. 1996) repräsentieren die Kirchrode-Sedimente den relativ flachen Schelfbereich. Demgegenüber stehen die in über 3000 m abgelagerten Tiefseetone des Pazifik. Nordatlantik und Mittelmeer weisen vergleichbare Wassertiefen von durchschnittlich 2000 m - 3000 m auf.

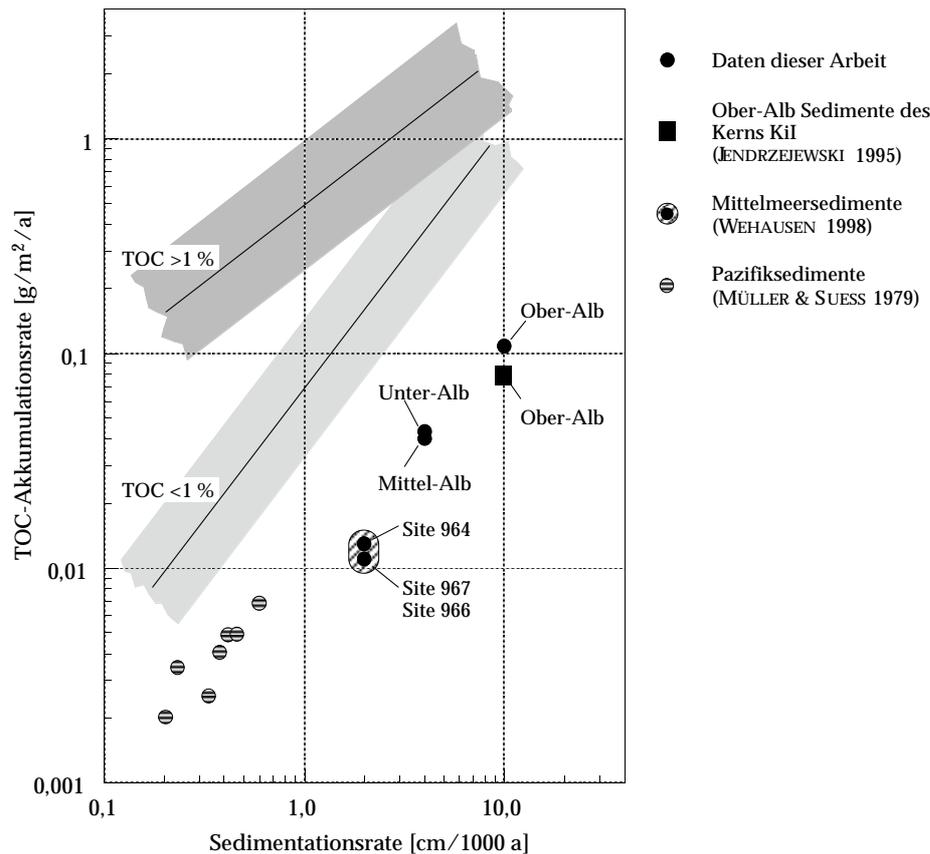


Abb. 27: Beziehung zwischen TOC-Akkumulation und Sedimentationsrate für kretazische, pliozäne und rezente Sedimente. Grau unterlegt, die Korrelation beider Parameter nach SUMMERHAYES (1987). Sedimentationsraten der Mittelmeer-Sedimente aus Tab. 3. Die verwendeten TOC-Werte sind karbonatfrei gerechnet.

Im Mittel werden 70 - 90 % des primären organischen Materials in den obersten 100 m in der photischen Zone der Wassersäule abgebaut (BERGER 1991). Je länger das Material zudem in der Wassersäule verweilt, desto größer ist dessen Remineralisierung (CLEGG & WHITFIELD 1990). Hinzu kommt unter oxischen Bedingungen ein relativ schneller Abbau des organischen Materials an der Sediment/Meerwassergrenze und in den obersten Sedimentlagen durch benthische Organismen. Allgemein kann in den hier dargestellten Sedimenten ein relativ niedriger Erhaltungsgrad für organisches Material angenommen werden.

Ausgehend von einer vergleichbaren Primärproduktion würde die differierende TOC-Akkumulation zwischen Pazifik-, Mittelmeer- und Kirchrode-Sedimenten eine bessere Erhaltung des organischen Materials aufgrund einer schnelleren Einbettung in die Sedimente mit höherer Sedimentationsrate bzw. geringerer Wassertiefe widerspiegeln. Zudem ist anzunehmen, daß die Primärproduktion im Schelfbereich aufgrund eines stärkeren Nährstoffeintrags mit dem detritischen Material höher ist bzw. war, als im offenen Ozeanmilieu. Die durchschnittliche Produktivität eines normalmarinen Küstenraumes beträgt ca.

150 gC/m²/a (STEIN 1991), während für offene Ozeane im subtropischen Bereich eine Produktivität von ca. 50 - 100 gC/m²/a angegeben wird (EPPELY & PETERSON 1979, BERGER 1991). Zusätzlich kann der Eintrag von terrigenem, schwer zersetzba-rem organischem Material in Küstennähe zu erhöhten TOC-Gehalten im Sediment führen.

Da der Ablagerungsraum der Kirchrode- und Mittelmeer-Sedimente im Vergleich zum kretazischen Nordatlantik durch bessere oder zumindest vergleichbare Erhaltungsbedingungen für organisches Material (Nähe zur Küste, Wassertiefe, Sedimentationsrate) charakterisiert ist, wäre auch eine entsprechend hohe TOC-Akkumulation zu erwarten gewesen. Die Werte für Kirchrode- und Mittelmeer-Sedimente liegen jedoch deutlich unterhalb der TOC-Akkumulation oxischer Kreidesedimente des Nordatlantiks. Eine vergleichsweise höhere Primärproduktion und/oder ein größerer Eintrag an terrigenem organischem Material in den Nordatlantik könnte dies erklären. Paläontologische Arbeiten bestätigen ein oligotrophes System für die Kirchrode-Sedimente (FENNER et al. 1996) und auch die geochemischen Daten lassen auf eine niedrige Primärproduktion schließen. Für die Mittelmeersedimente nimmt WEHAUSEN (1999) einen der heutigen Primärproduktionsrate von 30 gC/m²/a (BERMAN 1986) entsprechenden Wert an.

Leicht reduzierende Verhältnisse im Bodenwasser können aufgrund geringer Mn/Al-Verhältnisse, bei gleichzeitigem

Anstieg der S/Al- und TOC/Al-Verhältnisse im Unter-Alb zwischen 340 und 360 m Teufe angenommen werden. Spurenelement/Al-Verhältnisse zeigen allerdings in diesem Sedimentabschnitt keine auffälligen An- bzw. Abreicherungen (Abb. 22, Abb. 23). Eine Limitierung von Sauerstoff im Bodenwasser deutet jedoch auch die Zusammensetzung der benthischen Foraminiferengemeinschaften an (FENNER et al. 1996).

Hinweise auf eine merkliche Erhöhung der Primärproduktion, wie sie in den obersten 0 - 40 m des Kernprofils beobachtet wurde (RACHOLD 1994), liegen hier nicht vor. Erhöhte Si/Al-Verhältnisse sind weniger auf das vermehrte Auftreten von Radiolarien oder Diatomeen zurückzuführen, als vielmehr auf einen verstärkten terrigenen Einfluß.

Durchschnittlich niedrige Gehalte (unterhalb eines mittleren Tonschiefers) der an biologischen Prozessen beteiligten Elemente P und mit Einschränkungen Ba deuten allgemein auf eine geringe Primärproduktion im gesamten Kirchrode-Profil hin (Abb. 21 bis Abb. 23). Bei Betrachtung der Tiefenprofile ist jedoch eine Anreicherung von P/Al in den obersten, 0 - 40 m, neben hohen P/Al-Verhältnissen in einigen phosphorhaltigen Proben zu verzeichnen. Im gleichen Sedimentabschnitt ist ein Anstieg der Si/Al-Verhältnisse feststellbar, mit maximalen Werten oberhalb von 8 m Teufe (Abb. 22, Abb. 23). Die erhöhten Si-Gehalte sind in diesem Bereich auf biogene Kieselsäure (Radiolarien) zurückzuführen (RACHOLD 1994, KÜHN 1995, FENNER et

al. 1996). Nach RACHOLD (1994) repräsentiert die begleitende Zunahme von Ti/Al und Zr/Al einen verstärkten äolischen Eintrag. Somit kann für diesen Profilabschnitt eine leicht ansteigende Primärproduktion im Oberflächenwasser bedingt durch den Auftrieb von nährstoffreichem Wasser aufgrund höherer Windgeschwindigkeiten angenommen werden. Ba, häufig als Paläoproduktivitätsindikator verwendet (u.a. VON BREY-MANN et al. 1992, DYMOND & COLLIER 1996), zeigt in den Al-normierten Gehalten ebenfalls einen geringfügigen Anstieg im oberen Kernabschnitt. Die Werte liegen jedoch deutlich unter denen eines mittleren Tonschiefers. Ausnahmen sind hohe Gehalte in einigen wenigen Barytkonkretionen. Da der Eintrag von biogenem Ba in Abhängigkeit zur Wassertiefe steht (je höher die Wassersäule, desto größer der Eintrag an Baryt (DYMOND et al. 1992)) eignet sich Ba im flachen Schelfbereich allerdings nicht unbedingt als guter Produktivitätsindikator. Das Er-

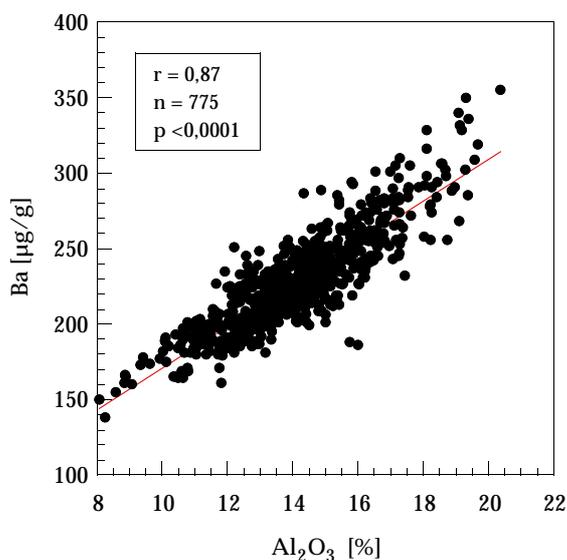


Abb. 28: Korrelation zwischen Al_2O_3 und Ba der Bohrungen KiI und KiII.

gebnis der Faktoranalyse bzw. die Korrelation zwischen Ba und Al_2O_3 (Abb. 28) zeigt zudem die Abhängigkeit der Ba-Gehalte vom detritischen Eintrag durch Tonminerale.

Variationen in der Paläoproduktivität können, mit Einschränkung, auch anhand der Ca/Al- und Sr/Al-Verhältnisse abgelesen werden. Der Eintrag von Ca und Sr in die Kirchrode-Sedimente ist vor allem auf die primäre Einbettung von Foraminiferen und kalkigem Nannoplankton zurückzuführen (FENNER et al. 1996). Ausgehend von einer gleichmäßigen, geringen diagenetischen Überprägung der Sedimente, die für den Abschnitt zwischen 60 und 90 m Teufe im Kirchrode-Profil eindeutig nachgewiesen wurde (FENNER et al. 1996), spiegeln die Fluktuationen der Elemente in diesem Kernabschnitt Änderungen der biogenen Karbonatproduktivität wider. Ebenso sind die geringen Ca/Al- und Sr/Al-Verhältnisse im Unter-Alb nicht auf Lösungserscheinungen, sondern primär auf eine niedrigere Karbonatproduktion zurückzuführen (KEMPER 1982). KEMPER (1982) sieht die Ursache dafür in einer Verschlechterung der Lebensqualität (z.B. kühle Wassertemperaturen) für karbonatproduzierende Organismen.

Bei Betrachtung des Sr/Ca-Verhältnisses ist unabhängig vom Karbonat-Gehalt eine auffällige Zunahme der Sr-Gehalte oberhalb von 190 m Kerntiefe erkennbar (Abb. 29). Als Vergleichsdaten sind in Abb. 29 die Werte eines mittleren Tonschiefers und mariner Kalksteine aus der Oberkreide (HILD 1997) eingetragen.

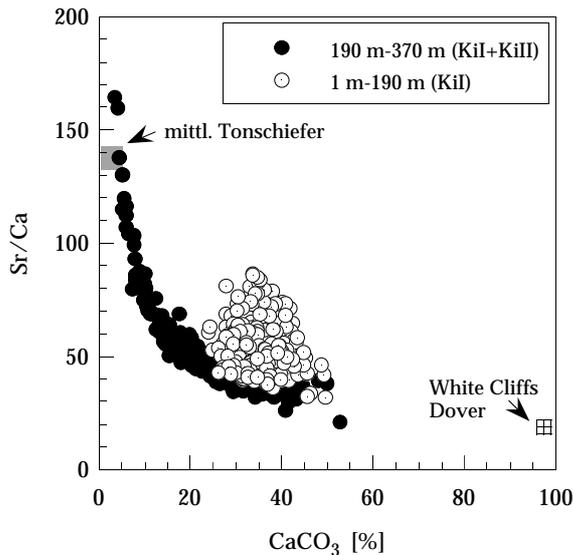


Abb. 29: Korrelation der Sr/Ca-Verhältnisse zu den CaCO_3 -Gehalten der Kirchrode-Proben.

Aufgrund der nur geringen diagenetischen Überprägung der Sedimente kann davon ausgegangen werden, daß die Schwankungen der Sr-Gehalte nicht allein auf eine diagenetische Mobilisierung des Sr zurückzuführen sind. RACHOLD (1994) erklärt die Varianz durch einen erhöhten Anteil an aragonitischen Karbonatschalen und das Auftreten von Acantharien, deren Schalenmaterial durch Coelestin (SrSO_4) aufgebaut wird (BERNSTEIN et al. 1992). Anhand von Berechnungen konnte RACHOLD zeigen, daß ein Anteil von 17 % Aragonit oder 0,31 % Coelestin am gesamten Schalenmaterial ausreichen würde, um die maximale Sr-Anreicherung der Kirchrode-Sedimente von ca. 3000 $\mu\text{g/g}$ in 100 % Karbonat zu erhalten.

4.2.3. Lanthaniden

An 32 Proben des Bohrkerns KiII, darunter drei Fe-Mn-Mischkonkretionen, wurde die Zusammensetzung der Seltenen-

Erden-Elemente (rare earth elements = REE) La bis Lu bestimmt. Die Seltenen-Erden-Verteilung in Sedimenten wird häufig verwendet, um Aussagen über die Herkunft des abgelagerten Materials zu erhalten, da Verwitterung, Erosion oder diagenetische Überprägung das Verteilungsmuster der REE aufgrund ihrer schlechten Löslichkeit kaum beeinflussen (FLEET 1984, TAYLOR & MCLENNAN 1985).

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der REE untereinander sind sehr ähnlich, da sie stabile dreiwertige Ionen annähernd gleicher Größe bilden. Differenzen im chemischen Verhalten erfolgen durch die geringe aber stetige Abnahme der Ionengröße mit ansteigender Ordnungszahl (SHANNON 1976). Diese geringfügigen Unterschiede in Größe und Verhalten der REE verursachen, insbesondere bei petrologischen Prozessen, eine Fraktionierung relativ zueinander. So erfolgt beispielsweise eine Anreicherung der mittleren REE (Sm bis Ho = MREE) relativ zu den leichten (La bis Nd = LREE) und schweren REE (Er bis Lu = SREE) in Apatit oder die Anreicherung der SREE in Zirkon (GROMET & SILVER 1983, BRAUN et al. 1993, CONDIE 1993).

Einige REE liegen nicht nur in dreiwertigen Oxidationsstadien vor, wobei nur $\text{Ce}^{(\text{IV})}$ und $\text{Eu}^{(\text{III})}$ geologisch relevant sind. $\text{Eu}^{(\text{III})}$ tritt unter extrem reduzierenden Bedingungen auf. Sein Ionenradius entspricht dabei in etwa dem von $\text{Sr}^{(\text{II})}$ so daß es anstelle von Ca in Minerale eingebaut werden kann. Eine Fraktio-

nierung von $\text{Eu}^{(III)}$ zu den dreiwertigen REE erfolgt vor allem bei der frühen Auskristallisation von Ca-reichen Plagioklassen in magmatischen Schmelzen (McLENNAN 1989) und führt zu einer negativen Eu-Anomalie bzw. Eu-Verarmung bei später auskristallisierenden Mineralen. Je nach Anteil dieser Minerale in Gesteinen oder Sedimenten können die REE-Muster entsprechend beeinflusst werden. In Meerwasser wurde Eu, außer in hydrothermalen Quellen, bisher ausschließlich in der dreiwertigen Form aufgefunden (MICHARD et al. 1983, MICHARD & ALBARÈDE 1986). In Porenwässern konnten McRAE et al. (1992) eine Mobilisierung von Eu im Sediment durch die Reduktion von $\text{Eu}^{(III)}$ zu $\text{Eu}^{(II)}$ nachweisen.

Als einziges Element der REE tritt Ce in vierwertiger Form unter oxischen Bedingungen auf (GOLDBERG et al. 1963, BROOKINS 1989). In Meerwasser gelöstes $\text{Ce}^{(III)}$ kann sowohl abiotisch (KOEPPENKASTROP & DE CARLO 1992) als auch mikrobiell (MOFFETT 1990) zu $\text{Ce}^{(IV)}$ oxidiert und als schwerlösliches CeO_2 an Mn/Fe-Oxid-/Hydroxidphasen gebunden aus der Wassersäule ausgefällt werden (BROOKINS 1989). Als Folge davon weist Meerwasser im Verhältnis zu den anderen REE eine negative Ce-Anomalie auf, während in Mn-Knollen oft eine positive Ce-Anomalie vorliegt (GERMAN & ELDERFIELD 1990, DE BAAR et al. 1985, PIPER 1974). Unter anoxischen Bedingungen kann eine Freisetzung von REE und Ce insbesondere durch die Zersetzung von Mn/Fe-Oxiden/Hydroxiden erfolgen (DE BAAR et al. 1988, GERMAN & ELDERFIELD

1989, GERMAN et al. 1991, SHOLKOVITZ et al. 1992).

In Meer- und Flußwasser liegen die dreiwertigen REE überwiegend in Form von gelösten Karbonat- und Oxalat-Ionen-Komplexen vor (CANTRELL & BYRNE 1987, MARTIN et al. 1976). Aufgrund ihrer kleineren Ionengröße bilden die SREE dabei stabilere Komplexe als die LREE. Wie Laborversuche von BYRNE & KIM (1990) zeigen, besteht eine bevorzugte Absorption der LREE an Oberflächen (Scavenging), was dazu führt, daß Meer- und Flußwasser an LREE abgereichert ist (SHOLKOVITZ et al. 1994, TURNER et al. 1981).

Ein dem Meerwasser entsprechendes REE-Verteilungsmuster ist in biogenen Sedimenten oder authigenen Tonen zu beobachten, wenn die Bildung im Gleichgewicht mit Meerwasser stattfindet (FLEISCHER & ALTSCHULER 1969, PIPER 1974, FLEET 1984, CHAMLEY 1989, BELLANCA et al. 1997). Entsprechend der geringen Konzentration an REE im Wasser sind auch die Gehalte in marinen Karbonaten im Vergleich zu einem Tonschiefer deutlich niedriger. Wie Arbeiten zur REE-Verteilung zwischen karbonatischen und nicht karbonatischen Phasen u.a. in Kalksteinen zeigen, liegt ein großer Anteil der REE-Gehalte im Sediment in detritischen Tonen und Schwermineralen gebunden vor (McLENNAN 1989). Während Schwerminerale untereinander extreme Schwankungen in Konzentration und Verteilungsmuster der REE aufweisen können, zeichnen sich die aus kontinentaler Verwitterung stammenden Tone

bedingt durch eine effektive Mischung des feinkörnigen Sedimentmaterials bei Verwitterung, Erosion und Transport durch vergleichbare REE-Absolutgehalte und sehr ähnliche REE-Muster aus (HASKIN & GEHL 1962, HASKIN et al. 1966, PIPER 1974). Chondrit-normierte REE-Tonschiefer-Muster weisen aufgrund der höheren Löslichkeit der SREE und der bevorzugten Absorption von LREE an Tonpartikeln eine relative Anreicherung der LREE auf sowie eine negative Eu-Anomalie, verursacht durch die verhältnismäßig schnelle Verwitterung von Feldspäten (CONDIE et al. 1995).

Aufgrund der tonigen Materialzusammensetzung der untersuchten Proben wurde bei der Auswertung der Daten eine Normierung auf Tonschiefer (NASC: HASKIN et al. 1968, GROMET et al. 1984) gewählt. Weiterhin werden Element/Al-Verhältnisse betrachtet, um Verdünnungseffekte z.B. durch Quarz und Karbonate sowie Korngrößeneffekte auszuschließen.

Die Auswahl der zu untersuchenden Proben erfolgte mit Ausnahme der Konkretionen anhand hoher Ti/Al- und Zr/Al-Verhältnisse (Abb. 30). Es sollte geprüft werden, ob diese Proben möglicherweise vulkanogenen Ursprungs sind. Zusätzlich wurde, um Vergleiche zu ermöglichen, die REE Zusammensetzung benachbarter Proben mit durchschnittlichen Ti/Al- und Zr/Al-Verhältnissen (Hintergrundsediment) bestimmt.

Im Niedersächsischen Becken wurden u.a. von KEMPER & ZIMMERLE (1978, 1982),

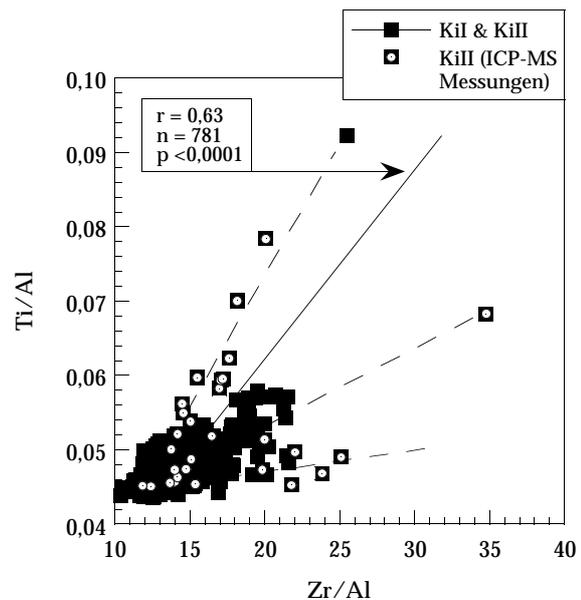


Abb. 30: Korrelation zwischen Ti/Al- [Gew.-Verh.] und Zr/Al-Verhältnissen [Gew.-Verh. $\cdot 10^4$] der Kirchrade-Proben. Die weiß markierten Proben wurden für ICP-MS Analysen ausgewählt.

GAIDA et al. (1978) und KELLER et al. (1989) mehrere trachytische Tufflagen im Apt und Alb beschrieben. In etwa zeitgleiche vulkanogene Ablagerungen finden sich in Südeuropa, die sogenannten „Fuller's Earth“. Diese mehrere Meter mächtigen Bentonite (zu Montmorillonit umgewandelte Glastuffe) entstammen fluviatil transportiertem Verwitterungsmaterial terrestrischer Vulkanite (JEANS et al. 1977, 1982). Die Bentonite zeichnen sich gegenüber einem mittleren Tonschiefer durch extrem hohe (10 bis 20-fache) Anreicherungen insbesondere von Zr, Nb und Ce aus (MORGAN et al. 1979). Die höchsten Gehalte dieser Elemente treten dabei in der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$ auf. Des Weiteren können die Ti-Gehalte im Sediment durch Ti-reichen Biotit und Titanit oder Rutil, die neben Apatit und

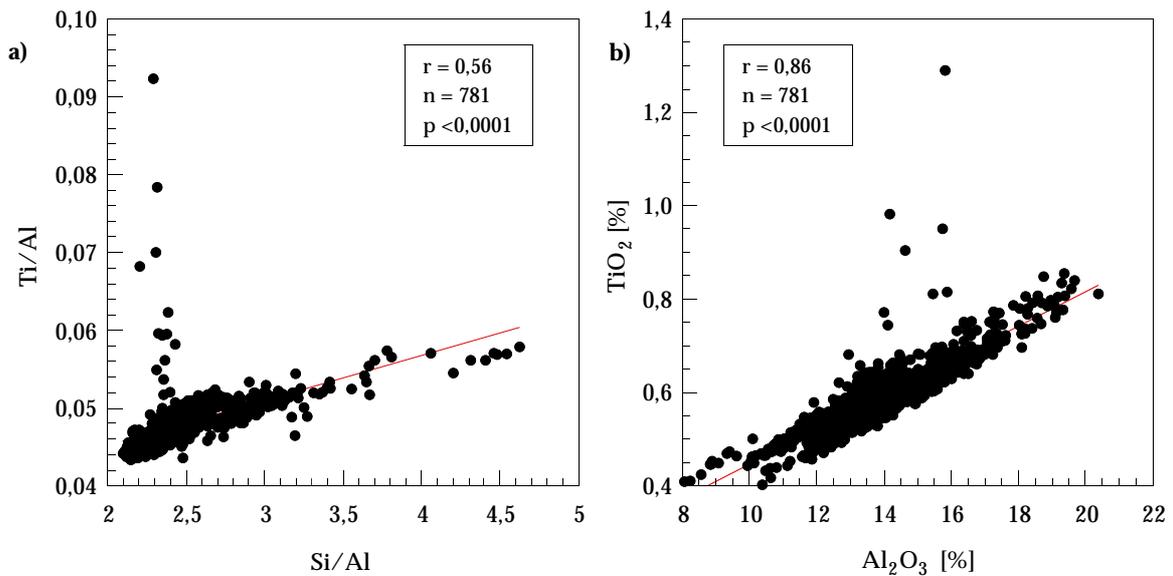


Abb. 31: a) Korrelation zwischen Ti/Al- und Si/Al-Verhältnissen [Gew.-Verh.] der Kirchröde-Proben. b) Korrelation zwischen TiO₂ und Al₂O₃.

Zirkon typische Schwerminerale in trachytischen Vulkaniten darstellen (GAIDA et al. 1978, JEANS et al. 1977), erhöht sein.

Im Profil Kirchröde treten zwischen 310 m - 320 m Tiefe überdurchschnittlich hohe TiO₂-Gehalte bzw. Ti/Al-Verhältnisse auf (Abb. 22, Abb. 23). Im Gegensatz zu erhöhten Ti/Al-Verhältnissen in den obersten 40 m und im unteren Teil des Kernprofils ist in diesem Profilabschnitt keine Beziehung zu Si/Al-Verhältnissen zu verzeichnen (Abb. 31a).

Ebenso besteht in diesen Sedimenten keine Korrelation zwischen TiO₂ und Al₂O₃, wie sie in anderen Bereichen des Tiefenprofils normalerweise vorhanden ist (Abb. 31b). Erhöhte Ti/Al-Verhältnisse bei mittleren Al₂O₃- und SiO₂-Gehalten finden sich u.a. in vulkanischen Gläsern der „Fuller's Earth“ (JEANS et al. 1977), Basalt und intermediären Gesteinen (TAYLOR & McLENNAN 1985). Zr weist eine ähnliche Beziehung zu Si und Al₂O₃ wie Ti auf, allerdings sind die hohen Al-

Verhältnisse von Zr und Ti untereinander nicht korreliert (Abb. 30), so daß von unterschiedlichen Prozessen beim Eintrag dieser Elemente ausgegangen werden kann.

Die Al-normierten Lanthanidenverteilungsmuster der Sedimente zeigen durchschnittlich eine recht gute Übereinstimmung zum NASC (Abb. 32). Im Mittel sind die Sedimente gegenüber dem NASC geringfügig an LREE und MREE angereichert und an SREE abgereichert (Abb. 32, Abb. 33). Proben mit einem hohen Zr/Al- oder Ti/Al-Verhältnis zeigen dabei durchschnittlich eine stärkere Anreicherung der LREE als das Hintergrundsediment (Abb. 32). Ein eindeutiger Bezug zwischen Zr/Al- und Ti/Al-Verhältnissen und den REE-Verteilungsmustern konnte jedoch nicht festgestellt werden (Abb. 33).

Mit Ausnahme der Konkretionen weist die Probe KiII 221,77-93 die größte Abweichung gegenüber dem NASC mit

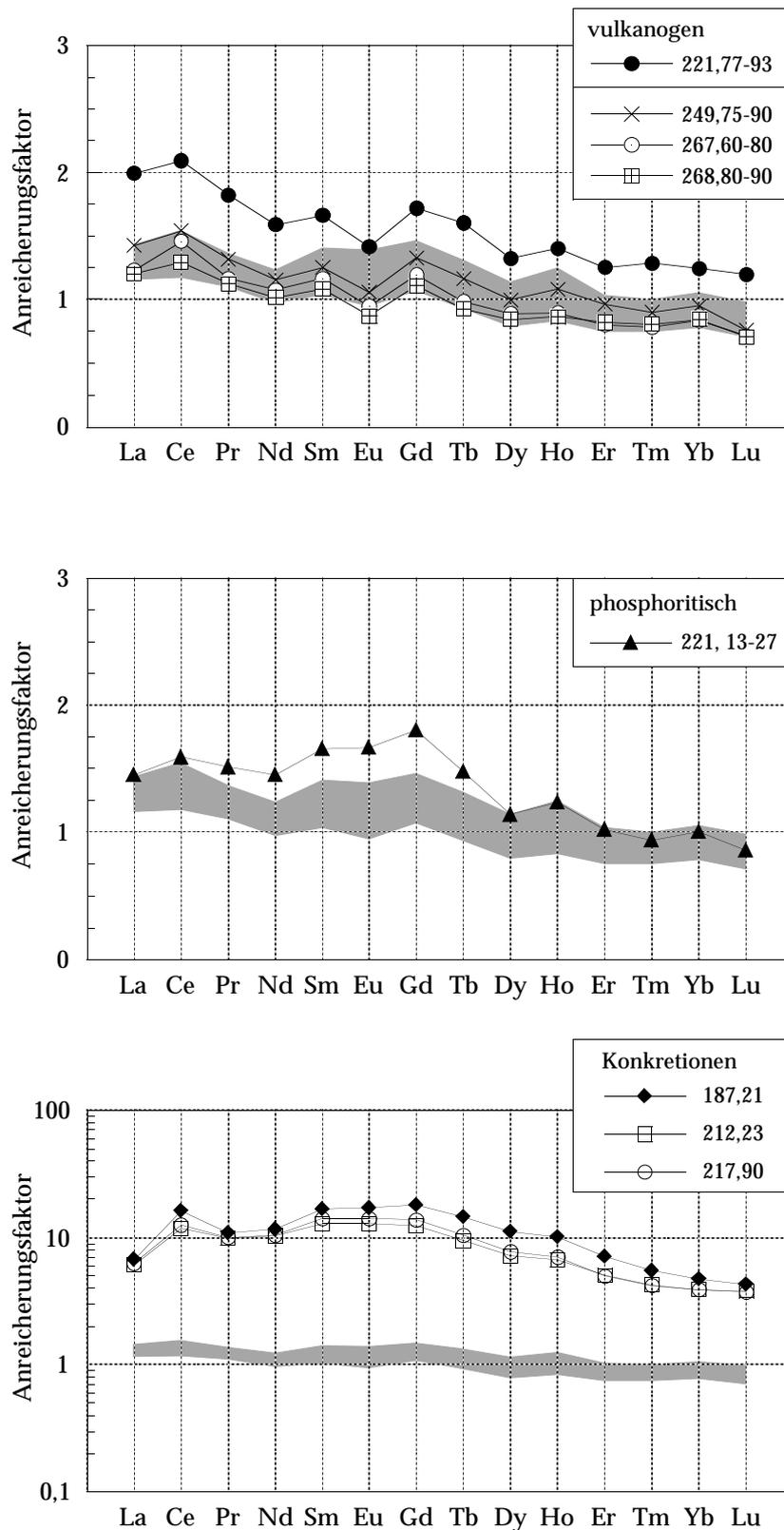


Abb. 32: REE-Verteilungsmuster 29 ausgewählter Proben des Bohrkerns Kill. Anreicherungs-faktor = $(\text{Element}/\text{Al})_{\text{Probe}} / (\text{Element}/\text{Al})_{\text{NASC}}$. NASC nach HASKIN et al. 1968 und GROMET et al. 1984. Grau eingezeichnet ist das Intervall zwischen x_{10} und x_{90} für das gilt: 90% aller Daten sind $>x_{10}$ bzw. $<x_{90}$.

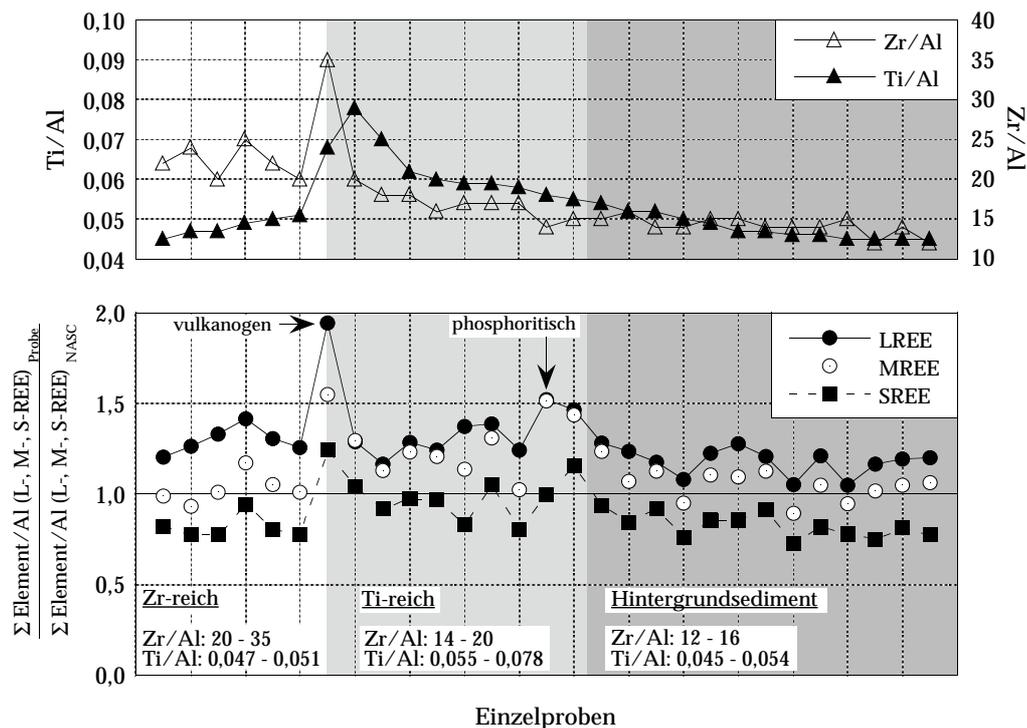


Abb. 33: Ti/Al- [Gew.-Verh.] und Zr/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh. $\cdot 10^4$] von 29 KiII-Proben sowie Anreicherungen der leichten, mittleren und schweren Seltenen Erden dieser Proben gegenüber NASC (HASKIN et al. 1968, GROMET et al. 1984), sortiert nach Ti/Al-Verhältnissen.

generell höheren REE-Gehalten auf (Abb. 32). Weiterhin ist diese Probe im Vergleich zum gesamten Kernprofil durch einen sehr hohen Zr-Gehalt von 291 $\mu\text{g/g}$ (überwiegender Zr-Anteil in der Fraktion $<0,63 \mu\text{m}$ (BENESCH 1998)), einen hohen Nb-Gehalt (63 $\mu\text{g/g}$) sowie eine Anreicherung von TiO_2 (0,95 %) charakterisiert. Die TiO_2 -Gehalte konnte BENESCH (1998) auf idiomorphe Rutilnadeln im Sediment zurückführen. Untersuchungen an Tonmineralen ergaben zudem einen hohen Montmorillonit-Gehalt, den BENESCH (1998) durch *in-situ*-Umwandlungen von vulkanischen Gläsern erklärt. Zusätzlich zu den genannten geochemischen und mineralogischen Befunden deutet auch die relative Anreicherung der LREE gegenüber den MREE und SREE in der Probe KiII 221,77-93 im

Zusammenhang mit erhöhten Zr-Gehalten in der Feinfraktion auf eine Vulkanitkomponente bzw. auf verwitterte vulkanische Glasfragmente hin (MARTIN-BARAJAS & LALLIER-VERGES 1993). Es kann somit davon ausgegangen werden, daß diese Probe eine stark verdünnte Tuffitlage repräsentiert.

Die von RACHOLD (1994) als vulkanogen angesprochene Probe des Kerns KiI bei 87,2 m Teufe ähnelt der Probe KiII 221,77-93 in ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung, enthält jedoch geringere Zr- (138 $\mu\text{g/g}$) und Nb-Gehalte (20 $\mu\text{g/g}$) sowie keine Anreicherung an TiO_2 . RACHOLD (1994) konnte weiterhin geochemische und mineralogische Ergebnisse mit deutlichen Änderungen geophysikalischer Bohrlochmessungen (Logging) zwischen 86 m - 88 m

Teufe im Kernprofil KiI in Beziehung setzen. Aus bohrtechnischen Gründen liegen für den Bereich zwischen 206 m - 226 m des Kerns KiII (298 m - 318 m Teufe im Gesamtprofil) leider keine Logging-Daten vor, so daß in dieser Hinsicht kein Vergleich gezogen werden kann.

Diagenetisch bedingte relativ hohe Anreicherungen der REE-Gehalte zeigt eine phosphoritische Probe (KiII 221,13-27; 0,22 % P_2O_5). Die in dieser Probe erhöhten Gehalte der MREE gegenüber den LREE- und SREE-Gehalten (Abb. 32) sind auf den bevorzugten Einbau der MREE in das Kristallgitter von Apatit zurückzuführen.

Die höchsten Anreicherungen der REE-Verhältnisse gegenüber NASC wurden wie erwartet in den drei untersuchten Fe-Mn-Mischkonkretionen bestimmt. Die Anreicherungsfaktoren liegen je nach Element zwischen 4 und 18 (Abb. 32). Zum Teil sind sie mit durchschnittlichen REE-Anreicherung in Mn-Knollen des Pazifik, des Indischen Ozeans und des Atlantik (BATURIN 1988) vergleichbar.

Die Schwankungen im REE-Muster der Konkretionen können durch das unterschiedliche Adsorptionsverhalten der REE an Oberflächen (z.B. Fe-, Mn-Oxid/Hydroxid-Partikel, Tonminerale) erklärt werden (BYRNE & KIM 1990, SHOLKOVITZ et al. 1994). Die größere Anreicherung von Ce ist auf das spezielle Redoxverhalten dieses Elementes und die daraus resultierende Bindung von schwer löslichem CeO_2 an Mn- und Fe-Oxide/Hydroxide zurückzuführen (s.a. Ce-Anomalie).

Inwieweit REE-"scavenging"-Prozesse eher durch Mn- oder Fe-Oxid/Hydroxidphasen gesteuert werden, ist nicht eindeutig belegt (NATH et al. 1994). Bei den hier untersuchten Konkretionen wurden jedoch die höchsten REE-Gehalte in der Probe (187,21 Kon) mit maximalem Mn-Gehalt und einem vergleichsweise geringen Fe-Anteil (Kap. 4.2.4.) bestimmt.

Eu-Anomalie

Insgesamt wurden für alle untersuchten Sedimente $Eu_N/Eu_N^\#$ -Werte <1 , d.h. eine negative Eu-Anomalie errechnet. Die Berechnung von $Eu_N/Eu_N^\#$ erfolgte nach folgender Formel (TAYLOR & MCLENNAN 1985):

$$\frac{Eu_N}{Eu_N^\#} = \frac{Eu_N}{(Sm_N \cdot Gd_N)^{0.5}}$$

$$Element_N = \frac{Element_{Probe}}{Element_{NASC}}$$

Aufgrund des oxischen Charakters der Sedimente können diagenetische Effekte zur Erklärung der negativen Eu-Anomalie weitgehend ausgeschlossen werden. Als Ursache kann möglicherweise ein im Vergleich zum NASC höherer Verwitterungsgrad der Sedimente angenommen werden. So wurde für die Proben der Kirchrode-Bohrungen ein durchschnittlicher CIA-Wert von 74 (± 1) ermittelt. Der CIA-Index (CIA: chemical index of alteration) ist ein Maß für die Verwitterung von Feldspäten gegenüber Tonmineralen und wird anhand der Mol-Verhältnisse von Al_2O_3 , CaO, Na_2O und K_2O berechnet (NESBITT & YOUNG 1982):

$$CIA = \frac{(Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^\# + Na_2O + K_2O)) \cdot 100}{CaO^\# = \text{silikatischer CaO-Anteil der Probe}}$$

Ein mittlerer Tonschiefer weist CIA-Werte von 60 - 75 (NASC = 69), Schichtsilikate, wie Illit oder Montmorillonit 75 - 85 und Chlorit oder Kaolinit bis 100 auf. Der CIA-Wert von kontinentalem Oberkrustenmaterial liegt dagegen bei 50. Mineralogische Untersuchungen bestätigen, daß in der Zusammensetzung der Kirchrode-Sedimente Tonminerale, insbesondere Illit, Montmorillonit und Kaolinit, dominieren und Feldspäte (Mikroclin, Albit) nur in Spuren nachweisbar sind (KÜHN 1995, BENESCH 1998).

Eine überdurchschnittlich ausgeprägte negative Eu-Anomalie zeigt die als vulkanogen klassifizierte Probe KiII 221,77-93 (Abb. 32). Drei weitere Proben (KiII 249,75-90, KiII 267,60-80 und KiII 268,80-90) mit relativ hohen Zr/Al-Verhältnissen (22 - 25) fallen ebenfalls durch eine negative Eu-Anomalie ($Eu_N/Eu_N^\# = 0,82$) auf, so daß die Häufigkeitsverteilung der berechneten $Eu_N/Eu_N^\#$ -Werte durch eine bimodale Verteilung charakterisiert ist (Abb. 34). Im Gegensatz zu Probe KiII 221,77-93 entsprechen ansonsten die REE-Gehalte in diesen Proben

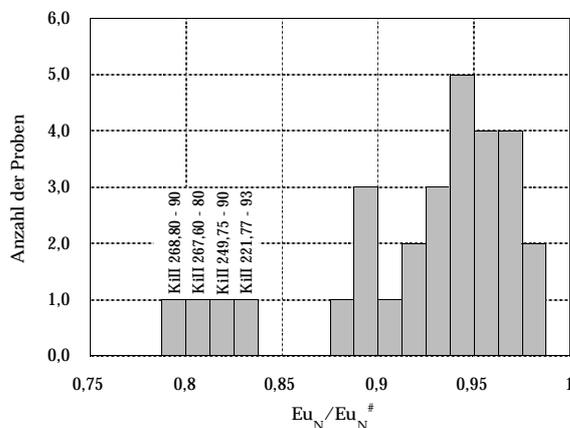


Abb. 34: Häufigkeitsverteilung von $Eu_N/Eu_N^\#$ in Sedimenten der Kernbohrung KiII.

überwiegend der durchschnittlichen REE-Zusammensetzung der Kirchrodesedimente (Abb. 32). Die erhöhten Zr-Gehalte sowie die deutliche Eu-Anomalie der Proben sprechen jedoch für eine abweichende Materialzusammensetzung dieser Sedimente.

Ce-Anomalie

Vermutlich diagenetisch begründet ist die Ausbildung einer leicht positiven Ce-Anomalie ($Ce_N/Ce_N^\# > 1$), die in den meisten Kirchrode-Proben vorliegt (Abb. 35).

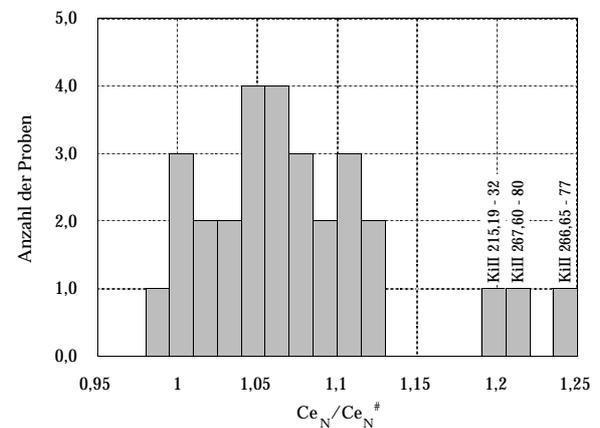


Abb. 35: Häufigkeitsverteilung von $Ce_N/Ce_N^\#$ in Sedimenten der Kernbohrung KiII.

Das Verhältnis $Ce_N/Ce_N^\#$ wird nach TAYLOR & McLENNAN (1985) wie folgt berechnet:

$$Ce_N/Ce_N^\# = Ce_N / (La_N \cdot Pr_N)^{0,5}$$

$$Element_N = Element_{Probe} / Element_{NASC}$$

In einer oxischen Wassersäule, wie sie für diesen Teufenbereich angenommen werden kann (Kap. 3.1.1.), wird Ce als schwer lösliches CeO_2 an Mn- oder Fe-Oxide/Hydroxide gebunden und im Sediment akkumuliert (BROOKINS 1989, DE BAAR et al. 1988). Entsprechend weisen Fe/Mn-Knollen (CHOI & HARIYA 1992, DE

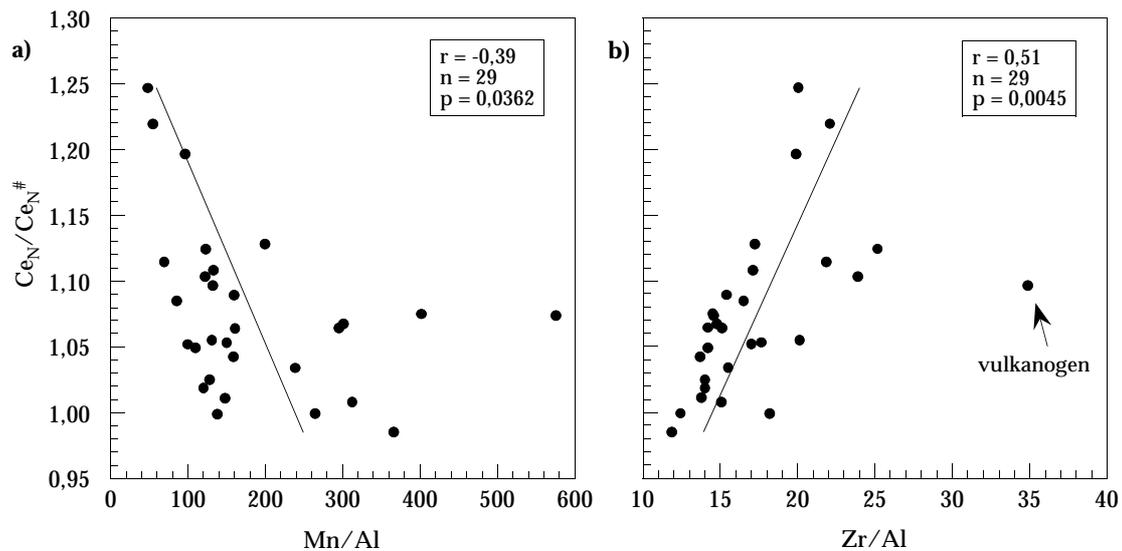


Abb. 36: Ce-Anomalie zu Mn/Al- und Zr/Al-Verhältnisse ausgewählter Proben des Bohrkerns KiII. Angaben in Gew.-Verh. $\cdot 10^4$.

CARLO et al. 1987) und die untersuchten Fe-Mn-Mischkonkretionen eine deutlich positive Ce-Anomalie auf (Tab. 7).

Wie aus Abb. 36a ersichtlich ist, besteht in den Kirchrode-Sedimenten allerdings keine bzw. sogar eine leicht negative Korrelation zwischen $Ce_N/Ce_N^\#$ und Mn/Al. Als mögliche Ursache kann hier wahrscheinlich eine diagenetische Entkopplung von Mn und Ce durch die Bildung von Mn-Karbonaten in den Kirchrode-Sedimenten angenommen werden.

Eine detritisch „ererbte“ positive Ce-Anomalie ist ebenfalls nicht ganz auszuschließen (NATH et al. 1997), da eine relativ gute Korrelation von $Ce_N/Ce_N^\#$ zu Zr/Al in den Sedimenten vorliegt (Abb. 36b). HINTON & UPTON (1991) be-

Tab. 7: Ce-Anomalie und MnO-Gehalte von drei Fe-Mn-Mischkonkretionen.

| | $Ce_N/Ce_N^\#$ | MnO [%] |
|--------------|----------------|---------|
| 187,21 (Kon) | 1,90 | 22,22 |
| 212,23 (Kon) | 1,51 | 8,21 |
| 217,90 (Kon) | 1,57 | 11,85 |

schreiben zudem positive Ce-Anomalien in Zirkonen von Alkalisyeniten. Die hier als tuffitische Lage angesprochene Probe fällt trotz hoher Zr/Al-Verhältnisse durch eine nur mäßige positive Ce-Anomalie auf (Abb. 36).

4.2.4. Haupt- und Spurenelementchemismus von Fe-Mn-Mischkonkretionen

Sowohl im Profil KiI als auch KiII treten in unregelmäßigen Abständen über die gesamte Profillänge verteilt Fe-, Mn- und P-reiche Mischkonkretionen auf (s.a. Abb. 22). Der Mineralbestand der Konkretionen kann im wesentlichen auf Mischungen diagenetisch gebildeter Karbonatminerale (Calcit ($CaCO_3$), Rhodochrosit ($MnCO_3$), Siderit ($FeCO_3$)) und untergeordnet Apatit ($Ca_5[F, Cl, OH/(PO_4)_3]$) zurückgeführt werden (KÜHN 1995, BENESCH 1998). Entsprechend variabel ist die Elementzusammensetzung. Wie die chemische Analyse von drei Konkretionen zeigt, sind neben den oben genann-

Tab. 8: Mineralbestand (BENESCH 1998) und Hauptelement-Gehalte der untersuchten Fe-Mn-Mischkonkretionen des Bohrkerns KiII.

| | Fe ₂ O ₃ [%] | MnO [%] | P ₂ O ₅ [%] | CaO [%] | CO ₂ [%] | Hauptmineralbestand |
|---------------------|------------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|---------------------|---------------------|
| 187,21 (Kon) | 4,63 | 22,22 | 4,29 | 19,69 | 27,31 | Mn-Apatit |
| 212,23 (Kon) | 33,21 | 8,21 | 1,38 | 10,24 | 31,45 | Mn-Siderit |
| 217,90 (Kon) | 23,32 | 11,85 | 2,12 | 13,00 | 29,48 | Mn-Siderit |
| Hintergrundsediment | 5,08 | 0,20 | 0,07 | 15,89 | 12,84 | --- |

ten Hauptelementen und den schon erwähnten REE (Kap. 4.2.3.) eine weitere Reihe von Elementen abhängig vom Konkretionstyp in unterschiedlichem Maß angereichert (Abb. 32, Tab. 8, 9). Die aufgezeigten Daten werden hier nur kurz angesprochen, da weiterführende Angaben und eine eingehende Diskussion über Zusammensetzung und Bildungsbedingungen der Konkretionen im Profil KiI und KiII in den Arbeiten von KÜHN (1995) und BENESCH (1998) vorliegen. Weitere Angaben über vergleichbare Konkretionstypen des Ober-Apt, Unter- und Mittel-Alb im Niedersächsischen Becken finden sich u.a. in den Arbeiten von EL-NOOR (1980) und ZIMMERLE (1982).

Die hier analysierten Fe-Mn-Mischkonkretionen unterscheiden sich deutlich anhand ihrer Fe₂O₃-, MnO-, P₂O₅- und CaO-Gehalte und dem daraus resultierenden Mineralbestand (Tab. 8). Die entsprechend des jeweiligen Mineralbestandes charakteristischen Anreicherungen von Haupt- und Spurenelementen der einzelnen Konkretionen sind in Abb. 37 dargestellt. Um Elementvariationen der Konkretionen gegenüber den „normalen“ Sedimenten abschätzen zu können, erfolgt ein Vergleich mit den mittleren Elementgehalten der für die Lanthanidenbestimmung als Hinter-

grundsediment definierten Kirchrode-Proben. Bezogen auf die Element/Al-Verhältnisse im Hintergrundsediment sind mit Anreicherungsfaktoren >100 insbesondere Mn/Al- und P/Al-Verhältnisse angereichert. Anreicherungsfaktoren über 10 gegenüber dem Hintergrundsediment weisen zudem die Element/Al-Verhältnisse von Fe, Mg, S, Ba, Co, Ni, U und Y in Abhängigkeit vom jeweiligen Konkretionstyp auf (Abb. 37a).

Die als Mn-Apatit klassifizierte Konkretion 187,21 mit hohen Mn/Al-, P/Al- und Ca/Al-Verhältnissen und einem der Hintergrundsedimentation entsprechenden Fe/Al-Verhältnis, zeichnet sich vor allem durch erhöhte Element/Al-Verhältnisse von Cu, Sr, Y und V aus (Abb. 37a). Im Gegensatz dazu zeigt die sideritreiche Konkretion (212,23) hohe Al-Verhältnisse der Elemente Fe, Mg, Ba, Sc, Sn und U.

Durch mittlere Fe/Al-, Mn/Al-, P/Al- und Ca/Al-Verhältnisse ist die Konkretion 217,90 charakterisiert, mit deutlich erhöhten Element/Al-Verhältnissen von S, Co, Ni, Pb, Sb, Th und Zn (Abb. 37a).

Nur geringfügige Abweichungen der Element/Al-Verhältnisse der Konkretionen gegenüber der Hintergrundsedimentation zeigen die Al-normierten Werte der vorwiegend lithogenen Elemente

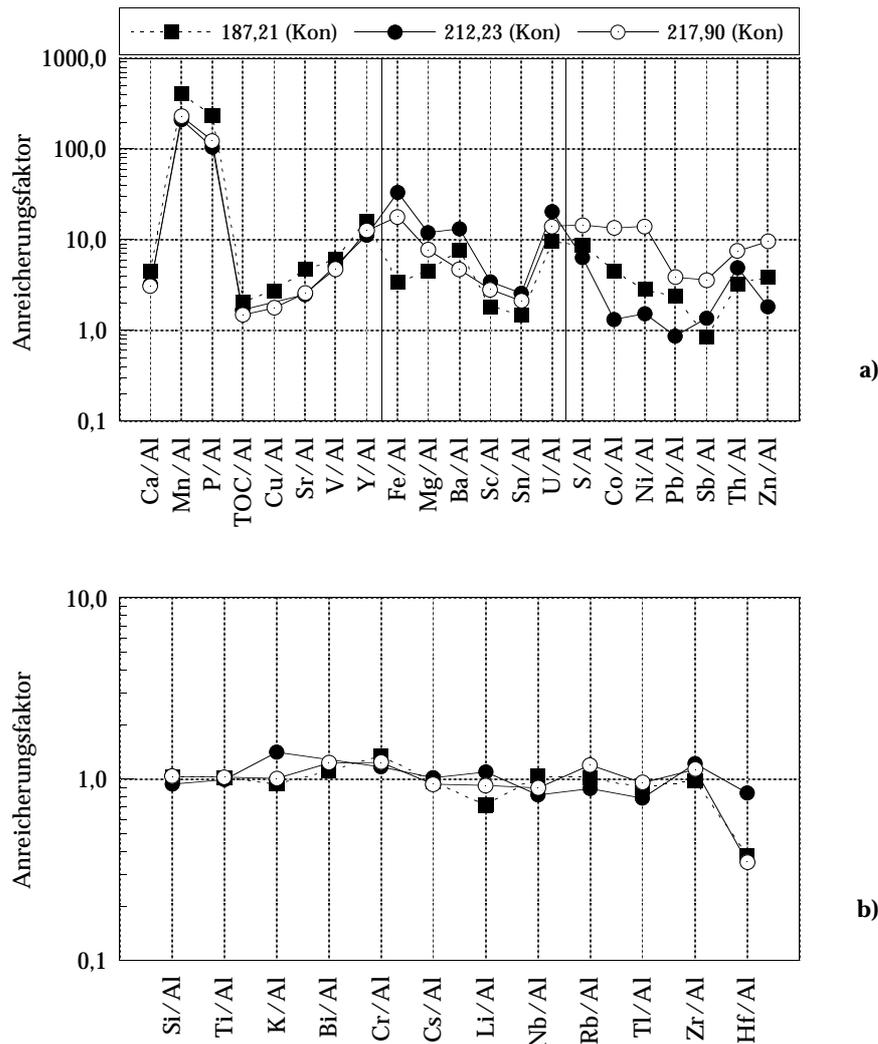


Abb. 37: Anreicherungen der Haupt- und Spurenelement/Al-Verhältnisse von drei Konkretionen gegenüber mittleren Hintergrundsediment-Daten ($n = 13$) der Bohrung KiII. In Abb. 37a sind die Element/Al-Verhältnisse u.a. nach maximalen Anreicherungen in den drei verschiedenen Konkretionstypen sortiert.

$$\text{Anreicherungsfaktor} = \frac{(\text{Element}/\text{Al})_{\text{Konkretion}}}{(\text{Element}/\text{Al})_{\text{Hintergrundsediment}}}$$

Si, Ti, K, Bi, Cr, Cs, Li, Nb, Rb, Tl und Zr (Abb. 37b).

Auffällig sind in den Konkretionen im Vergleich zum Hintergrundsediment und in Bezug zu den Zirkon-Gehalten der Konkretionen die unerwartet niedrigen Hf/Al-Verhältnisse. Hf wird akzessorisch in Zirkonminerale eingebaut. Beide Elemente sind ausgesprochen immobil, so daß in den Konkretionen ein

ähnliches Zr/Hf-Verhältnis wie im Hintergrundsediment zu erwarten wäre und nicht so große Abweichungen wie sie hier vorliegen.

In den Kirchrode-Proben liegt dagegen wie erwartet eine sehr gute Korrelation zwischen Hf/Al und Zr/Al vor (Abb. 38). Ein durchschnittliches Zr/Hf-Verhältnis im Hintergrundsediment von 35 entspricht zudem recht gut dem Zr/

Hf-Verhältnis in primitivem Mantelmaterial ($Zr/Hf = 36$, SUN & McDONOUGH 1989).

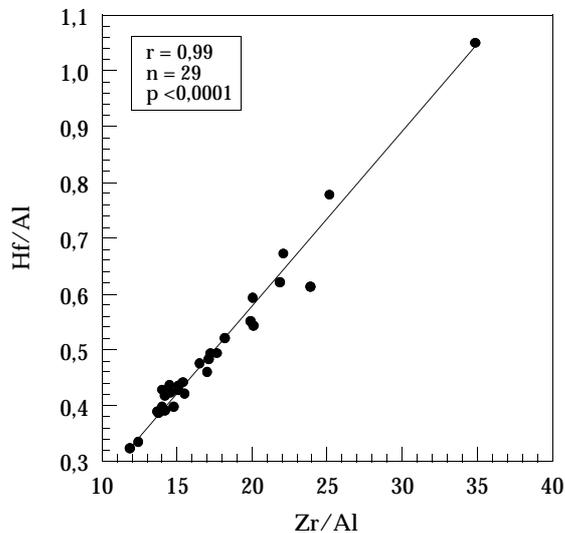


Abb. 38: Korrelation von Hf/Al- und Zr/Al-Verhältnissen ausgewählter Proben des Bohrkerns KIII. Angaben in Gew.-Verh. $\cdot 10^4$.

Der Chemismus frühdiagenetisch gebildeter Konkretionen ist einerseits abhängig von den aufgenommenen Metallgehalten aus dem Porenwasser und andererseits von der Elementzusammensetzung der detritischen Komponente. Wie aus Abb. 37b und Tab. 9 hervorgeht, sind die Al-normierten Gehalte der lithogenen Elemente in den Konkretionen und den Hintergrundsedimenten sehr ähnlich. Aufgrund des relativ immobilen Charakters dieser Elemente erfolgt eine nur geringe Anreicherung in den Konkretionen. Die gute Übereinstimmung der Element/Al-Verhältnisse der lithogenen Elemente in Konkretionen und Hintergrundsedimentation belegt zudem die gleichmäßige Zusammensetzung des detritischen Materials.

Die unterschiedlich hohen Metallanreicherungen in den Konkretionen sind durch Schwankungen im Porenwasserchemismus zu erklären. Die Konzentration gelöster Metalle im Porenwasser nahe der Sediment-Meerwassergrenze ist vor allem von der mikrobiellen und abiotischen Remobilisierung und der Elementzusammensetzung der eingetragenen Partikel (Oxide/Hydroxide, organisches Material, Tonminerale) abhängig. Eine besonders effektive Metallanreicherung erfolgt durch die wiederholte Mobilisierung von Mn und Fe unter leicht reduzierenden Bedingungen im Sediment und erneuter Akkumulation als Mn- oder Fe-Oxid/Hydroxid an der Sediment-Meerwassergrenze unter oxidischen Bedingungen. Dabei führt die Adsorption einer Reihe von Metallen (z.B. Co, Cu, Ni, REE, Zn) aus dem Meerwasser an Oxid/Hydroxid-Phasen und deren Freisetzung zu einer signifikanten Anreicherung dieser Elemente im Porenwasser (CALVERT & PEDERSEN 1996, PIPER 1994, BURDIGE 1993, THOMSON et al. 1993, BALISTRERI & MURRAY 1984, SUNDBY 1977). Unter günstigen Umständen kann es dabei zur Ausbildung metallreicher Konkretionen kommen.

Tab. 9: Al-Gehalte, Hauptelement/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh.] und Spurenelement/Al-Verhältnisse [Gew.-Verh. • 10⁴] von drei Fe-Mn-Mischkonkretionen und Sedimenten der Bohrkern KiI und KiII sowie eines mittleren Tonschiefers (n = Probenzahl).

| | 187,21 (Kon) | 212,23 (Kon) | 217,90 (Kon) | Hintergrund- sediment (n = 13) | mittl. Element- zusammensetzung KiI + KiII (n = 781) | 221,77-93 (vulk. Lage) | mittl. Tonschiefer (WEDEPOHL 1971, 1991) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|--|---------------------------|--|
| Al [%] | 2,15 | 1,56 | 2,05 | 8,00 | 7,44 | 8,34 | 8,89 |
| Si/Al | 2,38 | 2,16 | 2,40 | 2,31 | 2,51 | 2,21 | 3,05 |
| Ti/Al | 0,049 | 0,048 | 0,049 | 0,048 | 0,048 | 0,068 | 0,053 |
| Fe/Al | 1,51 | 14,88 | 7,96 | 0,45 | 0,42 | 0,40 | 0,54 |
| Mn/Al | 8,01 | 4,07 | 4,48 | 0,020 | 0,033 | 0,01 | 0,010 |
| Mg/Al | 0,51 | 1,35 | 0,89 | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,18 |
| Ca/Al | 6,55 | 4,69 | 4,54 | 1,45 | 1,69 | 1,34 | 0,18 |
| K/Al | 0,23 | 0,34 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,20 | 0,32 |
| P/Al | 0,872 | 0,386 | 0,452 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,008 |
| TOC/Al | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| S/Al | 0,060 | 0,045 | 0,103 | 0,007 | 0,020 (n = 536) | 0,005 | 0,027 |
| Ba/Al | 322 | 563 | 198 | 42 | 31 | 23 | 65 |
| Bi/Al | 0,048 | --- | 0,054 | 0,043 | --- | 0,039 | 0,015 |
| Co/Al | 13 | 3,8 | 39 | 2,9 | 2,7 | 2,9 | 2,1 |
| Cr/Al | 13 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Cs/Al | 0,92 | 0,97 | 0,89 | 0,95 | --- | 0,73 | --- |
| Cu/Al | 17 | --- | 11 | 6,1 | --- | 7,4 | 4,4 |
| Hf/Al | (0,15) | (0,34) | (0,14) | 0,40 | --- | 1,1 | --- |
| Li/Al | 14 | 21 | 17 | 19 | --- | 20 | --- |
| Nb/Al | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 7,6 | 2,2 |
| Ni/Al | 44 | 24 | 219 | 16 | 12 | 11 | 7,6 |
| Pb/Al | 8,8 | 3,2 | 14 | 3,6 | 2,6 | 3,1 | 2,5 |
| Rb/Al | 15 | 13 | 18 | 15 | 14 | 12 | 17 |
| Sb/Al | 0,10 | 0,16 | 0,42 | 0,12 | --- | 0,13 | 0,11 |
| Sc/Al | 3,4 | 6,5 | 5,3 | 1,9 | --- | 2,2 | 1,6 |
| Sn/Al | 0,49 | 0,87 | 0,71 | 0,33 | --- | 0,50 | --- |
| Sr/Al | 269 | 143 | 150 | 58 | 85 | 59 | 26 |
| Th/Al | 4,2 | 6,4 | 9,8 | 1,3 | 1,3 | 1,8 | 1,3 |
| Tl/Al | 0,082 | 0,071 | 0,087 | 0,091 | --- | 0,078 | 0,076 |
| U/Al | 2,2 | 4,7 | 3,3 | 0,23 | --- | 0,30 | 0,34 |
| V/Al | 110 | 92 | 85 | 18 | 15 | 17 | 15 |
| Y/Al | 49 | 35 | 39 | 3,1 | 2,9 | 3,8 | 3,4 |
| Zn/Al | 58 | 28 | 145 | 15 | 16 | 11 | 11 |
| Zr/Al | 14 | 17 | 16 | 14 | 14 | 35 | 23 |

4.2.5. Sedimentationszyklen

Zyklische Variationen im Bereich der Milankovitch-Frequenzen konnten im Profil KiI anhand chemischer Daten deutlich nachgewiesen werden (RACHOLD 1994, JENDRZEJEWSKI 1995). Die Variationen betreffen vor allem den Karbonatgehalt der Sedimente und können als Produktivitätssignal interpretiert werden. Niedrigfrequente Zyklen in der tonig-detritischen Materialzusammensetzung sind auf klimatische Variationen zurückzuführen. Weitere Zyklenanalysen wurden

an Logging-Daten (RACHOLD 1994, JENDRZEJEWSKI 1995), paläontologischen Daten (PRAUSS 1998) und Gesteins-Grauwerten (MUTTERLOSE et al. 1996) durchgeführt.

Im wesentlichen können vier klimatisch und ozeanographisch gesteuerte Faktoren zur Ausbildung einer zyklischen Sedimentation führen (FISCHER & BOTTIER 1991, FISCHER et al. 1990, FISCHER et al. 1991):

- Variationen des Nährstoffangebotes und damit der Bioproduktivität

- Änderungen der Redoxverhältnisse
- Karbonatlösung durch Schwankungen der Lysokline
- Variationen der Detrituszufuhr und -zusammensetzung

In Abb. 39 sind mögliche Auswirkungen der Milankovitch-Zyklizität auf die Ablagerungsbedingungen und dem daraus resultierenden Elementchemismus der Sedimente dargestellt.

Zur Erhaltung orbitaler Zyklen in den Sedimenten ist ein stabiler Sedimentationsraum Voraussetzung. Schwankungen der Sedimentationsraten führen zu verzerrten Resultaten, deren sichere Interpretation nicht mehr möglich ist. Ebenso sollten auf keinen Fall Schichtlücken auftreten. Eine starke diagenetische Überprägung kann ebenfalls die primäre Zyklizität verfälschen (WEEDON 1991). Zudem sollte die Sedimentationsrate eine hohe zeitliche Auflösung gewährleisten und ein dichtes, regelmäßi-

ges Probenraster vorliegen, so daß eine gesicherte statistische Analyse hochfrequenter Zyklen möglich wird.

Die genannten Faktoren treffen im wesentlichen für den Bereich zwischen 40 - 100 m Teufe im Kernprofil KiI zu. Außer einer durchschnittlich relativ hohen Sedimentationsrate von 10 - 12 cm/1000 Jahre zeichnet sich dieses Teufenintervall vor allem durch stabile Ablagerungsbedingungen und eine sehr geringe diagenetische Überprägung aus. (FENNER et al. 1996). Dementsprechend konzentrierte sich die Berechnung sedimentärer Zyklen auf diesen Bereich. Durch eine Verdichtung des Probenrasters (auf 0,1 m) zwischen 80 - 92 m Teufe wurden die Analysegrundlagen optimiert (BCCP-GROUP 1994).

Für das Kernprofil KiII wurde aufgrund von Schichtlücken (Kap. 4.2.) und ein in diesem Bereich deutlich verändertes Sedimentationsverhalten keine Zy-

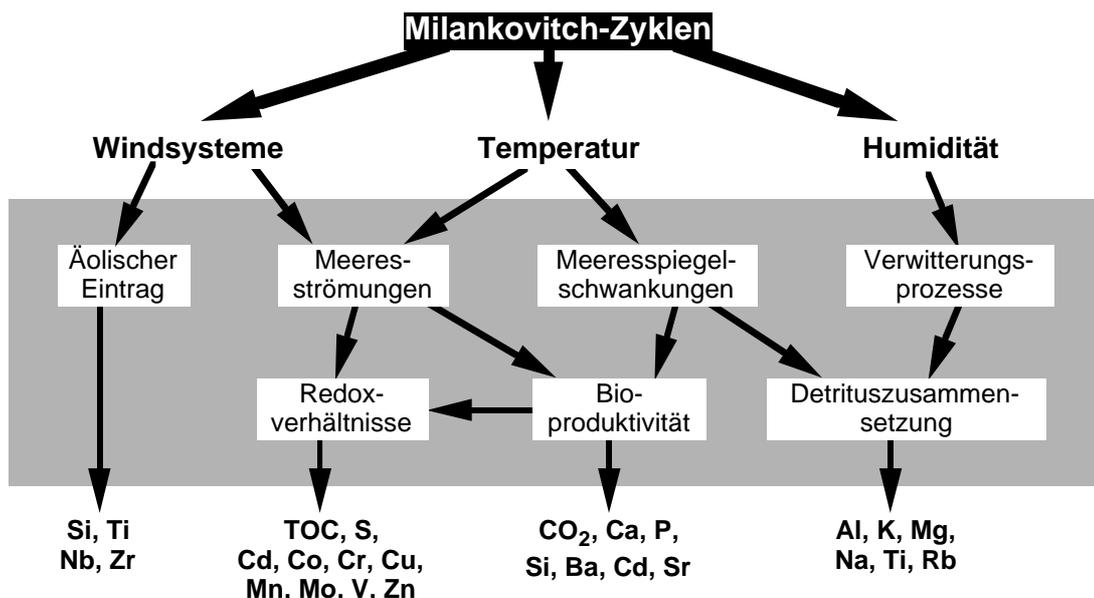


Abb. 39: Auswirkungen der Milankovitch-Zyklen auf den Sedimentchemismus (RACHOLD 1994).

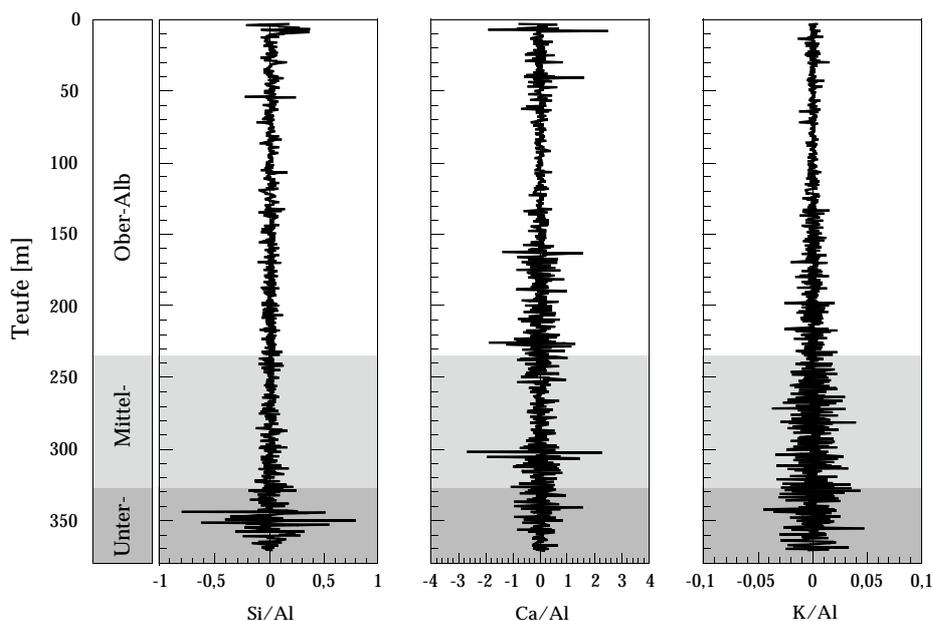


Abb. 40: Si/Al-, Ca/Al- und K/Al-Verhältnisse der Kernbohrungen KiI und KiII, die durch Subtraktion des jeweils nachfolgenden Wertes vom vorhergehenden Wert um den Nullpunkt schwanken („einfaches Differencing“, siehe Text, ROBERTS 1974).

klenanalyse angewendet, wie sie für den Kernbereich zwischen 80 und 92 m Tiefe von Kern KiI (z.B. RACHOLD 1994) durchgeführt wurde. Die besonders im Unter-Alb auftretenden Schwankungen im Elementchemismus sind im Tiefenprofil an den Originaldaten gut erkennbar (Abb. 32, Abb. 33). Zur Verdeutlichung wurde an den Si/Al-, K/Al- und Ca/Al-Verhältnissen ein „einfaches Differencing“ durchgeführt und in Abb. 40 dargestellt. Der Verlauf des sich ergebenden Tiefenprofils ist gegeben durch die Reihe der Element/Al-Verhältnisse in der beprobten Tiefe d_1 bis d_n . Da die Werte selbst nicht um einen festen Mittelwert streuen (nicht stationäre Reihe, Abb. 32, Abb. 33), wurden sie durch „einfaches Differencing“ in eine stationäre Reihe transformiert (Abb. 40) (ROBERTS 1974).

Das heißt, jeder Wert in einer Tiefe d (entspricht $(\text{Element}/\text{Al})_d$) wird ersetzt durch die Differenz:

$$(\text{Element}/\text{Al})_d - (\text{Element}/\text{Al})_{d-1}$$

4.2.6. Zusammenfassung

Die Sedimentabfolge der Bohrkerne Kirchrode I/91 und Kirchrode II/94 sowie die interdisziplinäre Auslegung des „Boreal Cretaceous Cycle Project“ erlaubt eine umfassende Studie über die Alb-Sequenz des Niedersächsischen Beckens. Die hier vorgestellten Ergebnisse bilden den anorganisch geochemischen Teil dieses Projektes und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

→ Regressive Tendenzen, bedingt durch eine Kaltzeit im späten Apt und frühen Alb, führten weltweit zur Ausbildung dunkler Tonsteine. Im Profil Kirchrode treten dunkle bis schwarz-graue, karbonat- und manganarme Sedimente in den untersten Bereichen des Bohrkerns Kirchrode II/94 auf. Die geringen Karbonatgehalte dieser Sedimente sind auf kühle Wassertemperaturen und damit eine geringere Karbonatproduktion zurückzuführen. Einen leichten Austrag von Mn aus den Sedimenten deuten suboxische Bedingungen im Bodenwasser an. Ein erhöhter Detrituseintrag dokumentiert die relative Nähe des Kirchrode-Profiles zur Küste.

→ Im Mittel-Alb folgte ein andauernder Erwärmungstrend mit einem eustatisch bedingten Meeresspiegelanstieg und einer Verschiebung der klimatischen Verhältnisse von gemäßigt humid zu subarid. In den Kirchrode-Sedimenten wird dies vor allem durch Variationen in der Tonmineralzusammensetzung (K/Al-Verhältnisse) und des Quarzgehaltes wie-

dergegeben. Hinzu kommen vulkanische Einflüsse, die im Sedimentchemismus durch hohe Zr-, Ti-, Nb- und REE-Gehalte insbesondere in der feinsten Korngrößenfraktion auffallen.

→ Im Ober-Alb führte ein permanenter thethyalen Einfluß zu warmen bis tropischen Wassertemperaturen, die mit einer erhöhten Karbonatproduktivität einhergehen. Ein gleichzeitig hoher Mn-Eintrag aus einem weiter südlich gelegenen Auftriebsgebiet begünstigte die Bildung von Mn-Karbonaten in den Sedimenten des gesamten Ober-Alb. Hohe Sr/Ca-Verhältnisse im Ober-Alb sind nicht ausschließlich diagenetisch bedingt, sondern auf eine Änderung in der Faunen-zusammensetzung zurückzuführen.

→ Mit Ausnahme des untersten Abschnitts im Kern Kirchrode II (unteres Unter-Alb) zeigt die Haupt- und Spurenelementzusammensetzung der Kirchrode-Sedimente streng oxische Bedingungen an.

→ Trotz relativ hoher Sedimentationsraten liegen sehr geringe TOC-Akkumulationsraten für die Ober-, Mittel- und Unter-Alb-Sedimente der Bohrungen Kirchrode vor. Vergleichbar niedrige TOC-Akkumulationsraten wurden für pliozäne oxische Sedimente aus dem Mittelmeer berechnet. Geochemische Indikatoren für eine hohe Primärproduktivität sind, mit Ausnahme der obersten 40 m im Kernprofil Kirchrode I/91, nicht gegeben und auch paläontologische Er-

gebnisse bestätigen ein oligothropes System. Im obersten Abschnitt des Kirchrode-Profiles deuten leicht erhöhte P/Al- und Ba/Al-Verhältnisse und das Auftreten von Radiolarien auf eine Zunahme der Paläoproduktivität hin.

→ Der Elementchemismus diagenetisch gebildeter Mn-Fe-Mischkonkretionen ist deutlich durch die jeweilige Mineralzusammensetzung geprägt. Die einheitliche Zusammensetzung der detritischen Sedimentkomponente zeigt sich in den geringen Abweichungen der lithogenen Elementzusammensetzung der Konkretionen untereinander und auch im Vergleich zur „normalen“ Hintergrundsedimentation.

→ Untersuchungen zu zyklischen Variationen wurden im Profil Kirchrode II/94 aufgrund von Schichtlücken und einer sehr unregelmäßigen Sedimentation nicht durchgeführt.

5. Literatur

- ANDERSON T.F., KRUGER J. & RAISWELL R. (1987): C-S-Fe relationships and the isotopic composition of pyrite in the New Albany Shale of the Illinois Basin, U.S.A. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **51**, 2795-2805.
- ARTHUR M.A., DEAN W.A. & SCHLANGER S.O. (1985): Variations in the global carbon cycle during the Cretaceous related to climate, volcanism and changes in atmospheric CO₂. In: SUNDQUIST E.T. & BROECKER W.S. (Hrsg.): *The Carbon Cycle and Atmospheric CO₂: Natural Variations Archean to Present*. Geophysical Monograph Series **32**, American Geophysical Union, Washington, D.C., 504-529.
- ARTHUR M.A. & DEAN W.E. (1991): A holistic geochemical approach to cyclomania: examples from Cretaceous pelagic limestone sequences. In: EINSELE G., RICKEN W. & SEILACHER A. (Hrsg.): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 126-166.
- ARTHUR M.A., JENKYN H.C., BRUMSACK H.-J. & SCHLANGER S.O. (1990): Stratigraphy, geochemistry, and paleoceanography of organic carbon-rich Cretaceous sequences. In: GINSBURG R.N. & BEAUDOIN B. (Hrsg.): *Cretaceous Resources, Events & Rhythms*. NATO ASI Series C **304**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 75-120.
- ARTHUR M.A. & SAGEMAN B.B. (1994): Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. *Annual Reviews of Earth Planetary Sciences* **22**, 499-551.
- ARTHUR M.A., SCHLANGER S.O. & JENKYN H.C. (1987): The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event, II. Palaeoceanographic controls on organic-matter production and preservation. In: BROOKS J. & FLEET A.J. (Hrsg.): *Marine Petroleum Source Rocks*. Geological Society Special Publication **26**, 401-420.
- ASAAM G.D. (1995): The determination of arsenic, antimony and selenium in marine sediments using Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry. unveröff. Diplomarbeit, Carl v. Ossietzky Universität, Oldenburg, 96 S.
- BAKER E.W. & LOUDA J.W. (1986): Porphyrin geochemistry of Atlantic Jurassic-Cretaceous black shales. *Organic Geochemistry* **10**, 905-914.
- BALISTRERI L.S. & MURRAY J.W. (1984): Marine scavenging: trace metal adsorption by interfacial sediment from MANOP Site H. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 921-929.
- BARRON E.J. (1983): A warm, equable Cretaceous: the nature of the problem. *Earth Science Reviews* **19**, 305-338.
- BARRON E.J. (1992): Global change: lessons from the past. *Nature* **360**, 533.
- BATURIN G.N. (1988): *The Geochemistry of Manganese Nodules in the Ocean*. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 325 S.
- BCCP-GROUP (1994): The upper Albian of northern Germany: results from the Kirchrode 1/91 borehole, Boreal Cretaceous Cycles Project (BCCP). *Zentralblatt zur Geologie und Paläontologie Teil I* **7/8**, 809-822.
- BELLANCA A., MASETTI D. & NERI R. (1997): Rare earth elements in limestone/marlstone couples from the Albian-Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): assessing REE sensitivity to environmental changes. *Chemical Geology* **141**, 141-152.

- BELOW R. & KIRSCH K.-H. (1997): Die Kerogen-Fazies der Tonstein-Blättertonstein-Rhythmite des Ober-Barrême/Unter-Apt im Niedersächsischen Becken (Norddeutschland) am Beispiel der Bohrung Hoheneggelsen KB50. *Palaeontographica B* **242**, 1-90.
- BELZILE N. (1988): The fate of arsenic in sediments of the Laurentian Trough. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **52**, 2293-2302.
- BELZILE N., DE VITRE R.R. & TESSIER A. (1989): In situ collection of diagenetic iron and manganese oxyhydroxides from natural sediments. *Nature* **340**, 376-377.
- BENESCH M. (1998): Mineralogische Untersuchungen von Unterkreide-Sedimenten aus dem Niedersächsischen Becken. Cuvillier Verlag Göttingen, Dissertation, Georg August Universität, Göttingen, 68 S.
- BERGER A. (1988): Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics* **26**, 624-657.
- BERGER W.H. (1991): Produktivität des Ozeans aus geologischer Sicht: Denkmodelle und Beispiele. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* **142**, 149-178.
- BERMAN T. (1986): Extend, transparency and phytoplankton distribution of the neritic waters overlying the Israeli continental shelf. *Oceanologica Acta* **9**, 439-447.
- BERNER R.A. (1970): Sedimentary pyrite formation. *American Journal of Science* **268**, 1-23.
- BERNER R.A. (1984): Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 605-615.
- BERNER R.A. (1994): Geocard II: a revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science* **294**, 56-91.
- BERNSTEIN R.E., BYRNE R.H., BETZER P.R. & GRECO A.M. (1992): Morphologies and transformation of celestine in seawater: the role of acantharians in strontium and barium geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **56**, 3273-3279.
- BISCHOFF G. & MUTTERLOSE J. (1998): Calcareous nannofossils of the Barremian/Aptian boundary interval in NW Europe: biostratigraphic and palaeo-ecologic implications of a high resolution study. *Cretaceous Research* **19**, 635-661.
- BÖTTCHER M.E., BRUMSACK H.-J. & DE LANGE G.J. (1998): Sulfate reduction and related stable isotope ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{18}\text{O}$) variations in interstitial waters from the Eastern Mediterranean (Leg 160). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **160**, 365-374.
- BOYLE E.A. (1983): Manganese carbonate overgrowths on foraminifera tests. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 1815-1819.
- BRALOWER T.J. & THIERSTEIN H.R. (1984): Low productivity and slow deep-water circulation in mid-Cretaceous oceans. *Geology* **12**, 614-618.
- BRAUN J.-J., PAGEL M., HERBILLON A. & ROSIN C. (1993): Mobilization and redistribution of REEs and thorium in a syenitic lateritic profile: a mass balance study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **57**, 4419-4434.
- BREIT G.N. & WANTY R.B. (1991): Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: a review of geochemical controls during deposition and diagenesis. *Chemical Geology* **91**, 83-97.
- BROOKINS D.G. (1989): Aqueous geochemistry of rare earth elements. In: LIPIN B.R. & MCKAY G.A. (Hrsg.): *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Reviews in Mineralogy* **21**, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 201-225.

- BRULAND K.W. (1980): Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* **47**, 176-198.
- BRULAND K.W. (1983): Trace elements in sea-water. In: RILEY J.P. & CHESTER R. (Hrsg.): *Chemical Oceanography* **8**, Academic Press, London, 157-220.
- BRUMSACK H.-J. (1980): Geochemistry of Cretaceous black shales from the Atlantic Ocean. *Chemical Geology* **31**, 1-25.
- BRUMSACK H.-J. (1988): Rezente, C_{org}-reiche Sedimente als Schlüssel zum Verständnis fossiler Schwarzschiefer. Habilitationsschrift, Georg August Universität, Göttingen, 126 S.
- BRUMSACK H.-J. (1989): Geochemistry of Recent TOC-rich sediments from the Gulf of California and the Black Sea. *Geologische Rundschau* **78**, 851-882.
- BRUMSACK H.-J. (1991): Inorganic geochemistry of the German „Posidonia Shale“: paleoenvironmental consequences. In: TYSON R.V. & PEARSON T.H. (Hrsg.): *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. **58**, Geological Society Special Publication, 353-362.
- BRUMSACK H.-J. & GIESKES J.M. (1983): Interstitial water trace-metal chemistry of laminated sediments from the Gulf of California, Mexico. *Marine Chemistry* **14**, 89-106.
- BURDIGE D.J. (1993): The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth-Science Reviews* **35**, 249-284.
- BYRNE R.H. & KIM K.H. (1990): Rare earth element scavenging in seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 2645-2656.
- CAHILL R.A. & AUTREY A.D. (1988): Total and inorganic carbon content of eighteen National Bureau of Standards and four Canadian certified reference materials. *Geostandards Newsletter* **12**, 39-42.
- CALVERT S.E., BUSTIN R.M. & INGALL E.D. (1996): Influence of water column anoxia and sediment supply on the burial and preservation of organic carbon in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **60**, 1577-1593.
- CALVERT S.E. & PEDERSEN T.F. (1993): Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. *Marine Geology* **113**, 67-88.
- CALVERT S.E. & PEDERSEN T.F. (1996): Sedimentary geochemistry of manganese: implications for the environment of formation of manganiferous black shales. *Economic Geology* **91**, 36-47.
- CANFIELD D.E. (1994): Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chemical Geology* **114**, 315-329.
- CANFIELD D.E. (1996): Evolution of the sulfur cycle. In: BOTTRELL S.H., APLIN A.C., McARTHUR J.M., NEWTON R.J., KROM M. & RAISWELL R. (Hrsg.): *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface*. University of Leeds (Dept. of Earth Sciences), Leeds, 23-27.
- CANFIELD D.E., RAISWELL R. & BOTTRELL S. (1992): The reactivity of sedimentary iron minerals towards sulphide. *American Journal of Science* **292**, 659-683.
- CANFIELD D.E. & THAMDRUP B. (1994): The production of ³⁴S-depleted sulfide during bacterial disproportionation of elemental sulfur. *Science* **266**, 1973-1975.
- CANFIELD D.E., THAMDRUP B. & FLEISCHER S. (1998): Isotope fractionation and sulfur metabolism by pure and enrichment cultures of elemental sulfur disproportionating bacteria. *Limnology and Oceanography* **43**, 253-264.

- CANTRELL K.J. & BYRNE R.H. (1987): Rare earth element complexation by carbonate and oxalate ions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **51**, 597-605.
- CHAMLEY H. (1989): *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 623 S.
- CHOI J.H. & HARIYA Y. (1992): Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, Northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology* **87**, 1265-1274.
- CLEGG S.L. & WHITFIELD M. (1990): A generalized model for the scavenging of trace metals in the open ocean - I. particle cycling. *Deep-Sea Research* **37**, 809-832.
- CONDIE K.C. (1993): Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology* **104**, 1-37.
- CONDIE K.C., DENGATE J. & CULLERS R.L. (1995): Behaviour of rare earth elements in a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 279-294.
- CYPIONKA H., SMOCK A.M. & BÖTTCHER M.E. (1998): A combined pathway of sulfur compound disproportionation in *Desulfovibrio desulfuricans*. *FEMS Microbiology Letters* **166**, 181-186.
- DE BAAR H.J.W., BACON M.P., BREWER P.G. & BRULAND K.W. (1985): Rare earth elements in the Pacific and Atlantic oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49**, 1943-1959.
- DE BAAR H.J.W., GERMAN C.R., ELDERFIELD H. & VAN GAANS P. (1988): Rare earth element distributions in anoxic waters of the Cariaco Trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **52**, 1203-1219.
- DE CARLO E.H., McMURTRY G.M. & KIM K.H. (1987): Geochemistry of ferromanganese crusts from the Hawaiian Archipelago - I. northern survey area. *Deep-Sea Research A* **34**, 441-467.
- DEAN W.E. & ARTHUR M.A. (1987): Inorganic and organic geochemistry of Eocene to Cretaceous strata recovered from the lower continental rise, North American Basin, site 603, DSDP Leg 93. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **93**, 1093-1137.
- DYMOND J. & COLLIER R. (1996): Particulate barium fluxes and their relationships to biological productivity. *Deep-Sea Research* **43**, 1283-1308.
- DYMOND J., SUESS E. & LYLE M. (1992): Barium in deep-sea sediment: a geochemical proxy for paleoproductivity. *Paleoceanography* **7**, 163-181.
- EICHER D.L. & DINER R. (1991): Environmental factors controlling Cretaceous limestone-marlstone rhythms. In: EINSELE G., RICKEN W. & SEILACHER A. (Hrsg.): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 79-93.
- EL-NOOR W.A. (1980): Radiologie und Geochemie mesozoischer, uran- und thoriumhaltiger Phosphorite in Niedersachsen. *Clausthaler Geowissenschaftliche Dissertationen* **H 6**.
- EMERSON S. & HUESTED S.S. (1991): Ocean anoxia and the concentration of molybdenum and vanadium. *Marine Chemistry* **34**, 177-198.
- ENGLEMAN E.E., JACKSON L.L. & NORTON D.R. (1985): Determination of carbonate carbon in geological materials by coulometric titration. *Chemical Geology* **53**, 125-128.
- EPPLEY R.W. & PETERSON B.J. (1979): Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* **282**, 677-680.
- ERBA E. (1993): Speciation of Mesozoic calcareous nannofossils forewarn anoxic events. *INA Newsletter* **15**, 60-61.

- ERBACHER J. (1994): Entwicklung und Paläoozeanographie mittelkretazischer Radiolarien der westlichen Tethys (Italien) und des Nordatlantiks. *Tübinger Mikropaläontologische Mitteilungen* **12**, 1-120.
- FENNER J. (1997): pers. Mitt.
- FENNER J., BRUNS A., CEPEK P., KÖTHE A., OWEN H., PRAUSS M., RIEGEL W., THIES A., TYSZKA J., WEIß W. & WIEDMANN J. (1996): Palaeontological results from the boreal Albian (cores Kirchröde I and II), biostratigraphy, paleoenvironment and cycle analysis. *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie - Sonderband: Global and Regional Controls on Biogenic Sedimentation. II. Cretaceous Sedimentation. Research Reports* **Sb 3**, 5-12.
- FISCHER A.G., DE BOER P.L. & PREMOLI-SILVA I. (1990): Cyclostratigraphy. In: GINSBURG R.N. & BEAUDOIN B. (Hrsg.): *Cretaceous Resources, Events & Rhythms. NATO ASI Series C* **304**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 139-172.
- FISCHER A.G. (1991): Orbital cyclicity in Mesozoic strata. In: EINSELE G., RICKEN W. & SEILACHER A. (Hrsg.): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 48-62.
- FISCHER A.G. & BOTTJER D.J. (1991): Orbital forcing and sedimentary sequences. *Journal of Sedimentary Petrology* **61**, 1063-1069.
- FISCHER A.G., HERBERT T.D., NAPOLEONE G., SILVA I.P. & RIPEPE M. (1991): Albian pelagic rhythms (Piobbico core). *Journal of Sedimentary Petrology* **61**, 1164-1172.
- FLEET A.J. (1984): Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. In: HENDERSON P. (Hrsg.): *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 343-373.
- FLEISCHER M. & ALTSCHULER Z.S. (1969): The relationship of the rare-earth composition of minerals to geological environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **33**, 725-732.
- FRAKES L.A. & FRANCIS J.E. (1988): A guide to Phanerozoic cold polar climates from high-latitude ice-rafting in the Cretaceous. *Nature* **333**, 547-549.
- FRAKES L.A. & FRANCIS J.E. (1990): Cretaceous palaeoclimates. In: GINSBURG R.N. & BEAUDOIN B. (Hrsg.): *Cretaceous Resources, Events & Rhythms. NATO ASI Series C* **304**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 273-287.
- FRAKES L.A., FRANCIS J.E. & SYKTUS J.I. (1992): *Climate Modes of the Phanerozoic*. Cambridge University Press, Cambridge, 274 S.
- FROELICH P.N., KLINKHAMMER G.P., BENDER M.L., LUEDTKE N.A., HEATH G.R., CULLEN D., DAUPHIN P., HAMMOND D., HARTMAN B. & MAYNARD V. (1979): Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **43**, 1075-1090.
- GAIDA K.H., KEMPER E. & ZIMMERLE W. (1978): Das Oberapt von Sarstedt und seine Tuffe. *Geologisches Jahrbuch A* **45**, 43-123.
- GENDRON A., SILVERBERG N., SUNDBY B. & LEBEL J. (1986): Early diagenesis of cadmium and cobalt in sediments of the Laurentian Trough. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **50**, 741-747.
- GERMAN C.R. & ELDERFIELD H. (1989): Rare earth elements in Saanich Inlet, British Columbia, a seasonally anoxic basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 2561-2571.
- GERMAN C.R. & ELDERFIELD H. (1990): Rare earth elements in the NW Indian Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 1929-1940.

- GERMAN C.R., HOLLIDAY B.P. & Elderfield H. (1991): Redox cycling of rare earth elements in the suboxic zone of the Black Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **55**, 3553-3558.
- GOLDBERG E.D., KOIDE M., SCHMITT R.A. & SMITH R.H. (1963): Rare-earth distributions in the marine environment. *Journal of Geophysical Research* **68**, 4209-4217.
- GRADSTEIN F.M., AGTERBERG F.P., OGG J.G., HARDENBOL J., VAN VEEN P., THIERRY J. & HUANG Z. (1994): A Mesozoic time scale. *Journal of Geophysical Research* **99**, 24.051-24.074.
- GROMET L.P., DYMEK R.F., HASKIN L.A. & KOROTEV R.L. (1984): The „North American shale composite“: its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 2469-2482.
- GROMET L.P. & SILVER L.T. (1983): Rare earth element distributions among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 925-939.
- HABICHT K., CANFIELD D.E. & RETHMEIER J. (1998): Sulfur isotopic fractionation during bacterial reduction and disproportionation of thiosulfate and sulfite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **62**, 2585-2595.
- HAGGERTY S.E. (1994): Superkimberlites: a geodynamic diamond window to the earth's core. *Earth and Planetary Science Letters* **122**, 57-69.
- HALLAM A. (1985): A review of Mesozoic climates. *Journal of the Geological Society, London* **142**, 433-445.
- HAQ B.U., HARDENBOL J. & VAIL P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science* **235**, 1156-1167.
- HARLAND W.B., ARMSTRONG R.L., COX A.V., CRAIG L.E., SMITH A.G. & SMITH D.G. (1990): *A Geologic Time Scale 1989*. Cambridge University Press, Cambridge, 263 S.
- HASKIN L.A. & GEHL M.A. (1962): The rare-earth distribution in sediments. *Journal of Geophysical Research* **67**, 2537-2541.
- HASKIN L.A., HASKIN M.A., FREY F.A. & WILDMAN T.R. (1968): Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: AHRENS L.H. (Hrsg.): *Origin and Distribution of the Elements*. **1**, Pergamon, Oxford, 889-911.
- HASKIN L.A., WILDEMAN T.R., FREY F.A., COLLINS K.A., KEEDY C.R. & HASKIN M.A. (1966): Rare earths in sediments. *Journal of Geophysical Research* **71**, 6091-6105.
- HAY W.W., DE CONTO R.M. & WOLD C.N. (1997): Climate: is the past the key to the future? *Geologische Rundschau* **86**, 471-491.
- HAYS J.D. & PITMAN W.C. (1973): Lithospheric plate motion, sea level changes and climatic and ecological consequences. *Nature* **246**, 18-22.
- HEGGIE D. & LEWIS T. (1984): Cobalt in pore waters of marine sediments. *Nature* **311**, 453-455.
- HEINRICHS H., BRUMSACK H.-J., LOTFIELD N. & KÖNIG N. (1986): Verbessertes Druckaufschlußverfahren für biologische und anorganische Materialien. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde* **149**, 350-353.
- HEINRICHS H. & HERRMANN A.G. (1990): *Praktikum der Analytischen Geochemie*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 669 S.
- HELLER P.L., ANDERSON D.L. & ANGEVINE C.L. (1996): Is the middle Cretaceous pulse of rapid sea-floor spreading real or necessary? *Geology* **24**, 491-494.
- HILD A. (1997): pers. Mitt.

- HILD E. & BRUMSACK H.-J. (1998): Major and minor element geochemistry of early Aptian sediments from the NW German Basin (core Hoheneggelsen KB 40). *Cretaceous Research* **19**, 615-633.
- HINTON R.W. & UPTON B.G.J. (1991): The chemistry of zircon: variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **55**, 3287-3302.
- HOEFS J. (1987): *Stable Isotope Geochemistry. Minerals, Rocks and Inorganic Materials* 9, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 3. Auflage, 241 S.
- HUFFMAN E.W.D. jun. (1977): Performance of a new automatic carbon dioxide coulometer. *Microchemical Journal* **22**, 567-573.
- JACKSON L.L. & ROOF S.R. (1992): Determination of the forms of carbon in geologic materials. *Geostandards Newsletter* **16**, 317-323.
- JACOBS L., EMERSON S. & HUESTED S.S. (1987): Trace metal geochemistry in the Cariaco Trench. *Deep-Sea Research A* **34**, 965-981.
- JACOBS L., EMERSON S. & SKEI J. (1985): Partitioning and transport of metals across the O₂, H₂S interface in a permanently anoxic fjord, Framvaren Fjord, Norway. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49**, 1433-1444.
- JEANS C.V., MERRIMAN R.J. & MITCHELL J.G. (1977): Origin of middle Jurassic and lower Cretaceous Fuller's earth in England. *Clay Minerals* **12**, 11-44.
- JEANS C.V., MERRIMAN R.J., MITCHELL J.G. & BLAND D.J. (1982): Volcanic clays in the Cretaceous of Southern England and Northern Ireland. *Clay Minerals* **17**, 105-156.
- JENDRZEJEWSKI L. (1995): Organische Geochemie der höheren Unterkreide Nordwestdeutschlands: Ablagerungsmilieu und Zyklus. *Berichte des Forschungszentrums Jülich* **3134**, 211 S.
- JENKYN H.C. (1980): Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal of the Geological Society, London* **137**, 171-188.
- JØRGENSEN B.B. (1979): A theoretical model of the stable sulfur isotope distribution in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **43**, 363-374.
- JØRGENSEN B.B. (1982): Mineralization of organic matter in the sea bed - the role of sulphate reduction. *Nature* **296**, 643-645.
- JØRGENSEN B.B. (1990): A thiosulfate shunt in the sulfur cycle of marine sediments. *Science* **249**, 152-154.
- KELLER S., KEMPER E., KOCH R., MUTTERLOSE J., NÖLTNER T., OWEN H.G., SPÄTH C., STOFFERS P., WALTER P. & ZIMMERLE W. (1989): Das Unter- und Mittelalb von Alfeld (Leine). *Geologisches Jahrbuch A* **113**, 223-316.
- KEMPER E. (1978): Die Transgression der jüngeren Unter-Kreide am Westrand des Niedersächsischen Beckens. *Geologisches Jahrbuch A* **45**, 145-161.
- KEMPER E. (1982): Das späte Apt und frühe Alb Nordwestdeutschlands. *Geologisches Jahrbuch A* **65**, 1-703.
- KEMPER E. (1987): Das Klima der Kreide-Zeit. *Geologisches Jahrbuch A* **96**, 5-185.
- KEMPER E. (1989): Das Mittel-Alb im östlichen und mittleren Niedersächsischen Becken. *Geologisches Jahrbuch A* **113**, 195-221.

- KEMPER E. (1995): Sedimente, Fazies und Schichtenfolge des Barrême und Apt in NW-Deutschland. *Geologisches Jahrbuch A* **141**, 9-45.
- KEMPER E. & ZIMMERLE W. (1978): Die anoxischen Sedimente der präoberaptischen Unterkreide NW-Deutschlands und ihr paläogeographischer Rahmen. *Geologisches Jahrbuch A* **45**, 3-41.
- KEMPER E. & ZIMMERLE W. (1982): Die Tuffe des Apt und Alb Nordwestdeutschlands. *Geologisches Jahrbuch A* **65**, 245-257.
- KEUPP H. (1992): Die Flora kalkiger Dinoflagellaten-Zysten im mittleren Apt (Gargas) der Kernbohrung Himstedt 3 bei Hoheneggelsen/Niedersachsen. *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen E* **3**, 121-169.
- KEUPP H. & MUTTERLOSE J. (1994): Calcareous phytoplankton from the Barrêmian/Aptian boundary interval in NW Germany. *Cretaceous Research* **15**, 739-763.
- KOEPPEKASTROP D. & DE CARLO E.H. (1992): Sorption of rare earth elements from seawater onto synthetic mineral particles: an experimental approach. *Chemical Geology* **95**, 251-263.
- KÜHN V. (1995): Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten der norddeutschen Unterkreide unter besonderer Berücksichtigung der Tonmineralogie sowie diagenetischer Bildungen. Cuvillier Verlag Göttingen, Dissertation, Georg August Universität, Göttingen, 59 S.
- KUTZBACH J.E. & GALLIMORE R.G. (1989): Pangaeian climates: megamonsoons of the megacontinent. *Journal of Geophysical Research* **94**, 3341-3357.
- LANDING W.M. & BRULAND K.W. (1980): Manganese in the north Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* **49**, 45-56.
- LANGE A. & BRUMSACK H.-J. (1977): Total sulfur analysis in geological and biological materials by coulometric titration following combustion. *Z. Anal. Chem.* **286**, 361-366.
- LARSON R.L. (1991a): Geological consequences of superplumes. *Geology* **19**, 963-966.
- LARSON R.L. (1991b): Latest pulse of earth: evidence for a mid-Cretaceous superplume. *Geology* **19**, 547-550.
- LARSON R.L., FISCHER A.G., ERBA E. & PREMOLI-SILVA I. (1993): APTICORE-ALBICORE: a workshop report on global events and rhythms of the mid-Cretaceous, 4-9 October, 1992, Perugia, Italy, 56 S.
- LARSON R.L. & KINCAID C. (1996): Onset of mid-Cretaceous volcanism by elevation of the 670 km thermal boundary layer. *Geology* **24**, 554-554.
- LARSON R.L. & OLSON P. (1991): Mantle plumes control magnetic reversal frequency. *Earth and Planetary Science Letters* **107**, 437-447.
- LECKIE R.M. (1989): A paleoceanographic model for the early evolutionary history of planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **73**, 107-138.
- LEE C. (1994): Controls on carbon preservation - new perspectives. *Chemical Geology* **114**, 285-288.
- LEVENTHAL J.S. (1983): An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicator of environments of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 133-137.
- LEVENTHAL J. & TAYLOR C. (1990): Comparison of methods to determine degree of pyritization. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 2621-2625.

- LOKAY P. (1994): Untersuchungen am Fischschiefer der Bohrung Hoheneggelsen KB40. unveröff. Diplomarbeit, Ruhr Universität Bochum, Bochum, 79 S.
- LYONS T.W. (1997): Sulfur isotopic trends and pathways of iron sulfide formation in upper Holocene sediments of the anoxic Black Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **61**, 3367-3382.
- MARTIN J.M., HØGDAHL O. & PHILIPPOT J.C. (1976): Rare earth element supply to the ocean. *Journal of Geophysical Research* **81**, 3119-3124.
- MARTÍN-BARAJAS A. & LALLIER-VERGES E. (1993): Ash layers and pumice in the central Indian Basin: relationship to the formation of manganese nodules. *Marine Geology* **115**, 307-329.
- MASSCHELEYN P.H., DELAUNE R.D. & PATRICK jr. W.H. (1991): Arsenic and selenium chemistry as affected by sediment redox potential and pH. *Journal of Environmental Quality* **20**, 522-527.
- MATTINSON J.M. (1972): Preparation of hydrofluoric, hydrochloric, and nitric acids at ultralow lead levels. *Analytical Chemistry* **44**, 1715-1716.
- MCLENNAN S.M. (1989): Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: LIPIN B.R. & MCKAY G.A. (Hrsg.): *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. *Reviews in Mineralogy* **21**, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 169-200.
- MCRAE N.D., NESBITT H.W. & KRONBERG B.I. (1992): Development of a positive Eu anomaly during diagenesis. *Earth and Planetary Science Letters* **109**, 585-591.
- MICHAEL E. (1979): Mediterrane Fauneneinflüsse in den borealen Unterkreide-Becken Europas. In: WIEDMANN J. (Hrsg.): *Aspekte der Kreide Europas*. IUGS Ser. A Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 305-321.
- MICHARD A.F. & ALBARÈDE F. (1986): The REE content of some hydrothermal fluids. *Chemical Geology* **55**, 51-60.
- MICHARD A.F., ALBARÈDE F., MICHARD G., MINSTER J.F. & CHARLOU J.L. (1983): Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field (13° N). *Nature* **303**, 795-797.
- MIDDELBURG J.J., DE LANGE G.J. & VAN DER WEIJDEN C.H. (1987): Manganese solubility control in marine pore waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **51**, 759-763.
- MILANKOVITCH M. (1941): *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem*. Belgrade Serbian Academy of Science, Belgrad, **133**, 633 S.
- MOFFETT J.W. (1990): Microbially mediated cerium oxidation in seawater. *Nature* **345**, 421-423.
- MORGAN D.J., HIGHLEY D.E. & BLAND D.J. (1979): A montmorillonite, kaolinite association in the lower Cretaceous of south-east England. In: MORTLAND M.M. & FARMER V.C. (Hrsg.): *International Clay Conference 1978*. *Developments in Sedimentology* **27**, Amsterdam, 301-310.
- MÜLLER P.J. & SUESS E. (1979): Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans - I. organic carbon preservation. *Deep-Sea Research A* **26**, 1347-1365.
- MURRAY J.W., JANNASCH H.W., HONJO S., ANDERSON R.F., REEBURGH W.S., TOP Z., FRIEDERICH G.E., CODISPOTI L.A. & IZDAR E. (1989): Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature* **338**, 411-413.
- MUTTERLOSE J. (1991): Das Verteilungs- und Migrationsmuster des kalkigen Nannoplanktons in der borealen Unterkreide (Valangin-Apt). *Palaeontographica B* **221**, 27-152.

- MUTTERLOSE J. (1992): Biostratigraphy and palaeobiogeography of early Cretaceous calcareous nannofossils. *Cretaceous Research* **13**, 167-189.
- MUTTERLOSE J. (1995): Die Bio- und Lithofazies der Unterkreide im Raum Hannover. *Terra Nostra* **5/95**, 153-186.
- MUTTERLOSE J., BRUMSACK H.-J. & NEBE D.W. (1996): Lithostratigraphy and time series analysis of the Albian (core Kirchrode II). *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie - Sonderband: Global and Regional Controls on Biogenic Sedimentation. II. Cretaceous Sedimentation. Research Reports Sb 3*, 27-30.
- MUTTERLOSE J. & WIEDENROTH K. (1995): Die Bio- und Lithofazies der Unterkreide (Hauterive bis Apt) in NW-Deutschland. *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen E* **16**, 227-253.
- NATH B.N., BAU M., RAO R. & RAO C.M. (1997): Trace and rare earth elemental variation in Arabian Sea sediments through a transect across the oxygen minimum zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **61**, 2375-2388.
- NATH B.N., ROELANDTS I., SUDHAKAR M., PLÜGER W.L. & BALARAM V. (1994): Cerium anomaly variations in ferromanganese nodules and crusts from the Indian Ocean. *Marine Geology* **120**, 385-400.
- NESBITT H.W. & YOUNG G.M. (1982): Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* **299**, 715-717.
- NIELSEN H. (1979): Sulfur isotopes. In: JÄGER E. & HUNZIKER J.C. (Hrsg.): *Lectures in Isotope Geology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 283-312.
- OWEN H.G. (1997): pers. Mitt.
- PEDERSEN T.F. & PRICE N.B. (1982): The geochemistry of manganese carbonate in Panama Basin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**, 59-68.
- PEDERSEN T.F., SHIMMIELD G.B. & PRICE N.B. (1992): Lack of enhanced preservation of organic matter in sediments under the oxygen minimum on the Oman Margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **56**, 545-551.
- PETERSEN W., WALLMANN K., LI P., SCHROEDER F. & KNAUTH H.-D. (1995): Exchange of trace elements at the sediment-water interface during early diagenesis processes. *Marine and Freshwater Research* **46**, 19-26.
- PIPER D.Z. (1974): Rare earth elements in the sedimentary cycle: a summary. *Chemical Geology* **14**, 285-304.
- PIPER D.Z. (1991): Geochemistry of a Tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, Mexico. *Chemical Geology* **92**, 283-316.
- PIPER D.Z. (1994): Seawater as the source of minor elements in black shales, phosphorites and other sedimentary rocks. *Chemical Geology* **114**, 95-114.
- PRAUSS M. (1998): Das palynomorphe Phytoplankton als Indikator ozeanographischer und klimatischer Rahmenbedingungen im Mesozoikum - mit Vergleichsuntersuchungen aus der rezenten „Southern California Bight“ sowie von offshore „Baja California“ und dem Oberpliozän von NW Afrika. *Habilitationsschrift*, Georg August Universität, Göttingen.
- PRICE G.D., SELLWOOD B.W. & VALDES P.J. (1995): Sedimentological evaluation of general circulation model simulations for the „greenhouse“ earth: Cretaceous and Jurassic case studies. *Sedimentary Geology* **100**, 159-180.

- QUAKERNAAT J. (1968): X-ray analysis of clay minerals in some recent fluvial sediments along the coast of central Italy. Dissertation, Universiteit Amsterdam, Amsterdam, 106 S.
- RACHOLD V. (1994): Geochemie der Unterkreide Nordwestdeutschlands: Zyklen und „Events“. Dissertation, Georg August Universität, Göttingen, 108 S.
- RACHOLD V. & BRUMSACK H.-J. (1995): Geochemie von Unterkreide-Sedimenten (Barrême bis Apt) des niedersächsischen Beckens (unter besonderer Berücksichtigung des Unterapt-Fischschiefers). *Geologisches Jahrbuch A* **141**, 551-561.
- RAISWELL R., BUCKLEY F., BERNER R.A. & ANDERSON T.F. (1988): Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation. *Journal of Sedimentary Petrology* **58**, 812-819.
- RHEINHEIMER G. (1996): *Meereskunde der Ostsee*. Springer-Verlag, Berlin, 2. Auflage, 334 S.
- ROBERTS H.V. (1974): *Conversational Statistics*. Hewlett-Packard University Business Series Scientific Press, Palo Alto CA, 290 S.
- ROSE T., HAMBACH U. & KRUMSIEK K. (1996): Preliminary results of high resolution magnetic susceptibility measurements on the research cores Kirchrode I and II: Milankovitch forced sedimentation during the Upper Albian. *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie - Sonderband: Global and Regional Controls on Biogenic Sedimentation. II. Cretaceous Sedimentation. Research Reports Sb* **3**, 13-16.
- RUFFELL A.H. (1991): Sea-level events during the Early Cretaceous in Western Europe. *Cretaceous Research* **12**, 527-551.
- RUFFELL A.H. & BATTEN D.J. (1995): Environmental interpretation of Cretaceous sequences in two North German boreholes on the basis integrated clay mineralogical and palynofacies analysis. *Geologisches Jahrbuch A* **141**, 445-457.
- SCHLANGER S.O. (1986): High frequency sea-level fluctuations in Cretaceous time: an emerging geophysical problem. *Geodynamic Series* **15**, 61-74.
- SCHLANGER S.O., ARTHUR M.A., JENKYN H.C. & SCHOLLE P.A. (1987): The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event, I. stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine $\delta^{13}\text{C}$ excursion. In: BROOKS J. & FLEET A.J. (Hrsg.): *Marine Petroleum Source Rocks. Geological Society Special Publication* **26**, 371-399.
- SCHLANGER S.O. & JENKYN H.C. (1976): Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw* **55**, 179-184.
- Schnetger B. (1997): Trace element analysis of sediments by HR-ICP-MS using low and medium resolution and different acid digestions. *Fresenius J. Anal. Chem.* **359**, 468-472.
- SCHOLLE P.A. (1977): Chalk diagenesis and its relation to petroleum exploration: oil from chalks, a modern miracle? *AAPG Bulletin* **61**, 982-1009.
- SHANNON R.D. (1976): Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallographica A* **32**, 751-767.
- SHAW T.J., GIESKES J.M. & JAHNKE R.A. (1990): Early diagenesis in differing depositional environments: the response of transition metals in pore water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 1233-1246.

- SHIMMIELD G.B., PRICE N.B. & PEDERSEN T.F. (1990): The influence of hydrography, bathymetry and productivity on sediment type and composition of the Oman Margin and in the northwest Arabian Sea. In: ROBERTSON A.H.F., SEARLE M.P. & RIES A.C. (Hrsg.): *The Geology and Tectonics of the Oman Region*. **49**, Geological Society Special Publication, 759-769.
- SHOLKOVITZ E.R., LANDING W.M. & LEWIS B.L. (1994): Ocean particle chemistry: the fractionation of rare earth elements between suspended particles and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **58**, 1567-1579.
- SHOLKOVITZ E.R., SHAW T.J. & SCHNEIDER D.L. (1992): The geochemistry of rare earth elements in the seasonally anoxic water column and porewaters of Chesapeake Bay. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **56**, 3389-3402.
- SOETAERT K., HERMAN P.M.J. & MIDDELBURG J.J. (1996): A model of early diagenetic processes from the shelf to abyssal depths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **60**, 1019-1040.
- SPICER R.A. & CORFIELD R.M. (1992): A review of terrestrial and marine climates in the Cretaceous with implications for modelling the 'Greenhouse Earth'. *Geological Magazine* **129**, 169-180.
- STEIN R. (1986): Organic carbon and sedimentation rate - further evidence for anoxic deep-water conditions in the Cenomanian/Turonian Atlantic Ocean. *Marine Geology* **72**, 199-209.
- STEIN R. (1990): Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letters* **10**, 37-44.
- STEIN R. (1991): Accumulation of organic carbon in marine sediments. *Lecture Notes in Earth Sciences* **34**, Springer-Verlag, Heidelberg, 217 S.
- STEIN R., RULLKÖTTER J. & WELTE D.H. (1989): Changes in paleoenvironments in the Atlantic Ocean during Cretaceous times: results from black shales studies. *Geologische Rundschau* **78**, 883-901.
- SUMMERHAYES C.P. (1987): Organic-rich Cretaceous sediments from the North Atlantic. In: BROOKS J. & FLEET A. (Hrsg.): *Marine Petroleum Source Rocks*. Geological Society Special Publication **26**, 301-316.
- SUN, S.S. & McDONOUGH, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A.D. & NORRY, M.J. (Hrsg.): *Magmatism in The Ocean Basins*. Geological Society of London, Special Publication **42**, 313-345.
- SUNDARARAMAN P. & BOREHAM C.J. (1993): Comparison of nickel and vanadyl porphyrin distributions of sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **57**, 1367-1377.
- SUNDBY B. (1977): Manganese-rich particulate matter in a coastal marine environment. *Nature* **270**, 417-419.
- TAKAYANAGI K. & WONG G.T.F. (1985): Dissolved inorganic and organic selenium in the Orca Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49**, 539-546.
- TAMARI K., OGAWA H., FUKUMOTO Y., TSUJI H. & KUSAKA Y. (1990): Selenium content and its oxidation state in igneous rocks, rock-forming minerals, and a reservoir sediment. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* **63**, 2631-2638.
- TAYLOR S.R. & McLENNAN S.M. (1985): *The Continental Crust: its composition and evolution*. Geoscience Texts Blackwell Scientific Publications, Oxford London, 312 S.

- THIERSTEIN H.R. (1989): Inventory of paleoproductivity records: the mid-cretaceous enigma. In: BERGER W.H., SMETACEK V.S. & WEFER G. (Hrsg.): *Productivity of the Ocean: Present and Past*. Wiley & Sons Limited, 355-375.
- THOMSON J., CARPENTER M.S.N., COLLEY S. & WILSON T.R.S. (1984): Metal accumulation rates in northwest Atlantic pelagic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 1935-1948.
- THOMSON J., HIGGS N.C., CROUDACE I.W., COLLEY S. & HYDES D.J. (1993): Redox zonation of elements at an oxic/post-oxic boundary in deep-sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **57**, 579-595.
- TINTELNOT M. & IRION G. (1999): Transport and deposition of fine-grained sediments of the Brazilian continental shelf as revealed by clay mineral distribution. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, im Druck.
- TURNER D.R., WHITFIELD M. & DICKSON A.G. (1981): The equilibrium speciation of dissolved components in freshwater and seawater at 25°C and 1 atm. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**, 855-881.
- TYSON R.V. & FUNNELL B.M. (1987): European Cretaceous shorelines, stage by stage. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **59**, 69-91.
- VAIL P.R., AUDEMARD F., BOWMAN S.A., EISNER P.N. & PEREZ-CRUZ C. (1991): The stratigraphic signatures of tectonics, eustacy and sedimentology - an overview. In: EINSELE G., RICKEN W. & SEILACHER A. (Hrsg.): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 617-659.
- VAIL P.R., MITCHUM R.M., TODD R.G., WIDMIER J.M., THOMPSON S.I., SANGREE J.B., BUBB J.N. & HATLID W.G. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. *AAPG Memoir* **26**, 49-212.
- VON BREYMANN M.T., BRUMSACK H.-J. & EMEIS K.C. (1992): Depositional and diagenetic behavior of barium in the Japan Sea. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **127/128**, 651-665.
- WEDEPOHL K.H. (1971): Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. In: AHRENS L.H., PRESS F., RUNCORN S.K. & UREY H.C. (Hrsg.): *Physics and Chemistry of the Earth* **8**, Pergamon, Oxford, 305-333.
- WEDEPOHL K.H. (1991): The composition of the upper earth's crust and the natural cycles of selected metals. *Metals in natural raw materials. Natural resources*. In: MERIAN E. (Hrsg.): *Metals and their Compounds in the Environment*. VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim, 3-17.
- WEEDON G.P. (1991): The spectral analysis of stratigraphic time series. In: EINSELE G., RICKEN W. & SEILACHER A. (Hrsg.): *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 840-854.
- WEHAUSEN R. (1998): pers. Mitt.
- WEHAUSEN R. & BRUMSACK H.-J. (1998): The formation of Pliocene Mediterranean sapropels: constraints from high-resolution major and minor element studies. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **160**, 207-217.
- WEHAUSEN R. (1999): *Anorganische Geochemie zyklischer Sedimente aus dem östlichen Mittelmeer: Rekonstruktion der Paläoumweltbedingungen*. Dissertation, Carl v. Ossietzky Universität, Oldenburg, 171 S.

- WEHNER H. (1982): Die organische Geochemie der dunklen Tonsteine des nordwestdeutschen Ober-Apt und Unter-Alb. *Geologisches Jahrbuch A* **65**, 139-146.
- WEHRLI B. & STUMM W. (1989): Vanadyl in natural waters: adsorption and hydrolysis promote oxygenation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 69-77.
- ZIEGLER P.A. (1990): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., Den Haag, 2. Auflage, 239 S.
- ZIMMERLE W. (1982): Die Phosphorite des nordwestdeutschen Apt und Alb. *Geologisches Jahrbuch A* **65**, 159-244.

Anhang 1

A1.1. Hoheneggelsen KB 40-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Strat. Einheit | Teufe [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | As | Ba | Cd | Ce | Co | Cr | Mo | Nb | Ni | Pb | Rb | Se | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|----|-----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| Hedb.-Mer. | 5,05 | 45,12 | 0,704 | 15,46 | 5,08 | 0,089 | 1,46 | 11,98 | 0,35 | 2,86 | 1,214 | 0,76 | 7,69 | 0,44 | 93,21 | 46 | 286 | | 187 | 26 | 86 | | 16 | 156 | 40 | 135 | | 303 | 147 | 57 | 112 | 152 |
| Hedb.-Mer. | 5,20 | 43,84 | 0,701 | 15,62 | 4,43 | 0,099 | 1,53 | 13,40 | 0,34 | 2,84 | 0,070 | 0,12 | 10,59 | 0,44 | 94,02 | 13 | 282 | | 73 | 27 | 89 | | 18 | 93 | 31 | 135 | | 249 | 154 | 27 | 95 | 146 |
| Hedb.-Mer. | 5,30 | 41,33 | 0,658 | 14,77 | 4,52 | 0,125 | 1,50 | 15,19 | 0,32 | 2,70 | 0,072 | 0,22 | 11,87 | 0,46 | 93,73 | 35 | 255 | | 75 | 28 | 82 | | 16 | 90 | 36 | 125 | | 265 | 144 | 24 | 92 | 139 |
| Hedb.-Mer. | 5,40 | 42,30 | 0,672 | 15,24 | 5,09 | 0,159 | 1,58 | 14,05 | 0,35 | 2,88 | 0,253 | 0,13 | 10,77 | 0,40 | 93,88 | 4 | 277 | | 98 | 26 | 85 | | 14 | 121 | 30 | 136 | | 271 | 136 | 31 | 90 | 137 |
| Hedb.-Mer. (Kon) | 5,45 | 10,85 | 0,170 | 3,73 | 38,35 | 2,860 | 3,60 | 10,18 | 0,17 | 0,77 | 1,766 | 0,51 | 23,98 | 0,35 | 97,29 | 46 | 104 | | 200 | 7 | 23 | | 14 | 112 | 15 | 35 | | 248 | 94 | 88 | 131 | 39 |
| Hedb.-Mer. | 5,60 | 41,48 | 0,660 | 14,96 | 7,00 | 0,220 | 1,49 | 13,22 | 0,32 | 2,87 | 0,090 | 0,06 | 10,63 | 0,35 | 93,34 | | 266 | | 74 | 12 | 80 | | 17 | 71 | 30 | 136 | | 221 | 146 | 24 | 82 | 139 |
| Hedb.-Mer. | 5,80 | 42,35 | 0,693 | 15,52 | 4,64 | 0,124 | 1,45 | 14,36 | 0,34 | 2,78 | 0,090 | 0,04 | 11,29 | 0,33 | 94,00 | 4 | 291 | | 67 | 22 | 84 | | 16 | 83 | 30 | 135 | | 263 | 141 | 23 | 84 | 137 |
| Hedb.-Mer. | 6,20 | 42,89 | 0,679 | 15,11 | 3,96 | 0,105 | 1,50 | 14,74 | 0,38 | 2,82 | 0,069 | 0,14 | 11,85 | 0,27 | 94,51 | 8 | 271 | | 67 | 38 | 85 | | 17 | 125 | 40 | 133 | | 270 | 135 | 26 | 83 | 140 |
| Hedb.-Mer. | 6,40 | 45,34 | 0,718 | 16,05 | 4,23 | 0,077 | 1,50 | 12,31 | 0,37 | 2,93 | 0,062 | 0,03 | 9,49 | 0,44 | 93,54 | | 286 | | 70 | 26 | 87 | | 17 | 90 | 38 | 138 | | 247 | 136 | 22 | 89 | 145 |
| Hedb.-Mer. (Kon) | 6,60 | 12,00 | 0,183 | 3,94 | 35,94 | 3,489 | 3,73 | 9,89 | 0,16 | 0,84 | 1,557 | 0,09 | 26,12 | 0,47 | 98,40 | 12 | 110 | | 159 | 8 | 20 | | 16 | 28 | 14 | 41 | | 214 | 79 | 81 | 34 | 48 |
| Hedb.-Mer. | 7,05 | 31,77 | 0,501 | 10,77 | 7,27 | 0,485 | 1,45 | 21,53 | 0,33 | 2,04 | 0,061 | 0,03 | 19,16 | 0,12 | 95,52 | | 204 | | 68 | 9 | 58 | | 16 | 49 | 30 | 86 | | 299 | 107 | 43 | 66 | 106 |
| Hedb.-Mer. | 7,20 | 43,83 | 0,689 | 15,12 | 4,12 | 0,084 | 1,38 | 14,28 | 0,39 | 2,83 | 0,060 | 0,09 | 11,05 | 0,50 | 94,41 | 18 | 286 | | 68 | 36 | 85 | | 17 | 115 | 35 | 135 | | 283 | 134 | 24 | 112 | 139 |
| Hedb.-Mer. | 7,30 | 43,57 | 0,697 | 15,23 | 4,33 | 0,114 | 1,43 | 14,20 | 0,38 | 2,75 | 0,059 | 0,07 | 11,14 | 0,30 | 94,26 | 5 | 284 | | 70 | 22 | 85 | | 18 | 86 | 34 | 130 | | 270 | 138 | 22 | 85 | 147 |
| Hedb.-Mer. | 7,60 | 40,25 | 0,643 | 13,98 | 4,12 | 0,135 | 1,32 | 16,91 | 0,36 | 2,54 | 0,074 | 0,13 | 13,08 | 0,31 | 93,85 | | 265 | | 77 | 27 | 79 | | 16 | 85 | 28 | 119 | | 309 | 134 | 24 | 142 | 126 |
| Hedb.-Mer. | 7,80 | 47,12 | 0,747 | 16,30 | 4,45 | 0,074 | 1,48 | 11,27 | 0,40 | 2,99 | 0,061 | 0,08 | 8,83 | 0,49 | 94,29 | 13 | 311 | | 65 | 31 | 90 | | 18 | 100 | 40 | 139 | | 203 | 160 | 22 | 118 | 155 |
| Hedb.-Mer. | 8,00 | 41,17 | 0,674 | 14,64 | 4,15 | 0,154 | 1,39 | 16,16 | 0,44 | 2,64 | 0,064 | 0,03 | 13,12 | 0,23 | 94,86 | | 274 | | 74 | 26 | 85 | | 17 | 95 | 52 | 124 | | 266 | 140 | 22 | 361 | 129 |
| Hedb.-Mer. | 8,15 | 43,71 | 0,696 | 15,30 | 4,27 | 0,099 | 1,47 | 14,13 | 0,40 | 2,80 | 0,063 | 0,15 | 10,77 | 0,42 | 94,27 | 19 | 295 | | 65 | 40 | 88 | | 19 | 112 | 38 | 131 | | 269 | 139 | 22 | 168 | 146 |
| Hedb.-Mer. | 8,30 | 42,09 | 0,677 | 14,82 | 4,44 | 0,115 | 1,40 | 15,60 | 0,38 | 2,75 | 0,071 | 0,06 | 12,04 | 0,33 | 94,76 | | 276 | | 81 | 19 | 82 | | 17 | 82 | 32 | 131 | | 277 | 132 | 25 | 90 | 134 |
| Hedb.-Mer. | 8,45 | 37,74 | 0,595 | 13,55 | 3,59 | 0,123 | 1,29 | 16,61 | 0,39 | 2,47 | 0,061 | 0,06 | 13,70 | 0,38 | 90,56 | | 239 | | 64 | 41 | 77 | | 16 | 131 | 40 | 110 | | 271 | 119 | 28 | 74 | 118 |
| Hedb.-Mer. | 8,70 | 42,31 | 0,671 | 14,74 | 4,77 | 0,112 | 1,41 | 14,89 | 0,39 | 2,76 | 0,060 | 0,04 | 11,47 | 0,40 | 94,01 | | 286 | | 59 | 18 | 81 | | 15 | 80 | 28 | 129 | | 257 | 138 | 19 | 78 | 133 |
| Hedb.-Mer. | 8,80 | 39,40 | 0,647 | 14,25 | 3,92 | 0,147 | 1,35 | 17,44 | 0,40 | 2,51 | 0,062 | 0,12 | 14,03 | 0,22 | 94,49 | 11 | 257 | | 72 | 30 | 78 | | 17 | 117 | 30 | 123 | | 286 | 125 | 24 | 90 | 132 |
| Hedb.-Mer. | 9,20 | 43,10 | 0,692 | 15,20 | 5,16 | 0,114 | 1,42 | 13,87 | 0,47 | 2,82 | 0,067 | 0,06 | 10,97 | 0,32 | 94,26 | 7 | 269 | | 74 | 21 | 84 | | 17 | 84 | 34 | 135 | | 278 | 144 | 23 | 74 | 133 |
| Hedb.-Mer. | 9,50 | 41,96 | 0,668 | 14,69 | 4,31 | 0,100 | 1,39 | 15,28 | 0,45 | 2,73 | 0,079 | 0,16 | 11,78 | 0,40 | 93,99 | 22 | 275 | | 74 | 36 | 79 | | 17 | 138 | 38 | 132 | | 296 | 138 | 23 | 114 | 138 |
| Hedb.-Mer. | 9,70 | 39,76 | 0,651 | 14,04 | 3,99 | 0,142 | 1,30 | 17,54 | 0,39 | 2,47 | 0,102 | 0,08 | 13,76 | 0,33 | 94,55 | 17 | 253 | | 78 | 29 | 78 | | 17 | 129 | 28 | 116 | | 298 | 136 | 30 | 101 | 128 |
| Hedb.-Mer. | 9,95 | 49,45 | 0,778 | 16,85 | 4,60 | 0,055 | 1,46 | 9,38 | 0,48 | 3,01 | 0,061 | 0,17 | 7,18 | 0,53 | 94,00 | 24 | 295 | | 61 | 33 | 95 | | 20 | 112 | 39 | 144 | | 187 | 168 | 21 | 103 | 167 |
| Hedb.-Mer. | 10,10 | 46,95 | 0,759 | 16,64 | 4,63 | 0,074 | 1,47 | 11,16 | 0,45 | 2,94 | 0,065 | 0,15 | 8,59 | 0,41 | 94,29 | 26 | 305 | | 85 | 44 | 95 | | 20 | 123 | 37 | 140 | | 212 | 155 | 25 | 97 | 161 |
| Hedb.-Mer. | 10,30 | 40,32 | 0,637 | 14,64 | 4,81 | 0,113 | 1,39 | 16,09 | 0,39 | 2,73 | 0,066 | 0,17 | 12,66 | 0,32 | 94,33 | 8 | 262 | | 67 | 18 | 79 | | 15 | 77 | 32 | 131 | | 278 | 127 | 24 | 87 | 134 |
| Hedb.-Mer. | 10,60 | 36,11 | 0,586 | 13,21 | 5,40 | 0,335 | 1,32 | 19,45 | 0,41 | 2,36 | 0,072 | 0,03 | 16,01 | 0,15 | 95,44 | | 250 | | 75 | 13 | 72 | | 17 | 59 | 28 | 109 | | 300 | 130 | 25 | 116 | 115 |
| Hedb.-Mer. | 10,90 | 33,52 | 0,554 | 12,32 | 7,11 | 0,555 | 1,45 | 19,50 | 0,44 | 2,11 | 0,069 | 0,08 | 16,84 | 0,28 | 94,82 | | 249 | | 70 | 14 | 65 | | 13 | 61 | 39 | 89 | | 309 | 112 | 39 | 76 | 109 |
| Hedb.-Mer. | 11,20 | 34,14 | 0,563 | 12,66 | 3,39 | 0,141 | 1,23 | 22,17 | 0,38 | 2,20 | 0,062 | 0,09 | 17,55 | 0,32 | 94,89 | 18 | 228 | | 54 | 51 | 65 | | 14 | 176 | 29 | 93 | | 327 | 110 | 25 | 118 | 110 |
| Hedb.-Mer. | 11,50 | 25,67 | 0,415 | 9,58 | 4,56 | 0,428 | 1,16 | 28,01 | 0,32 | 1,77 | 0,432 | 0,07 | 22,64 | 0,23 | 95,28 | | 172 | | 77 | 14 | 50 | | 16 | 61 | 26 | 72 | | 366 | 81 | 50 | 62 | 83 |
| Hedb.-Mer. | 11,70 | 32,14 | 0,526 | 11,84 | 5,28 | 0,428 | 1,28 | 22,27 | 0,35 | 2,12 | 0,131 | 0,11 | 18,34 | 0,29 | 95,10 | | 213 | | 84 | 17 | 61 | | 21 | 80 | 24 | 92 | | 319 | 101 | 38 | 54 | 109 |
| Hedb.-Mer. | 11,90 | 39,77 | 0,662 | 14,24 | 3,81 | 0,112 | 1,27 | 17,69 | 0,47 | 2,48 | 0,059 | 0,04 | 13,83 | 0,40 | 94,84 | | 242 | | 67 | 14 | 79 | | 19 | 62 | 28 | 123 | | 291 | 132 | 25 | 73 | 135 |
| Hedb.-Mer. (Kon) | 12,10 | 27,34 | 0,466 | 10,29 | 14,38 | 1,230 | 1,93 | 17,72 | 0,35 | 1,80 | 0,103 | 0,08 | 20,12 | 0,15 | 95,95 | 14 | 204 | | 65 | 9 | 52 | | 13 | 88 | 23 | 80 | | 252 | 104 | 44 | 53 | 90 |
| Hedb.-Mer. | 12,35 | 35,96 | 0,601 | 13,67 | 5,78 | 0,170 | 1,26 | 18,89 | 0,42 | 2,36 | 0,069 | 0,03 | 14,82 | 0,36 | 94,39 | | 253 | | 57 | 9 | 70 | | 16 | 53 | 25 | 104 | | 291 | 124 | 25 | 69 | 117 |
| Hedb.-Mer. | 12,60 | 33,82 | 0,589 | 12,96 | 7,13 | 0,219 | 1,15 | 19,66 | 0,41 | 2,15 | 0,077 | 0,02 | 16,09 | 0,16 | 94,43 | | 237 | | 76 | 10 | 71 | | 16 | 48 | 21 | 96 | 0,5 | 293 | 150 | 33 | 66 | 120 |
| Hedb.-Mer. | 12,90 | 36,09 | 0,601 | 13,92 | 8,73 | 0,388 | 1,50 | 16,08 | 0,41 | 2,51 | 0,354 | 0,04 | 14,12 | 0,29 | 95,03 | | 261 | | 116 | 13 | 75 | | 17 | 58 | 24 | 107 | | 301 | 156 | 52 | 60 | 110 |
| Hedb.-Mer. | 13,10 | 33,98 | 0,581 | 13,48 | 2,95 | 0,142 | 1,22 | 21,36 | 0,57 | 2,29 | 0,064 | 0,15 | 16,71 | 0,33 | 93,83 | 9 | 261 | | 75 | 48 | 71 | | 15 | 140 | 32 | 105 | | 366 | 125 | 23 | 103 | 100 |
| Hedb.-Mer. | 13,20 | 37,82 | 0,640 | 14,78 | 9,32 | 0,439 | 1,68 | 13,33 | 0,46 | 2,56 | 0,407 | 0,09 | 13,03 | 0,23 | 94,78 | | 295 | | 100 | 13 | 78 | | 20 | 52 | 31 | 123 | | 240 | 137 | 46 | 62 | 125 |
| Hedb.-Mer. | 13,45 | 42,07 | 0,717 | 17,00 | 3,97 | 0,074 | 1,28 | 14,02 | 0,48 | 2,86 | 0,068 | 0,04 | 11,30 | 0,29 | 94,17 | 7 | 315 | | 67 | 32 | 88 | | 19 | 85 | 38 | 145 | 0,3 | 259 | 139 | 19 | 92 | 140 |
| Hedb.-Mer. | 13,55 | 40,49 | 0,695 | 15,84 | 4,30 | 0,110 | 1,28 | 15,24 | 0,51 | 2,64 | 0,495 | 0,15 | 11,60 | 0,25 | 93,60 | 9 | 303 | | 120 | 34 | 81 | | 21 | 87 | 34 | 131 | | 355 | 134 | 38 | 78 | 141 |
| Hedb.-Mer. | 13,63 | 39,24 | 0,676 | 15,28 | 3,13 | 0,096 | 1,22 | 17,81 | 0,44 | 2,55 | 0,063 | 0,05 | 14,20 | 0,15 | 94,89 | | 287 | | 78 | 20 | 78 | | 23 | 66 | 27 | 124 | | 311 | 120 | 25 | 87 | 172 |
| Hedb.-Mer. | 13,75 | 34,43 | 0,578 | 13,12 | 5,95 | 0,186 | 1,23 | 20,16 | 0,40 | 2,26 | 0,077 | 0,03 | 16,95 | 0,09 | 95,45 | | 246 | | 68 | 10 | 71 | | 21 | 48 | 26 | 107 | | 339 | 129 | 31 | 78 | 137 |
| Hedb.-Mer. | 14,00 | 30,14 | 0,533 | 11,82 | 4,88 | 0,214 | 1,06 | 24,43 | 0,44 | 1,97 | 0,066 | 0,03 | 20,15 | 0,14 | 95,88 | | 231 | | 63 | 8 | 66 | | 18 | 45 | 19 | 88 | | 315 | 115 | 27 | 54 | 98 |
| Hedb.-Mer. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A1.1. Hoheneggelsen KB 40-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Strat. Einheit | Teufe [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | As | Ba | Cd | Ce | Co | Cr | Mo | Nb | Ni | Pb | Rb | Se | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|-------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|------|-----|----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| Hedb.-Mer. | 14,55 | 32,46 | 0,556 | 12,37 | 4,01 | 0,142 | 1,05 | 23,26 | 0,37 | 2,10 | 0,067 | 0,03 | 18,21 | 0,30 | 94,92 | | 240 | | 68 | 7 | 71 | | 15 | 47 | 52 | 90 | | 340 | 124 | 25 | 63 | 104 |
| Hedb.-Mer. | 14,90 | 41,25 | 0,790 | 17,75 | 4,08 | 0,071 | 1,28 | 13,51 | 0,65 | 2,99 | 0,073 | 0,08 | 10,41 | 0,30 | 93,23 | 11 | 257 | | 80 | 33 | 68 | | 60 | 134 | 51 | 121 | | 308 | 169 | 19 | 107 | 185 |
| Hedb.-Mer. | 15,20 | 39,22 | 0,653 | 14,89 | 3,10 | 0,092 | 1,19 | 17,66 | 0,44 | 2,48 | 0,061 | 0,07 | 14,33 | 0,36 | 94,54 | 21 | 274 | | 70 | 36 | 82 | | 18 | 153 | 37 | 126 | | 323 | 167 | 24 | 120 | 127 |
| Hedb.-Mer. | 15,40 | 47,75 | 0,804 | 18,69 | 4,01 | 0,049 | 1,34 | 9,33 | 0,48 | 3,04 | 0,069 | 0,16 | 7,24 | 0,53 | 93,48 | 16 | 334 | | 79 | 32 | 102 | | 16 | 119 | 45 | 149 | 1,0 | 252 | 213 | 22 | 121 | 153 |
| Hedb.-Mer. | 15,60 | 49,86 | 0,827 | 18,68 | 4,75 | 0,036 | 1,41 | 7,56 | 0,47 | 3,16 | 0,078 | 0,06 | 5,86 | 0,36 | 93,11 | 17 | 343 | | 87 | 32 | 108 | | 18 | 110 | 43 | 155 | | 226 | 229 | 25 | 97 | 170 |
| Hedb.-Mer. | 15,80 | 46,41 | 0,771 | 17,29 | 4,28 | 0,061 | 1,29 | 10,85 | 0,47 | 2,90 | 0,081 | 0,13 | 8,43 | 0,38 | 93,33 | 13 | 345 | | 84 | 32 | 95 | | 18 | 107 | 37 | 141 | | 271 | 189 | 23 | 108 | 152 |
| Hedb.-Mer. | 16,10 | 47,17 | 0,787 | 18,85 | 6,04 | 0,044 | 1,33 | 7,90 | 0,55 | 3,08 | 0,105 | 0,03 | 6,36 | 0,27 | 92,51 | 7 | 353 | | 80 | 15 | 107 | | 20 | 75 | 44 | 155 | | 225 | 229 | 22 | 80 | 155 |
| Hedb.-Mer. | 16,25 | 48,25 | 0,815 | 19,10 | 4,95 | 0,050 | 1,32 | 8,21 | 0,54 | 3,12 | 0,078 | 0,18 | 6,16 | 0,33 | 93,09 | 30 | 347 | | 74 | 31 | 102 | | 21 | 108 | 42 | 149 | | 246 | 191 | 22 | 132 | 148 |
| Hedb.-Mer. | 16,40 | 44,71 | 0,757 | 17,42 | 4,50 | 0,092 | 1,27 | 11,66 | 0,44 | 2,94 | 0,074 | 0,06 | 9,40 | 0,24 | 93,56 | 15 | 334 | | 72 | 14 | 94 | | 17 | 71 | 31 | 144 | 0,6 | 271 | 173 | 21 | 82 | 145 |
| Hedb.-Mer. | 16,55 | 39,91 | 0,679 | 15,37 | 4,37 | 0,166 | 1,20 | 16,26 | 0,43 | 2,61 | 0,077 | 0,03 | 13,37 | 0,20 | 94,67 | 4 | 305 | | 66 | 25 | 86 | | 17 | 67 | 41 | 128 | | 299 | 152 | 25 | 178 | 131 |
| Hedb.-Mer. | 16,60 | 43,30 | 0,761 | 18,04 | 4,39 | 0,094 | 1,23 | 12,05 | 0,46 | 2,98 | 0,064 | 0,09 | 9,43 | 0,53 | 93,42 | 13 | 357 | | 65 | 16 | 97 | | 18 | 65 | 47 | 147 | | 275 | 167 | 23 | 84 | 137 |
| Hedb.-Mer. | 16,90 | 44,40 | 0,770 | 18,08 | 5,19 | 0,103 | 1,28 | 10,95 | 0,48 | 3,06 | 0,084 | 0,09 | 8,61 | 0,30 | 93,39 | 9 | 341 | | 83 | 17 | 97 | | 21 | 69 | 46 | 153 | | 269 | 178 | 21 | 122 | 141 |
| Hedb.-Mer. | 17,05 | 45,42 | 0,759 | 17,69 | 4,76 | 0,117 | 1,28 | 10,82 | 0,54 | 3,03 | 0,124 | 0,06 | 8,56 | 0,27 | 93,43 | 12 | 337 | | 84 | 12 | 101 | | 20 | 64 | 44 | 152 | | 246 | 181 | 28 | 82 | 147 |
| Hedb.-Mer. | 17,10 | 46,19 | 0,797 | 18,69 | 4,65 | 0,080 | 1,31 | 9,71 | 0,43 | 3,14 | 0,077 | 0,04 | 7,73 | 0,41 | 93,26 | 9 | 353 | | 88 | 40 | 101 | | 17 | 101 | 48 | 151 | | 245 | 176 | 21 | 128 | 141 |
| Hedb.-Mer. | 17,20 | 46,08 | 0,799 | 19,47 | 5,29 | 0,070 | 1,33 | 8,32 | 0,52 | 3,31 | 0,132 | 0,04 | 6,52 | 0,31 | 92,19 | 9 | 363 | | 87 | 21 | 104 | | 17 | 83 | 42 | 166 | | 251 | 202 | 25 | 116 | 143 |
| Hedb.-Mer. | 17,40 | 48,48 | 0,808 | 18,68 | 4,50 | 0,058 | 1,27 | 8,58 | 0,46 | 3,16 | 0,098 | 0,09 | 6,71 | 0,48 | 93,36 | 15 | 347 | | 80 | 17 | 112 | | 20 | 66 | 52 | 159 | | 245 | 206 | 23 | 110 | 160 |
| Hedb.-Mer. | 17,50 | 46,15 | 0,805 | 19,91 | 4,78 | 0,069 | 1,35 | 8,69 | 0,44 | 3,32 | 0,173 | 0,10 | 6,69 | 0,45 | 92,92 | 22 | 356 | | 95 | 31 | 108 | | 15 | 105 | 42 | 165 | 0,5 | 254 | 215 | 28 | 132 | 143 |
| Hedb.-Mer. | 17,55 | 45,70 | 0,790 | 19,55 | 4,91 | 0,076 | 1,37 | 8,75 | 0,35 | 3,22 | 0,047 | 0,14 | 6,87 | 0,46 | 92,23 | 11 | 346 | 0,04 | 71 | 31 | 124 | 2 | 19 | 102 | 40 | 158 | 0,3 | 242 | 220 | 21 | 125 | 142 |
| Hedb.-Mer. | 17,60 | 47,09 | 0,810 | 19,64 | 5,20 | 0,074 | 1,31 | 8,19 | 0,46 | 3,26 | 0,097 | 0,13 | 6,32 | 0,41 | 92,99 | 22 | 388 | | 86 | 20 | 115 | | 18 | 88 | 42 | 161 | | 203 | 243 | 20 | 95 | 148 |
| Hedb.-Mer. | 17,70 | 47,46 | 0,823 | 19,57 | 4,88 | 0,058 | 1,36 | 7,98 | 0,46 | 3,23 | 0,074 | 0,10 | 6,16 | 0,58 | 92,73 | 12 | 366 | | 84 | 22 | 119 | | 19 | 76 | 42 | 156 | | 250 | 234 | 22 | 96 | 149 |
| Hedb.-Mer. | 17,80 | 48,39 | 0,843 | 20,71 | 5,08 | 0,057 | 1,37 | 6,46 | 0,45 | 3,45 | 0,083 | 0,08 | 5,04 | 0,63 | 92,63 | 16 | 380 | | 83 | 29 | 119 | | 20 | 98 | 41 | 174 | | 214 | 235 | 20 | 93 | 145 |
| Hedb.-Mer. | 17,90 | 49,17 | 0,854 | 20,77 | 5,39 | 0,057 | 1,36 | 5,84 | 0,47 | 3,47 | 0,089 | 0,18 | 4,40 | 0,43 | 92,47 | 20 | 378 | | 92 | 25 | 115 | | 16 | 93 | 51 | 175 | | 188 | 221 | 22 | 122 | 156 |
| Hedb.-Mer. | 17,95 | 48,23 | 0,825 | 20,34 | 5,95 | 0,075 | 1,37 | 6,07 | 0,55 | 3,42 | 0,436 | 0,17 | 4,27 | 0,35 | 92,05 | 12 | 372 | | 124 | 21 | 112 | | 17 | 92 | 46 | 169 | | 246 | 226 | 39 | 153 | 147 |
| Hedb.-Mer. | 18,10 | 48,55 | 0,842 | 21,08 | 5,78 | 0,057 | 1,42 | 5,36 | 0,60 | 3,57 | 0,083 | 0,07 | 4,16 | 0,40 | 91,97 | 14 | 387 | | 90 | 24 | 117 | | 19 | 93 | 45 | 180 | | 194 | 230 | 20 | 113 | 153 |
| Hedb.-Mer. | 18,20 | 49,41 | 0,858 | 21,37 | 5,26 | 0,054 | 1,43 | 5,12 | 0,49 | 3,66 | 0,099 | 0,43 | 3,85 | 0,38 | 92,40 | 62 | 378 | | 96 | 40 | 122 | | 19 | 172 | 44 | 181 | | 182 | 210 | 23 | 120 | 152 |
| Hedb.-Mer. | 18,30 | 48,58 | 0,846 | 21,13 | 5,87 | 0,057 | 1,48 | 5,20 | 0,45 | 3,58 | 0,069 | 0,10 | 3,96 | 0,49 | 91,80 | 41 | 379 | | 87 | 25 | 123 | | 19 | 93 | 38 | 164 | | 190 | 231 | 18 | 106 | 140 |
| Hedb.-Mer. | 18,40 | 48,66 | 0,838 | 21,31 | 5,59 | 0,057 | 1,43 | 5,42 | 0,44 | 3,62 | 0,078 | 0,05 | 4,32 | 0,41 | 92,22 | 11 | 387 | | 72 | 30 | 123 | | 21 | 96 | 41 | 184 | 0,4 | 180 | 229 | 20 | 106 | 148 |
| Hedb.-Mer. | 18,50 | 47,81 | 0,837 | 21,18 | 6,51 | 0,095 | 1,54 | 5,11 | 0,46 | 3,56 | 0,155 | 0,26 | 4,34 | 0,37 | 92,22 | 38 | 370 | | 95 | 44 | 117 | | 18 | 149 | 47 | 175 | | 198 | 205 | 24 | 101 | 138 |
| Hedb.-Mer. | 18,55 | 44,30 | 0,770 | 19,64 | 9,18 | 0,191 | 1,74 | 5,63 | 0,34 | 3,23 | 0,304 | 0,23 | 4,42 | 0,49 | 90,46 | | 359 | | 92 | 27 | 117 | 3 | 18 | 89 | 43 | 160 | | 262 | 196 | 25 | 107 | 136 |
| Hedb.-Mer. | 18,60 | 42,17 | 0,745 | 18,59 | 10,43 | 0,198 | 1,89 | 6,37 | 0,43 | 3,12 | 1,097 | 0,32 | 6,83 | 0,44 | 92,62 | 27 | 364 | | 175 | 23 | 104 | | 18 | 86 | 41 | 149 | | 296 | 190 | 47 | 90 | 126 |
| Hedb.-Mer. | 18,70 | 45,37 | 0,797 | 20,04 | 9,00 | 0,159 | 1,79 | 4,95 | 0,45 | 3,33 | 0,253 | 0,26 | 5,17 | 0,56 | 92,12 | 31 | 371 | | 101 | 28 | 108 | | 16 | 89 | 43 | 166 | | 186 | 192 | 30 | 96 | 139 |
| Hedb.-Mer. | 18,80 | 48,23 | 0,845 | 21,64 | 5,56 | 0,067 | 1,52 | 5,12 | 0,52 | 3,62 | 0,069 | 0,17 | 4,03 | 0,56 | 91,94 | 19 | 405 | | 76 | 27 | 121 | | 22 | 80 | 41 | 179 | | 246 | 204 | 18 | 101 | 135 |
| Hedb.-Mer. | 18,90 | 47,76 | 0,848 | 21,31 | 5,71 | 0,082 | 1,52 | 5,28 | 0,49 | 3,54 | 0,069 | 0,21 | 4,69 | 0,45 | 91,96 | 30 | 387 | | 81 | 28 | 117 | | 19 | 84 | 40 | 177 | | 176 | 199 | 22 | 130 | 143 |
| Hedb.-Mer. (Kon.) | 19,10 | 28,72 | 0,501 | 12,70 | 24,69 | 0,988 | 3,06 | 5,33 | 0,33 | 2,07 | 0,106 | 0,19 | 17,35 | 0,37 | 96,40 | 41 | 259 | | 77 | 12 | 76 | | 16 | 55 | 29 | 93 | | 152 | 196 | 37 | 55 | 86 |
| Hedb.-Mer. | 19,20 | 48,42 | 0,838 | 21,78 | 4,77 | 0,071 | 1,47 | 5,29 | 0,51 | 3,59 | 0,066 | 0,06 | 4,36 | 0,41 | 91,63 | 12 | 410 | | 72 | 30 | 118 | | 17 | 80 | 42 | 179 | | 180 | 195 | 18 | 102 | 140 |
| Hedb.-Mer. | 19,30 | 43,46 | 0,754 | 19,65 | 9,88 | 0,225 | 1,89 | 5,36 | 0,42 | 3,22 | 0,073 | 0,32 | 7,20 | 0,44 | 92,88 | 26 | 363 | | 82 | 23 | 105 | | 16 | 73 | 42 | 165 | | 186 | 187 | 22 | 158 | 129 |
| Hedb.-Mer. | 19,40 | 45,49 | 0,776 | 20,10 | 7,38 | 0,151 | 1,63 | 6,48 | 0,45 | 3,29 | 0,076 | 0,18 | 6,41 | 0,44 | 92,85 | 6 | 390 | | 70 | 22 | 111 | | 20 | 62 | 41 | 170 | | 272 | 183 | 18 | 89 | 133 |
| Hedb.-Mer. | 19,50 | 42,50 | 0,711 | 18,65 | 6,10 | 0,155 | 1,52 | 9,90 | 0,46 | 3,14 | 0,082 | 0,15 | 9,18 | 0,39 | 92,93 | 4 | 367 | | 84 | 20 | 103 | | 13 | 52 | 42 | 156 | | 273 | 168 | 20 | 83 | 122 |
| Top FS | 19,58 | 42,40 | 0,720 | 18,81 | 7,36 | 0,165 | 1,67 | 8,89 | 0,30 | 3,11 | 0,053 | 0,12 | 6,98 | 0,29 | 90,87 | 9,2 | 368 | 0,04 | 66 | 18 | 121 | 3 | 17 | 51 | 43 | 156 | 0,2 | 204 | 179 | 22 | 103 | 132 |
| Top FS | 19,59 | 40,20 | 0,680 | 17,89 | 9,95 | 0,226 | 1,91 | 8,46 | 0,29 | 2,95 | 0,101 | 0,13 | 6,64 | 0,28 | 89,70 | 7,5 | 344 | | 73 | 17 | 111 | 3 | 15 | 43 | 37 | 148 | 0,4 | 211 | 187 | 22 | 81 | 127 |
| Top FS | 19,60 | 42,70 | 0,710 | 18,11 | 4,41 | 0,057 | 1,13 | 9,98 | 0,27 | 2,93 | 0,068 | 1,51 | 7,83 | 2,62 | 92,32 | 48 | 358 | 0,01 | 74 | 24 | 131 | 7 | 15 | 68 | 35 | 148 | | 268 | 266 | 28 | 101 | 133 |
| Top FS | 19,61 | 36,30 | 0,610 | 15,51 | 10,99 | 0,060 | 0,94 | 9,37 | 0,20 | 2,48 | 0,065 | 6,73 | 7,35 | 3,74 | 94,35 | 175 | 303 | | 65 | 37 | 112 | 8 | 12 | 116 | 59 | 120 | 3,5 | 211 | 252 | 32 | 156 | 123 |
| Top FS | 19,62 | 32,70 | 0,550 | 13,93 | 13,93 | 0,072 | 0,87 | 9,70 | 0,18 | 2,24 | 0,056 | 8,93 | 7,61 | 3,64 | 94,41 | 209 | 271 | | 48 | 33 | 106 | 11 | 10 | 111 | 61 | 102 | 3,7 | 217 | 226 | 32 | 130 | 117 |
| Top FS | 19,63 | 27,80 | 0,480 | 12,04 | 15,68 | 0,094 | 0,77 | 12,31 | 0,21 | 1,93 | 0,049 | 9,97 | 9,66 | 4,27 | 95, | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A1.1. Hoheneggelsen KB 40-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Strat. Einheit | Teufe [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | As | Ba | Cd | Ce | Co | Cr | Mo | Nb | Ni | Pb | Rb | Se | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|-----------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|-----------------|------|-------|-----|-----|-------|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|------|-----|-----|----|------|-----|
| Top FS | 19,66 | 33,90 | 0,580 | 14,69 | 4,41 | 0,109 | 0,96 | 15,57 | 0,23 | 2,35 | 0,058 | 1,62 | 12,22 | 5,30 | 92,00 | 34 | 298 | | 62 | 25 | 103 | 15 | 13 | 101 | 44 | 121 | 5,1 | 338 | 313 | 26 | 90 | 105 |
| FS | 19,70 | 28,00 | 0,480 | 12,16 | 9,54 | 0,119 | 0,82 | 16,40 | 0,18 | 1,94 | 0,061 | 5,86 | 12,87 | 4,96 | 93,39 | 75 | 246 | 0,23 | 50 | 23 | 84 | 20 | 10 | 93 | 49 | 88 | 4,6 | 356 | 244 | 36 | 81 | 95 |
| FS | 19,75 | 25,10 | 0,440 | 10,97 | 13,92 | 0,103 | 0,71 | 13,87 | 0,15 | 1,77 | 0,049 | 10,64 | 10,89 | 4,26 | 92,87 | 91 | 215 | | 43 | 16 | 73 | 33 | 8 | 90 | 55 | 81 | 5,8 | 365 | 237 | 32 | 76 | 81 |
| FS | 19,80 | 26,70 | 0,460 | 11,52 | 13,37 | 0,103 | 0,77 | 14,32 | 0,16 | 1,86 | 0,050 | 9,55 | 11,24 | 4,38 | 94,48 | 68 | 230 | | 36 | 15 | 80 | 30 | 7 | 80 | 54 | 84 | 5,2 | 311 | 259 | 35 | 205 | 94 |
| FS | 19,85 | 27,90 | 0,480 | 12,33 | 5,46 | 0,091 | 0,80 | 17,02 | 0,17 | 1,99 | 0,072 | 5,15 | 13,36 | 4,82 | 89,64 | 43 | 245 | 0,28 | 58 | 13 | 85 | 22 | 10 | 88 | 44 | 92 | 4,4 | 394 | 283 | 27 | 89 | 85 |
| FS | 19,90 | 29,20 | 0,500 | 12,81 | 3,91 | 0,084 | 0,83 | 17,88 | 0,19 | 2,08 | 0,089 | 3,40 | 14,03 | 5,57 | 90,58 | 35 | 255 | | 65 | 15 | 91 | 21 | 11 | 95 | 42 | 109 | 4,9 | 412 | 314 | 24 | 94 | 89 |
| FS | 19,95 | 25,70 | 0,440 | 11,38 | 5,37 | 0,091 | 0,74 | 19,07 | 0,17 | 1,84 | 0,057 | 5,38 | 14,97 | 4,95 | 90,15 | 43 | 227 | 2,93 | 42 | 11 | 79 | 26 | 9 | 89 | 48 | 87 | 5,0 | 456 | 292 | 25 | 224 | 82 |
| FS | 20,00 | 27,60 | 0,470 | 11,99 | 4,23 | 0,099 | 0,80 | 19,11 | 0,24 | 1,96 | 0,060 | 3,35 | 15,00 | 5,94 | 90,84 | 37 | 261 | | 49 | 13 | 85 | 23 | 10 | 92 | 48 | 91 | 5,2 | 451 | 308 | 25 | 92 | 84 |
| FS | 20,05 | 28,90 | 0,490 | 12,55 | 4,89 | 0,095 | 0,83 | 17,66 | 0,22 | 2,03 | 0,058 | 3,89 | 13,86 | 5,43 | 90,90 | 40 | 307 | 2,45 | 41 | 11 | 97 | 31 | 9 | 82 | 54 | 99 | 6,4 | 462 | 299 | 23 | 190 | 90 |
| FS | 20,15 | 29,90 | 0,510 | 13,02 | 4,06 | 0,107 | 0,85 | 18,69 | 0,22 | 2,11 | 0,060 | 2,25 | 14,67 | 5,30 | 91,75 | 31 | 280 | 0,34 | 49 | 16 | 88 | 20 | 11 | 69 | 54 | 111 | 3,9 | 412 | 305 | 23 | 115 | 95 |
| FS | 20,20 | 27,80 | 0,480 | 12,24 | 4,07 | 0,112 | 0,82 | 20,23 | 0,20 | 1,97 | 0,089 | 2,72 | 15,88 | 5,41 | 92,01 | 34 | 252 | | 66 | 11 | 84 | 27 | 11 | 66 | 51 | 94 | 4,9 | 428 | 291 | 27 | 113 | 86 |
| FS | 20,25 | 27,80 | 0,480 | 12,25 | 4,22 | 0,107 | 0,80 | 19,89 | 0,18 | 1,98 | 0,139 | 2,69 | 15,61 | 5,93 | 92,07 | 31 | 259 | 0,30 | 61 | 13 | 83 | 30 | 11 | 68 | 50 | 94 | 4,9 | 401 | 299 | 28 | 94 | 86 |
| FS | 20,30 | 30,80 | 0,510 | 13,77 | 4,50 | 0,076 | 0,86 | 16,74 | 0,22 | 2,24 | 0,065 | 2,84 | 13,14 | 5,84 | 91,60 | 36 | 287 | | 46 | 15 | 98 | 25 | 12 | 72 | 54 | 116 | 6,3 | 347 | 369 | 21 | 82 | 91 |
| FS (Pyrit-Kon.) | 20,35 | 13,40 | 0,230 | 6,00 | 33,55 | 0,060 | 0,43 | 12,00 | 0,08 | 0,97 | 0,031 | 26,73 | 9,42 | 3,43 | | 437 | 121 | 0,48 | 17 | 3 | 77 | 78 | 3 | 35 | 60 | 42 | 14,2 | 191 | 178 | 7 | 52 | 50 |
| FS | 20,40 | 26,80 | 0,450 | 11,71 | 4,17 | 0,092 | 0,79 | 20,63 | 0,18 | 1,93 | 0,070 | 3,06 | 16,19 | 6,12 | 92,19 | 29 | 244 | | 40 | 12 | 87 | 39 | 10 | 80 | 40 | 94 | 8,5 | 394 | 399 | 25 | 96 | 87 |
| FS | 20,45 | 26,80 | 0,450 | 11,64 | 3,87 | 0,096 | 0,79 | 20,49 | 0,18 | 1,93 | 0,115 | 2,49 | 16,08 | 7,08 | 92,01 | | 243 | 0,57 | 44 | 13 | 84 | 69 | 10 | 93 | 37 | 89 | | 400 | 433 | 29 | 97 | 84 |
| FS | 20,50 | 29,10 | 0,490 | 12,55 | 3,93 | 0,084 | 0,84 | 18,62 | 0,19 | 2,07 | 0,078 | 2,46 | 14,61 | 6,76 | 91,79 | 31 | 247 | | 65 | 14 | 99 | 76 | 12 | 103 | 38 | 100 | 9,2 | 370 | 511 | 24 | 102 | 90 |
| FS | 20,55 | 30,20 | 0,510 | 13,20 | 4,12 | 0,088 | 0,87 | 17,44 | 0,19 | 2,17 | 0,074 | 2,20 | 13,69 | 6,96 | 91,70 | | 276 | 1,10 | 46 | 16 | 92 | 86 | 13 | 112 | 38 | 111 | | 346 | 547 | 23 | 113 | 91 |
| FS | 20,57 | 29,00 | 0,490 | 12,50 | 4,02 | 0,085 | 0,84 | 18,42 | 0,19 | 2,05 | 0,072 | 2,78 | 14,46 | 6,32 | 91,22 | 30 | 268 | | 50 | 15 | 91 | 81 | 12 | 110 | 40 | 107 | 11,0 | 377 | 534 | 24 | 99 | 89 |
| FS (Pyrit-Kon.) | 20,60 | 1,70 | 0,040 | 0,80 | 61,81 | 0,042 | 0,10 | 1,54 | 0,02 | 0,14 | 0,000 | 52,55 | 1,21 | 0,57 | | | 27 | 47,37 | 3 | 3 | 69 | 132 | 0 | 24 | 23 | 4 | | 33 | 38 | 0 | 1807 | 14 |
| FS | 20,65 | 31,30 | 0,530 | 13,26 | 4,19 | 0,079 | 0,86 | 16,56 | 0,21 | 2,19 | 0,084 | 3,30 | 13,00 | 5,42 | 90,98 | | 290 | | 65 | 11 | 93 | 96 | 12 | 103 | 43 | 113 | | 397 | 523 | 23 | 104 | 93 |
| FS | 20,70 | 24,70 | 0,420 | 10,92 | 3,72 | 0,132 | 0,78 | 22,92 | 0,17 | 1,78 | 0,065 | 2,49 | 17,99 | 6,06 | 92,14 | 29 | 228 | 1,10 | 54 | 12 | 77 | 91 | 11 | 100 | 33 | 81 | 12,6 | 409 | 483 | 22 | 101 | 75 |
| FS | 20,75 | 27,10 | 0,450 | 11,80 | 4,01 | 0,130 | 0,82 | 21,43 | 0,18 | 1,94 | 0,104 | 2,48 | 16,82 | 5,62 | 92,88 | | 234 | | 34 | 12 | 86 | 79 | 9 | 101 | 34 | 93 | | 377 | 580 | 25 | 114 | 82 |
| FS | 20,80 | 25,50 | 0,430 | 11,20 | 3,82 | 0,129 | 0,79 | 22,70 | 0,16 | 1,84 | 0,072 | 2,47 | 17,81 | 5,90 | 92,83 | 26 | 248 | 1,68 | 46 | 8 | 82 | 78 | 10 | 99 | 33 | 83 | 12,0 | 381 | 554 | 29 | 105 | 73 |
| FS | 20,85 | 19,20 | 0,320 | 8,30 | 3,26 | 0,233 | 0,67 | 29,70 | 0,14 | 1,37 | 0,081 | 1,85 | 23,31 | 5,30 | 93,73 | | 188 | | 32 | 9 | 62 | 85 | 6 | 89 | 27 | 62 | | 424 | 422 | 35 | 82 | 60 |
| FS | 20,90 | 23,00 | 0,390 | 9,87 | 3,37 | 0,217 | 0,74 | 26,08 | 0,16 | 1,61 | 0,116 | 2,17 | 20,47 | 4,76 | 92,95 | 26 | 220 | 0,93 | 39 | 11 | 71 | 74 | 9 | 83 | 31 | 74 | 10,7 | 413 | 434 | 32 | 76 | 72 |
| FS | 21,00 | 24,70 | 0,430 | 10,78 | 6,87 | 0,191 | 0,74 | 21,93 | 0,20 | 1,73 | 0,073 | 5,23 | 17,21 | 3,99 | 94,07 | 32 | 228 | 1,29 | 46 | 10 | 74 | 78 | 8 | 87 | 33 | 77 | 14,6 | 362 | 404 | 39 | 82 | 79 |
| FS | 21,05 | 22,70 | 0,380 | 10,14 | 3,80 | 0,178 | 0,78 | 24,77 | 0,24 | 1,65 | 0,090 | 3,28 | 19,44 | 4,87 | 92,31 | 28 | 221 | | 43 | 12 | 79 | 75 | 8 | 104 | 33 | 77 | 24,1 | 459 | 523 | 26 | 89 | 71 |
| FS | 21,10 | 24,40 | 0,410 | 10,76 | 3,72 | 0,177 | 0,79 | 24,54 | 0,16 | 1,77 | 0,053 | 2,23 | 19,26 | 4,86 | 93,13 | | 228 | 7,45 | 33 | 11 | 83 | 62 | 9 | 99 | 31 | 81 | | 384 | 572 | 28 | 137 | 73 |
| FS | 21,13 | 23,40 | 0,380 | 10,54 | 3,78 | 0,207 | 0,77 | 26,01 | 0,14 | 1,73 | 0,049 | 1,59 | 20,41 | 4,81 | 93,81 | 23 | 228 | 1,34 | 45 | 13 | 84 | 46 | 8 | 97 | 34 | 79 | 22,6 | 360 | 610 | 27 | 71 | 70 |
| FS | 21,20 | 21,40 | 0,350 | 9,63 | 3,63 | 0,201 | 0,72 | 27,09 | 0,17 | 1,58 | 0,068 | 2,10 | 21,26 | 5,03 | 93,22 | | 199 | 1,30 | 48 | 12 | 86 | 36 | 7 | 95 | 37 | 73 | | 406 | 591 | 30 | 70 | 64 |
| FS | 21,25 | 29,70 | 0,490 | 13,22 | 4,89 | 0,110 | 0,84 | 17,94 | 0,25 | 2,18 | 0,143 | 2,76 | 14,08 | 5,52 | 92,12 | 38 | 283 | | 64 | 17 | 114 | 37 | 10 | 123 | 47 | 111 | 33,1 | 349 | 726 | 31 | 115 | 86 |
| FS | 21,30 | 29,20 | 0,490 | 12,87 | 4,19 | 0,107 | 0,86 | 19,52 | 0,23 | 2,09 | 0,113 | 2,57 | 15,32 | 4,95 | 92,50 | | 264 | 2,51 | 71 | 16 | 107 | 34 | 10 | 108 | 40 | 100 | | 354 | 676 | 31 | 104 | 88 |
| FS | 21,35 | 22,50 | 0,370 | 10,16 | 4,35 | 0,149 | 0,78 | 25,86 | 0,18 | 1,65 | 0,110 | 2,24 | 20,29 | 4,85 | 93,49 | 33 | 207 | | 46 | 11 | 91 | 36 | 8 | 102 | 37 | 74 | 28,1 | 380 | 570 | 40 | 85 | 68 |
| FS | 21,40 | 19,00 | 0,320 | 8,49 | 3,94 | 0,191 | 0,72 | 29,32 | 0,18 | 1,40 | 0,094 | 2,65 | 23,01 | 4,44 | 93,75 | | 179 | 7,01 | 41 | 13 | 79 | 49 | 6 | 101 | 30 | 62 | | 422 | 498 | 43 | 150 | 62 |
| FS | 21,45 | 17,50 | 0,290 | 7,80 | 3,76 | 0,188 | 0,69 | 31,32 | 0,17 | 1,31 | 0,103 | 2,19 | 24,58 | 4,40 | 94,30 | 28 | 166 | | 55 | 11 | 70 | 72 | 6 | 98 | 29 | 56 | 19,9 | 433 | 470 | 41 | 113 | 57 |
| FS | 21,50 | 21,80 | 0,370 | 9,54 | 3,86 | 0,155 | 0,75 | 27,27 | 0,17 | 1,54 | 0,131 | 2,39 | 21,40 | 4,27 | 93,65 | | 211 | 4,60 | 48 | 9 | 75 | 82 | 6 | 99 | 32 | 71 | | 426 | 449 | 46 | 124 | 70 |
| Basis FS | 21,51 | 28,00 | 0,480 | 11,96 | 4,54 | 0,118 | 0,89 | 20,60 | 0,13 | 1,94 | 0,131 | 2,14 | 16,17 | 5,44 | 92,54 | 34 | 250 | 0,69 | 65 | 15 | 101 | 79 | 10 | 127 | 40 | 88 | 13,9 | 390 | 513 | 40 | 92 | 88 |
| Basis FS | 21,52 | 30,60 | 0,520 | 13,75 | 4,63 | 0,070 | 0,92 | 17,91 | 0,19 | 2,21 | 0,442 | 2,04 | 14,06 | 5,81 | 93,14 | 31 | 286 | | 159 | 19 | 135 | 33 | 10 | 128 | 45 | 111 | 32,4 | 362 | 599 | 69 | 105 | 99 |
| Basis FS | 21,53 | 47,40 | 0,860 | 20,19 | 7,84 | 0,024 | 1,33 | 3,73 | 0,26 | 3,14 | 0,048 | 4,28 | 2,93 | 0,95 | 92,97 | 42 | 339 | 0,13 | 74 | 18 | 139 | 7 | 18 | 67 | 54 | 163 | | 204 | 441 | 26 | 115 | 159 |
| Basis FS | 21,54 | 48,70 | 0,880 | 20,89 | 8,13 | 0,020 | 1,39 | 2,50 | 0,27 | 3,24 | 0,049 | 4,48 | 1,96 | 0,90 | 93,41 | 31 | 365 | | 82 | 15 | 146 | 6 | 19 | 66 | 54 | 168 | 3,6 | 168 | 450 | 23 | 118 | 160 |
| Basis FS | 21,55 | 49,70 | 0,900 | 21,33 | 7,16 | 0,019 | 1,42 | 2,33 | 0,28 | 3,30 | 0,045 | 3,45 | 1,83 | 0,93 | 92,69 | 37 | 372 | 0,09 | 85 | 15 | 147 | 7 | 18 | 72 | 56 | 172 | 3,4 | 169 | 455 | 26 | 115 | 166 |
| DTF | 21,58 | 43,70 | 0,790 | 18,64 | 10,31 | 0,030 | 1,18 | 4,96 | 0,25 | 2,87 | 0,052 | 6,50 | 3,89 | 0,93 | 94,10 | | 332 | 0,25 | 70 | 14 | 124 | 12 | 18 | 74 | 54 | 147 | | 210 | 416 | 35 | 101 | 149 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A1.1. Hoheneggelsen KB 40-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Strat. Einheit | Teufe [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | As | Ba | Cd | Ce | Co | Cr | Mo | Nb | Ni | Pb | Rb | Se | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|-----------------|------|-------|-----|-----|------|-----|----|-----|----|----|-----|----|-----|------|-----|-----|----|-----|-----|
| DTF | 21,88 | 38,20 | 0,690 | 16,54 | 12,31 | 0,012 | 0,88 | 1,66 | 0,27 | 2,47 | 0,063 | 6,45 | 1,30 | 4,36 | 85,21 | | 294 | 0,47 | 67 | 13 | 136 | 10 | 16 | 78 | 66 | 129 | | 144 | 485 | 18 | 99 | 130 |
| DTF | 21,96 | 46,20 | 0,830 | 18,97 | 9,63 | 0,034 | 1,31 | 3,74 | 0,37 | 2,84 | 0,044 | 5,49 | 2,94 | 0,81 | 93,20 | 41 | 341 | | 70 | 20 | 117 | 6 | 18 | 84 | 45 | 147 | | 173 | 365 | 22 | 131 | 156 |
| DTF | 22,13 | 54,30 | 0,980 | 22,37 | 4,56 | 0,018 | 1,40 | 1,11 | 0,32 | 3,29 | 0,066 | 1,05 | 0,87 | 1,15 | 91,48 | | 393 | 0,18 | 95 | 16 | 145 | 3 | 21 | 75 | 57 | 167 | | 174 | 405 | 27 | 145 | 166 |
| DTF | 22,24 | 53,40 | 0,960 | 21,55 | 5,50 | 0,013 | 1,24 | 0,53 | 0,30 | 3,13 | 0,062 | 2,03 | 0,42 | 1,27 | 90,40 | 71 | 374 | | 90 | 16 | 141 | 3 | 21 | 88 | 53 | 159 | 1,5 | 208 | 424 | 26 | 106 | 171 |
| DTF | 22,38 | 55,70 | 1,020 | 22,72 | 3,79 | 0,013 | 1,30 | 0,40 | 0,33 | 3,24 | 0,061 | 0,45 | 0,31 | 1,17 | 90,50 | | 381 | | 89 | 17 | 147 | 3 | 22 | 73 | 50 | 165 | | 193 | 427 | 31 | 115 | 187 |
| DTF | 22,53 | 56,00 | 1,000 | 21,96 | 4,04 | 0,017 | 1,47 | 0,78 | 0,38 | 3,21 | 0,058 | 0,34 | 0,61 | 1,01 | 90,88 | 22 | 360 | | 86 | 19 | 144 | 2 | 23 | 77 | 50 | 162 | 1,4 | 165 | 384 | 28 | 122 | 182 |
| DTF | 22,66 | 54,10 | 0,960 | 20,25 | 3,78 | 0,021 | 1,31 | 3,55 | 0,30 | 2,94 | 0,053 | 0,28 | 2,79 | 1,14 | 91,47 | | 335 | | 94 | 18 | 137 | 2 | 22 | 67 | 47 | 150 | | 179 | 328 | 29 | 115 | 193 |
| DTF | 22,86 | 53,40 | 0,960 | 20,42 | 3,72 | 0,031 | 1,39 | 4,33 | 0,35 | 3,03 | 0,053 | 0,11 | 3,40 | 0,76 | 91,95 | | 346 | 0,09 | 100 | 23 | 131 | 3 | 22 | 81 | 45 | 156 | | 183 | 295 | 29 | 104 | 187 |
| DTF | 22,98 | 53,30 | 0,940 | 19,88 | 3,87 | 0,024 | 1,33 | 4,14 | 0,31 | 2,90 | 0,049 | 0,35 | 3,25 | 1,13 | 91,47 | 49 | 341 | | 101 | 21 | 130 | 4 | 22 | 71 | 47 | 149 | 1,1 | 191 | 305 | 27 | 112 | 191 |
| DTF | 23,08 | 53,20 | 0,960 | 20,94 | 3,72 | 0,030 | 1,42 | 3,86 | 0,44 | 3,11 | 0,054 | 0,15 | 3,03 | 0,60 | 91,51 | 14 | 359 | | 97 | 29 | 126 | 2 | 22 | 89 | 48 | 157 | 2,1 | 181 | 300 | 27 | 108 | 178 |
| DTF | 23,17 | 53,40 | 0,970 | 20,96 | 4,11 | 0,026 | 1,38 | 3,46 | 0,30 | 3,13 | 0,053 | 0,38 | 2,72 | 0,68 | 91,56 | 45 | 347 | | 101 | 20 | 132 | 3 | 23 | 90 | 46 | 160 | 1,4 | 172 | 305 | 27 | 110 | 180 |
| DTF | 23,23 | 53,40 | 0,960 | 20,81 | 3,67 | 0,026 | 1,37 | 4,07 | 0,27 | 3,09 | 0,046 | 0,08 | 3,19 | 0,67 | 91,66 | | 338 | 0,11 | 92 | 16 | 133 | 3 | 23 | 65 | 51 | 162 | | 186 | 302 | 28 | 120 | 189 |
| DTF | 23,33 | 48,10 | 0,850 | 17,48 | 3,36 | 0,051 | 1,16 | 9,85 | 0,34 | 2,57 | 0,054 | 0,27 | 7,73 | 0,82 | 92,64 | | 306 | | 83 | 16 | 121 | 5 | 21 | 55 | 42 | 133 | | 282 | 277 | 27 | 96 | 171 |
| DTF | 23,42 | 52,40 | 0,920 | 19,41 | 3,47 | 0,032 | 1,27 | 5,95 | 0,34 | 2,85 | 0,043 | 0,12 | 4,67 | 0,80 | 92,27 | 16 | 323 | | 91 | 14 | 126 | 3 | 20 | 57 | 47 | 145 | 1,3 | 187 | 320 | 27 | 104 | 174 |
| DTF | 23,53 | 55,40 | 1,000 | 21,73 | 3,81 | 0,020 | 1,39 | 1,92 | 0,34 | 3,22 | 0,042 | 0,20 | 1,51 | 0,73 | 91,31 | | 370 | | 85 | 20 | 140 | 3 | 22 | 70 | 49 | 166 | | 162 | 367 | 28 | 115 | 182 |
| DTF | 23,77 | 53,30 | 0,950 | 21,32 | 4,59 | 0,024 | 1,69 | 0,92 | 0,32 | 3,15 | 0,049 | 1,28 | 0,72 | 0,79 | 89,10 | | 353 | | 97 | 46 | 143 | 4 | 21 | 170 | 54 | 163 | | 148 | 408 | 32 | 175 | 177 |
| BT 1 | 23,78 | 51,80 | 0,930 | 20,75 | 5,53 | 0,020 | 1,52 | 0,94 | 0,25 | 3,04 | 0,049 | 1,70 | 0,74 | 0,77 | 88,03 | 55 | 364 | 0,16 | 85 | 38 | 146 | 4 | 21 | 155 | 55 | 158 | | 130 | 411 | 30 | 155 | 176 |
| DTF | 23,85 | 47,10 | 0,820 | 18,39 | 7,71 | 0,015 | 1,23 | 0,50 | 0,25 | 2,73 | 0,049 | 3,67 | 0,39 | 1,19 | 84,04 | | 322 | | 78 | 27 | 135 | 5 | 19 | 109 | 46 | 143 | | 111 | 438 | 21 | 119 | 162 |
| DTF | 24,12 | 53,50 | 0,940 | 20,81 | 5,21 | 0,016 | 1,43 | 0,21 | 0,38 | 3,06 | 0,058 | 1,77 | 0,16 | 2,85 | 90,40 | | 348 | 0,09 | 122 | 30 | 175 | 4 | 23 | 100 | 56 | 155 | | 126 | 563 | 31 | 162 | 180 |
| DTF | 24,17 | 55,10 | 0,960 | 20,81 | 4,42 | 0,016 | 1,37 | 0,38 | 0,41 | 3,08 | 0,067 | 0,96 | 0,30 | 2,96 | 90,83 | 52 | 368 | | 114 | 18 | 164 | 4 | 22 | 63 | 52 | 158 | 2,8 | 180 | 557 | 33 | 126 | 191 |
| DTF | 24,28 | 54,20 | 0,940 | 20,73 | 5,02 | 0,016 | 1,40 | 0,41 | 0,35 | 3,11 | 0,066 | 1,41 | 0,32 | 3,00 | 90,97 | | 368 | | 112 | 18 | 166 | 3 | 21 | 72 | 55 | 156 | | 170 | 569 | 31 | 129 | 183 |
| DTF | 24,38 | 53,10 | 0,930 | 21,40 | 5,13 | 0,015 | 1,40 | 0,43 | 0,38 | 3,22 | 0,060 | 1,61 | 0,34 | 2,86 | 90,87 | | 377 | | 103 | 18 | 169 | 3 | 21 | 68 | 56 | 166 | | 176 | 632 | 30 | 122 | 178 |
| DTF | 24,48 | 46,30 | 0,810 | 17,91 | 12,84 | 0,010 | 0,98 | 0,25 | 0,29 | 2,65 | 0,049 | 7,49 | 0,20 | 2,88 | 92,65 | | 315 | | 84 | 8 | 141 | 10 | 18 | 52 | 70 | 134 | | 175 | 574 | 29 | 80 | 168 |
| DTF | 24,58 | 49,10 | 0,870 | 18,45 | 10,67 | 0,010 | 0,96 | 0,27 | 0,30 | 2,62 | 0,054 | 6,03 | 0,21 | 2,53 | 92,08 | 67 | 319 | | 93 | 9 | 141 | 6 | 20 | 45 | 56 | 138 | 4,5 | 151 | 524 | 25 | 81 | 180 |
| DTF | 24,68 | 51,20 | 0,900 | 19,97 | 8,18 | 0,017 | 1,22 | 1,03 | 0,35 | 2,85 | 0,066 | 4,44 | 0,81 | 2,18 | 93,21 | 58 | 345 | | 104 | 16 | 150 | 6 | 20 | 66 | 59 | 150 | 3,4 | 166 | 486 | 27 | 131 | 179 |
| BT 2 | 24,77 | 49,70 | 0,870 | 19,27 | 5,22 | 0,019 | 1,16 | 4,02 | 0,43 | 2,71 | 0,191 | 1,62 | 3,15 | 3,14 | 91,50 | 58 | 337 | | 123 | 16 | 157 | 3 | 19 | 58 | 39 | 142 | 3,0 | 194 | 493 | 44 | 121 | 173 |
| BT 2 | 24,83 | 48,90 | 0,860 | 18,95 | 5,27 | 0,020 | 1,12 | 4,48 | 0,37 | 2,65 | 0,318 | 1,71 | 3,52 | 3,23 | 91,39 | 58 | 334 | 0,41 | 152 | 17 | 167 | 5 | 19 | 58 | 43 | 140 | 4,1 | 228 | 520 | 56 | 134 | 172 |
| BT 2 | 24,87 | 32,10 | 0,580 | 12,76 | 13,75 | 0,022 | 0,81 | 5,18 | 0,21 | 1,73 | 0,195 | 10,43 | 4,07 | 3,82 | 85,65 | 159 | 220 | | 112 | 24 | 121 | 14 | 12 | 124 | 60 | 82 | 7,8 | 161 | 389 | 62 | 317 | 125 |
| DTF | 24,96 | 50,70 | 0,880 | 19,29 | 7,88 | 0,015 | 1,30 | 0,38 | 0,39 | 2,75 | 0,054 | 4,43 | 0,30 | 2,30 | 90,67 | 54 | 337 | | 105 | 17 | 156 | 7 | 21 | 77 | 46 | 144 | 3,2 | 160 | 531 | 28 | 134 | 177 |
| DTF | 25,08 | 51,90 | 0,900 | 20,55 | 6,66 | 0,013 | 1,26 | 0,20 | 0,41 | 2,96 | 0,055 | 3,10 | 0,16 | 2,48 | 90,64 | 44 | 343 | | 94 | 12 | 160 | 4 | 21 | 54 | 47 | 157 | 2,8 | 150 | 566 | 25 | 109 | 171 |
| DTF | 25,17 | 53,10 | 0,940 | 21,40 | 5,05 | 0,012 | 1,32 | 0,33 | 0,49 | 3,07 | 0,056 | 1,75 | 0,26 | 2,65 | 90,43 | | 374 | | 87 | 12 | 169 | 3 | 20 | 49 | 42 | 165 | | 180 | 581 | 27 | 103 | 172 |
| DTF | 25,22 | 53,00 | 0,920 | 20,96 | 6,00 | 0,012 | 1,22 | 0,15 | 0,35 | 2,99 | 0,056 | 2,56 | 0,12 | 2,75 | 91,09 | | 364 | 0,17 | 101 | 16 | 165 | 4 | 22 | 53 | 48 | 160 | | 136 | 568 | 27 | 113 | 174 |
| BT 3 | 25,31 | 50,80 | 0,870 | 20,23 | 6,17 | 0,013 | 1,24 | 0,19 | 0,36 | 2,80 | 0,077 | 2,49 | 0,15 | 3,07 | 88,45 | 36 | 349 | | 113 | 14 | 163 | 4 | 20 | 68 | 44 | 153 | 3,7 | 174 | 612 | 30 | 117 | 171 |
| BT3 | 25,40 | 30,50 | 0,530 | 12,64 | 12,45 | 0,037 | 0,79 | 7,71 | 0,42 | 1,66 | 0,518 | 7,63 | 6,05 | 5,01 | 85,95 | 155 | 204 | | 173 | 20 | 112 | 35 | 10 | 120 | 91 | 81 | 15,4 | 241 | 505 | 84 | 148 | 122 |
| DTF | 25,50 | 53,60 | 0,940 | 20,53 | 5,42 | 0,014 | 1,31 | 0,35 | 0,42 | 2,81 | 0,055 | 1,78 | 0,27 | 2,15 | 89,65 | 32 | 343 | | 96 | 17 | 149 | 2 | 22 | 68 | 37 | 147 | 1,9 | 155 | 522 | 25 | 132 | 173 |
| DTF | 25,59 | 55,40 | 0,980 | 21,39 | 5,17 | 0,013 | 1,35 | 0,28 | 0,48 | 3,00 | 0,052 | 1,50 | 0,22 | 1,62 | 91,45 | | 355 | | 97 | 14 | 146 | 1 | 23 | 53 | 45 | 161 | | 146 | 449 | 26 | 124 | 184 |
| DTF | 25,69 | 54,10 | 0,950 | 21,14 | 5,59 | 0,014 | 1,25 | 0,38 | 0,48 | 2,86 | 0,056 | 1,84 | 0,30 | 2,12 | 91,07 | | 345 | | 101 | 13 | 151 | 2 | 21 | 49 | 38 | 160 | | 168 | 437 | 28 | 119 | 186 |
| DTF | 25,80 | 55,20 | 0,950 | 21,40 | 5,20 | 0,013 | 1,30 | 0,31 | 0,49 | 2,86 | 0,052 | 1,45 | 0,24 | 1,66 | 91,12 | 42 | 326 | | 98 | 15 | 148 | 2 | 22 | 53 | 45 | 161 | 1,8 | 160 | 419 | 27 | 120 | 190 |
| DTF | 25,90 | 52,90 | 0,900 | 20,06 | 6,46 | 0,016 | 1,19 | 1,71 | 0,40 | 2,72 | 0,057 | 2,62 | 1,34 | 1,61 | 91,98 | | 320 | 0,13 | 99 | 15 | 141 | 3 | 21 | 53 | 43 | 149 | | 179 | 377 | 27 | 113 | 182 |
| DTF | 25,94 | 53,10 | 0,900 | 20,12 | 5,61 | 0,015 | 1,25 | 2,16 | 0,52 | 2,77 | 0,068 | 1,84 | 1,70 | 1,59 | 91,64 | | 326 | | 96 | 18 | 138 | 3 | 21 | 53 | 43 | 155 | | 191 | 377 | 31 | 116 | 185 |
| DTF | 26,15 | 51,40 | 0,870 | 20,13 | 6,97 | 0,017 | 1,22 | 1,74 | 0,41 | 2,76 | 0,051 | 2,93 | 1,37 | 1,98 | 91,84 | | 340 | 0,06 | 93 | 13 | 147 | 5 | 20 | 55 | 45 | 159 | | 172 | 390 | 27 | 111 | 176 |
| DTF | 26,25 | 50,60 | 0,870 | 20,01 | 7,10 | 0,020 | 1,21 | 2,40 | 0,48 | 2,69 | 0,055 | 2,90 | 1,88 | 1,68 | 91,89 | | 294 | | 92 | 17 | 143 | 5 | 20 | 56 | 42 | 159 | | 176 | 379 | 29 | 113 | 177 |
| DTF | 26,34 | 50,30 | 0,860 | 19,92 | 7,95 | 0,016 | 1,12 | 1,45 | 0,43 | 2,68 | 0,063 | 3,54 | 1,14 | 1,54 | 91,01 | 38 | 305 | 0,05 | 76 | 13 | 140 | 5 | 19 | 52 | 44 | 157 | 1,8 | 161 | 356 | 24 | 104 | 178 |
| DTF | 26,51 | 48,20 | 0,810 | 19,34 | 5,59 | 0,024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A1.1. Hoheneggelsen KB 40-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Strat. Einheit | Teufe [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | As | Ba | Cd | Ce | Co | Cr | Mo | Nb | Ni | Pb | Rb | Se | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|------|-----|----|-----|----|----|-----|----|-----|------|-----|-----|----|-----|-----|
| DTF | 26,78 | 43,80 | 0,760 | 16,99 | 4,93 | 0,040 | 1,10 | 10,46 | 0,40 | 2,41 | 0,326 | 1,77 | 8,21 | 2,04 | 93,23 | 27 | 297 | 0,12 | 106 | 11 | 131 | 4 | 16 | 43 | 30 | 136 | 2,5 | 302 | 312 | 38 | 86 | 143 |
| BT 4 | 26,90 | 47,40 | 0,810 | 18,42 | 5,28 | 0,020 | 1,10 | 6,89 | 0,52 | 2,58 | 0,069 | 1,69 | 5,41 | 1,93 | 92,11 | 23 | 298 | | 89 | 11 | 151 | 5 | 17 | 48 | 34 | 147 | 2,0 | 271 | 368 | 28 | 98 | 152 |
| BT 4 | 27,11 | 47,30 | 0,800 | 19,25 | 5,56 | 0,019 | 1,17 | 5,19 | 0,47 | 2,65 | 0,057 | 1,71 | 4,07 | 2,54 | 90,78 | 43 | 322 | | 94 | 16 | 163 | 4 | 18 | 65 | 41 | 154 | 3,5 | 204 | 435 | 27 | 109 | 151 |
| DTF | 27,18 | 46,60 | 0,790 | 18,41 | 7,53 | 0,025 | 1,08 | 5,51 | 0,43 | 2,51 | 0,060 | 3,22 | 4,32 | 1,82 | 92,31 | | 283 | 0,05 | 85 | 10 | 141 | 5 | 18 | 49 | 40 | 148 | | 211 | 381 | 28 | 101 | 165 |
| DTF | 27,29 | 50,80 | 0,850 | 20,09 | 4,53 | 0,016 | 1,24 | 4,50 | 0,51 | 2,73 | 0,055 | 0,98 | 3,53 | 1,39 | 91,22 | 18 | 311 | 0,05 | 77 | 13 | 138 | 2 | 20 | 55 | 44 | 154 | 1,6 | 197 | 384 | 26 | 106 | 169 |
| DTF | 27,39 | 52,20 | 0,900 | 20,09 | 4,31 | 0,018 | 1,24 | 3,88 | 0,48 | 2,80 | 0,059 | 0,88 | 3,05 | 1,54 | 91,44 | 35 | 315 | | 86 | 17 | 146 | 1 | 21 | 53 | 43 | 151 | 1,7 | 194 | 371 | 24 | 100 | 162 |
| DTF | 27,53 | 51,90 | 0,880 | 19,65 | 4,40 | 0,016 | 1,23 | 3,78 | 0,52 | 2,75 | 0,059 | 0,88 | 2,97 | 2,12 | 91,15 | 29 | 327 | 0,05 | 94 | 14 | 158 | 2 | 19 | 57 | 41 | 154 | 2,1 | 225 | 392 | 29 | 106 | 172 |
| DTF | 27,63 | 54,70 | 0,920 | 20,73 | 5,10 | 0,014 | 1,30 | 1,27 | 0,54 | 2,90 | 0,050 | 1,21 | 1,00 | 1,40 | 91,13 | 16 | 322 | | 91 | 15 | 146 | 2 | 22 | 52 | 43 | 165 | 1,7 | 175 | 379 | 27 | 106 | 194 |
| DTF | 27,73 | 54,30 | 0,910 | 20,85 | 4,31 | 0,014 | 1,31 | 2,04 | 0,55 | 2,99 | 0,049 | 0,63 | 1,60 | 1,46 | 91,01 | 24 | 328 | 0,17 | 107 | 15 | 149 | 2 | 22 | 50 | 41 | 167 | 1,2 | 171 | 387 | 26 | 111 | 181 |
| DTF | 27,90 | 51,00 | 0,860 | 19,90 | 7,47 | 0,021 | 1,18 | 2,38 | 0,41 | 2,76 | 0,054 | 3,57 | 1,87 | 1,32 | 92,79 | | 322 | | 98 | 13 | 137 | 4 | 20 | 49 | 47 | 157 | | 171 | 380 | 26 | 108 | 183 |
| DTF | 27,96 | 47,60 | 0,820 | 18,59 | 7,39 | 0,024 | 1,19 | 4,81 | 0,50 | 2,63 | 0,185 | 3,56 | 3,77 | 1,72 | 92,79 | 32 | 305 | | 98 | 12 | 141 | 3 | 19 | 53 | 43 | 149 | 2,6 | 215 | 358 | 30 | 130 | 169 |
| DTF | 28,10 | 49,90 | 0,860 | 19,56 | 6,51 | 0,023 | 1,24 | 3,46 | 0,50 | 2,73 | 0,092 | 2,59 | 2,72 | 1,71 | 91,89 | 29 | 320 | | 90 | 16 | 148 | 3 | 20 | 52 | 43 | 158 | 2,7 | 199 | 373 | 28 | 131 | 176 |
| DTF | 28,17 | 50,20 | 0,870 | 20,28 | 4,71 | 0,019 | 1,23 | 2,87 | 0,44 | 2,84 | 0,068 | 1,47 | 2,25 | 3,31 | 90,56 | | 353 | 0,36 | 97 | 21 | 155 | 3 | 19 | 82 | 51 | 154 | | 169 | 404 | 28 | 147 | 163 |
| DTF | 28,29 | 49,50 | 0,850 | 19,27 | 4,19 | 0,020 | 1,19 | 5,26 | 0,51 | 2,70 | 0,068 | 1,05 | 4,13 | 2,47 | 91,21 | 47 | 319 | | 103 | 17 | 147 | 4 | 19 | 57 | 42 | 144 | 3,6 | 200 | 390 | 30 | 108 | 170 |
| DTF | 28,39 | 52,60 | 0,910 | 20,14 | 4,47 | 0,021 | 1,29 | 2,53 | 0,51 | 2,85 | 0,067 | 1,11 | 1,99 | 2,61 | 91,09 | 23 | 335 | 0,18 | 107 | 15 | 158 | 3 | 20 | 52 | 46 | 155 | 3,9 | 190 | 404 | 30 | 124 | 185 |
| DTF | 28,49 | 54,30 | 0,960 | 21,29 | 4,28 | 0,015 | 1,31 | 0,49 | 0,52 | 3,07 | 0,060 | 0,98 | 0,38 | 2,89 | 90,54 | 47 | 358 | | 86 | 17 | 167 | 2 | 22 | 57 | 41 | 165 | 3,6 | 199 | 465 | 26 | 124 | 179 |
| BT 5 | 28,60 | 33,30 | 0,590 | 13,95 | 10,43 | 0,042 | 0,95 | 9,71 | 0,32 | 1,99 | 0,098 | 6,20 | 7,62 | 5,38 | 90,58 | 101 | 270 | 2,41 | 84 | 26 | 140 | 20 | 12 | 124 | 64 | 94 | 18,9 | 225 | 638 | 56 | 119 | 128 |
| BT 5 | 28,71 | 26,20 | 0,470 | 10,79 | 6,27 | 0,089 | 0,81 | 20,83 | 0,34 | 1,52 | 0,189 | 3,67 | 16,35 | 4,94 | 92,46 | 63 | 204 | | 84 | 13 | 104 | 23 | 10 | 99 | 64 | 71 | 16,0 | 409 | 576 | 64 | 79 | 105 |
| DTF | 28,81 | 45,80 | 0,800 | 17,88 | 10,09 | 0,014 | 1,03 | 0,33 | 0,49 | 2,55 | 0,055 | 5,73 | 0,26 | 4,20 | 89,22 | 37 | 292 | 0,35 | 72 | 9 | 149 | 14 | 20 | 49 | 63 | 133 | 9,3 | 180 | 519 | 22 | 94 | 174 |
| DTF | 28,89 | 53,00 | 0,910 | 20,60 | 4,66 | 0,013 | 1,25 | 0,35 | 0,44 | 2,89 | 0,066 | 1,40 | 0,27 | 3,80 | 89,65 | 47 | 340 | | 103 | 16 | 169 | 2 | 20 | 60 | 43 | 153 | 3,5 | 149 | 474 | 28 | 122 | 180 |
| DTF | 28,97 | 49,30 | 0,860 | 19,70 | 7,06 | 0,013 | 1,12 | 0,21 | 0,51 | 2,92 | 0,060 | 3,18 | 0,16 | 4,45 | 89,55 | 92 | 356 | | 93 | 14 | 151 | 6 | 19 | 51 | 60 | 150 | 8,3 | 237 | 428 | 22 | 93 | 161 |
| DTF | 29,10 | 46,70 | 0,830 | 19,23 | 7,43 | 0,014 | 1,27 | 0,31 | 0,51 | 2,72 | 0,067 | 3,78 | 0,24 | 4,48 | 87,58 | 63 | 328 | 0,35 | 104 | 19 | 161 | 6 | 19 | 86 | 53 | 142 | 9,6 | 190 | 481 | 23 | 133 | 149 |
| DTF | 29,14 | 48,80 | 0,870 | 19,70 | 6,05 | 0,013 | 1,13 | 0,19 | 0,36 | 2,68 | 0,068 | 2,76 | 0,15 | 4,46 | 87,33 | 64 | 344 | 0,57 | 95 | 15 | 166 | 6 | 20 | 74 | 51 | 149 | 6,9 | 166 | 535 | 29 | 136 | 174 |
| BT 6 | 29,25 | 38,50 | 0,690 | 15,70 | 9,98 | 0,018 | 0,91 | 3,84 | 0,43 | 2,11 | 0,075 | 6,21 | 3,01 | 5,49 | 86,97 | 48 | 269 | | 84 | 16 | 143 | 16 | 17 | 81 | 83 | 105 | 15,6 | 181 | 528 | 32 | 106 | 146 |
| DTF | 29,35 | 51,60 | 0,890 | 19,64 | 6,48 | 0,014 | 1,17 | 0,74 | 0,50 | 2,74 | 0,063 | 2,63 | 0,58 | 2,30 | 89,35 | 46 | 304 | 1,13 | 92 | 16 | 164 | 4 | 21 | 58 | 35 | 148 | 2,6 | 168 | 461 | 23 | 143 | 186 |
| DTF | 29,45 | 54,50 | 0,950 | 20,87 | 4,65 | 0,014 | 1,31 | 0,49 | 0,47 | 2,99 | 0,072 | 1,01 | 0,38 | 2,27 | 89,98 | 24 | 347 | | 99 | 15 | 153 | 1 | 21 | 57 | 39 | 159 | 2,6 | 158 | 441 | 29 | 127 | 184 |
| DTF | 29,55 | 54,60 | 0,970 | 21,24 | 4,47 | 0,014 | 1,26 | 0,40 | 0,50 | 3,07 | 0,146 | 0,81 | 0,31 | 2,68 | 90,47 | 38 | 366 | 0,14 | 110 | 15 | 163 | 3 | 22 | 47 | 47 | 163 | 3,2 | 158 | 466 | 37 | 114 | 181 |
| DTF | 29,65 | 54,10 | 0,960 | 20,74 | 5,33 | 0,013 | 1,24 | 0,31 | 0,53 | 2,96 | 0,071 | 1,60 | 0,24 | 2,35 | 90,44 | 53 | 338 | | 88 | 13 | 162 | 2 | 23 | 56 | 50 | 157 | 3,4 | 173 | 491 | 29 | 114 | 189 |
| DTF | 29,75 | 54,10 | 0,940 | 20,80 | 4,77 | 0,015 | 1,26 | 0,23 | 0,52 | 2,89 | 0,081 | 1,14 | 0,18 | 3,26 | 90,19 | 37 | 329 | 0,11 | 97 | 18 | 160 | 4 | 22 | 63 | 47 | 157 | 3,0 | 180 | 492 | 32 | 125 | 197 |
| DTF | 29,85 | 55,30 | 0,950 | 20,94 | 4,31 | 0,015 | 1,27 | 0,57 | 0,50 | 2,94 | 0,244 | 0,74 | 0,45 | 2,67 | 90,89 | | 336 | | 115 | 13 | 166 | 4 | 21 | 51 | 40 | 157 | | 228 | 457 | 45 | 128 | 194 |
| DTF | 29,95 | 54,80 | 0,950 | 21,00 | 3,94 | 0,016 | 1,35 | 1,01 | 0,57 | 3,01 | 0,429 | 0,55 | 0,79 | 2,35 | 90,76 | 14 | 370 | | 137 | 12 | 157 | 3 | 21 | 47 | 40 | 160 | 2,4 | 249 | 436 | 52 | 114 | 190 |
| DTF | 30,10 | 51,30 | 0,890 | 19,91 | 6,92 | 0,016 | 1,25 | 0,69 | 0,54 | 2,83 | 0,073 | 3,15 | 0,54 | 2,24 | 90,35 | 58 | 350 | 0,13 | 98 | 20 | 148 | 4 | 22 | 69 | 45 | 153 | 2,3 | 152 | 419 | 27 | 115 | 183 |
| DTF | 30,17 | 48,10 | 0,830 | 18,57 | 10,50 | 0,016 | 1,24 | 0,47 | 0,66 | 2,64 | 0,054 | 6,53 | 0,37 | 2,25 | 92,23 | | 306 | 0,16 | 80 | 14 | 145 | 7 | 19 | 59 | 50 | 144 | | 185 | 387 | 32 | 120 | 174 |
| DTF | 30,25 | 53,60 | 0,920 | 20,88 | 5,10 | 0,015 | 1,31 | 0,39 | 0,54 | 2,92 | 0,060 | 1,49 | 0,31 | 2,55 | 90,08 | 26 | 345 | | 95 | 16 | 166 | 4 | 22 | 65 | 45 | 159 | 3,0 | 159 | 451 | 28 | 134 | 183 |
| BT 7 | 30,36 | 49,70 | 0,830 | 19,85 | 6,15 | 0,014 | 1,10 | 0,52 | 0,50 | 2,76 | 0,063 | 2,27 | 0,41 | 4,38 | 88,54 | 57 | 347 | 0,21 | 80 | 14 | 175 | 4 | 21 | 55 | 49 | 153 | 7,6 | 164 | 523 | 22 | 112 | 174 |
| BT7 | 30,43 | 51,20 | 0,870 | 20,18 | 4,83 | 0,016 | 1,38 | 0,95 | 0,71 | 2,90 | 0,072 | 1,66 | 0,75 | 4,01 | 89,52 | 36 | 338 | | 102 | 22 | 168 | 5 | 21 | 73 | 40 | 156 | 4,4 | 156 | 605 | 32 | 143 | 182 |
| BT7 | 30,53 | 31,40 | 0,560 | 12,89 | 7,26 | 0,052 | 0,92 | 13,30 | 0,46 | 1,90 | 0,119 | 4,71 | 10,44 | 6,40 | 90,41 | 66 | 264 | 6,76 | 95 | 13 | 125 | 32 | 12 | 99 | 68 | 88 | 14,0 | 315 | 659 | 53 | 121 | 125 |
| BT7 | 30,65 | 49,40 | 0,860 | 19,77 | 5,71 | 0,017 | 1,19 | 0,22 | 0,47 | 2,80 | 0,064 | 2,49 | 0,17 | 5,28 | 88,44 | 50 | 344 | | 102 | 17 | 171 | 4 | 21 | 68 | 46 | 149 | 7,5 | 155 | 761 | 25 | 130 | 176 |
| DTF | 30,76 | 47,50 | 0,840 | 19,54 | 6,32 | 0,010 | 1,04 | 0,35 | 0,50 | 2,68 | 0,057 | 2,85 | 0,27 | 5,93 | 87,89 | 50 | 337 | 0,35 | 91 | 15 | 169 | 10 | 19 | 64 | 67 | 146 | 12,7 | 176 | 575 | 26 | 101 | 173 |
| DTF | 30,86 | 49,70 | 0,860 | 19,84 | 6,51 | 0,014 | 1,11 | 0,22 | 0,45 | 2,63 | 0,055 | 3,00 | 0,17 | 4,55 | 89,11 | 42 | 319 | | 93 | 15 | 171 | 7 | 21 | 71 | 53 | 150 | 7,8 | 156 | 499 | 27 | 114 | 182 |
| DTF | 30,93 | 51,70 | 0,870 | 20,21 | 4,42 | 0,014 | 1,21 | 0,62 | 0,68 | 2,73 | 0,068 | 1,43 | 0,49 | 3,71 | 88,14 | 20 | 321 | | 115 | 18 | 163 | 3 | 20 | 59 | 41 | 152 | 4,6 | 190 | 465 | 31 | 130 | 183 |

A1.2. Hoheneggelsen KB40-HCl-löslicher Fe-Anteil [%], $\delta^{34}\text{S}$ -Werte [‰ vs. V-CDT]

| Strat.-Einheit | Teufe [m] | Fe |
|----------------|-----------|------|
| Hedb.-Mer. | 18,55 | 3,39 |
| Top FS | 19,60 | 3,17 |
| FS | 19,70 | 1,60 |
| FS | 19,85 | 1,42 |
| FS | 19,95 | 1,28 |
| FS | 20,15 | 1,13 |
| FS | 20,25 | 1,03 |
| FS | 20,35 | 0,97 |
| FS | 20,45 | 1,07 |
| FS | 20,60 | 5,39 |
| FS | 20,70 | 1,07 |
| FS | 20,85 | 1,02 |
| FS | 21,00 | 1,11 |
| FS | 21,10 | 1,01 |
| FS | 21,13 | 1,02 |
| FS | 21,20 | 1,33 |
| FS | 21,30 | 1,05 |
| FS | 21,40 | 1,00 |
| FS | 21,50 | 1,05 |
| DTF | 21,58 | 0,83 |
| DTF | 21,69 | 0,91 |
| DTF | 21,96 | 1,06 |
| DTF | 22,38 | 0,55 |
| DTF | 22,66 | 0,48 |
| DTF | 23,08 | 0,56 |
| DTF | 23,23 | 0,38 |
| DTF | 23,33 | 0,51 |
| DTF | 23,53 | 0,47 |
| DTF | 23,77 | 0,68 |
| DTF | 24,12 | 0,60 |
| DTF | 24,17 | 0,55 |
| DTF | 24,38 | 0,61 |
| DTF | 24,58 | 0,97 |
| BT 2 | 24,77 | 0,75 |
| DTF | 24,96 | 0,93 |
| DTF | 25,17 | 0,65 |
| DTF | 25,22 | 0,64 |
| BT3 | 25,40 | 3,83 |
| DTF | 25,59 | 0,46 |
| DTF | 25,80 | 0,47 |
| DTF | 26,15 | 0,54 |
| DTF | 26,52 | 0,64 |
| DTF | 26,60 | 0,51 |
| DTF | 26,70 | 0,74 |
| BT 4 | 27,11 | 0,67 |
| DTF | 27,18 | 0,61 |
| DTF | 27,39 | 0,48 |
| DTF | 27,63 | 0,40 |
| DTF | 27,96 | 0,57 |
| DTF | 28,17 | 0,72 |
| DTF | 28,29 | 0,59 |
| DTF | 28,49 | 0,57 |
| BT 5 | 28,71 | 1,65 |
| DTF | 29,10 | 1,84 |
| DTF | 29,14 | 1,66 |
| BT 6 | 29,25 | 2,88 |
| DTF | 29,45 | 0,66 |
| DTF | 29,65 | 0,62 |
| DTF | 30,17 | 1,08 |
| DTF | 30,25 | 0,73 |
| BT7 | 30,43 | 0,73 |
| BT8 | 30,65 | 1,15 |
| DTF | 30,93 | 0,93 |

| Strat.-Einheit | Teufe [m] | $\delta^{34}\text{S}$ |
|----------------|-----------|-----------------------|
| Hedb.-Mer. | 5,05 | -41,5 |
| Hedb.-Mer. | 5,45 | -39,9 |
| Hedb.-Mer. | 6,60 | -22,8 |
| Hedb.-Mer. | 7,20 | -40,1 |
| Hedb.-Mer. | 17,55 | -35,8 |
| Hedb.-Mer. | 18,50 | -38,5 |
| Hedb.-Mer. | 18,55 | -31,7 |
| Top FS | 19,60 | -45,4 |
| Top FS | 19,63 | -42,6 |
| FS | 19,70 | -39,2 |
| FS | 19,75 | -35,4 |
| FS | 19,80 | -29,7 |
| FS | 20,05 | -33,1 |
| FS | 20,35 | -14,3 |
| FS | 20,40 | -34,8 |
| FS | 20,50 | -36,8 |
| FS | 20,60 | -21,9 |
| FS | 21,05 | -34,0 |
| FS | 21,15 | -33,4 |
| FS | 21,25 | -34,9 |
| FS | 21,35 | -31,8 |
| FS | 21,50 | -40,2 |
| Basis FS | 21,54 | -43,3 |
| DTF | 21,58 | -34,1 |
| DTF | 22,53 | -40,3 |
| DTF | 22,66 | -37,0 |
| DTF | 23,33 | -37,8 |
| BT1 | 23,78 | -11,1 |
| DTF | 24,38 | -7,1 |
| BT2 | 24,87 | -30,8 |
| BT3 | 25,40 | -25,9 |
| DTF | 26,51 | 3,6 |
| BT4 | 27,11 | -28,0 |
| DTF | 27,63 | 8,9 |
| DTF | 27,96 | 18,5 |
| DTF | 28,17 | -20,2 |
| DTF | 28,39 | -6,4 |
| BT5 | 28,60 | -38,5 |
| DTF | 29,45 | -15,0 |
| DTF | 29,75 | -22,1 |
| BT7 | 30,53 | -40,8 |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KilII/94 | Teufe Kil&KilII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|------|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 132.27-39 | 224,39 | 35,02 | 0,537 | 13,49 | 4,45 | 0,376 | 1,58 | 20,10 | 0,96 | 2,17 | 0,056 | 0,05 | 16,10 | 0,30 | 95,19 | 226 | 59 | 14 | 65 | 14 | 79 | 23 | 118 | 627 | 9 | 105 | 21 | 88 | 87 |
| 132.78-88 | 224,88 | 32,15 | 0,492 | 12,43 | 4,07 | 0,409 | 1,53 | 22,64 | 0,88 | 2,03 | 0,057 | 0,03 | 18,06 | 0,31 | 95,09 | 204 | 50 | 12 | 61 | 16 | 67 | 21 | 105 | 657 | 6 | 99 | 19 | 71 | 75 |
| 133.25-40 | 225,40 | 38,34 | 0,592 | 14,41 | 4,59 | 0,285 | 1,60 | 17,40 | 0,98 | 2,38 | 0,057 | 0,07 | 14,08 | 0,34 | 95,13 | 235 | 70 | 21 | 72 | 14 | 110 | 26 | 133 | 604 | 11 | 115 | 20 | 100 | 98 |
| 133.78-93 | 225,93 | 33,77 | 0,526 | 13,06 | 4,08 | 0,323 | 1,49 | 21,44 | 0,92 | 2,07 | 0,051 | 0,05 | 16,95 | 0,34 | 95,08 | 199 | 52 | 22 | 63 | 12 | 94 | 20 | 108 | 702 | 8 | 101 | 21 | 86 | 79 |
| 134.14-26 | 226,26 | 28,65 | 0,442 | 11,13 | 3,75 | 0,492 | 1,41 | 25,95 | 0,80 | 1,73 | 0,044 | 0,05 | 21,10 | 0,28 | 95,83 | 188 | 52 | 18 | 54 | 11 | 105 | 22 | 79 | 730 | 6 | 91 | 24 | 91 | 73 |
| 134.74-84 | 226,84 | 35,47 | 0,552 | 13,32 | 4,26 | 0,306 | 1,55 | 20,11 | 0,92 | 2,17 | 0,051 | 0,01 | 16,14 | 0,31 | 95,17 | 220 | 64 | 18 | 65 | 12 | 87 | 25 | 117 | 602 | 8 | 103 | 18 | 92 | 91 |
| 135.09-21 | 227,21 | 37,85 | 0,595 | 14,80 | 4,58 | 0,236 | 1,62 | 17,36 | 1,04 | 2,34 | 0,049 | 0,15 | 13,81 | 0,37 | 94,80 | 229 | 67 | 24 | 77 | 14 | 101 | 22 | 127 | 588 | 7 | 120 | 18 | 92 | 91 |
| 135.72-87 | 227,87 | 33,34 | 0,520 | 13,09 | 4,25 | 0,345 | 1,56 | 21,44 | 0,94 | 2,08 | 0,054 | 0,08 | 17,35 | 0,34 | 95,39 | 203 | 62 | 16 | 68 | 14 | 72 | 21 | 108 | 664 | 7 | 104 | 20 | 83 | 83 |
| 136.10-24 | 228,24 | 32,76 | 0,513 | 12,58 | 4,29 | 0,376 | 1,50 | 22,14 | 0,87 | 2,02 | 0,047 | 0,10 | 17,92 | 0,33 | 95,44 | 223 | 58 | 16 | 63 | 14 | 72 | 20 | 112 | 589 | 8 | 103 | 21 | 82 | 85 |
| 136.70-80 | 228,80 | 36,69 | 0,582 | 14,36 | 4,41 | 0,242 | 1,60 | 18,37 | 0,99 | 2,27 | 0,056 | 0,13 | 14,55 | 0,40 | 94,65 | 224 | 72 | 22 | 73 | 14 | 86 | 22 | 122 | 585 | 10 | 111 | 22 | 87 | 102 |
| 137.10-25 | 229,25 | 37,93 | 0,592 | 14,47 | 5,35 | 0,298 | 1,71 | 17,09 | 0,96 | 2,38 | 0,048 | 0,04 | 13,74 | 0,33 | 94,94 | 238 | 54 | 19 | 71 | 15 | 93 | 24 | 129 | 548 | 8 | 114 | 19 | 89 | 96 |
| 137.78-90 | 229,90 | 37,66 | 0,593 | 14,48 | 5,13 | 0,346 | 1,70 | 17,28 | 0,98 | 2,34 | 0,051 | 0,03 | 13,72 | 0,36 | 94,68 | 251 | 62 | 20 | 73 | 15 | 92 | 22 | 128 | 556 | 10 | 113 | 19 | 88 | 96 |
| 138.10-23 | 230,23 | 38,96 | 0,619 | 15,29 | 4,43 | 0,215 | 1,65 | 16,35 | 1,00 | 2,40 | 0,046 | 0,05 | 12,88 | 0,36 | 94,25 | 252 | 74 | 26 | 79 | 16 | 93 | 27 | 131 | 548 | 10 | 121 | 19 | 104 | 98 |
| 138.70-80 | 230,80 | 31,84 | 0,492 | 12,58 | 4,41 | 0,397 | 1,56 | 22,71 | 0,90 | 1,97 | 0,047 | 0,03 | 17,94 | 0,33 | 95,20 | 193 | 46 | 15 | 63 | 14 | 75 | 20 | 106 | 605 | 7 | 99 | 20 | 82 | 87 |
| 139.19-37 | 231,37 | 37,44 | 0,588 | 14,83 | 4,83 | 0,300 | 1,69 | 17,29 | 1,00 | 2,35 | 0,077 | 0,05 | 13,80 | 0,33 | 94,57 | 238 | 72 | 23 | 76 | 17 | 112 | 24 | 121 | 539 | 11 | 118 | 23 | 100 | 110 |
| 139.84-97 | 231,97 | 33,62 | 0,520 | 12,92 | 5,02 | 0,395 | 1,69 | 20,56 | 0,89 | 2,18 | 0,059 | 0,04 | 16,62 | 0,30 | 94,81 | 1591 | 40 | 14 | 69 | 15 | 69 | 19 | 116 | 519 | 10 | 105 | 21 | 72 | 92 |
| 140.12-28 | 232,28 | 37,88 | 0,602 | 14,42 | 4,22 | 0,209 | 1,62 | 17,63 | 0,87 | 2,51 | 0,059 | 0,03 | 14,18 | 0,38 | 94,61 | 253 | 55 | 17 | 76 | 13 | 92 | 26 | 131 | 510 | 9 | 126 | 21 | 91 | 105 |
| 140.64-74 | 232,74 | 36,36 | 0,577 | 14,34 | 4,39 | 0,335 | 1,59 | 18,25 | 0,92 | 2,29 | 0,104 | 0,12 | 14,58 | 0,50 | 94,35 | 227 | 71 | 30 | 73 | 13 | 115 | 25 | 119 | 556 | 9 | 118 | 23 | 113 | 97 |
| 141.17-34 | 233,34 | 36,76 | 0,567 | 14,28 | 4,80 | 0,258 | 1,63 | 17,96 | 0,97 | 2,24 | 0,078 | 0,09 | 13,52 | 0,59 | 93,74 | 232 | 63 | 29 | 73 | 14 | 115 | 22 | 114 | 557 | 9 | 120 | 22 | 110 | 94 |
| 141.76-90 | 233,90 | 34,18 | 0,533 | 13,41 | 4,42 | 0,335 | 1,52 | 20,67 | 0,92 | 2,11 | 0,063 | 0,03 | 16,51 | 0,37 | 95,07 | 219 | 57 | 30 | 67 | 14 | 106 | 25 | 114 | 624 | 7 | 112 | 22 | 103 | 84 |
| 142.10-32 | 234,32 | 29,43 | 0,462 | 11,57 | 4,03 | 0,461 | 1,40 | 24,56 | 0,83 | 1,87 | 0,059 | 0,04 | 20,08 | 0,26 | 95,06 | 205 | 53 | 14 | 65 | 15 | 80 | 17 | 93 | 598 | 8 | 94 | 22 | 59 | 71 |
| 142.65-80 | 234,80 | 31,68 | 0,496 | 12,69 | 4,25 | 0,397 | 1,45 | 22,54 | 0,86 | 1,98 | 0,088 | 0,06 | 18,03 | 0,35 | 94,87 | 216 | 62 | 16 | 64 | 14 | 81 | 23 | 100 | 600 | 10 | 110 | 25 | 101 | 77 |
| 143.21-37 | 235,37 | 33,19 | 0,514 | 13,03 | 5,11 | 0,431 | 1,56 | 20,64 | 0,85 | 2,17 | 0,059 | 0,04 | 17,22 | 0,26 | 95,08 | 217 | 59 | 17 | 68 | 9 | 81 | 20 | 102 | 530 | 9 | 118 | 23 | 72 | 81 |
| 143.80-93 | 235,93 | 41,28 | 0,664 | 15,84 | 4,25 | 0,158 | 1,54 | 14,67 | 0,95 | 2,69 | 0,058 | 0,10 | 11,63 | 0,42 | 94,25 | 293 | 70 | 19 | 84 | 15 | 136 | 27 | 137 | 466 | 10 | 157 | 23 | 86 | 110 |
| 144.14-27 | 236,27 | 37,56 | 0,588 | 14,47 | 4,22 | 0,189 | 1,49 | 17,93 | 0,91 | 2,38 | 0,071 | 0,18 | 14,33 | 0,54 | 94,86 | 248 | 66 | 19 | 75 | 12 | 84 | 25 | 125 | 495 | 10 | 131 | 23 | 114 | 99 |
| 144.65-75 | 236,75 | 39,63 | 0,630 | 14,84 | 4,14 | 0,208 | 1,55 | 16,61 | 0,97 | 2,46 | 0,060 | 0,05 | 13,10 | 0,47 | 94,72 | 246 | 66 | 27 | 75 | 16 | 117 | 26 | 130 | 503 | 10 | 140 | 21 | 118 | 103 |
| 145.31-47 | 237,47 | 36,74 | 0,561 | 13,52 | 4,09 | 0,257 | 1,53 | 19,67 | 0,96 | 2,19 | 0,048 | 0,05 | 15,88 | 0,27 | 95,77 | 229 | 53 | 21 | 70 | 15 | 162 | 22 | 120 | 549 | 8 | 115 | 20 | 97 | 89 |
| 145.78-90 | 237,90 | 31,87 | 0,482 | 11,76 | 3,95 | 0,375 | 1,49 | 23,53 | 0,93 | 1,83 | 0,058 | 0,03 | 18,16 | 0,50 | 94,96 | 184 | 58 | 11 | 60 | 12 | 63 | 16 | 93 | 585 | 9 | 97 | 24 | 78 | 80 |
| 146.20-40 | 238,40 | 34,84 | 0,528 | 12,95 | 4,09 | 0,341 | 1,55 | 20,63 | 1,01 | 2,04 | 0,053 | 0,02 | 16,54 | 0,32 | 94,92 | 217 | 55 | 18 | 65 | 14 | 70 | 20 | 111 | 566 | 8 | 120 | 21 | 84 | 86 |
| 146.70-80 | 238,80 | 39,58 | 0,600 | 14,67 | 4,77 | 0,268 | 1,68 | 16,44 | 1,06 | 2,32 | 0,063 | 0,08 | 12,88 | 0,40 | 94,82 | 255 | 66 | 30 | 74 | 19 | 115 | 25 | 120 | 532 | 8 | 121 | 21 | 115 | 112 |
| 147.08-30 | 239,30 | 36,70 | 0,550 | 13,18 | 4,39 | 0,329 | 1,58 | 19,61 | 1,00 | 2,15 | 0,049 | 0,11 | 15,79 | 0,34 | 95,78 | 181 | 70 | 23 | 74 | 11 | 82 | 20 | 115 | 523 | 5 | 121 | 22 | 110 | 94 |
| 147.71-88 | 239,88 | 40,80 | 0,620 | 15,02 | 5,01 | 0,199 | 1,72 | 15,08 | 1,13 | 2,35 | 0,065 | 0,42 | 12,17 | 0,43 | 95,02 | 201 | 55 | 36 | 81 | 16 | 154 | 18 | 121 | 498 | 13 | 134 | 18 | 114 | 114 |
| 148.15-28 | 240,28 | 36,47 | 0,564 | 13,47 | 4,49 | 0,326 | 1,61 | 18,89 | 0,99 | 2,21 | 0,051 | 0,14 | 15,15 | 0,33 | 94,69 | 228 | 65 | 21 | 66 | 17 | 144 | 24 | 114 | 520 | 11 | 116 | 21 | 105 | 107 |
| 148.67-77 | 240,77 | 38,81 | 0,578 | 14,48 | 4,44 | 0,304 | 1,66 | 16,60 | 1,06 | 2,32 | 0,057 | 0,05 | 13,16 | 0,39 | 93,92 | 218 | 72 | 23 | 73 | 18 | 90 | 22 | 122 | 505 | 9 | 116 | 19 | 99 | 98 |
| 149.14-28 | 241,28 | 41,07 | 0,620 | 15,12 | 5,23 | 0,225 | 1,80 | 14,69 | 1,13 | 2,44 | 0,056 | 0,08 | 11,80 | 0,32 | 94,58 | 243 | 60 | 18 | 80 | 13 | 92 | 25 | 129 | 502 | 8 | 123 | 20 | 102 | 96 |
| 149.58-70 | 241,70 | 44,35 | 0,668 | 16,69 | 5,51 | 0,152 | 1,90 | 11,45 | 1,26 | 2,68 | 0,053 | 0,05 | 8,80 | 0,36 | 93,93 | 260 | 60 | 22 | 87 | 15 | 98 | 25 | 139 | 473 | 8 | 136 | 19 | 90 | 103 |
| 150.18-32 | 242,32 | 40,72 | 0,623 | 15,30 | 4,90 | 0,226 | 1,78 | 14,73 | 1,12 | 2,43 | 0,054 | 0,06 | 11,18 | 0,38 | 93,49 | 216 | 67 | 32 | 80 | 15 | 117 | 28 | 131 | 497 | 11 | 134 | 19 | 151 | 97 |
| 150.67-77 | 242,77 | 39,72 | 0,601 | 14,84 | 5,17 | 0,255 | 1,78 | 15,78 | 1,10 | 2,40 | 0,058 | 0,05 | 12,57 | 0,31 | 94,63 | 238 | 65 | 21 | 79 | 14 | 85 | 23 | 125 | 519 | 9 | 123 | 19 | 78 | 92 |
| 151.08-22 | 243,22 | 36,76 | 0,550 | 13,60 | 4,97 | 0,371 | 1,66 | 18,68 | 1,01 | 2,27 | 0,047 | 0,02 | 14,80 | 0,36 | 95,10 | 218 | 66 | 16 | 70 | 14 | 69 | 20 | 123 | 530 | 11 | 118 | 21 | 84 | 86 |
| 151.70-85 | 243,85 | 37,22 | 0,573 | 14,04 | 4,40 | 0,333 | 1,58 | 18,42 | 0,99 | 2,24 | 0,054 | 0,07 | 14,89 | 0,30 | 95,12 | 230 | 64 | 18 | 74 | 14 | 78 | 22 | 123 | 525 | 8 | 124 | 21 | 96 | 92 |
| 152.25-36 | 244,36 | 37,54 | 0,565 | 13,91 | 4,68 | 0,369 | 1,62 | 18,31 | 1,02 | 2,20 | 0,058 | 0,09 | 14,03 | 0,43 | 94,82 | 230 | 59 | 20 | 74 | 13 | 83 | 23 | 117 | 557 | 12 | 119 | 21 | 100 | 92 |
| 152.77-87 | 244,87 | 32,69 | 0,505 | 12,47 | 3,95 | 0,479 | 1,51 | 22,51 | 0,93 | 1,90 | 0,052 | 0,04 | 18,06 | 0,38 | 95,38 | 199 | 64 | 17 | 62 | 13 | 63 | 18 | 96 | 553 | 8 | 110 | 23 | 85 | 78 |
| 153.06-23 | 245,23 | 36,24 | 0,555 | 13,76 | 4,30 | 0,265 | 1,59 | 18,97 | 1,05 | 2,09 | 0,051 | 0,05 | 14,74 | 0,42 | 94,08 | 216 | 71 | 22 | 71 | 13 | 142 | 20 | 115 | 555 | 10 | 116 | 19 | 104 | 82 |
| 153.74-87 | 245,87 | 33,93 | 0,517 | 13,02 | 4,25 | 0,325 | 1,55 | 21,36 | 0,99 | 1,97 | 0,050 | 0,05 | 16,85 | 0,29 | 95,16 | 217 | 60 | 20 | 65 | 13 | 106 | 19 | 102 | 596 | 9 | 107 | 23 | 110 | 77 |
| 154.25-36 | 246,36 | 33,41 | 0,495 | 12,54 | 4,53 | 0,438 | 1,53 | 21,71 | 0,96 | 2,05 | 0,097 | 0,11 | 17,31 | 0,29 | 95,47 | 209 | 64 | 17 | 66 | 10 | 77 | 20 | | | | | | | |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KilII/94 | Teufe Kil&KilII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 157.12-30 | 249.30 | 34,22 | 0,511 | 12,61 | 4,00 | 0,291 | 1,49 | 21,71 | 0,98 | 1,98 | 0,057 | 0,06 | 17,26 | 0,30 | 95,47 | 218 | 60 | 24 | 66 | 13 | 100 | 19 | 101 | 679 | 5 | 112 | 21 | 91 | 76 |
| 157.73-87 | 249.87 | 30,37 | 0,453 | 11,21 | 3,71 | 0,514 | 1,46 | 24,91 | 0,90 | 1,81 | 0,116 | 0,02 | 19,62 | 0,32 | 95,41 | 189 | 63 | 22 | 62 | 16 | 66 | 21 | 92 | 665 | 8 | 102 | 25 | 93 | 68 |
| 158.24-34 | 250.34 | 31,50 | 0,477 | 11,96 | 3,71 | 0,408 | 1,47 | 23,81 | 0,94 | 1,83 | 0,058 | 0,08 | 18,91 | 0,29 | 95,44 | 190 | 56 | 19 | 61 | 14 | 66 | 17 | 98 | 655 | 8 | 108 | 22 | 87 | 72 |
| 158.73-83 | 250.83 | 32,88 | 0,490 | 12,47 | 4,36 | 0,521 | 1,55 | 22,11 | 0,96 | 1,95 | 0,061 | 0,04 | 17,38 | 0,38 | 95,15 | 197 | 56 | 14 | 62 | 13 | 70 | 22 | 95 | 596 | 10 | 108 | 25 | 83 | 79 |
| 159.06-20 | 251.20 | 39,34 | 0,592 | 14,94 | 4,89 | 0,303 | 1,71 | 16,13 | 1,06 | 2,41 | 0,057 | 0,08 | 12,64 | 0,33 | 94,48 | 246 | 63 | 23 | 79 | 15 | 91 | 23 | 128 | 550 | 9 | 137 | 20 | 96 | 94 |
| 159.72-85 | 251.85 | 40,90 | 0,628 | 15,43 | 4,92 | 0,269 | 1,66 | 14,93 | 1,03 | 2,57 | 0,048 | 0,15 | 11,91 | 0,37 | 94,81 | 282 | 61 | 31 | 80 | 15 | 109 | 28 | 139 | 493 | 9 | 149 | 20 | 112 | 100 |
| 160.23-35 | 252.35 | 42,07 | 0,636 | 16,02 | 4,92 | 0,305 | 1,68 | 13,33 | 1,10 | 2,51 | 0,081 | 0,16 | 10,74 | 0,49 | 94,04 | 227 | 77 | 34 | 83 | 16 | 160 | 27 | 130 | 470 | 12 | 147 | 24 | 144 | 110 |
| 160.68-78 | 252.78 | 45,45 | 0,708 | 17,09 | 4,81 | 0,204 | 1,72 | 10,99 | 1,13 | 2,81 | 0,049 | 0,23 | 8,82 | 0,38 | 94,40 | 280 | 80 | 32 | 92 | 16 | 225 | 31 | 143 | 421 | 12 | 163 | 21 | 142 | 116 |
| 161.14-30 | 253.30 | 37,84 | 0,575 | 14,18 | 4,71 | 0,312 | 1,69 | 17,72 | 1,07 | 2,20 | 0,062 | 0,04 | 13,87 | 0,35 | 94,61 | 226 | 69 | 22 | 72 | 13 | 117 | 22 | 119 | 501 | 11 | 122 | 24 | 107 | 96 |
| 161.78-93 | 253.93 | 40,19 | 0,603 | 14,86 | 5,01 | 0,284 | 1,72 | 15,71 | 1,12 | 2,38 | 0,069 | 0,04 | 11,97 | 0,47 | 94,42 | 228 | 65 | 19 | 75 | 13 | 88 | 24 | 127 | 500 | 10 | 126 | 21 | 92 | 97 |
| 162.12-25 | 254.25 | 38,80 | 0,592 | 14,38 | 4,61 | 0,390 | 1,68 | 16,99 | 1,11 | 2,22 | 0,059 | 0,07 | 13,58 | 0,39 | 94,87 | 226 | 69 | 20 | 75 | 17 | 84 | 24 | 117 | 499 | 12 | 127 | 24 | 95 | 103 |
| 162.67-78 | 254.78 | 38,06 | 0,582 | 14,22 | 4,34 | 0,248 | 1,66 | 17,98 | 1,11 | 2,15 | 0,050 | 0,03 | 13,85 | 0,41 | 94,69 | 226 | 70 | 22 | 73 | 12 | 106 | 23 | 115 | 530 | 11 | 120 | 20 | 77 | 97 |
| 163.13-30 | 255.30 | 40,92 | 0,618 | 15,10 | 4,64 | 0,236 | 1,74 | 15,15 | 1,18 | 2,39 | 0,051 | 0,05 | 12,29 | 0,30 | 94,66 | 227 | 67 | 15 | 76 | 13 | 66 | 24 | 123 | 521 | 11 | 126 | 19 | 74 | 96 |
| 163.70-85 | 255.85 | 41,36 | 0,603 | 14,95 | 5,91 | 0,385 | 1,82 | 14,48 | 1,10 | 2,56 | 0,051 | 0,03 | 10,97 | 0,43 | 94,65 | 244 | 61 | 16 | 75 | 13 | 91 | 25 | 135 | 495 | 11 | 127 | 20 | 107 | 94 |
| 164.14-26 | 256.26 | 41,79 | 0,623 | 15,44 | 4,83 | 0,239 | 1,77 | 14,53 | 1,14 | 2,50 | 0,053 | 0,06 | 11,08 | 0,49 | 94,55 | 247 | 69 | 22 | 81 | 16 | 87 | 24 | 125 | 508 | 9 | 135 | 22 | 95 | 99 |
| 164.64-74 | 256.74 | 43,08 | 0,634 | 15,75 | 5,32 | 0,289 | 1,80 | 12,85 | 1,15 | 2,71 | 0,066 | 0,07 | 10,41 | 0,32 | 94,44 | 272 | 71 | 13 | 83 | 15 | 82 | 25 | 132 | 459 | 10 | 136 | 22 | 74 | 104 |
| 165.08-20 | 257.20 | 44,67 | 0,663 | 16,42 | 5,01 | 0,132 | 1,77 | 11,60 | 1,25 | 2,93 | 0,065 | 0,19 | 9,18 | 0,50 | 94,38 | 258 | 70 | 32 | 89 | 12 | 108 | 28 | 135 | 456 | 7 | 156 | 21 | 99 | 109 |
| 165.74-86 | 257.86 | 41,06 | 0,621 | 15,15 | 4,78 | 0,255 | 1,66 | 14,91 | 1,19 | 2,51 | 0,063 | 0,07 | 11,85 | 0,40 | 94,52 | 213 | 69 | 22 | 81 | 14 | 92 | 23 | 114 | 512 | 5 | 138 | 26 | 89 | 102 |
| 166.24-35 | 258.35 | 40,89 | 0,615 | 15,35 | 4,83 | 0,215 | 1,69 | 13,08 | 1,17 | 2,33 | 0,053 | 0,13 | 10,88 | 0,38 | 91,61 | 217 | 73 | 26 | 79 | 14 | 105 | 24 | 113 | 462 | 8 | 135 | 22 | 82 | 99 |
| 166.78-88 | 258.88 | 39,94 | 0,610 | 14,85 | 4,71 | 0,318 | 1,66 | 15,57 | 1,11 | 2,36 | 0,050 | 0,12 | 12,09 | 0,48 | 93,86 | 242 | 57 | 17 | 78 | 13 | 87 | 27 | 126 | 485 | 9 | 130 | 20 | 110 | 101 |
| 167.17-33 | 259.33 | 41,06 | 0,634 | 15,22 | 4,84 | 0,206 | 1,79 | 14,52 | 1,19 | 2,39 | 0,050 | 0,08 | 11,38 | 0,43 | 93,79 | 212 | 70 | 22 | 83 | 16 | 97 | 25 | 126 | 481 | 9 | 138 | 18 | 98 | 108 |
| 167.70-83 | 259.83 | 43,41 | 0,673 | 16,27 | 5,41 | 0,136 | 1,83 | 12,12 | 1,27 | 2,61 | 0,067 | 0,33 | 9,50 | 0,43 | 94,05 | 240 | 69 | 24 | 89 | 16 | 110 | 26 | 128 | 471 | 9 | 137 | 20 | 105 | 112 |
| 168.18-32 | 260.32 | 40,25 | 0,622 | 15,29 | 5,12 | 0,407 | 1,79 | 15,10 | 1,18 | 2,34 | 0,060 | 0,05 | 11,74 | 0,34 | 94,29 | 228 | 70 | 20 | 80 | 17 | 91 | 23 | 125 | 517 | 11 | 128 | 20 | 98 | 100 |
| 168.70-80 | 260.80 | 41,21 | 0,639 | 15,73 | 5,13 | 0,219 | 1,71 | 14,11 | 1,17 | 2,53 | 0,072 | 0,16 | 11,05 | 0,44 | 94,17 | 231 | 58 | 25 | 87 | 18 | 133 | 22 | 124 | 504 | 8 | 138 | 19 | 91 | 104 |
| 169.21-38 | 261.38 | 41,20 | 0,638 | 15,76 | 5,71 | 0,243 | 1,79 | 13,80 | 1,15 | 2,50 | 0,056 | 0,07 | 10,70 | 0,32 | 93,93 | 242 | 65 | 29 | 82 | 15 | 129 | 25 | 134 | 497 | 10 | 132 | 21 | 115 | 109 |
| 169.77-90 | 261.90 | 41,63 | 0,650 | 16,04 | 5,08 | 0,198 | 1,68 | 13,75 | 1,17 | 2,74 | 0,069 | 0,18 | 10,64 | 0,42 | 94,25 | 226 | 73 | 20 | 85 | 14 | 92 | 28 | 126 | 509 | 5 | 138 | 20 | 98 | 109 |
| 170.20-37 | 262.37 | 41,02 | 0,641 | 15,49 | 4,99 | 0,390 | 1,63 | 14,38 | 1,07 | 2,71 | 0,068 | 0,05 | 11,58 | 0,46 | 94,48 | 249 | 70 | 12 | 83 | 19 | 82 | 22 | 121 | 477 | 7 | 144 | 19 | 65 | 106 |
| 170.72-82 | 262.82 | 40,35 | 0,636 | 15,55 | 4,78 | 0,262 | 1,62 | 14,66 | 1,14 | 2,62 | 0,076 | 0,09 | 11,98 | 0,40 | 94,17 | 227 | 63 | 26 | 83 | 15 | 95 | 24 | 120 | 543 | 5 | 139 | 24 | 84 | 115 |
| 171.10-26 | 263.26 | 38,68 | 0,599 | 14,71 | 5,39 | 0,396 | 1,64 | 16,30 | 1,07 | 2,52 | 0,073 | 0,02 | 12,93 | 0,45 | 94,78 | 228 | 62 | 19 | 81 | 14 | 83 | 27 | 117 | 542 | 6 | 129 | 24 | 87 | 105 |
| 171.71-85 | 263.85 | 37,98 | 0,603 | 14,89 | 4,36 | 0,229 | 1,55 | 17,34 | 1,11 | 2,28 | 0,071 | 0,21 | 13,80 | 0,38 | 94,81 | 209 | 78 | 27 | 85 | 16 | 90 | 21 | 110 | 547 | 8 | 133 | 23 | 89 | 108 |
| 172.20-32 | 264.32 | 36,82 | 0,565 | 14,03 | 4,78 | 0,483 | 1,55 | 18,15 | 1,00 | 2,28 | 0,052 | 0,05 | 13,81 | 0,53 | 94,10 | 219 | 80 | 16 | 77 | 12 | 83 | 28 | 127 | 513 | 8 | 127 | 19 | 89 | 90 |
| 172.70-80 | 264.80 | 37,73 | 0,589 | 14,43 | 4,77 | 0,387 | 1,56 | 17,40 | 1,07 | 2,27 | 0,070 | 0,06 | 13,61 | 0,32 | 94,26 | 201 | 62 | 18 | 79 | 13 | 76 | 22 | 121 | 517 | 10 | 127 | 20 | 76 | 92 |
| 173.08-24 | 265.24 | 36,57 | 0,582 | 14,23 | 4,62 | 0,273 | 1,44 | 18,45 | 1,07 | 2,44 | 0,066 | 0,35 | 14,03 | 0,53 | 94,66 | 230 | 72 | 29 | 78 | 12 | 139 | 23 | 113 | 499 | 5 | 133 | 23 | 96 | 93 |
| 173.72-88 | 265.88 | 36,20 | 0,572 | 14,20 | 4,32 | 0,319 | 1,44 | 18,79 | 1,00 | 2,47 | 0,064 | 0,14 | 15,30 | 0,37 | 95,18 | 239 | 54 | 47 | 77 | 13 | 317 | 24 | 111 | 478 | 2 | 137 | 26 | 111 | 93 |
| 174.18-30 | 266.30 | 41,15 | 0,658 | 16,38 | 4,97 | 0,201 | 1,60 | 13,83 | 1,08 | 2,58 | 0,068 | 0,23 | 10,33 | 0,55 | 93,62 | 261 | 76 | 27 | 91 | 15 | 118 | 26 | 126 | 432 | 7 | 155 | 20 | 92 | 105 |
| 174.73-83 | 266.83 | 40,26 | 0,643 | 15,93 | 5,08 | 0,284 | 1,63 | 14,79 | 0,98 | 2,59 | 0,054 | 0,13 | 11,71 | 0,37 | 94,46 | 258 | 70 | 40 | 88 | 18 | 194 | 25 | 140 | 432 | 11 | 152 | 19 | 120 | 103 |
| 175.14-34 | 267.34 | 45,25 | 0,736 | 18,21 | 5,01 | 0,177 | 1,65 | 10,13 | 1,05 | 2,88 | 0,055 | 0,25 | 7,79 | 0,48 | 93,66 | 279 | 77 | 26 | 100 | 12 | 99 | 31 | 144 | 374 | 12 | 185 | 19 | 99 | 121 |
| 175.65-85 | 267.85 | 48,31 | 0,807 | 19,38 | 4,55 | 0,149 | 1,61 | 7,47 | 1,09 | 3,39 | 0,065 | 0,20 | 5,70 | 0,41 | 93,14 | 336 | 81 | 41 | 107 | 13 | 240 | 38 | 155 | 338 | 9 | 218 | 23 | 149 | 132 |
| 176.20-30 | 268.30 | 44,53 | 0,709 | 17,53 | 5,06 | 0,178 | 1,62 | 10,87 | 1,13 | 2,84 | 0,073 | 0,13 | 8,82 | 0,42 | 93,92 | 289 | 77 | 29 | 99 | 18 | 116 | 30 | 135 | 420 | 8 | 153 | 22 | 94 | 111 |
| 176.67-83 | 268.83 | 43,12 | 0,692 | 16,96 | 5,45 | 0,204 | 1,64 | 12,13 | 1,17 | 2,66 | 0,075 | 0,25 | 9,22 | 0,42 | 93,98 | 252 | 85 | 27 | 89 | 20 | 147 | 29 | 124 | 434 | 7 | 145 | 25 | 92 | 113 |
| 177.15-30 | 269.30 | 44,79 | 0,716 | 17,12 | 5,43 | 0,084 | 1,70 | 10,97 | 1,23 | 2,70 | 0,065 | 0,27 | 8,68 | 0,41 | 94,17 | 265 | 93 | 25 | 94 | 14 | 110 | 28 | 124 | 441 | 8 | 150 | 21 | 106 | 117 |
| 177.75-90 | 269.90 | 43,42 | 0,682 | 16,83 | 5,18 | 0,240 | 1,69 | 12,15 | 1,21 | 2,51 | 0,054 | 0,25 | 9,33 | 0,37 | 93,91 | 255 | 69 | 25 | 89 | 17 | 116 | 25 | 137 | 432 | 12 | 144 | 20 | 110 | 111 |
| 178.18-30 | 270.30 | 45,33 | 0,696 | 17,39 | 5,41 | 0,306 | 1,76 | 10,31 | 1,22 | 2,75 | 0,070 | 0,12 | 8,24 | 0,39 | 93,99 | 264 | 75 | 26 | 96 | 17 | 118 | 27 | 135 | 414 | 8 | 153 | 20 | 93 | 111 |
| 178.76-86 | 270.86 | 42,96 | 0,676 | 16,52 | 5,05 | 0,204 | 1,72 | 12,57 | 1,18 | 2,55 | 0,050 | 0,16 | 9,87 | 0,45 | 93,96 | 262 | 73 | 29 | 91 | 17 | 181 | 29 | 137 | 439 | 11 | 143 | 22 | 123 | 110 |
| 179.22-36 | 271.36 | 41,24 | 0,640 | 15,88 | 5,01 | 0,154 | 1,67 | 14,14 | 1,16 | 2,44 | 0,065 | 0,08 | 11,30 | 0,37 | 94,15 | 237 | 80 | 25 | 86 | | | | | | | | | | |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KI/II/94 | Teufe KI&KII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 182.15-25 | 274,25 | 45,60 | 0,676 | 16,50 | 5,32 | 0,142 | 1,80 | 11,07 | 1,32 | 2,66 | 0,081 | 0,12 | 8,74 | 0,37 | 94,40 | 262 | 69 | 20 | 91 | 20 | 97 | 25 | 129 | 470 | 8 | 143 | 20 | 89 | 113 |
| 182.60-70 | 274,70 | 41,57 | 0,626 | 14,86 | 4,85 | 0,195 | 1,74 | 14,91 | 1,20 | 2,23 | 0,045 | 0,15 | 11,84 | 0,46 | 94,66 | 234 | 73 | 25 | 76 | 14 | 84 | 24 | 118 | 486 | 10 | 124 | 19 | 87 | 108 |
| 183.15-30 | 275,30 | 42,74 | 0,637 | 14,70 | 4,65 | 0,184 | 1,77 | 14,45 | 1,27 | 2,30 | 0,063 | 0,12 | 11,65 | 0,41 | 94,95 | 221 | 68 | 19 | 78 | 17 | 97 | 23 | 111 | 493 | 6 | 125 | 21 | 86 | 112 |
| 183.75-93 | 275,93 | 43,43 | 0,639 | 15,41 | 4,72 | 0,151 | 1,71 | 13,59 | 1,33 | 2,36 | 0,064 | 0,12 | 10,70 | 0,38 | 94,61 | 213 | 68 | 30 | 81 | 19 | 119 | 27 | 115 | 485 | 7 | 130 | 22 | 91 | 105 |
| 184.15-27 | 276,27 | 43,68 | 0,642 | 15,36 | 5,09 | 0,224 | 1,77 | 13,23 | 1,30 | 2,54 | 0,072 | 0,13 | 10,64 | 0,38 | 95,06 | 237 | 80 | 22 | 81 | 19 | 79 | 26 | 116 | 471 | 8 | 129 | 21 | 75 | 107 |
| 184.68-78 | 276,78 | 43,23 | 0,636 | 15,15 | 4,90 | 0,170 | 1,77 | 13,95 | 1,27 | 2,29 | 0,046 | 0,14 | 10,83 | 0,35 | 94,73 | 244 | 77 | 19 | 77 | 14 | 74 | 23 | 123 | 489 | 10 | 126 | 19 | 86 | 106 |
| 185.05-22 | 277,22 | 43,43 | 0,636 | 14,98 | 5,18 | 0,144 | 1,80 | 13,76 | 1,21 | 2,28 | 0,051 | 0,12 | 10,66 | 0,40 | 94,65 | 217 | 62 | 18 | 77 | 16 | 70 | 22 | 121 | 469 | 12 | 130 | 19 | 80 | 110 |
| 185.55-70 | 277,70 | 40,55 | 0,605 | 14,22 | 4,43 | 0,218 | 1,64 | 16,57 | 1,20 | 2,25 | 0,066 | 0,15 | 13,19 | 0,39 | 95,48 | 216 | 78 | 21 | 74 | 14 | 74 | 23 | 102 | 486 | 6 | 123 | 25 | 89 | 109 |
| 186.14-27 | 278,27 | 44,92 | 0,648 | 16,05 | 5,11 | 0,128 | 1,82 | 12,04 | 1,29 | 2,49 | 0,046 | 0,05 | 9,25 | 0,35 | 94,19 | 256 | 69 | 17 | 82 | 16 | 66 | 26 | 132 | 466 | 11 | 133 | 19 | 87 | 112 |
| 186.60-70 | 278,70 | 46,34 | 0,689 | 16,79 | 5,33 | 0,087 | 1,81 | 10,15 | 1,33 | 2,80 | 0,062 | 0,28 | 7,86 | 0,44 | 93,96 | 260 | 76 | 25 | 93 | 19 | 88 | 28 | 127 | 440 | 7 | 143 | 21 | 84 | 126 |
| 187.10-27 | 279,27 | 44,31 | 0,651 | 15,88 | 5,41 | 0,138 | 1,75 | 12,14 | 1,22 | 2,55 | 0,063 | 0,25 | 9,40 | 0,38 | 94,14 | 240 | 74 | 26 | 85 | 19 | 103 | 24 | 127 | 435 | 10 | 132 | 20 | 85 | 120 |
| 187.77-90 | 279,90 | 42,77 | 0,658 | 15,62 | 5,02 | 0,179 | 1,72 | 13,48 | 1,22 | 2,36 | 0,050 | 0,24 | 10,31 | 0,40 | 94,03 | 233 | 77 | 24 | 80 | 21 | 90 | 27 | 124 | 457 | 12 | 133 | 22 | 105 | 140 |
| 188.18-30 | 280,30 | 43,78 | 0,669 | 16,21 | 5,20 | 0,165 | 1,75 | 12,23 | 1,18 | 2,56 | 0,063 | 0,17 | 9,73 | 0,44 | 94,14 | 235 | 87 | 27 | 83 | 25 | 87 | 26 | 125 | 434 | 10 | 141 | 22 | 86 | 153 |
| 188.67-77 | 280,77 | 43,89 | 0,664 | 16,22 | 5,08 | 0,163 | 1,78 | 12,45 | 1,20 | 2,58 | 0,048 | 0,10 | 9,45 | 0,38 | 94,00 | 256 | 76 | 23 | 86 | 15 | 75 | 26 | 135 | 464 | 9 | 141 | 18 | 101 | 106 |
| 189.08-23 | 281,23 | 43,28 | 0,654 | 16,11 | 5,53 | 0,196 | 1,67 | 12,50 | 1,21 | 2,86 | 0,069 | 0,16 | 9,69 | 0,32 | 94,24 | 258 | 73 | 22 | 87 | 14 | 115 | 29 | 132 | 443 | 7 | 140 | 22 | 91 | 107 |
| 189.59-74 | 281,74 | 40,66 | 0,633 | 15,17 | 5,09 | 0,190 | 1,66 | 15,15 | 1,11 | 2,32 | 0,047 | 0,08 | 11,68 | 0,41 | 94,19 | 250 | 77 | 29 | 78 | 16 | 80 | 24 | 126 | 468 | 13 | 127 | 19 | 87 | 107 |
| 190.07-18 | 282,18 | 43,23 | 0,661 | 16,23 | 5,29 | 0,190 | 1,69 | 12,74 | 1,13 | 2,70 | 0,066 | 0,15 | 9,65 | 0,34 | 94,07 | 272 | 67 | 24 | 90 | 17 | 80 | 27 | 134 | 467 | 9 | 146 | 21 | 90 | 110 |
| 190.63-73 | 282,73 | 41,68 | 0,644 | 16,09 | 5,41 | 0,233 | 1,69 | 13,66 | 1,09 | 2,50 | 0,056 | 0,07 | 10,75 | 0,39 | 94,27 | 264 | 68 | 20 | 80 | 15 | 73 | 27 | 134 | 450 | 8 | 141 | 19 | 92 | 106 |
| 191.17-35 | 283,35 | 45,14 | 0,703 | 17,08 | 5,07 | 0,206 | 1,73 | 10,96 | 1,18 | 2,72 | 0,045 | 0,10 | 8,85 | 0,41 | 94,18 | 283 | 83 | 32 | 90 | 16 | 86 | 27 | 147 | 456 | 11 | 164 | 18 | 105 | 117 |
| 191.74-90 | 283,90 | 45,40 | 0,715 | 17,06 | 5,69 | 0,156 | 1,74 | 10,35 | 1,26 | 2,73 | 0,072 | 0,21 | 8,19 | 0,40 | 93,97 | 243 | 77 | 24 | 93 | 16 | 95 | 30 | 128 | 425 | 8 | 148 | 19 | 90 | 121 |
| 192.13-25 | 284,25 | 44,30 | 0,670 | 16,69 | 5,09 | 0,168 | 1,65 | 11,85 | 1,14 | 2,85 | 0,058 | 0,09 | 9,38 | 0,36 | 94,29 | 267 | 81 | 25 | 93 | 19 | 94 | 32 | 135 | 431 | 7 | 156 | 21 | 81 | 113 |
| 192.70-80 | 284,80 | 43,97 | 0,676 | 16,23 | 5,11 | 0,165 | 1,72 | 12,21 | 1,20 | 2,69 | 0,064 | 0,16 | 9,53 | 0,42 | 94,14 | 237 | 88 | 23 | 90 | 15 | 90 | 28 | 125 | 460 | 8 | 153 | 20 | 78 | 114 |
| 193.25-40 | 285,40 | 43,30 | 0,662 | 15,92 | 4,88 | 0,210 | 1,66 | 13,19 | 1,16 | 2,50 | 0,042 | 0,16 | 10,15 | 0,44 | 94,28 | 269 | 74 | 35 | 88 | 18 | 112 | 26 | 135 | 442 | 11 | 160 | 19 | 108 | 114 |
| 193.75-90 | 285,90 | 44,45 | 0,696 | 15,55 | 4,74 | 0,166 | 1,65 | 12,67 | 1,20 | 2,66 | 0,061 | 0,19 | 10,13 | 0,44 | 94,61 | 262 | 85 | 23 | 93 | 18 | 77 | 27 | 123 | 432 | 8 | 153 | 20 | 82 | 131 |
| 194.19-30 | 286,30 | 43,33 | 0,683 | 15,51 | 4,73 | 0,180 | 1,62 | 13,58 | 1,15 | 2,60 | 0,060 | 0,25 | 10,63 | 0,48 | 94,79 | 245 | 88 | 20 | 86 | 18 | 73 | 25 | 119 | 429 | 7 | 148 | 23 | 76 | 133 |
| 194.64-74 | 286,74 | 39,51 | 0,627 | 14,74 | 4,42 | 0,338 | 1,57 | 16,50 | 1,05 | 2,26 | 0,048 | 0,12 | 13,34 | 0,38 | 94,90 | 227 | 85 | 21 | 82 | 20 | 68 | 24 | 124 | 450 | 11 | 142 | 21 | 95 | 133 |
| 195.08-22 | 287,22 | 43,84 | 0,674 | 16,38 | 5,53 | 0,195 | 1,68 | 12,29 | 1,14 | 2,62 | 0,052 | 0,15 | 9,70 | 0,30 | 94,56 | 262 | 74 | 17 | 86 | 18 | 72 | 29 | 135 | 443 | 11 | 155 | 21 | 96 | 118 |
| 195.78-95 | 287,95 | 42,36 | 0,678 | 16,82 | 4,95 | 0,193 | 1,62 | 13,00 | 1,09 | 2,59 | 0,051 | 0,19 | 10,30 | 0,34 | 94,17 | 280 | 69 | 25 | 89 | 19 | 90 | 27 | 135 | 432 | 13 | 160 | 21 | 102 | 124 |
| 196.20-30 | 288,30 | 43,07 | 0,699 | 17,25 | 5,30 | 0,167 | 1,64 | 12,06 | 1,09 | 2,72 | 0,063 | 0,10 | 9,27 | 0,38 | 93,81 | 297 | 68 | 18 | 92 | 19 | 76 | 27 | 130 | 417 | 9 | 176 | 20 | 85 | 122 |
| 196.65-75 | 288,75 | 40,96 | 0,657 | 16,36 | 5,02 | 0,269 | 1,59 | 14,01 | 0,96 | 2,76 | 0,063 | 0,07 | 11,56 | 0,30 | 94,58 | 269 | 78 | 24 | 86 | 18 | 80 | 29 | 138 | 429 | 8 | 158 | 21 | 657 | 118 |
| 197.80-95 | 289,95 | 46,73 | 0,777 | 19,33 | 4,47 | 0,214 | 1,56 | 8,74 | 1,03 | 3,07 | 0,053 | 0,17 | 6,74 | 0,43 | 93,31 | 350 | 79 | 31 | 103 | 18 | 161 | 36 | 159 | 400 | 11 | 193 | 21 | 125 | 129 |
| 198.22-35 | 290,35 | 44,81 | 0,737 | 18,42 | 5,74 | 0,111 | 1,70 | 9,74 | 1,14 | 2,93 | 0,066 | 0,13 | 7,47 | 0,39 | 93,39 | 284 | 86 | 19 | 99 | 22 | 102 | 28 | 133 | 391 | 9 | 177 | 22 | 83 | 120 |
| 198.70-80 | 290,80 | 44,30 | 0,718 | 17,54 | 5,50 | 0,129 | 1,74 | 10,81 | 1,09 | 2,76 | 0,046 | 0,13 | 8,58 | 0,39 | 93,73 | 291 | 73 | 21 | 96 | 16 | 86 | 25 | 144 | 407 | 11 | 171 | 18 | 100 | 120 |
| 199.13-30 | 291,30 | 43,50 | 0,689 | 17,08 | 5,50 | 0,167 | 1,70 | 11,93 | 1,14 | 2,62 | 0,045 | 0,09 | 9,24 | 0,37 | 94,07 | 290 | 78 | 20 | 90 | 18 | 122 | 27 | 139 | 439 | 12 | 161 | 22 | 116 | 122 |
| 199.70-87 | 291,87 | 45,88 | 0,722 | 17,63 | 5,44 | 0,132 | 1,79 | 9,88 | 1,18 | 2,76 | 0,052 | 0,13 | 7,71 | 0,38 | 93,69 | 272 | 88 | 19 | 96 | 20 | 87 | 28 | 147 | 399 | 12 | 163 | 22 | 104 | 129 |
| 200.13-25 | 292,25 | 44,76 | 0,713 | 17,25 | 5,29 | 0,212 | 1,73 | 10,82 | 1,17 | 2,82 | 0,066 | 0,23 | 8,37 | 0,43 | 93,86 | 245 | 75 | 27 | 97 | 18 | 93 | 28 | 132 | 418 | 9 | 170 | 21 | 88 | 131 |
| 200.69-79 | 292,79 | 40,53 | 0,638 | 15,85 | 4,91 | 0,258 | 1,55 | 14,45 | 1,06 | 2,72 | 0,063 | 0,17 | 11,91 | 0,35 | 94,46 | 256 | 70 | 20 | 87 | 18 | 102 | 27 | 126 | 446 | 7 | 153 | 21 | 104 | 133 |
| 201.08-25 | 293,25 | 42,70 | 0,664 | 16,66 | 5,36 | 0,214 | 1,68 | 12,45 | 1,09 | 2,67 | 0,054 | 0,19 | 9,37 | 0,47 | 93,57 | 282 | 70 | 24 | 93 | 18 | 98 | 29 | 138 | 447 | 13 | 159 | 21 | 105 | 120 |
| 201.60-80 | 293,80 | 45,35 | 0,727 | 18,20 | 5,26 | 0,117 | 1,64 | 9,81 | 1,11 | 3,00 | 0,061 | 0,18 | 7,68 | 0,37 | 93,49 | 278 | 77 | 28 | 100 | 22 | 115 | 34 | 137 | 409 | 9 | 186 | 24 | 90 | 127 |
| 202.16-29 | 294,29 | 46,04 | 0,727 | 18,10 | 5,19 | 0,171 | 1,70 | 9,81 | 1,07 | 2,99 | 0,049 | 0,14 | 7,75 | 0,37 | 94,11 | 316 | 70 | 31 | 99 | 14 | 120 | 28 | 152 | 392 | 11 | 183 | 20 | 106 | 117 |
| 202.80-90 | 294,90 | 41,72 | 0,648 | 15,81 | 4,77 | 0,266 | 1,48 | 14,24 | 0,96 | 2,81 | 0,062 | 0,05 | 11,27 | 0,32 | 94,40 | 294 | 77 | 24 | 86 | 13 | 104 | 27 | 129 | 414 | 7 | 161 | 26 | 96 | 106 |
| 203.08-24 | 295,24 | 41,22 | 0,642 | 15,81 | 4,74 | 0,232 | 1,57 | 14,30 | 1,06 | 2,66 | 0,066 | 0,16 | 11,52 | 0,35 | 94,33 | 268 | 70 | 25 | 86 | 20 | 92 | 28 | 135 | 437 | 10 | 152 | 20 | 95 | 103 |
| 203.55-70 | 295,70 | 39,83 | 0,630 | 15,36 | 4,82 | 0,233 | 1,68 | 15,60 | 1,07 | 2,39 | 0,046 | 0,13 | 11,87 | 0,38 | 94,04 | 253 | 63 | 18 | 83 | 12 | 79 | 22 | 129 | 437 | 14 | 136 | 21 | 99 | 106 |
| 204.12-28 | 296,28 | 41,38 | 0,642 | 16,20 | 4,91 | 0,177 | 1,65 | 14,06 | 1,11 | 2,60 | 0,062 | 0,10 | 11,01 | 0,36 | 94,26 | 231 | 63 | 23 | 91 | 19 | 98 | 22 | 129 | 501 | 7 | 145 | 21 | 276 | 110 |
| 204.76-78 | 296,78 | 42,95 | 0,660 | 16,76 | 5,45 | 0,158 | 1,69 | 12,66 | 1,04 | 2,65 | 0,049 | 0,06 | 9,80 | 0,35 | 94,27 | 271 | 67 | 21 | 92 | 20 | | | | | | | | | |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 207.25-45 | 299.45 | 39,62 | 0,603 | 15,50 | 4,98 | 0,201 | 1,59 | 15,69 | 1,01 | 2,41 | 0,051 | 0,05 | 12,53 | 0,28 | 94,52 | 237 | 77 | 18 | 77 | 27 | 87 | 24 | 125 | 433 | 13 | 133 | 26 | 103 | 139 |
| 207.74-95 | 299,95 | 39,48 | 0,642 | 15,52 | 4,87 | 0,177 | 1,64 | 15,61 | 1,05 | 2,43 | 0,047 | 0,05 | 12,18 | 0,31 | 94,01 | 226 | 84 | 15 | 84 | 21 | 86 | 24 | 130 | 433 | 9 | 145 | 20 | 89 | 110 |
| 208.20-30 | 300,30 | 37,85 | 0,602 | 15,06 | 5,32 | 0,412 | 1,54 | 16,54 | 0,90 | 2,58 | 0,080 | 0,10 | 13,67 | 0,25 | 94,90 | 248 | 68 | 13 | 84 | 12 | 95 | 25 | 120 | 441 | 8 | 139 | 28 | 85 | 94 |
| 208.70-80 | 300,80 | 42,32 | 0,680 | 17,23 | 5,50 | 0,181 | 1,56 | 12,28 | 0,99 | 2,89 | 0,073 | 0,08 | 9,67 | 0,29 | 93,75 | 284 | 66 | 15 | 100 | 18 | 86 | 27 | 150 | 421 | 8 | 161 | 21 | 124 | 108 |
| 209.11-26 | 301,26 | 38,66 | 0,620 | 15,42 | 5,19 | 0,337 | 1,50 | 15,68 | 0,84 | 2,60 | 0,053 | 0,02 | 13,23 | 0,31 | 94,45 | 279 | 52 | 25 | 83 | 14 | 76 | 27 | 141 | 452 | 7 | 152 | 20 | 102 | 97 |
| 209.63-78 | 301,78 | 42,70 | 0,680 | 16,81 | 5,17 | 0,270 | 1,51 | 12,73 | 0,84 | 2,85 | 0,076 | 0,05 | 10,47 | 0,31 | 94,47 | 283 | 64 | 18 | 97 | 10 | 82 | 30 | 143 | 403 | 14 | 170 | 23 | 108 | 112 |
| 210.25-35 | 302,35 | 25,63 | 0,433 | 10,49 | 3,40 | 0,400 | 1,16 | 28,66 | 0,73 | 1,69 | 0,060 | 0,06 | 23,25 | 0,28 | 96,24 | 164 | 64 | 22 | 57 | 11 | 68 | 20 | 68 | 431 | 7 | 104 | 28 | 80 | 71 |
| 210.70-80 | 302,80 | 37,92 | 0,643 | 15,50 | 4,41 | 0,231 | 1,44 | 16,76 | 0,96 | 2,48 | 0,071 | 0,12 | 13,41 | 0,34 | 94,28 | 242 | 77 | 29 | 87 | 18 | 99 | 27 | 114 | 448 | 6 | 141 | 25 | 91 | 102 |
| 211.19-35 | 303,35 | 40,80 | 0,690 | 16,57 | 5,04 | 0,156 | 1,51 | 14,30 | 1,00 | 2,53 | 0,049 | 0,05 | 11,20 | 0,30 | 94,19 | 276 | 77 | 14 | 97 | 13 | 76 | 27 | 130 | 455 | 10 | 158 | 21 | 126 | 113 |
| 211.77-95 | 303,95 | 41,28 | 0,672 | 16,83 | 5,77 | 0,345 | 1,60 | 13,22 | 0,98 | 2,68 | 0,066 | 0,08 | 10,51 | 0,27 | 94,30 | 270 | 67 | 17 | 90 | 16 | 93 | 26 | 137 | 449 | 12 | 157 | 22 | 99 | 110 |
| 212.13-27 | 304,27 | 41,80 | 0,681 | 16,99 | 5,02 | 0,207 | 1,45 | 12,88 | 0,94 | 3,07 | 0,066 | 0,02 | 10,22 | 0,30 | 93,65 | 301 | 77 | 18 | 93 | 11 | 77 | 27 | 144 | 462 | 7 | 165 | 23 | 105 | 108 |
| 212.70-80 | 304,80 | 41,18 | 0,679 | 16,54 | 4,43 | 0,220 | 1,41 | 13,96 | 0,88 | 2,91 | 0,072 | 0,04 | 11,80 | 0,28 | 94,41 | 301 | 69 | 45 | 93 | 18 | 384 | 38 | 133 | 441 | 9 | 170 | 23 | 85 | 106 |
| 213.15-30 | 305,30 | 49,07 | 0,811 | 20,38 | 4,59 | 0,193 | 1,46 | 6,68 | 0,95 | 3,24 | 0,061 | 0,03 | 5,17 | 0,39 | 93,02 | 355 | 83 | 29 | 108 | 18 | 111 | 39 | 161 | 327 | 14 | 205 | 23 | 127 | 134 |
| 213.76-98 | 305,98 | 31,77 | 0,528 | 12,74 | 4,60 | 0,353 | 1,40 | 22,53 | 0,85 | 1,93 | 0,049 | 0,09 | 17,99 | 0,26 | 95,09 | 202 | 68 | 14 | 68 | 9 | 78 | 22 | 96 | 421 | 12 | 116 | 27 | 102 | 92 |
| 214.20-30 | 306,30 | 43,17 | 0,708 | 17,12 | 5,30 | 0,125 | 1,57 | 12,12 | 1,08 | 2,76 | 0,062 | 0,21 | 9,62 | 0,34 | 94,19 | 276 | 82 | 34 | 100 | 17 | 222 | 28 | 128 | 399 | 9 | 171 | 24 | 116 | 122 |
| 214.64-74 | 306,74 | 44,61 | 0,723 | 17,17 | 4,96 | 0,099 | 1,56 | 11,64 | 1,13 | 2,75 | 0,058 | 0,08 | 9,01 | 0,31 | 94,10 | 256 | 81 | 30 | 94 | 18 | 103 | 28 | 128 | 399 | 10 | 156 | 22 | 85 | 130 |
| 215.19-32 | 307,32 | 44,60 | 0,720 | 17,28 | 5,12 | 0,114 | 1,55 | 11,49 | 1,12 | 2,52 | 0,052 | 0,06 | 8,97 | 0,30 | 93,90 | 253 | 96 | 13 | 87 | 30 | 89 | 30 | 131 | 377 | 12 | 150 | 26 | 121 | 182 |
| 215.80-97 | 307,97 | 40,10 | 0,650 | 15,02 | 4,82 | 0,175 | 1,49 | 15,93 | 1,09 | 2,23 | 0,056 | 0,14 | 12,51 | 0,34 | 94,56 | 265 | 73 | 19 | 83 | 14 | 121 | 26 | 111 | 442 | 11 | 133 | 21 | 122 | 131 |
| 216.20-30 | 308,30 | 42,75 | 0,680 | 16,00 | 4,50 | 0,162 | 1,52 | 14,12 | 1,05 | 2,55 | 0,047 | 0,06 | 10,85 | 0,37 | 94,65 | 253 | 81 | 18 | 87 | 13 | 82 | 32 | 136 | 428 | 11 | 148 | 22 | 98 | 121 |
| 216.70-80 | 308,80 | 38,20 | 0,622 | 14,62 | 4,55 | 0,246 | 1,45 | 17,44 | 1,00 | 2,38 | 0,059 | 0,06 | 13,99 | 0,26 | 94,88 | 231 | 80 | 17 | 80 | 15 | 85 | 27 | 110 | 460 | 7 | 136 | 25 | 86 | 110 |
| 217.21-35 | 309,35 | 36,62 | 0,617 | 14,22 | 4,50 | 0,246 | 1,50 | 18,76 | 0,96 | 2,15 | 0,043 | 0,03 | 15,05 | 0,28 | 94,97 | 235 | 67 | 29 | 76 | 10 | 90 | 25 | 113 | 469 | 10 | 135 | 22 | 107 | 100 |
| 217.81-99 | 309,99 | 39,91 | 0,628 | 15,07 | 5,89 | 0,411 | 1,58 | 14,92 | 1,04 | 2,40 | 0,074 | 0,09 | 12,03 | 0,29 | 94,33 | 262 | 71 | 19 | 81 | 16 | 121 | 21 | 123 | 477 | 11 | 135 | 24 | 87 | 107 |
| 218.18-30 | 310,30 | 42,66 | 0,702 | 16,06 | 4,29 | 0,136 | 1,48 | 14,03 | 1,05 | 2,45 | 0,043 | 0,04 | 11,05 | 0,33 | 94,31 | 262 | 85 | 21 | 86 | 15 | 91 | 29 | 132 | 460 | 12 | 143 | 22 | 110 | 119 |
| 218.70-80 | 310,80 | 37,63 | 0,635 | 13,83 | 5,10 | 0,279 | 1,54 | 17,96 | 1,06 | 2,11 | 0,066 | 0,08 | 14,44 | 0,23 | 94,95 | 1155 | 69 | 23 | 70 | 16 | 133 | 24 | 105 | 491 | 9 | 115 | 26 | 90 | 104 |
| 219.23-36 | 311,36 | 43,68 | 0,816 | 15,88 | 5,48 | 0,108 | 1,60 | 12,66 | 1,19 | 2,33 | 0,066 | 0,13 | 9,72 | 0,32 | 93,98 | 251 | 73 | 34 | 82 | 22 | 175 | 32 | 121 | 440 | 11 | 137 | 25 | 90 | 143 |
| 219.44-50 | 311,50 | 41,10 | 0,810 | 15,46 | 4,66 | 0,140 | 1,51 | 15,07 | 1,14 | 2,13 | 0,069 | 0,06 | 12,00 | 0,34 | 94,49 | 227 | 74 | 26 | 78 | 19 | 121 | 21 | 112 | 476 | 12 | 141 | 25 | 131 | 140 |
| 219.56 | 311,56 | 34,86 | 0,680 | 12,95 | 4,33 | 0,176 | 1,33 | 20,89 | 0,93 | 1,93 | 0,048 | 0,02 | 16,86 | 0,24 | 95,23 | 219 | 72 | 13 | 63 | 18 | 54 | 20 | 92 | 494 | 9 | 130 | 32 | 97 | 118 |
| 219.62-65 | 311,65 | 37,83 | 0,771 | 14,02 | 4,82 | 0,144 | 1,40 | 18,22 | 1,02 | 2,13 | 0,051 | 0,03 | 14,40 | 0,25 | 95,08 | 219 | 74 | 10 | 70 | 22 | 58 | 22 | 110 | 480 | 9 | 135 | 28 | 101 | 131 |
| 219.75-90 | 311,90 | 41,10 | 1,290 | 15,82 | 5,45 | 0,132 | 1,63 | 13,94 | 1,19 | 2,24 | 0,084 | 0,06 | 10,90 | 0,40 | 94,23 | 219 | 76 | 38 | 73 | 24 | 112 | 24 | 110 | 440 | 11 | 175 | 30 | 131 | 214 |
| 220.17-28 | 312,28 | 41,64 | 0,690 | 15,64 | 4,51 | 0,158 | 1,47 | 14,73 | 1,10 | 2,53 | 0,057 | 0,03 | 12,02 | 0,32 | 94,90 | 262 | 79 | 29 | 83 | 14 | 124 | 31 | 117 | 499 | 7 | 150 | 21 | 153 | 114 |
| 220.70-80 | 312,80 | 34,49 | 0,612 | 12,91 | 4,15 | 0,275 | 1,39 | 21,23 | 0,90 | 1,88 | 0,050 | 0,03 | 17,20 | 0,24 | 95,36 | 204 | 74 | 35 | 64 | 16 | 162 | 25 | 89 | 500 | 11 | 129 | 27 | 151 | 103 |
| 221.13-27 | 313,27 | 35,61 | 0,659 | 13,30 | 5,04 | 0,365 | 1,43 | 19,51 | 0,99 | 2,00 | 0,218 | 0,04 | 15,59 | 0,22 | 94,97 | 234 | 71 | 10 | 62 | 17 | 67 | 19 | 99 | 520 | 8 | 129 | 29 | 85 | 102 |
| 221.77-93 | 313,93 | 39,38 | 0,950 | 15,76 | 4,80 | 0,143 | 1,56 | 15,69 | 1,17 | 2,05 | 0,056 | 0,04 | 12,24 | 0,29 | 94,13 | 188 | 119 | 29 | 65 | 63 | 90 | 26 | 97 | 494 | 15 | 140 | 32 | 95 | 291 |
| 222.12-36 | 314,26 | 38,30 | 0,905 | 14,64 | 5,14 | 0,138 | 1,43 | 16,56 | 1,02 | 2,11 | 0,055 | 0,01 | 12,94 | 0,34 | 93,59 | 236 | 70 | 19 | 71 | 21 | 87 | 24 | 114 | 450 | 11 | 163 | 25 | 108 | 141 |
| 222.75-85 | 314,85 | 37,19 | 0,981 | 14,17 | 4,88 | 0,126 | 1,40 | 17,98 | 0,98 | 2,02 | 0,066 | 0,02 | 14,25 | 0,31 | 94,37 | 242 | 71 | 17 | 71 | 19 | 69 | 24 | 104 | 460 | 11 | 169 | 29 | 125 | 151 |
| 223.13-26 | 315,26 | 43,77 | 0,748 | 16,39 | 5,62 | 0,096 | 1,51 | 12,27 | 1,06 | 2,50 | 0,064 | 0,07 | 9,45 | 0,40 | 93,94 | 283 | 89 | 25 | 89 | 22 | 97 | 36 | 132 | 412 | 14 | 166 | 26 | 116 | 143 |
| 223.80-95 | 315,95 | 37,16 | 0,744 | 14,13 | 5,77 | 0,230 | 1,45 | 17,35 | 0,93 | 2,09 | 0,069 | 0,05 | 14,57 | 0,36 | 94,90 | 249 | 87 | 17 | 77 | 15 | 83 | 27 | 110 | 455 | 11 | 162 | 27 | 188 | 116 |
| 224.23-34 | 316,34 | 31,26 | 0,578 | 11,93 | 7,96 | 0,469 | 1,53 | 20,11 | 0,76 | 1,75 | 0,076 | 0,04 | 19,03 | 0,30 | 95,79 | 235 | 71 | 13 | 60 | 14 | 62 | 23 | 85 | 448 | 11 | 136 | 33 | 82 | 92 |
| 224.72-82 | 316,82 | 39,69 | 0,637 | 14,86 | 4,24 | 0,163 | 1,38 | 16,54 | 0,89 | 2,26 | 0,079 | 0,06 | 13,50 | 0,42 | 94,71 | 289 | 73 | 11 | 82 | 17 | 83 | 28 | 124 | 440 | 8 | 160 | 24 | 145 | 119 |
| 225.25-38 | 317,38 | 37,58 | 0,598 | 14,34 | 6,81 | 0,295 | 1,53 | 15,85 | 0,87 | 2,18 | 0,071 | 0,08 | 14,05 | 0,31 | 94,56 | 287 | 78 | 19 | 74 | 12 | 110 | 29 | 123 | 399 | 16 | 147 | 25 | 100 | 112 |
| 225.70-85 | 317,85 | 42,93 | 0,695 | 17,27 | 4,95 | 0,151 | 1,50 | 12,31 | 0,96 | 2,59 | 0,063 | 0,09 | 9,93 | 0,44 | 93,88 | 282 | 80 | 30 | 91 | 18 | 183 | 35 | 140 | 382 | 14 | 162 | 23 | 159 | 128 |
| 226.10-26 | 318,26 | 40,50 | 0,643 | 16,09 | 5,90 | 0,175 | 1,51 | 14,01 | 0,93 | 2,46 | 0,064 | 0,02 | 11,63 | 0,34 | 94,27 | 279 | 83 | 16 | 83 | 18 | 120 | 37 | 133 | 381 | 13 | 156 | 25 | 114 | 131 |
| 226.70-80 | 318,80 | 41,80 | 0,659 | 16,43 | 5,54 | 0,178 | 1,53 | 13,06 | 0,97 | 2,49 | 0,079 | 0,04 | 10,92 | 0,40 | 94,10 | 280 | 85 | 20 | 85 | 16 | 123 | 29 | 126 | 392 | 10 | 156 | 24 | 117 | 119 |
| 227.15-30 | 319,30 | 42,33 | 0,657 | 16,12 | 4,80 | 0,121 | 1,42 | 13,74 | 1,01 | 2,65 | 0,073 | 0,09 | 10,85 | 0,46 | 94,31 | 272 | 69 | 22 | 90 | 13 | 197 | 28 | 128 | 405 | 7 | 164 | 26 | 112 | 121 |
| 227.73-78 | 319,78 | 39,88 | 0,618 | 14,84 | 5,26 | 0,122 | 1,43 | 16,19 | 0,94 | 2,24 | 0,064 | 0,02 | 12,95 | 0,24 | 94,80 | 2 | | | | | | | | | | | | | |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KilII/94 | Teufe Kil&KilII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|----------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 230.68-78 | 322,78 | 41,25 | 0,600 | 14,23 | 4,17 | 0,123 | 1,41 | 16,55 | 1,11 | 2,16 | 0,067 | 0,10 | 13,30 | 0,36 | 95,43 | 204 | 81 | 36 | 73 | 15 | 195 | 26 | 95 | 424 | 8 | 112 | 25 | 102 | 113 |
| 231.18-35 | 323,35 | 45,94 | 0,643 | 15,06 | 5,36 | 0,060 | 1,65 | 12,41 | 1,31 | 2,21 | 0,051 | 0,11 | 9,51 | 0,30 | 94,61 | 216 | 89 | 64 | 78 | 19 | 336 | 31 | 112 | 417 | 10 | 112 | 22 | 148 | 133 |
| 231.70-85 | 323,85 | 47,33 | 0,648 | 15,28 | 5,10 | 0,069 | 1,59 | 11,66 | 1,23 | 2,31 | 0,054 | 0,07 | 9,09 | 0,30 | 94,72 | 237 | 72 | 14 | 78 | 16 | 86 | 24 | 121 | 398 | 13 | 118 | 21 | 82 | 133 |
| 232.15-24 | 324,24 | 40,96 | 0,549 | 12,98 | 3,90 | 0,142 | 1,32 | 17,11 | 1,16 | 1,82 | 0,064 | 0,03 | 13,91 | 0,28 | 94,23 | 190 | 67 | 25 | 65 | 22 | 83 | 26 | 78 | 422 | 7 | 99 | 24 | 60 | 113 |
| 232.73-83 | 324,83 | 41,97 | 0,588 | 13,39 | 4,25 | 0,120 | 1,41 | 16,67 | 1,23 | 2,11 | 0,061 | 0,08 | 12,99 | 0,37 | 95,24 | 200 | 76 | 22 | 73 | 14 | 88 | 26 | 85 | 444 | 5 | 115 | 25 | 99 | 118 |
| 233.15-30 | 325,30 | 45,07 | 0,643 | 15,18 | 4,36 | 0,079 | 1,50 | 13,14 | 1,26 | 2,07 | 0,050 | 0,04 | 10,09 | 0,32 | 93,80 | 236 | 73 | 24 | 76 | 16 | 85 | 27 | 114 | 432 | 10 | 126 | 20 | 102 | 118 |
| 233.60-75 | 325,75 | 48,35 | 0,660 | 16,08 | 6,15 | 0,069 | 1,69 | 9,74 | 1,31 | 2,40 | 0,053 | 0,14 | 6,27 | 0,49 | 93,41 | 248 | 77 | 15 | 81 | 11 | 110 | 29 | 133 | 397 | 12 | 132 | 22 | 112 | 124 |
| 234.20-34 | 326,34 | 49,68 | 0,681 | 16,22 | 5,64 | 0,048 | 1,65 | 8,95 | 1,23 | 2,40 | 0,052 | 0,04 | 6,70 | 0,29 | 93,58 | 260 | 76 | 21 | 80 | 17 | 102 | 29 | 132 | 375 | 13 | 133 | 20 | 129 | 140 |
| 234.78-88 | 326,88 | 38,93 | 0,581 | 13,74 | 3,89 | 0,157 | 1,38 | 18,23 | 1,09 | 1,87 | 0,068 | 0,10 | 14,64 | 0,34 | 95,01 | 217 | 86 | 29 | 70 | 20 | 112 | 26 | 82 | 462 | 8 | 128 | 26 | 136 | 130 |
| 235.16-30 | 327,30 | 42,67 | 0,626 | 14,85 | 4,39 | 0,151 | 1,42 | 14,87 | 1,21 | 2,29 | 0,069 | 0,24 | 11,91 | 0,31 | 95,00 | 227 | 84 | 23 | 84 | 18 | 88 | 25 | 108 | 461 | 5 | 129 | 25 | 97 | 141 |
| 235.68-70 | 327,70 | 41,71 | 0,644 | 15,17 | 4,04 | 0,133 | 1,45 | 15,25 | 1,12 | 2,01 | 0,056 | 0,13 | 11,62 | 0,42 | 93,75 | 225 | 93 | 20 | 71 | 24 | 82 | 25 | 109 | 444 | 11 | 126 | 24 | 105 | 174 |
| 235.60-80 | 327,80 | 45,36 | 0,666 | 16,07 | 4,49 | 0,108 | 1,53 | 12,42 | 1,26 | 2,18 | 0,058 | 0,11 | 9,60 | 0,34 | 94,19 | 237 | 91 | 15 | 84 | 18 | 74 | 24 | 118 | 442 | 13 | 131 | 22 | 92 | 137 |
| 236.10-20 | 328,20 | 42,33 | 0,620 | 15,15 | 4,01 | 0,138 | 1,45 | 15,27 | 1,12 | 2,13 | 0,053 | 0,04 | 11,98 | 0,38 | 94,67 | 237 | 87 | 72 | 83 | 18 | 145 | 26 | 119 | 453 | 8 | 133 | 21 | 110 | 112 |
| 236.73-83 | 328,83 | 47,39 | 0,697 | 17,13 | 4,39 | 0,123 | 1,47 | 10,30 | 1,11 | 2,61 | 0,072 | 0,09 | 8,19 | 0,47 | 94,04 | 281 | 89 | 49 | 88 | 18 | 194 | 35 | 130 | 389 | 10 | 162 | 23 | 112 | 136 |
| 237.16-30 | 329,30 | 52,50 | 0,711 | 17,60 | 6,13 | 0,134 | 1,60 | 6,02 | 1,16 | 2,96 | 0,074 | 0,02 | 5,49 | 0,24 | 94,64 | 305 | 89 | 7 | 93 | 17 | 69 | 17 | 156 | 325 | 14 | 162 | 25 | 79 | 139 |
| 237.50 | 329,50 | 46,90 | 0,700 | 17,25 | 4,40 | 0,087 | 1,44 | 10,63 | 1,13 | 2,43 | 0,061 | 0,15 | 8,28 | 0,46 | 93,92 | 266 | 89 | 48 | 89 | 16 | 326 | 33 | 132 | 390 | 13 | 151 | 25 | 164 | 139 |
| 237.77-95 | 329,95 | 47,00 | 0,690 | 16,33 | 4,45 | 0,108 | 1,39 | 11,73 | 1,10 | 2,49 | 0,057 | 0,02 | 9,77 | 0,13 | 95,27 | 255 | 93 | 12 | 84 | 10 | 67 | 29 | 130 | 372 | 12 | 139 | 18 | 127 | 128 |
| 238.20-32 | 330,32 | 40,70 | 0,618 | 14,61 | 4,08 | 0,142 | 1,36 | 16,25 | 1,13 | 2,32 | 0,075 | 0,18 | 13,08 | 0,38 | 94,92 | 216 | 71 | 34 | 76 | 14 | 220 | 27 | 106 | 440 | 5 | 117 | 22 | 94 | 110 |
| 238.78-88 | 330,88 | 43,33 | 0,643 | 15,39 | 4,24 | 0,131 | 1,42 | 14,27 | 1,17 | 2,43 | 0,073 | 0,09 | 10,98 | 0,42 | 94,59 | 256 | 67 | 26 | 83 | 15 | 119 | 28 | 114 | 449 | 6 | 123 | 26 | 79 | 119 |
| 239.10-25 | 331,25 | 37,26 | 0,555 | 13,29 | 4,11 | 0,279 | 1,36 | 19,50 | 1,04 | 1,86 | 0,071 | 0,03 | 15,72 | 0,33 | 95,40 | 221 | 68 | 14 | 70 | 16 | 71 | 22 | 98 | 462 | 12 | 108 | 27 | 79 | 103 |
| 239.75-90 | 331,90 | 39,06 | 0,578 | 14,13 | 4,35 | 0,170 | 1,28 | 17,63 | 1,06 | 2,24 | 0,067 | 0,18 | 14,07 | 0,30 | 95,11 | 214 | 75 | 27 | 74 | 12 | 222 | 25 | 102 | 482 | 3 | 112 | 23 | 74 | 103 |
| 240.22-33 | 332,33 | 48,33 | 0,693 | 16,72 | 5,25 | 0,100 | 1,54 | 9,68 | 1,15 | 2,70 | 0,097 | 0,11 | 7,35 | 0,32 | 94,03 | 269 | 79 | 20 | 87 | 18 | 198 | 28 | 139 | 369 | 12 | 149 | 24 | 105 | 135 |
| 240.72-80 | 332,80 | 47,07 | 0,691 | 16,80 | 4,51 | 0,106 | 1,48 | 10,94 | 1,14 | 2,52 | 0,072 | 0,17 | 8,76 | 0,35 | 94,61 | 267 | 77 | 27 | 90 | 15 | 150 | 28 | 126 | 381 | 7 | 144 | 22 | 83 | 121 |
| 241.18-30 | 333,30 | 49,39 | 0,703 | 17,27 | 4,47 | 0,439 | 1,49 | 8,94 | 1,15 | 2,65 | 0,063 | 0,13 | 7,28 | 0,38 | 94,36 | 274 | 87 | 33 | 93 | 15 | 121 | 41 | 141 | 354 | 14 | 158 | 23 | 105 | 127 |
| 241.70-85 | 333,85 | 48,50 | 0,700 | 16,58 | 4,94 | 0,048 | 1,56 | 9,95 | 1,25 | 2,34 | 0,066 | 0,16 | 7,84 | 0,42 | 94,35 | 251 | 92 | 29 | 83 | 11 | 129 | 32 | 123 | 363 | 12 | 144 | 23 | 134 | 134 |
| 242.10-23 | 334,23 | 49,06 | 0,691 | 16,12 | 5,59 | 0,039 | 1,55 | 9,45 | 1,25 | 2,59 | 0,061 | 0,16 | 7,57 | 0,37 | 94,49 | 236 | 84 | 23 | 85 | 13 | 127 | 28 | 123 | 354 | 7 | 134 | 20 | 74 | 133 |
| 242.78-90 | 334,90 | 46,62 | 0,664 | 15,39 | 5,04 | 0,091 | 1,53 | 11,87 | 1,20 | 2,25 | 0,060 | 0,10 | 9,31 | 0,37 | 94,49 | 219 | 66 | 19 | 76 | 18 | 96 | 23 | 115 | 376 | 10 | 127 | 22 | 77 | 140 |
| 243.20-35 | 335,35 | 48,38 | 0,681 | 16,10 | 5,03 | 0,051 | 1,57 | 10,47 | 1,28 | 2,18 | 0,049 | 0,11 | 7,95 | 0,40 | 94,25 | 241 | 85 | 23 | 80 | 15 | 125 | 26 | 119 | 384 | 12 | 131 | 23 | 102 | 126 |
| 243.75-92 | 335,92 | 45,20 | 0,640 | 14,07 | 4,55 | 0,084 | 1,45 | 13,80 | 1,23 | 2,00 | 0,047 | 0,24 | 10,72 | 0,47 | 94,50 | 217 | 73 | 21 | 75 | 11 | 82 | 24 | 107 | 405 | 13 | 125 | 22 | 125 | 135 |
| 244.14-26 | 336,26 | 45,57 | 0,649 | 14,41 | 4,50 | 0,086 | 1,41 | 13,35 | 1,26 | 2,27 | 0,063 | 0,20 | 10,52 | 0,38 | 94,66 | 207 | 86 | 23 | 77 | 14 | 94 | 26 | 106 | 415 | 7 | 125 | 28 | 88 | 144 |
| 244.66-78 | 336,78 | 49,27 | 0,684 | 15,44 | 4,72 | 0,045 | 1,57 | 10,65 | 1,39 | 2,19 | 0,060 | 0,15 | 8,35 | 0,41 | 94,93 | 237 | 86 | 24 | 82 | 18 | 99 | 30 | 117 | 400 | 9 | 136 | 21 | 101 | 134 |
| 245.20-40 | 337,40 | 41,82 | 0,574 | 12,67 | 3,77 | 0,202 | 1,41 | 17,53 | 1,27 | 1,77 | 0,058 | 0,01 | 13,89 | 0,37 | 95,34 | 204 | 78 | 29 | 66 | 14 | 92 | 27 | 94 | 469 | 10 | 122 | 25 | 176 | 113 |
| 245.75-90 | 337,90 | 42,65 | 0,585 | 12,51 | 3,98 | 0,125 | 1,45 | 17,34 | 1,23 | 1,77 | 0,043 | 0,10 | 13,11 | 0,40 | 95,29 | 195 | 75 | 23 | 63 | 10 | 87 | 22 | 99 | 466 | 12 | 110 | 24 | 88 | 118 |
| 246.18-30 | 338,30 | 43,89 | 0,614 | 13,59 | 4,04 | 0,109 | 1,47 | 15,57 | 1,28 | 1,90 | 0,057 | 0,03 | 12,38 | 0,39 | 95,33 | 201 | 68 | 37 | 72 | 17 | 119 | 27 | 92 | 446 | 6 | 115 | 24 | 93 | 121 |
| 246.70-80 | 338,80 | 49,53 | 0,678 | 15,49 | 4,83 | 0,051 | 1,60 | 10,07 | 1,40 | 2,23 | 0,060 | 0,11 | 7,74 | 0,40 | 94,19 | 237 | 84 | 24 | 78 | 17 | 112 | 28 | 111 | 396 | 9 | 123 | 21 | 68 | 141 |
| 247.10-25 | 339,25 | 50,68 | 0,686 | 15,80 | 4,61 | 0,046 | 1,55 | 9,63 | 1,36 | 2,30 | 0,045 | 0,05 | 7,14 | 0,40 | 94,30 | 259 | 76 | 22 | 81 | 16 | 96 | 29 | 122 | 376 | 10 | 134 | 23 | 98 | 133 |
| 247.76-90 | 339,90 | 47,46 | 0,626 | 14,42 | 5,61 | 0,064 | 1,61 | 12,01 | 1,31 | 2,15 | 0,038 | 0,05 | 9,22 | 0,30 | 94,87 | 219 | 75 | 13 | 70 | 17 | 77 | 24 | 118 | 399 | 8 | 116 | 19 | 82 | 133 |
| 248.14-29 | 340,29 | 38,99 | 0,538 | 12,38 | 4,28 | 0,244 | 1,43 | 18,81 | 1,14 | 1,74 | 0,062 | 0,03 | 15,38 | 0,28 | 95,30 | 185 | 63 | 12 | 58 | 15 | 58 | 16 | 77 | 444 | 6 | 101 | 27 | 61 | 111 |
| 248.77-87 | 340,87 | 37,38 | 0,510 | 11,76 | 4,44 | 0,256 | 1,37 | 20,28 | 1,16 | 1,62 | 0,069 | 0,04 | 16,80 | 0,25 | 95,93 | 171 | 78 | 15 | 66 | 23 | 70 | 22 | 68 | 459 | 6 | 90 | 27 | 66 | 134 |
| 249.20-30 | 341,30 | 50,80 | 0,670 | 15,77 | 5,37 | 0,048 | 1,60 | 9,23 | 1,37 | 2,30 | 0,051 | 0,04 | 7,20 | 0,33 | 94,79 | 258 | 69 | 10 | 86 | 10 | 68 | 22 | 122 | 372 | 9 | 130 | 23 | 90 | 119 |
| 249.75-90 | 341,90 | 44,60 | 0,600 | 13,90 | 3,98 | 0,117 | 1,43 | 15,04 | 1,30 | 1,91 | 0,047 | 0,08 | 11,89 | 0,27 | 95,16 | 219 | 101 | 24 | 74 | 22 | 87 | 24 | 100 | 419 | 14 | 117 | 27 | 124 | 185 |
| 250.10-20 | 342,20 | 49,88 | 0,653 | 15,36 | 6,94 | 0,052 | 1,65 | 8,81 | 1,17 | 2,54 | 0,058 | 0,09 | 6,74 | 0,27 | 94,21 | 250 | 70 | 16 | 78 | 14 | 130 | 22 | 116 | 317 | 6 | 121 | 20 | 60 | 130 |
| 250.77-87 | 342,87 | 50,59 | 0,683 | 15,00 | 4,84 | 0,050 | 1,62 | 10,01 | 1,36 | 2,30 | 0,059 | 0,12 | 7,86 | 0,28 | 94,77 | 244 | 73 | 12 | 76 | 15 | 76 | 23 | 115 | 379 | 7 | 118 | 21 | 72 | 122 |
| 251.18-30 | 343,30 | 50,38 | 0,698 | 15,72 | 5,45 | 0,048 | 1,52 | 9,12 | 1,33 | 2,45 | 0,060 | 0,18 | 7,02 | 0,47 | 94,43 | 248 | 64 | 18 | 81 | 13 | 85 | 23 | 112 | 383 | 6 | 125 | 21 | 78 | 125 |
| 251.75-90 | 343,90 | 53,48 | 0,768 | 18,28 | 5,00 | 0,034 | 1,58 | 5,67 | 1,28 | 2,61 | 0,050 | 0,25 | 4,23 | 0,63 | 93,86 | 291 | 80 | 36 | 90 | 15 | 151 | | | | | | | | |

A1.3. Kirchrade II/94-Gesamtgestein (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 254.78-87 | 346.87 | 56,10 | 0,804 | 19,18 | 5,33 | 0,032 | 1,59 | 3,35 | 1,25 | 3,02 | 0,062 | 0,18 | 2,25 | 0,56 | 93,71 | 328 | 80 | 37 | 99 | 18 | 219 | 38 | 140 | 275 | 10 | 170 | 21 | 150 | 137 |
| 255.10-30 | 347,30 | 55,47 | 0,758 | 17,28 | 4,92 | 0,021 | 1,57 | 5,26 | 1,23 | 2,73 | 0,044 | 0,16 | 3,59 | 0,40 | 93,43 | 310 | 82 | 23 | 91 | 12 | 105 | 33 | 142 | 302 | 13 | 151 | 21 | 111 | 133 |
| 255.80-95 | 347,95 | 47,90 | 0,635 | 13,22 | 4,65 | 0,069 | 1,55 | 13,23 | 1,37 | 1,88 | 0,051 | 0,30 | 9,90 | 0,55 | 95,31 | 200 | 78 | 21 | 68 | 14 | 98 | 24 | 95 | 446 | 9 | 108 | 24 | 91 | 131 |
| 256.30-40 | 348,40 | 53,12 | 0,674 | 14,52 | 4,70 | 0,036 | 1,60 | 8,79 | 1,34 | 2,25 | 0,045 | 0,16 | 6,69 | 0,41 | 94,33 | 230 | 71 | 18 | 74 | 13 | 81 | 23 | 123 | 377 | 10 | 119 | 20 | 82 | 124 |
| 256.80-90 | 348,90 | 50,19 | 0,640 | 14,20 | 4,17 | 0,066 | 1,56 | 11,37 | 1,34 | 2,07 | 0,041 | 0,19 | 8,94 | 0,40 | 95,17 | 245 | 76 | 19 | 70 | 14 | 84 | 22 | 114 | 395 | 10 | 109 | 21 | 77 | 122 |
| 257.20-35 | 349,35 | 56,55 | 0,679 | 15,36 | 4,33 | 0,028 | 1,63 | 6,69 | 1,37 | 2,33 | 0,045 | 0,08 | 4,99 | 0,43 | 94,52 | 285 | 73 | 32 | 78 | 13 | 108 | 28 | 123 | 329 | 12 | 122 | 22 | 95 | 138 |
| 257.70-85 | 349,85 | 52,60 | 0,620 | 12,67 | 4,55 | 0,065 | 1,62 | 10,80 | 1,47 | 1,80 | 0,062 | 0,32 | 8,61 | 0,63 | 95,81 | 195 | 81 | 20 | 72 | 10 | 102 | 24 | 85 | 417 | 8 | 106 | 24 | 121 | 143 |
| 258.16-27 | 350,27 | 56,53 | 0,743 | 17,28 | 5,60 | 0,015 | 1,73 | 4,36 | 1,37 | 2,52 | 0,060 | 0,24 | 2,89 | 0,54 | 93,88 | 266 | 81 | 23 | 91 | 17 | 97 | 29 | 138 | 324 | 10 | 138 | 20 | 79 | 131 |
| 258.60-75 | 350,75 | 57,55 | 0,759 | 18,56 | 5,50 | 0,023 | 1,71 | 2,55 | 1,37 | 2,87 | 0,042 | 0,15 | 1,78 | 0,58 | 93,44 | 306 | 69 | 23 | 96 | 13 | 139 | 35 | 156 | 291 | 14 | 174 | 19 | 116 | 124 |
| 259.20-37 | 351,37 | 56,80 | 0,780 | 18,05 | 5,48 | 0,020 | 1,73 | 3,59 | 1,34 | 2,58 | 0,055 | 0,26 | 2,65 | 0,56 | 93,89 | 292 | 78 | 26 | 99 | 14 | 123 | 33 | 136 | 298 | 13 | 153 | 20 | 107 | 134 |
| 259.70-85 | 351,85 | 53,55 | 0,653 | 13,85 | 5,10 | 0,041 | 1,60 | 9,00 | 1,42 | 1,86 | 0,055 | 0,59 | 6,91 | 0,61 | 95,23 | 221 | 81 | 24 | 72 | 18 | 116 | 26 | 102 | 384 | 10 | 109 | 22 | 85 | 147 |
| 260.27-37 | 352,37 | 54,94 | 0,658 | 14,19 | 5,03 | 0,039 | 1,75 | 7,74 | 1,54 | 1,97 | 0,049 | 0,42 | 6,12 | 0,56 | 95,00 | 224 | 74 | 17 | 77 | 13 | 94 | 25 | 101 | 374 | 9 | 111 | 19 | 84 | 140 |
| 260.80-92 | 352,92 | 57,00 | 0,662 | 13,84 | 5,74 | 0,033 | 1,80 | 6,27 | 1,59 | 2,00 | 0,066 | 0,38 | 4,53 | 0,53 | 94,43 | 225 | 78 | 17 | 74 | 17 | 95 | 24 | 100 | 359 | 8 | 106 | 20 | 67 | 157 |
| 261.15-27 | 353,27 | 58,27 | 0,753 | 16,61 | 5,03 | 0,019 | 1,69 | 3,60 | 1,52 | 2,32 | 0,042 | 0,24 | 2,44 | 0,55 | 93,08 | 245 | 81 | 22 | 84 | 12 | 89 | 30 | 125 | 308 | 13 | 127 | 16 | 139 | 136 |
| 261.70-83 | 353,83 | 57,67 | 0,787 | 17,87 | 5,37 | 0,021 | 1,75 | 3,23 | 1,45 | 2,57 | 0,048 | 0,14 | 2,24 | 0,52 | 93,66 | 291 | 76 | 19 | 96 | 19 | 102 | 32 | 137 | 300 | 12 | 143 | 23 | 100 | 142 |
| 262.22-34 | 354,34 | 54,46 | 0,751 | 16,38 | 5,71 | 0,030 | 1,80 | 5,84 | 1,49 | 2,26 | 0,057 | 0,42 | 4,38 | 0,62 | 94,19 | 241 | 98 | 24 | 83 | 23 | 112 | 31 | 125 | 342 | 12 | 122 | 21 | 115 | 158 |
| 262.70-82 | 354,82 | 55,35 | 0,722 | 16,59 | 6,13 | 0,027 | 1,78 | 5,11 | 1,43 | 2,56 | 0,058 | 0,13 | 3,52 | 0,45 | 93,86 | 261 | 74 | 13 | 87 | 16 | 103 | 26 | 127 | 314 | 9 | 134 | 21 | 78 | 132 |
| 263.18-30 | 355,30 | 57,12 | 0,685 | 15,89 | 5,09 | 0,022 | 1,63 | 5,25 | 1,42 | 2,54 | 0,065 | 0,23 | 3,74 | 0,45 | 94,13 | 252 | 85 | 20 | 83 | 17 | 105 | 28 | 115 | 313 | 7 | 122 | 22 | 98 | 137 |
| 263.75-90 | 355,90 | 54,08 | 0,630 | 14,59 | 5,19 | 0,044 | 1,81 | 8,14 | 1,58 | 1,90 | 0,056 | 0,26 | 6,25 | 0,54 | 95,07 | 214 | 81 | 16 | 71 | 24 | 91 | 26 | 98 | 377 | 11 | 105 | 27 | 139 | 151 |
| 264.10-22 | 356,22 | 57,83 | 0,656 | 15,99 | 5,23 | 0,034 | 1,80 | 4,57 | 1,69 | 2,05 | 0,071 | 0,39 | 3,37 | 0,57 | 94,24 | 186 | 92 | 22 | 79 | 32 | 103 | 28 | 106 | 337 | 11 | 108 | 23 | 85 | 171 |
| 264.78-90 | 356,90 | 49,53 | 0,606 | 13,21 | 4,86 | 0,095 | 1,70 | 11,62 | 1,47 | 1,85 | 0,055 | 0,19 | 9,23 | 0,56 | 94,97 | 201 | 73 | 16 | 66 | 18 | 81 | 25 | 101 | 431 | 10 | 104 | 23 | 93 | 124 |
| 265.23-35 | 357,35 | 55,29 | 0,666 | 14,57 | 4,91 | 0,037 | 1,71 | 7,46 | 1,49 | 2,00 | 0,050 | 0,33 | 5,68 | 0,58 | 94,77 | 233 | 78 | 20 | 74 | 15 | 87 | 29 | 109 | 363 | 8 | 110 | 20 | 85 | 128 |
| 265.80-95 | 357,95 | 53,53 | 0,588 | 12,87 | 4,77 | 0,059 | 1,61 | 10,12 | 1,44 | 1,79 | 0,049 | 0,09 | 7,82 | 0,48 | 95,21 | 212 | 80 | 14 | 70 | 15 | 81 | 24 | 92 | 390 | 10 | 103 | 20 | 106 | 133 |
| 266.15-26 | 358,26 | 49,93 | 0,601 | 13,09 | 4,82 | 0,077 | 1,69 | 11,50 | 1,44 | 1,84 | 0,050 | 0,31 | 9,34 | 0,49 | 95,18 | 208 | 68 | 17 | 67 | 15 | 85 | 23 | 96 | 404 | 8 | 103 | 20 | 89 | 135 |
| 266.65-77 | 358,77 | 53,90 | 0,670 | 14,80 | 5,18 | 0,049 | 1,73 | 7,72 | 1,52 | 2,06 | 0,068 | 0,31 | 6,12 | 0,54 | 94,67 | 220 | 83 | 20 | 76 | 20 | 90 | 26 | 98 | 373 | 7 | 115 | 23 | 80 | 157 |
| 267.10-25 | 359,25 | 56,88 | 0,731 | 16,48 | 5,56 | 0,028 | 1,78 | 4,70 | 1,49 | 2,26 | 0,049 | 0,26 | 3,37 | 0,62 | 94,20 | 245 | 82 | 19 | 83 | 20 | 93 | 25 | 122 | 333 | 10 | 129 | 21 | 129 | 177 |
| 267.60-80 | 359,80 | 53,68 | 0,733 | 16,76 | 5,56 | 0,063 | 1,75 | 6,21 | 1,37 | 2,19 | 0,052 | 0,23 | 3,22 | 0,63 | 92,45 | 254 | 86 | 31 | 83 | 24 | 113 | 28 | 122 | 354 | 13 | 138 | 22 | 119 | 196 |
| 268.20-30 | 360,30 | 53,88 | 0,726 | 17,35 | 6,36 | 0,034 | 1,74 | 5,22 | 1,33 | 2,59 | 0,045 | 0,22 | 3,77 | 0,45 | 93,72 | 257 | 84 | 17 | 89 | 22 | 97 | 31 | 141 | 321 | 10 | 146 | 18 | 102 | 155 |
| 268.80-90 | 360,90 | 53,50 | 0,760 | 19,10 | 5,65 | 0,091 | 1,66 | 4,44 | 1,29 | 2,71 | 0,058 | 0,23 | 3,49 | 0,54 | 93,51 | 268 | 108 | 25 | 95 | 24 | 137 | 32 | 142 | 295 | 19 | 161 | 25 | 126 | 221 |
| 269.25-40 | 361,40 | 56,78 | 0,791 | 18,43 | 5,71 | 0,022 | 1,73 | 3,06 | 1,30 | 2,68 | 0,056 | 0,14 | 2,28 | 0,52 | 93,50 | 294 | 93 | 23 | 95 | 18 | 127 | 37 | 139 | 285 | 13 | 146 | 23 | 132 | 151 |
| 269.80-90 | 361,90 | 53,55 | 0,751 | 17,15 | 6,24 | 0,026 | 1,69 | 5,87 | 1,25 | 2,60 | 0,046 | 0,17 | 4,30 | 0,38 | 94,01 | 283 | 74 | 19 | 92 | 17 | 123 | 34 | 139 | 314 | 15 | 146 | 23 | 115 | 135 |
| 270.19-31 | 362,31 | 53,54 | 0,773 | 17,27 | 5,39 | 0,036 | 1,57 | 5,89 | 1,35 | 2,58 | 0,066 | 0,31 | 4,47 | 0,58 | 93,82 | 247 | 95 | 25 | 92 | 17 | 109 | 30 | 121 | 331 | 9 | 137 | 22 | 111 | 153 |
| 270.70-82 | 362,82 | 50,55 | 0,732 | 16,16 | 5,10 | 0,077 | 1,51 | 8,69 | 1,20 | 2,28 | 0,050 | 0,25 | 6,45 | 0,50 | 93,54 | 231 | 88 | 20 | 86 | 16 | 91 | 28 | 124 | 353 | 13 | 137 | 20 | 97 | 151 |
| 271.19-30 | 363,30 | 50,28 | 0,741 | 16,47 | 6,07 | 0,108 | 1,51 | 7,51 | 1,16 | 2,37 | 0,053 | 0,70 | 6,15 | 0,47 | 93,59 | 242 | 95 | 25 | 89 | 17 | 141 | 38 | 127 | 316 | 13 | 140 | 24 | 123 | 172 |
| 271.70-85 | 363,85 | 53,00 | 0,780 | 18,26 | 5,72 | 0,031 | 1,64 | 5,21 | 1,31 | 2,73 | 0,046 | 0,13 | 3,87 | 0,42 | 93,14 | 274 | 89 | 17 | 96 | 12 | 92 | 26 | 145 | 314 | 13 | 156 | 20 | 105 | 137 |
| 272.18-30 | 364,30 | 53,08 | 0,785 | 18,86 | 5,60 | 0,055 | 1,62 | 4,69 | 1,22 | 2,88 | 0,063 | 0,29 | 3,92 | 0,48 | 93,54 | 288 | 93 | 24 | 101 | 16 | 98 | 33 | 141 | 294 | 10 | 167 | 20 | 83 | 135 |
| 272.70-80 | 364,80 | 52,74 | 0,772 | 19,14 | 4,76 | 0,052 | 1,45 | 5,66 | 1,12 | 3,27 | 0,059 | 0,07 | 4,62 | 0,41 | 94,11 | 332 | 87 | 25 | 104 | 14 | 120 | 39 | 151 | 292 | 9 | 200 | 22 | 68 | 129 |
| 273.25-37 | 365,37 | 54,68 | 0,784 | 19,07 | 4,88 | 0,040 | 1,48 | 4,66 | 1,11 | 3,04 | 0,049 | 0,03 | 3,50 | 0,34 | 93,66 | 340 | 90 | 7 | 101 | 15 | 63 | 36 | 153 | 279 | 13 | 181 | 22 | 107 | 136 |
| 273.70-80 | 365,80 | 51,30 | 0,808 | 18,57 | 5,22 | 0,090 | 1,53 | 5,77 | 1,19 | 2,67 | 0,096 | 0,38 | 4,77 | 0,58 | 92,97 | 306 | 83 | 38 | 97 | 21 | 130 | 34 | 132 | 289 | 12 | 160 | 21 | 110 | 136 |
| 274.75-85 | 366,85 | 51,40 | 0,770 | 17,43 | 5,15 | 0,055 | 1,55 | 7,44 | 1,27 | 2,39 | 0,051 | 0,32 | 5,75 | 0,60 | 94,17 | 232 | 90 | 29 | 92 | 15 | 110 | 30 | 125 | 326 | 12 | 140 | 21 | 118 | 141 |
| 275.25-35 | 367,35 | 48,04 | 0,710 | 16,38 | 4,84 | 0,111 | 1,49 | 10,24 | 1,19 | 2,27 | 0,052 | 0,23 | 7,89 | 0,56 | 94,01 | 245 | 80 | 21 | 85 | 17 | 96 | 23 | 122 | 346 | 10 | 138 | 22 | 103 | 125 |
| 275.80-90 | 367,90 | 54,39 | 0,797 | 18,96 | 5,43 | 0,026 | 1,59 | 3,39 | 1,30 | 2,87 | 0,064 | 0,15 | 2,67 | 0,53 | 92,17 | 291 | 86 | 19 | 98 | 21 | 118 | 34 | 142 | 272 | 11 | 166 | 18 | 109 | 130 |
| 276.18-30 | 368,30 | 54,16 | 0,791 | 18,69 | 6,60 | 0,028 | 1,72 | 3,68 | 1,24 | 2,91 | 0,066 | 0,14 | 2,60 | 0,52 | 93,14 | 298 | 90 | 19 | 100 | 19 | 148 | 43 | 145 | 282 | 13 | 168 | 22 | 109 | 137 |
| 276.85-99 | 368,99 | 56,61 | 0,823 | 19,58 | 6,58 | 0,023 | 1,75 | 1,24 | 1,27 | 3,26 | 0,065 | 0,17 | 1,09 | 0,58 | 93,04 | 309 | 98 | 25 | 104 | 17 | 138 | 34 | 154 | 252 | 13 | 191 | 22 | 87 | 152 |
| 277.15-25 | 369,25 | 56,35 | 0,840 | 19,67 | 6,07 | 0,036 | 1,76 | 2,10 | 1,20 | 2,87 | 0,052 | 0,37 | 1,53 | 0,47 | 93,31 | 319 | 85 | 37 | 108 | 20 | 420 | 37 | 152 | | | | | | |

A1.4. Kirchrode II/94-Lanthaniden [$\mu\text{g/g}$]

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
|---------------------------|--------------------|----|-----|------|----|------|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| 141 17-34 | 233,34 | 34 | 73 | 7,6 | 29 | 5,5 | 1,2 | 5,1 | 0,72 | 4,0 | 0,73 | 2,1 | 0,32 | 2,0 | 0,28 |
| 141 76-90 | 233,90 | 33 | 70 | 7,3 | 28 | 5,3 | 1,1 | 4,9 | 0,70 | 4,0 | 0,72 | 2,1 | 0,31 | 1,9 | 0,28 |
| 206 15-25 | 298,25 | 45 | 107 | 9,9 | 35 | 6,2 | 1,2 | 5,8 | 0,82 | 4,8 | 0,91 | 2,7 | 0,41 | 2,7 | 0,40 |
| 215 19-32 | 307,32 | 42 | 111 | 9,6 | 36 | 6,6 | 1,3 | 6,0 | 0,83 | 4,9 | 0,90 | 2,7 | 0,41 | 2,5 | 0,38 |
| 218 70-80 | 310,80 | 30 | 74 | 7,5 | 29 | 5,6 | 1,2 | 5,5 | 0,78 | 4,5 | 0,85 | 2,5 | 0,34 | 2,5 | 0,30 |
| 219 23-36 | 311,36 | 38 | 92 | 8,7 | 33 | 5,9 | 1,3 | 5,7 | 0,79 | 4,6 | 0,84 | 2,5 | 0,38 | 2,4 | 0,38 |
| 219 44-50 | 311,50 | 40 | 100 | 9,2 | 35 | 6,4 | 1,3 | 6,3 | 0,87 | 4,8 | 0,88 | 2,6 | 0,38 | 2,4 | 0,36 |
| 219 56 | 311,56 | 35 | 81 | 8,2 | 31 | 6,0 | 1,3 | 5,7 | 0,83 | 5,1 | 1,02 | 2,8 | 0,39 | 2,5 | 0,38 |
| 219 62-65 | 311,65 | 35 | 82 | 8,1 | 31 | 6,1 | 1,3 | 5,9 | 0,90 | 5,1 | 0,98 | 2,8 | 0,39 | 2,5 | 0,37 |
| 220 17-28 | 312,28 | 34 | 76 | 7,8 | 28 | 5,5 | 1,1 | 5,1 | 0,73 | 4,2 | 0,81 | 2,3 | 0,34 | 2,3 | 0,34 |
| 220 70-80 | 312,80 | 33 | 73 | 7,6 | 29 | 5,8 | 1,2 | 5,4 | 0,79 | 4,6 | 0,86 | 2,5 | 0,34 | 2,2 | 0,33 |
| 221 13-27 | 313,27 | 37 | 91 | 9,4 | 38 | 7,4 | 1,6 | 7,4 | 0,99 | 5,2 | 1,01 | 2,7 | 0,37 | 2,4 | 0,32 |
| 221 77-93 | 313,93 | 60 | 142 | 13,4 | 49 | 8,8 | 1,6 | 8,3 | 1,27 | 7,2 | 1,36 | 4,0 | 0,60 | 3,6 | 0,54 |
| 222 12-26 | 314,26 | 35 | 75 | 7,8 | 30 | 5,7 | 1,2 | 5,6 | 0,86 | 5,1 | 0,96 | 2,7 | 0,39 | 2,5 | 0,36 |
| 222 75-85 | 314,85 | 35 | 83 | 8,5 | 32 | 6,6 | 1,4 | 6,2 | 0,91 | 5,4 | 1,07 | 2,9 | 0,42 | 2,8 | 0,38 |
| 223 13-26 | 315,26 | 39 | 94 | 9,1 | 33 | 6,5 | 1,3 | 6,1 | 0,86 | 4,9 | 0,97 | 2,8 | 0,38 | 2,6 | 0,35 |
| 223 80-95 | 315,95 | 34 | 78 | 7,9 | 31 | 6,3 | 1,3 | 5,7 | 0,83 | 5,0 | 0,96 | 2,7 | 0,39 | 2,6 | 0,38 |
| 224 23-34 | 316,34 | 34 | 80 | 7,8 | 30 | 6,1 | 1,3 | 5,9 | 0,86 | 5,0 | 0,95 | 2,7 | 0,39 | 2,6 | 0,36 |
| 224 72-82 | 316,82 | 35 | 83 | 8,2 | 31 | 6,1 | 1,3 | 5,7 | 0,77 | 4,6 | 0,89 | 2,6 | 0,36 | 2,4 | 0,35 |
| 225 25-38 | 317,38 | 36 | 84 | 8,1 | 30 | 5,7 | 1,2 | 5,4 | 0,78 | 4,5 | 0,86 | 2,4 | 0,38 | 2,3 | 0,35 |
| 225 70-85 | 317,85 | 37 | 81 | 8,0 | 31 | 5,7 | 1,1 | 5,3 | 0,75 | 4,4 | 0,83 | 2,5 | 0,38 | 2,4 | 0,35 |
| 226 10-26 | 318,26 | 32 | 78 | 7,5 | 28 | 5,6 | 1,1 | 5,3 | 0,75 | 4,3 | 0,82 | 2,5 | 0,35 | 2,4 | 0,31 |
| 226 70-80 | 318,80 | 39 | 88 | 8,8 | 34 | 6,5 | 1,3 | 5,9 | 0,81 | 4,8 | 0,88 | 2,7 | 0,40 | 2,4 | 0,36 |
| 227 15-30 | 319,30 | 39 | 88 | 8,7 | 33 | 6,2 | 1,3 | 5,9 | 0,79 | 4,9 | 0,85 | 2,6 | 0,39 | 2,5 | 0,36 |
| 227 73-78 | 319,30 | 35 | 79 | 8,1 | 32 | 6,1 | 1,2 | 5,8 | 0,81 | 4,8 | 0,89 | 2,7 | 0,39 | 2,5 | 0,41 |
| 249 75-90 | 341,90 | 38 | 93 | 8,6 | 31 | 5,9 | 1,1 | 5,7 | 0,82 | 4,8 | 0,93 | 2,7 | 0,37 | 2,4 | 0,30 |
| 266 65-77 | 358,77 | 33 | 91 | 7,6 | 28 | 5,2 | 1,1 | 5,3 | 0,76 | 4,3 | 0,82 | 2,3 | 0,33 | 2,2 | 0,30 |
| 267 60-80 | 359,80 | 39 | 106 | 9,1 | 35 | 6,6 | 1,2 | 6,2 | 0,83 | 5,1 | 0,92 | 2,7 | 0,39 | 2,6 | 0,34 |
| 268 80-90 | 360,90 | 44 | 107 | 10,0 | 38 | 7,0 | 1,2 | 6,5 | 0,89 | 5,5 | 1,02 | 3,2 | 0,46 | 3,0 | 0,39 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe/Mn-Konkretionen | | | | | | | | | | | | | | | |
| 187,21 (Kon.) | 279,21 | 54 | 293 | 20,6 | 95 | 22,8 | 5,1 | 23,3 | 2,97 | 15,7 | 2,53 | 5,9 | 0,64 | 3,5 | 0,48 |
| 212,23 (Kon.) | 304,23 | 36 | 153 | 13,8 | 62 | 12,8 | 2,8 | 11,8 | 1,42 | 7,4 | 1,23 | 3,0 | 0,36 | 2,1 | 0,31 |
| 217,90 (Kon.) | 309,90 | 48 | 215 | 18,5 | 82 | 18,6 | 4,0 | 17,1 | 2,04 | 10,5 | 1,70 | 4,0 | 0,48 | 2,8 | 0,40 |

A1.5. Kirchrode II/94-Konkretionen (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KiI/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-------|-----|-----|----|----|------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 149.65 (Kon.) | 241,65 | 21,04 | 0,310 | 7,86 | 9,85 | 13,03 | 2,34 | 14,11 | 0,77 | 1,21 | 2,53 | 0,32 | 21,01 | 0,31 | 94,69 | 6343 | 91 | 22 | 25 | 11 | 73 | 21 | 63 | 525 | 12 | 178 | 73 | 140 | 43 |
| 163.77 (Kon.) | 255,77 | 16,04 | 0,229 | 5,72 | 12,78 | 14,11 | 2,65 | 15,67 | 0,57 | 0,92 | 1,46 | 0,15 | 26,58 | 0,32 | 97,20 | 172 | 175 | 55 | 12 | 8 | 384 | 26 | 50 | 400 | 15 | 183 | 82 | 228 | 35 |
| 166.35 (Kon.) | 258,35 | 17,31 | 0,238 | 6,38 | 10,04 | 14,36 | 2,30 | 16,55 | 0,80 | 0,88 | 3,55 | 0,12 | 22,85 | 0,42 | 95,79 | 139 | 242 | 16 | 18 | 6 | 67 | 18 | 47 | 576 | 13 | 189 | 102 | 110 | 42 |
| 169.20 (Kon.) | 261,20 | 14,62 | 0,209 | 5,44 | 12,67 | 15,26 | 2,55 | 15,52 | 0,62 | 0,79 | 2,56 | 0,28 | 25,85 | 0,30 | 96,67 | 130 | 215 | 25 | 9 | 8 | 136 | 23 | 49 | 457 | 13 | 192 | 88 | 189 | 38 |
| 170.19 (Kon.) | 262,19 | 14,86 | 0,226 | 5,40 | 11,38 | 15,91 | 2,49 | 14,87 | 0,51 | 0,87 | 0,54 | 0,52 | 27,72 | 0,34 | 95,64 | 13922 | | 43 | 13 | 15 | 309 | 30 | 43 | 407 | 21 | 193 | 49 | 280 | 41 |
| 175.85 (Kon.) | 267,85 | 16,98 | 0,280 | 6,70 | 21,36 | 11,38 | 2,99 | 9,57 | 0,52 | 1,05 | 0,90 | 0,10 | 25,61 | 0,39 | 97,83 | 1303 | 102 | | 29 | 7 | 35 | 18 | 57 | 257 | 20 | 201 | 65 | 122 | 54 |
| 181.35 (Kon.) | 273,35 | 12,66 | 0,182 | 4,67 | 14,54 | 14,24 | 2,58 | 16,89 | 0,64 | 0,69 | 3,82 | 0,27 | 25,87 | 0,31 | 97,35 | 146 | 344 | 33 | 7 | | 183 | 22 | 37 | 511 | 13 | 178 | 124 | 218 | 26 |
| 183.93 (Kon.) | 275,93 | 20,30 | 0,281 | 7,02 | 6,06 | 16,87 | 1,95 | 15,71 | 0,79 | 1,00 | 2,50 | 0,18 | 22,53 | 0,27 | 95,46 | 143 | 175 | 44 | 19 | 9 | 176 | 21 | 51 | 476 | 14 | 211 | 80 | 162 | 50 |
| 188.25 (Kon.) | 280,25 | 9,53 | 0,139 | 3,58 | 5,68 | 18,85 | 1,67 | 20,12 | 0,54 | 0,67 | 5,20 | 0,27 | 26,64 | 0,33 | 93,22 | 324 | 380 | 19 | | 11 | 61 | 17 | 11 | 627 | 14 | 206 | 110 | 59 | 34 |
| 197.82 (Kon.) | 289,82 | 14,68 | 0,254 | 6,09 | 27,09 | 8,71 | 3,31 | 8,99 | 0,44 | 0,89 | 0,55 | 0,10 | 28,46 | 0,25 | 99,80 | 452 | 89 | | 26 | 10 | 20 | 17 | 53 | 220 | 17 | 224 | 57 | 145 | 51 |
| 198.25 (Kon.) | 290,25 | 28,46 | 0,464 | 11,56 | 6,68 | 8,38 | 1,78 | 14,75 | 0,87 | 1,65 | 3,03 | | | | | 4590 | 162 | 24 | 55 | 14 | 110 | 31 | 79 | 599 | 16 | 189 | 84 | 127 | 85 |
| 211.95 (Kon.) | 303,95 | 10,89 | 0,171 | 4,32 | 28,66 | 8,70 | 3,35 | 11,22 | 0,42 | 0,66 | 1,33 | | | | | 100 | 143 | 17 | 19 | 8 | 146 | 23 | 43 | 272 | 18 | 175 | 72 | 269 | 36 |
| 213.30 (Kon.) | 305,30 | 10,96 | 0,182 | 4,45 | 31,00 | 6,87 | 3,40 | 9,62 | 0,52 | 0,66 | 1,85 | 0,26 | 28,56 | 0,20 | 98,54 | 7724 | 105 | | 22 | 12 | 16 | 12 | 37 | 306 | 22 | 231 | 95 | 100 | 38 |
| 215.95 (Kon.) | 307,95 | 31,07 | 0,489 | 11,44 | 7,53 | 1,97 | 1,64 | 19,15 | 1,06 | 1,72 | 3,97 | 0,20 | 13,82 | 0,31 | 94,37 | 210 | 305 | 52 | 54 | 12 | 215 | 27 | 81 | 634 | 9 | 122 | 102 | 133 | 102 |
| 231.85 (Kon.) | 323,85 | 13,81 | 0,187 | 4,28 | 21,41 | 3,57 | 2,23 | 19,76 | 0,87 | 0,69 | 9,14 | 0,53 | 19,62 | 0,26 | 96,35 | 249 | 486 | 254 | 17 | 4 | 1061 | 48 | 38 | 799 | 14 | 92 | 222 | 443 | 35 |
| 236.20 (Kon.) | 328,20 | 9,62 | 0,142 | 3,35 | 28,04 | 11,37 | 2,90 | 10,98 | 0,47 | 0,46 | 2,33 | 0,18 | 29,71 | 0,13 | 99,69 | 1535 | 171 | 25 | 8 | 8 | 142 | 24 | 33 | 308 | 16 | 156 | 95 | 199 | 33 |
| 237.30 (Kon.) | 329,30 | 14,14 | 0,192 | 4,61 | 28,25 | 11,08 | 3,01 | 7,84 | 0,45 | 0,75 | 0,94 | | | | | 105 | 104 | 6 | 16 | 10 | 72 | 26 | 49 | 214 | 18 | 181 | 72 | 180 | 47 |
| 237.95 (Kon.) | 329,95 | 14,06 | 0,198 | 4,55 | 13,47 | 17,94 | 2,31 | 13,83 | 0,51 | 0,76 | 2,31 | 0,48 | 26,80 | 0,28 | 97,51 | 215 | 186 | 84 | 4 | 6 | 666 | 41 | 45 | 328 | 18 | 256 | 94 | 294 | 41 |

| Probe KiI/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|
| 187.21 (Kon.) | 279,21 | 10,96 | 0,174 | 4,06 | 4,63 | 22,22 | 1,80 | 19,69 | 0,47 | 0,59 | 4,29 | 0,13 | 27,31 | 0,20 | 96,53 | 693 | 293 | 28 | 29 | 4 | 95 | 19 | 33 | 579 | 9 | 236 | 105 | 125 | 30 |
| 212.23 (Kon.) | 304,23 | 7,23 | 0,124 | 2,95 | 33,21 | 8,21 | 3,50 | 10,24 | 0,38 | 0,64 | 1,38 | 0,07 | 31,45 | 0,12 | 99,50 | 879 | 153 | 6 | 18 | 3 | 38 | 5 | 21 | 223 | 10 | 144 | 54 | 43 | 27 |
| 217.90 (Kon.) | 309,90 | 10,50 | 0,167 | 3,87 | 23,32 | 11,85 | 3,01 | 13,00 | 0,50 | 0,60 | 2,12 | 0,21 | 29,48 | 0,14 | 98,77 | 405 | 215 | 80 | 28 | 4 | 449 | 29 | 37 | 307 | 20 | 174 | 80 | 297 | 33 |

| Probe KiI/94 | Teufe KiI&KiII [m] | Bi | Cs | Cu | Hf | Li | Sb | Sc | Sn | Tl | U |
|---------------|--------------------|------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|------|---|
| 187.21 (Kon.) | 279,21 | 0,10 | 2,0 | 36 | 0,3 | 29 | 0,2 | 7 | 1,1 | 0,18 | 5 |
| 212.23 (Kon.) | 304,23 | 0,05 | 1,5 | 6 | 0,5 | 32 | 0,3 | 10 | 1,4 | 0,11 | 7 |
| 217.90 (Kon.) | 309,90 | 0,11 | 1,8 | 22 | 0,3 | 36 | 0,9 | 11 | 1,5 | 0,18 | 7 |

A1.6. Kirchrode II/94-Hintergrundsediment, vulk. Lage (Hauptelemente [%], Spurenelemente [µg/g])

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|------|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 141.17-34 | 233,34 | 36,76 | 0,567 | 14,28 | 4,80 | 0,258 | 1,63 | 17,96 | 0,97 | 2,24 | 0,078 | 0,09 | 13,52 | 0,59 | 93,74 | 232 | 63 | 29 | 73 | 14 | 115 | 22 | 114 | 557 | 9 | 120 | 22 | 110 | 94 |
| 141.76-90 | 233,90 | 34,18 | 0,533 | 13,41 | 4,42 | 0,335 | 1,52 | 20,67 | 0,92 | 2,11 | 0,063 | 0,03 | 16,51 | 0,37 | 95,07 | 219 | 57 | 30 | 67 | 14 | 106 | 25 | 114 | 624 | 9 | 112 | 22 | 103 | 84 |
| 218.70-80 | 310,80 | 37,63 | 0,635 | 13,83 | 5,10 | 0,279 | 1,54 | 17,96 | 1,06 | 2,11 | 0,066 | 0,08 | 14,44 | 0,23 | 94,95 | 1155 | 69 | 23 | 70 | 16 | 133 | 24 | 105 | 491 | 9 | 115 | 26 | 90 | 104 |
| 220.17-28 | 312,28 | 41,64 | 0,690 | 15,64 | 4,51 | 0,158 | 1,47 | 14,73 | 1,10 | 2,53 | 0,057 | 0,03 | 12,02 | 0,32 | 94,90 | 262 | 79 | 29 | 83 | 14 | 124 | 31 | 117 | 499 | 11 | 150 | 21 | 153 | 114 |
| 220.70-80 | 312,80 | 34,49 | 0,612 | 12,91 | 4,15 | 0,275 | 1,39 | 21,23 | 0,90 | 1,88 | 0,050 | 0,03 | 17,20 | 0,24 | 95,36 | 204 | 74 | 35 | 64 | 16 | 162 | 25 | 89 | 500 | 9 | 129 | 27 | 151 | 103 |
| 223.13-26 | 315,26 | 43,77 | 0,748 | 16,39 | 5,62 | 0,096 | 1,51 | 12,27 | 1,06 | 2,50 | 0,064 | 0,07 | 9,45 | 0,40 | 93,94 | 283 | 89 | 25 | 89 | 22 | 97 | 36 | 132 | 412 | 12 | 166 | 26 | 116 | 143 |
| 224.72-82 | 316,82 | 39,69 | 0,637 | 14,86 | 4,24 | 0,163 | 1,38 | 16,54 | 0,89 | 2,26 | 0,079 | 0,06 | 13,50 | 0,42 | 94,71 | 289 | 73 | 11 | 82 | 17 | 83 | 28 | 124 | 440 | 11 | 160 | 24 | 145 | 119 |
| 225.25-38 | 317,38 | 37,58 | 0,598 | 14,34 | 6,81 | 0,295 | 1,53 | 15,85 | 0,87 | 2,18 | 0,071 | 0,08 | 14,05 | 0,31 | 94,56 | 287 | 78 | 19 | 74 | 12 | 110 | 29 | 123 | 399 | 10 | 147 | 25 | 100 | 112 |
| 225.70-85 | 317,85 | 42,93 | 0,695 | 17,27 | 4,95 | 0,151 | 1,50 | 12,31 | 0,96 | 2,59 | 0,063 | 0,09 | 9,93 | 0,44 | 93,88 | 282 | 80 | 30 | 91 | 18 | 183 | 35 | 140 | 382 | 12 | 162 | 23 | 159 | 128 |
| 226.10-26 | 318,26 | 40,50 | 0,643 | 16,09 | 5,90 | 0,175 | 1,51 | 14,01 | 0,93 | 2,46 | 0,064 | 0,02 | 11,63 | 0,34 | 94,27 | 279 | 83 | 16 | 83 | 18 | 120 | 37 | 133 | 381 | 10 | 156 | 25 | 114 | 131 |
| 226.70-80 | 318,80 | 41,80 | 0,659 | 16,43 | 5,54 | 0,178 | 1,53 | 13,06 | 0,97 | 2,49 | 0,079 | 0,04 | 10,92 | 0,40 | 94,10 | 280 | 85 | 20 | 85 | 16 | 123 | 29 | 126 | 392 | 12 | 156 | 24 | 117 | 119 |
| 227.15-30 | 319,30 | 42,33 | 0,657 | 16,12 | 4,80 | 0,121 | 1,42 | 13,74 | 1,01 | 2,65 | 0,073 | 0,09 | 10,85 | 0,46 | 94,31 | 272 | 69 | 22 | 90 | 13 | 197 | 28 | 128 | 405 | 11 | 164 | 26 | 112 | 121 |
| 227.73-78 | 319,78 | 39,88 | 0,618 | 14,84 | 5,26 | 0,122 | 1,43 | 16,19 | 0,94 | 2,24 | 0,064 | 0,02 | 12,95 | 0,24 | 94,80 | 258 | 69 | 8 | 77 | 16 | 71 | 31 | 126 | 396 | 11 | 129 | 24 | 87 | 110 |

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | Bi | Cs | Cu | Hf | Li | Sb | Sc | Sn | Tl | U |
|---------------|--------------------|------|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|------|---|
| 141.17-34 | 233,34 | 0,34 | 7,6 | 43 | 2,5 | 129 | 0,6 | 14 | 2,8 | 0,64 | 2 |
| 141.76-90 | 233,90 | 0,33 | 7,2 | 51 | 2,3 | 127 | 0,7 | 14 | 2,5 | 0,71 | 1 |
| 218.70-80 | 310,80 | 0,33 | 6,7 | 40 | 2,9 | 125 | 0,6 | 14 | 2,6 | 0,53 | 1 |
| 220.17-28 | 312,28 | 0,34 | 7,6 | 50 | 3,2 | 152 | 1,0 | 17 | 3,0 | 0,68 | 2 |
| 220.70-80 | 312,80 | 0,30 | 6,0 | 54 | 2,9 | 130 | 1,0 | 14 | 2,1 | 0,58 | 1 |
| 223.13-26 | 315,26 | 0,37 | 7,9 | 59 | 4,1 | 166 | 1,2 | 17 | 2,8 | 0,75 | 2 |
| 224.72-82 | 316,82 | 0,37 | 7,5 | 58 | 3,4 | 161 | 1,0 | 16 | 2,7 | 0,77 | 2 |
| 225.25-38 | 317,38 | 0,36 | 7,5 | 45 | 3,0 | 146 | 1,0 | 15 | 2,4 | 0,75 | 2 |
| 225.70-85 | 317,85 | 0,37 | 8,9 | 54 | 3,6 | 187 | 1,5 | 16 | 3,1 | 0,96 | 2 |
| 226.10-26 | 318,26 | 0,34 | 8,0 | 56 | 3,8 | 156 | 1,0 | 12 | 2,7 | 0,75 | 2 |
| 226.70-80 | 318,80 | 0,37 | 8,3 | 51 | 3,4 | 176 | 0,9 | 16 | 2,8 | 0,87 | 2 |
| 227.15-30 | 319,30 | 0,34 | 8,4 | 39 | 3,6 | 172 | 0,9 | 16 | 2,7 | 0,83 | 2 |
| 227.73-78 | 319,78 | 0,35 | 7,2 | 33 | 3,4 | 139 | 0,9 | 15 | 2,5 | 0,68 | 2 |

vulk. Lage

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | CO ₂ | TOC | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|------|-------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|-----|
| 221.77-93 | 313,93 | 39,38 | 0,950 | 15,76 | 4,80 | 0,143 | 1,56 | 15,69 | 1,17 | 2,05 | 0,056 | 0,04 | 12,24 | 0,29 | 94,13 | 188 | 119 | 29 | 65 | 63 | 90 | 26 | 97 | 494 | 15 | 140 | 32 | 95 | 291 |

| Probe KiII/94 | Teufe KiI&KiII [m] | Bi | Cs | Cu | Hf | Li | Sb | Sc | Sn | Tl | U |
|---------------|--------------------|------|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|------|---|
| 221.77-93 | 313,93 | 0,33 | 6,1 | 61 | 8,8 | 168 | 1,1 | 18 | 4,2 | 0,65 | 2 |

A1.7. Al-normierte, mittlere Zusammensetzung der Sedimente KiI/91 und KiII/94 (Hauptelement/Al-Verhältnisse [Gew. Verh.], Spurenelement/Al-Verhältnisse [Gew. Verh. • 10³])

| | Ober-Alb | Mittel-Alb | Unter-Alb | Gesamt |
|--|---------------|------------|-----------|---------------|
| Anzahl der Proben (n) | 507 | 184 | 90 | 781 |
| Al₂O₃ [%] | 13,21 | 15,38 | 16,12 | 14,06 |
| CaCO₃ [%] | 34,31 | 26,93 | 15,47 | 30,40 |
| Si/Al | 2,52 | 2,35 | 2,80 | 2,51 |
| Ti/Al | 0,048 | 0,048 | 0,049 | 0,048 |
| Fe/Al | 0,41 | 0,43 | 0,42 | 0,42 |
| Mn/Al | 0,041 | 0,023 | 0,007 | 0,033 |
| Mg/Al | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,13 |
| Ca/Al | 1,97 | 1,36 | 0,78 | 1,69 |
| Na/Al | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,10 |
| K/Al | 0,26 | 0,25 | 0,23 | 0,25 |
| P/Al | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,004 |
| S/Al | (n=262) 0,024 | 0,012 | 0,023 | (n=536) 0,020 |
| TOC/Al | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| Ba/Al | 32 | 31 | 29 | 31 |
| Ce/Al | 10 | 9 | 10 | 10 |
| Co/Al | 2,6 | 2,8 | 2,7 | 2,7 |
| Cr/Al | 10 | 11 | 11 | 10 |
| Nb/Al | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 1,8 |
| Ni/Al | 11 | 13 | 13 | 12 |
| Pb/Al | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 2,6 |
| Rb/Al | 15 | 14 | 13 | 14 |
| Sr/Al | 102 | 59 | 43 | 85 |
| Th/Al | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 |
| V/Al | 14 | 17 | 16 | 15 |
| Y/Al | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 2,9 |
| Zn/Al | 11 | 13 | 12 | 11 |
| Zr/Al | 14 | 14 | 16 | 14 |

Anhang 2

A2. Methodik

A2.1. Probenahme und Aufbereitung

Aus dem 25 m langen Bohrkern Hoheneggelsen KB40 wurden insgesamt 233 Proben in unterschiedlichen Abständen, abhängig von den lithologischen Einheiten, entnommen. Der Fischschiefer wurde in 5 cm-Abständen, die obere und untere Grenze des Fischschiefers in 1 cm Intervallen beprobt. Die Probenahme aus der dunklen Tonsteinfolge und den *Hedbergella*-Mergeln erfolgte unregelmäßig in Abständen von 10 - 30 cm.

Die Beprobung der Bohrung KiIII erfolgte, wie bei KiI in 0,5 m Intervallen. Konkretionen und auffällig gefärbte Kernlagen wurden gesondert beprobt. Insgesamt wurden von dieser Kernbohrung 320 Proben bearbeitet.

Das Probenmaterial wurde zur weiteren Analyse gefriergetrocknet, in einem Backenbrecher mit Wolframcarbidbeschichtung zerkleinert und anschließend in einer Achat-Kugelmühle analysefein (<125 µm) aufgemahlen.

Für einige der aufgeführten Analysen wurden verschiedene Säureaufschlüsse in PTFE-Autoklaven angefertigt (HEINRICHS et al. 1986, HEINRICHS & HERRMANN 1990):

HCl / HNO₃ (Königswasser)-Aufschluß:

Se, As

HF / HNO₃ / HClO₄-Aufschluß:

Cd

HF / H₂SO₄-Aufschluß:

REE, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Li, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U, V, Y, Zn, Zr

Alle verwendeten Säuren wurden vor Gebrauch unterhalb des Siedepunktes destilliert (MATTINSON 1972).

A2.2. Analytik

A2.2.1. Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA)

Mittels RFA wurden die Gehalte von 10 Hauptelementen (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti) und 15 Spurenelementen (Ba, Ce, Co, Cr, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr) bestimmt. Die Messungen erfolgten an LiBO₄-Schmelztabletten mit einem Röntgenfluoreszenzspektrometer PW 2400 (Fa. Philips) mit Rh-Röhre. Zur Fertigung der Tabletten wurden 600 mg Probenmaterial, versetzt mit 3,6 g Spectromelt A10 (Merck Nr. 110783) und ca. 1 g Ammoniumnitrat als Oxidationsmittel über Nacht im Muffelofen bei 500°C verascht und anschließend zu Schmelztabletten verarbeitet.

A2.2.2. Graphitrohfen-Atomabsorptionsspektrometrie (GAAS)

Die Bestimmung der Cd-Gehalte wurde an einem UNICAM Zeeman Solaar 939 QZ GAAS-Gerät mit 228,8 nm Wellenlänge und 0,5 Spaltbreite durchgeführt. Die Analy-

sen erfolgten mit Zeemann Untergrundkorrektur und ELC-Küvette unter Zusatz eines Modifiers (NH_4NO_3 , 1 %ig). Das Temperaturprogramm wurde nach HILD (1997) gewählt.

A2.2.3. Hydrid- Atomabsorptionsspektrometrie (Hydrid-AAS)

Die Konzentrationen von Se und As wurden in Aufschlußlösungen nach einer Methode von ASAAM (1995) an einem Perkin Elmer 4100 AAS-Gerät, gekoppelt mit einem Perkin Elmer FIAS 200 (Fließinjektionsatomspektrometriesystem) bestimmt.

A2.2.4. Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES)

Der säurelösliche Eisenanteil der Proben, der zur Ermittlung des Pyritisierungsgrades (DOP = Degree of Pyritization) verwendet wird, wurde durch 24-stündige Behandlung des Probenmaterials mit 1-normaler HCl bei Zimmertemperatur extrahiert (LEVENTHAL & TAYLOR 1990). Anschließend erfolgte die Bestimmung an einem ICP-AES Gerät Optima 3000 XL (Fa. Perkin Elmer) mit axialem Plasma unter Zusatz von 2 mg/l Sc als internem Standard. Für die Analysen wurde folgende Geräteeinstellung gewählt: Zerstäubergasfluß: 0,6 l/min, Plasmagasfluß: 15 l/min, Hilfgasfluß: 0,5 l/min, Hochfrequenzspulenleistung: 1300 W.

A2.2.5. Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)

Die Konzentrationen der Seltenen Erden sowie der Elemente Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Li, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U, V, Y, Zn und Zr wurden mit Hilfe eines hochauflösenden ICP-Massenspektrometers „Element“ der Firma Finnigan MAT bestimmt. Als interne Standards wurde den verdünnten Aufschlußlösungen 200 µg/l In und 100 µg/l Be zugesetzt. Die Messung der Isotope erfolgte hauptsächlich in niedriger Auflösung ($r = 300$). Die Isotope von Co, Cr, Ni, V und Zn wurden zusätzlich in hoher Auflösung ($r = 3000$) analysiert.

Vor Beginn einer Meßserie erfolgte eine Optimierung des Gerätes in den verschiedenen Auflösungen anhand der Intensitäten sowie der Oxid- (im Mittel 0,1 %) und der Molekülbildungsraten (um 3,5) von Ba. Es wurden dabei folgende Geräteparameter gewählt: Zerstäubergasfluß: 0,55 - 0,7 l/min, Arbeitsgasfluß: 11 - 14 l/min, Hilfgasfluß: 0,3 - 0,4 l/min, Hochfrequenzspulenleistung: 1300 W.

A2.2.6. S-Isotopie

Die vorgestellten S-Isotopen Daten wurden von BÖTTCHER an einem Finnigan MAT 252 Massenspektrometer, das an einen Elementaranalysator gekoppelt ist (C-irMS), bestimmt (BÖTTCHER et al. 1998). Die Berechnung von $\delta^{34}\text{S}$ erfolgte nach folgender Formel:

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{{}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S}}{\text{Probe}} / \frac{{}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S}}{\text{Standard}} - 1 \right) \cdot 1000, \text{ angegeben in [\%]}$$

Als Standard wurde der Vienna-Canyon-Diablo Troilit (V-CDT) verwendet.

A2.2.7. Coulometrie

Die Gehalte an Gesamtkohlenstoff (C_{ges}) und Schwefel (soweit nicht von anderen Arbeitsgruppen bestimmt) wurden an zwei Ströhlein-Coulometern nach den in HEINRICH & HERRMANN (1990) für Kohlenstoff und LANGE & BRUMSACK (1977) für Schwefel angegebenen Verfahren ermittelt. Zur Bestimmung von Karbonatkohlenstoffgehalten wurde ein CM 5012 CO_2 Coulometer kombiniert mit einem CM 5130 Acidification Module der Firma UIC Inc. (ehemals Coulometrics) (HUFFMAN 1977) verwendet (ENGLEMAN et al. 1985, CAHILL & AUTREY 1988, JACKSON & ROOF 1992). Der Anteil an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in den Proben errechnet sich aus der Differenz zwischen Gesamt- und Karbonatkohlenstoff.

A2.2.8. Röntgendiffraktometrische Untersuchungen (XRD)

An der Tonfraktion ausgewählter Proben erfolgten Untersuchungen des Tonmineralbestandes. Da der Karbonatanteil der Proben die Auswertung der Tonmineraldiffraktogramme beeinträchtigt, wurden die Karbonatanteile mit 10 %iger Ameisensäure (HCOOH) entfernt (QUAKERNAAT, 1968). Zur Analyse der Tonminerale wurde die $< 2 \mu\text{m}$ Fraktion mit Mg^{2+} - und K^+ -Ionen belegt, indem je 1 N Mg- und 1 N K-Acetatlösung im Überschuß hinzugefügt wurden. Von der pastenförmigen Substanz wurden Schmierpräparate angefertigt, wobei das Material nur in einer Richtung ausgestrichen wurde, um eine Einregelung der Minerale senkrecht zu ihrer kristallographischen c-Achse (flächig) zu erreichen. Zusätzlich wurde ein Mg-belegtes Präparat mit Ethylenglykol bedampft (24h bei ca. 60°C im Trockenschrank).

Die Bestimmung der Tonminerale erfolgte durch Röntgenbeugung an einem Philips PW 1729 Diffraktometer mit PW 1050 Goniometer. Die Messungen wurden mit $\text{Cu K}\alpha$ -Strahlung (Hochspannung 40 kV, 30 mA) durchgeführt. Als Detektor diente ein Proportionalitätszählrohr (Philips PW 1965). Eine ausführliche Darstellung der Methode wird in TINTELNOT & IRION (1997) gegeben. Die Mengenanteile der Tonminerale wurden semiquantitativ anhand der röntgenographischen Aufnahmen (von 2 - $15^\circ 2\Theta$ und von 24 - $26^\circ 2\Theta$) der mit Ethylenglykol bedampften Präparate durchgeführt. Die Berechnung erfolgte über die Flächen der jeweiligen Basisreflexe mit Hilfe von Biscaye-Faktoren (BISCAYE, 1964). Die Analysen führte Dr. M. Tintelnot (Senckenberg-Institut, Wilhelmshaven) durch.

Alle aufgeführten Methoden wurden durch parallele Analysen internationaler und/oder hausinterner Referenzmaterialien überprüft.

A2.3. Fehlerbetrachtung

Bei der Betrachtung der Meßergebnisse von chemischen Analysen muß grundsätzlich zwischen zwei Arten von Fehlern unterschieden werden:

1. statistische Fehler: sie beeinflussen die Präzision bzw. die Reproduzierbarkeit von Meßergebnissen
2. systematische Fehler: sie wirken sich auf die Genauigkeit bzw. Richtigkeit der erhaltenen Werte aus, d.h. ein Wert kann gut reproduzierbar sein, aber dennoch vom „wahren“ Wert abweichen.

Aussagen über den statistischen Fehler einer Messung können für eine gegen unendlich strebende Zahl von Messungen mit Hilfe der Standardabweichung (σ) gemacht werden. Ein Näherungswert (s) für eine endliche Zahl von Messungen ($n \geq 30$) berechnet sich aus:

$$(1) \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

mit: N = Anzahl der Einzelbestimmungen
 x_i = Einzelmeßwert
 \bar{x} = arithmetisches Mittel der Einzelbestimmungen

In der Praxis wird meistens die „relative Standardabweichung“ oder „Varianz“ (V) in Prozent angegeben, also:

$$(1a) \quad V(\%) = \frac{s}{\bar{x}} * 100$$

Nach KAISER & SPECKER (1956) läßt sich die relative Standardabweichung auch für eine Methode bestimmen, mit der nur Doppelbestimmungen durchgeführt wurden:

$$(2) \quad s(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N/2} (x_i' - x_i'')^2}{N}} / \bar{x} * 100$$

mit: x_i', x_i'' = Einzelmeßwerte der Doppelbestimmung
 \bar{x} = arithmetisches Mittel der Messungen
 N = Anzahl der Messungen

Die Anwendung von Formel (2) ist jedoch nur möglich, wenn die Werte der Einzelbestimmungen annähernd gleich sind. Ist dies nicht der Fall, muß nachstehende Gleichung verwendet werden:

$$(3) \quad s(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N/2} ((x_i' - x_i'') / \bar{x}_i)^2}{N}} * 100$$

mit: x_i', x_i'' = Einzelmeßwerte der Doppelbestimmung
 \bar{x}_i = arithmetisches Mittel der Doppelbestimmung
 N = Anzahl der Messungen

Die Größe des systematischen Fehlers wird durch die Mitmessung von Standardreferenzproben ermittelt. Die Elementgehalte dieser Standards sind durch zahlreiche Bestimmungen von verschiedenen Analytikern mit unterschiedlichen Methoden gut bekannt.

Die Berechnung der relativen Standardabweichungen der atom- und massenspektrometrischen sowie der coulometrischen Verfahren erfolgte nach Formel 3. Der Fehler der Röntgenfluoreszenzanalytik wurde nach den Formeln 1 und 1a anhand der Werte eines mehrfach präparierten hausinternen Standards (TW) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

A2.3.1. Relative Standardabweichung (95% Sicherheit) der Element-Analysen

| ICP-MS | 2*S [%] | n | ICP-MS | 2*S [%] | n | RFA | 2*S [%] | n |
|-----------|---------|----|--------------------------------|----------------|----------|--------------------------------|----------------|----------|
| Bi209(LR) | 8,2 | 30 | Sm147(LR) | 13,0 | 30 | Th | 26,9 | 25 |
| Ce140(LR) | 5,9 | 30 | Sm149(LR) | 10,1 | 30 | V | 2,7 | 25 |
| Co59(LR) | 7,7 | 30 | Tb159(LR) | 9,8 | 30 | Y | 7,8 | 25 |
| Co59(MR) | 9,2 | 30 | Th232(LR) | 7,9 | 30 | Zn | 9,0 | 25 |
| Cr52(LR) | 12,1 | 30 | Tl205(LR) | 9,9 | 30 | Zr | 3,9 | 25 |
| Cr52(MR) | 10,6 | 30 | Tm169(LR) | 10,4 | 30 | | | |
| Cr53(MR) | 10,0 | 30 | U238(LR) | 8,0 | 30 | ICP-AES | 2*S [%] | n |
| Cs133(LR) | 5,8 | 30 | V51(MR) | 10,6 | 30 | Fe ₂ O ₃ | 6,0 | 43 |
| Cu63(MR) | 13,4 | 30 | Y89(LR) | 9,0 | 30 | | | |
| Cu65(MR) | 10,8 | 30 | Yb172(LR) | 10,9 | 30 | Coulometrie | 2*S [%] | n |
| Dy161(LR) | 12,5 | 30 | Yb174(LR) | 10,4 | 30 | C _{ges} | 4,0 | 195 |
| Dy163(LR) | 9,3 | 30 | Zn66(MR) | 10,9 | 30 | C _{min} | 5,4 | 195 |
| Er166(LR) | 11,8 | 30 | Zn68(MR) | 9,9 | 30 | C _{org} | 12,0 | 71 |
| Er167(LR) | 9,7 | 30 | Zr91(LR) | 8,4 | 30 | S | 13,7 | 145 |
| Eu151(LR) | 9,5 | 30 | | | | | | |
| Eu153(LR) | 9,1 | 30 | RFA | 2*S [%] | n | G-AAS | 2*S [%] | n |
| Gd157(LR) | 11,0 | 30 | SiO ₂ | 0,9 | 25 | Cd | 8,9 | 54 |
| Gd158(LR) | 10,9 | 30 | TiO ₂ | 1,0 | 25 | | | |
| Hf178(LR) | 7,7 | 30 | Al ₂ O ₃ | 0,8 | 25 | Hydrid-AAS | 2*S [%] | n |
| Hf180(LR) | 9,1 | 30 | Fe ₂ O ₃ | 1,5 | 25 | As | 8,9 | 85 |
| Ho165(LR) | 11,3 | 30 | MgO | 2,3 | 25 | Se | 10,2 | 85 |
| La139(LR) | 6,4 | 30 | CaO | 2,1 | 25 | | | |
| Li7(LR) | 9,8 | 30 | Na ₂ O | 4,4 | 25 | | | |
| Lu175(LR) | 8,7 | 30 | K ₂ O | 3,3 | 25 | | | |
| Nb93(LR) | 10,0 | 30 | P ₂ O ₅ | 6,0 | 25 | | | |
| Nd143(LR) | 8,3 | 30 | Ba | 3,9 | 25 | | | |
| Ni60(LR) | 13,6 | 30 | Ce | 9,5 | 25 | | | |
| Ni60(MR) | 9,6 | 30 | Co | 12,9 | 25 | | | |
| Pb206(LR) | 11,1 | 30 | Cr | 4,5 | 25 | | | |
| Pb207(LR) | 11,8 | 30 | Mn | 4,4 | 25 | | | |
| Pr141(LR) | 6,8 | 30 | Mo | 9,3 | 15 | | | |
| Rb85(LR) | 5,6 | 30 | Nb | 12,8 | 25 | | | |
| Sn120(LR) | 13,8 | 30 | Ni | 4,5 | 25 | | | |
| Sb121(LR) | 15,4 | 30 | Pb | 8,5 | 25 | | | |
| Sb123(LR) | 14,3 | 30 | Rb | 4,8 | 25 | | | |
| Sc45(LR) | 11,7 | 30 | Sr | 9,7 | 25 | | | |

(n=Anzahl der Doppelbestimmungen)

Tab. A2.3.2. RFA-Analysen des institutsinternen Standards TW-Tuc (Hauptelemente in [%], Spurenelemente in [µg/g])

| Probe | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Σ | Ba | Ce | Co | Cr | Nb | Ni | Pb | Rb | Sr | Th | U | V | Y | Zn | Zr |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| TWTuc | 54,69 | 0,739 | 15,87 | 6,77 | 0,082 | 3,72 | 4,66 | 0,92 | 3,68 | 0,092 | 91,22 | 432 | 75 | 20 | 108 | 17 | 70 | 28 | 168 | 203 | 11 | 3 | 120 | 23 | 123 | 149 |
| TWTuc | 54,48 | 0,736 | 15,94 | 6,65 | 0,085 | 3,68 | 4,78 | 0,95 | 3,72 | 0,105 | 91,13 | 445 | 72 | 20 | 107 | 18 | 74 | 28 | 168 | 224 | 9 | 2 | 123 | 25 | 122 | 145 |
| TWTuc | 54,77 | 0,746 | 16,01 | 6,67 | 0,083 | 3,69 | 4,79 | 0,95 | 3,73 | 0,103 | 91,54 | 444 | 73 | 21 | 111 | 19 | 72 | 30 | 170 | 216 | 10 | 4 | 121 | 24 | 126 | 152 |
| TWTuc | 54,48 | 0,736 | 15,94 | 6,65 | 0,085 | 3,68 | 4,78 | 0,95 | 3,72 | 0,102 | 91,12 | 445 | 72 | 20 | 107 | 18 | 74 | 28 | 168 | 223 | 9 | 2 | 123 | 25 | 122 | 145 |
| TWTuc | 54,59 | 0,745 | 16,00 | 6,67 | 0,084 | 3,70 | 4,79 | 0,94 | 3,72 | 0,102 | 91,34 | 433 | 74 | 22 | 107 | 19 | 72 | 29 | 169 | 221 | 10 | 4 | 124 | 25 | 125 | 144 |
| TWTuc | 54,59 | 0,749 | 15,97 | 6,67 | 0,083 | 3,72 | 4,77 | 0,95 | 3,72 | 0,104 | 91,33 | 455 | 75 | 18 | 116 | 17 | 75 | 30 | 171 | 214 | 11 | 4 | 120 | 24 | 125 | 151 |
| TWTuc | 54,83 | 0,745 | 16,01 | 6,67 | 0,084 | 3,70 | 4,72 | 0,96 | 3,71 | 0,101 | 91,53 | 430 | 65 | 19 | 109 | 19 | 73 | 29 | 171 | 221 | 11 | 3 | 122 | 24 | 131 | 152 |
| TWTuc | 54,69 | 0,744 | 16,03 | 6,68 | 0,084 | 3,69 | 4,80 | 0,96 | 3,72 | 0,104 | 91,50 | 437 | 72 | 22 | 107 | 18 | 73 | 29 | 171 | 202 | 12 | 5 | 122 | 23 | 126 | 152 |
| TWTuc | 54,64 | 0,745 | 15,97 | 6,69 | 0,085 | 3,71 | 4,79 | 0,97 | 3,73 | 0,104 | 91,43 | 452 | 74 | 18 | 107 | 18 | 70 | 31 | 170 | 218 | 11 | 4 | 124 | 23 | 125 | 149 |
| TWTuc | 54,69 | 0,741 | 15,98 | 6,68 | 0,084 | 3,71 | 4,77 | 0,94 | 3,71 | 0,103 | 91,41 | 433 | 69 | 20 | 106 | 17 | 71 | 28 | 170 | 219 | 10 | 5 | 122 | 26 | 129 | 152 |
| TWTuc | 54,71 | 0,747 | 15,98 | 6,66 | 0,082 | 3,70 | 4,78 | 0,94 | 3,72 | 0,104 | 91,42 | 447 | 74 | 21 | 108 | 17 | 72 | 31 | 168 | 203 | 10 | 5 | 124 | 23 | 123 | 147 |
| TWTuc | 54,62 | 0,740 | 15,89 | 6,74 | 0,079 | 3,77 | 4,72 | 0,94 | 3,62 | 0,100 | 91,22 | 446 | 75 | 19 | 108 | 15 | 73 | 30 | 174 | 230 | 14 | 3 | 122 | 25 | 132 | 147 |
| TWTuc | 54,17 | 0,738 | 15,76 | 6,69 | 0,081 | 3,75 | 4,66 | 0,93 | 3,60 | 0,103 | 90,48 | 442 | 70 | 20 | 109 | 16 | 71 | 29 | 173 | 224 | 14 | 4 | 120 | 24 | 135 | 149 |
| TWTuc | 54,19 | 0,741 | 15,83 | 6,72 | 0,084 | 3,72 | 4,75 | 0,91 | 3,62 | 0,099 | 90,66 | 418 | 73 | 19 | 108 | 17 | 71 | 31 | 173 | 232 | 13 | 4 | 121 | 25 | 136 | 146 |
| TWTuc | 54,52 | 0,741 | 15,95 | 6,65 | 0,082 | 3,69 | 4,66 | 0,94 | 3,73 | 0,102 | 91,07 | 445 | 68 | 21 | 103 | 19 | 73 | 30 | 169 | 211 | 11 | 4 | 120 | 23 | 124 | 149 |
| TWTuc | 54,64 | 0,747 | 15,96 | 6,71 | 0,085 | 3,73 | 4,71 | 0,97 | 3,83 | 0,099 | 91,48 | 448 | 70 | 20 | 107 | 17 | 73 | 28 | 169 | 227 | 9 | 5 | 123 | 25 | 115 | 150 |
| TWTuc | 54,73 | 0,743 | 16,01 | 6,71 | 0,084 | 3,70 | 4,70 | 0,95 | 3,84 | 0,100 | 91,57 | 430 | 66 | 19 | 107 | 18 | 73 | 29 | 168 | 206 | 11 | 4 | 125 | 26 | 121 | 151 |
| TWTuc | 54,46 | 0,738 | 15,91 | 6,66 | 0,084 | 3,70 | 4,80 | 0,93 | 3,74 | 0,102 | 91,12 | 450 | 68 | 23 | 104 | 17 | 74 | 30 | 170 | 199 | 11 | 3 | 122 | 25 | 114 | 149 |
| TWTuc | 55,15 | 0,744 | 16,03 | 6,67 | 0,079 | 3,79 | 4,70 | 0,90 | 3,72 | 0,099 | 91,88 | 439 | 69 | 23 | 110 | 18 | 68 | 31 | 188 | 204 | 12 | 3 | 123 | 23 | 123 | 142 |
| TWTuc | 55,10 | 0,747 | 16,01 | 6,85 | 0,081 | 3,84 | 4,70 | 0,89 | 3,73 | 0,098 | 92,05 | 443 | 68 | 20 | 111 | 20 | 71 | 28 | 170 | 218 | 11 | 4 | 120 | 24 | 131 | 146 |
| TWTuc | 55,09 | 0,747 | 15,95 | 6,82 | 0,081 | 3,81 | 4,70 | 0,91 | 3,71 | 0,095 | 91,91 | 444 | 66 | 20 | 110 | 19 | 69 | 31 | 174 | 201 | 10 | 4 | 119 | 23 | 130 | 153 |
| TWTuc | 54,32 | 0,738 | 15,86 | 6,67 | 0,082 | 3,68 | 4,68 | 0,95 | 3,71 | 0,102 | 90,79 | 427 | 65 | 19 | 108 | 16 | 72 | 26 | 168 | 201 | 10 | 5 | 124 | 25 | 125 | 148 |
| TWTuc | 54,79 | 0,745 | 15,99 | 6,71 | 0,087 | 3,69 | 4,68 | 0,95 | 3,83 | 0,099 | 91,57 | 441 | 72 | 21 | 107 | 17 | 71 | 29 | 168 | 208 | 9 | 3 | 124 | 24 | 117 | 152 |
| TWTuc | 54,63 | 0,741 | 15,99 | 6,68 | 0,083 | 3,67 | 4,68 | 0,97 | 3,84 | 0,098 | 91,38 | 431 | 68 | 21 | 108 | 17 | 72 | 30 | 167 | 196 | 9 | 4 | 123 | 24 | 118 | 152 |
| TWTuc | 54,48 | 0,742 | 15,89 | 6,70 | 0,083 | 3,69 | 4,66 | 0,95 | 3,79 | 0,099 | 91,08 | 435 | 65 | 20 | 108 | 18 | 71 | 29 | 168 | 219 | 9 | 3 | 121 | 24 | 130 | 150 |
| MW. | 54,64 | 0,74 | 15,95 | 6,70 | 0,083 | 3,72 | 4,73 | 0,94 | 3,73 | 0,101 | 91,33 | 440 | 70 | 20 | 108 | 18 | 72 | 29 | 171 | 214 | 11 | 4 | 122 | 24 | 125 | 149 |
| Stabw. | 0,24 | 0,004 | 0,07 | 0,05 | 0,002 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,06 | 0,003 | 0,36 | 8,6 | 3,3 | 1,3 | 2,4 | 1,1 | 1,6 | 1,2 | 4,1 | 10,4 | 1,4 | 0,9 | 1,6 | 0,9 | 5,6 | 2,9 |
| % Fehler | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 2,2 | 1,1 | 1,1 | 2,2 | 1,6 | 3,0 | 0,4 | 2,0 | 4,8 | 6,4 | 2,2 | 6,4 | 2,3 | 4,3 | 2,4 | 4,9 | 13,4 | 22,9 | 1,3 | 3,9 | 4,5 | 2,0 |

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Hans-Jürgen Brumsack, der durch seine kompetente und verständnisvolle Betreuung wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern der BCCP-Gruppe für die großzügige Bereitstellung von Proben- und Datenmaterial, für ihre immerwährende fachliche Diskussionsbereitschaft und für die allgemein gute Zusammenarbeit im Projekt.

Gedankt sei ferner allen Mitarbeitern des ICBM, insbesondere aus den Arbeitsgruppen "Mikrobiogeochemie" und "Organische Geochemie", die einen Beitrag zum Entstehen dieser Arbeit geleistet haben.

Dr. Mathias Tintelnot (ehem. Senckenberg Institut, Wilhelmshaven) danke ich für die Tonmineralanalysen.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Schwerpunktprogrammes "*Globale und regionale Steuerungsprozesse biogener Sedimentation*" finanziert.

Lebenslauf

Name: Elisabeth Hild, geb. Dehn
verheiratet, 1 Kind

Geburtstag: 19. November 1965

Geburtsort: 59872 Meschede

Eltern: Hans-Jürgen Dehn
Elisabeth Dehn, geb. Skowasch

Bildungsweg:

08.1972 - 07.1976 Grundschule in Telgte

08.1976 - 06.1978 Gymnasium St. Mauritz in Münster

08.1978 - 05.1986 Gymnasium Lengerich

26.05.1986 Abitur

07.1986 - 06.1987 Forstliches Fachhochschulpraktikum bei der Herzog von Croy'schen Forstverwaltung in Dülmen

10.1987 - 03.1994 Studium an der Georg-August-Universität Göttingen im Studiengang Geologie/Paläontologie (Diplom)

26.10.1989 Diplomvorprüfung im Studiengang Geologie/Paläontologie

05.1992 - 03.1994 zusätzliches Studium im Studienfach Mineralogie (Diplom)

06.12.1993 Diplomhauptprüfung im Studiengang Geologie/Paläontologie

Von Juni - Aug. 1994 war ich wiss. Angestellte im Geochemischen Institut der Universität Göttingen. Seit dem 08.09.1994 bin ich wiss. Mitarbeiterin am ICBM der Universität Oldenburg in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. H.-J. Brumsack.

Hiermit erkläre ich, daß ich diese Arbeit selbständig verfaßt und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

(Dipl. Geol. Elisabeth Hild, geb. Dehn)