

**Geochemische Verwitterungstrend eines basaltischen  
Ausgangsgesteins nach dem spätpleistozänen  
Gletscherrückzug auf der Taimyrhalbinsel (Zentralsibirien) -  
Rekonstruktion an einer sedimentären Abfolge  
des Lama Sees**

**Geochemical weathering trends of a basaltic source rock  
after the retreat of Late Pleistocene glaciers on the Taymyr  
Peninsula (Central Siberia) - reconstruction using  
sedimentary sequences of Lake Lama**

---

**Stefanie K. Harwart**

Ber. Polarforsch. 324 (1999)  
ISSN 0176 - 5027

**Stefanie K. Harwart**

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung  
Forschungsstelle Potsdam  
Telegrafenberg A43  
D-14473 Potsdam

Die vorliegende Arbeit ist die unveränderte Fassung einer Dissertation, die im Dezember 1998 vom Fachbereich Geowissenschaften der Universität Potsdam angenommen wurde.

Die Daten dieser Veröffentlichung sind über das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (Anschrift siehe oben) verfügbar.

<b>Summary</b> .....	<b>v</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>vi</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Beschreibung des Arbeitsgebietes .....	3
1.1.1 Geographische Lage .....	3
1.1.2 Klima.....	4
1.1.3 Geologischer Rahmen.....	5
1.1.3.1 Charakterisierung der permo-triassischen Flutbasalte .....	6
1.1.4 Verbreitung weichseleiszeitlicher Gletscher .....	8
1.1.5 Spätquartäre Umweltentwicklung im Einzugsgebiet des Lama Sees .....	12
1.2 Verwitterung und Mobilität von Elementen.....	14
<b>2 Untersuchungsmethoden</b> .....	<b>18</b>
2.1 Probenahme .....	18
2.2 Probenaufbereitung.....	18
2.3 Altersbestimmungen.....	20
2.4 Faktorenanalyse.....	20
2.5 Hydrologische Untersuchungen.....	20
2.6 Korngrößenverteilung.....	20
2.7 Magnetische Suszeptibilität.....	21
2.8 Mikroskopie.....	21
2.9 Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma.....	21
2.9.1 Aufschlußverfahren .....	21
2.9.2 Meßverfahren.....	22
2.10 Rasterelektronenmikroskopie.....	22
2.11 Röntgendiffraktometrie .....	22
2.11.1 Gesamtmineralogie.....	22
2.11.2 Tonmineralogie .....	23
2.12 Röntgenfluoreszenzanalyse.....	24
2.13 Strontiumisotope .....	24
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>25</b>
3.1 Charakterisierung des Ablagerungsraumes.....	25
3.2 Stratigraphie der Kernsequenz PG1111 .....	28
3.2.1 Lithostratigraphie .....	28
3.2.2 Chronostratigraphie.....	30
3.2.3 Mineralogie.....	33
3.2.4 Chemostratigraphie.....	33
3.2.4.1 Geochemische Zusammensetzung des Gesamtsedimentes.....	33
3.2.4.2 Geochemische Zusammensetzung der Tonfraktion.....	42
3.2.4.3 Korngrößenabhängige geochemische Variationen.....	47
3.2.4.4 Strontiumisotope .....	48
<b>4 Diskussion und Interpretation</b> .....	<b>50</b>
4.1 Einflußfaktoren auf die Gesamtgeochemie des Lamaseesedimentes.....	51

## Inhaltsverzeichnis

4.1.1 Liefergebiet .....	51
4.1.2 Transport .....	53
4.1.3 Diagenese .....	58
4.1.4 Verwitterung .....	62
4.2 Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher .....	66
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>73</b>
<b>6 Literatur .....</b>	<b>76</b>
<b>7 Anhang .....</b>	<b>85</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage und Topographie des Einzugsgebietes des Lama Sees .....	3
Abb. 2: Verteilung und Lage der wichtigsten Gesteinsformationen auf dem westlichen Teil der sibirischen Plattform .....	5
Abb. 3: Geologische Formationen in der Region des Lama Sees .....	7
Abb. 4: Ausdehnung der Vereisung während des letzten glazialen Maximums (LGM) im nördlichen Eurasien sowie die Entwicklung der Eisausdehnung bis in das Boreal nach Grosswald (1993) .....	9
Abb. 5: Vereisungszentren im nördlichen Eurasien während des LGMs nach Velichko (1997) .....	10
Abb. 6: Maximale Ausdehnung der Gletscher im nördlichen Zentralsibirien während der Früh- und Spätweichsel nach Astakhov (1997) .....	11
Abb. 7: Modell zur Umweltentwicklung des Lama Sees seit der Ältesten Dryas .....	13
Abb. 8: Faktoren der Verwitterung und Bodenbildung in einem Profil von der nördlichen Polarregion bis zu den tropischen Gebieten am Äquator .....	15
Abb. 9: Mobilität von wichtigen Elementen in Abhängigkeit von der Ionenladung $z$ und vom Ionenradius $r$ in oberflächennahen Systemen .....	16
Abb. 10: Übersichtsaufnahme des geöffneten Kernes PG1111 .....	19
Abb. 11: Lokationen der Oberflächenkerne sowie der Kernsequenz PG1111 im zentralen Bereich des Lama Sees .....	25
Abb. 12: Skizze zur Charakterisierung des Ablagerungsraumes der Kernsequenz PG1111 im zentralen Bereich des Lama Sees .....	26
Abb. 13: pH-, Temperatur-, Sauerstoff- ( $O_2$ ) und Leitfähigkeitstiefenprofile des Seewassers an vier Positionen sowie meßbare Kationen an zwei Positionen des Lama Sees .....	27
Abb. 14: Lithostratigraphie der Kernsequenz PG1111 .....	28
Abb. 15: Kernausschnitt aus Abschnitt $E_{lib}$ (940 - 835 cm) der Kernsequenz PG1111 .....	29
Abb. 16: Alter-Tiefen-Beziehung der Kernsequenz PG1111 .....	30
Abb. 17: Gradierte Silt-Ton-Lagen der Kernsequenz PG1111 .....	31
Abb. 18: Mineralogische Zusammensetzung der Gesamtfraktion und der $< 2 \mu m$ -Fraktion in der Sedimentsequenz PG1111 .....	32
Abb. 19: Verteilungsmuster der Hauptelemente in der Kernsequenz P1111 .....	36
Abb. 20: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Hauptelemente in der Kernsequenz PG1111 .....	37
Abb. 21: Verteilungsmuster der Spurenelemente in der Kernsequenz PG1111 .....	40
Abb. 22: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Spurenelemente in der Kernsequenz PG1111 .....	41
Abb. 23: Verteilungsmuster der Hauptelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 .....	43
Abb. 24: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Hauptelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 .....	44
Abb. 25: Verteilungsmuster der Spurenelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 .....	46
Abb. 26: Mittlere geochemische Zusammensetzung der $> 63 \mu m$ -, $63 - 2 \mu m$ - und $< 2 \mu m$ -Fraktionen in PG1111 ( $n=4$ ) .....	49

## Inhaltsverzeichnis

Abb. 27: Schematische Darstellung der Prozesse, die die Gesamtgeochemie des Lamaseesedimentes beeinflussen.....	51
Abb. 28: 2Nb-Zr/4-Y Diskriminierungsdiagramm nach Meschede (1986).....	52
Abb. 29: $\epsilon_{Sr}$ -Ti/Y-Diagramm.....	53
Abb. 30: Durchschnittliche relative Anteile der Haupt- und Spurenelemente in der > 63 $\mu\text{m}$ -, 63 - 2 $\mu\text{m}$ - und in der < 2 $\mu\text{m}$ - Fraktion nach der Normierung auf 100 %.....	54
Abb. 31: XY-Diagramm der Faktorwerte von Faktor 1 <sub>HEges./Al</sub> und Faktor 3 <sub>HEges./Al</sub> .....	56
Abb. 32: XY-Diagramm der Faktorwerte von Faktor 1 <sub>SEges./Al</sub> und Faktor 2 <sub>SEges./Al</sub> .....	56
Abb. 33: Phosphor-, Mangan-, Eisen- und TOC-Verteilung in den obersten 17 cm der Sedimentsequenz PG1111.....	59
Abb. 34: A: Phosphor-Mangan-TOC-Entwicklung von der Ältesten Dryas bis heute in der Kernsequenz PG1111. B: Stabilitätsdiagramm für Eisen- und Manganverbindungen.....	60
Abb. 35: Anreicherung bzw. Verarmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen in verschiedenen Tiefen der Sedimentsequenz PG1111 bezogen auf das Liefergebiet.....	62
Abb. 36: Variationen in der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung eines Gneises (Morton-Redwood Falls, Minnesota) mit zunehmender Verwitterung.....	63
Abb. 37: Vergleich der geochemischen Zusammensetzung des unverwitterten Ausgangsgesteins, des Lamaseesedimentes und des Seewassers im CaO-Na <sub>2</sub> O-K <sub>2</sub> O-Dreiecksdiagramm.....	65
Abb. 38: Rasterelektronische Aufnahmen des Gesamtsedimentes der Kernsequenz PG1111.....	67
Abb. 39: Normierung der Hauptelementkonzentrationen in der < 2 $\mu\text{m}$ - Fraktion und 2 - 63 $\mu\text{m}$ - Fraktion aus verschiedenen Horizonten der Sedimentsequenz PG1111 auf Probe <sub>864-874</sub> , die ausschließlich die Verwitterung vor der Spätweichsel reflektiert.....	68
Abb. 40: Prozentuale Ab- bzw. Zufuhr von Hauptelementen der < 2 $\mu\text{m}$ - Fraktion in der Kernsequenz PG1111.....	70
Abb. 41: Prozentuale Ab- bzw. Zufuhr von Spurenelementen der < 2 $\mu\text{m}$ - Fraktion in der Kernsequenz PG1111.....	72

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Allgemeine Daten des Lama Sees.....	4
Tab. 2: Mittlere Jahresklimadaten in der Region des Lama Sees.....	4
Tab. 3: Relative Mobilitäten von Elementen unter oxidischen, anoxischen, sauren und alkalischen Bedingungen.....	16
Tab. 4: Experimentell ermittelte mittlere Lebensdauer eines 1 mm Kristalls in Kontakt mit einer nicht gesättigten Lösung bei 25 °C und pH = 5.....	9
Tab. 5: Zur Auswertung der Röntgendiagramme der Gesamtmineralogie des Lamaseesedimentes genutzte Reflexe (CuK $\alpha$ -Strahlung).....	23
Tab. 6: Zur Auswertung der Röntgendiagramme der Tonmineralogie des Lamaseesedimentes genutzte Reflexe (CoK $\alpha$ -Strahlung).....	23
Tab. 7: Statistische Parameter der Hauptelementkonzentrationen im Gesamtsediment (HEges.) des Kerns PG1111.....	34
Tab. 8: Faktormatrix <sub>HEges.</sub> der Hauptelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation.....	34
Tab. 9: Statistische Parameter der Spurenelementkonzentrationen im Gesamtsediment (SEges.) des Kerns PG1111.....	39
Tab. 10: Faktormatrix <sub>SEges.</sub> der Spurenelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation.....	39
Tab. 11: Statistische Parameter der Hauptelementkonzentrationen in der Tonfraktion des Kerns PG1111.....	42
Tab. 12: Statistische Parameter der Spurenelementkonzentrationen in der Tonfraktion des Kerns PG1111.....	45

## *Inhaltsverzeichnis*

<i>Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichung der geochemischen Zusammensetzung der &gt; 63 <math>\mu\text{m}</math> -, 63 - 2 <math>\mu\text{m}</math> - und &lt; 2 <math>\mu\text{m}</math> - Fraktionen in PG1111. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 14: <math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math>-Isotopenverhältnisse und <math>e_{\text{sr}}</math>-Werte aus vier verschiedenen Tiefen des Kerns PG1111.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 15: Durch unterschiedliche Umweltsituationen und Sedimenttransportarten im Einzugsgebiet des Lama Sees bedingte Sedimentstruktur, Geochemie und Mineralogie in der Kernsequenz PG1111.</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 16: a: Mineralphasen und deren Mineralchemie im Basalt und im Lamaseesediment. b: sekundäre Mineralneubildungen der Basalte und im Sediment. ....</i>	<i>64</i>

## **Summary**

This thesis presents and discusses data on the chemical weathering of a basaltic source material on the basis of sediment sequences deposited in Lama Lake. The processes and the influences of various environmental conditions, such as vegetation, precipitation and erosion, on the chemical weathering can be determined and can be followed over periods of thousands of years by investigating a sediment sequence.

Lama Lake lies in the northern portion of the Taymyr Peninsula in Central Siberia, a region of continuous permafrost. The lake is fed by various tributaries from the Putorana Plateau. The Plateau is composed primarily of continental flood basalts of up to 4 km thickness. A sediment sequence (PG 1111) was recovered from Lama Lake which ranges from the Oldest Dryas (Late Weichselian) to present time. Palynological, sedimentological and biochemical initial investigations have shown that the surroundings of Lama Lake lay within the watershed area of the alpine glacial region of the Putorana Plateau, until the Allerød. A cooling during the Early Dryas did not lead to renewed expansion of the glaciated area. Higher plants developed during the Bølling and formed a continuous larch and spruce cover during the climatic optimum in the Boreal.

Through geochemical analyses (major and trace elements) of the bulk sediment and of various particle size fractions and through multivariate statistical analysis of these results, influences on the geochemistry of the sediment, additional to the background weathering products of the sediment source material, were determined:

The total chemical signature of Lama Lake sediment is determined largely by the particle size spectrum, which in turn is controlled by the nature of the transport processes delivering the sediment. The Early Dryas is characterized by glacio-lacustrine contact, which led to the deposition of gravel and sand in a fine matrix. From the Late Dryas on, glacio-fluvial erosion dominated, resulting in the deposition of very fine clayey material. From the Allerød on, fluvial transport has led to the deposition of silty-clayey sediment.

Early diagenetic processes are recognizable in the sediments of core PG 1111, but have little influence on the geochemistry. These processes are related to dissolution and weathering processes on land. Indications of corresponding weathering processes since the Bølling have been observed in the Lama Lake catchment area .

The comparison with unweathered source material (continental flood basalts) to the Lama Lake sediment shows that basaltic material has been deposited in the lake since the Early Dryas and that it covers an intense chemical pre-Weichselian weathering of the basalt. Analysis of the finest sediment material in the sediment indicate that the Lama Lake catchment area underwent a new phase of chemical weathering in the Allerød. A weathering index shows a maximal removal of mobile elements from the Allerød to the Preboreal.

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Arbeit präsentiert und diskutiert die chemische Verwitterung eines basaltischen Ausgangsgesteins anhand einer erodierten und im Lama See abgelagerten Sedimentsequenz. Untersuchungen an einer Seesedimentsequenz bieten dabei die Möglichkeit, den Prozeß der chemischen Verwitterung über mehrere tausend Jahre zu verfolgen und den Einfluß unterschiedlicher Umweltbedingungen (z. B. Vegetation, Niederschlag, Erosion) auf die chemische Verwitterung zu erfassen.

Der Lama See liegt im nördlichen Zentralsibirien auf der Taimyrhalbinsel (ca. 69° N, 90° E); einer Region, die durch kontinuierlichen Permafrost gekennzeichnet ist. Das Gewässer wird von mehreren Zuflüssen aus dem Putorana Plateau gespeist, das im wesentlichen aus kontinentalen Flutbasalten, die eine Mächtigkeit von ca. 4 km erreichen können, aufgebaut wird. Die Sedimentbohrung PG1111 aus dem zentralen Bereich des Lama Sees umfaßt den Zeitraum der Ältesten Dryas (Spätweichsel) bis heute. Palynologische, sedimentologische und biochemische (TOC,  $\delta^{13}\text{C}$  der organischen Substanz und von Karbonaten) Voruntersuchungen des Lamaseesedimentes haben gezeigt, daß das Umfeld des Lama Sees bis zum Allerød im Einflußbereich der Gebirgsvergletscherung des Putorana Plateaus lag. Eine Abkühlung während der Jüngeren Dryas führte zu keiner erneuten Gletscherausbildung. Erste höhere Pflanzen entwickelten sich im Bølling und bildeten während des Klimaoptimums im Boreal einen dicht geschlossenen Lärchen-Fichtenwald. Vom Boreal bis heute charakterisieren periodische Wechsel von Waldtundra und Tundra die Region des Lama Sees.

Mit Hilfe von geochemischen Untersuchungen (Haupt- und Spurenelemente) des Gesamtsedimentes und an verschiedenen Korngrößenfraktionen der Sedimentsequenz PG1111 aus dem Lama See und durch die multivariate statistische Bearbeitung der Ergebnisse werden neben der chemischen Verwitterung des Ausgangsgesteins weitere Einflußfaktoren auf die Geochemie des Sedimentes erfaßt:

Der Gesamtchemismus des Lamaseesedimentes wird im wesentlichen durch Variationen im Korngrößenspektrum gesteuert, die auf Transportartwechsel zurückzuführen sind. Die frühe Älteste Dryas ist durch glaziolakustrinen Kontakt charakterisiert, der zur Ablagerung von Kies und Sand in einer feinkörnigen Matrix führt. Ab der späten Ältesten Dryas dominiert die glazio-fluviatile Erosion mit dem Eintrag sehr feinen, tonigen Materials und ab dem Allerød führt fluviatiler Transport zur Ablagerung von siltig-tonigem Sediment.

Frühdiaagenetische Prozesse sind in der Sedimentsequenz PG1111 zu erkennen, prägen den Chemismus des Seesedimentes jedoch nur im geringen Maß. Sie sind mit Lösungs- und Verwitterungsprozessen an Land verbunden. Hinweise auf entsprechende Verwitterungsprozesse finden sich ab dem Bølling im Einzugsgebiet des Lama Sees.

Der Vergleich von unverwittertem Ausgangsgestein (kontinentale Flutbasalte) und dem Lamaseesediment zeigt, daß im See von der Ältesten Dryas bis heute verwittertes basaltisches Material abgelagert ist und belegt eine tiefgreifende, chemische, vorweichseleiszeitliche Verwitterung der Basalte. Untersuchungen am Feinstmaterial des Lamaseesedimentes lassen erkennen, daß das Einzugsgebiet des Lama Sees im Allerød von einer neu einsetzenden chemischen Verwitterung erfaßt wurde. Ein Verwitterungsindex belegt vom Allerød bis zum Preboreal die maximale Abfuhr mobiler Elemente.

## **Danksagung**

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Deutsch-Russischen Taimyr-Projektes *Rekonstruktion der spätquartären Umweltentwicklung in Zentralsibirien*, das vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) finanziell unterstützt wurde.

Für die Anregung und die fachliche Unterstützung dieser Arbeit und für die Hilfe zur Durchführung möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. H.-W. Hubberten bedanken.

Herrn Prof. Dr. H. Ruppert und Herrn Priv.-Doz. Dr. G. Matheis danke ich für die Übernahme der Begutachtung dieser Arbeit und für die eingehenden Diskussionen.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. B. Hagedorn, die mit ihrer fachlichen Kompetenz und den zahlreichen unterstützenden Diskussionen wesentlich zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen hat. Bei Herrn Dr. A. M. Siad bedanke ich mich für die Einführung in die Anwendung multivariater statistischer Untersuchungsmethoden und für die Klärung geochemischer Fragestellungen. Für ihre Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik danke ich den Frauen Dr. O. Lysitzina, Dr. H. Oberhänsli, Dr. C. Siegert und den Herren Dr. M. Melles, Dr. V. Racholt und Dr. U. Wand.

Für die erfolgreiche Zusammenarbeit und die Einführung in die Gesteinsmagnetik möchte ich mich bei Herrn Dr. R. N. Nowaczyk bedanken. Die Messungen der magnetischen Suszeptibilitäten wurden am GeoForschungsZentrum, Potsdam durchgeführt. Bei den Röntgenfluoreszenzanalysen wurde mir von Priv.-Doz. Dr. G. Matheis geholfen, die Untersuchungen selbst wurden am geochemischen Labor (Technische Universität Berlin) durchgeführt. Frau Glenz danke ich für die hilfreiche Unterstützung bei den rasterelektronischen Untersuchungen, die am GeoForschungsZentrum, Potsdam erfolgten. Die Bestimmung der <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Isotopie erfolgte im geochemischen Labor der Freien Universität Berlin unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Friedrichsen.

Für die Hilfe der am Alfred-Wegener-Institut, Forschungsstelle Potsdam, durchgeführten Laborarbeiten bedanke ich mich bei den Laborantinnen U. Bastian, M. Stapke und A. Eulenburg sowie bei Herrn L. Schönicke. Außerdem bedanke ich mich bei den Teilnehmern der Norilsk/Taimyr Expedition 1993 für die Kernentnahme, die die vorliegende Arbeit erst ermöglichte.

Frau Sass danke ich für ihre Hilfsbereitschaft bei der Suche und Bestellung spezieller Literaturwünsche. Für die Hilfe von organisatorischen Dingen möchte ich bei den Frauen C. Litz, B. Struschka, D. Kiewitt und besonders bei Frau H. Henschel, die immer Zeit für ein motivierendes Gespräch hat, bedanken.

Meinen Mitdoktoranden Christoph Abegg, Julia Boike, Tobias Ebel, Erich Hoops, Thomas Kulbe, Alexandra Raab, Markus Schwab, Gerald Vannahme und Bernd Wagner, die teilweise bereits den Weg zum 'Doktor' hinter sich haben, danke ich für fachliche Beiträge und private Unternehmungen.

Bei meiner Familie und meinen Freunden möchte ich mich für ihre Geduld und ihr Verständnis bedanken. Besonderen Dank gilt meinem Freund Dr. T. Denkler, der mich in idealer Weise fachlich und privat unterstützen konnte.



## 1 Einführung

Seesedimente können bei kontinuierlicher Ablagerung Klimaarchive über mehrere tausend Jahre darstellen. Typische Methoden zur Rekonstruktion des Paläoklimas an Seesedimenten sind die Palynologie (z.B. Gajewski 1995; Heusser 1994; Hyvärinen 1970; Sheng Hu et al. 1996; Sifeddine et al. 1996 und Wohlfarth et al. 1995), isotopengeochemische Untersuchungen an organischer Substanz und Frischwasserkarbonaten (z. B. Håkanson 1986; Hammarlund & Buchard 1996; Meyers & Horie 1993; Michel et al. 1989; Stuiver 1970; Talbot 1990; Talbot & Johannessen 1992 und Turney et al. 1997), Gesteinsmagnetik (z. B. Braitseva et al. 1997; Liddicoat & Coe 1997 und Williams et al. 1996), Sedimentologie (z. B. Johnson 1997; Leonard 1986 und Simola & Uimonen-Simola 1983) sowie die Mikropaläontologie (z. B. Bradbury 1997; Lotter et al. 1995 und Nygaard 1956).

Geochemische Untersuchungen in Seesedimenten konzentrieren sich oft auf den oberflächennahen Bereich und beschäftigen sich im wesentlichen mit der Mobilität und Fixierung von Haupt- und Spurenelementen in Abhängigkeit von Redox- und pH-Bedingungen (z.B. Aller 1994; Carignan et al 1985; Cline & Upchurch 1973 und Young & Harvey 1992). In kontaminierten Regionen liegt der Schwerpunkt von geochemischen Untersuchungen auf der Quantifizierung des anthropogenen Eintrages und in der Rekonstruktion möglicher Kontaminationsquellen (z.B. Dauvalter 1994; Kramar et al. 1992 und Pirrie et al. 1997).

Untersuchungen zur Klimaabhängigkeit der Geochemie von Seesedimenten über einen längeren Zeitraum existieren für die Rekonstruktion von Seespiegelschwankungen und marinen Einflüssen, indem über Salzgehalte lakustriner Ablagerungen und deren Porenwässern Evaporationsraten oder marine Transgressionen qualifiziert und quantifiziert werden (z.B. Hoelzmann 1993; Lewis & Weibezahn 1981; Olsson 1991).

Andere geochemische Untersuchungen an Seesedimentabfolgen von Mackereth (1966) und Pennington (1981b) zeigen, daß der Eintrag von Hauptelementen in das Sediment in Abhängigkeit von Glazial- und Nichtglazialzeiten schwankt: hohe Konzentrationen an Kalium, Natrium, Kalzium und Magnesium reflektieren Zeiten verstärkter glazialer Erosion und die ursprüngliche Zusammensetzung des Ausgangsgesteins. Niedrige Hauptelementkonzentrationen dagegen repräsentieren den Rückgang der Gletscher, verminderte Erosion sowie die Zunahme von Lösungsprozessen durch Bodenbildung.

Der Einfluß des Klimas auf die chemische Verwitterung wird in der Literatur kontrovers diskutiert: Felduntersuchungen und Laborexperimente belegen deutlich den Einfluß des Klimas, insbesondere des Niederschlages und der organischen Substanz, auf die chemische Verwitterung (Berner 1992; Clow & Drever 1996; Velbel 1993). Andererseits zeigten Untersuchungen entlang des Äquators von den Tropen bis in den arktischen Bereich, daß die Lithologie, unabhängig vom Klima, wesentlichen Einfluß auf die chemische Verwitterung hat (Edmond et al. 1995). Ähnliche Verwitterungsraten von Basalten wurden sowohl in kalten (Island, Nordatlantik) als auch in tropischen Klimaten (Réunion, Pazifischer Ozean) beobachtet (Gíslason & Arnórsson 1993; Louvat & Allègre 1997).

In Permafrostgebieten ist die chemische Verwitterung im wesentlichen auf die oberflächennahe jahreszeitliche Auftauschicht ('active layer') vom Beginn des Tauens im Frühjahr bis zum Zurückgefrieren im Herbst begrenzt. Verstärkenden Einfluß auf die chemische Verwitterung haben die Schneeschmelze im Frühjahr (Untersättigung der

## *Einführung*

Bodenlösung), starke solare Einstrahlung, erhöhte UV-Bestrahlung von Mai bis August, steile Temperaturgradienten und häufige Tau-Gefrier-Zyklen (Ugolini 1986).

Ansatz der vorliegenden Arbeit ist es, klimainduzierte Verwitterungstrends im Einzugsgebiet anhand von geochemischen Variationen innerhalb einer Seesedimentabfolge zu rekonstruieren. Voraussetzung ist, daß verwittertes, geochemisch verändertes Ausgangsgestein erodiert und im See abgelagert wurde. Untersuchungen an einer Seesedimentsequenz bieten dabei die Möglichkeit, den Prozeß der chemischen Verwitterung über mehrere tausend Jahre zu verfolgen und zu quantifizieren. Die Untersuchungen heben sich damit von anderen Verwitterungsstudien ab, die sich auf die Löslichkeit von Mineralphasen in Böden oder auf die geochemische Zusammensetzung suspendierter und gelöster Fracht von Abflüssen in rezenten bis subrezenten Zeiten konzentrieren (z.B. Clow & Drever 1996; Louvat & Allègre 1997; Nesbitt et al. 1980; Tranter et al. 1996).

Der Lama See liegt im nördlichen Zentralsibirien auf der Taimyrhalbinsel (ca. 69° N, 90° E) und gehört zu einem System ost-west streichender Spaltenseen am westlichen Hang des Putorana Plateaus. Der See bedeckt eine Fläche von 466 km<sup>2</sup> mit einer maximalen Länge von 82 km und einer maximalen Breite von 13 km. Die größte Tiefe beträgt 254 m. Das Gewässer wird von mehreren Zuflüssen aus dem Putorana Plateau gespeist. Das Einzugsgebiet ist heute durch eine Waldtundra aus Fichten und Lärchen, durch die Ausbildung von kontinuierlichem Permafrost sowie durch ein Einzugsgebiet mit einheitlicher Lithologie (sibirische Flutbasalte) charakterisiert.

Im Rahmen des Deutsch-Russischen Taimyr-Projektes, das die Rekonstruktion der spätquartären Umweltentwicklung in Zentralsibirien zum Ziel hat, wurde die Sedimentsequenz PG1111 aus dem zentralen Bereich des Lama Sees mittels palynologischer, mikropaläontologischer, sedimentologischer und biochemischer Methoden untersucht (Hahne & Melles 1997; Harwart 1999; Kienel 1999). Die Ergebnisse zeigen, daß das Umfeld des Lama Sees seit dem Spätpleistozän von deutlichen Klimawechseln geprägt ist. Die Umweltgeschichte ist in der Ältesten Dryas durch einen Eisrandkontakt mit der Gebirgsvergletscherung des Putorana Plateaus und von der späteren Ältesten Dryas bis zum Allerød durch den Rückzug der Gletscher gekennzeichnet. Erste höhere Pflanzen entwickelten sich seit dem Bølling und bildeten während des Klimaoptimums im Boreal einen dicht geschlossenen Lärchen- und Fichtenwald.

Aufbauend auf der guten Rekonstruktion der Umweltentwicklung durch die vorangegangenen Untersuchungen und begünstigt durch ein lithologisch einheitliches Einzugsgebiet ist die Kernsequenz PG1111 aus dem Lama See gut geeignet für Verwitterungsstudien in Bezug auf Klimaänderungen über einen Zeitraum von mehr als 10.000 Jahren.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe von geochemischen Untersuchungsmethoden den Einfluß der chemischen Verwitterung im Einzugsgebiet des Lama Sees auf die Geochemie der Sedimente des Lama Sees seit dem Spätpleistozän qualitativ und quantitativ zu erfassen. Konkret werden dabei folgende drei Fragestellungen verfolgt:

1. Welche Prozesse und Faktoren (z.B. Ausgangsgestein, Erosion, Transport und Diagenese) haben, neben der chemischen Verwitterung im Einzugsgebiet, Einfluß auf die geochemische und petrographische Zusammensetzung der Sedimente im Lama See?
2. Inwieweit hat speziell die chemische Verwitterung im Einzugsgebiet Einfluß auf die geochemische Zusammensetzung der Sedimente?

3. Wie reagiert die chemische Verwitterung im Einzugsgebiet auf Änderungen der Umweltbedingungen seit dem Spätpleistozän in Mittelsibirien und welchen Einfluß haben diese Veränderung auf die geochemische Zusammensetzung der Seesedimente?

### 1.1 Beschreibung des Arbeitsgebietes

#### 1.1.1 Geographische Lage

Der Lama See (ca. 69° N, 90° E) ist einer der typischen ost-west streichenden Spaltenseen entlang von Störungszonen, die den westlichen Hang des Putorana Plateaus durchziehen (Galizii & Parmuzin 1981; Abb. 1).

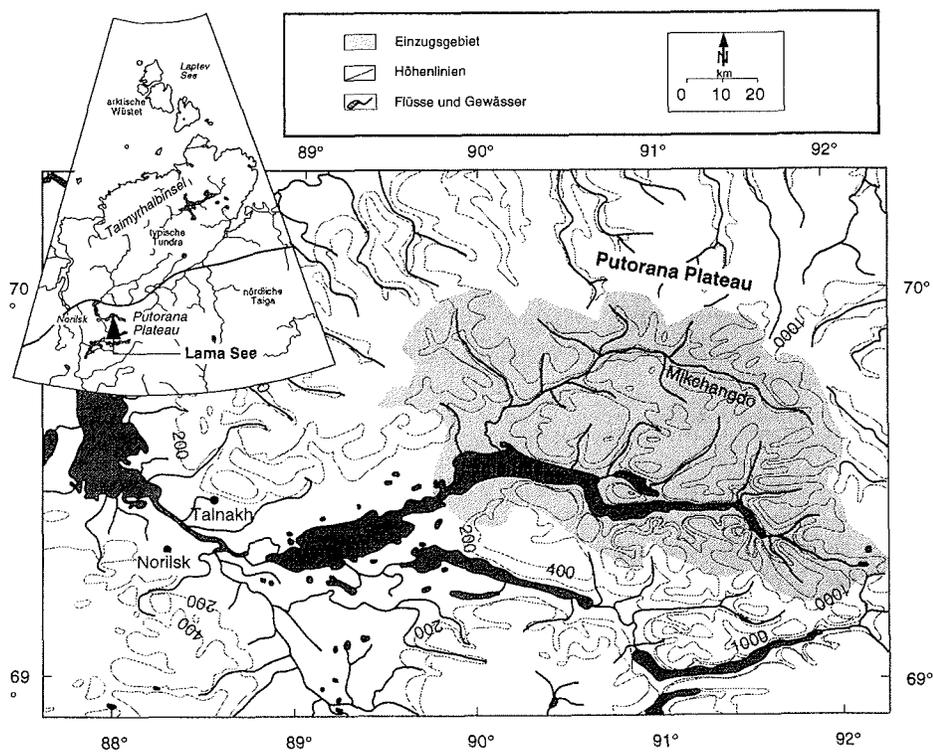


Abb. 1: Lage und Topographie des Einzugsgebietes des Lama Sees. Die eingefügte Kartenskizze zeigt die Lage des Lama Sees auf der Taimyrhalbinsel (Zentralsibirien) am nordwestlichen Rand des Putorana Plateaus.

Die Region ist durch Permafrost gekennzeichnet und erreicht in dieser Region heute in Abhängigkeit von Vegetationsbedeckung, Schneedecke und Korngröße Mächtigkeiten von bis zu 300 m (Demidyuk & Kondratéra 1989; Galizii & Parmuzin 1981). Hauptbodentyp ist die Braunerde mit hohem Anteil an quellfähigen Tonen, die je nach Gehalt an organischer Substanz und Grundwassereinfluß unterschiedlich stark humos und vergleht ist (Demidyuk & Kondratéra 1989).

## Geographische Lage

Tab.1: Allgemeine Daten des Lama Sees.

Höhe	53.0 m NN.
Länge	82.0 km
Breite	
Minimum	1.1 km
Maximum	13.0 km
Fläche	466 km <sup>2</sup>
maximale Tiefe	254 m
Einzugsgebiet	6210 km <sup>2</sup>
Einzugsgebiet/See	13.3 km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>

Der Lama See bedeckt eine Fläche von 466 km<sup>2</sup>, hat eine maximale Länge von 82 km und eine maximale Breite von 13 km, die maximale Wassertiefe beträgt 254 m (Demidyuk & Kondratéra 1989, Tab. 1).

Die Entwicklung des Seebeckens geht auf die Hebung des Putorana Plateaus und die Bildung von Störungszonen im späten Kanäozoikum zurück (Demidyuk & Kondratéra 1989; Galizii & Parmuzin 1981; Abb. 1 und 3). Der Lama See wird heute von mehr als 10 Zuflüssen mit Abflußhöhen von 300 bis 700 mm/a gespeist (Tab. 2). Sie drainieren aus den Anhöhen des Putorana Plateaus, das im Norden, Osten und Süden des Lama Sees Höhen von bis zu 1200 m erreicht (Abb. 1).

Ein Abfluß im Westen verbindet den Lama See mit dem Melkoye See, der wesentlich flacher ist und nach Norden über die Pyasina in den Pyasino See nördlich der Stadt Norilsk entwässert.

### 1.1.2 Klima

Die Region des Lama Sees ist durch kontinentales Klima mit hohen jährlichen und täglichen Temperaturschwankungen geprägt und zeigt im Vergleich zu anderen Gebieten in Zentralsibirien außergewöhnlich hohe jährliche Niederschlagsmengen (300 - 500 mm, Tab. 2).

Tab. 2: Mittlere Jahresklimadaten in der Region des Lama Sees.

Lufttemperatur	-9,8 °C
Maximum (Juli)	10 bis 15 °C
Minimum (Januar)	-25 bis -35 °C
Anzahl von frostfreien Tagen	37 Tage
Niederschlag	300 - 500 mm
Abflußmenge der Zuflüsse	300 - 700 mm
Schneebedeckung	8 - 9 Monate
Dauer der Schneeschmelze	25 - 35 Tage
Bodentemperatur (im Juli und in ca. 20 cm)	5 bis 9 °C
Mächtigkeit des Permafrostes	100 - 300 m
Mächtigkeit der 'active layer'	0.5 - 2.5 m
max. Windgeschwindigkeit (bevorz. NE⇒SW und W⇒NE)	40 m/s

Feuchte atlantische und arktische Luftmassen regnen über dem Mittelsibirischen Bergland an der Westseite des Putorana Plateaus (Luvseite) als Folge von Luftdruckgegensätzen und Zyklonbildungen ab (Franz 1973; Galizii & Parmuzin 1981). Die mittlere Jahreslufttemperatur beträgt  $-9.8^{\circ}\text{C}$ , wobei maximale Temperaturen von 10 bis  $15^{\circ}\text{C}$  im Juli erreicht werden (Tab. 2). Von Oktober bis Mai ist auf dem See eine Eisdecke ausgebildet. Die Hauptschneesmelze ist von Ende Mai bis Mitte Juni zu beobachten. Weitere wichtige Klimadaten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

### 1.1.3 Geologischer Rahmen

Der Lama See liegt östlich der Stadt Norilsk am nordwestlichen Rand der sibirischen Plattform, die hier durch permo-triassische kontinentale Flutbasalte abgedeckt wird (Lightfoot et al. 1990; Naldrett et al. 1992; Wooden et al. 1993; Zolotukhin & Mukhamedov 1988, Abb. 2).

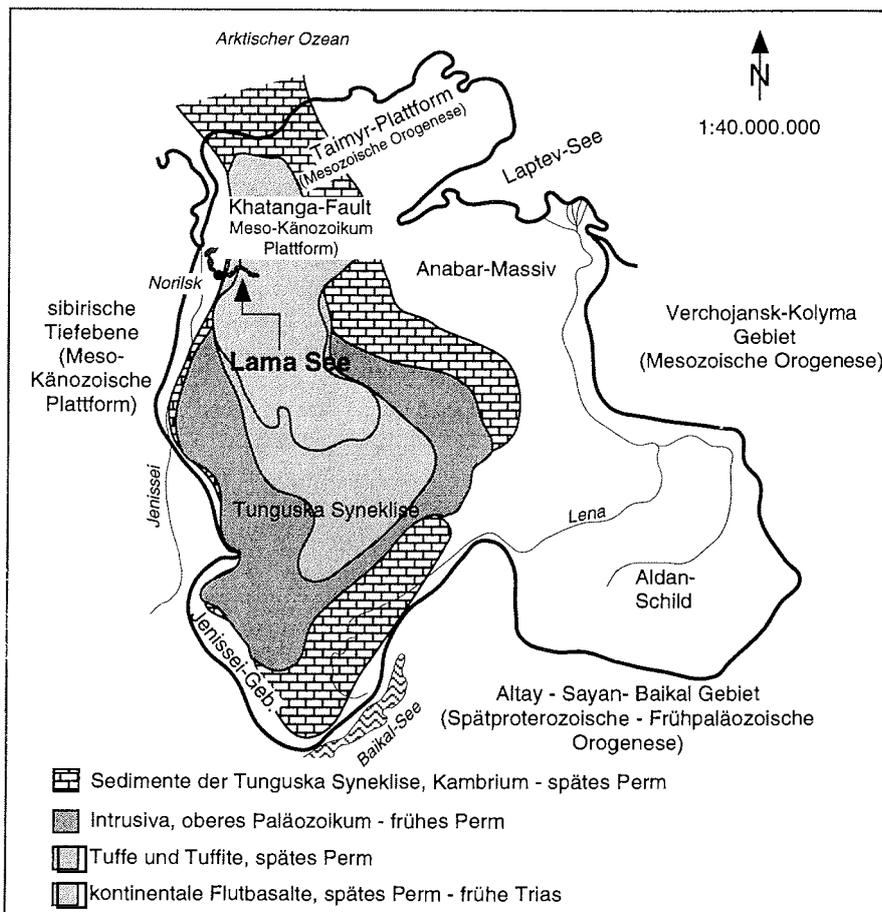


Abb. 2: Verteilung und Lage der wichtigsten Gesteinsformationen auf dem westlichen Teil der sibirischen Plattform.

## *Geologischer Rahmen*

Die sibirische Plattform ist seit dem Ende des Präkambriums ein stabiler Kraton (Naldrett et al. 1992; Zolotukhin & Mukhamedov 1988) und mit spätproterozoischen bis kambrischen sedimentären und spätpaläozoischen bis permischen magmatischen Ablagerungen bedeckt bzw. durchdrungen. Die präkambrischen Formationen der sibirischen Plattform treten im Anabar-Massiv, im Aldan-Schild sowie im Ostsajan und im Jenissei-Gebirge zutage (Tröger 1984; Zolotukhin & Mukhamedov 1988).

Im späten Proterozoikum (Riphäikum bis frühes Paleozoikum) entwickelte sich im nordwestlichen Teil der sibirischen Plattform (Norilsk Region) eine nord-süd streichende Beckenstruktur (Tunguska Syneklise) mit Ablagerungen aus drei Zyklen mariner Transgressionen und Regressionen (Wooden et al. 1993). Die Ablagerungen der Tunguska Syneklise stellen eine 3700 bis 4700 m mächtige sedimentäre, teilweise kohleführende Abfolge aus kambrischen bis spätpermischen Dolomiten, Kalksteinen, marinen Tonsteinen, Mergeln und sulfatreichen Evaporiten dar, die durch lagunale und kontinentale Sedimente abgeschlossen wird (Lightfoot et al. 1990; Naldrett et al. 1995; Wooden et al. 1993).

Während der mittleren und späten Trias entwickelte sich westlich und nördlich der Norilsk Region ein Riftsystem, das mit einem aktiven Hotspot östlich der Uraliden in Zusammenhang gebracht wird (Naldrett et al. 1992; Wooden et al. 1993). Hinweise dafür sind das Auftreten von Krustenmaterial mit ozeanisch-geochemischer Signatur und die Ausdünnung kontinentaler Kruste (25 km) in Zentralsibirien (Tamrazyan 1971). Eine Folge des Riftings ist das Austreten großer Basaltmengen (sibirische kontinentale Flutbasalte), die die präkambrischen und paläozoischen Gesteine der nordwestlichen sibirischen Plattform und der Tunguska Syneklise überlagern (Abb. 2 und 3).

Diese kontinentalen Flutbasalte bedecken eine Fläche von ungefähr  $1.5 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup> (Zolotukhin & Mukhamedov 1988) und besitzen eine Mächtigkeit von ca. 4 km (Naldrett et al. 1992). Mit den Flutbasalten assoziiert sind ultramafische bis mafische Intrusiva, längliche 100 bis 300 m mächtige Zentralkörper mit randlich ausgebildeten 10 bis 30 m mächtigen Sills, und die Ausbildung von Nickel-Kupfer-Sulfid- und Platinlagerstätten (Naldrett et al. 1995; Zolotukhin & Mukhamedov 1988).

Tektonisch wird die sibirische Plattform im Norden von dem Khatanga Trog und im Westen von der sibirischen Tiefebene begrenzt (Naldrett et al. 1992; Zolotukhin & Mukhamedov 1988; Abb. 2). Der Khatanga Trog trennt die sibirische Plattform von der Taimyr Plattform. Die Entstehung und Entwicklung des Troges ist nicht eindeutig geklärt. Während des Juras entstand hier offenbar ein Riftsystem, dessen Entwicklung durch die Öffnung des Kanadischen Ozeans und die damit verbundene Trennung des Taimyrblocks von Nordamerika unterbrochen wurde. Der kollidierende Taimyrblock verfaltete die jurassischen Ablagerungen des Khatanga Troges (Naldrett et al. 1992). Heute bedecken quartäre Ablagerungen den Khatanga Trog vollständig. Die sibirische Tiefebene trennt die sibirische Plattform von den Uraliden im Osten. Die mesozoischen und kanäozoischen Sedimente der Tiefebene bedecken das präkambrische bis paläozoische Grundgebirge des ural-ochotskischen Gebirgsgürtels, der sich von der Kara See im Nordwesten bis zur Ochotskischen und Japanischen See im Osten erstreckt (Chain & Koronovskij 1995). Das Orogen tritt südlich der sibirischen Plattform (Zentralkasachstan, Tien Shan, Altai-Sajan-Baikail Region) zutage.

### ***1.1.3.1 Charakterisierung der permo-triassischen Flutbasalte***

Das Einzugsgebiet des Lama Sees ist durch permo-triassische Flutbasalte geprägt (Abb. 3), die aus über 200 Lavadecken mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 15

m und ca. 30 Tuffhorizonten (50 bis 400 m) bestehen (Naldrett et al. 1995; Wooden et al. 1993). Sie setzen sich im wesentlichen aus tholeiitischen (>90 vol.%), alkalinen (2.5 vol.%) und subalkalinen (1 vol.%) Basaltvarietäten zusammen (Wooden et al. 1993; Zolotukhin & Mukhamedov 1988).

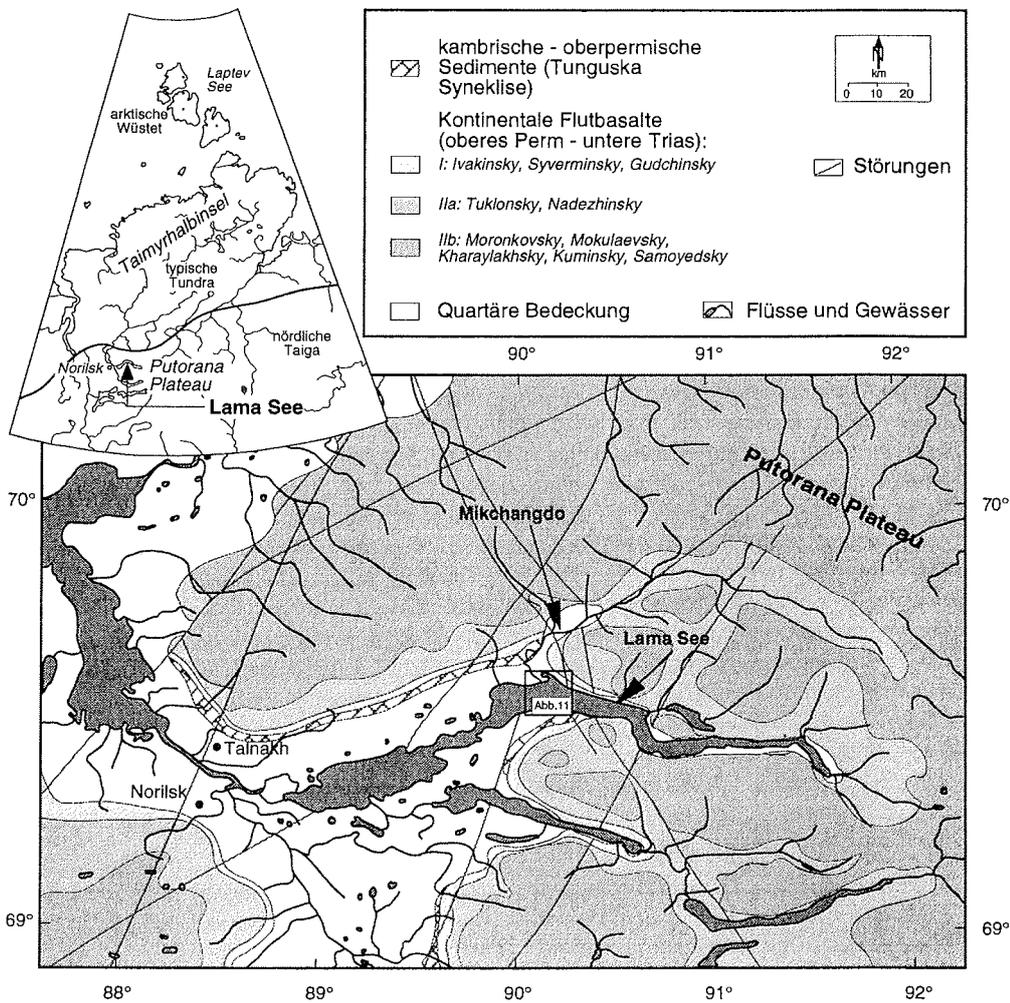


Abb. 3: Geologische Formationen in der Region des Lama Sees. Die Geologie des Einzugsgebietes wird durch permo-triassische kontinentale Flutbasalte dominiert. Die basaltische Abfolge besteht aus 11 Sequenzen, die nach Naldrett et al. (1995) zu drei Gruppen I, IIa und IIb zusammengefasst werden. Am östlichen Rand des Lama Sees erreichen kambrische bis oberpermische Ablagerungen der Tunguska bis oberpermische Ablagerungen der Tunguska Syneklise die Oberfläche, die ansonsten von quartären Ablagerungen abgedeckt sind.

Insgesamt können elf petrographisch verschiedene Hauptlavatypen unterschieden werden (Lightfoot et al. 1993; Naldrett et al. 1992; Naldrett et al. 1995; Wooden et al. 1993; Zolotukhin & Mukhamedov 1988). Vom Liegenden zum Hangenden heißen diese Ivakinsky (iv), Syverminsky (sv), Gudchinsky (gd), Khakanchansky (hk), Tuklonsky

## *Vereisungsgeschichte*

(tk), Nadezhdinsky (nd), Morongovsky (mr), Mokulaevsky (mk), Kharaylakhsy (hr), Kumginsky (km) und Samoedsky (sm). Eine petrographische Beschreibung und geochemische Charakterisierung der Basaltsequenzen sind im Anhang in der Abb. A-1 und den Tabellen A-1, A-2 und A-3 aufgeführt. In der Norilsker Region besitzt die Ivakinsky-Gudchinsky Abfolge einen Volumenanteil von 7 vol. %, die Khakanchansky-Nadezhinsky Abfolge einen Anteil von 14 vol.% und auf die Morongovsky-Samoedsky Sequenz entfallen 79 vol.% (Wooden et al. 1993). Plagioklas, Augit und opake Minerale bilden den Hauptmineralbestand der Basalte (Lightfoot et al. 1990; Lightfoot et al. 1993; Wooden et al. 1993; Zolotukhin & Mukhamedov 1988). Einsprenglinge werden in der Regel von Plagioklasen gebildet. In subbalkalischen Basalten dominieren Augit- und in den pikritischen Basalten Olivineinsprenglinge. Generell nimmt der Anteil von Einsprenglingen innerhalb der gesamten Sequenz vom Liegenden zum Hangenden ab.

Naldrett et al. (1995) unterteilt die permo-triassischen Flutbasalte im Einzugsgebiet des Lama Sees auf der Basis des  $\text{TiO}_2$ -Gehaltes in eine untere und obere Sequenz: Die untere Abfolge (Assoziation I) umfaßt subbalkalische, tholeiitische und pikritische Basalte mit hohen Gehalten an  $\text{TiO}_2$  (1.3 - 2.4 Gew.%) und setzt sich aus den Einheiten Ivakinsky, Syverminsky und Gudchinsky zusammen.  $\text{TiO}_2$ -ärmere (0.45 - 0.95 Gew. %), tholeiitische und teilweise olivinreiche Basalte charakterisieren die obere Abfolge (Assoziation II), die von den Sequenzen Tuklonsky, Nadezhdinsky, Morongovsky, Mokulaevsky, Kharaylakhsy, Kumginsky und Samoedsky gebildet wird. Zwischen beiden Assoziationen befindet sich der 20 - 260 m mächtige Tuffhorizont Khakanchansky. Aufgrund ihrer Diagenese und ihrer geochemischen Zusammensetzung untergliedert Naldrett et al. (1995) Assoziation II in die Gruppen IIa (Tuklonsky und Nadezhdinsky) und IIb (Morongovsky, Mokulaevsky, Kharaylakhsy, Kumginsky und Samoedsky): Die Tuklonsky Formation wird als ein zweites initiales pikritisches Magma interpretiert, das im östlichen Teil der Norilsk Region eruptierte und westlich davon als stärker fraktioniertes und durch oberes Krustenmaterial kontaminiertes Material an die Oberfläche tritt (Nadezhdinsky Formation; Naldrett et al. 1995). Die Nadezhdinsky Formation hebt sich in Relation zur Tuklonsky Formation durch höhere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  und Lm/Sm Werte ab (tk:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.705678, Lm/Sm: 2.51; nd:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.7072605; Lm/Sm: 3.95). Die Assoziation IIa überlagernden Schichten (Assoziation IIb) stellen eine Mischung aus Nadezhdinsky-Material und frisch eruptiertem Magma dar ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.704996, Lm/Sm: 2.38).

Nach Naldrett et al. (1992) besitzt im Einzugsgebiet des Lama Sees Formation I eine Mächtigkeit von 100 bis 300 m, Formation IIa eine Mächtigkeit von 200 bis 700 m und Formation IIb eine Mächtigkeit von > 1000 m.

In der Tab. A-3 im Anhang sind Konzentrationen, Mittelwert und Standardabweichung der Haupt-, Neben- und Spurenelemente der drei von Naldrett et al. (1995) definierten Basaltgruppen I, IIa und IIb angegeben.

### ***1.1.4 Verbreitung weichseleiszeitlicher Gletscher***

Für die Rekonstruktion weichseleiszeitlicher Vergletscherungen in der Nordhemisphäre existieren verschiedene Modelle. Grosswald (1980), Grosswald (1988) und Grosswald & Hughes (1995) vertreten eine Maximalvariante und beschreiben die letzte Vereisung (Weichsel/Zyryan) als einen zusammenhängenden panarktischen Eisschild, der den gesamten arktischen Schelf sowie große Teile des nordamerikanischen und des eurasischen Kontinentes bedeckte. Seine maximale (letztes glaziales Maximum) erreichte dieser Eisschild um 18.000 B.P. (Abb. 4).

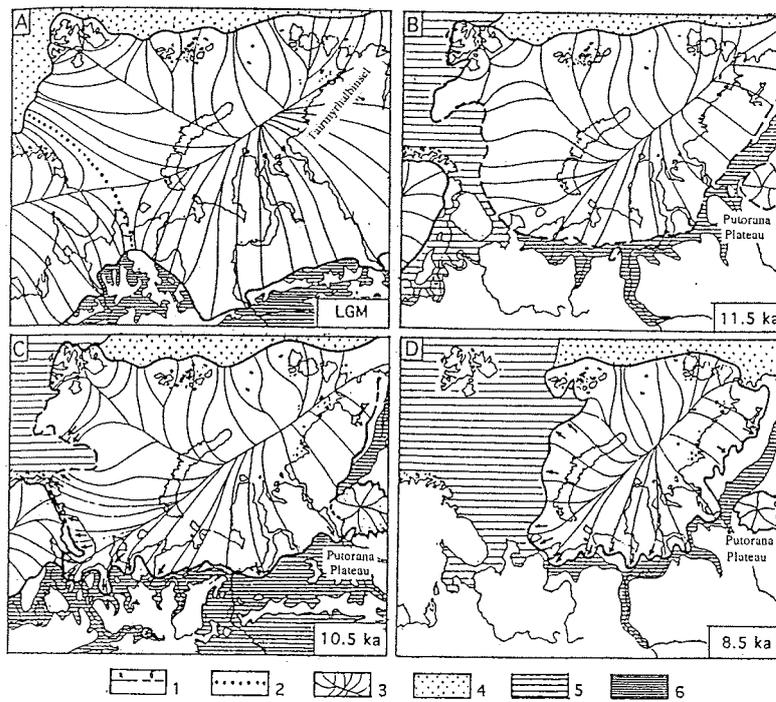


Abb. 4: Ausdehnung der Vereisung während des letzten glazialen Maximums (LGM) im nördlichen Eurasien sowie die Entwicklung der Eisausdehnung bis in das Boreal nach Grosswald (1993). 1=Eisgrenze, sicher (durchgezogen) und vermutet (gestrichelt), 2=Grenze zwischen der Kara See- und der Skandinavischen Provinz während des LGMs, 3=Eisfließlinie, 4=schwimmender Eisschelf, 5=eisfreier Ozean, 6=proglaziale Seen.

Eine zweite, weit größere Gruppe von Wissenschaftlern geht von einer geringeren Vereisung aus und beschreibt verschiedene Vereisungszentren, die sich aufgrund unterschiedlicher Klimaverhältnisse (Kontinentalität) in ihrer Ausdehnung asynchron und asymmetrisch verhielten (Astakhov 1997; Astakhov & Isaeva 1988; Danilov et al. 1985; Möller & Bolshiyarov 1998; Romanovsky 1993; Sulerzhitsky 1995; Vasil'chuk et al. 1984; Velichko et al. 1997). Weite Areale der Hocharktis Kanadas sowie Mittel- und Ostsibiriens blieben zu der Zeit nahezu eisfrei, als der Laurentische Eisschild (südliches Nordamerika) sowie der Devenische und Skandinavisch-Eurasische Eisschild seine größte Ausdehnung erreichten (22-10.000 B.P.; Abb. 5). Umgekehrt proportional zur Inlandsvereisung entwickelte sich der Permafrost in den nicht vergletscherten Gebieten, der während des Spätpleistozäns seine maximale latitudinale Ausdehnung in Ostasien zeigte.

Für Zentralsibirien wird die Kara See als Vereisungszentrum der Inlandsvereisung angesehen (Astakhov 1997; Astakhov 1992; Grosswald 1980; Grosswald 1983; Grosswald & Hughes 1995; Velichko 1993). Schelf- und Gebirgsvergletscherungen waren während des frühen Weichselglazials (Zyryan) wesentlich aktiver als im

## Vereisungsgeschichte

Spätweichsel (Sartan) und breiteten sich bis in die sibirische Tiefebene aus (Astakhov 1997) (Abb. 6).

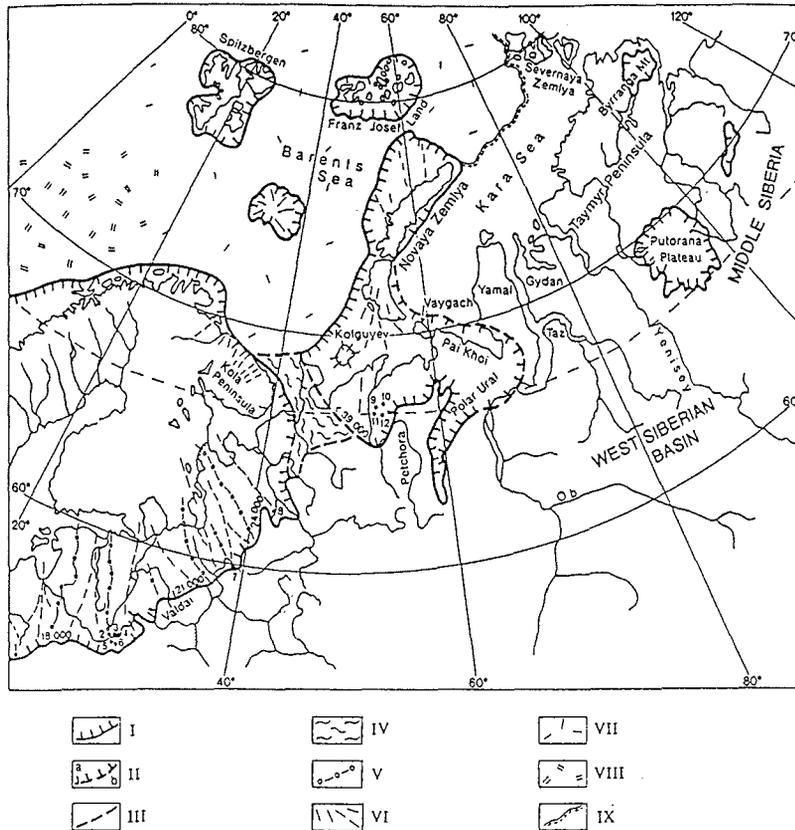


Abb. 5: Vereisungszentren im nördlichen Eurasien während des LGMs nach Velichko (1997). I=vergletscherte Gebiete, II=Eisgrenze, sicher (a), vermutet (b), III=Grenze zwischen verschiedenen Eisdecken, IV Zone sich gegenseitig beeinflussender Eisdecken, V+VI=Eisfließrichtung, VII=Sees; VIII=seasonales Sees; IX=Küstenlinie während des LGMs.

Nach dem Rückzug der Gletscher während des Weichselinterstadials (Karkinsk) expandierten diese im Spätweichsel erneut, diesmal ausgehend von Novaja Semlya, in die Pechora Ebene und auf die westliche Yamalhalbinsel (Abb. 6). Die östlichste Grenze des Eisschildes liegt nach Astakhov (1997) am westlichen Rand der Yamalhalbinsel, östlich von dieser gibt es keine sicheren Anzeichen einer großflächigen Vereisung nach 35.000 bis 30.000 B.P. Eine Ausnahme bildeten die Gebirgsvergletscherungen des Putorana Plateaus und des Byrranga Gebirges auf der Taimyrhalbinsel (Astakhov 1997; Kind 1974; Velichko et al. 1997). Der Zeitraum von 22.000 bis 10.000 B.P. wird als die kälteste Periode im Spätweichsel betrachtet.

Ergebnisse im Rahmen des Taimyrprojektes weisen auf eine minimale Gletscherausdehnung im Spätweichsel hin. Untersuchungen an Permafrostprofilen in der Region des Labaz Sees als auch an Sedimenten des Levinson-Lessing Sees im südlichen Byrranga Gebirge (beide Taimyrhalbinsel) belegen, daß die Tieflandgebiete durch keine neue Vergletscherung im Spätweichsel erfaßt wurden (Ebel et al. 1999; Siegert et al. 1999).

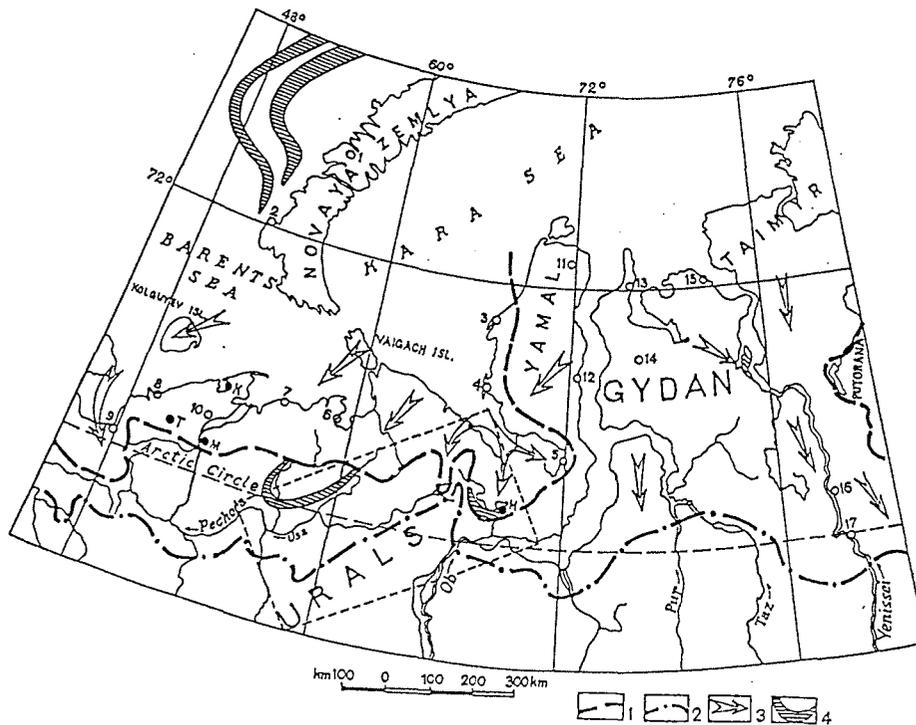


Abb. 6: Maximale Ausdehnung der Gletscher im nördlichen Zentralsibirien während der Früh- und Spätweichsel nach Astakhov (1997). 1=vermutete Grenze der Spätweichselvergletscherung, 2=vermutete Grenze der Frühweichselvergletscherung, 3=Eisfließrichtung, 4=Endmoränenzüge.

Erste Anzeichen einer Erwärmung um 15.000 B.P. sind in alluvialen und limnischen Formationen sowie in der Entwicklung von Böden und Torfen auf der Yamalhalbinsel, auf Novaya Zemlya und in der unteren Jenisseiregion zu finden (Arkhipov et al. 1980; Astakhov 1989a; Kind 1974). Nach Krivonogov (1988) dominierte jedoch weiterhin kühles Klima mit Permafrostbedingungen, sodaß die heutigen Tundrenzonen um ca. 900 km weiter nach Süden reichten. Nach einer erneuten Kältephase mit Lössablagerungen und der Ausbildung von Eiskeilsystemen ist eine Klimaverbesserung um ca. 12.000 - 11.000 B.P. in Pollenspektren der Pechora Ebene, im südlichen Westsibirien und auf der Taimyrhalbinsel dokumentiert (Hahne & Melles 1997; Hahne & Melles 1999; Kienel 1999; Krivonogov 1988). Altersbestimmungen an gewarnten, tonigen Sedimenten am westlichen Rand des Putorana Plateaus lassen ein letztes Expandieren der Gebirgsvergletscherung um  $10.700 \pm 200$  B.P. vermuten (Kind 1974).

## *Vereisungsgeschichte*

Ein drastischer Klimawechsel zum Holozän (ca. 10.000 B.P.) ist belegt durch die Entwicklung von Torfen in hohen Breiten (Novaya Zemlya, Yamalhalbinsel), das Verschwinden des Mammuts, die Ausbildung von Thermokarst und die Ausbreitung des borealen Waldes nach Norden (Astakhov & Isaeva 1988; Korotkevich & Makeyev 1991; Siegert et al. 1999). Zahlreiche in situ fossile Lärchenstümpfe auf der östlichen Taimyrhalbinsel belegen, daß die Baumgrenze um 10.500 B.P. etwa 600 km nördlicher lag als heute (Belorusova et al. 1987). In Anlehnung an palynologische Untersuchungen an Seesedimenten des Levinson-Lessing und des Lama Sees im Rahmen des Taimyrprojektes ist das Holozäne Klimaoptimum dem Preboreal und Boreal zuzuordnen (Hahne & Melles 1999).

### ***1.1.4 Spätquartäre Umweltentwicklung im Einzugsgebiet des Lama Sees***

Nach Galazii & Parmuzin (1981) liegt der Lama See heute in einer Waldtundra aus Fichten und Lärchen mit vereinzelt Birkenbeständen. Die Vegetation unterliegt aufgrund der ausgeprägten Morphologie mit Höhenunterschieden von über 1000 m einer vertikalen Vegetationsgliederung. In geringen Höhen bilden sich Lärchen-Fichtenwälder mit wenigen Birken aus, die mit zunehmender Höhe in reine Lärchenwälder mit vereinzelt verkrüppelten Birken übergehen. Oberhalb der Baumgrenze in etwa 200 bis 400 m NN. dominieren Erlenbüsche mit Flechten, Kräutern und Grass.

Die Region des Lama Sees ist durch kontinuierlichen Permafrost, Kargletscher in den höheren Regionen des Putorana Plateaus, Schneefelder und durch hohe jährliche Niederschlagsmengen geprägt (Galazii & Parmuzin 1981; Kap. 1.1.1).

Mit Hilfe von palynologischen, mikropaläontologischen, biochemischen und sedimentologischen Untersuchungen an der Kernsequenz PG1111 konnte gezeigt werden, daß die Umweltbedingungen am Lama See seit dem Spätpleistozän starken Schwankungen unterlagen (Hahne & Melles 1997; Hahne & Melles 1999; Harwart et al. 1999; Kienel 1999; Abb. 7).

Das Lamaseesediment ist von der Ältesten Dryas bis zum Allerød durch hohen minerogenen Eintrag und Sedimentlaminiierung charakterisiert, die auf glaziale Erosion durch die Gebirgsvergletscherung des Putorana Plateaus zurückgeführt werden (Harwart et al. 1999). Mineralogische und sedimentologische Untersuchungen reflektieren Phasen des Eisrandkontaktes, des Gletscherrückzuges und einen vollständigen Rückzug der Gletscher aus dem Einzugsgebiet des Lama Sees vom Ende der Ältesten Dryas bis ins mittlere Allerød (Abb. 7). Die isotopengeochemische Zusammensetzung der organischen Substanz im Sediment (= 0.2 Gew.%) signalisiert einen erhöhten Eintrag an Bicarbonat, der möglicherweise durch HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-reiche Schmelzwässer verursacht ist, und/oder spiegelt den durch eine ganzjährige Eisdecke limitierten CO<sub>2</sub>-Austausch von Atmosphäre und Seewasser wider.

Palynologische Untersuchungen charakterisieren das Umfeld von der Ältesten Dryas bis zum Allerød als arktische Tundra mit sehr kalten und trockenen Klimabedingungen. Der Anstieg von Baumpollen (Strauchbirke) von 10 auf 25 % verweist auf eine kurzfristige Erwärmung im Verlauf des Bøllings (Hahne & Melles 1997). Während des Allerøds steigt die Baumpollenkonzentration erneut von 10 auf 50 %. Dies ist im wesentlichen auf die Ausbreitung von Strauchbirken zurückzuführen. Erstmals tritt die Lärche sporadisch im Einzugsgebiet auf. Der Rückgang von Baumpollen (von 50 auf 30 %) während der Jüngeren Dryas kennzeichnet ein kaltes und feuchtes Klima, das die Birken teilweise, aber nicht vollständig verdrängt (Hahne & Melles 1997).

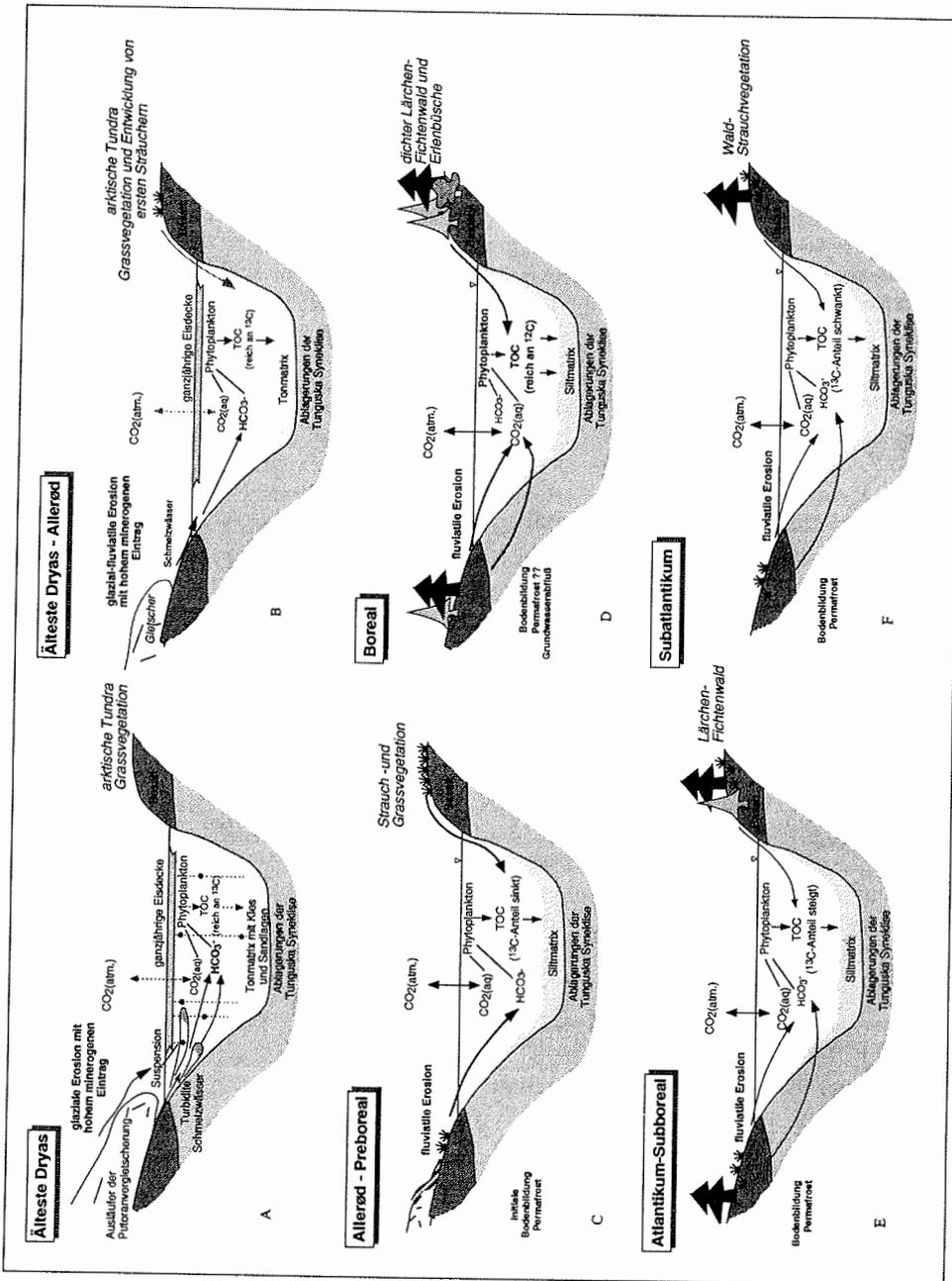


Abb. 7: Modell zur Umweltgeschichte des Lama Sees seit der Ältesten Dryas; aus Harwart et al. (1999).

## *Verwitterungsprozesse*

Diese Klimaverschlechterung verursachte aber keine erneute Gletscherausbreitung, da weder Sedimentstruktur noch Korngrößenzusammensetzung des Lamaseesedimentes auf Gletschertätigkeit im Einzugsgebiet hinweisen (Harwart et al. 1999). Unterstützt wird diese Beobachtung durch den Eintrag isotopisch leichter organischer Substanz und das erste Auftreten von Diatomeen, die gegen Schmelzwässer und eine kontinuierliche Eisdecke sprechen (Harwart et al. 1999; Kienel 1999).

Eine signifikante Erwärmung erfährt die Region im Preboreal, die dann im Boreal ihr Maximum erreicht. Der Anteil an Baumpollen steigt von 50 auf 75 bis 90% (Hahne & Melles 1997). Die Vegetation zeichnet sich zunächst durch Strauchbirken aus, die infolge der stetigen Erwärmung von Birken, Lärchen und Pappeln verdrängt werden. Zu Beginn des Klimaoptimums im Boreal erreicht die Lärche mit 30 % ihren maximalen Anteil und bildet einen dichten Lärchenwald mit Erlenbüschen. Während des Boreals breitet sich die Fichte aus und drängt die Lärche auf 10 % zurück. Hahne & Melles 1997 führen dies auf erhöhte Niederschlagsmengen zurück.

Parallel zur Vegetationsentwicklung an Land erreicht die organische Substanz (TOC) des Sedimentes im Boreal ihr Maximum (0.9 Gew%), was auf eine Zunahme von aquatischer und terrestrischer Primärproduktivität zurückgeführt wird (Harwart et al. 1999). Zeitgleich treten höchste Diatomeenkonzentrationen auf, die aufgrund der Diatomeenvergesellschaftungen auf höchste mittlere Jahresoberflächentemperaturen des Seewassers hinweisen (Kienel 1999). Ein isotopengeochemischer Wechsel der organischen Substanz im Sediment zu leichten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten spiegelt möglicherweise Änderungen der Landvegetation mit veränderter Isotopensignatur wider. Gleichzeitig kann der Zufluß von leichtem  $\delta^{13}\text{C}$ -Grundwasser die Zusammensetzung der aquatischen Pflanzen zu leichteren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten verschoben haben. Ursache könnten verstärkte Bodenbildung durch erhöhte Pflanzentätigkeit (Wurzeltätigkeit und Atmung), vermehrter Abbau abgestorbener Substanz sowie der Rückgang bzw. das Verschwinden von Permafrostbedingungen sein.

Der Rückgang von Luft- und Wassertemperaturen sowie erhöhte Niederschlagsmengen charakterisieren das Ende des Klimaoptimums (Hahne & Melles 1997; Kienel 1999). Dennoch breitet sich die Fichte kontinuierlich aus und wird während des Atlantikums zur dominanten Baumart. Die Lärche bleibt weiterhin wichtig, ist aber wegen geringer Pollenproduktion weniger vertreten. Während des Subboreals schwankt die Dichte des Waldes als Reaktion auf wechselnde Temperaturenbedingungen und führt zu Variationen in Pollenkonzentrationen und in der Isotopenzusammensetzung des sedimentären TOC.

Einen weiteren Temperaturrückgang beobachten Hahne & Melles (1997) an der Subboreal/Subatlantikum Grenze, die zur Öffnung des Lärchen-Fichtenwaldes und zur Ausbreitung der Tundravegetation führt. Bis heute charakterisiert der periodische Wechsel von Waldtundra und Tundra die Region des Lama Sees.

### **1.2 Verwitterung und Mobilität von Elementen**

Die Bedeutung des Einflusses von Klima (z.B. Niederschlag, Evaporation, Temperatur) auf die Bodenbildung und die Intensität der Verwitterung gibt das klassische Diagramm von Strakhov (1967) wider, das Verwitterungsfaktoren und die Tiefe der Verwitterung in einem Profil von der nördlichen Polarregion bis zu den tropischen Gebieten am Äquator darstellt:

## Verwitterungsprozesse

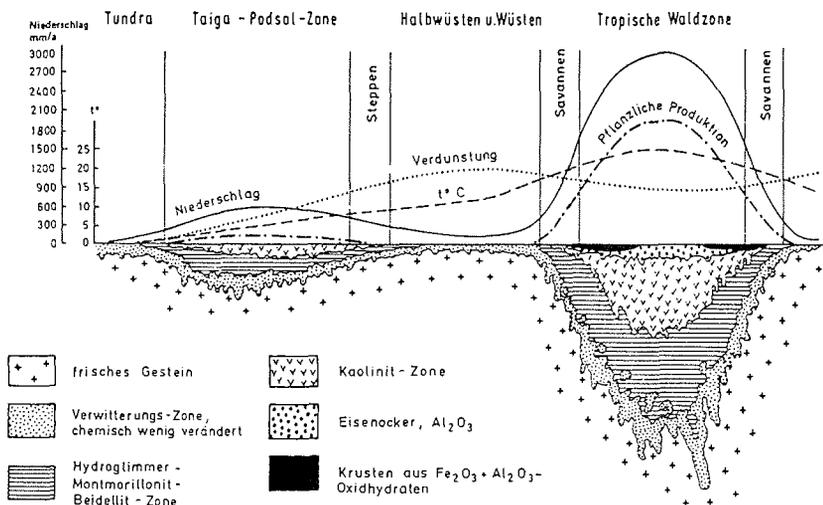
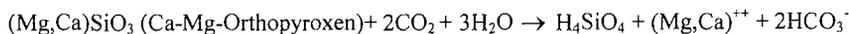


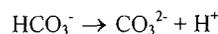
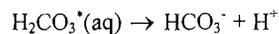
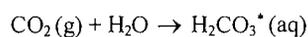
Abb. 8: Faktoren der Verwitterung und Bodenbildung in einem Profil von der nördlichen Polarregion bis zu den tropischen Gebieten am Äquator darstellt; nach Strakhov (1967).

Bei der chemischen Verwitterung findet ein Lösungsprozeß von Mineralen statt, die nicht mehr im thermodynamischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung sind, und der zur Neubildung von Tonmineralen und/oder Oxiden und Hydroxiden durch Ausfällung führen kann (Jasmund 1993; Ugolini 1986):

Für die Silikatverwitterung gelten vereinfacht z. B. folgende Reaktionen:



Dabei führt die Umsetzung von atmosphärischem  $\text{CO}_2$  (g) in Hydrogencarbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) zu einem sauren Bodenmilieu, das das Lösen von Mineralen und die Freisetzung von Kationen fördert (Kelts & Hsü 1978):



In arktischen Böden kann der  $\text{CO}_2$ -Druck 5 - 10 mal größer sein als in der Atmosphäre und theoretisch pH-Werte von 4.4 erzeugen (Sletten & Ugolini 1990).

Zusätzlich zum pH-Wert beeinflussen Eh-Bedingungen sowie Ionenladung und Ionenradius die Löslichkeit und Mobilität von adsorptiv gebundenen Kationen bei Verwitterungsprozessen (Tab. 3 und Abb. 9).

Beim Kationenaustausch konkurrieren alle in der Bodenlösung vorkommenden Kationen um die Austauschplätze an der Oberfläche von Austauschern (z.B. Tonminerale, Huminstoffe). Die Konkurrenzfähigkeit der Kationen ist je nach ihren Eigenschaften und nach der Art des Austauschers sehr unterschiedlich und bewirkt, daß der Anteil eines Kations am Kationenbelag nicht nur von seinem Anteil in der Gleichgewichtslösung, sondern auch von seiner Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen

Verwitterungsprozesse

Kationen bestimmt wird. Allgemein nimmt die Immobilität mit abnehmendem Ioneneradius und zunehmender Ionenladung zu (Schachtschabel et al.1989):

Tab. 3: Relative Mobilitäten von Elementen unter oxischen, anoxischen, sauren und alkalischen Bedingungen; aus Siad (1994).

Mobilität	Milieu der Bodenlösung			
	oxisch	sauer	alkalisch	anoxisch
hoch	Ca, Na, Mg, Sr			
	Zn			
		Cu, Co, Ni		
mittel	Cu, Co, Ni			
gering	Si, Ti, K, P, Pb, Ba			
		Fe, Mn		
	Al, Ti, Cr, Zr			
sehr gering bis immobil	Fe, Mn			Cu, Co, Ni, V, Pb, Ba
			Zn	

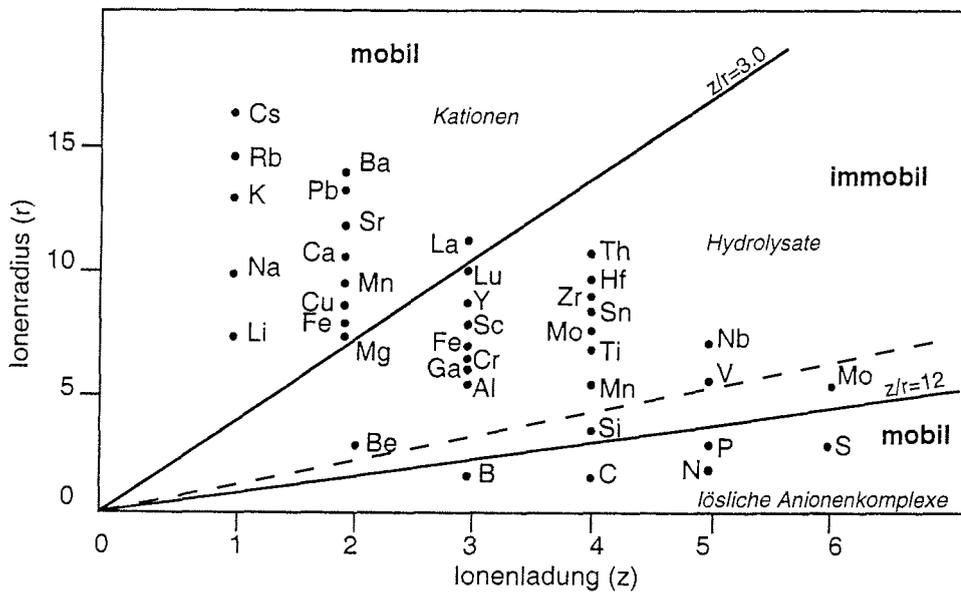


Abb. 9: Mobilität von wichtigen Elementen in Abhängigkeit von der Ionenladung z und vom Ionenradius r in oberflächennahen Systemen; modifiziert nach Gill (1993).

Der Abtrag von Kationen wird außerdem von der Menge und der Jahresverteilung der Niederschläge bestimmt, da mit zunehmender Wasserinfiltration der Sättigungsgrad

der Bodenlösung abnimmt, wodurch die Verwitterungsrate zunimmt (Clow & Drever 1996; Righi & Meunier 1995).

Die mineralogische Zusammensetzung des Ausgangsgesteins hat weniger Einfluß auf die Art der Bodenbildung als auf die Verwitterungsrate, da verschiedene Minerale unterschiedlich schnell in Lösung gehen. Die Stabilität von Mineralen nimmt allgemein in der Reihenfolge Quarz > K-Feldspat > Plagioklas = Pyroxene > Olivin ab (Goldich 1938). Die Verwitterungsrate von Olivinen und Orthopyroxenen steigt mit der Zunahme des Magnesiumgehaltes, die des Plagioklas mit zunehmendem Kalziumgehalt (Gíslason et al. 1993).

Experimentelle Untersuchungen zur Silikatverwitterung zeigen, daß die Reaktionskinetik einem komplexen Zusammenspiel von Temperatur, Oberflächendefekten, Bindungsraten, Sättigung der Lösung, Ionenstärke und pH-Bedingungen unterliegt (Lasaga et al. 1994; Nesbitt et al. 1997; Tab. 4). Mit steigender Temperatur erhöht sich die Kinetik der Verwitterungsreaktionen.

Tab. 4: Experimentell ermittelte mittlere Lebensdauer eines 1 mm Kristalls in Kontakt mit einer nicht gesättigten Lösung bei 25 °C und pH = 5; aus Lasaga (1994).

Mineral	Abbaurrate [mol/m <sup>2</sup> /s]	Lebensdauer [J.]
Quarz	-13.39	34 000 000
Albit	-12.26	575 000
Diopsid	-10.15	6 800
Anorthit	-8.55	112

Die Verbreitung und Art der Vegetation hat einen komplexen Einfluß auf die chemische Verwitterung, da pflanzliches Hydrogenkarbonat und organische Säuren Silikate anlösen (Berner 1992; Ugolini 1986). CO<sub>2</sub> und organische Säuren gelangen über Atmung, Mineralisation und Humifizierung abgestorbener organischer Substanzen und über die direkte Abgabe von Pflanzen in die Bodenlösung. Art und Menge hängen von der Vegetation und deren Abbau ab, der im wesentlichen durch die Temperatur gesteuert wird. Hohe Temperaturen führen zu starker biologischer Aktivität und verstärktem Abbau organischer Substanz (Righi & Meunier 1995). Zusätzlich steigert die Vegetation die physikalische Verwitterung, die Tiefe der Bodenbildung und das Rückhaltevermögen von Wasser.

In kalten und ariden Klimaten dominiert die physikalische Verwitterung aufgrund von geringen Niederschlägen, niedrigen Temperaturen und spärlicher Vegetationsdecke gegenüber der chemischen Verwitterung und bewirkt die mechanische Zerkleinerung des Ausgangsgesteins (Ugolini 1986). Prozesse der physikalischen Verwitterung sind die Frostsprengung (Eiskristalle, Eiskeile), beruhend auf starken Temperaturschwankungen (Volumenänderung von Mineralphasen und des Gesteins) oder auf dem Wachstum von Salzkristallen, und die Windabrasion. Die Frostsprengung ist abhängig vom Wassergehalt und damit indirekt von Porengröße und Permeabilität des Gesteins, von der Frequenz der Tau-Gefrier-Zyklen, vom Ionengehalt der Bodenlösung sowie von der Resistenz des Gesteins. Quarz und Pyroxene sind gegenüber kryogenen Verwitterungsprozess weniger stabil als Plagioklas und reichern sich in den relativ feineren Fraktionen an, Plagioklas bevorzugt in den relativ größeren Fraktionen (Konishchev 1982).

## *Untersuchungsmethoden*

Trotz limitierender Faktoren gibt es in kalt-ariden Gebieten chemische Verwitterung, die durch das Freilegen von frischen Mineraloberflächen (physikalische Verwitterung) und im wesentlichen durch anorganische und organische Säuren (z.B. primitive Mikroorganismen) gesteuert wird und nicht mit einer Tonmineralneubildung verbunden sein muß (Righi & Meunier 1995; Ugolini 1986; Wilson & Jones 1983). Gelöste Ionen (vor allem Aluminium, Eisen, Mangan und Schwermetalle) können Komplexe mit organischen Säuren bilden und aus dem Verwitterungssystem transportiert und/oder als Oxide/Hydroxide (hauptsächlich Eisen und Mangan) ausgefällt werden.

## **2 Untersuchungsmethoden**

### **2.1 Probenahme**

Im Sommer 1993 sind im zentralen Bereich des Lama Sees 18 Oberflächenkerne und eine Sedimentsequenz bis zu einer Tiefe von 11.12 m (PG1111) von einer schwimmenden Plattform erbohrt worden (Abb. 11). Die Koordinaten der Probenahmepunkte wurden mit dem GPS (Globales Positionierungs System; Genauigkeit:  $\pm 100$  m) aufgenommen. Die Koordinaten der in dieser Arbeiten verwendeten Kernsequenzen sind im Anhang in den Tabellen A- 4 und A-5 aufgelistet.

Die Sedimentkerne haben einen Kerndurchmesser von 6 cm. Während ungestörte Oberflächenkerne (0-75 cm) mit Hilfe eines Schwerlots (SL) gewonnen wurden, kam für die Gewinnung der langen Sedimentabfolge ein Kolbenlot (KOL) zum Einsatz, mit dem Teilsequenzen mit einer Maximallänge von 3 m und einer Überlappung von 50 cm erbohrt wurden. Bei der Kolbenlottechnik wird ein Kernrohr mit einem Gewicht in das Sediment gerammt. In der gewünschten Bohrtiefe wird der Kolben, der an der Kernrohrspitze arretiert ist, entriegelt, womit der eigentliche Bohrvorgang und die Kerngewinnung beginnen. Die Aufnahme des Sedimentes erfolgt über PVC-Liner, die sowohl bei der Kolbenlot- als auch bei der Schwerelottechnik im Kernrohr eingesetzt sind. Eine detaillierte Erläuterung der Probenahmeteknik ist bei Melles et al. (1994b) nachzulesen.

Für den Transport wurden die Kerne in 1 m lange Abschnitte geteilt und an den Enden mit Plastikkappen verschlossen. Am Alfred-Wegener-Institut in Potsdam werden die Kerne in einem Kühlcontainer bei einer Temperatur von 4°C gelagert.

### **2.2 Probenaufbereitung**

Zur Kernbeschreibung und Probenentnahme wurden die Sedimentkerne 1995 im Labor in Längsrichtung halbiert (Abb. 10). Das Fotografieren der offenen Kerne und die Beschreibung von Sedimentfarbe und Sedimentstruktur erfolgte unmittelbar nach der Öffnung, um eine Verfälschung der Farbe durch Oxidation organischer Substanz und reduzierter Phasen zu vermeiden. Als Grundlage der Farberfassung dienten die Munsell Soil Color Charts (1992).

Während eine Kernhälfte als Archiv im Kühlcontainer gelagert wird, erfolgte an der zweiten Kernhälfte die Beprobung von 1 cm Scheiben, deren Wassergehalt bestimmt wurde und die darauf als Einzelproben für sedimentologische, geochemische, biochemische, palynologische und mikropaläontologische Untersuchungen genutzt wurden. Die Proben zur Analyse von biochemischen (Harwart et al. in press) und geochemischen Parametern wurden mit einer Achatplanetenkugelmühle  $< 63 \mu\text{m}$  gemahlen und homogenisiert. Mit Ausnahme des Wassergehaltes, der im Verhältnis zum Naßgewicht angegeben wird, beziehen sich alle %-Daten auf das Trockengewicht des Probenmaterials.

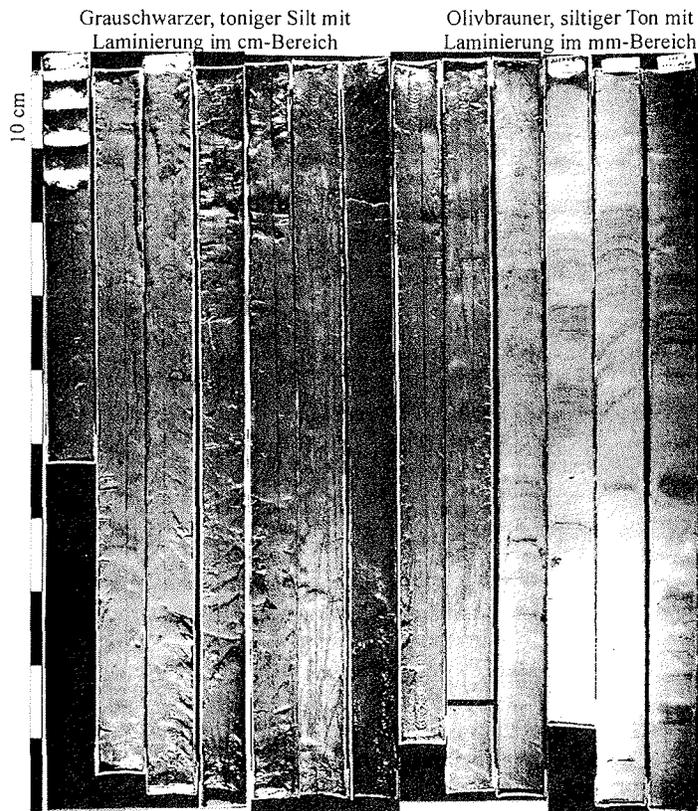


Abb. 10: Übersichtsaufnahme des geöffneten Kernes PG1111.

Der Probenabstand im Kern PG1111 beträgt für die Bestimmung der Haupt-, Neben- und Spurenelementverteilung im Gesamtsediment 5 bis 10 cm.

Für die Interpretation der geochemischen Variationen im Gesamtsediment und die Beurteilung des Einflusses der chemischen Verwitterung auf die Geochemie des Seesedimentes erfolgte zusätzlich an nicht gemahlener Probensubstanz die Bestimmung der Haupt-, Neben- und Spurenelementverteilung der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) in 5 bis 50 cm, sowie parallel die Sand- ( $> 63 \mu\text{m}$ ), Silt- ( $2 - 63 \mu\text{m}$ ) und Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) an vier ausgewählten 10 cm - Mischhorizonten (488 - 498 cm, 653 - 663 cm, 728 - 738 cm und 864 - 874 cm). Die Korngrößenzusammensetzung wurde in Abständen von 50 bis 100 cm bestimmt. Die Gewinnung der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) und die Auftrennung in Ton- ( $< 2 \mu\text{m}$ ), Silt- ( $2 - 63 \mu\text{m}$ ) und Sandfraktionen ( $> 63 \mu\text{m}$ ) erfolgte analog zur Korngrößenbestimmung mit der Zentrifuge (vgl. Kap. 2.6). Auf die Ultraschallbehandlung wurde jedoch verzichtet und ausschließlich bidest.  $\text{H}_2\text{O}$  beim gesamten Trennungsvorgang verwendet, um eine Verfälschung der ursprünglichen geochemischen Zusammensetzung zu vermeiden.

Parallel der 10 cm - Mischhorizonte wurden Dünnschliffe sowie Präparate für die Rasterelektronenmikroskopie hergestellt, um Änderungen in der Sedimentstruktur und in den Oberflächeneigenschaften der Sedimentpartikel besser zu erfassen.

## Untersuchungsmethoden

Um Verluste durch das beim Zentrifugieren abgegossene Wasser abzuschätzen, wurde für drei Proben die geochemische Zusammensetzung des Zentrifugenwassers mit der ICP-OES bestimmt (Kap. 2.9; Anhang: Tab. A-20).

### 2.3 Altersbestimmungen

An insgesamt sechs Proben, zwei Gesamtsedimentproben und vier Pollenkonzentraten, aus der Kernsequenz PG1111 erfolgten  $^{14}\text{C}$ -AMS-Datierungen (Accelerator Mass Spectrometry) im Research Laboratory for Archeology and the History of Art in Oxford. Die Pollenkonzentrate wurden durch die Lösung silikatischer Mineralphasen mit 70%iger Flußsäure und anschließender Ultraschallsiebung (Siebgröße:  $6 * 8 \mu\text{m}$ ) hergestellt (Hahne & Melles 1997).

Alle in der vorliegenden Arbeit angegebenen  $^{14}\text{C}$ -Alter sind unkalibrierte und konventionelle Alter, die sich auf die Konvention nach Stuiver & Polach (1977) beziehen. Eine Korrektur unterschiedlicher  $^{14}\text{C}$ -Aktivität in der Atmosphäre erfolgte über  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Probenmaterials (Geyh 1971; Geyh 1983).

### 2.4 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse basiert auf dem Prinzip, eine hohe Anzahl von Variablen großer Datensätze auf eine überschaubare Anzahl unabhängiger theoretischer Merkmale zu reduzieren (Backhaus et al. 1990; Swan & Sandilands 1995). Diese werden je nach Methodik und Autor als Faktoren, components oder principal components (PCs) bezeichnet (Davis 1986; Hartung & Elpelt 1995; Swan et al. 1995). Grundlage der vorliegenden Arbeit ist die *Hauptkomponentenanalyse* mit anschließender Rotation nach der *Varimax-Methode*. Eine detaillierte Beschreibung der angewandten Methodik ist im Anhang nachzulesen (Kap. 7.2.4).

### 2.5 Hydrologische Untersuchungen

Die Bestimmung der hydrologischen Parameter des Lama Sees (Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und elektrische Leitfähigkeit) erfolgte mit Tiefensonden der Firma Wissenschaftliche Technische Werkstätten Weilheim (WTW).

Die Konzentrationen gelöster Kationen wurden an angesäuerten (konz.  $\text{HNO}_3$ ) und gefilterten ( $0.45 \mu\text{m}$  Filtergröße) Wasserproben mit Hilfe der ICP-OES bestimmt (s. Kap. 2.9).

### 2.6 Korngrößenverteilung

Für die Korngrößenanalyse ist das Sediment mit einer 1:5 verdünnten  $0.1 \text{ M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  Lösung 20 Minuten mit einem Magnetrührer aufgewirbelt worden. Auf Wasserstoffperoxid zur Oxidation organischer Substanz sowie als Dispergierungsmittel wurde verzichtet, um den Tonmineralbestand einer möglichst geringen chemischen Vorbehandlung auszusetzen (Stucki et al. 1984; Veerhoff 1992). Zur weiteren Dispergierung erfolgte eine 10 minütige Behandlung mit Ultraschall (20 khz, 70 watt). Die Sandfraktion wurde mit Naßsiebung durch ein  $63 \mu\text{m}$  Sieb vom restlichen Sediment getrennt.

Die Abtrennung der  $< 2 \mu\text{m}$  Fraktion erfolgte aus der  $< 63 \mu\text{m}$  Suspension mit Hilfe der Zentrifugentrennung. Die dafür benötigten Zentrifugengeschwindigkeiten wurden mit dem Programm Centrifuge (Vers. 2.9.93) von S. Krumm (Geologisches Institut Erlangen) berechnet und durch die Bestimmung der Korngrößenverteilung der

zentrifugentechnisch getrennten Ton- und Siltfraktion mit einem Sedigraphen (Micromeritics 5000ET, Fa. Coulter Electronics) überprüft.

Die abgetrennte Tonfraktion wurde zur Beladung und Fällung der Tonpartikel mit 50-%iger  $MgCl_2$ -Lösung versetzt, durch zweimaliges Zentrifugieren gewaschen und bei  $= 40\text{ °C}$  getrocknet. Die Korngrößenverteilung innerhalb der Siltfraktion (2- 4  $\mu m$ , 4 - 8  $\mu m$ , 8 - 16  $\mu m$ , 16 - 32  $\mu m$ ) wurde mit dem Sedigraphen ermittelt und dann ebenfalls bei  $= 40\text{ °C}$  getrocknet.

## 2.7 Magnetische Suszeptibilität

Die magnetische Suszeptibilität  $k$  ( $k = J_i/H$ ) quantifiziert den Zusammenhang zwischen der induzierten Magnetisierung einer Probe  $J_i$  und einem angelegten äußeren Magnetfeld  $H$  und charakterisiert damit die Magnetisierbarkeit eines Sedimentes (Nowaczyk 1991). Die Bestimmung von  $k$  erfolgte an der Oberfläche der geöffneten Sedimentkerne mit einem *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* in Verbindung mit einem MS2F Sensor mit einer Auflösung von 12 mm im Labor für Paläo- und Gesteinsmagnetismus des GeoForschungsZentrum Potsdam. Der Meßabstand betrug 0.5 cm. Eine genaue Beschreibung des Meßprinzips kann bei (Nowaczyk 1991) nachgelesen werden.

## 2.8 Mikroskopie

Mikroskopische Untersuchungen zur Beschreibung von Sedimentstruktur und -textur wurden mit einem Durchlichtmikroskop durchgeführt. Für die Dünnschliffpräparation wurden Sedimentblöcke (ca. 10 cm \* 1 cm) aus dem Kernliner herausprepariert, in eine Aluminiumbox übergeben, mit Flüssigstickstoff 'schockgefroren' und in mehreren Arbeitsgängen im Einbettungsmittel Araldit (XW396/397) getränkt. Nach dem Aushärten und der Entfernung der Aluminiumbox konnte die Dünnschliffpräparation erfolgen.

## 2.9 Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma

Die Haupt-, Neben- und Spurenelementkonzentrationen wurden mit Hilfe einer ICP-OES an insgesamt 28 Tonproben (1 cm-Scheiben) sowie an der Ton-, Silt- und Sandfraktion von 10 cm-Mischhorizonten (488 - 498 cm, 653 - 663 cm, 728 - 738 cm und 864 - 874 cm) ermittelt.

### 2.9.1 Aufschlußverfahren

Mit Hilfe eines hochkonzentrierten Säuregemisches aus 40%-iger Flußsäure, 65%-iger Salpetersäure und 70%-iger Perchlorsäure sowie einer PICOTRACE - Druckaufschlußapparatur sind Silikate und organische Substanz nahezu vollständig in Lösung gebracht worden. 50 - 100 mg pulverisierte Probensubstanz wurden bei einer Temperatur von  $175\text{ °C}$  und einer Dauer von 20 h zersetzt. In einem geschlossenen System wurde das Säuregemisch und die zersetzte Probensubstanz 5 h lang bei einer gleichbleibenden Temperatur von  $180\text{ °C}$  abgeraucht bis ein fast eingetrockneter Rückstand vorlag.

Nach dem Abkühlen wurde der Rückstand mit 1 ml konz.  $HNO_3$  und 5 ml  $H_2O$  bidest. aufgenommen und entsprechend einer Verdünnung von 1:500 aufgefüllt. Anschließend ist die Lösung in PE-Flaschen umgefüllt und bis zur Messung gekühlt aufbewahrt worden ( $T=4\text{ °C}$ ).

### **2.9.2 Meßverfahren**

Zur Bestimmung der Haupt- (Al, Ca, K, Mg, Fe, Na), Neben- (Mn, P, Ti) und Spurenelemente (Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Nb, Pb, Sr, V, W, Zn, Zr) kam ein ICP-Emissions Spektrometer Optima 3000xl der Firma Perkin Elmer zum Einsatz. Die ICP-OES ist ausgestattet mit einem Polychromator, der den Wellenlängenbereich 167 bis 782 nm abdeckt und zweidimensionale Spektren erzeugt, die über zwei optische Kanäle (ultraviolette Strahlung: 167 - 375 nm und sichtbares Licht: 375 - 782 nm) fokussiert und simultan von zwei Detektoren (Segmented-array Charged-coupled device Detector (SCD)) aufgenommen werden. Charakteristische Emissionsspektren werden durch Atomisierung und Ionisierung in einem Argon-Plasma erzeugt, in das die hergestellte Lösung über ein Zerstäubersystem eingebracht wird.

Vor der Messung der Probensubstanz ist für jedes Element eine Eichkurve im entsprechenden Konzentrationsbereich erstellt worden. Die Elementkonzentrationen verwendeter Eichlösungen sowie die zur Auswertung genutzten Wellenlängen sind im Anhang Tab. A-13 angegeben.

Messungen internationaler Referenzstandards (GSD 4, 5, 6) belegen eine externe Präzision von  $\pm 5\%$  für die Haupt- und Nebenelemente und  $\pm 10\%$  für die Spurenelemente. Eine Auflistung der relativen Fehler aller Elemente befindet sich in Tab. A-13 im Anhang.

Zur Bestimmung der Hauptelementkonzentrationen erfolgte eine zusätzliche Verdünnung von 1:5, sodaß eine Endverdünnung von 1:2500 für die Haupt- und Nebenelementkonzentrationen und 1:500 für die Spurenelementkonzentrationen in der Meßlösung vorlag.

### **2.10 Rasterelektronenmikroskopie**

Veränderungen in der Morphologie und das Auftreten möglicher Verwitterungsstrukturen bei Sedimentkörnern wurden mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie erfaßt. Das Probenmaterial wurde aus den Kernabschnitten 488 - 498 cm, 653 - 663 cm, 728 - 738 cm und 864 - 874 cm durch Andrücken eines mit Kohlenstoff beschichteten, elektrisch leitenden Stempelkissens auf die Kernoberfläche gewonnen, getrocknet und mit Kohlenstoff und Gold bedampft. Die Aufnahmen wurden mit dem DMS 962 der Firma Zeiss, GeoForschungsZentrum Potsdam, und einer Anregungsspannung von 20 kV durchgeführt.

### **2.11 Röntgendiffraktometrie**

Zur halbquantitativen Bestimmung der mineralogischen Hauptkomponenten des Gesamtsedimentes und der Tonfraktion wurden röntgendiffraktometrische Untersuchungen durchgeführt. Die Auswertung aller Röntgendiffraktogramme erfolgte mit dem Programm MacDiff Vers. 3.1. von R. Petschick (Geologisch-Paläontologisches Institut der J.W. Goethe Universität Frankfurt).

#### **2.11.1 Gesamtmineralogie**

Zur Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung des Gesamtsedimentes kam ein Diffraktometer D5000 der Firma Siemens (Strahlung:  $\text{CuK}\alpha$ , Wellenlänge: 1.5402 Å, Spannung: 40 kV, Stromstärke: 30 mA, Winkelbereich: 1 - 70  $2^\circ$ Theta) des analytischen Labors des GeoForschungsZentrums Potsdam zum Einsatz. Zuvor wurden alle Proben mit 10 Gew.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Korund) versetzt, homogenisiert und zu Preßtabletten

## Untersuchungsmethoden

verarbeitet. Korund als Standard bewirkt anhand der Intensitäten von Peakflächen eine halbquantitative Bestimmung der Mineralphasen.

Tab. 5: Zur Auswertung der Röntgendiagramme der Gesamtmineralogie des Lamaseesedimentes genutzte Reflexe (CuK $\alpha$ -Strahlung); X1: Brindley & Brown (1980); X2: Thorez (1976).

Reflex	Netzebenenabstand [Å]	Winkel [2°Theta]	Netzebene [hkl]
Smektit <sup>x1</sup>	±14.4 (ungequollen)	6.2	[001]
Kaolinit <sup>x1</sup>	7.1	14.4	[100]
Illit <sup>x2</sup>	4.5	19.8	[110]
Quarz	4.3	20.9	[100]
K-Feldspat	3.8	27.5	[130]
Plagioklas	3.2	27.9	[040]
Augit (Clinopyx.)	3.0	29.8	[-221]
Korund (Standard)	3.5	25.6	[012]

### 2.11.2 Tonmineralogie

Für die Bestimmung der Tonmineralogie wurden Texturpräparate der < 2 $\mu$ m-Fraktion hergestellt. Hierfür wurden 40 mg Probenmaterial in 5 ml bidest. H<sub>2</sub>O mit 20 minütiger Ultraschallbehandlung dispergiert und anschließend mit 1%iger MoS<sub>2</sub>-Suspension (Standard) versetzt. Durch Absaugen der Suspensionsflüssigkeit wird die Festphase auf den Objektträger aufgebracht.

Mit einem Diffraktometer PW 1700 der Firma Philipps (Strahlung: CoK $\alpha$ , Spannung 40 kV, Stromstärke: 40 mA) wurden luftgetrocknete (Winkelbereich: 1 - 18 2°Theta) und glykolisierte (Winkelbereich: 1 - 40 2°Theta) Proben mit einer Geschwindigkeit von 0.02°2Theta/sec. analysiert.

Tab. 6: Zur Auswertung der Röntgendiagramme der Tonmineralogie des Lamaseesedimentes genutzte Reflexe (CoK $\alpha$ -Strahlung); X1: Brindley & Brown (1980).

Reflex	Netzebenenabstand [Å]	Winkel [2°Theta]	Netzebene [hkl]
Smektit <sup>x1</sup>	±16.7 (gequollen)	5.2	[001]
Illit <sup>x1</sup>	10.0	10.3	[001]
Kaolinit <sup>x1</sup>	7.1	14.4	[100]
MoS <sub>2</sub> (Standard)	6.2	16.7	[002]
Quarz	4.3	20.9	[100]
K-Feldspat	3.8	27.5	[130]
Plagioklas	3.2	27.9	[040]
Augit (Clinopyx.)	3.0	29.8	[-221]

## 2.12 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Haupt-, Spuren- und Nebenelementverteilung des Gesamtsedimentes wurde an 125 Proben des Kernes PG1111 und an 9 Oberflächenproben mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) im geochemischen Labor der Technischen Universität Berlin analysiert. Zur Bestimmung des Glühverlustes wurden 1,5 g Probensubstanz für zwei Stunden auf 1000°C erhitzt und nach der Abkühlung ausgewogen. Aus 0,6 g geglähter Probensubstanz und 3,6 g Flußmittel (MERCK Spectromelt A12) wurden Schmelztabletten hergestellt und an einer Philips PW 1404/10 Anlage mit wellenlängendispersivem Röntgenspektrometer analysiert. Dazu wurde das Meßprogramm OXIQUANT verwendet, das mit natürlichen Gesteins- und Mineralstandards geeicht ist.

Zur Auswertung wurden nur Analysen herangezogen, bei denen sich aus der Addition von Elementanteilen und Glühverlust Summen zwischen 98,5 Gew.% und 101,5 Gew.% ergaben. Ergebnisse, Meßfehler und Nachweisgrenzen der RFA befinden sich im Anhang (Tab. A-12).

## 2.13 Strontiumisotope

Das Strontiumisotopenverhältnis  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ist für jeden Gesteinstyp signifikant und wird in dieser Arbeit als Tracer für das Ausgangsgestein genutzt, um mögliche Liefergebietswechsel seit der Spätweichsel zu rekonstruieren.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ist vom Alter und vom Rb/Sr-Verhältnis eines Gesteins abhängig, da sich  $^{87}\text{Sr}$  aus radiogenem  $^{87}\text{Rb}$  durch beta-Zerfall bildet. Als inkompatibles Element ist Rubidium gegenüber Strontium in stärker fraktionierten Gesteinen (z.B. Granit) mehr angereichert als in gering fraktionierten Gesteinen (z.B. Basalt). Hohe  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte sind daher für stark fraktionierte und niedrige  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse für  $\pm$  gleichalte schwach fraktionierte Gesteine zu erwarten.

Zur Bestimmung des  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses des Sediments wurden vier Proben aus der Kernsequenz PG1111 in 23,5, 143,5, 909,5 und 1049,5 cm Sedimenttiefe in einem Teflongefäß mit einem hochkonzentrierten und suprapuren Säuregemisch aus HF, HNO<sub>3</sub> und HCl gelöst. Vor der Isotopenmessung wurden die Sr-Isotope mit einem Kationenaustauscherharz aus der Lösung separiert und dann mit einem Finnigan MAT 261® Multi-Kollektor Massenspektrometer im Isotopenlabor der Freien Universität in Berlin gemessen.

Isotopenfraktionierungen während des Meßvorganges wurden mit Hilfe des stabilen Isotopenverhältnisses  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8,37521$  korrigiert. Eine Überlagerung der Messung durch  $^{87}\text{Rb}$  wurde durch simultanes Messen von  $^{85}\text{Rb}$  über das  $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb}$ -Verhältnis von 0,385706 korrigiert.

Die Ergebnisse zeigen einen relativen Fehler von 0,01 %. Die Überprüfung mittels NBS 987 Standards ergeben Werte von  $0,710150 \pm 17 \cdot 10^{-6}$ .

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Charakterisierung des Ablagerungsraumes

Die Bohrlokation PG1111 befindet sich im Einflußbereich des Mikchangdozuflusses, der nördlich der Bohrlokation PG1111 ein Delta bildet (Abb. 11).

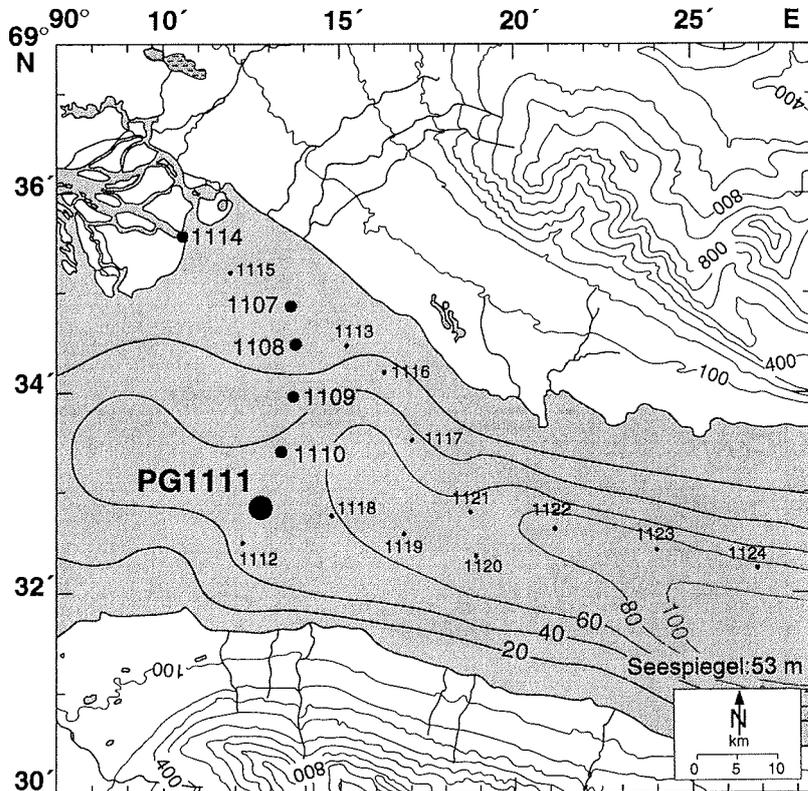


Abb. 11: Lokationen der Oberflächenkerne sowie der Kernsequenz PG1111 im zentralen Bereich des Lama Sees.

Korngrößenuntersuchungen des Oberflächensedimentes (0 - 2 cm) zeigen, daß die Korngröße mit der Entfernung von der nördlichen Uferlinie (65 Gew.% Sand, 32 Gew.% Silt, 3 Gew.% Ton) kontinuierlich abnimmt und in der Mitte des Lama Sees an Bohrlokation PG1111 eine Zusammensetzung von 53 Gew.% Silt und 47 Gew.% Ton erreicht (Abb. 12).

Die in Abb. 12 dargestellten Oberflächenkerne lassen sich auf der Basis des Wassergehaltes gut miteinander korrelieren. Eine genaue Beschreibung der Oberflächenkerne ist im Anhang Tab. A-4 nachzulesen. Der ebene Seeboden um PG1111 sowie der hohe Gehalt an Ton lassen ungestörte Sedimentationsbedingungen im Umfeld der Bohrlokation PG1111 erwarten.

Charakterisierung des Ablagerungsraumes

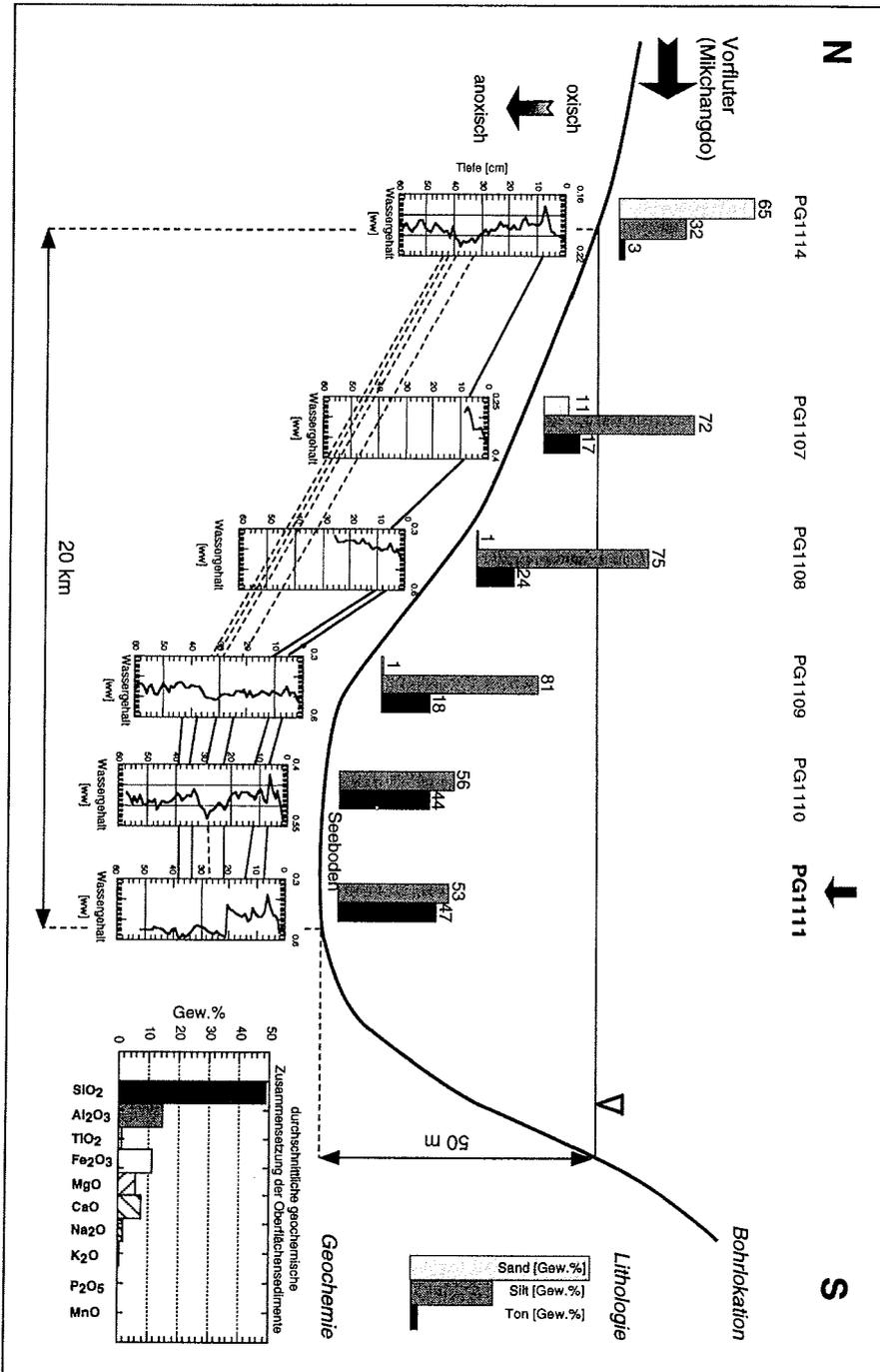


Abb. 12: Skizze zur Charakterisierung des Ablagerungsraumes der Kernsequenz PG1111 im zentralen Bereich des Lamna Seas.

### Charakterisierung des Ablagerungsraumes

Die durchschnittliche geochemische Zusammensetzung der Oberflächensedimente (0 - 2 cm) mit relativ geringen  $\text{SiO}_2$  - Gehalten (<50 Gew.%) und hohen  $\text{FeO}_{\text{tot}}$  (>10 Gew.%),  $\text{MgO}$  - ( $\pm 5$  Gew.%) und  $\text{CaO}$  - (>5 Gew.%) Gehalten zeigt, daß der sedimentäre Eintrag von den kontinentalen Flutbasalten im Einzugsgebiet dominiert wird (Abb. 12).

Hydrochemische Untersuchungen des Seewassers ergeben nur geringe Konzentrationen von gelösten Anionen und Kationen (Summe gelöster Kationen und Anionen (TDS): 50 mg/l). Meßbare Kationenkonzentrationen in der Wassersäule liefern Kalzium (8 - 15 mg/l), Magnesium, Natrium und Silizium (alle < 5 mg/l; Abb. 13).

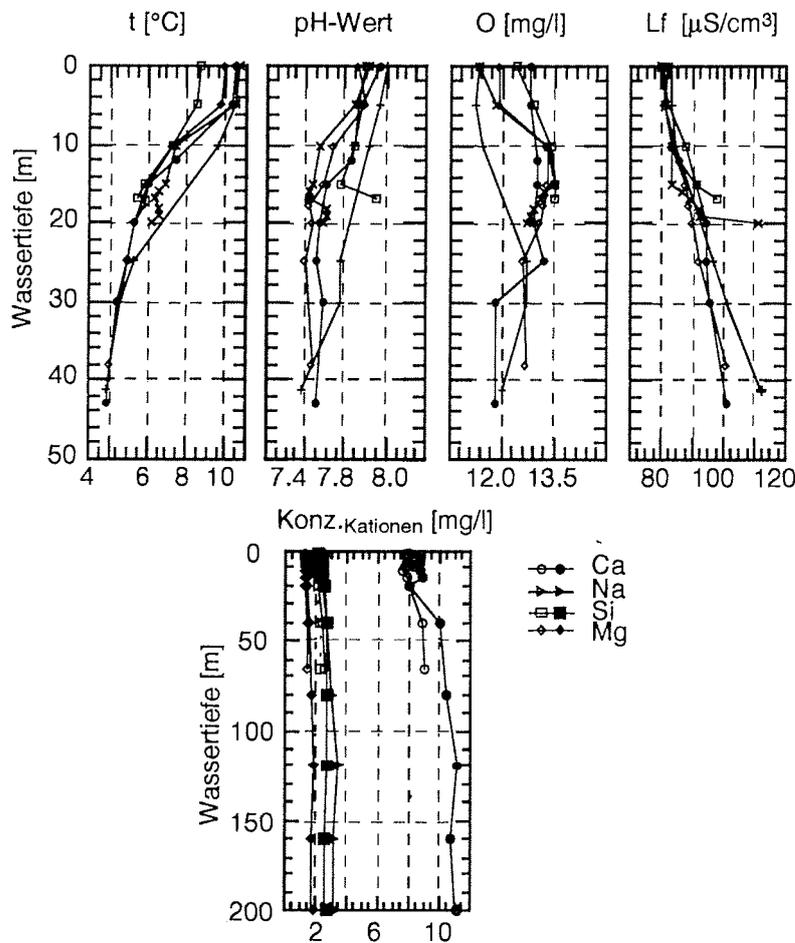


Abb. 13: pH-, Temperatur-, Sauerstoff- ( $\text{O}_2$ ) und Leitfähigkeitstiefenprofile an vier Positionen sowie meßbare Kationen (Kalzium, Magnesium, Natrium und Silizium) an zwei Positionen des Lama Sees; Sommer 1997.

Hydrologische Untersuchungen vom August 1997 charakterisieren den Wasserkörper des Lama Sees als einen oligotrophen, leicht alkalischen See (pH: 7 - 8) mit

## Lithostratigraphie

Sauerstoffgehalten von 12 - 13 O<sub>2</sub> mg/l und geringer elektrischer Leitfähigkeit, die in der Tiefe leicht ansteigt (elektr. Lf: 80 - 110 μS/cm<sup>3</sup>; Abb. 13). Im Sommer bildet sich eine Stratifizierung mit erhöhten Temperaturen (9 - 11 °C) und leicht erniedrigten Sauerstoffgehalten (< 13 O<sub>2</sub> mg/l) im Oberflächenwasser aus (Abb. 13).

Das helle, olivbraune Sediment in den obersten Zentimetern reflektiert oxische Bedingungen im oberflächennahen Sediment (Anhang: Kap. 7.2.1).

### 3.2 Stratigraphie der Kernsequenz PG1111

#### 3.2.1. Lithostratigraphie

An der Bohrlotation PG1111 ist eine 11.12 m lange Sedimentsequenz, bestehend aus einem Schwerelotkern (50 cm Länge) und vier Kolbenlotkernen (300 cm Länge), gewonnen worden (Abb. 11 und 14).

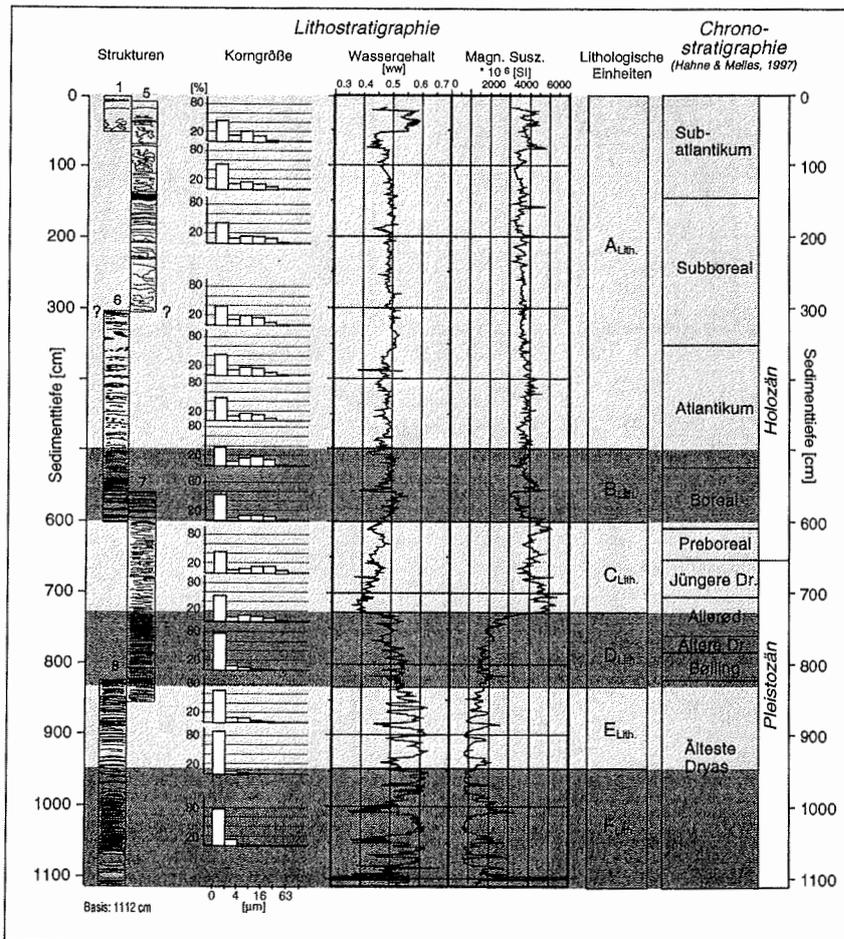


Abb. 14: Lithostratigraphie der Kernsequenz PG1111. Auf der Basis von Sedimentstruktur, Korngröße, Wassergehalt und magnetischen Suszeptibilitäten lassen sich sechs lithologische Einheiten  $F_{Lith}$ ,  $E_{Lith}$ ,  $D_{Lith}$ ,  $C_{Lith}$ ,  $B_{Lith}$  und  $A_{Lith}$  differenzieren.

Die Korrelation der Kernsegmente basiert auf der Lithologie, dem Wassergehalt, der magnetischen Suszeptibilitäten und auf biochemischen Parametern des Sedimentes der überlappenden Intervalle (Harwart et al. in 1999). Mit Ausnahme der Kolbenlotkerne 5 und 6, die Differenzen in den biochemischen Parametern zeigen, besteht eine eindeutige Übereinstimmung der Parameter in den überlappenden Bereichen (Harwart et al. in 1999). Für die graphische Darstellung und die Kalkulation der Sedimentationsrate wird zwischen den Kolbenlotkernen 5 und 6 eine direkte Angliederung des tieferliegenden Kerns 3 an Kern 2 angenommen (Abb. 14).

Basierend auf den in Abb. 14 dargestellten Parametern (Sedimentfarbe, Sedimentstruktur, Korngrößenzusammensetzung, Wassergehalt und magnetischer Suszeptibilitäten) können sechs Bereiche  $F_{Lith}$ ,  $E_{Lith}$ ,  $D_{Lith}$ ,  $C_{Lith}$ ,  $B_{Lith}$  und  $A_{Lith}$  differenziert werden.

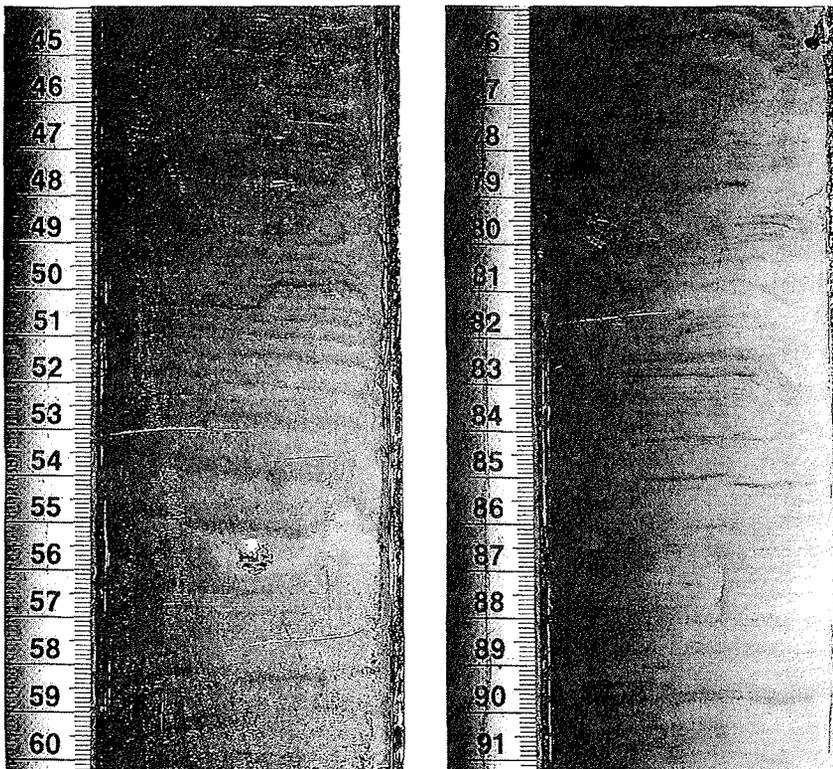


Abb. 15: Kernausschnitt aus Abschnitt  $E_{Lith}$  (940 - 835 cm), der aus zyklisch alternierenden fein laminierten Sequenzen mit Laminae < 1mm bis 1 mm und gröber laminierten Sequenzen mit 2 bis 5 cm dicken Laminae aufgebaut wird, und aus Abschnitt  $D_{Lith}$  (835 - 735 cm) der aus sehr feinen kontinuierlichen Laminae < 1mm besteht.

Die Einheiten  $F_{Lith}$  (1112 - 940 cm),  $E_{Lith}$  (940 - 835 cm) und  $D_{Lith}$  (835 - 735 cm) bestehen im wesentlichen aus hellem, olivbraunem, siltigem Ton und sind aus < 1 mm bis ca. 10 mm mächtigen Laminae aufgebaut, die eine Gradierung von olivbraunem Silt zu hellem, olivbraunem Ton zeigen. Mit erhöhten Siltgehalten korrelieren verringerte Wassergehalte und erhöhte magnetische Suszeptibilitäten.

## Chronostratigraphie

Geringe Gehalte an Sand (< 1 Gew.%), insbesondere Grobsand und Kiesel bis 2 cm Durchmesser charakterisieren Einheit F<sub>Lith.</sub>, die von 981 bis 940 cm mit einem schräggeschichteten Horizont abgeschlossen wird.

Kiesel und Grobsandanteil verschwinden in Abschnitt E<sub>Lith.</sub>, der aus zyklisch alternierenden fein laminierten Sequenzen mit Laminae < 1 mm bis 1 mm und gröber laminierten Sequenzen mit 2 bis 5 cm dicken Laminae aufgebaut wird (Abb. 15).

Die Laminiierung in Abschnitt D<sub>Lith.</sub> dagegen ist sehr fein und kontinuierlich, sie besteht aus Laminae < 1 mm (Abb. 15).

Der Übergang zur Einheit C<sub>Lith.</sub> ist charakterisiert durch einen Wechsel von hellem, olivbraunem, siltigem Ton zu grauschwarzem, tonigem Silt mit mm - bis cm - Laminierung (Farbwechsel von grau nach schwarz), eine deutlich Abnahme des Wassergehaltes sowie durch die Zunahme der magnetischen Suszeptibilitäten. Einheit C<sub>Lith.</sub> (735 - 600 cm) zeigt unregelmäßige, dunkelgraue Laminae mit Mächtigkeiten von < 1 mm.

1 bis 2 cm mächtige schwarze Lagen, die besonders nach Benetzung mit Salzsäure nach Schwefel riechen, charakterisieren Abschnitt B<sub>Lith.</sub> (600 - 500 cm) .

Einheit A<sub>Lith.</sub> (500 - 0 cm) zeigt 1 mm bis 2 cm mächtige schwarze Lagen, die im Gegensatz zu B<sub>Lith.</sub> jedoch wesentlich unregelmäßiger, teilweise sogar fleckenförmig ausgebildet sind. Die obersten 22 cm entwickeln sich zu einem homogen olivbraunen bis gelbbraunen Bereich, der zwischen 6.5 bis 7.5 cm von Millimeter mächtigen braunen Lagen durchzogen ist.

### 3.2.2 Chronostratigraphie

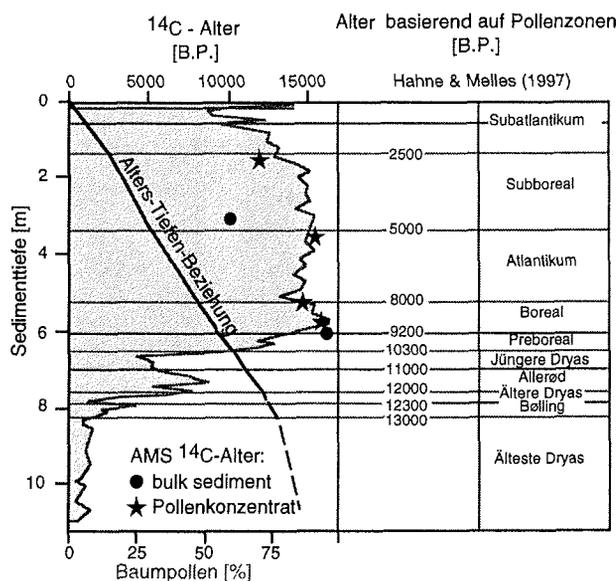


Abb. 16: Alter-Tiefen-Beziehung der Kernsequenz PG1111. Auf der Basis von palynologischen, geochemischen und sedimentologischen Untersuchungen ergibt sich eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0.6 bis 1.0 mm/a.

Die zeitliche Einteilung der Sedimentsequenz PG1111 basiert auf Pollenuntersuchungen, die mit datierten Pollendiagrammen aus Sibirien und Sauerstoffisotopenkurven aus einem Eiskern des Severnaya Zemlya Archipelago im Norden der Taimyr Halbinsel korreliert wurden (Hahne & Melles 1997; Hahne & Melles 1999; Klementyev et al. 1991). Basierend auf den nach Mangerud et al. (1974) und Khotinsky (1984) definierten Chronozonen reicht die Sedimentsequenz PG1111 nach Hahne & Melles (1997) bis in die Älteste Dryas zurück (Abb. 16).

Die kalkulierte Sedimentationsrate von 0.6 bis 0.7 mm/a (durchschn. 0.65 mm/a) wird bestätigt durch  $^{210}\text{Pb}$  Akkumulationsraten von 0.057 bis 0.027  $\text{gcm}^2/\text{a}$ , die Sedimentationsraten von 0.7 mm/a während der letzten 100 Jahre belegen (Hagedorn 1999). Zusätzlich diskutieren Harwart et al. (1999) eine Sedimentationsrate von ebenfalls  $< 1\text{mm/a}$  im Spätpleistozän (Bølling - Allerød), indem sie die  $< 1\text{ mm}$  mächtigen, gradierten Laminae zwischen 835 und 735 cm als Jahreslagen interpretieren (Abb. 17).

Terrestrische Makroreste, die wesentlich besser zur absoluten Altersbestimmung geeignet sind (Abbott & Stafford 1996; Björck et al. 1996), wurden im Lamaseesediment nicht gefunden. Alle Radiokarbonalter des Gesamtsedimentes und der Pollenkonzentrate zeigen höhere Alter als die anhand der Pollenuntersuchungen bestimmten Alter (Abb. 16). Das Gesamtsediment zeigt ca. 5000, die Pollenkonzentrate 5600 bis 9300 Jahre höhere Alter. Diese Diskrepanz könnte auf Hartwassereffekte zurückgehen, die in Seesedimenten um bis zu 7200 Jahre erhöhte Alter verursachen können (Hajdas et al. 1995; Pennington 1981a; Wohlfarth et al. 1995). Detritische  $^{14}\text{C}$ -freie Kohle- und Karbonatpartikel aus den sedimentären Ablagerungen der Tunguska Synklise im Einzugsgebiet des Lama Sees oder der Eintrag alten organischen Kohlenstoffs, der in Tundrengebieten zurückgehalten und gespeichert werden kann, könnten ebenfalls die hohen Alter im Sediment verursacht haben (Abbott & Stafford (1995).

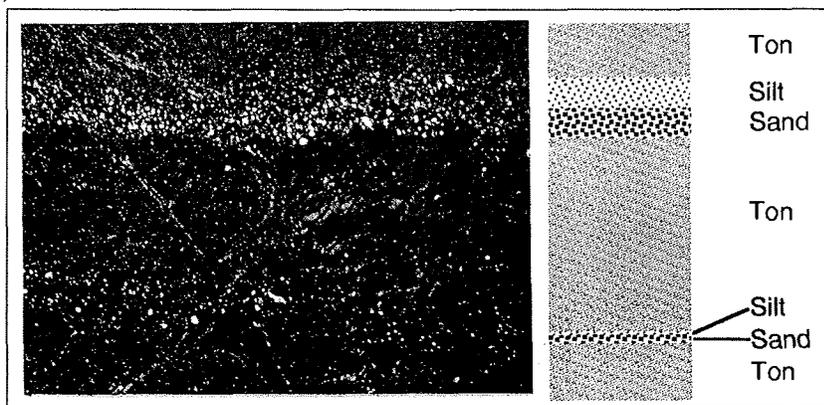


Abb. 17: Gradierte Silt-Ton-Lagen der Kernsequenz PG1111, welche während der Gletscherrückzugsphase in der späten Ältesten Dryas abgelagert wurden (Polarisationsmikroskop, gekreuzte Nicols, Vergrößerung:  $\times 12.5$ , Sedimenttiefe: ca. 870 cm). Grobkörnige, siltige Lagen repräsentieren Zeiten vermehrten Sedimenteintrages als Folge der Schneeschmelze im Frühling, die feinen, tonigen Lagen verweisen auf Zeiten verminderten Sedimentinputs im Sommer und Winter (Warvenbildung) (Brodzikowski & Van Loon 1987; Johnson 1997; Simola & Uimonen-Simola 1983).

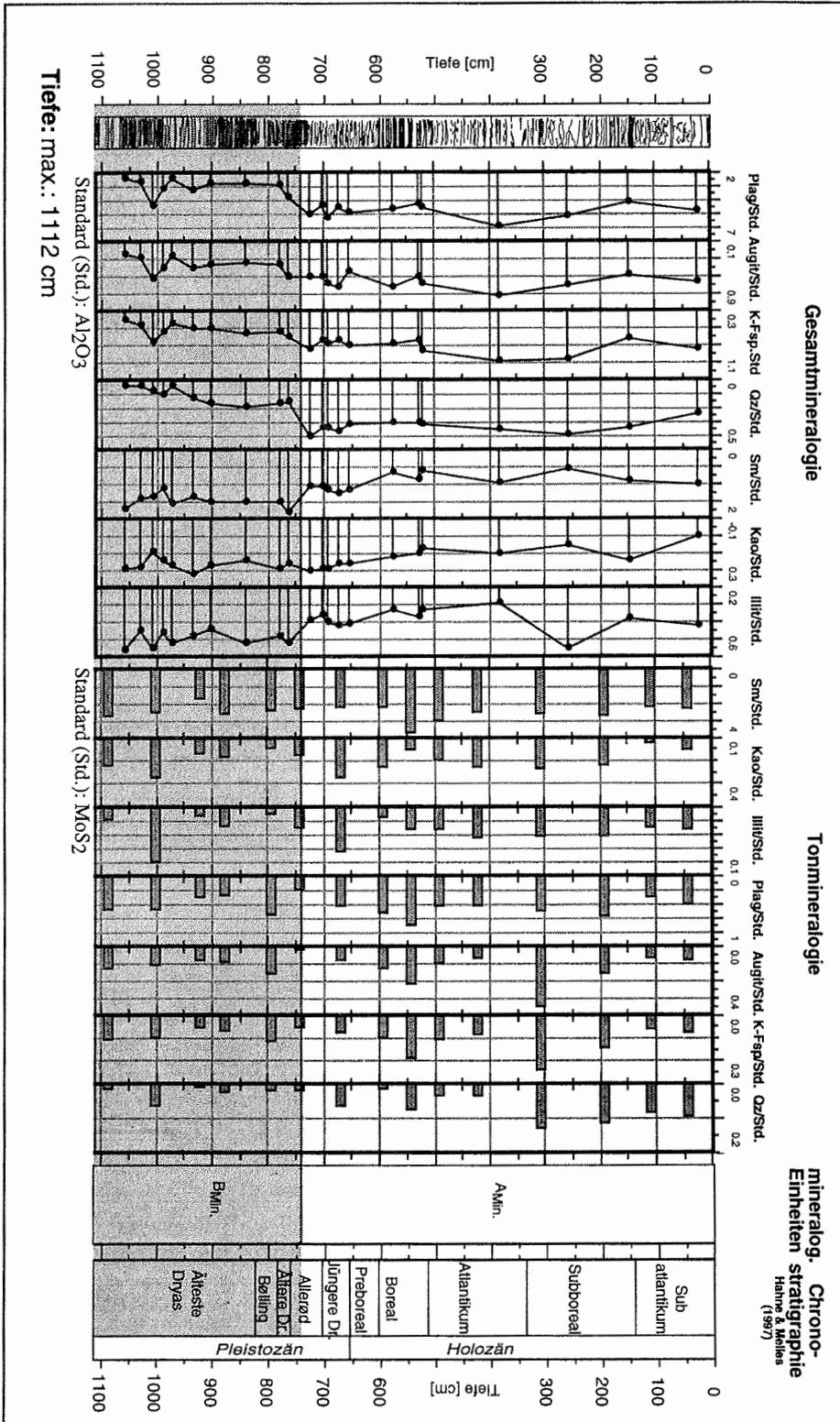


Abb. 18: Mineralogische Zusammensetzung der Gesamtfraktion (Gesamtmineralogie) und der < 2 µm - Fraktion (Tonmineralogie) in der Sedimentssequenz PG1111.

Aus diesen Gründen werden in der vorliegenden Arbeit jene Alter herangezogen, die sich aus der Korrelation mit datierten Eiskernen und Pollendiagrammen ergeben (s.o.).

### **3.2.3 Mineralogie**

Die mineralogische Zusammensetzung des Gesamtsedimentes und der  $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion (beide bezogen auf einen internen Standard; s. Kap. 2.11) sind in Abb. 18 dargestellt. Sowohl im Gesamtsediment als auch in der Tonfraktion besteht die Hauptmineralzusammensetzung aus Plagioklas, Augit (cpx), Quarz, Smektit, Illit und Kaolinit.

Während die mineralogische Zusammensetzung in der  $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion kaum Schwankungen zeigt, differenziert sich auf der Basis der Gesamtmineralogie die Kernsequenz PG1111 in zwei Abschnitte  $B_{\text{Min}}$  und  $A_{\text{Min}}$ . Dies entspricht der geochemischen Gliederung basierend auf Faktor  $1_{\text{HEges}}$ , Faktor  $1_{\text{SEges}}$  und Faktor  $2_{\text{SEges}}$  der Gesamtgeochemie des Sedimentes (Kap. 3.2.4.1; Abb. 19 und 20).

In Abschnitt  $B_{\text{Min}}$  (1112 -735 cm: Älteste Dryas - mittleres Allerød) dominieren in der Gesamtmineralogie die Tonminerale Smektit, Kaolinit und Illit gegenüber Plagioklas, Augit, K-Feldspat und Quarz. Parallel ist Abschnitt  $B_{\text{Min}}$  durch erhöhten Tonfraktionanteil ( $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion erreicht einen Anteil von bis 90 Gew.%; Kap. 3.2.1; Abb. 14) und die Dominanz der Elemente Eisen und Magnesium (Kap. 3.2.4.1; Abb. 19) charakterisiert.

In Abschnitt  $A_{\text{Min}}$  (735 - 0 cm: mittleres Allerød - Subatlantikum) nimmt der Anteil an Plagioklas, Augit, K-Feldspat und Quarz deutlich zu und der Anteil an Tonmineralen (Smektit, Kaolinit und Illit) deutlich ab. Parallel erhöht sich der Siltanteil auf durchschnittlich 50 Gew.% (Kap. 3.2.1; Abb. 14) und der Eintrag an Silizium, Titan, Kalium und Natrium (Kap. 3.2.4.1; Abb. 19).

### **3.2.4 Chemostratigraphie**

#### **3.2.4.1 Geochemische Zusammensetzung des Gesamtsedimentes**

Das Verteilungsmuster der **Hauptelementkonzentrationen** des Gesamtsedimentes (HEges.) im Kern PG1111 ist in Abb. 19 dargestellt und im Anhang in Tab. A-14 aufgeführt. Mittelwert, Minimum und Maximum sowie Standardabweichung der Hauptelementkonzentrationen sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Um den Wirkungszusammenhang zwischen geochemischen Variablen aufzudecken und die geochemische Variation auf eine kleine Zahl von Variablen zu reduzieren, erfolgte eine statistische Bearbeitung der Daten mit einer Hauptkomponentenanalyse (Anhang: Kap. 7.4.2). Ziel ist u. a. auch die durch die multivariate Statistik ermittelten Faktoren natürlichen Prozessen, wie z.B. Transport, Diagenese und Verwitterung zuzuordnen.

Die statistische Bearbeitung der Hauptelementkonzentrationen mit einer Hauptkomponentenanalyse<sub>HEges.</sub> führt zu drei voneinander unabhängigen Faktoren (Abb. 19, Tab. 8). Auf Faktor  $1_{\text{HEges}}$  entfallen 47.3 %, auf Faktor  $2_{\text{HEges}}$  21.9 % und auf Faktor  $3_{\text{HEges}}$  12.8 % der Datenvarianz.

## Chemostratigraphie

Tab. 7: Statistische Parameter der Hauptelementkonzentrationen im Gesamtsediment (HEges.) des Kerns PG1111 ( $n=125$ ), alle Angaben in Gew.%. (Std.Abw.=Standardabweichung der Meßergebnisse PG1111, Std.Abw.<sub>RFA</sub>=angegebene Standardabweichung für das Röntgenfluoreszenzmeßgerät)

Variabel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.Abw.	Std.Abw. <sub>RFA</sub>
SiO <sub>2</sub>	41.9	50.6	48.5	1.98	0.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.7	15.9	14.8	0.46	0.20
TiO <sub>2</sub>	0.65	1.34	1.05	0.14	0.01
FeO <sub>TOT</sub>	10.3	14.2	11.3	0.91	0.10
MgO	4.90	8.05	5.44	0.97	0.10
CaO	5.95	10.6	6.92	0.68	0.10
Na <sub>2</sub> O	1.17	2.68	1.56	0.25	0.10
K <sub>2</sub> O	0.52	1.13	0.81	0.09	0.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.26	0.18	0.03	0.05
MnO	0.15	0.24	0.18	0.02	0.01

Tab. 8: Faktormatrix<sub>HEges.</sub> der Hauptelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 ( $n=125$ ) nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation. Positive bzw. negative Faktorladungen  $< 0.4$  werden mit + bzw. - gekennzeichnet.

Variabel	Faktor 1 <sub>HEges.</sub>	Faktor 2 <sub>HEges.</sub>	Faktor 3 <sub>HEges.</sub>
Si	0.939	+	
Al	+	0.572	+
Ti	0.905	+	+
Fe	-0.861	-	-
Mg	-0.877	-	-
Ca		0.901	-
Na	0.425	0.720	-
K	0.658	-0.501	-
P		-	0.932
Mn	+	-	0.843
<b>Eigenwert</b>	4.73	2.19	1.28
<b>Varianz</b>	47.3	21.9	12.8

Zusätzlich zu den Faktorladungen (Tab. 8) sind die Faktorwerte der drei Faktoren, die die Ausprägung der Faktoren in den einzelnen Tiefen repräsentieren, bestimmt worden (Abb. 19 und im Anhang Tab. A-23). Negative Faktorwerte bedeuten bei einer positiven Faktorladung (z.B. Faktor  $1_{HEges.}$ : Silizium, Titan, Natrium und Kalium) eine unterdurchschnittliche, ein Faktorwert von 0 eine durchschnittliche und ein positiver Faktorwert eine überdurchschnittliche Ausprägung in Bezug zum Faktor und allen anderen Tiefen. Bei negativen Faktorladungen (z.B. Faktor  $1_{HEges.}$ : Eisen und Magnesium) repräsentieren negative Faktorwerte eine unterdurchschnittliche, ein Faktorwert von 0 eine durchschnittliche und ein positiver Faktorwert eine überdurchschnittliche Ausprägung in Bezug zum Faktor und allen anderen Tiefen.

Faktor  $1_{HEges.}$  zeigt eine positive Korrelation zu den Elementen Silizium, Titan, Kalium und Natrium sowie eine negative Korrelation zu den Elementen Magnesium und Eisen. Die Faktorwerte teilen die Sedimentsequenz PG1111 in einen unteren mit überdurchschnittlicher Ausprägung an Eisen und Magnesium (1112 - 735 cm) und einen oberen Abschnitt (735 - 0 cm) mit überdurchschnittlicher Ausprägung an Silizium, Titan, Kalium und Natrium (Abb. 19).

Faktor  $2_{HEges.}$  belegt eine positive Korrelation zwischen Kalzium, Natrium und Aluminium mit negativer Korrelation zu Kalium. Die Faktorwerte gliedern die Sedimentsequenz PG1111 ebenfalls in zwei, von Faktor  $1_{HEges.}$  unabhängige Abschnitte (1112 - 940 cm und 940 - 0 cm; Abb. 19).

Faktor  $3_{HEges.}$  beschreibt die positive Korrelation zwischen Phosphor und Mangan. Die Faktorwerte erzielen eine Klassifizierung der Kernsequenz PG1111 von vier Abschnitten (1112 - 830 cm, 830 - 735 cm, 735 - 500 cm und 500 - 0 cm; Abb. 19).

Auf der Basis variierender Verteilungsmuster und der Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse $_{HEges.}$  wurden fünf geochemische Einheiten  $E_{HEges.}$ ,  $D_{HEges.}$ ,  $C_{HEges.}$ ,  $B_{HEges.}$  und  $A_{HEges.}$  festgelegt (Abb. 19): Einheit  $E_{HEges.}$  (1112 - 940 cm: untere Ältere Dryas) ist durch eine hohe Variabilität sämtlicher Hauptelemente charakterisiert, die in Einheit  $D_{HEges.}$  (940 - 835 cm: obere Ältere Dryas) deutlich nachläßt und in Einheit  $C_{HEges.}$  (835 - 735 cm: Bölling, Ältere Dryas und unteres Allerød) fast vollständig aussetzt.

Einheit  $B_{HEges.}$  (735 - 500 cm: oberes Allerød, Jüngere Dryas, Preboreal, Boreal und Anfang des Atlantikums) ist durch eine deutliche Konzentrationszunahme der Elemente Silizium, Aluminium, Titan und Kalium und eine mäßige Konzentrationserhöhung der Elemente Kalzium und Natrium geprägt. Parallel nehmen die Konzentrationen von Eisen und Magnesium deutlich, die von Phosphor und Mangan geringfügig ab. Eine maximale Anreicherung von Kalium ist im Tiefenbereich von 735 bis 650 cm zu beobachten (= oberes Allerød und Jüngere Dryas). Der Tiefenabschnitt 580 - 500 cm (= oberes Boreal und Beginn des Atlantikums) in  $B_{HEges.}$  hat niedrigste Konzentrationen an Aluminium, Eisen, Magnesium und Kalium sowie einen signifikanten Anstieg des Aluminiumanteils und geringfügige Konzentrationszunahmen der Elemente Titan und Kalium in einer Tiefe von 550 cm.

Im unteren Teil der Einheit  $A_{HEges.}$  (500 - 200 cm: Atlantikum und unteres Subboreal) nehmen die Konzentrationen von Silizium, Titan und Kalzium ab, die von Aluminium, Eisen, Magnesium, Kalium und Phosphor zu. Im oberen Teil der Einheit  $A_{HEges.}$  (200 - 0 cm: oberes Subboreal und Subatlantikum) zeigen Silizium, Titan, Eisen, Magnesium, Kalzium und Kalium einen konstanten Konzentrationsverlauf, Phosphor und Mangan nehmen kontinuierlich bis zur Sedimentoberfläche zu. Eine Ausnahme bildet der Tiefenbereich um 300 cm (Subboreal), der eine kurzzeitige Abnahme der Elemente Silizium und Titan, bzw. Zunahme der Elemente Eisen und Magnesium aufweist.

Chemostratigraphie

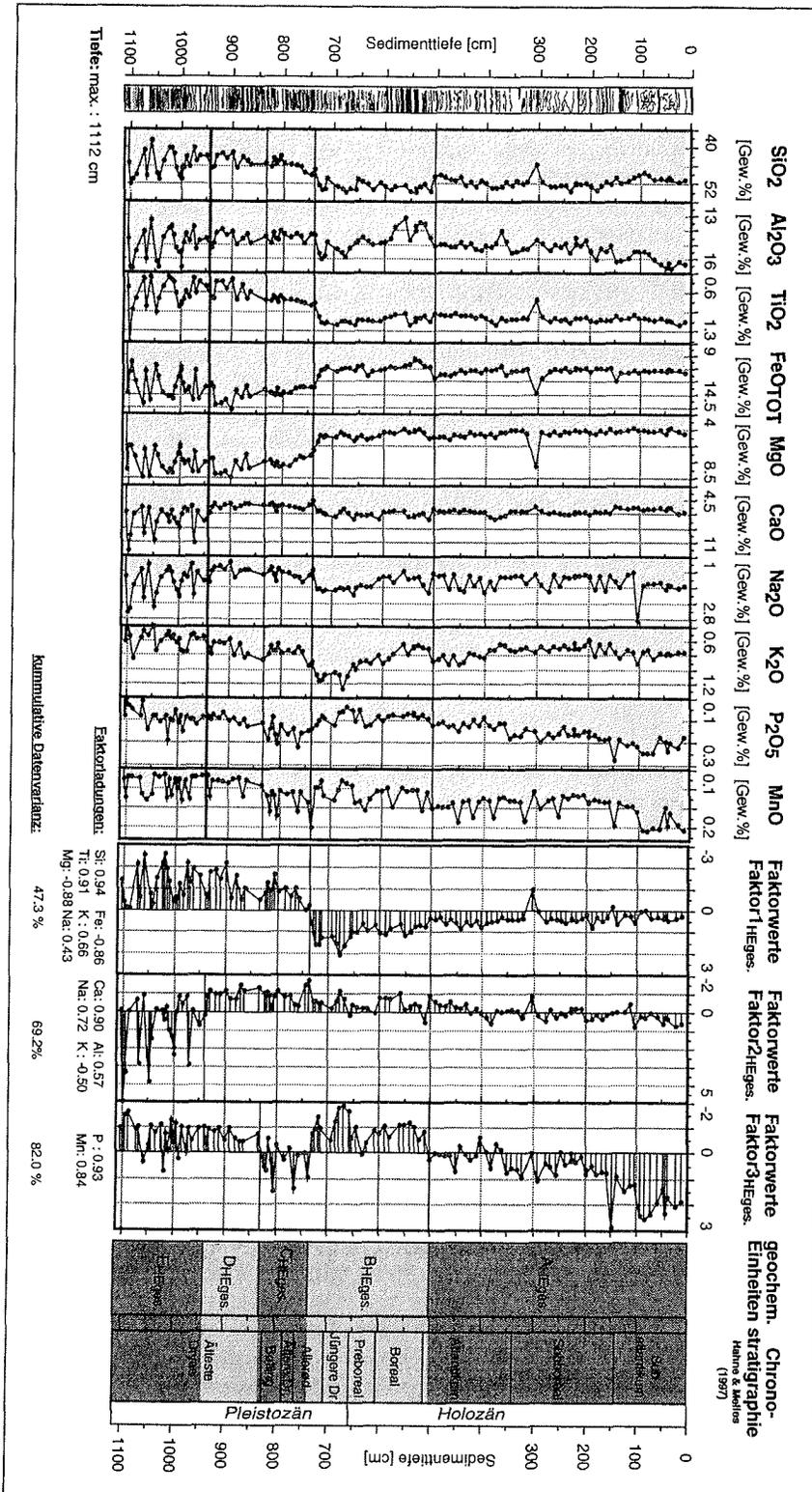


Abb. 19: Verteilungsmuster der Hauptelemente in der Kernsequenz PG1111. Auf der rechten Seite sind die Faktorwerte von Faktor1<sub>Heg</sub>, Faktor2<sub>Heg</sub> und Faktor3<sub>Heg</sub> der Hauptkomponentenanalyse dargestellt, auf deren Basis sich die Sedimentsequenz in fünf geochemische Hauptfazies AHEges, BHEges, CHEges, DHEges und EHEges differenzieren läßt.

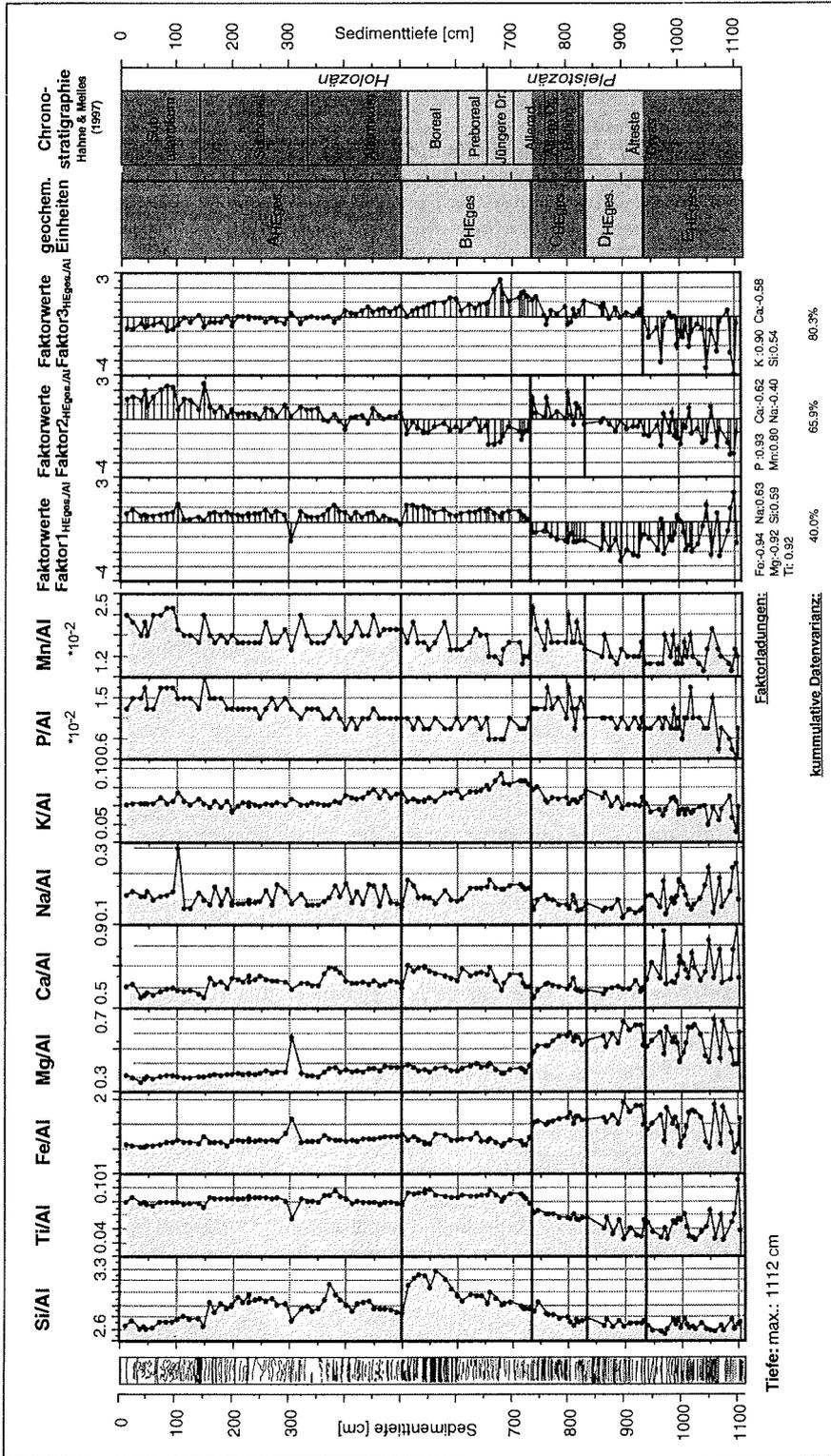


Abb. 20: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Hauptelemente in der Kernsequenz PG1111. Auf der rechten Seite sind die Faktorwerte von Faktor<sub>1HEges</sub>, Faktor<sub>2HEges</sub> und Faktor<sub>3HEges</sub> der Hauptkomponentenanalyse dargestellt, auf deren Basis sich die Sedimentsequenz in die gleichen fünf geochemischen Hauptfazies AHEges-Al, BHEges-Al, CHEges-Al, DHEges-Al und EHEges-Al differenzieren läßt wie die der nicht aluminiumnormierten Hauptelemente (Abb. 19).

Da die oben beschriebenen Konzentrationsangaben auf 100 Gew.% bezogen sind, bewirkt die Änderung eines Elementes eine relative Anreicherung bzw. Verarmung anderer Elemente. Zur Kontrolle wurden deshalb alle Elementkonzentrationen auf Aluminium bezogen. Aluminium bleibt z.B. bei Verwitterungsprozessen in der mineralischen Phase fixiert und ist deshalb geeignet, um Anreicherungen und Verarmungen der Elemente aus Silikaten zu diskutieren. Außerdem können Verdünnungen durch Quarz oder organischen Kohlenstoff korrigiert werden. Durch die Al-Normierung ändert sich außer für Silizium das Verteilungsmuster der Elementkonzentrationen ( $HE_{ges./Al}$ ) nicht grundlegend (Abb. 20). Eine Verzerrung der Verteilungsmuster durch organische und anorganische selektive Lösungs- und Ausfällungsprozesse und Adsorptivbindungen (z.B. an organische Substanz; vgl. S. 60 Abb. 34) erscheint daher unwahrscheinlich.

Silizium bildet eine Ausnahme und wechselt durch die Al-Normierung von einer sprunghaften Zunahme im mittleren Allerød (um 735 cm) zu einem kontinuierlichen Anstieg, der im Boreal (600 - 500 cm) sein Maximum erreicht (Abb. 20). Im Atlantikum wird der Si/Al-Quotient deutlich kleiner, bleibt dann konstant und nimmt vom späteren Subboreal (ca. 200 cm) bis zur Sedimentoberfläche kontinuierlich ab (Abb. 20). Dies ist wahrscheinlich auf höchste Diatomeenkonzentrationen während des Klimaoptimums im Boreal zurückzuführen (Kienel 1999).

Die Hauptkomponentenanalyse der Al-normierten Verhältnisse ( $HE_{ges./Al}$ ) führt zu drei nahezu identischen Faktoren wie bei  $HE_{ges.}$  und zur gleichen Tiefengliederung  $F_{HE_{ges./Al}}$ ,  $E_{HE_{ges./Al}}$ ,  $D_{HE_{ges./Al}}$ ,  $C_{HE_{ges./Al}}$ ,  $B_{HE_{ges./Al}}$  und  $A_{HE_{ges./Al}}$  (Abb. 20 und im Anhang Tabellen A-23 und A-25). Geringfügige Änderungen sind zu beobachten: im Vergleich zu Faktor  $1_{HE_{ges.}}$  fällt Kalium nach der Al-Normierung aus der Korrelation zu Faktor  $1_{HE_{ges./Al}}$  heraus. Der Phosphor-Mangan-Faktor zeigt nach der Al-Normierung eine negative Korrelation zu Kalzium und Natrium und wird zum zweitwichtigsten Faktor  $2_{HE_{ges./Al}}$ , der 26 % der gesamten Datenvarianz umfaßt. Faktor  $3_{HE_{ges./Al}}$  entspricht Faktor  $2_{HE_{ges.}}$ , er nimmt nach der Al-Normierung an Wichtigkeit ab. Er zeigt eine positive Korrelation zu Kalium und Silizium sowie eine negative Korrelation zu Kalzium. Natrium fällt nach der Al-Normierung aus der Korrelation heraus (vgl. Faktor  $2_{HE_{ges.}}$ ).

Die Konzentrationsverteilung und die statistischen Parameter der **Spurenelemente** ( $SE_{ges.}$ ) Barium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Niob, Nickel, Strontium, Vanadium, Yttrium, Zink und Zirkon sind in Abb. 21, Tab. 9 und in Tab. A-15 im Anhang dargestellt.

Die Hauptkomponentenanalyse führt zu drei voneinander unabhängigen Faktoren. Auf Faktor  $1_{SE_{ges.}}$  entfallen 50.3 %, auf Faktor  $2_{SE_{ges.}}$  16.8 % und auf Faktor  $3_{SE_{ges.}}$  10.6 % der Datenvarianz (Abb. 21; Tab. 10). Die Faktorwerte von Faktor  $1_{SE_{ges.}}$  und Faktor  $2_{SE_{ges.}}$  führen analog zu Faktor  $1_{HE_{ges.}}$  zur Zweiteilung der Kernsequenz PG1111 (1112 - 735 cm und 735 - 0 cm; Anhang Tab. A-24).

Faktor  $1_{SE_{ges.}}$  korreliert positiv mit den Elementen Barium, Chrom, Strontium, Vanadium, Yttrium, Zink und Zirkon.

Faktor  $2_{SE_{ges.}}$  deckt eine positive Korrelation zwischen Cobalt und Kupfer sowie zwischen den Elementen Barium, Niob und Vanadium auf. Während im unteren Kernabschnitt (1112 - 735 cm) Cobalt und Kupfer dominieren, nehmen Barium, Niob und Vanadium in der oberen Sequenz an Relevanz zu.

Faktor  $3_{SE_{ges.}}$  zeigt eine positive Korrelation zu den Elementen Chrom, Nickel und Vanadium, die zwischen 600 und 100 cm (Boreal - Beginn Subatlantikum) gegenüber den anderen Kernbereichen leicht angereichert sind. Chrom und Nickel sind in einer Tiefe um 550 cm (Boreal) stark angereichert.

*Chemostratigraphie*

Tab. 9: Statistische Parameter der Spurenelementkonzentrationen im Gesamtsediment des Kerns PG1111 ( $n=125$ ), alle Angaben in mg/kg (Std.Abw.=Standardabweichung der Meßergebnisse PG1111, Std.Abw<sub>RFA</sub>=angegebene Standardabweichung für das Röntgenfluoreszenzmeßgerät).

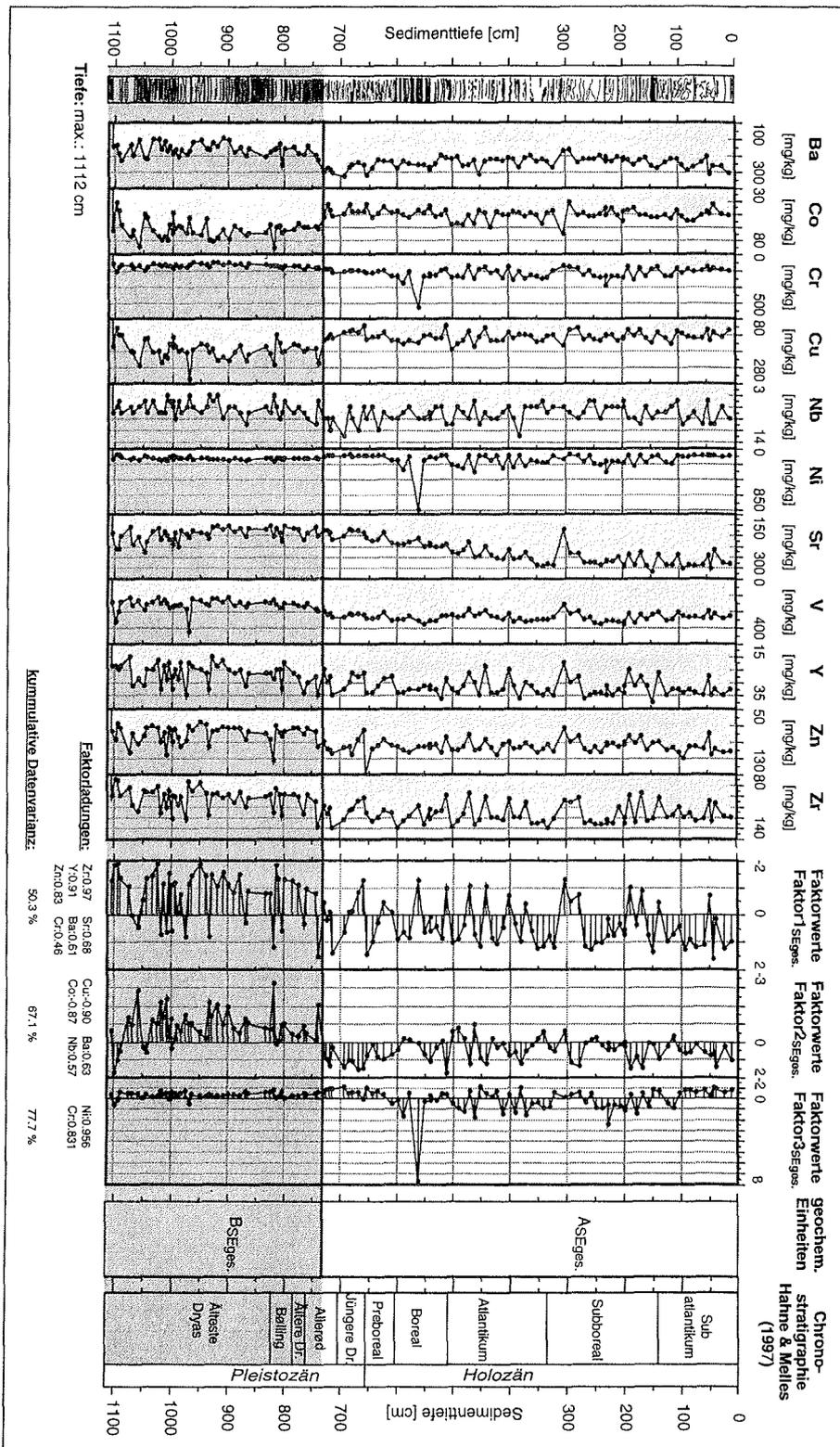
Variabel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.Abw.	Std.Abw <sub>RFA</sub>
<b>Ba</b>	149	265	209	27	17
<b>Co</b>	41	76	55	8	4
<b>Cr</b>	67	415	132	46	20
<b>Cu</b>	103	266	154	29	18
<b>Nb</b>	5	12	8	1	3
<b>Ni</b>	84	796	147	76	12
<b>Sr</b>	177	285	225	32	8
<b>V</b>	119	322	212	47	7
<b>Y</b>	19	33	27	3	4
<b>Zn</b>	67	130	91	12	7
<b>Zr</b>	85	130	112	12	11

Tab. 10: Faktormatrix<sub>SEges</sub> der Spurenelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 ( $n=125$ ) nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation. Positive bzw. negative Faktorladungen  $< 0.4$  werden mit + bzw. - gekennzeichnet.

Variabel	Faktor 1 <sub>SEges</sub>	Faktor 2 <sub>SEges</sub>	Faktor 3 <sub>SEges</sub>
<b>Ba</b>	0.611	0.625	+
<b>Co</b>	-	-0.889	-
<b>Cr</b>	0.450	+	0.831
<b>Cu</b>	-	-0.901	-
<b>Nb</b>	+	0.526	-
<b>Ni</b>	+	-	0.928
<b>Sr</b>	0.656	+	+
<b>V</b>	0.584	0.555	0.417
<b>Y</b>	0.901	+	+
<b>Zn</b>	0.836	+	+
<b>Zr</b>	0.922	+	+
<b>Eigenwert</b>	5.54	1.85	1.17
<b>Varianz</b>	50.3	16.8	10.6

Chemostratigraphie

Abb. 21: Verteilungsmuster der Spurenelemente in der Kernsequenz PG1111. Auf der rechten Seite sind die Faktorwerte von Faktor1<sub>hess.</sub>, Faktor2<sub>hess.</sub> und Faktor3<sub>hess.</sub> der Hauptkomponentenanalyse dargestellt, auf deren Basis sich die Sedimentssequenz in zwei geochemische Fazies ASEges. und BSEges. differenzieren läßt.



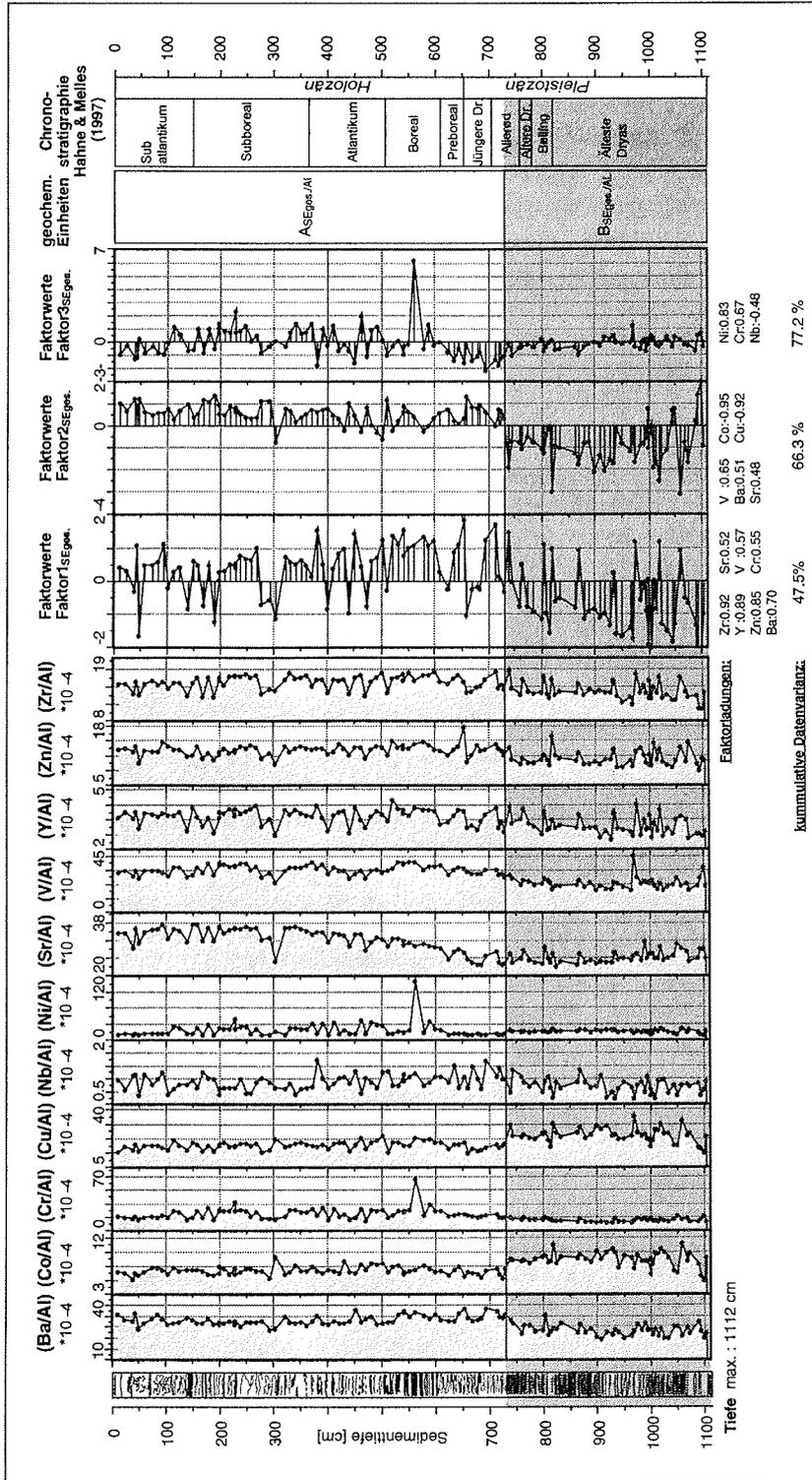


Abb. 22: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Spurenelemente in der Kernsequenz PG1111. Auf der rechten Seite sind die Faktorwerte von Faktor 1<sub>SEges</sub>, Faktor 2<sub>SEges</sub> und Faktor 3<sub>SEges</sub> der Hauptkomponentenanalyse dargestellt, auf deren Basis sich die Sedimentsequenz in die gleichen zwei geochemischen Fazies A<sub>SEges/Al</sub> und B<sub>SEges/Al</sub> differenzieren läßt wie die der nicht aluminiumnormierten Spurenelemente (Abb. 21).

## Chemostratigraphie

Auf der Basis von Elementverteilung und Hauptkomponentenanalyse der Spurenelemente kann die Sedimentationsabfolge PG1111 in zwei Abschnitte  $A_{SEges.}$  (735 - 0 cm: Ältere Dryas - mittleres Allerød) und  $B_{SEges.}$  (1112 - 735 cm: mittleres Allerød - heute) geteilt werden (Abb. 21).

$B_{SEges.}$  ist gegenüber  $A_{SEges.}$  klar mit Cobalt und Kupfer angereichert, während alle anderen Spurenelemente mehr oder weniger deutlich in Abschnitt  $A_{SEges.}$  konzentriert sind.

Das Verteilungsmuster der Spurenelemente wird durch eine Aluminiumnormierung nur sehr geringfügig verändert und wird hier deshalb nicht weiter beschrieben (Abb. 22). Die statistischen Ergebnisse der Al-normierten Elementverteilungen können im Anhang nachgelesen werden (Tabellen A-24 und A-26).

### 3.2.4.2 Geochemische Zusammensetzung der Tonfraktion

Die geochemische Zusammensetzung der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) wurde analysiert, um geochemische, Korngrößenunabhängige Schwankungen zu rekonstruieren. Vertiefende Untersuchungen wurden an der Pleistozän-Holozän-Grenze durchgeführt, um den Einfluß des angenommenen Gletscherrückzuges (Harwart et al. 1999) und der Vegetationsentwicklung (Hahne & Melles 1997) auf die Geochemie der Tonfraktion und die chemische Verwitterung im Einzugsgebiet zu erfassen: im Bereich von 620 bis 745 cm erfolgten die Analysen alle 5 cm, in der verbleibenden Sedimentsequenz in Abständen von 50 bis 150 cm.

Auf der Basis der **Hauptelementverteilung** in der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) wurde die Kernsequenz PG1111 in drei Abschnitte  $C_{HEton}$  ( $= E_{HEges.}, D_{HEges.}, C_{HEges.}$ ),  $B_{HEton}$  ( $= B_{HEges.}$ ) und  $A_{HEton}$  ( $= A_{HEges.}$ ) gegliedert (Abb. 23). Die Hauptelementkonzentrationen der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion ist im Anhang (Tab. A-16) aufgelistet. Die statistischen Parameter zur Elementverteilung sind in Tab. 11 aufgeführt.

Tab. 11: Statistische Parameter der Hauptelementkonzentrationen in der Tonfraktion des Kerns PG1111 ( $n= 29$ ), alle Angaben in Gew.%. (Std.Abw.=Standardabweichung der Meßergebnisse PG1111,  $rel.Fehler_{ICP}[\%]$  = relativer Fehler der ICP).

Variabel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.Abw.	rel.Fehler <sub>ICP</sub> [%]
$Al_2O_3$	13.9	17.6	15.4	0.9	3.6
$TiO_2$	0.68	0.96	0.82	0.1	0.8
$FeO_{TOT}$	9.54	11.1	10.4	0.4	1.4
$MgO$	5.64	8.58	7.23	1.0	2.3
$CaO$	4.12	6.59	5.21	0.7	2.6
$Na_2O$	0.53	2.12	0.70	0.3	6.4
$K_2O$	0.79	1.64	1.06	0.2	1.4
$P_2O_5$	0.17	0.34	0.21	0.04	5.2
$MnO$	0.16	0.26	0.20	0.03	6.6

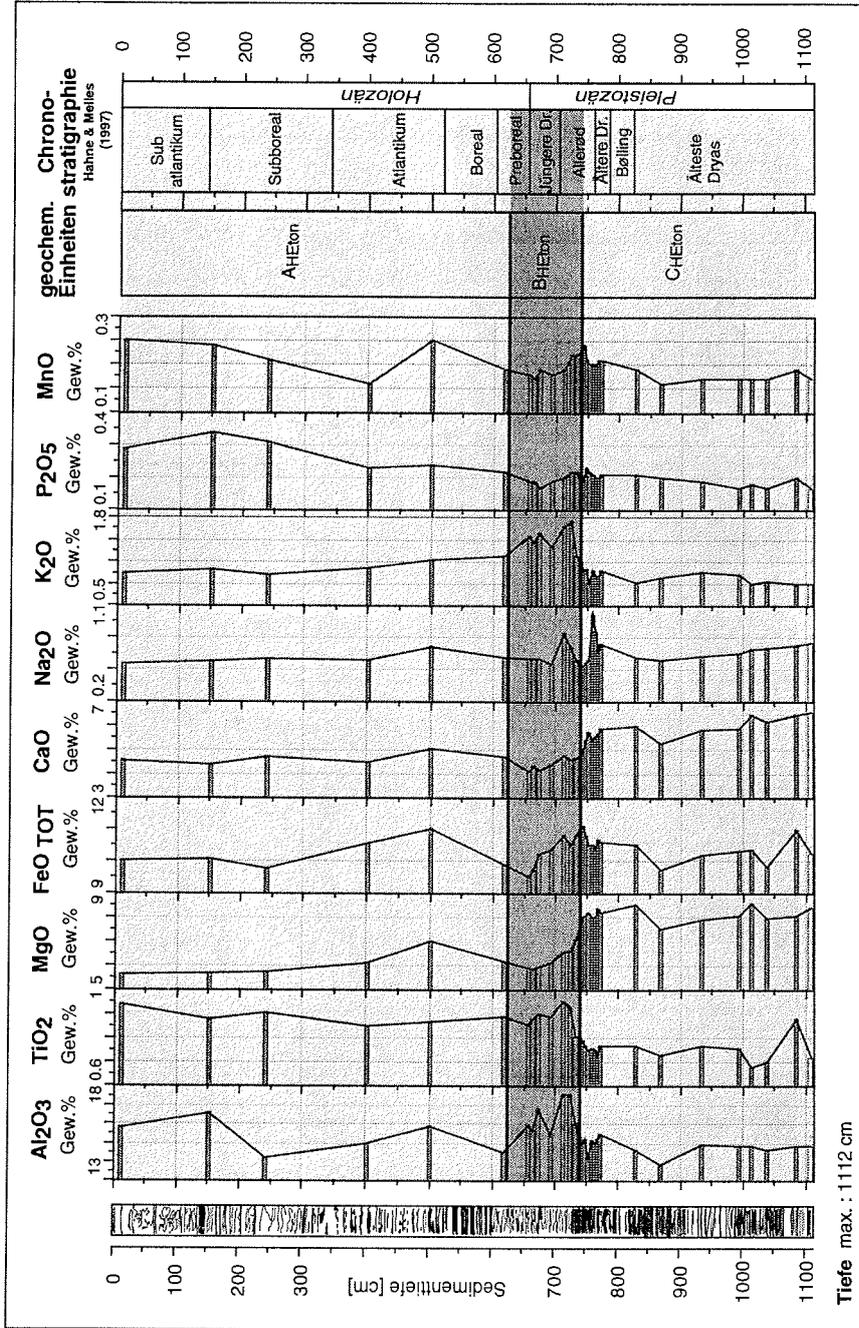


Abb. 23: Verteilungsmuster der Hauptelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111.

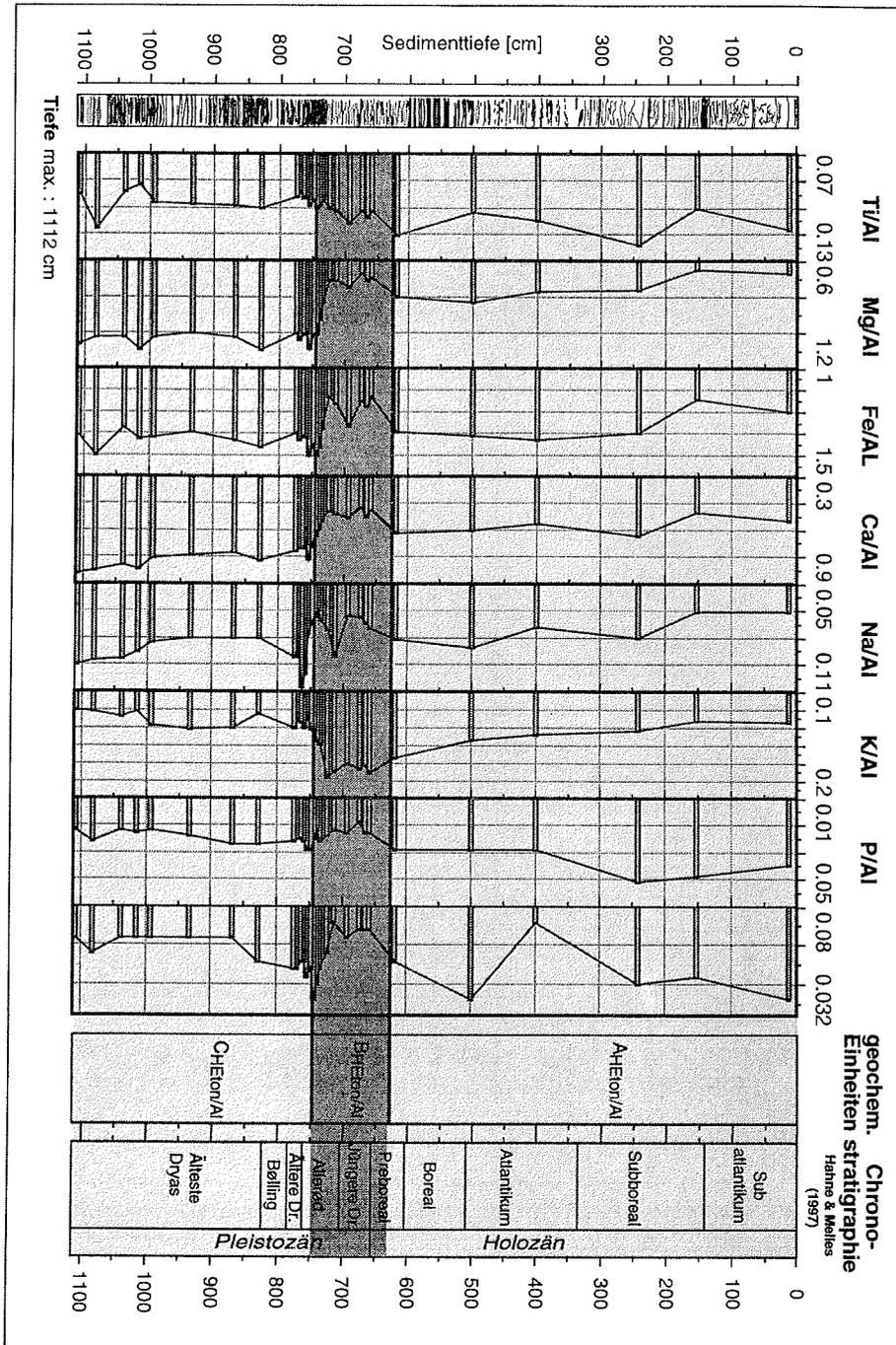


Abb.24: Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Hauptelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG11111.

Abschnitt C<sub>HEton</sub> (1112 - 735 cm: Älteste Dryas - erste Hälfte Allerød) ist in Relation zu B<sub>HEton</sub> durch geringe Konzentrationen an Aluminium, Titan und Kalium und hohe Konzentrationen an Kalzium und Eisen gekennzeichnet.

In Abschnitt B<sub>HEton</sub> (735 - 625 cm: oberes Allerød, Jüngere Dryas und unteres Preboreal) nehmen die Konzentrationen der Elemente Magnesium und Kalzium deutlich, die von Natrium Mangan und Phosphor geringfügig ab. Die Konzentrationen von Aluminium, Titan und Kalium nehmen zu. Eisen bleibt in B<sub>HEton</sub> zunächst konstant, nimmt jedoch in einer Tiefe um 690 cm (= obere Jüngere Dryas) deutlich ab.

Abschnitt A<sub>HEton</sub> (625 bis 0 cm: oberes Preboreal - Subatlantikum) ist durch eine erneute Konzentrationszunahme der Elemente Magnesium, Eisen, Kalzium, Natrium, Phosphor und Mangan gekennzeichnet. Phosphor und Mangan nehmen bis zur Sedimentoberfläche kontinuierlich zu, Kalzium und Natrium bleiben konstant, Eisen und Magnesium nehmen bei einer Tiefe von ca. 500 cm (Übergang Boreal - Atlantikum) erneut ab. Die Konzentrationen von Aluminium und Kalium werden in A<sub>HEton</sub> geringer, Titan bleibt konstant.

Das Verteilungsmuster der auf Aluminium normierten Elementkonzentrationen teilt die Kernsequenz PG1111 in die gleichen Abschnitte C<sub>HEton/Al</sub> (1112 - 735 cm: Älteste Dryas - erste Hälfte Allerød), B<sub>HEton/Al</sub> (735 - 625 cm: oberes Allerød, Jüngere Dryas und unteres Preboreal) und A<sub>HEton/Al</sub> (625 cm - 0 cm: oberes Preboreal - Subatlantikum). Die Variationen von Magnesium, Kalzium, Natrium, Kalium, Phosphor und Mangan werden durch eine Aluminiumnormierung nicht verändert (Abb. 24). Änderungen erfahren Titan und Eisen im Übergangsbereich von C<sub>HEton/Al</sub> zu B<sub>HEton/Al</sub> (= Allerød). Titan wechselt von einem markanten Sprung zu einem kontinuierlichen Anstieg, die Eisenkonzentration nimmt bereits in einer Tiefe von 735 cm (= mittleres Allerød) ab (Abb. 24).

Das Verteilungsmuster und die statistischen Parameter der **Spurenelemente** in der Tonfraktion sind in den Tabellen 12, A-17 (Anhang) und Abb. 25 dargestellt.

Tab. 12: Statistische Parameter der Spurenelementkonzentrationen in der Tonfraktion des Kerns PG1111 (n= 29), alle Angaben in mg/kg (Std.Abw.=Standardabweichung der Meßergebnisse PG1111, rel. Fehler<sub>ICP</sub> [%]= relativer Fehler der ICP).

Variabel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.Abw.	rel. Fehler <sub>ICP</sub> [%]
Ba	148	265	182	30	9.1
Co	54	70	63	5	10.1
Cu	207	439	246	42	10.1
Ni	114	148	132	11	4.5
Sr	140	230	167	24	6.7
V	119	224	155	27	7.5
Zn	87	146	107	14	10.1

Chemostratigraphie

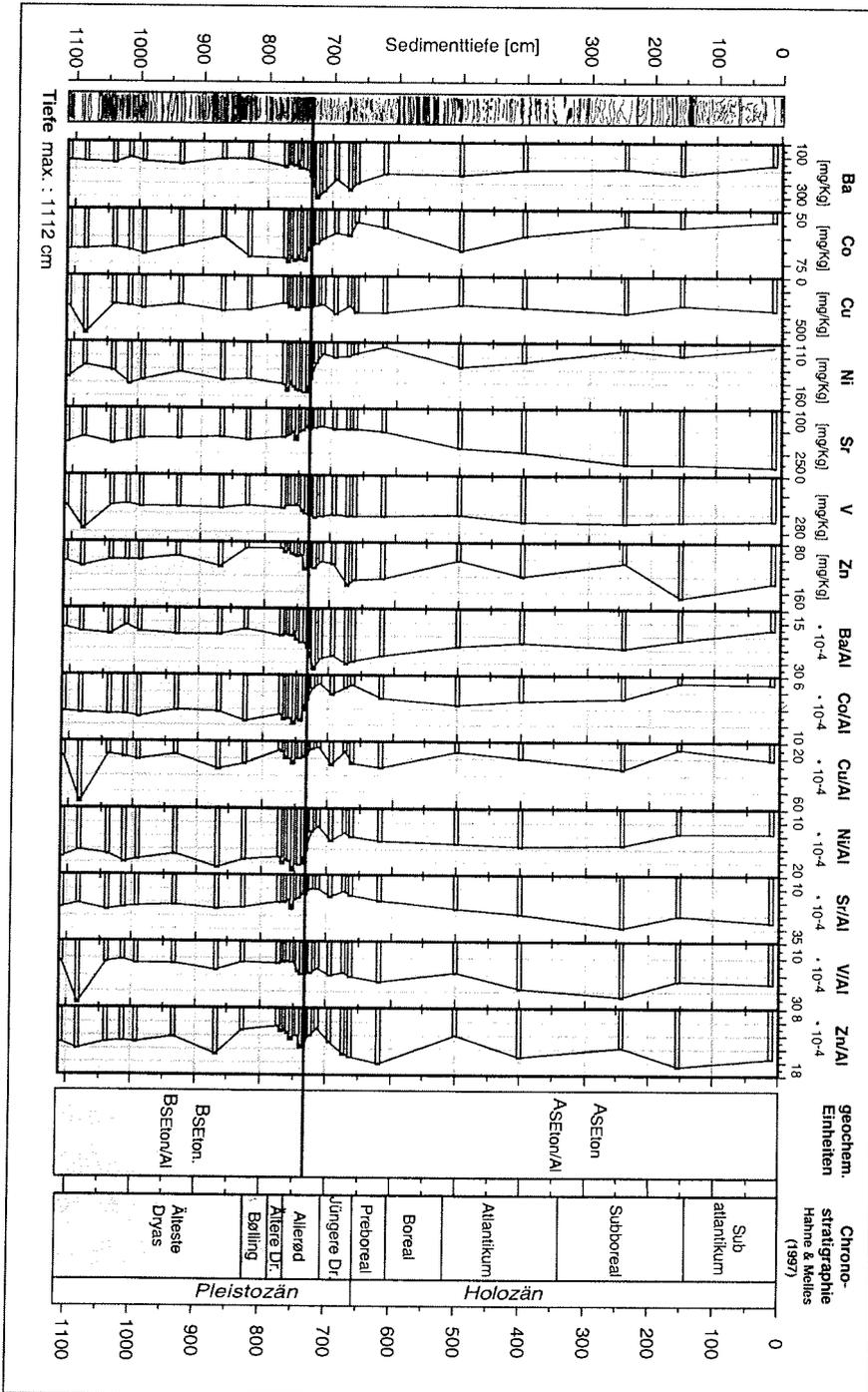


Abb. 25: Verteilungsmuster der Spurenelemente in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111.

Chrom, Molybdän und Niob werden aufgrund des hohen analytischen Fehlers und Blei wegen zu geringer Konzentrationen (Anhang: Tab. A-13) nicht in die Betrachtungen mit einbezogen. Wolfram wird nicht diskutiert, weil es bei der geochemischen Analyse des Gesamtsedimentes nicht bestimmt wurde (Kap. 3.2.4.1).

Analog zu SEges. wird die Sedimentsequenz PG1111 auf der Basis der Spurenelemente in der Tonfraktion in zwei Abschnitte B<sub>SEton</sub> und A<sub>SEton</sub> gegliedert (Abb. 25).

Abschnitt B<sub>SEton</sub> (1112 - 735 cm: Älteste Dryas - unteres Allerød) ist in Relation zu A<sub>SEton</sub> (735 - 0 cm: unteres Allerød - Subatlantikum) durch eine Konzentrationszunahme der Elemente Cobalt und Nickel, eine deutliche Konzentrationsabnahme von Zink und durch eine geringe Konzentrationserniedrigung von Vanadium gekennzeichnet. Barium und Kupfer zeigen nur sehr geringe Schwankungen. Die Konzentration von Strontium ist zwischen 750 cm und 600 cm (= Allerød - Preboreal) etwas niedriger.

Die Verteilungsmuster der aluminiumnormierten Konzentrationen sind analog (Abb. 25).

#### 3.2.4.3 Korngrößenabhängige geochemische Variationen

Um den Einfluß korngrößenabhängiger Variationen im Gesamtsediment besser abschätzen zu können, ist die geochemische Zusammensetzung der > 63 µm -, 63 - 2 µm - und < 2 µm - Fraktionen von vier 10 cm-Mischhorizonten aus unterschiedlichen Tiefen der Kernsequenz PG1111 (488 - 498 cm, 653 - 663 cm, 728 - 738 cm und 864 - 874 cm) bestimmt worden.

Die Meßergebnisse der Fraktionen sind in den Tabellen A-21 und A-22 im Anhang, Mittelwerte und Standardabweichung in Tab. 13 und Abb. 26 aufgeführt.

Deutliche korngrößenabhängige Variationen zeigen die Hauptelemente Magnesium, Eisen, Kalzium, Natrium, Titan und Aluminium. Aluminium, Magnesium und Eisen konzentrieren sich in der < 2 µm-Fraktion (Tonminerale), Kalzium, Natrium und Titan in der >2 µm-Fraktion (Plagioklas, Augit, Magnetit). Kalium, Phosphor und Mangan (beeinflußt durch sekundäre Prozesse wie Diagenese, Kationenadsorption an Tonmineralen und organischer Substanz und Oxid/Hydroxid-Bildungen) zeigen nur geringe korngrößenabhängige Schwankungen.

Analog zu Eisen und Magnesium sind Cobalt, Kupfer und Nickel in der Tonfraktion angereichert. Barium, Strontium, Vanadium und Zink dagegen konzentrieren sich in der >2 µm-Fraktionen.

Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichung der geochemischen Zusammensetzung der >63  $\mu\text{m}$ -, 63 - 2  $\mu\text{m}$ - und < 2  $\mu\text{m}$ -Fraktionen in PG1111 (n=4).

Variable	> 63 $\mu\text{m}$		63 - 2 $\mu\text{m}$		< 2 $\mu\text{m}$	
	Mittelwert	Std.Abw.	Mittelwert	Std.Abw.	Mittelwert	Std.Abw.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.52	0.94	16.11	0.17	15.67	0.24
TiO <sub>2</sub>	1.05	0.10	1.24	0.04	0.83	0.05
MgO	5.29	0.54	5.23	0.19	6.83	0.69
FeO <sub>tot</sub>	6.28	0.73	6.55	0.24	10.10	0.38
CaO	9.68	0.90	8.37	0.19	4.79	0.55
Na <sub>2</sub> O	1.53	0.17	1.46	0.05	1.02	0.63
K <sub>2</sub> O	1.01	0.07	1.11	0.06	1.20	0.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.03	0.12	0.01	0.20	0.01
MnO	0.16	0.01	0.16	0.01	0.20	0.04
Ba	255	33	242	10	211	20
Co	40	7	37	3	54	11
Cu	151	47	78	13	213	85
Ni	69	7	73	3	112	24
Sr	188	42	209	10	168	28
V	181	39	241	8	181	27
Zn	114	20	84	3	106	16

#### 3.2.4.4 Strontiumisotope

In vier verschiedenen Tiefen der Kernsequenz PG1111 sind die <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Isotopenverhältnisse bestimmt und  $\epsilon_{\text{Sr}}$ -Werte berechnet worden (Tab. 14). Ein Vergleich der  $\epsilon_{\text{Sr}}$ -Werte mit denen einzelner Vulkanitschichten der kontinentalen Flutbasalte (aus Lightfoot et al. 1993) im Einzugsgebiet des Lama Sees soll die Zuordnung des Sedimentes zu Basaltschichten des Einzugsgebietes ermöglichen und mögliche Liefergebietswechsel seit dem Spätpleistozän erkennbar machen. Die Sedimente des Lama Sees zeigen für ein basaltisches Einzugsgebiet außergewöhnlich hohe <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Verhältnisse (Tab. 14). Dies ist auf die Kontamination der Flutbasalte mit Krustenmaterial zurückzuführen (Kap. 1.1.3.1), die durchschnittlich <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Verhältnisse von bis zu 0.707031 erreichen können (Anhang: Tab. A-3).

Da die Basalte als mafische Gesteine sehr niedrige Rb/Sr-Verhältnisse haben, ist mit einer deutlichen Verschiebung des <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-Verhältnisses aufgrund der chemischen Verwitterung nicht zu rechnen.

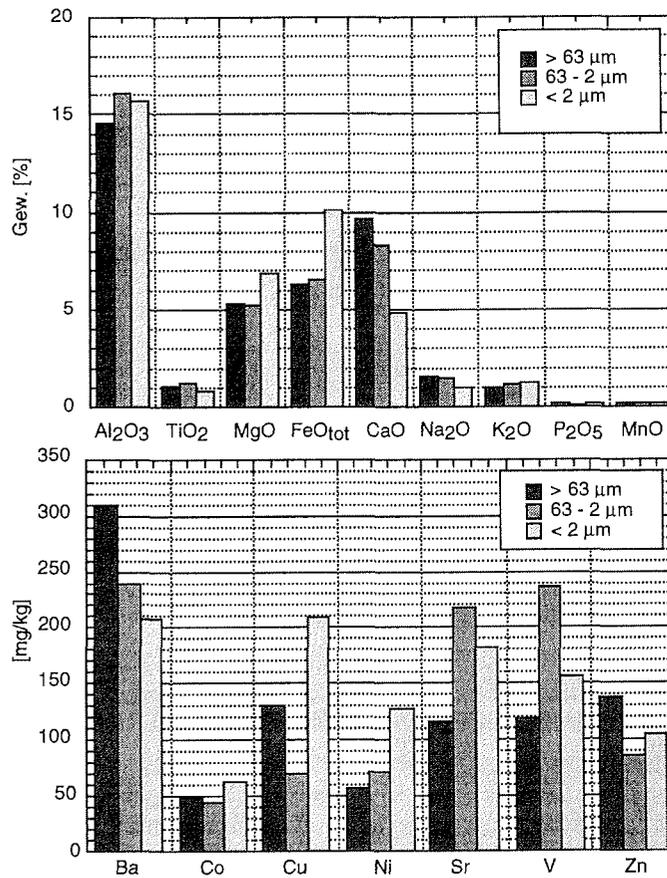


Abb. 26: Mittlere geochemische Zusammensetzung der >63 µm-, 63 - 2 µm- und < 2 µm-Fractionen in PG1111 (n=4); Hauptelemente in Gew.%, Spurenelemente in mg/kg.

Die  $\epsilon_{Sr}$ -Werte berechnen sich aus:

$$\epsilon_{Sr} = \left[ \frac{{}^{87}Sr/{}^{86}Sr}{0.7045} - 1 \right] * 1000$$

$$\epsilon_{UR}^0 = 0.7045$$

UR = uniform reservoir

t = 0 = heute

## Diskussion und Interpretation

Tab. 14:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse und  $\epsilon_{\text{Sr}}$ -Werte aus vier verschiedenen Tiefen von PG1111.

Tiefe [cm]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\epsilon_{\text{Sr}}$
23.5	$0.707904 \pm 20 \cdot 10^{-6}$	48.3
143.5	$0.708079 \pm 20 \cdot 10^{-6}$	50.8
909.5	$0.707724 \pm 20 \cdot 10^{-6}$	45.8
1049.5	$0.706737 \pm 20 \cdot 10^{-6}$	31.8

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse und  $\epsilon_{\text{Sr}}$ -Werte spiegeln den Einfluß der Basalte im Einzugsgebiet wieder, die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte zwischen 0.70459 - 0.70872 haben (Wooden et al. 1993; Anhang: Tab. A-3).

## 4 Diskussion und Interpretation

Wie in Kapitel 1 dargestellt, werden in der vorliegenden Arbeit drei Fragestellungen verfolgt:

1. Welche Prozesse und Faktoren (z.B. Ausgangsgestein, Erosion, Transport und Diagenese) haben neben der chemischen Verwitterung im Einzugsgebiet Einfluß auf die geochemische und petrographische Zusammensetzung der Sedimente im Lama See?
2. Inwieweit hat speziell die chemische Verwitterung im Einzugsgebiet Einfluß auf die geochemische Zusammensetzung der Sedimente?
3. Wie reagiert die chemische Verwitterung im Einzugsgebiet auf Änderungen der Umweltbedingungen seit dem Spätpleistozän in Mittelsibirien und welchen Einfluß haben diese Veränderung auf die geochemische Zusammensetzung der Seesedimente?

Die Gesamtgeochemie eines Sedimentes wird neben der chemischen Verwitterung (Bodenbildung an Land) im wesentlichen von der Ausgangszusammensetzung des anstehenden Gesteins (geochemische Zusammensetzung und hydrothermale Überprägung der unverwitterten Basalte), von Sortierungsprozessen während des Transportes und von diagenetischen Mineralneubildungen im Sediment bestimmt (Nesbitt 1997; Abb. 27).

Diese Faktoren müssen erkannt werden, um den Einfluß der geochemischen Verwitterung auf die Gesamtgeochemie im Seesediment erfassen zu können.

Die Ergebnisse in Kap. 3.2. zeigen, daß der geochemische, mineralogische und lithologische Eintrag in den Lama See seit dem Spätpleistozän variiert:

Die frühe Älteste Dryas ist in der Kernsequenz PG1111 durch Lagen mit Grobsand- und Kiesanteilen in einer Tonmatrix charakterisiert. Parallel zeigen Wassergehalt, magnetische Suszeptibilitäten sowie Haupt- und Spurenelementkonzentrationen eine hohe Variabilität, die ab der späteren Ältesten Dryas zurückgeht (Abb. 14, 19 und 21).

Ein markanter geochemischer Wechsel vollzieht sich während des späten Allerøds, der durch die Konzentrationszunahme der Elemente Silizium, Aluminium, Titan, Kalium, Kalzium und Natrium und die Konzentrationsabnahme der Elemente Eisen und Magnesium des Gesamtsedimentes gekennzeichnet ist (Abb. 19). Parallel steigt der Siltanteil von ca. 20 auf 50 Gew.% sowie der Eintrag von organischer Substanz (TOC)

## Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

von < 0.2 auf 0.7 Gew.% (Harwart et al. 1999). In der Gesamtmineralogie verringert sich der Anteil der Tonminerale Smektit, Illit und Kaolinit zugunsten der Silikate Plagioklas, K-Feldspat, Quarz und Augit (Abb. 18).

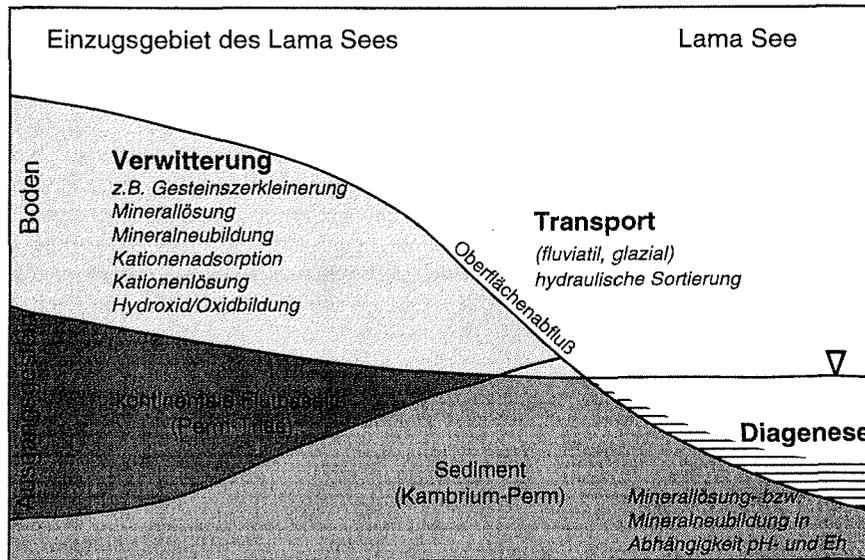


Abb. 27: Schematische Darstellung der Prozesse, die die Gesamtgeochemie des Lamaseesedimentes beeinflussen ; nach Nesbitt (1997).

Die Geochemie der Tonfraktion (< 2 µm) zeigt zur gleichen Zeit (spätes Allerød) eine Konzentrationsabnahme der Elemente Magnesium, Kalzium und Natrium und eine Konzentrationszunahme der Elemente Aluminium, Titan und Kalium (Abb. 23). Eisen bleibt während des Allerøds konstant und zeigt eine Konzentrationsabnahme erst während der späteren Jüngerer Dryas.

Eine Hauptkomponentenanalyse der geochemischen Variablen des Gesamtsedimentes führt sowohl für die Haupt- als auch für die Neben- und Spurenelemente zu drei Faktoren (Kap.3.2.4.1), die die geochemische Sedimentzusammensetzung beeinflussenden Hauptprozesse (Transportart, Diagenese, Verwitterung) widerspiegeln.

In den folgenden Kapiteln wird der Einfluß der Ausgangszusammensetzung (Liefergebiet), des Transportes, von diagenetischen Mineralneubildungen sowie der chemischen Verwitterung (Bodenbildung an Land) auf die geochemische Zusammensetzung des Lamaseesedimentes diskutiert. In diesem Zusammenhang werden die Faktoren der Hauptkomponentenanalyse  $SE_{HEges./Al}$  und  $SE_{ges./Al}$  den diskutierten Prozessen zugeordnet.

### 4.1 Einflußfaktoren auf die Gesamtgeochemie des Lamaseesedimentes

#### 4.1.1 Liefergebiet

Das Einzugsgebiet des Lama Sees wird im wesentlichen durch kilometermächtige kontinentale Flutbasalte geprägt, die aus elf petrographisch verschiedenen

Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

Hauptlavatypen (Ivakinsky (iv), Syverminsky (sv), Gudchinsky (gd), Khakanchansky (hk), Tuklonsky (tk), Nadezhdinsky (nd), Morongovsky (mr), Mokulaevsky (mk), Kharaylakhsy (hr), Kunginsky (km) und Samoedsky (sm)) bestehen (Abb. 2 und 3; Anhang: Tab. A-2 und Abb. A-1). Um den Einfluß der Vulkanite auf die Geochemie des Sedimentes abzuschätzen sowie den Anteil einzelner Vulkanittypen zu quantifizieren, sind sowohl Sedimente als auch alle elf Vulkanitsequenzen in ein geochemisches Diskriminierungsdiagramm für Vulkanite und in ein  $\epsilon_{Sr}$ -Ti/Y-Diagramm geplottet worden.

Eine Klassifizierung der Vulkanite auf der Grundlage des 2Nb-Zr/4-Y Diskriminierungsdiagramms nach Meschede (1986) zeigt, daß alle Vulkanittypen in den Feldern des tholeiitischen Intraplattenvulkanismus liegen (Abb. 28). Die Sedimente des Lama Sees plotten in dasselbe Feld, zeigen aber eine größere Streuung als die einzelnen Lavadecken. Im wesentlichen decken sie die Felder der Tuklonsky- (tk), Nadezhdinsky- (nd), Morongovsky- (mr), Mokulaevsky- (mk), Kharaylakhsy- (hr), Kunginsky- (km) und Samoedsky-Suite (sm) ab. Dies entspricht den oberen Vulkaniten und nach der Klassifikation von Naldrett et al. (1995) den Assoziationen IIa und IIb (vgl. Abb. 3 und Kap. 1.1.3.1; Anhang: Tab. A-3). Die mittlere Sedimentzusammensetzung liegt dem Nadezhdinsky- (nd), Morongovsky- (mr) und Kunginsky-(km) Typ am nächsten.

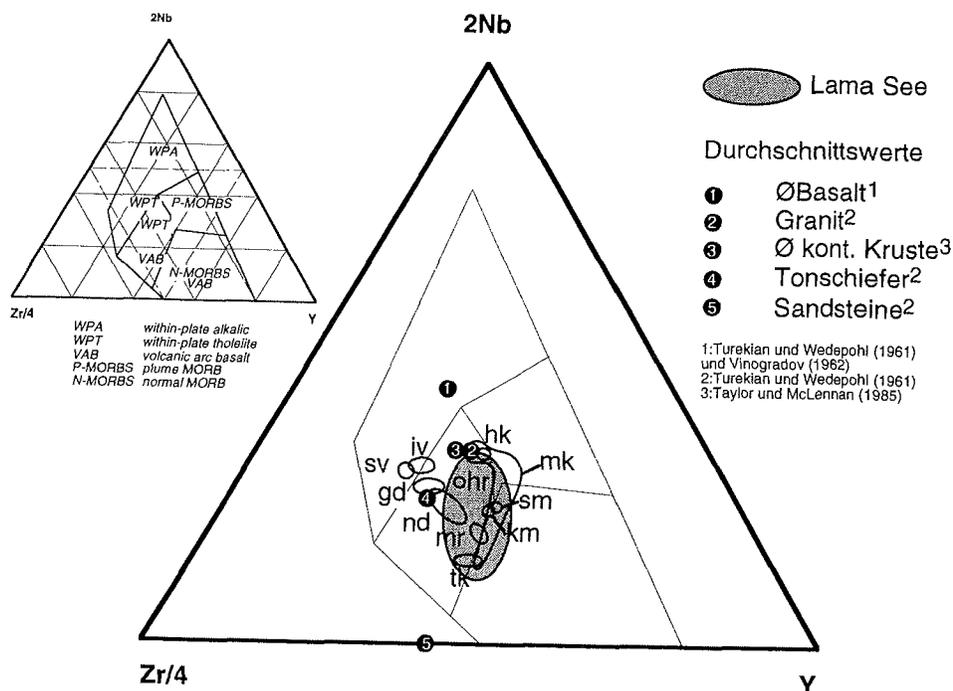


Abb. 28: 2Nb-Zr/4-Y Diskriminierungsdiagramm nach Meschede (1986). Sowohl alle Schichten der kontinentalen Flutbasalte, als auch die Sedimente des Lama Sees plotten in das Feld des Intraplattenvulkanismus. Vulkanitgruppen nach Naldrett et al. (1995): Ia: Ivakinsky (iv), Syverminsky (sv), Gudchinsky (gd); Khakanchansky (hk); IIa: Tuklonsky (tk), Nadezhdinsky (nd); IIb: Morongovsky (mr), Mokulaevsky (mk), Kharaylakhsy (hr), Kunginsky (km) und Samoedsky (sm).

### Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

Im  $\epsilon_{Sr}$ -Ti/Y-Diagramm fallen alle vier Sedimentproben aus verschiedenen Tiefen der Kernsequenz PG1111 in das Feld der Nadezhdinsky (nd) - Suite (Abb. 29).

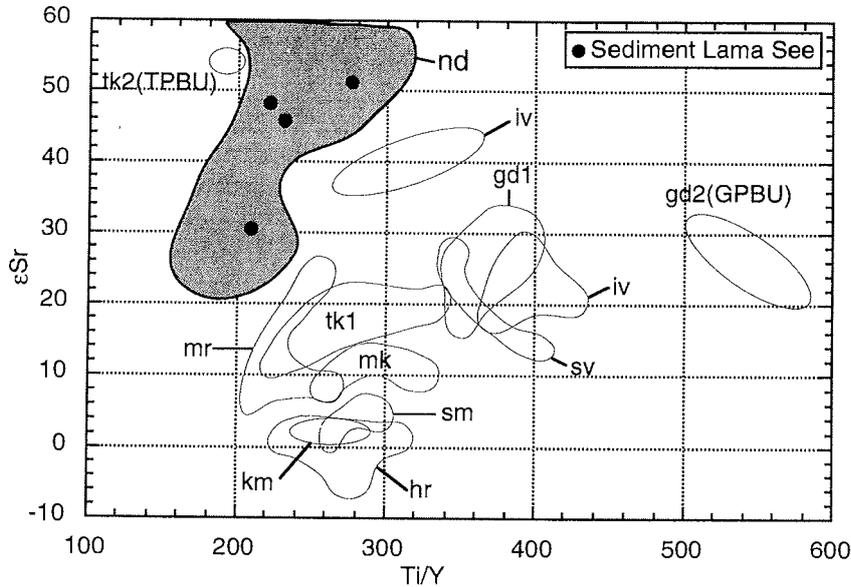


Abb. 29: Im  $\epsilon_{Sr}$ -Ti/Y-Diagramm liegt das Lamaseesediment im Feld der Nadezhdinsky (nd) - Suite. Vulkanitgruppen nach Naldrett et al. (1995): Ia: Ivakinsky (iv), Syverminsky (sv), Gudchinsky (gd); Khakanchansky (hk); IIa: Tuklonsky (tk), Nadezhdinsky (nd); IIb: Morongovsky (mr), Mokulaevsky (mk), Kharaylakhsy (hr), Kumginsky (km) und Samoedsky (sm).

Aus beiden Diagrammen und der geologischen Rahmensituation (Kap. 1.1.3) läßt sich folgendes ableiten:

1. Der Sedimenteintrag in den Lama See wird im wesentlichen durch die kontinentalen Flutbasalte bestimmt.
2. Der mittlere Teil der basaltischen Abfolge (nach Naldrett et al. (1995) Formation IIa) besitzt den größten Einfluß auf die geochemische Zusammensetzung des Lamaseesedimentes, die im Einzugsgebiet des Lama Sees eine Mächtigkeit von 200 bis 700 m (Naldrett et al. 1992) hat.
3. Sr-Isotopenverhältnisse aus vier verschiedenen Tiefen der Sedimentsequenz PG1111 signalisieren, daß seit dem Spätspleistozän keine grundlegenden Liefergebietswechsel stattfanden, die Einfluß auf die geochemische Variabilität des Gesamtsedimentes gehabt haben könnten.

#### 4.1.2 Transport

Im Einzugsgebiet des Lama Sees werden von Harwart et al. (1999) im Zeitraum von der Ältesten Dryas bis heute drei verschiedene Sedimenttransportarten beschrieben:

Während der frühen Ältesten Dryas dominiert die glaziale Erosion und bewirkt den Eintrag von Ton mit Einschaltungen aus Grobsand, Kies und Karbonaten (Kap. 1.1.5). Die grobkörnigen Einschaltungen werden vermutlich durch den Eisrandkontakt des

*Einflussfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

Lama Sees und den Transport von Gesteinsbruchstücken mit Eisblöcken verursacht (Harwart et al. 1999). Gleichzeitig werden die an der Küstenlinie des Lama Sees anstehenden kambrischen Karbonate erodiert und im See abgelagert (vgl. Abb. 3 und 7).

Der Zeitraum von der späteren Ältesten Dryas bis zum Allerød ist durch den Rückzug der Gletscher und durch glazio-fluviatilen Sedimenttransport bestimmt (Harwart et al. 1999; vgl. Abb. 7). Das Sediment ist weiterhin durch hohen minerogenen Eintrag und durch Laminierung mit Mächtigkeiten der Laminae zwischen < 1mm und 10 mm charakterisiert. Sand- und Kiesanteile sowie Karbonate werden jedoch nicht mehr abgelagert. Die Laminierung wird aus gradierten Silt-Ton-Sequenzen gebildet, die möglicherweise Jahreslagen darstellen. Die gröberen Anteile repräsentieren Schmelzwasserereignisse, die feinen Anteile Stagnationsphasen während des Sommers und Winters (Brodzikowski & Van Loon 1987; Johnson 1997; Simola & Uimonen-Simola 1983). Ab dem Bølling verringert sich die Mächtigkeit der Laminae auf < 1mm (vgl. Abb. 15). Dies spiegelt geringere Sedimentationsraten und eine zunehmende Entfernung des Gletschers wider (Brodzikowski & Van Loon 1987; Leonard 1986).

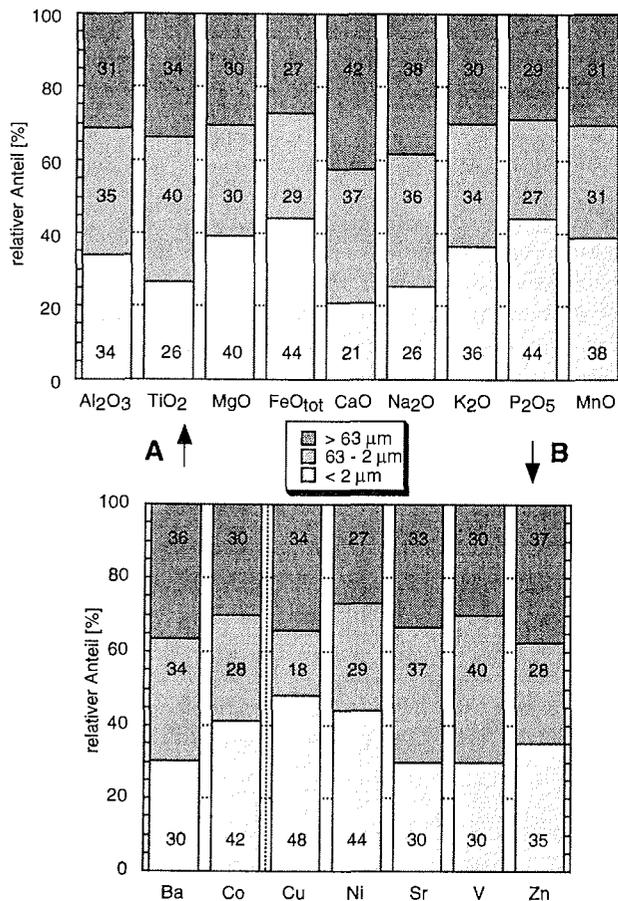


Abb. 30: Durchschnittliche relative Anteile der Haupt- (A) und Spurenelemente (B) in der > 63 µm-, 63 - 2 µm- und < 2 µm - Fraktion nach der Normierung auf 100 % (n = 4).

### *Einflussfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

Während des Allerøds verschwinden die Gletscher aus dem Einzugsgebiet des Lama Sees und fluvialer Sedimenttransport wird zur dominanten Transportart (Harwart et al. 1999). Das Lamaseesediment zeigt keine Laminierung mehr, der Eintrag an organischer Substanz nimmt zu (TOC steigt von ca. 0.2 auf 0.7 Gew.%) und der Siltanteil steigt von durchschnittlich 20 auf 50 Gew.% (Abb. 14). Parallel geht in der Gesamtmineralogie der Anteil an Tonmineralen (Smektit, Kaolinit und Illit) zurück und der Anteil der Silikate (Plagioklas, K-Feldspat, Augit und Quarz) steigt (Abb. 18).

Korngrößenabhängige Variationen von Haupt- und Spurenelementen sind durch die Bestimmung der geochemischen Zusammensetzung der  $< 2 \mu\text{m}$  -,  $2 - 63 \mu\text{m}$  - und  $> 63 \mu\text{m}$  - Fraktion gezeigt worden (Kap. 3.2.4.3) und in Abb. 30 quantifiziert.

Entsprechend der Quantifizierung in Abb. 30 nimmt die Bindung der Haupt- und Spurenelemente an die verschiedenen Fraktionen in folgender Reihenfolge ab:

*Sand ( $> 63 \mu\text{m}$ ):*

$Ca > Na > Ti > Al \approx Mn > Mg \approx K > P > Fe$   
 $Zn > Ba > Cu > Sr > Co \approx V > Ni$

*Silt ( $63 - 2 \mu\text{m}$ ):*

$Ti > Ca > Na > Al > K > Mn > Mg > Fe > P$   
 $V > Sr > Ba > Ni > Co \approx Zn > Cu$

*Ton ( $< 2 \mu\text{m}$ ):*

$Fe \approx P > Mg > Mn > K > Al > Ti \approx Na > Ca$   
 $Cu > Ni > Co > Zn > Ba \approx Sr \approx V$

Betrachtet man die Entwicklung des Gesamtchemismus in PG1111, indem die Faktorwerte von Faktor  $1_{HEges./Al}$  und Faktor  $3_{HEges./Al}$  (Kap. 3.2.4.1) in einem XY-Diagramm dargestellt werden, so läßt sich eine Dreiteilung der Sedimentabfolge PG1111, die im wesentlichen die oben beschriebenen Korngrößen widerspiegelt (Abb. 31), vornehmen:

Gruppe 1 umfaßt den Zeitraum der frühen Ältesten Dryas und spiegelt den Eintrag der an die  $> 63 \mu\text{m}$  - Fraktion gebundenen Elemente Kalzium und Natrium (Plagioklas) wider und wird als 'Sandfaktor' bezeichnet.

Gruppe 2 zeigt eine Dominanz der an die  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion gebundenen Elemente Eisen und Magnesium (Smektite) und wird als 'Tonfaktor' bezeichnet. Gruppe 2 umfaßt den Zeitraum der Ältesten Dryas bis zum Allerød.

Gruppe 3 ist charakterisiert durch die Elemente Titan, Natrium, Silizium, Kalzium, Kalium und Mangan (Plagioklas, Klinopyroxen, Titanit, (K-Feldspat)) die im wesentlichen an die  $2 - 63 \mu\text{m}$  - Fraktion gebunden sind. Die Gruppe 3 wird als 'Siltfaktor' bezeichnet. Sie repräsentiert den Zeitraum vom Allerød bis heute.

In Abb. 32 sind analog zur Hauptelementverteilung die Faktorwerte von Faktor  $1_{SEges./Al}$  und Faktor  $2_{SEges./Al}$  der Spurenelemente in einem XY-Diagramm dargestellt.

Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

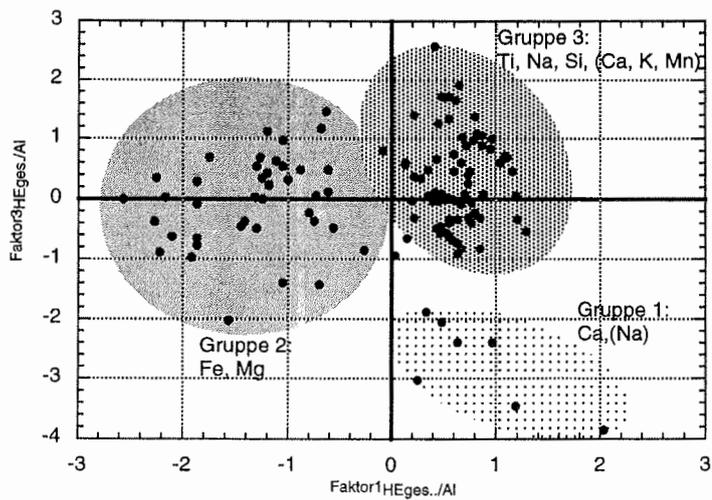


Abb. 31: XY-Diagramm der Faktorwerte von Faktor  $1_{HEges./Al}$  und Faktor  $3_{HEges./Al}$  (Hauptelemente). Die drei Gruppen spiegeln die Korngrößenwechsel in der Kernsequenz PG1111 wider.

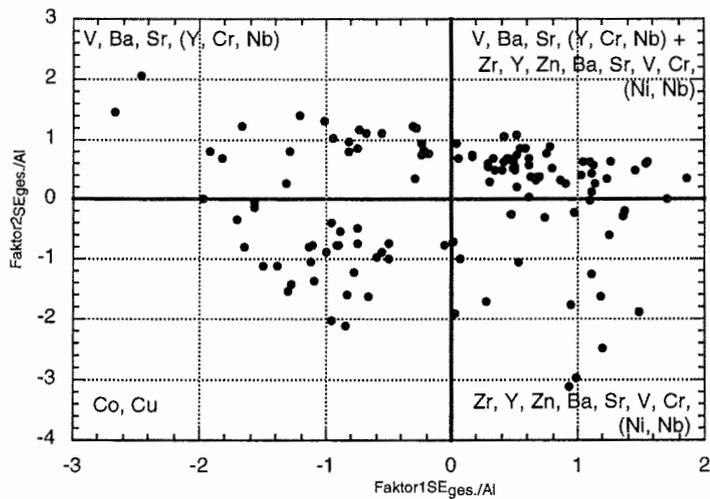


Abb. 32: XY-Diagramm der Faktorwerte von Faktor  $1_{SEges./Al}$  und Faktor  $2_{SEges./Al}$  (Spurenelemente).

Eine Gruppeneinteilung, die auf korngrößenabhängige geochemische Variationen zurückzuführen ist, kann auf der Basis der Spurenelementverteilung nicht eindeutig klassifiziert werden. Im linken unteren Quadranten (Älteste Dryas bis Allerød) dominieren die Elemente Cobalt und Kupfer, die im wesentlichen an die  $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion gebunden sind. Die drei restlichen Quadranten (Allerød bis heute) zeigen

*Einflussfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

Elemente, die vorwiegend an die 2 - 63  $\mu\text{m}$ - - Fraktion gebunden sind, sich jedoch durch unterschiedliche Anteile verschiedener Spurenelemente auszeichnen. Die Dominanz von Barium, Strontium und Vanadium (beide obere Quadranten) deuten einen verstärkten Eintrag von Plagioklas und K-Feldspat an, die Elemente Zirkon, Yttrium und Zink (beide rechte Quadranten) weisen dagegen auf einen verstärkten Eintrag von Pyroxenen (Tab. 15).

*Tab. 15: Durch unterschiedliche Umweltsituationen und Sedimenttransportarten im Einzugsgebiet des Lama Sees bedingte Sedimentstruktur, Geochemie und Mineralogie in der Kernsequenz PG1111.*

Umweltsituation	Transportart	Sedimentstruktur	Hauptgeochemie	Hauptmineralogie
Eisrandkontakt (frühe Älteste Dryas)	glazial	(Silt-)Tonmatrix, mm-Laminierung,	Fe, Mg, Co, Cu	Smektit
		Grobsand, Kiesel Gesteinsbruchstücke	Ca, (Na), V, Ba, Sr	Plagioklas
Rückzugsphase der Gletscher (Älteste Dryas - Allerød)	glazio-fluviatil	(Silt-)Tonmatrix, mm-Laminierung	Fe, Mg, Cu, Co	Smektit
Gletscher befinden sich außerhalb des Einzugsgebietes (Allerød - heute)	fluviatil	(Ton-)Siltmatrix	Ti, Na, Si (Ca, K, Mn), Zr, Y, Zn, Sr, V, Ba, Cr, (Nb)	Plagioklas, Klinopyroxen, Titanit, K-Feldspat

Neben dem Einfluß der Korngröße scheinen die Konzentrationen von Kalzium, Kalium, Mangan, Phosphor und Nickel durch zusätzliche Prozesse beeinflusst zu sein: Nickel ist trotz nachgewiesener bevorzugter Bindung an die  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion in der 2 - 63  $\mu\text{m}$  - Fraktion leicht angereichert, Kalzium ist trotz bevorzugter Bindung an die 2 - 63  $\mu\text{m}$  - Fraktion nur mäßig in der Siltfraktion konzentriert (Abb. 31). Kalium, Mangan und Phosphor zeigen keine oder nur untergeordnete korngrößenabhängige Schwankungen (vgl. Kap. 4.1.3 und 4.1.4).

Aus den oben diskutierten korngrößenabhängigen geochemischen Variationen läßt sich ableiten:

1. Der Wechsel von glazialen zu glazio-fluviatilen sowie von glazio-fluviatilen zu fluviatilen Transport und die damit verbunden Änderungen im Korngrößenspektrum des Seesedimentes beeinflussen die geochemische und mineralogische Zusammensetzung des Lamaseesedimentes entscheidend.
2. Insgesamt 40.0 % der gesamten Datenvarianz der Hauptelemente (Faktor<sub>1HEges./AI</sub>) und 66.3 % der gesamten Datenvarianz der Spurenelemente (Faktor<sub>1SEges./AI</sub> und Faktor<sub>2SEges./AI</sub>) beschreiben den Wechsel von glazio-fluviatilen zu fluviatilen Transport im Allerød.
3. 25.9 % der gesamten Datenvarianz der Hauptelemente (Faktor<sub>3HEges./AI</sub>) erfassen den Wechsel von glazialen zu glazio-fluviatilen Transport.
4. Kalium, Kalzium, Nickel, Phosphor und Mangan unterliegen geochemischen Schwankungen, die nicht ausschließlich durch korngrößenabhängige Variationen erklärt

### *Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

werden können. Sie werden in den folgenden Kapiteln diagenetischen Prozessen und adsorptiven Bindungen an Kationenaustauscher (z.B. Tonminerale und Huminstoffe) zugeordnet.

#### **4.1.3 Diagenese**

Gehalte an Eisen, Mangan und Phosphor im Seesediment werden von diagenetischen Prozessen beeinflusst, die von Redox- und pH-Bedingungen im Sediment und in der Wassersäule gesteuert werden (Aller 1994; Balistrieri et al. 1992; Mortimer 1971; Young & Harvey 1992). Reduzierende und saure Bedingungen bewirken im allgemeinen eine verstärkte Lösung dieser Elemente.

Der Eintrag von Eisen und Mangan in Gewässer erfolgt in der Regel in partikulärer Form (Oxide, Hydroxide, Minerale). Lösliche Formen des Eisens und Mangans sind auf Bereiche mit einer Sauerstoffsättigung unter 50 %, mit zersetzbarem organischen Material, mit hohem Gehalt an freiem CO<sub>2</sub> und mit pH-Werten unter 7.5 beschränkt (z.B. Grundwasser, Hypolimnion des Sees) (Schwoerbel 1993). Der Eintrag natürlichen Phosphors in Gewässer ist meist limitiert und liegt als anorganisch (Orthophosphat) und organisch gelöstes Phosphat sowie als organisches (z.B. Organismen und Detritus) und anorganisches (z.B. Apatit) partikuläres Phosphat vor.

Nach der Ablagerung bestimmen im wesentlichen die Redox-Bedingungen und pH-Werte des Sedimentes die Mobilität der Eisen-, Mangan- und Phosphorverbindungen. Existiert z.B. in Oberflächensedimenten gelöster Sauerstoff, diffundieren reduzierte mobile Phasen des Eisens und Mangans aus tieferen Sedimentbereichen nach oben und fallen im Oxidationshorizont als Oxide aus (Kephkay 1985; McKee et al. 1989). Liegen reduzierende Bedingungen im Oberflächensediment und in der überlagernden Wassersäule vor, diffundieren reduzierte, mobile Phasen in das Wasser; das Sediment erfährt einen Verlust des entsprechenden Elementes. Phosphor ist häufig durch die Adsorption an Sedimentpartikel im Sediment fixiert (vorwiegend an Mangan- und Eisen-Oxide/Hydroxide), die ebenfalls von Redoxbedingungen gesteuert wird (Mortimer 1971; Schwoerbel 1993).

Der Sauerstoffgehalt im Sediment und im Wasser ist abhängig von der Temperatur des Wassers und vom Gehalt an organischer Substanz, da für deren Abbau Sauerstoff benötigt wird. Eisen- und Mangan-Oxide/Hydroxide dienen dabei häufig als Sauerstofflieferanten. Unter diesen Bedingungen wechselt das Milieu häufig zwischen oxidisch, suboxidisch und anoxidisch. Mangan und Phosphor reagieren schnell auf Milieuänderungen und können bereits unter suboxidischen Bedingungen gelöst und teilweise explosionsartig freigesetzt werden (Aller 1994; Balistrieri et al. 1992; Schwoerbel 1993).

Der Lama See ist heute ein leicht alkalischer, oligotropher, polar-monomiktischer bis subpolar-dimiktischer See mit geringer Sauerstoffzehrung (Kienel 1999 ; Abb. 13). Die hellen Sedimentfarben und geochemische Untersuchungen belegen oxidische Bedingungen in den obersten Zentimetern der Sedimentsequenz PG1111 (12 - 13 mg/l O<sub>2</sub> bis zum Seeboden; Abb. 13 und 33). Die Anreicherung an MnO in einer Tiefe von 6.0 bis 7.5 cm wird als Manganausfällung im Oxidationshorizont interpretiert (Hagedorn et al. 1999; Abb. 33). Die Konzentrationsentwicklungen von Phosphor und Eisen sind wesentlich konstanter als die von Mangan. Die geringen Anreicherungen in ca. 3 cm Tiefe für Phosphor und in ca. 9 cm Tiefe für Eisen können zum Manganoxid analoge Ausfällungshorizonte darstellen und die unterschiedlichen Löslichkeiten in Bezug auf Redoxbedingungen widerspiegeln.

*Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

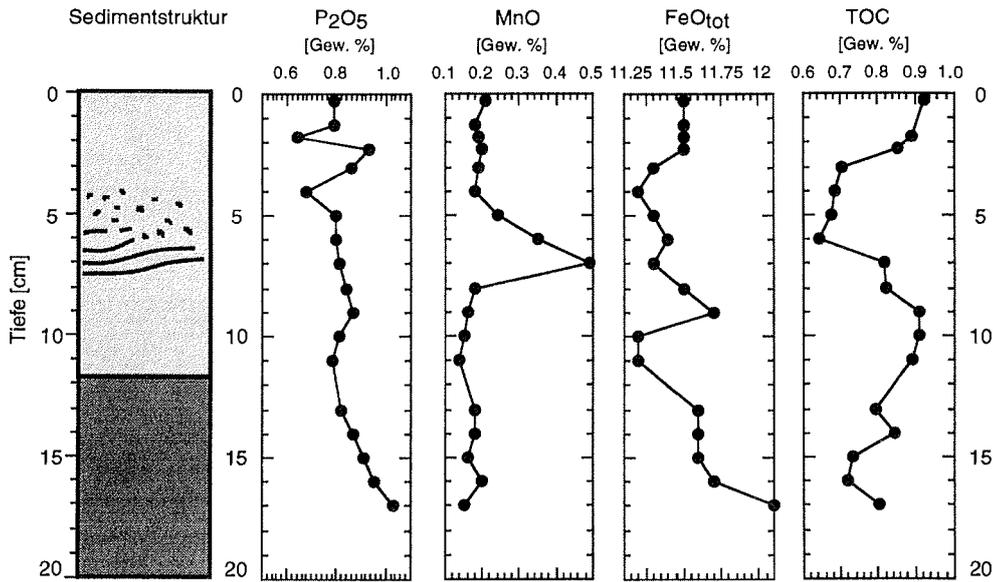


Abb. 33: Phosphor-, Mangan-, Eisen- und TOC-Verteilung in den obersten 17 cm der Sedimentsequenz PG1111.

Vom Spätpleistozän bis heute unterliegen Mangan und Phosphor in der Sedimentsequenz PG1111 Schwankungen, die, wie die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse<sub>HEges.+HEges./Al</sub> (Faktor 3<sub>HEges.</sub> und Faktor 2<sub>HEges./Al</sub>; Abb. 19 und 20) belegen, parallel und unabhängig von der Konzentrationsentwicklung der anderen Hauptelemente verlaufen (Kap. 3.2.4.1). Wie in Kap. 4.1.2. dargestellt, wird der Eintrag an Phosphor und Mangan nicht durch die Korngrößenzusammensetzung des Sedimentes bestimmt.

Während der Ältesten Dryas sowie vom mittleren Allerød bis zum Ende des Boreals ( $P_2O_5$ : = 0.2 Gew.%; MnO: = 1.5 Gew.%) verringern sich die Konzentrationen von Mangan und Phosphor im Gesamtsediment in Relation zu den dazwischen liegenden Zeiten ( $P_2O_5$ : = 0.2 Gew.%; MnO: = 1.5 Gew.%; Bølling bis mittleres Allerød sowie Atlantikum bis heute; Abb. 19 und 20).

Parallel zur Konzentrationsverringering bei Mangan und Phosphor im Zeitintervall Allerød - Boreal steigt der Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) im Sediment deutlich an (0.5 - 0,9 Gew.%; Harwart 1999; Abb. 34). Dies führte möglicherweise zu einem erhöhten Sauerstoffverzehr und reduzierenden Bedingungen im Sediment und in der Wassersäule, sodaß sich die Redoxgrenze aus dem Sediment in die Wassersäule verschob und Mangan und Phosphor aus dem Sediment in die Wassersäule diffundierten. Eine Mobilisierung des Eisens wurde jedoch nicht erreicht (Abb. 34). Eine Mangan- und Phosphormobilisierung aufgrund von sauren Milieubedingungen kann ausgeschlossen werden, da Diatomeenvergesellschaftungen den pH-Bereich auf 7 bis 8.5 festlegen (Kienel 1999).

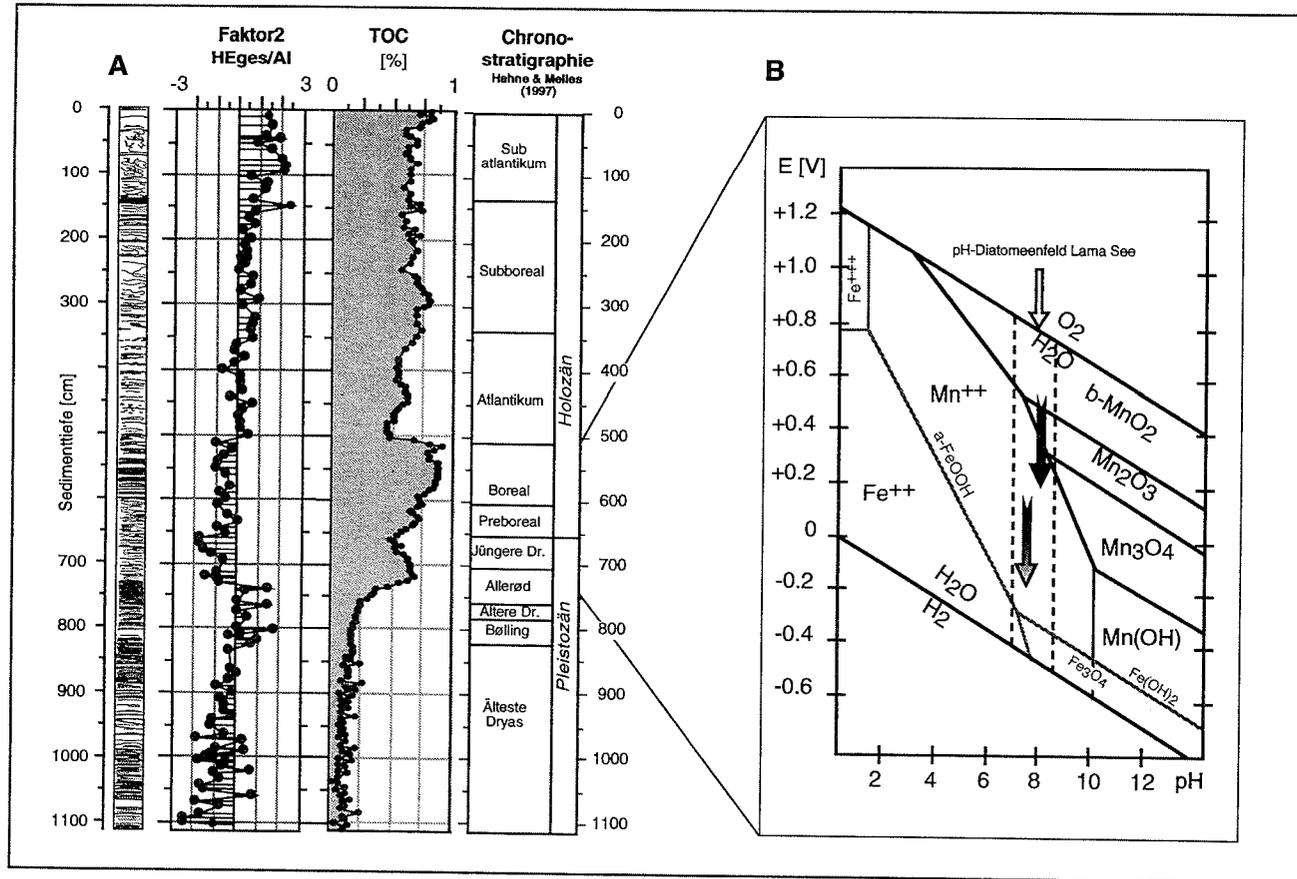


Abb. 34: A: Phosphor-Mangan-TOC-Entwicklung von der Ältesten Dryas bis heute in der Kernsequenz PG1111. Die Mangan-Phosphor-Variationen werden im wesentlichen durch diagenetische Prozesse im Sediment und an Land gesteuert (s. Text).  
 B: Stabilitätsdiagramm für Eisen- und Manganverbindungen in Abhängigkeit von Redoxpotential, pH-Wert und Ionenaktivitäten von  $10^{-5}$  mol/l unter Standardbedingungen (105Pa, 25°C). Der Pfeil zeigt die mögliche Entwicklung von oxischen (Bølling bis Allerød) zu reduzierenden Bedingungen (Allerød - Atlantikum), die zur Freisetzung des Mangans und des Phosphors aus dem Sediment führten. Der Bereich des pH-Wertes ist aufgrund von Diatomeenvergesellschaften auf einen Bereich von  $\geq 7$  und  $\leq 8.5$  beschränkt (Kienel, U. 1999).

### *Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

Die Verarmung an Mangan und Phosphor während der Ältesten Dryas könnte durch verminderte Sauerstoffzufuhr, die durch eine ganzjährige Eisbedeckungen, wie sie bereits in Harwart et al. (1999) diskutiert wird, und den entsprechend reduzierenden Bedingungen im Sediment verursacht worden sein (Mortimer 1971). Dagegen spricht jedoch die mit Schmelzereignissen verbundene Frischwasserzufuhr und der geringe Sauerstoffverzehr durch verringerte biologische Produktion. Wahrscheinlicher ist, daß die Verarmung von Mangan und Phosphor auf die verminderte Zufuhr sowohl in gelöster als auch in partikulärer Form beider Elemente aufgrund geringer Bodenbildungs- und Lösungsprozesse an Land zurückzuführen ist (Schachtschabel et al. 1989).

Nickel und Chrom bilden bei der Hauptkomponentenanalyse einen eigenständigen Faktor (Faktor 3  $SE_{Eges.} + SE_{Eges./Al}$ ), der möglicherweise auf eine diagenetische Überprägung hinweist (Abb. 21 und 22). Beide Elemente sind vom Allerød bis heute im Lamaseesediment leicht angereichert.

Der Einfluß der Diagenese auf Schwermetalle in Seesedimenten ist nur in Ansätzen untersucht. Untersuchungen an Oberflächensedimenten in Seen und im marinen Bereich zeigen eine Abhängigkeit der Mobilität von Nickel, Kupfer, Cadmium und Zink von Eh-Bedingungen und pH-Werten (Carignan & Nriagu 1985; Westerlund et al. 1986). Niedrige pH-Werte sowie oxische Bedingungen erhöhen hier die Mobilität der Schwermetalle. Durch die Bildung von Sulfiden wird im anoxischen Milieu die Mobilität von Schwermetallen (z.B. Cu, Ni) herabgesetzt (Carignan & Nriagu 1985). Der Eintrag organischer Substanz hat dabei wesentlichen Einfluß auf die Sauerstoffverhältnisse im Sediment (s.o.).

Erhöhte Schwermetallkonzentrationen können ebenfalls bei entsprechender Landvegetation durch den erhöhten Eintrag metall-organischer Komplexe verursacht werden (Wolfe & Härtling 1997).

Entsprechend diesen Beobachtungen ist die Anreicherung von Chrom und Nickel unter Umständen auf reduzierende Bedingungen und auf die Bildung von Sulfiden zurückzuführen. In diesem Fall würde der Nickel- und Chrompeak im Boreal (Abb. 21 und 22) eine maximale Sulfatreduzierung und eine maximale Eutrophierung des Lama Sees widerspiegeln. Weiterhin kann der Eintrag metall-organischer Komplexe seit dem Allerød die Konzentration dieser Elemente erhöht haben.

Um jedoch genaue Aussagen über die Ursachen der Anreicherung bzw. Verarmung der hier diskutierten Elemente machen zu können, müßten zusätzliche Untersuchungen wie z.B. Bindungsformen, Konzentrationen in den Porenwässern und Eh-pH-Bestimmungen durchgeführt werden.

Basierend auf der Diskussion werden folgende Aussagen festgehalten:

1. Die Variationen von Phosphor und Mangan im Lamaseesediment werden von diagenetischen Prozessen gesteuert und sind im wesentlichen von den Eh-Bedingungen im Sediment und im Wasserkörper sowie vom Eintrag gelösten und partikulären Phosphors und Mangans abhängig.
2. 25.9 % der gesamten Datenvarianz der Hauptelemente (Faktor 2  $HE_{Eges./Al}$ ) repräsentieren möglicherweise diagenetische Prozesse im Lamaseesediment.
3. Abgelagerte organische Substanz hat vermutlich großen Einfluß auf die Eh-Bedingungen im Lamaseesediment. Höchste Konzentrationen verursachen eine verstärkte Mobilisierung von Mangan und Phosphor vom Allerød bis zum Boreal.

### Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

- Der Eintrag von gelöstem und partikulärem Phosphor und Mangan ist an chemische Verwitterungsprozesse an Land gebunden (Schachtschabel et al. 1989). Diese Bedingungen sind im Einzugsgebiet des Lama Sees seit dem Bølling gegeben.
- Die Anreicherung von Chrom und Nickel vom Allerød bis heute spiegelt möglicherweise diagenetische Prozesse wider und ist auf reduzierende Bedingungen und auf die Bildung von Sulfiden zurückzuführen. In diesem Fall reflektieren 10.9 % der gesamten Datenvarianz der Spurenelemente (Faktor  $3_{SE_{ges./Al}}$ ) diagenetische Prozesse im Seesediment.

#### 4.1.4 Verwitterung

Hauptlieferant des Lamaseesedimentes ist die Basaltassoziation IIa der Flutbasaltabfolge im Einzugsgebiet des Lama Sees (Kap. 4.1.1).

Eine Normierung der geochemischen Zusammensetzung des Sedimentes auf die Ausgangszusammensetzung (Liefergebiet) führt zu einer deutlichen Anreicherung der Elemente Eisen, Kalium, Phosphor, Kupfer, Niob, Nickel und Yttrium, und zu einer geringen Anreicherung von Cobalt, Zink und Zirkon sowie zu einer Verarmung der Elemente Magnesium, Kalzium, Natrium, Barium und Chrom (Abb. 35); Titan, Strontium und Vanadium sind im oberen Teilbereich der Sedimentsequenz (735 - 0 cm) leicht angereichert und im unteren Abschnitt (1112 - 735cm) geringfügig verarmt. Silizium sowie Titan und Mangan haben für den unteren Kernabschnitt (1112 - 735 cm) im Sediment und Ausgangsgestein gleiche Anteile. Allgemein kann festgehalten werden, daß sich die Verarmungs- bzw. Anreicherungstrends im oberen Kernabschnitt (735 - 0 cm) für alle Elemente verstärken.

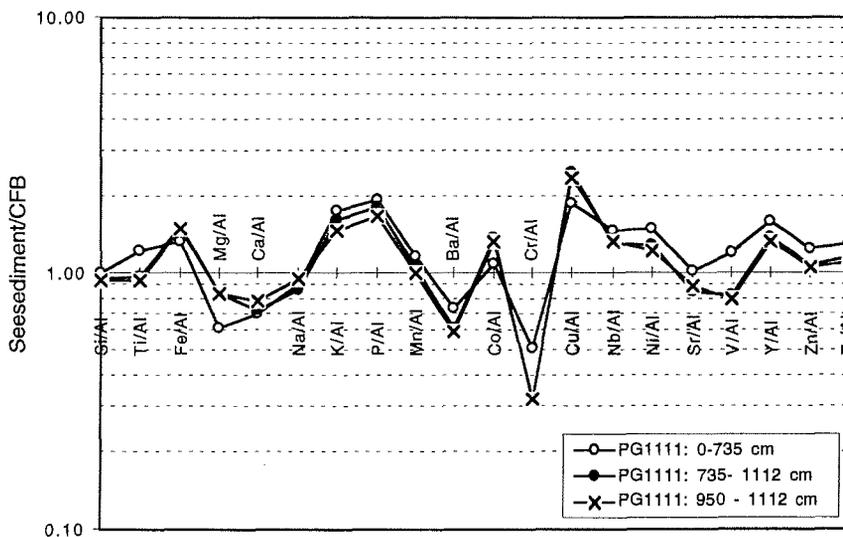


Abb. 35: Anreicherung bzw. Verarmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen in verschiedenen Tiefen der Sedimentsequenz PG1111 (1112 - 950 cm, 1112 - 735 cm und 735 - 0 cm) bezogen auf das Liefergebiet (Vulkanitformation IIa).

Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

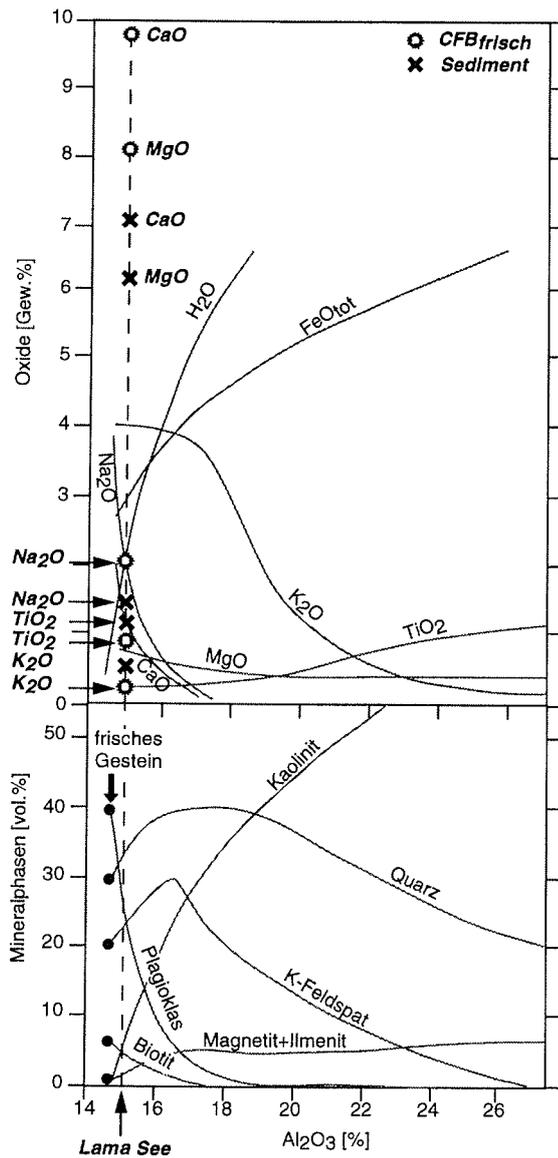


Abb. 36: Variationen in der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung eines Gneises (Morton-Redwood Falls, Minnesota) mit zunehmender Verwitterung; modifiziert nach Goldich (1938). Stellvertretend für das unverwitterte Ausgangsgestein im Einzugsgebiet des Lama Sees sind die mittlere Hauptelementzusammensetzung [Gew.-%] der Vulkanitformation Ia (CFB<sub>frisch</sub>) sowie für das verwitterte Edukt die mittlere Hauptelementzusammensetzung [Gew.-%] des Lamaseesedimentes eingetragen. Analog zur Verwitterungsstudie sind Kalzium, Magnesium und Natrium gegenüber dem Ausgangsgestein im Sediment deutlich verarmt, Eisen, Kalium und Titan dagegen angereichert.

Verwitterungsstudien an magmatischen Gesteinen belegen, daß mit zunehmender chemischer Verwitterung die Konzentrationen von Natrium, Kalzium, Magnesium und Silizium im Gestein kontinuierlich abnehmen, während Kalium, Eisen, Aluminium und

*Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes*

Wasser in ihren Konzentrationen ansteigen (Faure 1991; Goldich 1938; Nesbitt et al. 1997; Abb. 36). Plagioklas verwittert vor K-Feldspat und verursacht eine relative Anreicherung von Kalium. Magnetit und Ilmenit sind gegenüber Verwitterungseinflüssen resistent, sodaß sich Titan im Gestein kontinuierlich anreichert.

Analog zu den oben genannten Verwitterungsstudien sind Kalzium, Magnesium und Natrium gegenüber dem Ausgangsgestein (Flutbasalte im Einzugsgebiet) im Sediment deutlich verarmt, Eisen, Kalium und Titan dagegen angereichert; Aluminum bleibt nahezu konstant. Für die mineralogische Zusammensetzung des Lamaseesedimentes bedeutet dies vermutlich eine relative Anreicherung von Kalifeldspat und Magnetit (Abb. 36). Die Anreicherung von Kalium im Seesediment kann neben der Resistenz von K-Feldspat gegenüber der chemischen Verwitterung auch auf die gegenüber anderen gelösten Kationen bevorzugte Adsorption des Kaliums an Tonminerale oder Huminstoffe zurückgeführt werden. Beim Prozeß des Kationenaustauschs mit H<sup>+</sup>-Ionen reichert sich Kalium in der Feinsubstanz an, da es an Smektiten, Vermikuliten und Illiten besonders stark fixiert wird (Schachtschabel et al. 1989).

Tab. 16: a: Mineralphasen und deren Mineralchemie im Basalt (linke Spalte) und im Lamaseesediment (rechte Spalte). Die Minerale in den Vulkaniten sind in ihrer Häufigkeit, die des Lamaseesedimentes in ihrer relativen Anreicherung gegenüber dem Ausgangsgestein, von oben nach unten abnehmend, dargestellt. Eine ansteigende Linie bedeutet, daß sich die Mineralphase im Sediment anreichert, eine fallende Linie eine entsprechende Verarmung.  
b: sekundäre Mineralneubildungen der Basalte und im Sediment, die möglicherweise ein Anreichern der angegebenen Elemente im Sediment bewirken.

a: primärer Mineralbestand			
Mineralzusammensetzung Basalt <sub>unverwittert</sub>		rel. Mineralanreicherung im Sediment gegenüber dem Basalt <sub>unverwittert</sub>	
Mineralchemie	Minerale	Minerale	Mineralchemie
(Na,Ca)[Al(Si,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	Plagioklas	K-Feldspat,	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]
Ca(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Augit	Ti-Magnetit	Fe(Fe,Ti) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Fe(Fe,Ti) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ti-Magnetit	Apatit ??	Ca <sub>5</sub> (F,Cl,OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	K-Feldspat	Plagioklas	(Na,Ca)[Al(Si,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]
Ca <sub>5</sub> (F,Cl,OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Apatit	Augit	Ca(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>

b: sekundäre Mineralneubildungen			
Verwitterungs- und hydrothermale Umwandlungsprodukte des Basalts		diagenetische Neubildungen im Seesediment	
Mineralchemie	Minerale	Minerale	Mineralchemie
Al <sub>2</sub> [(OH) <sub>8</sub> /Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]	Kaolinit	Fe-Sulfide, Fe-,Mn-Oxid/Hydroxide, Phosphate	Fe(III)-,Mn(IV)-Oxide/Hydroxide, z.B. FePO <sub>4</sub> , FeS
z.B. (Ca,Na)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> xH <sub>2</sub> O	Smektit		
K(Al,Fe,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Illit		

### Einflußfaktoren auf die Geochemie des Lamaseesedimentes

Basierend auf der mineralogischen Zusammensetzung des Lamaseesedimentes (Nowaczyk et al. subm.) und Kap. 3.2.3) und auf Literaturangaben (Lightfoot et al. 1993; Lightfoot et al. 1990; Wooden et al. 1993; Zolotukhin & Mukhamedov 1988) sind in Tab. 16 Hauptelemente verschiedenen Mineralphasen zugeordnet und in ihrer Häufigkeit von oben nach unten angeordnet worden.

Die Anordnung stützt sich für die Basalte auf Literaturangaben, für das Lamaseesediment auf die relative geochemische Anreicherung von Hauptelementen gegenüber den Basalten. Hiernach reichern sich im Lamaseesediment gegenüber dem Ausgangsgestein K-Feldspat und Magnetit relativ an, Plagioklas und Pyroxen dagegen sind im Sediment relativ verarmt. Sekundäre Mineralneubildungen (Verwitterungsprodukte der Basalte) sind Smektit, Kaolinit und Illit sowie diagenetische postsedimentäre Umwandlungsprodukte wie Sulfide und Oxide/Hydroxide. Smektit ist außerdem ein typisches hydrothermales Umwandlungsprodukt von Vulkaniten (Jasmund 1993).

Die bevorzugte Lösung von Magnesium, Kalzium und Natrium und die Immobilität von Kalium wird durch die geochemische Zusammensetzung des heutigen Seewassers bestätigt, in dem Magnesium, Kalzium und Natrium in gelöster Form vorkommen. Kalium dagegen ist im Seewasser nicht meßbar (Abb. 13). Im CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Dreiecksdiagramm liegen daher die unverwitterten Basalte (CFB<sub>frisch</sub>) in etwa zwischen dem Lamaseesediment, das gegenüber Basalt und Seewasser an Kalium angereichert ist, und dem Seewasser (Abb. 37).

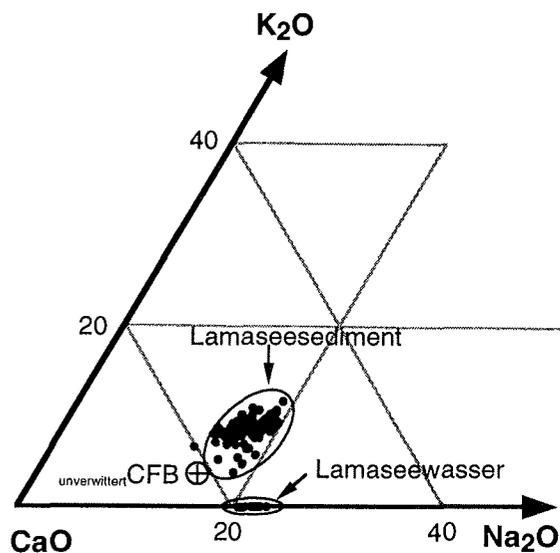


Abb. 37: Vergleich der geochemischen Zusammensetzung des unverwitterten Ausgangsgesteins (CFB<sub>unverwittert</sub> = durchschnittliche Zusammensetzung von Assoziation IIa), des Lamaseesedimentes und des Seewassers im CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Dreiecksdiagramm. Aufgrund der chemischen Verwitterung gehen Kalzium und Natrium aus CFB<sub>unverwittert</sub> in Lösung, sodaß sich Kalium im Lamaseesediment gegenüber Basalt und Seewasser anreichert. Es repräsentiert das Verwitterungsprodukt von CFB<sub>unverwittert</sub>.

### *Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher*

Aus den in diesem Kapitel aufgeführten Beobachtungen werden folgende Schlußfolgerungen gezogen:

1. Der Einfluß einer chemischen Verwitterung im Einzugsgebiet des Lama Sees vor der Vergletscherung im Spätweichsel ist in der gesamten Sedimentsequenz PG1111 zu erkennen. Sie führt gegenüber dem Ausgangsgestein (CFB) zu einer relativen Verarmung an Kalzium, Magnesium und Natrium sowie zu einer relativen Anreicherung von Kalium, Titan und Eisen im Lamaseesediment.
2. Kaolinit, Smektit und Illit sind Verwitterungsprodukte der Basalte und sind möglicherweise u.a. Verwitterungsrelikte früherer Warmzeiten.
3. Die Anreicherungs- bzw. Verarmungstrends im Lamaseesediment sind seit dem Allerød verstärkt ausgeprägt und deuten eine Intensivierung der Verwitterung nach dem Rückzug der Gletscher an der Pleistozän/Holozän-Grenze an.

#### **4.1.4 Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher**

In diesem Kapitel soll anhand der geochemischen Variationen in der Kernsequenz PG1111 gezeigt werden, welchen Einfluß unterschiedliche Umweltbedingungen seit der Ältesten Dryas auf die Entwicklung der chemischen Verwitterung im Einzugsgebiet des Lama Sees hatten. Ausgangsgestein sind Basalte, die bereits durch eine tiefgreifende, vorweichselzeitliche chemische Verwitterung und durch hydrothermale Überprägung charakterisiert sind (Kap. 4.1.4). Geochemische Variationen des Sedimentes werden bezüglich einer neu einsetzenden Verwitterung der Basalte im Einzugsgebiet nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher diskutiert.

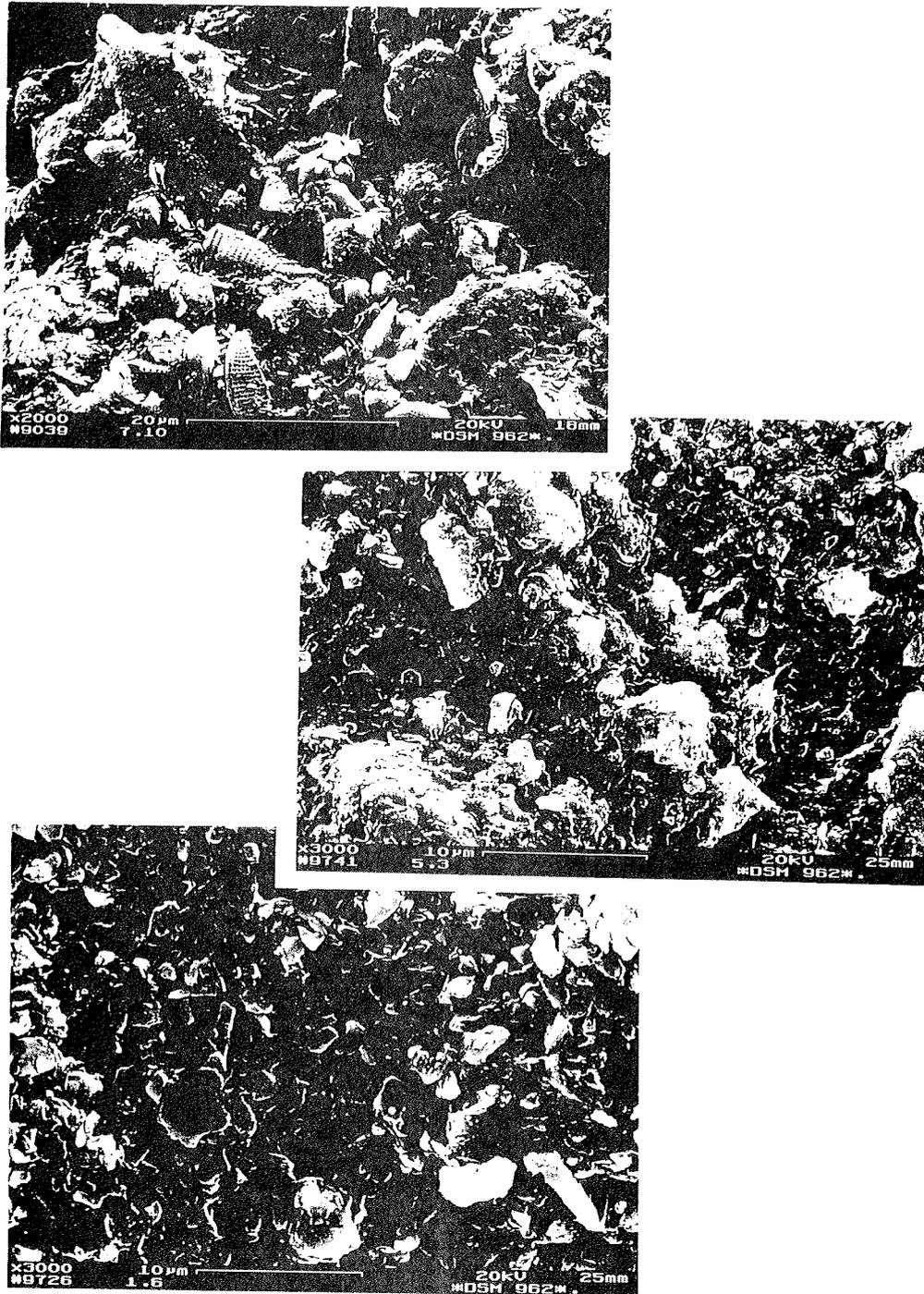
Rasterelektronische Aufnahmen des Gesamtsedimentes aus der Kernsequenz PG1111 zeigen, daß Partikel, die während der Ältesten Dryas durch glaziale Erosion in den Lama See transportiert wurden, eine glatte Oberfläche und scharfe Kanten haben (Abb. 38). Partikel, die durch fluviatile Wässer während des Allerøds und der Jüngeren Dryas in den See eingebracht wurden, zeigen dagegen abgeschliffene Kanten und eine blättrige Oberflächenstruktur, die möglicherweise auf das Anlösen von Mineralen als Folge der chemischen Verwitterung von Basalten im Einzugsgebiet zurückzuführen sind.

Um Variationen in der Abfuhr bzw. Fixierung von Elementen in unterschiedlichen Korngrößen zu verschiedenen Zeiten abzuschätzen, wurden die Hauptelementkonzentrationen der 2 - 63 µm - und < 2 µm - Fraktionen aus den Horizonten 728 - 738 cm, 653 - 663 cm und 488 - 499 cm auf die geochemische Zusammensetzung der Probe 864 - 874 cm (Probe<sub>(864-874)</sub>) normiert (Abb. 39). Dabei wird davon ausgegangen, daß Probe<sub>(864-874)</sub> ausschließlich die bereits vor der Spätweichsel entwickelte chemische Verwitterung des Einzugsgebietes reflektiert (Kap. 4.1.4). Relative Änderungen der Proben<sub>(728-738, 653-663, 488-499)</sub> werden durch die Abfuhr von Elementen erzeugt, die auf eine neu einsetzende chemische Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher zurückgeführt wird. Grundlage dieser Modellvorstellung ist, daß sich chemische Verwitterung und physikalische Erosion im Gleichgewicht befinden, d.h. Verwitterungsprodukte der postglazialen Verwitterung werden durch Erosion abgetragen und ohne Zeitverzögerung in den See transportiert und abgelagert.

Da der Anteil der > 63 µm - Fraktion bei < 1 Gew.% liegt und zufällige, prozeßunabhängige Änderungen einen großen Einfluß auf die geochemische Zusammensetzung haben, wurde auf eine Normierung der Grobfraction verzichtet.

In den Horizonten 728 - 738 cm, 653 - 663 cm und 488 - 499 cm verarmt die < 2µm - Fraktion relativ an Magnesium, Kalzium und Natrium und reichert sich relativ an Kalium, Phosphor und Mangan an (Abb. 39).

*Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher*



*Abb. 38: Rasterelektronische Aufnahmen des Gesamtsedimentes der Kernsequenz PG1111. Von unten nach oben sind folgende Tiefen abgebildet: ca. 1108 cm (Älteste Dryas), 731 cm (Allerød), 658 cm (Jüngere Dryas).*

*Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher*

Die Verarmung bzw. Anreicherung ist in Horizont 653 - 663 cm (=Preboreal) am stärksten und in Horizont 488 - 498 cm (=Atlantikum) am schwächsten ausgeprägt und verdeutlicht unterschiedliche Verwitterungsintensitäten zu verschiedenen Zeiten.

Die Normierung der 2 - 63  $\mu\text{m}$  - Fraktion zeigt keine signifikanten Anreicherungen bzw. Verarmungen; die Siltfraktion scheint durch chemische Verwitterung nicht oder nur in sehr geringem Maß betroffen zu sein.

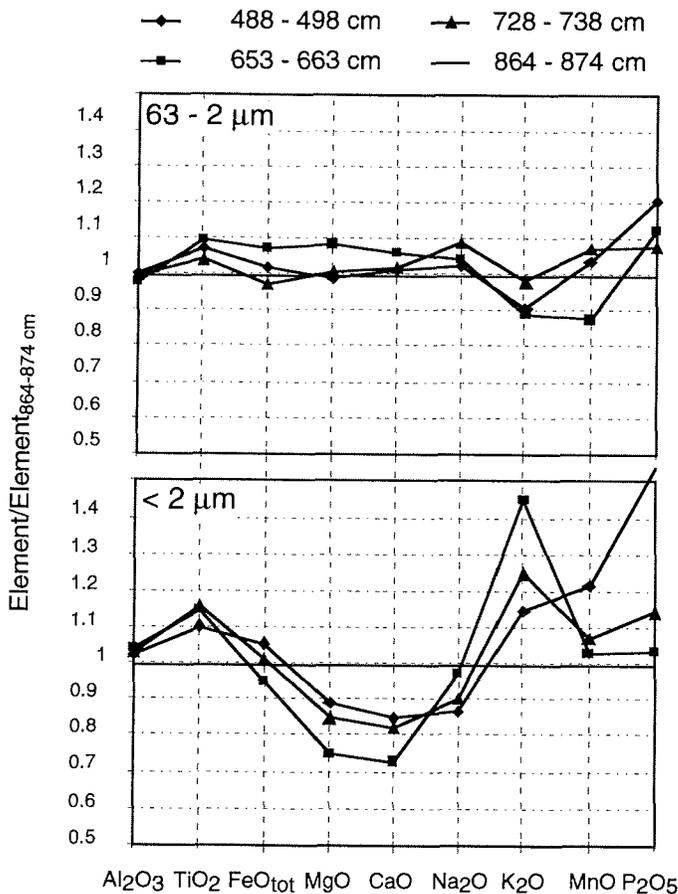


Abb. 39: Normierung der Hauptelementkonzentrationen in der < 2  $\mu\text{m}$  - Fraktion (A) und 2 - 63  $\mu\text{m}$  - Fraktion (B) aus verschiedenen Horizonten der Sedimentsequenz PG1111 auf Probe<sub>864-874</sub>, die ausschließlich die Verwitterung vor der Spätweichsel reflektiert. Die relativen Änderungen in der < 2  $\mu\text{m}$  - Fraktion werden auf erneutes Einsetzen einer chemischen Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher zurückgeführt.

Um die Anreicherungen bzw. Verarmungen in der < 2  $\mu\text{m}$  - Fraktion (Korngrößeneffekt wird ausgeschlossen!) für die gesamte Kernsequenz PG1111 quantifizieren zu können (vgl. Kap. 3.2.4.2), erfolgt eine Normierung der Hauptelemente sämtlicher < 2  $\mu\text{m}$  - Fraktionen auf den untersten Teil der Kernsequenz PG1111 (1112 - 950 cm), der durch glazialen Transport und Eisrandkontakt des Lama Sees charakterisiert ist (vgl. Kap. 1.1.5 und 4.1.2; Abb. 40).

### Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher

Als Berechnungsgrundlage zur prozentualen Anreicherung bzw. Verarmung gegenüber Abschnitt<sub>1112-950</sub> dient folgende Verwitterungsformel nach Nesbitt et al. (1980):

$$\pm \text{change}[\%] = \frac{(R_s - R_p)}{R_p} \cdot 100 \quad s = \text{verwittertp} = \text{frisc.}$$

Für die Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 bedeutet dies entsprechend:

$$\pm \text{change}[\%] = \frac{\left( \frac{C_{is}}{Al_s} - \frac{C_{ip}}{Al_p} \right)}{\frac{C_{ip}}{Al_p}} \cdot 100 \quad c_i = \text{Element}$$

Wie in Kapitel 1.2 dargestellt, beeinflussen Wassergehalt des Bodens und pH-Wert des Bodenwassers das Anlösen von Silikaten und die Mobilität von adsorptiv gebundenen Kationen in Böden entscheidend. Die Vegetation hat durch die Abgabe von CO<sub>2</sub>, durch das beim Abbau organischer Substanz produzierte CO<sub>2</sub>, durch die Auflockerung des Bodens durch Wurzeln und durch das Zurückhaltevermögen von Wasser dabei indirekt Einfluß auf beide Parameter. Die Vegetation im Einzugsgebiet des Lama Sees ist von der Ältesten Dryas bis zum Allerød durch eine arktische Tundra mit sehr kalten und trockenen Klimabedingungen gekennzeichnet (Kap. 1.1.4). Durch den Anstieg von Baumpollen (im wesentlichen durch Strauchbirken verursacht) kann eine Erwärmung während des Bøllings und Allerøds postuliert werden. Parallel zum Anstieg der Baumpollen im Sediment auf 50 % und zum Rückzug der Gletscher aus dem Einzugsgebiet des Lama Sees (Kap. 4.1.2) ist folgendes Mobilitätsverhalten der Hauptelemente zu beobachten (Abb. 40):

Während des Allerøds setzt in Relation zu Kernabschnitt 1112 - 950 cm und zum Aluminium eine deutliche Abfuhr von Magnesium und Kalzium (bis -60 %) sowie eine geringe Verarmung von Eisen, Phosphor und Mangan (bis -20 %) ein, die bis zum Beginn des Preboreals andauert. Natrium erfährt im Allerød zunächst eine Anreicherung (+50 %) und folgt dann dem Konzentrationsrückgang (-30 %) von Magnesium und Kalzium, unterbrochen durch eine Anreicherung an der Allerød/Jüngere Dryas Grenze (±0 %). Im Preboreal verringert sich die Abfuhr der oben genannten Elemente, erreicht jedoch nicht das Niveau der Ältesten Dryas. An der Subboreal/Subatlantik Grenze setzt erneut eine Abfuhr der Elemente Magnesium, Kalzium, Natrium und Eisen ein und erreicht den Zustand des Allerøds und der Jüngeren Dryas. Mangan und Phosphor bleiben vom Preboreal bis heute in der < 2 µm - Fraktion angereichert (20 - 70 %; Abb. 40). Titan ist in Relation zu Aluminium seit dem Allerød geringfügig in der < 2 µm - Fraktion angereichert (5 - 20 %). Kalium erhöht sich ebenfalls und erreicht seine maximale Anreicherung im Zeitraum Allerød - Preboreal (ca. 60 %; Abb. 40). Ab der Preboreal/Boreal Grenze bis zum Subatlantikum geht die Anreicherung von Kalium kontinuierlich zurück (von 60 auf ca. 5 %; Abb. 40).

Die Entwicklung von höheren Pflanzen ab dem Allerød und die damit verbundene Auflockerung des Bodens durch Wurzelaktivität und die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und des pH-Wertes der Bodenlösung haben vermutlich den größten Einfluß auf die Mobilität der Kationen und die chemische Lösung basaltischer Minerale.

Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher

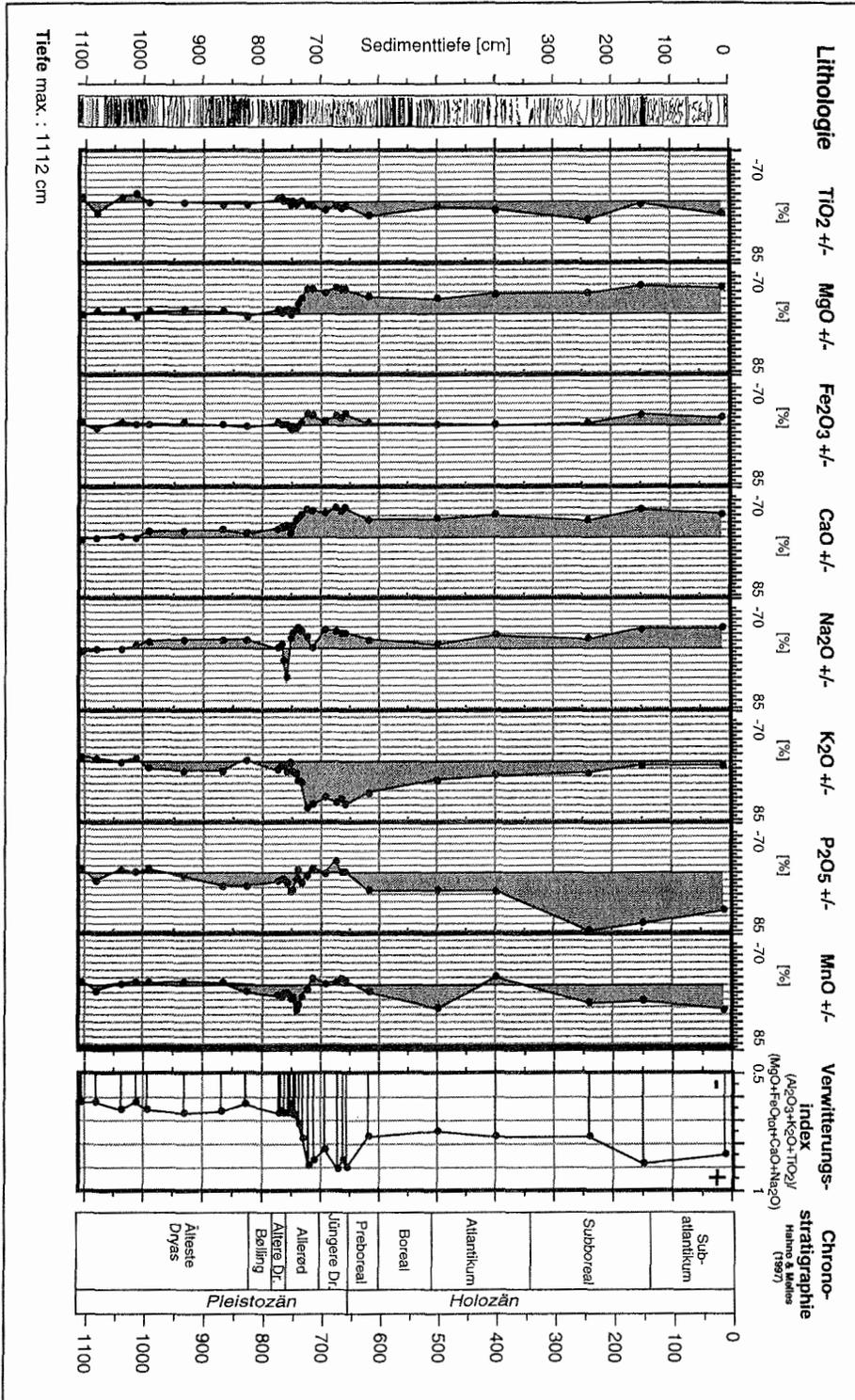


Abb. 40: Prozentuale Ab- bzw. Zufuhr von Hauptelementen der  $< 2 \mu m$ -Fraktion in der Kernsequenz PG1111 in Bezug auf Kernabschnitt 1112 - 950 cm und des Aluminiumgehaltes (s. Text).

### *Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher*

Der vollständige Rückzug der Gletscher, die freiliegende Geländeoberfläche sowie Temperaturerhöhungen unterstützen offenbar die Intensität der chemischen Verwitterung der sibirischen Flutbasalte. Die höchsten Aluminiumgehalte zeigen die größte Akkumulation von Tonmineralen innerhalb des Zeitraumes Allerød - Jüngere Dryas (Abb. 23). Smektit, Illit und Kaolinit (Al-haltige Verwitterungsprodukte der Basalte; Kap. 1.2 und 4.1.4 ; Abb. 18) besitzen eine hohe Kationenaustauschkapazität (KAK: 0.03 - 0.7 mval/g), die bei Erhöhung des pH-Wertes der umgebenden Bodenlösung insbesondere zur Lösung der mobilen Elemente Magnesium, Kalzium und Natrium führt, während Kalium in Kalium-spezifischen Positionen der Tonminerale fixiert ist und erst im späteren Stadium der chemischen Verwitterung (ab dem Boreal) gelöst wird. Die Anreicherung von Titan während des Allerøds und der Jüngeren Dryas kann auf die Verwitterung titanhaltiger Pyroxene zurückgeführt werden, die zur Anreicherung von verwitterungsresistenten Titanhydroxiden/Oxiden führt.

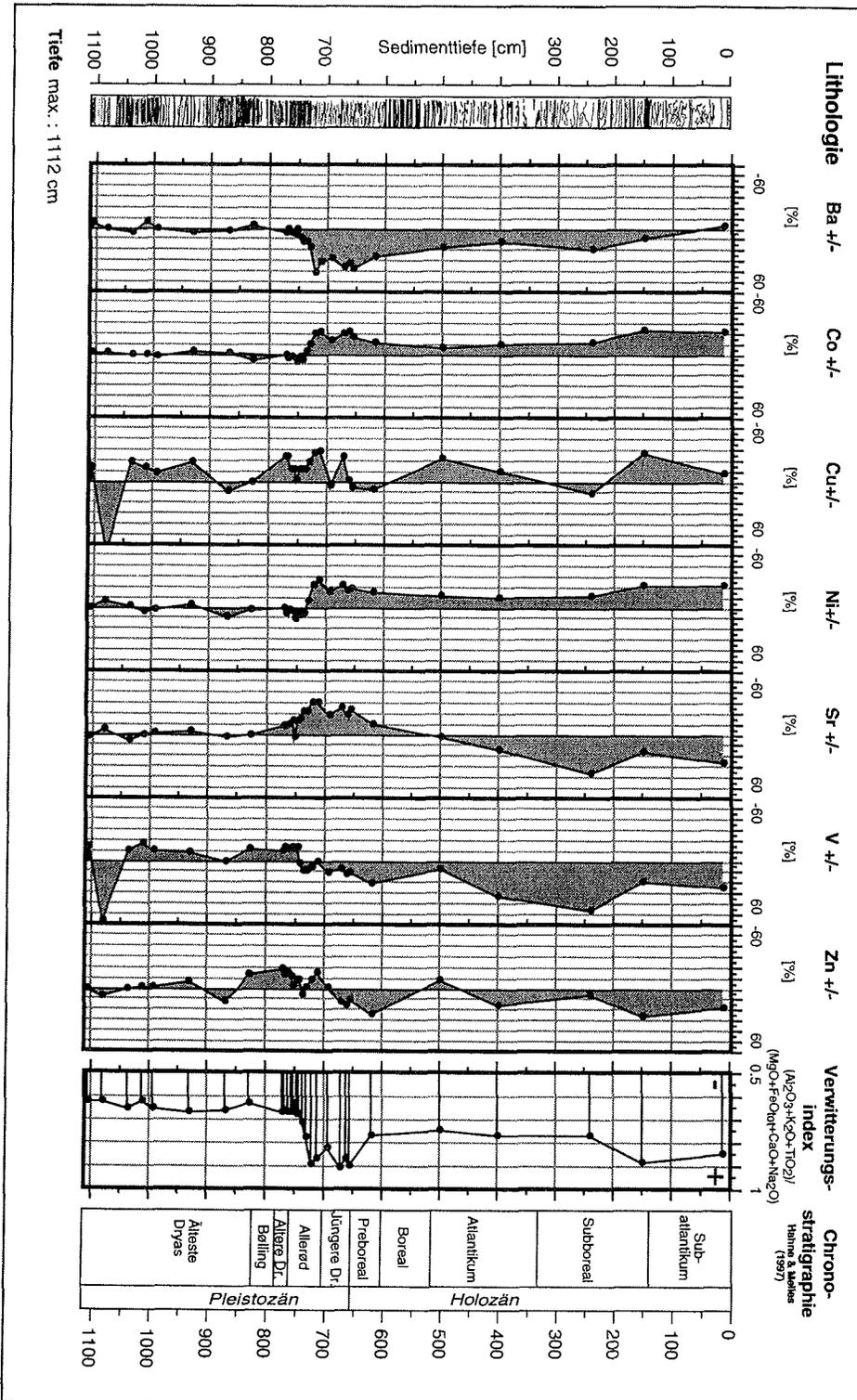
Die Weiterentwicklung zu einer dichten Pflanzendecke aus höheren Pflanzen während des Boreals bewirkt eine erneute Fixierung der Elemente Magnesium, Kalzium, Natrium und Eisen im Sediment (ca. um 10 %; Abb. 40). Möglicherweise führt eine dichte Pflanzendecke zu einem erhöhten Rückhaltevermögen und damit zur Übersättigung des Bodenwassers, die das Lösen von Elementen vermindert (Velbel 1993). Parallel kann die Abnahme der Drainage durch den Rückgang von Schneefeldern und den Schutz der Pflanzendecke die Kationenkonzentration der Bodenlösung erhöhen. Desweiteren kann eine dichte Pflanzendecke den Abtrag stark verwitterten Materials vermindern und die Erosion auf Bereiche geringer Verwitterungsintensität beschränken. Die kontinuierliche Lösung des Kaliumgehaltes spricht dagegen für ein Fortschreiten der chemischen Verwitterung, da Kalium mit zunehmendem pH-Wert verstärkt in Lösung geht.

Die Erhöhung der Niederschlagsintensität in der zweiten Hälfte des Boreals (Kap.1.1.4) verursacht keine erneute Mobilisierung der mobilen Kationen (Magnesium, Kalzium, Natrium) und scheint damit kaum Einfluß auf die Löslichkeit von Mineralen und adsorptiv gebundenen Kationen zu haben. Erst die Öffnung des Waldes und die Entwicklung zur Tundravegetation an der Subboreal - Subatlantikgrenze erhöht im basaltischen Ausgangsgestein erneut die Abfuhr der Elemente Magnesium, Kalzium und Natrium (Abb. 40) und bestätigt den Einfluß der Vegetation auf die Mobilität von Elementen.

Bei der Betrachtung der Konzentrationsentwicklung der Spurenelemente in der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion fällt auf, daß sich Barium parallel zu Kalium verhält und während der Zeitperiode Allerød - Jüngere Dryas durch molekulare Bindung an K-Feldspäte oder durch Adsorption an Kationenaustauscher in der Tonfraktion fixiert bleibt (Abb. 41). Kobalt und Nickel gehen möglicherweise parallel zu Magnesium und Kalzium in Lösung und werden vermutlich durch den Rückgang des pH-Wertes der Bodenlösung vom Allerød bis zur Jüngeren Dryas bis ca. -30 % abgeführt (Abb. 41). Strontium geht vom Allerød bis zur Jüngeren Dryas ebenfalls in Lösung (- 30 %), wird dann jedoch kontinuierlich zunehmend in der Tonfraktion akkumuliert (20 - 40 %). Dies ist möglicherweise auf eine zunehmende Strontiumkonzentration in der Bodenlösung und auf die Adsorption an Kationenaustauscher zurückzuführen. Vanadium und Zink reichern sich in Relation zu Aluminium ab dem Allerød in der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion kontinuierlich an (10 - 50 %) und werden vermutlich bevorzugt an organische und anorganische Kationenaustauscher (Huminstoffe, Tonminerale und Hydroxide) fixiert. Die Konzentrationen des Kupfers unterliegen starken Schwankungen und können keinem Verwitterungstrend zugeordnet werden.

Verwitterung nach dem Rückzug der Spätweichselgletscher

Abb. 41: Prozentuale Ab- bzw. Zufuhr von Spurenelementen der < 2 µm - Fraktion in der Kernsequenz PG1111 in Bezug auf Kernabschnitt 1112 - 950 cm und des Aluminiumgehaltes (s. Text).



Eine Intensivierung der chemischen Verwitterung durch die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre, wie sie häufig für die Pleistozän/Holozän Grenze beschrieben wird (z.B. Krishnamurthy & Epstein 1990; Neffel et al. 1982; Siegenthaler et al. 1984) ist unwahrscheinlich. Eine lineare Beziehung zwischen CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre, Durchfluß- und Verwitterungsrate existiert nur ohne die Entwicklung von Vegetation (Berner 1992). Bereits geringe Vegetationsentwicklung führt zu erhöhten pH-Werten und zur verstärkten Löslichkeit von Magnesium und Kalzium in Basalten (z.B. Gíslason & Arnórsson 1993).

Ein Verwitterungsindex der < 2 µm - Fraktion für die CFB im Einzugsgebiet des Lama Sees ergibt sich aus dem Verhältnis von immobilen (Aluminium, Kalium und Titan) und mobilen Elementen (Magnesium, Kalzium, Natrium und Eisen) und legt die maximale Abfuhr von mobilen Elementen in den Zeitraum Allerød bis Jüngere Dryas (Abb. 40):

$$\text{Verwitterungsindex}_{CFB} = Al_2O_3 + K_2O + TiO_2 / MgO + CaO + Na_2O + FeO_{tot}$$

Phosphor und Mangan gehen in den Verwitterungsindex nicht ein, da deren Konzentrationen durch diagenetische Vorgänge beeinflußt werden (vgl. Kap. 4.1.3) und deshalb für die Betrachtung von Verwitterungsprozessen nicht geeignet sind.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

An der Seesedimentsequenz PG1111 sind Studien zur chemischen Verwitterung von Basalten im Einzugsgebiet des Lama Sees über einen Zeitraum von mehreren 1000 Jahren möglich. Das einheitliche Liefergebiet des Lama Sees, bestehend aus einer ca. 4 km mächtigen Abfolge kontinentaler Flutbasalte, bietet den Vorteil, Liefergebietswechsel auszuschließen. Der Vergleich von Sr-Isotopenverhältnissen der basaltischen Abfolge und der Sedimentabfolge PG1111 zeigten, daß der mittlere Teil der basaltischen Abfolge, im Einzugsgebiet eine Mächtigkeit von 200 bis 700 m einnehmend, Liefergestein des Lamaseesedimentes von der Ältesten Dryas bis heute ist. Prozesse, die den Gesamtchemismus des Sedimentes beeinflussen, sind folgende:

Geochemische Untersuchungen an der < 2 µm -, 2 - 63 µm - und > 63 µm - Fraktion des Lamaseesedimentes zeigen, daß der Gesamtchemismus des Lamaseesedimentes wesentlich durch Variationen des Korngrößenspektrums beeinflußt wird, da Elemente unterschiedlich stark an verschiedene Korngrößen gebunden sind. Die Korngrößenänderungen gehen auf Transportartwechsel während der Ältesten Dryas (von glazial zu glazio-fluviatil) und des Allerøds (glazio-fluviatil zu fluviatil) zurück. Der Eintrag glazial erodierten Materials wird von Sand/Kiesschüttungen begleitet, die eine Erhöhung der Kalzium- und Natriumkonzentrationen (Plagioklas) im Sediment bewirken. Die glazio-fluviatilen Ablagerungen sind durch toniges Material charakterisiert, das zu einem erhöhten Eintrag von Eisen, Magnesium, Kobalt und Kupfer (Smektit) führt. Die fluviatile Erosion verursacht einen erhöhten Eintrag des Siltanteiles, der einen vermehrten Eintrag der Elemente Titan, Natrium, Kalzium, Kalium, Strontium, Vanadium, Barium, Chrom, Zirkon, Yttrium und Zink (Plagioklas, Pyroxen, Titanit, K-Feldspat) bewirkt.

Diagenetische Prozesse überprägen den Gesamtchemismus nur im geringen Maß und betreffen die Elemente Mangan, Phosphor und vermutlich Nickel und Chrom. Die Ausprägung diagenetischer Prozesse ist mit Lösungs- und Verwitterungsprozessen an Land verbunden. Entsprechende Verwitterungsprozesse existieren im Einzugsgebiet des Lama Sees wahrscheinlich ab dem Bølling, sodaß der Eintrag gelösten und partikulären

## *Zusammenfassung und Ausblick*

Phosphors und Mangans und die vorherrschenden oxischen Bedingungen im Seesediment den Eintrag von Oxiden und Hydroxiden dieser beiden Elemente ermöglicht. Reduzierende Bedingungen im Sediment sind stark mit dem Eintrag organischer Substanz verbunden und führen vom Allerød bis zum Boreal zur Lösung von Phosphor und Mangan und zur Verarmung beider Elemente im Sediment. Die Anreicherung von Chrom und Nickel vom Allerød bis heute ist offenbar auf reduzierende Bedingungen und auf die diagenetische Bildung von Sulfiden zurückzuführen.

Die statistische Bearbeitung (Hauptkomponentenanalyse) der geochemischen Gesamtzusammensetzung des Seesedimentes zeigt, daß beide Prozesse, Transportart und Diagenese, bereits ca. 80 % der gesamten Datenvarianz für Haupt- (Silizium, Titan, Eisen, Magnesium, Kalzium, Natrium, Kalium, Phosphor und Mangan) und Spurenelemente (Barium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Niob, Nickel, Strontium, Vanadium, Yttrium, Zink, Zirkon) einnehmen.

Der Vergleich von Ausgangsgestein (Kontinentale Flutbasalte) und Lamaseesediment belegt, daß die Basalte im Einzugsgebiet durch tiefgreifende, vorweichseleiszeitliche Verwitterungsprozesse beeinflusst sind. In der gesamten Seesedimentsequenz PG1111 (Älteste Dryas bis heute) sind immobile Elemente wie z.B. Kalium und Titan gegenüber dem unverwitterten basaltischen Ausgangsgestein angereichert. Dies wird auf eine erhöhte Akkumulation verwitterungsresistenter Minerale wie z.B. K-Feldspat und Titanit und erhöhte Adsorptionsfähigkeit des Kaliums an Austauschsubstanzen (z.B. Tonminerale und Huminstoffe) sowie auf die hydrothermale Überprägung der Basalte zurückgeführt.

Geochemische Untersuchungen der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion zur Mobilität und Immobilität von Elementen zeigen, daß das Sediment seit dem Allerød von einer an Land neu einsetzenden chemischen Verwitterung beeinflusst ist, die zu Anreicherungen und Verarmungen spezifischer Elemente führt. Die Ergebnisse heben hervor, daß die Vegetationsentwicklung zu höheren Pflanzen vom Allerød bis zur Jüngerer Dryas wesentlichen Einfluß auf die Mobilisierung der Elemente Magnesium, Kalzium, Natrium, (Eisen), Kobalt, Nickel und Strontium hat. In Relation zum glazialen Ablagerungsprodukt wird eine maximale Abfuhr von -50 % erreicht. Dem gegenüber entwickelt sich parallel eine verstärkte Akkumulation der Elemente Kalium, Titan und Barium (bis 60 %). Die Mobilisierung wird auf die Versauerung des Bodenmilieus durch die Entwicklung der Vegetation im Einzugsgebiet und die damit verbundene Anlösung von Mineralen und den Kationenaustausch mobiler Elemente gegen gelöste  $\text{H}^+$ -Ionen an der Oberfläche von Tonmineralen und Huminstoffen zurückgeführt. Kalium, Titan und Barium reagieren auf die einsetzende Versauerung zunächst mit Immobilität, die auf die Verwitterungsresistenz von K-Feldspat und Titanit, die Bildung von Illit und Titanoxiden/Hydroxiden sowie mit starker adsorptiver Bindung von Kalium und Barium an Kationenaustauscher erklärt wird. Ab dem Boreal (Klimaoptimum) setzt eine zunehmende K-Feldspatverwitterung und eine abnehmende Bindung von Kalium und Barium an Kationenaustauscher ein, sodaß die Konzentrationen beider Elemente kontinuierlich zurückgehen.

Parallel reagieren die mobilen Elemente (Magnesium, Kalzium, Natrium, (Eisen), Kobalt, Nickel und Strontium) auf die Ausbildung eines dichten Waldes im Einzugsgebiet mit einer erneuten Fixierung an die Bodensubstanz. Dies ist möglicherweise eine Folge der Übersättigung der Bodenlösung an den mobilen Elementen durch die verstärkte Lösung von Mineralen und die reduzierte Drainage des Bodens (Wasserrückhaltevermögen der Pflanzen und Rückgang von Schmelzwässern

### *Zusammenfassung und Ausblick*

von Schneefeldern). Erst die Entwicklung einer Tundravegetation an der Subboreal/Subatlantikum Grenze führt zur erneuten Drainage des Bodens und zur Mobilisierung der mobilen Elemente. Eine Ausnahme zeigt Strontium, das sich -trotz seiner Mobilität während der Zeitspanne Allerød - Jüngere Dryas- ab dem Boreal kontinuierlich in der Tonfraktion anreichert und verstärkt an die Kationenaustauscher des Bodens fixiert wird.

Die Einführung eines Verwitterungsindex des basaltischen Ausgangsmaterials, der aus dem Verhältnis von immobil (Aluminium, Kalium und Titan) und mobilen Hauptelementen (Magnesium, Kalzium, Natrium und Eisen) der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion des Seesedimentes gebildet wird, weist auf eine maximale Mobilität während des Allerøds bis zum Preboreal (Anstieg um 20 % gegenüber der Glazialzeit Älteste Dryas). Vom Boreal bis zum Subboreal ist ein Rückgang des Verwitterungsindex um 10 %, im Subatlantikum erneut ein Anstieg von 10 % zu beobachten.

Die oben beschriebenen Ergebnisse belegen, daß Verwitterungsprozesse im Einzugsgebiet eines Sees aus einer seesedimentären Abfolge desselbigen Sees qualifiziert und quantifiziert werden können, nachdem Prozesse wie Erosion, Transport und Diagenese sowie der Einfluß des Liefergebietes erkannt, benannt und quantifiziert sind. Die  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion reagiert im Vergleich zu größeren Fraktionen ( $> 2 \mu\text{m}$ ) schnell auf Verwitterungseinflüsse und bietet nach der Erosion und Ablagerung im See die Möglichkeit, ohne Korngrößeneffekte chemische Verwitterungsprozesse des Einzugsgebietes durch wechselnde Umweltbedingungen zu erfassen. Da jedoch die chemische Verwitterung und der Transport des Verwitterungsproduktes eine Vielzahl von Prozessen umfaßt, wie z.B. die Lösung von Silikaten, Mineralneubildungen (Tonminerale und Oxide/Hydroxide) und die Kationenadsorption, die vom Bodenmilieu (pH- und Eh-Wert, Drainage des Bodens) abhängig sind, sollten weiterführende Rezent- und Paläostudien durchgeführt werden:

Rezentuntersuchungen zur geochemischen Gesamtzusammensetzung zur Kationenaustauschkapazität und zu den adsorptiv gebundenen Kationen (sequentielles Aufschlußverfahren) der Tonfraktion der oberflächennahen Bodenschicht im Einzugsgebiet (kontinentale Flutbasalte), des Seesedimentes sowie der Suspensionsfracht des Oberflächenabflusses und die Bestimmung von Kationenkonzentration und pH-Wert von Bodenlösung, Oberflächenabfluß und Seewasser könnten den Einfluß von Mineralanlösung, Kationenaustausch und Transport auf die  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion des Seesedimentes näher qualifizieren und quantifizieren. Da Huminstoffe ebenso wie Tonminerale Austauscher für Kationen sind, ist die Bestimmung der organischen Substanz der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion des Bodens im Einzugsgebietes und des Seesedimentes notwendig.

Um den Einfluß der Vegetation und der Drainage des Bodens durch z.B. lokale Schneefelder zu erfassen, sollten sämtliche Rezentuntersuchungen in Gebieten mit wechselnder Vegetationsdichte und mit unterschiedlich starken Oberflächenabflüssen und Erosionsverhältnissen durchgeführt werden. Jahreszeitliche Schwankungen von Niederschlagsverhältnissen, Abschmelzprozessen und Temperaturen sollten durch Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten (z.B. Tau- und Gefrierperiode) erfaßt werden.

Detaillierte röntgenographische qualitative und quantitative Bestimmungen der mineralogischen Zusammensetzung der  $< 2 \mu\text{m}$  - Fraktion des Seesedimentes, wie z.B. die Bestimmung von Wechsellagerungsmineralen, könnten die Benennung und Quantifizierung von geochemischen Verwitterungstrends unterstützen.

## Literatur

Da Silikate aufgrund ihrer Anlösung durch Verwitterungsprozesse u.a. Kationenlieferanten sind, ist es sinnvoll den Verwitterungsgrad des grobkörnigen Materials ( $> 2 \mu\text{m}$ ) im Seesediment zu erfassen. Eine mikroskopische Betrachtung von durch die Siebanalyse getrennten Silt- und Sandkomponenten ( $> 32 \mu\text{m}$ ) und die rasterelektronische Betrachtung

feiner Partikel könnten Beschreibungen von Anlösungserscheinungen und Tonmineralneubildungen an der Mineraloberfläche über das gesamte Korngrößenspektrum liefern. Erste Ergebnisse der Reflektions-Infrarot-Spektroskopie (IR-Spektroskopie) haben gezeigt, daß sich an der Oberfläche von Sandpartikeln des Lamaseesedimentes ( $> 63 \mu\text{m}$ ), je nach Verwitterungsgrad des Ausgangsgesteins, unterschiedlich intensiv Tonminerale gebildet haben.

## 6 Literatur

Abbott, M. B. & Stafford, T. W. 1995. Radiocarbon reservoir ages and carbon cycling in arctic and high-elevation lake systems. *Second Annual PALE Research Meeting*, Washington, 1995.

Abbott, M. B. & Stafford, T. W. 1996: Radiocarbon geochemistry of modern and ancient arctic lake systems, Baffin Island, Canada. *Quaternary Research* 45, 300-311.

Aller, R. C. 1994: The sedimentary Mn cycle in Long Island Sound: Its role as intermediate oxidant and the influence of bioturbation,  $\text{O}_2$ , and  $\text{C}_{\text{org}}$  flux on diagenetic reaction balances. *Journal of Marine Research* 52, 259-295.

Arkipov, S. A., Astakhov, V. I., Volkov, I. A., Volkova, V. S. & Panychev, V. A. 1980: *Paleogeography of the West Siberian Plain at the Late Zyryanka Glaciation Maximum [in Russian]*. Vol. 470, 109 pp. Trudy Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch Academy of Science, Nauka, Novosibirsk.

Astakhov, V. I. 1989a: The fluvial history of West Siberia. In Starkel, L., Gregory, K. J. & Thornes, J. B. (eds.): *Temperate Paleohydrology*, 381-392. Wiley, London.

Astakhov, V. I. 1992: The last glaciation in West Siberia. *Sveriges Geologiska Undersökning Series Ca 81*, 21-30.

Astakhov, V. 1997: Late glacial events in the Central Russian Arctic. In Rutter, N., van Husen, D. & Catto, N. R. (eds.): *Quaternary International 41/42*, 17-25.

Astakhov, V. I. & Isaeva, L. L. 1988: The Ice Hill - an example of the retarded deglaciation in Siberia. *Quaternary Science Review* 6, 152-174.

Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. 1990: *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. 416 pp. Springer-Verlag, Berlin.

Balistrieri, L. S., Murray, J. W. & Paul, B. 1992: The cycling of iron and manganese in the water column of Lake Sammamish, Washington. *Limnology and Oceanography* 37, 510-528.

Belorusova, Z. M., Lovelius, N. V. & Ikrantseva, V. V. 1987: The regional peculiarities of natural changes in the Taimyr Peninsula in the Holocene [in Russian]. *Botanichesky Zhurnal* 72, 610-618.

Berner, R. A. 1992: Weathering, plants, and the long-term carbon cycle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 3225-3231.

## Literatur

- Björck, S., Kromer, B., Johnson, S., Bennike, O., Hammarlund, D., Lemdahl, G., Possnert, G., Rasmussen, T. L., Wohlfarth, B., Hammer, C. U. & Spurk, M. 1996: Synchronized terrestrial-atmospheric deglacial records around the North Atlantic. *Science* 274, 1155-1160.
- Bradbury, J. P. 1997: A diatom record of climate and hydrology for the past 200 ka from Owens Lake, California with comparison to other Great Basin records. *Quaternary Science Review* 16, 203-219.
- Braitseva, O. A., Ponomareva, V. V., Sulerzhitsky, L. D., Melekestsev, I. V. & Bailey, J. 1997: Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia. *Quaternary Research* 47, 125-139.
- Brindley, G. W. & Brown, G. 1980: X-Ray diffraction procedures for clay mineral identification. In Brindley, G. W. & Brown, G. (eds.): *Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification*, 305-360. Mineralogical Society, London.
- Brodzikowski, K. & Van Loon, A. J. 1987: A systematic classification of glacial and periglacial environments, facies and deposits. *Earth-Science Reviews* 24, 297-381.
- Carignan, R. & Nriagu, J. O. 1985: Trace metal deposition and mobility in the sediments of two lakes near Sudbury, Ontario. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 49, 1753-1764.
- Chain, V. E. & Koronovskij, N. 1995: *Nordasien*. 181 pp. Enke-Verlag, Stuttgart.
- Cline, J. t. & Upchurch, S. B. 1973: Mode of heavy metal migration in the upper strata of lake sediment. *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res.* 349-356.
- Clow, D. W. & Drever, J. I. 1996: Weathering as a function of flow through an alpine soil. *Chemical Geology* 132, 131-141.
- Danilov, I. D., Nedesheva, G. N. & Polyakova, E. I. 1985: The cryolithozone of Western Siberia during the late Pleistocene and Holocene [in Russian]. *The evolution of the Eurasian cryolithzone during the upper Cenozoicum*, 82-90. Nauka, Moscow.
- Dauvalter, V. 1994: Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia. *The Science of the Total Environment* 158, 51-61.
- Davis, J. C. 1986: *Statistics and data analysis in Geology*. 646 pp. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Demidyuk, L. M. & Kondratéra, K. A. 1989: Geocryological conditions of the Yenisey-Putoran region. In Ershov, E. D. (eds.): *Geocryology of the UdSSR: Central Siberia*, 164-183. Nedra, Moscow.
- Ebel, T., Melles, M. & Niessen, F. 1999: Laminated sediments from Levinson Lessing Lake, Northern Central Siberia - A 30,000 year record of environmental history. In Kassens, H., Bauch, H., Dmitrenko, I., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J. & Timokhov, L. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Lecture Notes in Earth Science*, Springer, Berlin, 425-435.
- Edmond, J. M., Palmer, M. R., Measures, C. I., Brown, E. T. & Huh, Y. 1995: Fluvial geochemistry of the eastern slope of the northern Andes and its foredeep in the drainage of the Orinoco in Colombia and Venezuela. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 2949-2976.
- Faure, G. 1991: *Principles and applications of inorganic geochemistry*. 626 pp. MacMillan Publishing Company, New York.
- Franz, H.-J. 1973: *Physische Geographie der Sowjetunion*. 530 pp. VEB Hermann Haack, Leipzig.

## Literatur

- Gajewski, K. 1995: Modern and Holocene pollen assemblages from some small arctic lakes on Somerset Island, NWT, Canada. *Quaternary Research* 44, 228-236.
- Galizii, G. J. & Parmuzin, Y. P. 1981: *History of large lakes of the central Sub-Arctic [in Russian]*. 137 pp. Nauka, Novosibirsk.
- Geyh, M. A. 1971: *Die Anwendung der <sup>14</sup>C-methode und anderer radiometrischer Datierungsverfahren für das Quartär*. 118 pp. Clausthaler Tektonische Hefte 11, 118.
- Geyh, M. A. 1983: *Physikalische und chemische Datierungsmethoden in der Quartärforschung*. 163 pp. Clausthaler Tektonische Hefte 19, 163.
- Gill, R. C. O. 1993: *Chemische Grundlagen der Geowissenschaften*. 294 pp. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Gislason, S. R. & Arnórsson, S. 1993: Dissolution of primary basaltic minerals in natural waters: saturation state and kinetics. *Chemical Geology* 105, 117-135.
- Goldich, S. S. 1938: A study of rock weathering. *Journal of Geology* 46, 17-58.
- Grosswald, M. G. 1980: Late Weichselian Ice Sheet of Northern Eurasia. *Quaternary Research* 13, 1-32.
- Grosswald, M. G. 1983: *The ice caps of the continental shelves [in Russian]*. 216 pp. Nauka, Moskow.
- Grosswald, M. G. 1988: An antarctic-style ice sheet in the Northern Hemisphere: toward a new global glacial theory. *Polar Geography and Geology* 12,
- Grosswald, M. G. & Hughes, T. H. 1995: Paleoglaciology's grand unsolved problem. *Journal of Glaciology* 41, 313-332.
- Hagedorn, B., Harwart, S., Rutgers van der Loeff, M. & Melles, M. 1999: Lead-210 dating and heavy metal concentration in recent sediments of the Lake Lama (Noril'sk area, Siberia). In Kassens, H., Bauch, H., Dmitrenko, I., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J. & Timokhov, L. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Lecture Notes in Earth Science*, Springer, Berlin, 361-376.
- Hahne, J. & Melles, M. 1997: Late- and post-glacial vegetation and climate history of the south-western Taymyr Peninsula, central Siberia, as revealed by pollen analyses of a core from Lake Lama. *Vegetation History and Archaeobotany* 6, 1-8.
- Hahne, J. & Melles, M. 1999: Climate and vegetation history of the Taymyr Peninsula since Middle Weichselian time - palynological evidence from lake sediments. In Kassens, H., Bauch, H., Dmitrenko, I., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J. & Timokhov, L. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Lecture Notes in Earth Science*, Springer, Berlin, 407-423.
- Hajdas, I., Zolitschka, B., Ivy-Ochs, S. D., Beer, J., Bonani, G., Leroy, S. A. G., Negendank, J. F., Ramrath, M. & Suter, M. 1995: AMS radiocarbon dating of annually laminated sediments from lake Holzmaar, Germany. *Quaternary Science Review* 14, 137-143.
- Häkanson, S. 1986: A marked change in the stable carbon isotope ratio at the Pleistocene-Holocene boundary in southern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 108, 155-158.
- Hammarlund, D. & Buchardt, B. 1996: Composite stable isotope records from a Late Weichselian lacustrine sequence at Grænge, Lolland, Denmark: evidence of Allerød and Younger Dryas environments. *Boreas* 25, 8-22.

## Literatur

- Hartung, J. & Elpelt, B. 1995: *Multivariate Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. 815 pp. R. Oldenbourg Verlag, München.
- Harwart, S., Hagedorn, B., Melles, M. & Wand, U. 1999: Lithological and biochemical properties in sediments of Lama Lake as indicators for the Late Pleistocene and Holocene ecosystem development of the southern Taymyr Peninsula, Central Siberia. *Boreas* 28, 167 - 180.
- Heusser, C. J. 1994: Three late Quaternary pollen diagrams from southern Patagonia and their palaeoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 118, 1-24.
- Hoelzmann, P. 1993. Palaeoecology of Holocene lacustrine sediments in Western Nubia, SE Sahara. *Geoscientific Research in Northeast Africa*, 569-573. Berlin, 1993.
- Hyvärinen, H. 1970: Flandrian pollen diagrams from Svalbard. *Geografiska Annaler* 52, 213-222.
- Jasmund, K. 1993: Bildung und Umbildung von Tonmineralen. In Jasmund, K. & Lagaly, G. (eds.): *Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz in Industrie und Umwelt*, 168-192. Steinkopff Verlag, Darmstadt.
- Johnson, P. G. 1997: Spatial and temporal variability of ice-dammed lake sediments in alpine environments. *Quaternary Science Reviews* 16, 635-647.
- Kelts, K. & Hsü, K. J. 1978: Freshwater carbonate sedimentation. In Lerman, A. (eds.): *Lakes-Chemistry, Geology, Physics*, 295-321. Springer, New York.
- Kephkay, P. E. 1985: Kinetics of microbial manganese oxidation and trace metal binding in sediments: results from in situ dialysis technique. *Limnology and Oceanography* 30, 713-726.
- Khotinsky, N. A. 1984: Holocene climatic change. In Velichko, A. A. (ed.): *Late Quaternary Environments of the Soviet Union*, 305-309. Minnesota Press, Minneapolis.
- Kienel, U. 1999: Late Weichselian to Holocene diatom succession in a sediment core from Lama Lake, Siberia, and presumed ecological implications. In Kassens, H., Bauch, H., Dmitrenko, I., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J. & Timokhov, L. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Lecture Notes in Earth Science*, Springer, Berlin, 377-405.
- Kind, N. V. 1974: *Late Quaternary Geochronology According to Isotopes Data [in Russian]*. 225 pp. Trudy Institute of Geology, Academy of Science, Nauka, Moscow.
- Klementyev, O. L., Nikolaev, V. I., Potapenko, V. Y. & Savatyugin, L. M. 1991: Structures and thermodynamic conditions of the glaciers on the Severnaya Zemlya Archipelago [in Russian]. *Data Glaciol. Stud.* 73, 103-109.
- Konishchev, V. N. 1982: Characteristic of cryogenic weathering in the permafrost zone of the European USSR. *Arctic and Alpine Research* 14, 261-265.
- Korotkevich, Y. S. & Makeyev, V. M. 1991: The peculiarities of development of the environment in the Eurasian Arctic in the Late Pleistocene and Holocene [in Russian]. *Problemy Arktiki i Antarktiki Gidrometeoizdat* 66, 264-288.
- Kramar, U., Barbarin-Castillo, J., Puchelt, H., Hubberten, H.-W. & Viera, F. 1992: Variations of heavy metals in sediments of the Rio Catarina passing the city of Monterrey/Nuevo León, Mexico. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 1917-1925.
- Krishnamurthy, R. V. & Epstein, S. 1990: Glacial-interglacial excursion in the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub>: effect in the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratio in wood cellulose. *Tellus* 42B, 423-434.

## Literatur

- Krивonogov, S. K. 1988: *The Stratigraphy and Paleogeography of the Lower Irtysh Area at the Time of Last Glaciation [in Russian]*. 232 pp. Trudy Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch Academy of Science, Nauka, Novosibirsk.
- Lasaga, A. C., Soler, J. M., Ganor, J., Burch, T. E. & Nagy, K. L. 1994: Chemical weathering rate laws and global geochemical cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 2361-2386.
- Le Maitre, R. W. 1984: A proposal by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. *Australian Journal of Earth Science* 31, 243-255.
- Leonard, E. M. 1986: Use of lacustrine sedimentary sequences as indicators of Holocene glacial history, Banff National Park, Alberta, Canada. *Quaternary Research* 26, 218-231.
- Lewis, W. M. & Weibezahn, F. H. 1981: Chemistry of a 7.5-m sediment core from Lake Valencia, Venezuela. *Limnology and Oceanography* 26, 907-924.
- Liddicoat, J. C. & Coe, R. S. 1997: Paleomagnetic investigations of Lake Lahontan sediments and its applications for dating fluvial events in the northwestern Great Britain. *Quaternary Research* 47, 45-53.
- Lightfoot, P. C., Hawkesworth, C. J., Hergt, J., Naldrett, A. J., Gorbachev, N. S., Fedorenko, V. A. & Doherty, W. 1993: Remobilisation of the continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia. *Contrib Mineral Petrol* 114, 171-188.
- Lightfoot, P. C., Naldrett, A. J., Gorbachev, N. S., Doherty, W. & Fedorenko, V. A. 1990: Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'sk area, USSR, with implications for the relative contributions of crust and mantle to flood basalt magmatism. *Contrib Mineral Petrol* 104, 631-644.
- Lotter, A. F., Birks, H. J. B. & Zolitschka, B. 1995: Late-glacial pollen and diatom changes in response to two different environmental perturbations: volcanic eruptions and Younger Dryas cooling. *Journal of Paleolimnology* 14, 23-47.
- Louvat, P. & Allègre, C. J. 1997: Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 3645-3669.
- Mackereth, F. J. H. 1966: Some chemical observation on post-glacial lake sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 250, 165-213.
- Mangerud, J., Andersen, S. T., Berglund, B. E. & Donner, J. J. 1974: Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3, 109-128.
- McKee, J. D., Wilson, D. T., Long & Owen, R. M. 1989: Geochemical partitioning of Pb, Zn, Cu, Fe and Mn across the sediment-water interface in large lakes. *Journal of Great Lakes Research* 15, 46-58.
- Melles, M., Kulbe, T., Overduin, P. P. & Verkulich, S. 1994b: The Expedition Bunger Oasis 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam. In Melles, M. (ed.): *The Expeditions Noril'sk/Taymyr 1993 and Bunger Oasis 1993/1994 of the AWI Research Unit Potsdam*, 3-25. Berichte zur Polarforschung, AWI, Bremerhaven.
- Meschede, M. 1986: A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with a Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology* 56, 207-218.

## Literatur

- Meyers, P. A. & Horie, S. 1993: An organic carbon isotopic record of glacial-postglacial change in atmospheric  $p$  CO<sub>2</sub> in the sediments of Lake Biwa, Japan. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 105, 171-178.
- Michel, F. A., Fritz, P. & Drimmie, R. J. 1989: Evidence of climatic changes from oxygen and carbon isotope variations in sediments of a small arctic lake, Canada. *Journal of Quaternary Science* 4, 201-209.
- Möller, P. & Bolshiyarov, B. Y. 1998. Late Quaternary geology and palaeoenvironmental history of the Central Taymyr Peninsula, Siberia. *Quaternary Environment of the Eurasian North (QUEEN), second QUEEN Workshop*, 33.
- Mortimer, C. H. 1971: Chemical exchanges between sediments and water in the Great Lakes -Speculations on probable regulatory Mechanisms. *Limnology and Oceanography* 16, 387-404.
- Munsell soil color charts 1992. Macbeth, Devison of Kollmorgen Instrument Corporation, Munsell Color, New York.
- Naldrett, A. J., Lightfoot, P. C., Fedorenko, V. A., Doherty, W. & Gorbachev, N. S. 1992: Geology and Geochemistry of Intrusions and Flood Basalts of the Noril'sk Region, USSR, with Implications for the Origin of the Ni-Cu Ores. *Economic Geology* 87, 975-1004.
- Naldrett, A. J., Fedorenko, V. A., Lightfoot, P. C., Kunilov, V. I., Gorbachev, N. S., Doherty, W. & Johan, Z. 1995: Ni-Cu-PGE deposits of Noril'sk region, Siberia: their information in conduit for flood basalt volcanism. *Applied Earth Science* 104, 18-36.
- Neftel, A., Oeschger, H., Schwander, J., Stauffer, B. & Sumbrunn, R. 1982: Ice core sample measurements give atmospheric CO<sub>2</sub> content during the past 40,000 yr. *Nature* 295, 220-223.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G. & Price, R. C. 1980: Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica* 44, 1659-1666.
- Nesbitt, H. W., Fedo, C., M. & Young, G. M. 1997: Quartz and feldspar stability, Steady and non-steady weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds. *Journal of Geology* 107, 173-191.
- Nowaczyk, N. R. 1991: *Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer Meeresgebiete*. 187 pp. Berichte zur Polarforschung, Bremerhaven.
- Nowaczyk, N. R., Harwart, S. & Melles, M. submitted: A rock magnetic record from Lama Lake, Northern Siberia. *Journal of Paleolimnology*.
- Nygaard, G. 1956: Ancient and recent flora of diatoms and chrysophyceae in Lake Gribssø. *Folia Limnologica Scandinavica* 8, 32-94.
- Olsson, S. 1991: *Geochemistry, mineralogy and pore water composition in uplifted, Late Weichselian-Early Holocene clays from southern Sweden*. 89 pp. LUNDQUA Thesis, Lund.
- Pennington, W. 1981a: Records of lake's life in time: the sediments. *Hydrobiologia* 79, 197-219.
- Pennington, W. 1981b: Sediment composition in relation to the interpretation of pollen data. *Proc.IV int. palynol. Conf., Luckow* 3, 188-213.
- Pirrie, D., Camm, G. S., Sear, L. G. & Hughes, S. H. 1997: Mineralogical and geochemical signature of mine waste contamination, Tresillian River, Fal Estuary, Cornwall, UK. *Environmental Geology* 29, 58-65.

## Literatur

- Righi, D. & Meunier, A. 1995: Origin of clays by rock weathering and soil formation. In Velde, B. (ed.): *Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment*, 43-161. Springer, Berlin.
- Romanovsky, N. N. 1993: *Grundlagen der Lithosphäre: Lehrbuch [in Russian]*. 336 pp. MSU, Moskau.
- Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.-H. & Schwertmann, U. 1989: *Lehrbuch der Bodenkunde*. 491 pp. Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Schwoerbel, J. 1993: *Einführung in die Limnologie*. 387 pp. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Sheng Hu, F., Brubaker, L. B. & Anderson, P. M. 1996: Boreal ecosystem development in the Northwestern Alaska Range since 11,000 yr B.P. *Quaternary Research* 45, 188-201.
- Siad, A. M. 1994: *Geomathematical evaluation of trace element patterns in lateritic soils above Late Proterozoic basement units of Nigeria, West Africa*. 103 pp. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen 159, Berlin.
- Siegenthaler, U. & Wenk, T. 1984: Rapid atmospheric CO<sub>2</sub> variations and ocean circulation. *Nature* 308, 624-626.
- Siegert, C., Derevyagin, A. Y., Shilova, G. N., Hermischen, W.-D. & Hiller, A. 1999: Paleoclimatic indicators from permafrost sequences in the Eastern Taymyr Lowland. In Kassens, H., Bauch, H., Dmitrenko, I., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J. & Timokhov, L. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Lecture Notes in Earth Science*, Springer, Berlin 477-499.
- Sifeddine, A., Bertrand, P., Lallier-Vergès, E. & Patience, A. J. 1996: Lacustrine organic fluxes and palaeoclimatic variations during the last 15 ka: Lac du Bouchet (Massif Central, France). *Quaternary Science Reviews* 15, 203-211.
- Simola, H. & Uimonen-Simola, P. 1983: Recent stratigraphy and accumulation of sediment in an oligotrophic, deep lake in South Finland. In Meriläinen, J., Huttunen, P. & Battarbee, R. W. (eds.): *Paleolimnologie, Proceedings of 3rd International Symposium of Palaeolimnology, Joensuu, Finland*.
- Sletten, R. S. & Ugolini, F. C. 1990: Pedogenic Processes in well-drained soils of Spitzbergen and Nordaustland. *Inter-Nord* 19, 465-470.
- Strakhov, N. M. 1967: *Principles of Lithogenesis*. Vol. I. Consultants Bureau, New York.
- Stucki, J. W., Golden, D. C. & Roth, C. B. 1984: Effects of reduction and reoxidation of structural iron on the surface charge and dissolution of dioctahedral smectites. *Clays and Clay Minerals* 32, 350-356.
- Stuiver, M. 1970: Oxygen and carbon isotope ratios of fresh water carbonates as climatic indicators. *Journal of Geophysical Research* 75, 5247-5257.
- Stuiver, M. & Polach, H. A. 1977: Reporting of <sup>14</sup>C data. *Radiocarbon* 19, 355-363.
- Sulerzhitsky, L. D. 1995. Characteristics of radiocarbon chronology of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) of Siberia and north of Eastern Europe. *Studies of Pleistocene and recent Mammals. RAN, Proceedings of the Zoological Institute St. Petersburg*, 163-193. 1995.
- Swan, A. R. H. & Sandilands, M. 1995: *Introduction to geological data analysis*. 446 pp. Blackwell Science, Oxford.

## Literatur

- Talbot, M. R. 1990: A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 80, 261-279.
- Talbot, M. R. & Johannessen, T. 1992: A high resolution palaeoclimatic record for the last 27,500 years in tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. *Earth and Planetary Science Letters* 110, 23-37.
- Tamrazyan, G. P. 1971: Siberian Continental Drift. *Tectonophysics* 11, 433-460.
- Thorez, J. 1976: *Practical identification of clay minerals*. 90 pp. Lelotte, Dison.
- Tranter, M., Brown, G.H., Hodson, A.J. & Gurnell, A.M. 1996: Hydrochemistry as an indicator of subglacial drainage system structure: a comparison of alpine and sub-polar environments. *Hydrological Processes* 10, 541 - 556.
- Tröger, K.-A. 1984: *Abriß der Historischen Geologie*. 718 pp. Akademie-Verlag, Berlin.
- Turney, C. S. M., Beerling, D. J., Harkness, D. D., Lowe, J. J. & Scott, E. M. 1997: Stable carbon isotope variations in northwest Europe during the last glacial-interglacial transition. *Journal of Quaternary Science* 12, 339-344.
- Ugolini, F. C. 1986: Processes and rates of weathering in cold and polar desert environments. In Colman, S. M. & Dethier, D. P. (eds.): *Rates of chemical weathering of rocks and minerals*, 193-235. Academic Press, Orlando.
- Vasilchuk, Y. K., Serova, A.K. & Trofomov, V. T. 1984: New data on sedimentary environments of the Karginsky deposits in the West Siberian North [in Russian]. *Bull. Komissii po Izucheniyu Chetvertichnogo Perioda* 53, 28-35.
- Veerhoff, M. 1992: *Silicatverwitterung und Veränderung des Tonmineralbestandes in Waldböden als Folge von Versauerungsvorgängen*. 249 pp. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen, Bonn.
- Velbel, M. A. 1993: Constancy of silicate-mineral weathering ratios between natural and experimental weathering: implications for hydrologic control of differences in absolute rates. *Chemical Geology* 105, 89-99.
- Velichko, A. A. 1993: *Evolution of landscapes and climates of the northern Eurasia. Late Pleistocene-Holocene; Element of prognosis [in Russian]*. 102 pp. Nauka, Moscow.
- Velichko, A. A., Kononov, Y. M. & Faustova, M. A. 1997: The last glaciation of earth: size and volume of ice-sheets. *Quaternary International* 41/42, 43-51.
- Westerlund, S. F. G., Anderson, L. G., Hall, P. O. J., Iverfeldt, Å., Rutgers van der Loeff, M. M. & Sundby, B. 1986: Benthic fluxes of Cadmium, copper, nickel, zinc and lead in coastal environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50, 1289 -1296.
- Williams, T., Thouveny, N. & Creer, K. M. 1996: Palaeoclimatic significance of the 300 ka mineral magnetic record from the sediments of Lac du Bochet, France. *Quaternary Science Reviews* 15, 223-235.
- Wilson, M. J. & Jones, D. 1983: Lichen weathering of minerals: Implications for pedogenesis. In Wilson, R. C. L. (ed.): *Residual Deposits: Surface related weathering processes and Materials*, Papers, 5-12. Blackwell, Oxford.
- Wohlfarth, B., Lemdahl, G., Olsson, S., Persson, T., Snowball, I., Ising, J. & Jones, V. 1995: Early Holocene environment on Bjørnøya (Svalbard) inferred from multidisciplinary lake sediment studies. *Polar Research* 14, 253-275.

### Literatur

Wolfe, A. P. & Härtling, J. W. 1997: Early Holocene trace metal enrichment in organic lake sediments, Baffin Island, Arctic Canada. *Arctic and Alpine Research* 29, 24-31.

Wooden, J. L., Czamanske, G. K., Fedorenko, V. A., Arndt, N. T., Chauvel, C., Bouse, R. M., Bi-Shia, W. K., Knight, R. J. & Siems, D. F. 1993: Isotopic and trace-element constraints on mantle and crustal contributions to Siberian continental flood basalts, Noril'sk area, Siberia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 3677-3704.

Young, L. B. & Harvey, H. H. 1992: Geochemistry of Mn and Fe in lake sediments in relation to lake acidity. *Limnology and Oceanography* 37, 603-613.

Zolotukhin, V. V. & Mukhamedov, A. I. 1988: Traps of the Siberian Platform. In Macdougall, J. D. (ed.): *Continental Flood basalts*, 273-310. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

## 7 Anhang

7.1 Einzugsgebiet .....	87
7.1.1 Geochemische und petrologische Beschreibung der kontinentalen Flutbasalte .....	87
Abb. A-1: Sequenzabfolge der kontinentalen Flutbasalte im Einzugsgebiet des Lama Sees .....	87
Tab. A-1: Lavatypen der kontinentalen Flutbasalte vom Hangenden zum Liegenden.....	88
Tab. A-2: Mittlere geochemische Zusammensetzung der Vulkanitschichten .....	89
Tab. A-3: Geochemische Klassifikation der kontinentalen Flutbasalte .....	90
Abb. A-2: Lage der kontinentalen Flutbasalte im binären Diagramm $(Na_2O+K_2O):SiO_2$ .....	90
7.2 Lamaseesediment .....	91
7.2.1 Lithologie.....	91
Tab. A-4: Lithologische Beschreibung der Oberflächenkerne .....	91
Tab. A-5: Lithologische Beschreibung der Kernsequenz PG1111 .....	92
Tab. A-6: Wassergehalte der Oberflächenkerne.....	95
Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PG1111 .....	96
Tab. A-6a+7a: Korngrößenzusammensetzung der Kernsequenz PG1111 und der Oberflächenkerne.....	103
7.2.2 Mineralogie.....	104
Tab. A-8: Intensität von Flächen- und Peakintensitäten in Röntgendiagrammen der Gesamtmineralogie, Kernsequenz PG1111.....	104
Tab. A-9: Intensität von Flächen- und Peakintensitäten in Röntgendiagrammen der Tonmineralogie, Kernsequenz PG1111 .....	105
Tab. A-10: Intensitäten der auf den internen Standard Korund bezogenen Flächenreflexe in Röntgendiagrammen der Gesamtmineralogie, Kernsequenz PG1111 .....	106
Tab. A-11: Intensitäten der auf den internen Standard Molybdänsulfat bezogenen Flächenreflexe in Röntgendiagrammen der Tonmineralogie, Kernsequenz PG1111 .....	106
7.2.3 Geochemie.....	107
Tab. A-12: Kalibrierungsbereich und Standardabweichung der genutzten Röntgenfluoreszenzanlage	107
Tab. A-13: Relative Fehler der ICP-OES.....	107
7.2.3.1 Gesamtsediment .....	108
Tab. A-14: Hauptelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111.....	108
Tab. A-15: Spurenelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111 .....	114
7.2.3.2 Tonfraktion ( $< 2 \mu m$ ).....	114
Tab. A-16: Hauptelementverteilung in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 .....	114
Tab. A-17: Spurenelementverteilung in der Tonfraktion der Kernsequenz PG1111 .....	114
Tab. A-18: Prozentuale Ab- und Zufuhr von Hauptelementen der $< 2 \mu m$ - Fraktion in der Kernsequenz PG1111 .....	115
Tab. A-19 Prozentuale Ab- und Zufuhr von Spurenelementen der $< 2 \mu m$ - Fraktion in der Kernsequenz PG1111 .....	115
Tab. A-20: Elementintensitäten des Zentrifugenwassers .....	116
7.2.3.3 Sand ( $> 63 \mu m$ ) -, Silt ( $2 - 63 \mu m$ ) - und Tonfraktion ( $< 2 \mu m$ ) .....	116
Tab. A-21: Hauptelementkonzentrationen der Sand-, Silt- und Tonfraktion, Kernsequenz PG1111	116
Tab. A-22: Spurenelementkonzentrationen der Sand-, Silt- und Tonfraktion, Kernsequenz PG1111	116
7.2.4 Statistik .....	117
7.2.4.1 Hauptkomponentenanalyse .....	117

## Anhang

Tab. A-23: Faktorwerte zur Hauptelementverteilung in der Kernsequenz PG1111 .....	118
Tab. A-24: Faktorwerte zur Spurenelementverteilung in der Kernsequenz PG1111 .....	119
Tab. A-25: Faktormatrix der auf Aluminium normierten Hauptelementkonzentrationen.....	121
Tab. A-26: Faktormatrix der auf Aluminium normierten Spurenelementkonzentrationen.....	121
7.3 <sup>14</sup> C-Alter .....	122
Tab. A-27: <sup>14</sup> C-Alter innerhalb der Kernsequenz PG1111 .....	122
7.4 Lamaseewasser.....	122
Tab. A-28: Temperatur, pH-Wert, gelöster Sauerstoff und Leitfähigkeit des Lamaseewassers.....	122
Tab. A-29: Kationenkonzentration des Lamaseewassers.....	123

## 7.1 Einzugsgebiet

### 7.1.1 Geochemische und petrologische Beschreibung der kontinentalen Flutbasalte

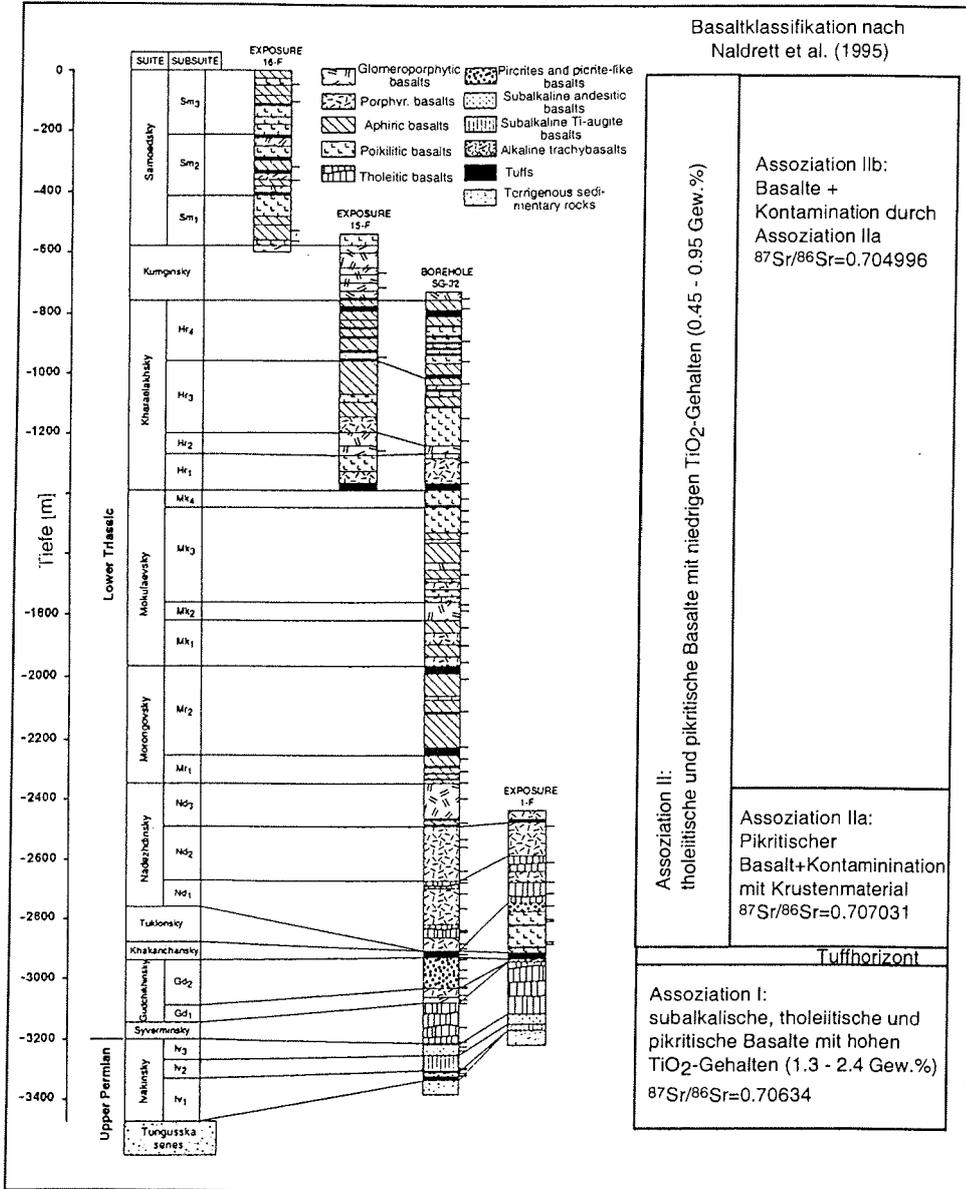


Abb. A-1: Sequenzabfolge der kontinentalen Flutbasalte im Einzugsgebiet des Lama Sees (aus: Wooden et al. 1993) und deren Klassifikation in Assoziation I, IIa und IIb nach Naldrett et al. (1995).

Tab. A-1: Lavatypen der kontinentalen Flutbasalte vom Hangenden zum Liegenden im Einzugsgebiete des Lama Sees.

Formation	Gruppe	Lithologie	Mächtigkeit [m]
Samoedsky	sm3	poikilophyrischer, aphyrischer und glomerophyrischer Basalt	> 200
	sm2	aphyrischer, poikilophytischer und porphyrischer, glomeroporphyrischer Basalt und Tuff	230-280
	sm1	aphyrischer und porphyrischer Basalt mit Tufflinsen	140-180
Kumginsky	km	glomeroporphyrischer Basalt mit Tuffhorizont	160-210
Kharayelakhsy	hr4	poikiloblastischer, porphyrischer und aphyrischer Basalt und Andesinbasalt mit Tuff	95-215
	hr3	Poikilophytischer, porphyrischer und aphyrischer Basalt mit wenig Tuff	205-365
	hr2	glomeroporphyrischer Basalt	15-210
	hr1	porphyrischer, aphyrischer und poikilophyrischer Basalt mit dickmächtigem Tuff an der Basis	60-105
Mokulaevsky	mk4	aphyrischer, poikilophyrischer und porphyrischer Basalt und Tuff	40-165
	mk3	poikilophyrischer, aphyrischer und porphyrischer Basalt	140-265
	mk2	glomeroporphyrischer Basalt und porphyrischer, aphyrischer und poikilophyrischer Basalt	40-290
	mk1	porphyrischer und aphyrischer Basalt	35-275
Moronkovsky	mr2	aphyrischer und poikilophyrischer Basalt, selten porphyrischer und glomerophyrischer Basalt, dickmächtige Tuffe.	175-640
	mr1	aphyrischer, poikilophyrischer und porphyrischer Basalt, Tuffe	45-150
Nadezhdinsky	nd3	glomerophyrischer Basalt, Tuffe	
	nd2	porphyrischer, glomeroporphyrischer Basalt, Tuffhorizont an der Basis	75-260
	nd1	porphyrischer und tholeiitischer Basalt	50-260
Tuklonsky	tk2 (TPBU)	poikilophyrischer und pikritischer Basalt, Tuffe	0-220
	tk1	poikilophyrischer, tholeiitischer Basalt	?
Khakanchansky	hk	Tuffe	10-260
Gudchinsky	gd2 (GPBU)	pikritischer Basalt, pikritähnlicher und Olivin-Tholeiit	0-190
	gd1	poikilophyrischer, porphyrischer und glomerophyrischer Basalt, Tuffe	0-160
Syverminsky	sv	tholeiitischer Basalt	0-195
Ivakinsky	iv3	subalkaline, labradorotische, zwei-Plagioklas Andesinbasalt und Tuffe	0-135
	iv2	subalkalkiner, Ti-augitischer und poikilophyrischer Basalt, Tuffe und Tuffbrekzien	0-100
	iv1	alkaliner Trachybasalt, Tuffe und Tuffbrekzien	0-240

nach: Lightfoot et al. (1993)

Tab. A-2: Mittlere geochemische Zusammensetzung der elf Vulkanitschichten im Einzugsgebiet des Lama See (alle Angaben aus Lightfoot et al. (1993) und Wooden et al. (1993); k.A. = keine Angabe).

Formation	Sameditsky			Kumignitsky				Kharatelakulsky			Mokhlaevskiy			Morongovskiy			Nadendinskiy			Tuklonskiy		Khalakan-chanskiy		Gudchichinskiy		Syyvernuinskiy		Ivalkinskiy		
	sm3	sm2	sm1	km	hr4	hr3	hr2	hr1	mk4	mk3	mk2	mk1	mr2	mr1	nd3	nd2	nd1	tk2 (TPBU)	tk1	tk	gd2 (GPBU)	gd1	sv	iv3	iv2	iv1				
SiO2	49.67	k.A.	49.25	49.64	50.60	49.24	k.A.	49.45	47.76	49.74	49.41	49.85	48.90	49.40	50.40	52.20	52.20	47.40	49.60	52.72	47.90	50.80	52.80	53.70	52.00	47.50				
TiO2	1.42	-	1.38	1.53	1.71	1.33	-	1.41	1.36	1.45	1.25	1.21	1.10	1.12	1.01	1.06	0.94	0.67	0.88	0.90	1.61	1.84	1.63	2.42	2.48	3.79				
Al2O3	15.20	-	15.35	15.55	15.05	15.86	-	15.43	16.41	15.58	15.70	15.43	16.75	16.29	16.50	15.95	16.38	12.33	15.70	15.09	9.85	16.07	15.61	14.42	15.13	15.47				
FeOT	12.14	-	11.95	12.28	12.30	11.93	-	12.40	12.48	12.42	11.67	11.50	12.40	12.40	11.45	11.18	10.24	12.28	10.97	9.34	14.85	11.29	11.06	12.78	13.17	14.72				
MgO	7.33	-	7.67	6.64	6.30	7.59	-	7.40	7.36	6.83	6.83	6.95	7.19	6.90	6.57	6.07	6.32	16.41	8.99	7.08	16.44	6.57	6.01	4.03	4.12	4.67				
MnO	0.21	-	0.21	0.21	0.20	0.20	-	0.20	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.18	0.17	0.21	0.20	0.16	0.15	0.26	0.27	0.19				
CaO	11.38	-	11.64	11.44	10.49	11.09	-	10.93	12.07	11.01	12.67	12.42	11.21	11.29	10.99	10.08	10.33	9.44	11.11	10.35	7.49	9.48	7.83	5.36	6.59	7.03				
Na2O	2.19	-	2.16	2.36	2.40	2.14	-	2.24	2.09	2.30	2.03	2.14	1.93	1.95	1.93	2.15	2.35	0.99	2.10	2.26	0.97	2.97	3.24	3.25	3.98	3.77				
K2O	0.37	-	0.22	0.25	0.21	0.48	-	0.39	0.11	0.30	0.10	0.17	0.33	0.38	0.84	0.98	0.01	0.31	0.34	1.92	0.52	0.67	1.40	3.10	1.84	1.68				
P2O5	0.17	-	0.18	0.21	0.27	0.16	-	0.15	0.16	0.17	0.16	0.16	0.11	0.11	0.15	0.12	0.10	0.06	0.08	0.13	0.12	0.19	0.25	0.83	0.83	1.33				
Ba	134.50	-	124.00	135.00	234.50	112.00	-	125.00	68.00	145.00	90.00	105.00	104.00	338.00	373.00	416.00	460.00	126.00	199.0	326.00	306.00	331.00	643.00	900.00	933.00	865.00				
Rb	9.00	-	4.00	8.50	17.75	8.00	-	14.00	2.00	5.00	4.00	5.00	6.00	4.00	21.00	22.00	29.00	7.00	4.00	57.00	9.00	11.00	36.00	36.00	33.50	36.00				
Sr	197.50	-	181.00	200.00	233.50	178.00	-	180.00	178.00	204.00	215.00	225.00	207.00	207.00	251.00	282.00	283.00	147.00	249.0	215.00	207.00	300.00	440.00	458.00	482.50	338.00				
Y	31.00	-	29.00	35.00	35.30	27.00	-	36.00	31.00	27.00	23.00	26.00	22.30	23.10	23.20	23.00	20.70	10.70	15.30	29.00	14.70	21.60	25.30	43.50	48.50	57.00				
Zr	109.50	-	117.00	130.00	168.50	101.00	-	104.00	105.00	114.00	93.00	95.00	89.00	98.00	106.00	130.00	119.00	48.00	63.00	114.00	86.00	144.00	191.00	315.00	327.00	394.00				
Hf	2.67	-	2.53	3.04	3.81	2.32	-	2.43	2.52	2.71	2.25	2.29	2.43	2.63	2.79	3.48	3.22	1.25	1.76	2.41	2.44	3.60	5.00	7.78	6.98	7.61				
Nb	9.00	-	8.00	10.00	14.75	10.00	-	7.00	13.00	14.00	4.00	7.00	5.10	5.70	7.00	9.00	8.30	1.90	2.70	14.00	6.60	11.00	15.40	27.20	28.50	42.33				
Ta	0.28	-	0.28	0.37	0.61	0.23	-	0.26	0.28	0.30	0.27	0.28	0.32	0.32	0.42	0.52	0.50	0.11	0.18	0.42	0.40	0.60	0.85	1.37	1.50	2.39				
Th	1.03	-	1.07	1.48	2.04	0.85	-	0.88	1.01	1.11	0.99	1.07	1.07	1.48	1.87	2.98	3.04	0.45	0.64	2.82	1.00	1.40	2.86	5.43	4.26	6.11				
U	0.40	-	0.53	0.77	0.74	0.44	-	0.30	0.36	0.40	0.41	0.46	0.45	0.54	0.96	0.85	0.81	0.11	0.16	0.99	0.38	0.36	0.70	1.30	1.21	2.61				
Co	51.00	-	51.00	47.00	45.25	53.00	-	50.00	53.00	50.00	47.00	49.00	42.00	42.00	42.00	40.00	36.00	75.00	47.00	40.00	66.00	37.00	34.00	26.00	29.50	41.67				
Cu	142.50	-	159.00	120.50	133.50	135.00	-	166.00	148.00	147.00	151.00	130.00	122.00	113.00	97.00	87.00	32.00	62.00	101.0	126.00	96.00	71.00	34.00	23.00	25.50	40.00				
Ni	135.50	-	146.00	107.00	108.00	176.00	-	137.00	155.00	137.00	113.00	127.00	107.00	86.00	81.00	45.00	23.00	284.00	110.0	135.00	696.00	83.00	55.00	18.00	46.00	46.00				
Cr	182.00	-	216.00	107.00	94.00	160.00	-	123.00	131.00	71.00	119.00	108.50	171.00	156.00	145.00	84.00	134.00	810.00	393.0	366.00	789.00	269.00	214.00	100.00	152.00	111.67				
Zn	88.00	-	81.00	87.25	98.00	-	75.00	91.00	73.00	93.00	80.00	80.00	97.00	97.00	88.00	94.00	84.00	67.00	68.00	114.00	111.00	92.00	100.00	41.00	11.00	16.50				
Se	38.00	-	38.00	37.00	34.25	36.00	-	37.00	40.00	37.00	37.00	38.00	35.00	38.00	32.00	30.00	30.00	6.00	30.00	25.00	24.00	27.00	23.00	22.00	22.00	23.00				
V	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	349.00	270.00	219.00	216.00	212.00	170.00	224.0	k.A.	229.00	169.00	140.00	k.A.	k.A.	k.A.				
La	8.14	-	7.94	9.80	15.02	6.62	-	7.02	7.77	8.46	7.23	7.68	7.33	9.07	12.91	17.33	16.40	4.03	5.53	18.90	6.42	14.10	22.81	44.99	44.65	51.90				
Ce	20.30	-	18.50	24.20	35.13	15.70	-	17.40	19.60	21.20	18.10	19.00	17.13	20.75	28.04	37.65	35.40	9.27	12.68	36.00	16.66	32.65	50.79	100.61	101.55	116.33				
Nd	13.14	-	10.61	15.15	21.41	10.68	-	11.54	12.81	13.19	12.46	12.21	10.62	12.39	14.14	18.18	16.70	5.55	7.59	17.50	11.57	19.39	25.72	51.38	52.15	55.63				
Sm	3.73	-	3.69	4.23	5.54	3.37	-	3.53	3.59	3.87	3.42	3.41	3.02	3.27	3.54	4.13	3.75	1.59	2.15	1.81	3.21	4.84	5.74	10.88	11.08	11.19				
Yb	2.80	-	2.77	3.21	3.21	2.79	-	2.76	2.75	2.73	2.46	2.48	2.32	2.33	2.56	2.34	2.10	1.10	1.57	2.00	1.24	1.85	2.42	3.92	4.22	4.70				
Pb	1.80	-	1.74	2.40	3.42	1.54	-	1.61	1.49	1.82	1.65	2.03	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	6.94	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	7.19	6.48				

Anhang

Tab. A-3: Geochemische Klassifikation der kontinentalen Flutbasalte nach Nadrett et al. (1995).

Variabel	Assoziation I Ivakin'sky, Syvermin'sky, Gudchinsk'y		Assoziation IIa Tuklonsky, Nadezhinsk'y		Assoziation IIb Moromgov'sky, Mokulaev'sky, Kharaeylakh'sky, Kuminsk'y, Samoyed'sky	
	Mittelwert(n=6)	Std.abw.	Mittelwert (n=5)	Std.abw.	Mittelwert (n=12)	Std.abw.
SiO2	50.78	2.35	50.36	1.80	49.41	0.64
TiO2	2.29	0.75	0.91	0.14	1.36	0.16
Al2O3	14.42	2.11	15.37	1.55	15.72	0.50
FeOT	12.98	1.48	11.22	0.66	12.15	0.30
Fe	10.09	1.15	6.72	0.52	9.44	0.24
MgO	6.97	4.34	8.87	3.91	7.08	0.39
MnO	0.20	0.04	0.17	0.01	0.20	0.01
Mn	0.16	0.03	0.13	0.01	0.15	0.01
CaO	7.30	1.25	10.39	0.61	111.05	0.61
Na2O	3.03	0.98	1.90	0.48	2.16	0.14
K2O	1.54	0.85	0.50	0.36	0.32	0.16
P2O5	0.59	0.44	0.10	0.03	0.17	0.04
Ba	663.00	260.75	314.80	129.43	159.42	82.07
Rb	26.92	12.01	16.60	9.52	7.27	4.40
Sr	370.92	98.14	242.40	49.87	200.50	17.84
Y	35.10	15.41	18.58	4.86	28.81	4.70
Zr	242.83	109.69	93.20	32.06	110.33	20.67
Hf	5.57	2.04	2.50	0.86	2.64	0.41
Nb	21.84	12.14	5.78	2.92	8.96	3.37
Ta	1.19	0.67	0.35	0.17	0.32	0.09
Th	3.51	1.92	1.80	1.10	1.17	0.32
U	1.09	0.77	0.58	0.37	0.48	0.14
Co	39.03	13.07	47.60	13.18	48.35	3.62
Cu	46.25	26.53	75.80	25.76	138.96	15.45
Ni	157.33	241.65	108.60	92.63	127.88	23.89
Cr	223.42	271.80	313.20	270.60	136.54	39.56
Zn	116.94	20.52	80.20	10.85	86.77	8.34
Sc	23.50	1.71	25.60	9.83	37.10	1.46
V	191.25	38.16	208.20	19.50	259.50	10.50
La	30.81	17.20	11.24	5.50	8.51	2.14
Ce	69.77	38.05	24.61	11.63	20.58	4.87
Nd	35.97	17.61	12.43	5.00	13.02	2.82
Sm	7.82	3.31	3.03	0.98	3.72	0.62
Yb	3.06	1.29	1.93	0.53	2.72	0.28
Pb	6.83	0.35			2.17	0.55
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.706340	0.000568	0.707031	0.000124	0.704996	0.000455

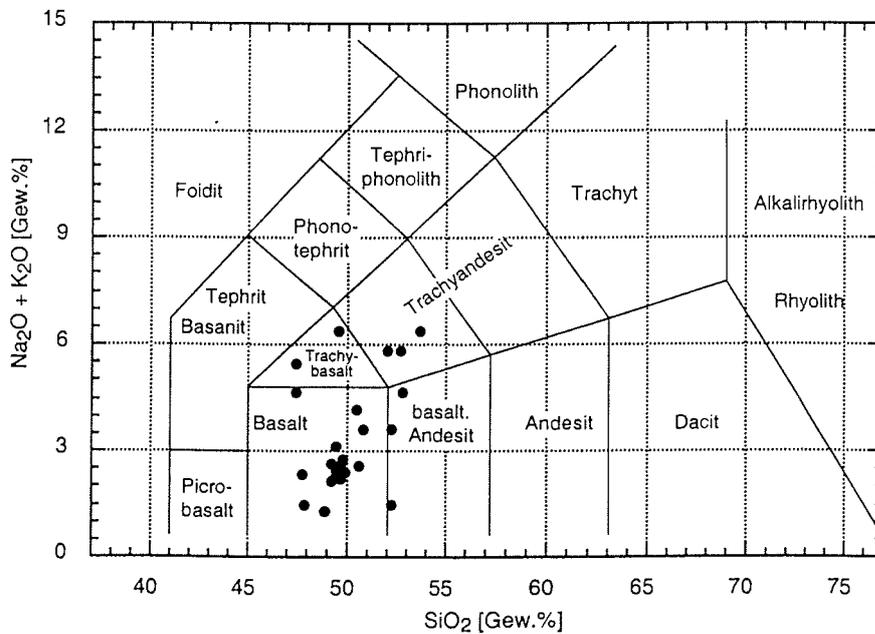


Abb. A-2: Lage der kontinentalen Flutbasalte im binären Diagramm (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O):SiO<sub>2</sub> nach Le Maitre (1984).

## 7.2 Lamaseesediment

## 7.2.1 Lithologie

Tab. A-4: Lithologische Beschreibung der Oberflächenkerne

<b>Station PG1114; 69°35.6' N 90°10.5' E; Wassertiefe: 3.9 m</b>	
Tiefe [cm]	Beschreibung
0 - 132.0	kiesiger Mittel- bis Grobsand, homogen, sehr dunkel grau (10YR3/1)
<b>Station PG1107; 69°35.0' N 90°13.9' E; Wassertiefe 7.2 m</b>	
Tiefe [cm]	Beschreibung
0.0 - 2.5	siltiger Schluff, homogen, olivbraun (2.5Y4/3)
2.5 - 6.0	siltiger Schluff, homogen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
6.0 - 10.0	siltiger Schluff, homogen, sehr dunkelgrau (5YR3/1)
<b>Station PG1108; 69°34.5' N 90°13.9' E; Wassertiefe 12.6m</b>	
Tiefe [cm]	Beschreibung
0.0 - 5.0	siltiger Ton, homogen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
5.0 - 6.5	siltiger Ton, homogen, olivbraun (2.5Y4/3)
6.5 - 13.0	siltiger Ton, homogen, olivgrau (5Y4/2)
13.0	siltige Lage, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
13.0 - 14.0	siltiger Ton, homogen, olivgrau (5Y4/2)
14.0	siltige Lage, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
14.0 - 19.0	siltiger Ton, homogen, olivgrau (5Y4/2)
19.0	siltige Lage, homogen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
19.0 - 26.0	siltiger Ton, homogen, dunkelolivgrau (5Y3/2)
<b>Station PG1109; 69°33.9' N 90°13.7' E; Wassertiefe 31.6 m</b>	
Tiefe [cm]	Beschreibung
0.0 - 3.0	siltiger Ton, homogen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
3.0 - 20.0	siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte mm-Schichtung von dunkelgrauen (2.5YR4/2), dunkelolivbraunen (2.5Y3/3) und dunkelgraubraunen (10YR2/2) Lagen
20.0 - 39.0	siltiger Ton, mäßig ausgeprägte mm-Schichtung von dunkelgrauen (2.5Y4/2), dunkelolivbraunen (2.5Y3/3) und sehr dunkelbraunen (10YR2/2) Lagen
39.0 - 61.0	siltiger Ton, homogen, olivegrau (5Y4/2)
<b>Station PG1110; 69°33.4' N 90°13.3' E; Wassertiefe: 48.7 m</b>	
Tiefe [cm]	Beschreibung
0.0 - 6.0	siltiger Ton, homogen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
6.0	siltige Lage, sehr dunkelbraun (10YR2/2)
6.0 - 18.0	siltiger Ton, gut ausgeprägte mm-Schichtung von dunkelgraubraunen (2.5Y4/3) und sehr dunkelbraunen (10YR2/2) Lagen
18.0 - 34.0	siltiger Ton, gut ausgeprägte mm-Schichtung von olivgrauen (5Y4/2) und sehr dunkelbraunen (10YR2/2) Lagen
34.0 - 59.0	siltiger Ton, homogen, teilweise schwach ausgeprägte mm- bis cm- Schichtung von dunkelgrauen (5Y4/1) und sehr dunkelgrauen (5Y3/1) Lagen

Anhang

Tab. A-5: Lithologische Beschreibung der Kernsequenz PG1111

Station PG1111; 69°32.9' N 90°12.7' E; Wassertiefe: 52.2 m	
PG1111-1	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
0.0 - 5.0	siltiger Ton, homogen, dunkelgelbbraun (10YR3/4)
5.0 - 7.5	siltige Lagen, dunkelolivbraun (2.5Y3/3)
7.5 - 22.0	siltiger Ton, leicht ausgeprägte mm- bis cm- Schichtung von olivbraunen (2.5Y4/3), dunkelolivbraunen (2.5Y3/3) und sehr dunkelbraunen Lagen (10YR2/2) Lagen
22.0 - 35.0	siltiger Ton, homogen, schwarz (5Y2.5/2)
35.0 - 54.0	siltiger Ton; schwarz (5Y2.5/2) mit sehr dunkelgrauen (5Y3/1) Schlieren
PG1111-5	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
15.0 - 22.0	siltiger Ton, homogen, olivbraun (2.5Y4/3)
22.0 - 29.0	siltiger Ton, leicht ausgeprägte mm- bis cm- Schichtung von dunkelolivgrauen (5Y3/2), dunkelolivbraunen (2.5YR3/3) und sehr dunkelbraunen Lagen (10YR2/2) Lagen
29.0 - 148.0	siltiger Ton; schwarz (5Y2.5/2) bis sehr dunkelgrau (5Y3/1) mit sehr dunkelgrauen (2.5Y3/1) Schlieren, deutliche schwarze (5Y2.5/1) Lagen bei 44.0 cm, 77.0 cm, 10.0 cm und 145.0 cm
148.0 - 151.0	siltiger Ton, gut ausgeprägte mm- Schichtung von sehr dunkelgrauen (2.5Y3/1) und schwarzen Lagen (2.5Y2.5/1)
151.0 - 154.0	siltiger Ton, schwarz (7.5YR2/0)
154.0 - 157.0	siltiger Ton, gut ausgeprägte mm- Schichtung von sehr dunkelgrauen (2.5Y3/1) und schwarzen Lagen (2.5Y2.5/1)
157.0 - 312.0	siltiger Ton, homogen, sehr dunkelgrau (5Y3/1) mit schwarzen Schlieren (2.5Y2.5/1), schwarze (2.5Y2.5/1) Lagen bei 175.0 cm, 175.0 cm, 181.0 cm, 182.5 cm, 191.0 cm, 197.5 cm, 215.5 cm, 216.0 cm, 216.5 cm, 236.0 und 238.5 cm
PG1111-6	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
259.0 - 289.0	siltiger Ton, homogen, teilweise schwarze (2.5Y2.5/1) Laminae im mm-Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)
289.0 - 297.0	siltiger Ton, homogen, schwarz (2.5Y2/0)
297.0 - 298.5	siltiger Ton, homogen, teilweise schwarze (2.5Y/0) Laminae im mm-Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)
198.5 - 302.0	siltiger Ton, homogen, schwarz (2.5Y2.5/1)
302.0 - 313.5	siltiger Ton, homogen, sehr dunkelgrau (5Y3/1)
313.5 - 318.5	siltiger Ton, homogen, teilweise schwarze (2.5Y2.5/1) Flecken im cm-Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)
318.5 - 412.0	siltiger Ton, homogen, teilweise schwarze (2.5Y2.5/1) Laminae im mm-Bereich und schwarzen (2.5Y2.5/1) Flecken im cm- Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)
412.0 - 490.0	siltiger Ton, schwarze (2.5Y2.5/1) Flecken im cm-Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)
490.0 - 460.0	siltiger Ton, homogen, teilweise schwarze (2.5Y2.5/1) Laminae im mm-Bereich und schwarzen (2.5Y2.5/1) Flecken im cm- Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1)

Anhang

Fortsetzung PG1111-6	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
460.0 - 560.0	siltiger Ton, schwarze (5Y2.5/1) Laminae im mm-Bereich, Grundfarbe: sehr dunkelgrau (5Y3/1) bis dunkelgrau (5Y4/1)
PG1111-7	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
511.0 - 545.0	siltiger Ton, gut ausgeprägte cm- Schichtung von sehr dunkelgrauen (5Y3/1) und schwarzen (5Y2.5/1) Lagen
545.0 - 551.0	siltiger Ton, homogen, sehr dunkel grau (5Y3/1)
551.0 - 553.0	siltiger Ton, schwarz (5Y2.5/1)
553.0 - 559.0	siltiger Ton, homogen, sehr dunkel grau (5Y3/1)
559.0 - 560.0	siltiger Ton, schwarz (5Y2.5/1)
560.0 - 630.0	siltiger Ton, homogen, sehr dunkel grau (5Y3/1)
630.0 - 636.0	siltiger Ton, schwarz (5Y2.5/1)
636.0 - 682.0	siltiger Ton, homogen, vereinzelt schwarze (5Y2.5/1) mm- Laminae, Grundfarbe: dunkelgrau (2.5Y4/1) bis sehr dunkel grau (2.5Y3/1)
682.0 - 687.0	schwach siltiger Ton, Laminierung im mm- Bereich, sehr dunkelgrau (5Y3/1) bis dunkelgrau (5Y4/1)
687.0 - 700.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, sehr dunkelgrau (5Y3/1) bis dunkelgrau (5Y4/1)
700.0 - 704.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
704.0 - 804.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1), schwarze (2.5Y2.5/1) Lagen bei 770.0 cm, 776.0 cm, 778.0 cm und 780.0 cm
PG1111-8	
Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
761.0 - 763.0	schwach siltiger Ton, homogen, dunkelgrau (5Y4/1)
763.0 - 777.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
777.0 - 782.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
782.0 - 791.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
791.0 - 795.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
795.0 - 799.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
799.0 - 804.5	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
804.5 - 810.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
810.0 - 821.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
821.0 - 828.5	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
828.5 - 842.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
Fortsetzung PG1111-8	

Anhang

Bohrtiefe [cm]	Beschreibung
842.0 - 848.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- Bereich, olivbraun (2.5Y4/3), dunkel graubraun (2.5Y4/2) bis dunkelgrau (5Y4/1)
848.0 - 861.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4)
861.0	1 bis 2 cm größer Kiesel
861.0 - 884.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3 und 2.5Y5/4), dunkel graubraune (2.5Y4/2), siltige bis feinsandige Lagen bei 871.0 cm, 876.5 cm und 877.5 cm
884.0 - 901.0	schwach siltiger Ton, homogen, sehr dunkelgraubraun (2.5Y3/2), zwei schräg geschichtete, dunkel graubraune (2.5Y4/2) Lagen
901.0 - 921.0	schwach siltiger Ton, homogen, dunkelgraubraun (2.5Y3/2), bei 908.5 cm dunkelgraue bis dunkel grünliche graue (5Y4/1 bis 5GY4/1) Lage
921.0 - 951.0	schwach siltiger Ton, sehr gut ausgeprägte Laminierung im mm- bis cm Bereich, olivebraun (2.5Y4/3) bis helles olivbraun (2.5Y5/3), dunkel graubraune (2.5Y4/2), siltige bis feinsandige Lagen bei 931.0 cm, 935.0 cm, 936.0 cm, 941.0 cm, 943.5 cm, 944.5 cm und 946.0 cm
951.0 - 955.0	schwach siltiger Ton, homogen, braun (10YR5/3)
955.0 - 956.0	schwach siltiger Ton, homogen, olivgrau (5Y5/2)
956.0 - 991.0	schwach siltiger Ton, homogen bis leichte Laminierung im mm-Bereich, graubraun (2.5Y5/2) bis dunkel graubraun (2.5Y4/2), dunkle graubraune (2.5Y4/2), siltige bis feinsandige Bänder bei 974.0 cm, 985.0 cm und 989.5 cm
991.0 - 995.0	schwach siltiger Ton, homogen, braun (10YR5/3), dunkle graubraune (2.5Y4/2), siltige bis feinsandige Bänder bei 992.0 cm und 993.5
995.0 - 1005.0	schwach siltiger Ton, homogen bis leichte Laminierung im mm-Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3)
1005.0 - 1009.0	Silt bis Feinsand, homogen, olivbraun (2.5Y4/3)
1009.9 - 1021.0	schwach siltiger Ton, homogen bis leichte Laminierung im mm-Bereich, hell olivbraun (2.5Y5/3)
1021.0 - 1023.0	toniger Silt, homogen, dunkelgrau (5Y4/2)
1023.0 - 1051.0	schwach siltiger Ton, homogen bis leichte Laminierung im mm-Bereich, braun (10YR5/3), helle olivbraune (2.5Y5/3), dunkelgraue (10YR4/1) und sehr dunkle graubraune (10YR3/2) Lagen bei 1027.5 cm, 1033.5 cm und zwischen 1036.0 - 1040.0 cm

Tab. A-6: Wassergehalte der Oberflächenkerne

Tiefe [cm]	PG1114		PG1107		PG1108		PG1109		PG1110	
	[Gew.%]	[ww]								
0.5	20.35	0.204	36.55	0.366	45.46	0.455	52.60	0.526	53.38	0.534
1.5	20.20	0.202	34.34	0.343	43.66	0.437	51.82	0.518	53.74	0.537
2.5	19.99	0.200	32.58	0.326	40.80	0.408	47.88	0.479	49.58	0.496
3.5	20.00	0.200	32.86	0.329	41.23	0.412	48.08	0.481	46.51	0.465
4.5	19.71	0.197	32.76	0.328	40.49	0.405	48.98	0.490	48.26	0.483
5.5	19.61	0.196	32.76	0.328	37.14	0.371	45.14	0.451	46.28	0.463
6.5	18.28	0.183	29.28	0.293	39.82	0.398	47.38	0.474	42.35	0.423
7.5	17.12	0.171	27.59	0.276	39.69	0.397	49.47	0.495	49.16	0.492
8.5	18.55	0.186	28.68	0.287	40.83	0.408	48.82	0.488	48.70	0.487
9.5	18.97	0.190			39.63	0.396	47.61	0.476	46.18	0.462
10.5	18.94	0.189			39.13	0.391	47.31	0.473	46.91	0.469
11.5	18.80	0.188			40.15	0.402	49.10	0.491	48.59	0.486
12.5	18.81	0.188			39.03	0.390	48.88	0.489	47.83	0.478
13.5	19.07	0.191			37.47	0.375	48.10	0.481	47.57	0.476
14.5	18.26	0.183			37.17	0.372	47.24	0.472	46.65	0.466
15.5	18.57	0.186			34.84	0.348	48.62	0.486	46.77	0.468
16.5	19.37	0.194			36.85	0.369	49.20	0.492	46.71	0.467
17.5	19.37	0.194			37.43	0.374	49.79	0.498	48.22	0.482
18.5	18.95	0.189			35.40	0.354	47.33	0.473	46.83	0.468
19.5	19.49	0.195			36.10	0.361	49.70	0.497	47.04	0.470
20.5	19.34	0.193			36.05	0.360	46.16	0.462	48.37	0.484
21.5	19.05	0.190			36.10	0.361	47.65	0.477	49.30	0.493
22.5	19.13	0.191			36.65	0.366	47.52	0.475	51.21	0.512
23.5	18.68	0.187			36.42	0.364	47.10	0.471	50.09	0.501
24.5	19.24	0.192			36.31	0.363	49.40	0.494	49.21	0.492
25.5	19.53	0.195			33.38	0.334	49.28	0.493	50.30	0.503
26.5	19.37	0.194					48.48	0.485	50.98	0.510
27.5	19.81	0.198					48.49	0.485	51.49	0.515
28.5	19.50	0.195					49.23	0.492	53.14	0.531
29.5	19.88	0.199					50.70	0.507	51.20	0.512
30.5	19.92	0.199					51.40	0.514	50.73	0.507
32.5	20.77	0.208					51.52	0.515	49.95	0.499
33.5	20.29	0.203					50.54	0.505	47.55	0.476
34.5	20.58	0.206					50.59	0.506	46.20	0.462
35.5	20.73	0.207					49.82	0.498	47.81	0.478
36.5	20.63	0.206					47.36	0.474	47.52	0.475
37.5	21.20	0.212					45.31	0.453	48.29	0.483
38.5	20.63	0.206					45.06	0.451	49.05	0.491
39.5	20.33	0.203					45.03	0.450	47.98	0.480
40.5	19.19	0.192					44.45	0.445	47.18	0.472
41.5	20.23	0.202					45.80	0.458	48.07	0.481
42.5	19.51	0.195					45.93	0.459	48.96	0.490
43.5	19.74	0.197					43.93	0.439	49.44	0.494
44.5	19.43	0.194					42.84	0.428	49.25	0.492
45.5	19.19	0.192					43.50	0.435	48.89	0.489
46.5	18.85	0.189					45.87	0.459	50.17	0.502
47.5	19.19	0.192					45.14	0.451	51.21	0.512
48.5	19.71	0.197					47.80	0.478	48.67	0.487
49.5	19.55	0.195					45.79	0.458	49.13	0.491
50.5	19.25	0.193					43.90	0.439	48.89	0.489
51.5	18.54	0.185					46.25	0.462	50.05	0.501
52.5	18.58	0.186					49.35	0.494	49.70	0.497
53.5	19.08	0.191					48.89	0.489	47.43	0.474
54.5	19.43	0.194					43.99	0.440	49.23	0.492
55.5	19.65	0.196					45.58	0.456	47.98	0.480
56.5	19.49	0.195					48.91	0.489	49.71	0.497
57.5	18.86	0.189					45.23	0.452	47.88	0.479
58.5	19.35	0.193					43.68	0.437	46.78	0.468
59.5	18.75	0.187					43.50	0.435		
60.5	19.70	0.197					46.18	0.462		
61.5	17.95	0.180					42.32	0.423		

Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PGI 111

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(grav%)	Wassergehalt (mw)	Magnet. Susz. -10GSI	Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(grav%)	Wassergehalt (mw)	Magnet. Susz. -10GSI
1111-1	17	17	47,68	0,28	3428,92	1111-5	88,50	88,50	48,98	0,48	3545,05
1111-1	18	18	47,26	0,47	3298,94	1111-5	89,50	89,50	48,98	0,47	3565,02
1111-1	19	19	45,84	0,46	3293,60	1111-5	91,50	91,50	47,92	0,48	3483,48
1111-1	20	20	44,87	0,45	3280,18	1111-5	93,50	93,50	48,16	0,48	3401,26
1111-1	21	21	42,66	0,45	3280,18	1111-5	94,50	94,50	48,05	0,48	3420,00
1111-1	22	22	47,95	0,58	4199,61	1111-5	96,50	96,50	47,50	0,47	3420,00
1111-1	23	23	56,97	0,57	4300,82	1111-5	96,50	96,50	47,12	0,47	3440,00
1111-1	25	25	55,78	0,57	4059,41	1111-5	98,50	98,50	47,18	0,47	3460,00
1111-1	26	26	56,93	0,56	4230,12	1111-5	99,50	99,50	46,54	0,47	3820,00
1111-1	27	27	56,29	0,56	4162,64	1111-5	100,50	100,50	45,16	0,45	3760,00
1111-1	28	28	55,66	0,56	4190,22	1111-5	101,50	101,50	46,09	0,46	3660,00
1111-1	29	29	54,72	0,54	3883,19	1111-5	101,50	101,50	47,14	0,47	3460,00
1111-1	30	30	53,96	0,54	3667,26	1111-5	102,50	102,50	48,10	0,48	3360,00
1111-1	31	31	53,62	0,54	3551,59	1111-5	103,50	103,50	48,80	0,47	3284,75
1111-1	32	32	53,06	0,53	3542,72	1111-5	104,50	104,50	48,75	0,46	3284,75
1111-1	33	33	53,80	0,54	3567,62	1111-5	104,50	104,50	48,55	0,46	3284,75
1111-1	34	34	55,54	0,56	3891,95	1111-5	104,50	104,50	48,51	0,47	3238,60
1111-1	35	35	57,21	0,57	4158,13	1111-5	104,50	104,50	48,51	0,48	3513,82
1111-1	36	36	58,49	0,56	4142,29	1111-5	104,50	104,50	48,32	0,48	3534,82
1111-1	37	37	57,45	0,57	4131,60	1111-5	104,50	104,50	48,10	0,48	3530,05
1111-1	38	38	58,11	0,59	4402,60	1111-5	104,50	104,50	48,56	0,48	3466,75
1111-1	39	39	58,52	0,59	4402,60	1111-5	104,50	104,50	47,82	0,48	3545,51
1111-1	40	40	58,52	0,59	4402,60	1111-5	104,50	104,50	48,48	0,48	3584,27
1111-1	41	41	57,42	0,52	4020,00	1111-5	104,50	104,50	49,21	0,49	3662,34
1111-1	42	42	56,25	0,56	3960,00	1111-5	104,50	104,50	48,75	0,49	3558,42
1111-1	43	43	56,25	0,56	3960,00	1111-5	104,50	104,50	48,75	0,49	3637,05
1111-1	44	44	54,96	0,55	3760,00	1111-5	104,50	104,50	49,03	0,49	3655,37
1111-1	45	45	54,96	0,54	3760,00	1111-5	104,50	104,50	49,75	0,50	3792,94
1111-1	46	46	54,12	0,54	3660,00	1111-5	104,50	104,50	48,24	0,48	3508,40
1111-1	47	47	53,79	0,54	3760,00	1111-5	104,50	104,50	49,38	0,49	3675,61
1111-1	48	48	54,95	0,55	3817,30	1111-5	104,50	104,50	49,64	0,50	3543,99
1111-1	49	49	55,03	0,55	3712,35	1111-5	104,50	104,50	49,34	0,49	3480,71
1111-1	50	50	54,80	0,55	3567,15	1111-5	104,50	104,50	49,39	0,49	3705,55
1111-1	51	51	53,19	0,55	3701,66	1111-5	104,50	104,50	48,15	0,48	3811,42
1111-1	52	52	53,53	0,45	3700,00	1111-5	104,50	104,50	47,35	0,47	3811,42
1111-1	53	53	45,14	0,45	3700,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	54	54	44,86	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	55	55	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	56	56	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	57	57	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	58	58	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	59	59	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	60	60	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	61	61	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	62	62	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	63	63	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	64	64	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	65	65	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	66	66	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	67	67	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	68	68	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	69	69	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	70	70	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	71	71	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	72	72	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	73	73	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	74	74	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	75	75	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	76	76	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	77	77	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	78	78	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	79	79	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	80	80	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	81	81	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	82	82	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	83	83	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	84	84	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	85	85	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	86	86	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	87	87	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	88	88	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	89	89	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02
1111-1	90	90	43,84	0,44	3660,00	1111-5	104,50	104,50	51,35	0,51	3522,02

Fortsetzung Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PG1111

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106(SI)	Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106(SI)
1111-5	179.5	174.5	50.82	0.51	3480.00	1111-5	260.50	255.50	47.70	0.48	3720.00
1111-5	180.5	175.5	50.20	0.50	3420.00	1111-5	261.50	256.50	48.74	0.49	3620.00
1111-5	181.5	176.5	50.28	0.50	3460.00	1111-5	263.50	258.50	48.60	0.49	3680.00
1111-5	183.5	178.5	49.58	0.50	3280.00	1111-5	264.50	259.50	47.69	0.48	3478.72
1111-5	184.5	179.5	50.18	0.50	3300.00	1111-5	265.50	260.50	48.09	0.48	3676.65
1111-5	185.5	180.5	49.99	0.50	3260.00	1111-5	266.50	261.50	48.86	0.49	3754.24
1111-5	186.5	181.5	49.76	0.50	3300.00	1111-5	268.50	263.50	48.82	0.49	3650.24
1111-5	188.5	183.5	51.57	0.52	3320.00	1111-5	269.50	264.50	47.71	0.48	3748.04
1111-5	189.5	184.5	48.32	0.49	3460.00	1111-5	270.50	265.50	47.30	0.47	3626.22
1111-5	190.5	185.5	47.61	0.48	3400.00	1111-5	271.50	266.50	47.68	0.48	3724.61
1111-5	191.5	186.5	47.26	0.47	3400.00	1111-5	273.50	268.50	48.11	0.48	3582.02
1111-5	193.5	188.5	46.04	0.46	3380.00	1111-5	274.50	269.50	49.37	0.49	3600.66
1111-5	194.5	189.5	43.98	0.44	3300.00	1111-5	275.50	270.50	47.76	0.48	3590.00
1111-5	195.5	190.5	45.32	0.45	3500.00	1111-5	276.50	271.50	48.30	0.48	3520.00
1111-5	196.5	191.5	46.85	0.47	3380.00	1111-5	278.50	273.50	48.43	0.48	3540.00
1111-5	198.5	193.5	48.43	0.48	3400.00	1111-5	279.50	274.50	48.44	0.48	3620.00
1111-5	199.5	194.5	47.99	0.48	3620.00	1111-5	280.50	275.50	48.89	0.49	3660.00
1111-5	200.5	195.5	49.73	0.50	3640.00	1111-5	281.50	276.50	48.65	0.49	3600.00
1111-5	201.5	196.5	49.22	0.49	3720.00	1111-5	283.50	278.50	49.11	0.49	3520.00
1111-5	203.5	198.5	47.86	0.48	4160.00	1111-5	284.50	279.50	50.22	0.50	3560.00
1111-5	204.5	199.5	48.62	0.49	4540.00	1111-5	285.50	280.50	52.99	0.53	3581.30
1111-5	205.5	200.5	48.94	0.49	4160.00	1111-5	286.50	281.50	49.90	0.50	3662.90
1111-5	206.5	201.5	49.13	0.49	3560.00	1111-5	288.50	283.50	50.32	0.50	3685.91
1111-5	208.5	203.5	49.03	0.49	3560.00	1111-5	289.50	284.50	50.59	0.51	3667.40
1111-5	209.5	204.5	48.56	0.49	3520.00	1111-5	290.50	285.50	50.87	0.51	3649.28
1111-5	211.5	206.5	50.29	0.50	3700.00	1111-5	291.50	286.50	49.52	0.50	3610.79
1111-5	213.5	208.5	48.22	0.48	3940.00	1111-5	293.50	288.50	49.85	0.50	3734.93
1111-5	214.5	209.5	47.23	0.47	3720.00	1111-5	294.50	289.50	49.51	0.50	3657.07
1111-5	215.5	210.5	47.72	0.48	3740.00	1111-5	295.50	290.50	48.98	0.49	3619.09
1111-5	216.5	211.5	48.24	0.48	3700.00	1111-5	296.50	291.50	48.98	0.49	3498.05
1111-5	218.5	213.5	48.89	0.49	3200.00	1111-5	298.50	293.50	49.35	0.49	3574.63
1111-5	223.5	218.5	48.15	0.48	3579.70	1111-5	299.50	294.50	48.58	0.49	3693.14
1111-5	224.5	219.5	48.49	0.48	3596.84	1111-5	300.50	295.50	48.07	0.48	3791.13
1111-5	225.5	220.5	49.03	0.49	3674.90	1111-5	301.50	296.50	47.63	0.48	3768.27
1111-5	226.5	221.5	48.69	0.49	3752.73	1111-5	303.50	298.50	48.05	0.48	3905.02
1111-5	228.5	223.5	49.80	0.50	3728.86	1111-5	304.50	299.50	47.61	0.48	3663.04
1111-5	229.5	224.5	48.82	0.49	3806.90	1111-5	305.50	300.50	48.19	0.48	3641.57
1111-5	230.5	225.5	49.42	0.49	3764.82	1111-5	306.50	301.50	48.75	0.49	3840.00
1111-5	231.5	226.5	48.97	0.49	3682.93	1111-5	308.50	303.50	51.14	0.51	3660.00
1111-5	233.5	228.5	48.87	0.49	3302.80	1111-6	309.50	304.50	50.65	0.51	3660.00
1111-5	234.5	229.5	48.26	0.48	3404.60	1111-6	310.50	305.50	50.62	0.51	3720.00
1111-5	235.5	230.5	48.92	0.49	3486.25	1111-6	311.50	306.50	51.22	0.51	3620.00
1111-5	236.5	231.5	48.70	0.49	3408.47	1111-6	312.50	307.50	49.84	0.50	3680.00
1111-5	238.5	233.5	49.01	0.49	3331.62	1111-6	313.50	308.50	49.79	0.50	3478.72
1111-5	239.5	234.5	48.39	0.49	3233.76	1111-6	314.50	309.50	49.62	0.50	3676.65
1111-5	240.5	235.5	48.62	0.49	3455.64	1111-6	315.50	310.50	50.02	0.50	3754.24
1111-5	241.5	236.5	48.46	0.48	3576.92	1111-6	316.50	311.50	50.21	0.50	3650.24
1111-5	243.5	238.5	47.98	0.48	3800.00	1111-6	317.50	312.50	50.11	0.50	3748.04
1111-5	244.5	239.5	48.92	0.49	3640.00	1111-6	318.50	313.50	51.92	0.52	3826.22
1111-5	245.5	240.5	48.90	0.49	3780.00	1111-6	319.50	314.50	49.23	0.49	3724.61
1111-5	246.5	241.5	48.71	0.49	3620.00	1111-6	320.50	315.50	49.95	0.50	3582.02
1111-5	248.5	243.5	48.96	0.49	3540.00	1111-6	321.50	316.50	49.95	0.50	3600.66
1111-5	249.5	244.5	49.39	0.49	3520.00	1111-6	322.50	317.50	50.27	0.50	3580.00
1111-5	250.5	245.5	48.73	0.49	3520.00	1111-6	323.50	318.50	50.64	0.51	3520.00
1111-5	251.5	246.5	49.42	0.49	3580.00	1111-6	324.50	319.50	49.48	0.49	3540.00
1111-5	253.5	248.5	48.69	0.49	3640.00	1111-6	325.50	320.50	49.56	0.50	3620.00
1111-5	254.5	249.5	48.34	0.48	3680.00	1111-6	326.50	321.50	49.71	0.50	3660.00
1111-5	255.5	250.5	49.29	0.49	3600.00	1111-6	327.50	322.50	49.68	0.50	3600.00
1111-5	256.5	251.5	49.45	0.49	3600.00	1111-6	328.50	323.50	49.58	0.50	3520.00
1111-5	258.5	253.5	48.18	0.48	3640.00	1111-6	329.50	324.50	49.40	0.49	3580.00
1111-5	259.5	254.5	46.41	0.46	3660.00	1111-6	330.50	325.50	49.47	0.49	3581.30

Fortsetzung Tab. A.7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz P01111

Kern	Böhrterfz (cm)	Tiefz (cm)	Wassergehalt (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Wassergehalt (t/t)	Magn. Susz. - 106GSU	Kern	Böhrterfz (cm)	Tiefz (cm)	Wassergehalt (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Wassergehalt (t/t)	Magn. Susz. - 106GSU
1111-6	286,5	329,5	49,66	0,49	3662,80	1111-6	368,5	412,5	45,17	0,45	4235,71
1111-6	289,5	331,5	49,87	0,50	3665,91	1111-6	369,5	412,5	45,90	0,46	4138,88
1111-6	290,5	332,5	50,77	0,51	3667,40	1111-6	370,5	413,5	47,39	0,47	3997,99
1111-6	291,5	333,5	50,91	0,51	3669,28	1111-6	371,5	414,5	47,89	0,48	3999,18
1111-6	293,5	334,5	51,52	0,52	3610,79	1111-6	373,5	416,5	46,71	0,46	4180,00
1111-6	293,5	335,5	51,51	0,52	3724,93	1111-6	373,5	417,5	49,28	0,48	3900,00
1111-6	293,5	336,5	51,51	0,52	3657,07	1111-6	373,5	418,5	49,21	0,48	3620,00
1111-6	293,5	337,5	51,69	0,52	3613,09	1111-6	373,5	419,5	48,97	0,49	3620,00
1111-6	293,5	338,5	51,69	0,52	3576,62	1111-6	373,5	420,5	48,97	0,49	3520,00
1111-6	298,5	342,5	51,03	0,51	3693,42	1111-6	380,5	423,5	48,75	0,48	3760,00
1111-6	298,5	343,5	50,86	0,51	3791,13	1111-6	381,5	424,5	48,06	0,48	3765,10
1111-6	300,5	343,5	50,33	0,50	3768,27	1111-6	381,5	426,5	48,57	0,49	3900,82
1111-6	301,5	344,5	51,02	0,51	3902,02	1111-6	385,5	427,5	48,38	0,48	3966,64
1111-6	303,5	346,5	50,97	0,51	3665,04	1111-6	385,5	429,5	47,93	0,48	3986,35
1111-6	304,5	347,5	50,82	0,51	3641,57	1111-6	388,5	429,5	47,94	0,48	3751,83
1111-6	305,5	348,5	50,47	0,50	3660,00	1111-6	389,5	431,5	48,89	0,49	3995,28
1111-6	306,5	349,5	50,85	0,51	3660,00	1111-6	389,5	432,5	48,89	0,49	3753,89
1111-6	308,5	351,5	51,06	0,51	3600,00	1111-6	390,5	433,5	47,50	0,48	3895,74
1111-6	309,5	352,5	50,28	0,50	3580,00	1111-6	391,5	434,5	48,48	0,48	3817,44
1111-6	310,5	353,5	51,24	0,51	3640,00	1111-6	391,5	435,5	47,84	0,48	3920,00
1111-6	310,5	354,5	51,47	0,51	3640,00	1111-6	391,5	437,5	47,71	0,48	3920,00
1111-6	310,5	354,5	50,71	0,50	3900,00	1111-6	395,5	438,5	47,85	0,48	3980,00
1111-6	312,5	357,5	49,88	0,49	3580,00	1111-6	395,5	439,5	48,32	0,49	3980,00
1111-6	312,5	358,5	49,21	0,48	3620,00	1111-6	395,5	441,5	48,80	0,48	4180,00
1111-6	312,5	359,5	48,38	0,48	3692,00	1111-6	399,5	441,5	48,30	0,48	4180,00
1111-6	312,5	360,5	48,38	0,48	3692,00	1111-6	401,5	443,5	48,33	0,48	4180,00
1111-6	312,5	361,5	48,03	0,48	3692,27	1111-6	401,5	444,5	47,16	0,47	3917,89
1111-6	312,5	362,5	48,23	0,48	3667,96	1111-6	401,5	446,5	47,50	0,47	3917,89
1111-6	320,5	363,5	48,58	0,49	3667,16	1111-6	405,5	447,5	47,04	0,47	3917,89
1111-6	321,5	364,5	48,02	0,48	3698,94	1111-6	405,5	448,5	47,04	0,47	3917,89
1111-6	323,5	366,5	48,82	0,48	3698,94	1111-6	408,5	449,5	46,52	0,47	3917,89
1111-6	324,5	367,5	48,21	0,48	3698,94	1111-6	408,5	451,5	46,52	0,47	3917,89
1111-6	325,5	368,5	47,68	0,48	3773,49	1111-6	409,5	451,5	46,52	0,47	3917,89
1111-6	326,5	369,5	46,37	0,46	3773,49	1111-6	409,5	453,5	46,52	0,47	3917,89
1111-6	328,5	371,5	47,02	0,47	3773,49	1111-6	410,5	453,5	46,52	0,47	3917,89
1111-6	329,5	372,5	46,58	0,47	3796,12	1111-6	411,5	454,5	46,54	0,47	3917,89
1111-6	330,5	373,5	46,80	0,46	3869,10	1111-6	411,5	455,5	46,54	0,48	3917,89
1111-6	331,5	374,5	46,80	0,46	3869,10	1111-6	411,5	456,5	46,54	0,48	3917,89
1111-6	333,5	376,5	46,69	0,47	3866,63	1111-6	414,5	457,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	335,5	378,5	47,42	0,48	3866,63	1111-6	415,5	458,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	382,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	459,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	383,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	384,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	385,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	386,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	387,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	388,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	389,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	390,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	391,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	392,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	393,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	394,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	395,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	396,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	397,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	398,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	399,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	400,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	401,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	402,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	403,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	404,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	405,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	406,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	407,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	408,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	409,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	410,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	411,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	412,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	413,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	414,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	415,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	416,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	417,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	418,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	419,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	420,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	421,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	422,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	423,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	424,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	425,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	426,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	427,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	428,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	429,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	430,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	431,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	432,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	433,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	434,5	48,37	0,48	3872,41	1111-6	415,5	461,5	46,72	0,49	3900,00
1111-6	338,5	435,5	48,37	0,48							

Fortsetzung Tab. A-7: Wassergerichte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PGI111

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Wassergerichte [Ccmw%]	Magn.Suszept. [10SIU]	Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Wassergerichte [Ccmw%]	Magn.Suszept. [10SIU]
1111-6	445	488	46	0,46	1111-6	525	567	56,5	5,67
1111-6	446	489	47	0,47	1111-6	526	568	56,5	5,68
1111-6	447	490	48	0,48	1111-6	527	569	56,5	5,69
1111-6	448	491	49	0,49	1111-6	528	570	56,5	5,70
1111-6	449	492	50	0,50	1111-6	529	571	56,5	5,71
1111-6	450	493	51	0,51	1111-6	530	572	56,5	5,72
1111-6	451	494	52	0,52	1111-6	531	573	56,5	5,73
1111-6	452	495	53	0,53	1111-6	532	574	56,5	5,74
1111-6	453	496	54	0,54	1111-6	533	575	56,5	5,75
1111-6	454	497	55	0,55	1111-6	534	576	56,5	5,76
1111-6	455	498	56	0,56	1111-6	535	577	56,5	5,77
1111-6	456	499	57	0,57	1111-6	536	578	56,5	5,78
1111-6	457	500	58	0,58	1111-6	537	579	56,5	5,79
1111-6	458	501	59	0,59	1111-6	538	580	56,5	5,80
1111-6	459	502	60	0,60	1111-6	539	581	56,5	5,81
1111-6	460	503	61	0,61	1111-6	540	582	56,5	5,82
1111-6	461	504	62	0,62	1111-6	541	583	56,5	5,83
1111-6	462	505	63	0,63	1111-6	542	584	56,5	5,84
1111-6	463	506	64	0,64	1111-6	543	585	56,5	5,85
1111-6	464	507	65	0,65	1111-6	544	586	56,5	5,86
1111-6	465	508	66	0,66	1111-6	545	587	56,5	5,87
1111-6	466	509	67	0,67	1111-6	546	588	56,5	5,88
1111-6	467	510	68	0,68	1111-6	547	589	56,5	5,89
1111-6	468	511	69	0,69	1111-6	548	590	56,5	5,90
1111-6	469	512	70	0,70	1111-6	549	591	56,5	5,91
1111-6	470	513	71	0,71	1111-6	550	592	56,5	5,92
1111-6	471	514	72	0,72	1111-6	551	593	56,5	5,93
1111-6	472	515	73	0,73	1111-6	552	594	56,5	5,94
1111-6	473	516	74	0,74	1111-6	553	595	56,5	5,95
1111-6	474	517	75	0,75	1111-6	554	596	56,5	5,96
1111-6	475	518	76	0,76	1111-6	555	597	56,5	5,97
1111-6	476	519	77	0,77	1111-6	556	598	56,5	5,98
1111-6	477	520	78	0,78	1111-6	557	599	56,5	5,99
1111-6	478	521	79	0,79	1111-6	558	600	56,5	6,00
1111-6	479	522	80	0,80	1111-6	559	601	56,5	6,01
1111-6	480	523	81	0,81	1111-6	560	602	56,5	6,02
1111-6	481	524	82	0,82	1111-6	561	603	56,5	6,03
1111-6	482	525	83	0,83	1111-6	562	604	56,5	6,04
1111-6	483	526	84	0,84	1111-6	563	605	56,5	6,05
1111-6	484	527	85	0,85	1111-6	564	606	56,5	6,06
1111-6	485	528	86	0,86	1111-6	565	607	56,5	6,07
1111-6	486	529	87	0,87	1111-6	566	608	56,5	6,08
1111-6	487	530	88	0,88	1111-6	567	609	56,5	6,09
1111-6	488	531	89	0,89	1111-6	568	610	56,5	6,10
1111-6	489	532	90	0,90	1111-6	569	611	56,5	6,11
1111-6	490	533	91	0,91	1111-6	570	612	56,5	6,12
1111-6	491	534	92	0,92	1111-6	571	613	56,5	6,13
1111-6	492	535	93	0,93	1111-6	572	614	56,5	6,14
1111-6	493	536	94	0,94	1111-6	573	615	56,5	6,15
1111-6	494	537	95	0,95	1111-6	574	616	56,5	6,16
1111-6	495	538	96	0,96	1111-6	575	617	56,5	6,17
1111-6	496	539	97	0,97	1111-6	576	618	56,5	6,18
1111-6	497	540	98	0,98	1111-6	577	619	56,5	6,19
1111-6	498	541	99	0,99	1111-6	578	620	56,5	6,20
1111-6	499	542	100	0,99	1111-6	579	621	56,5	6,21
1111-6	500	543	101	0,99	1111-6	580	622	56,5	6,22
1111-6	501	544	102	0,98	1111-6	581	623	56,5	6,23
1111-6	502	545	103	0,97	1111-6	582	624	56,5	6,24
1111-6	503	546	104	0,96	1111-6	583	625	56,5	6,25
1111-6	504	547	105	0,95	1111-6	584	626	56,5	6,26
1111-6	505	548	106	0,94	1111-6	585	627	56,5	6,27
1111-6	506	549	107	0,93	1111-6	586	628	56,5	6,28
1111-6	507	550	108	0,92	1111-6	587	629	56,5	6,29
1111-6	508	551	109	0,91	1111-6	588	630	56,5	6,30
1111-6	509	552	110	0,90	1111-6	589	631	56,5	6,31
1111-6	510	553	111	0,89	1111-6	590	632	56,5	6,32
1111-6	511	554	112	0,88	1111-6	591	633	56,5	6,33
1111-6	512	555	113	0,87	1111-6	592	634	56,5	6,34
1111-6	513	556	114	0,86	1111-6	593	635	56,5	6,35
1111-6	514	557	115	0,85	1111-6	594	636	56,5	6,36
1111-6	515	558	116	0,84	1111-6	595	637	56,5	6,37
1111-6	516	559	117	0,83	1111-6	596	638	56,5	6,38
1111-6	517	560	118	0,82	1111-6	597	639	56,5	6,39
1111-6	518	561	119	0,81	1111-6	598	640	56,5	6,40
1111-6	519	562	120	0,80	1111-6	599	641	56,5	6,41
1111-6	520	563	121	0,79	1111-6	600	642	56,5	6,42
1111-6	521	564	122	0,78	1111-6	601	643	56,5	6,43
1111-6	522	565	123	0,77	1111-6	602	644	56,5	6,44
1111-6	523	566	124	0,76	1111-6	603	645	56,5	6,45
1111-6	524	567	125	0,75	1111-6	604	646	56,5	6,46
1111-6	525	568	126	0,74	1111-6	605	647	56,5	6,47
1111-6	526	569	127	0,73	1111-6	606	648	56,5	6,48
1111-6	527	570	128	0,72	1111-6	607	649	56,5	6,49
1111-6	528	571	129	0,71	1111-6	608	650	56,5	6,50
1111-6	529	572	130	0,70	1111-6	609	651	56,5	6,51
1111-6	530	573	131	0,69	1111-6	610	652	56,5	6,52
1111-6	531	574	132	0,68	1111-6	611	653	56,5	6,53
1111-6	532	575	133	0,67	1111-6	612	654	56,5	6,54
1111-6	533	576	134	0,66	1111-6	613	655	56,5	6,55
1111-6	534	577	135	0,65	1111-6	614	656	56,5	6,56
1111-6	535	578	136	0,64	1111-6	615	657	56,5	6,57
1111-6	536	579	137	0,63	1111-6	616	658	56,5	6,58
1111-6	537	580	138	0,62	1111-6	617	659	56,5	6,59
1111-6	538	581	139	0,61	1111-6	618	660	56,5	6,60
1111-6	539	582	140	0,60	1111-6	619	661	56,5	6,61
1111-6	540	583	141	0,59	1111-6	620	662	56,5	6,62
1111-6	541	584	142	0,58	1111-6	621	663	56,5	6,63
1111-6	542	585	143	0,57	1111-6	622	664	56,5	6,64
1111-6	543	586	144	0,56	1111-6	623	665	56,5	6,65
1111-6	544	587	145	0,55	1111-6	624	666	56,5	6,66
1111-6	545	588	146	0,54	1111-6	625	667	56,5	6,67
1111-6	546	589	147	0,53	1111-6	626	668	56,5	6,68
1111-6	547	590	148	0,52	1111-6	627	669	56,5	6,69
1111-6	548	591	149	0,51	1111-6	628	670	56,5	6,70
1111-6	549	592	150	0,50	1111-6	629	671	56,5	6,71
1111-6	550	593	151	0,49	1111-6	630	672	56,5	6,72
1111-6	551	594	152	0,48	1111-6	631	673	56,5	6,73
1111-6	552	595	153	0,47	1111-6	632	674	56,5	6,74
1111-6	553	596	154	0,46	1111-6	633	675	56,5	6,75
1111-6	554	597	155	0,45	1111-6	634	676	56,5	6,76
1111-6	555	598	156	0,44	1111-6	635	677	56,5	6,77
1111-6	556	599	157	0,43	1111-6	636	678	56,5	6,78
1111-6	557	600	158	0,42	1111-6	637	679	56,5	6,79
1111-6	558	601	159	0,41	1111-6	638	680	56,5	6,80
1111-6	559	602	160	0,40	1111-6	639	681	56,5	6,81
1111-6	560	603	161	0,39	1111-6	640	682	56,5	6,82
1111-6	561	604	162	0,38	1111-6	641	683	56,5	6,83
1111-6	562	605	163	0,37	1111-6	642	684	56,5	6,84
1111-6	563	606	164	0,36	1111-6	643	685	56,5	6,85
1111-6	564	607	165	0,35	1111-6	644	686	56,5	6,86
1111-6	565	608	166	0,34	1111-6	645	687	56,5	6,87
1111-6	566	609	167	0,33	1111-6	646	688	56,5	6,88
1111-6	567	610	168	0,32	1111-6	647	689	56,5	6,89
1111-6	568	611	169	0,31	1111-6	648	690	56,5	6,90
1111-6	569	612	170	0,30	1111-6	649	691	56,5	6,91
1111-6	570	613	171	0,29	1111-6	650	692	56,5	6,92
1111-6	571	614	172	0,28	1111-6	651	693	56,5	6,93
1111-6	572	615	173	0,27	1111-6	652	694	56,5	6,94
1111-6	573	616	174	0,26	1111-6	653	695	56,5	6,95
1111-6	574	617	175	0,25	1111-6	654	696	5	

Fortsetzung Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PG1111

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(±)w%	Wassergehalt (l/wl)	Magn. Susz. *10 <sup>6</sup> SI	Kern Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(±)w%	Wassergehalt (l/wl)	Magn. Susz. *10 <sup>6</sup> SI
1111-7	589,5	645,2	41,32	0,43	4400,00	1111-7	678,5	725,5	40,18	4680,00
1111-7	599,5	646,5	42,27	0,46	4680,00	1111-7	681,5	726,5	41,87	4420,00
1111-7	600,5	667,5	42,73	0,42	4420,00	1111-7	683,5	727,5	45,87	4160,00
1111-7	605,5	651,5	43,05	0,43	3960,00	1111-7	684,5	730,5	47,39	3360,00
1111-7	606,5	652,5	43,63	0,44	4260,00	1111-7	685,5	731,5	49,09	2880,00
1111-7	608,5	654,5	43,90	0,44	4400,00	1111-7	686,5	732,5	51,20	2760,00
1111-7	609,5	655,5	44,35	0,46	4680,00	1111-7	688,5	734,5	46,90	3000,00
1111-7	610,5	656,5	44,90	0,46	3870,00	1111-7	689,5	735,5	51,09	2756,47
1111-7	611,5	657,5	45,83	0,46	4100,00	1111-7	690,5	736,5	51,09	3208
1111-7	613,5	659,5	42,99	0,42	3970,00	1111-7	692,5	737,5	51,99	3276
1111-7	615,5	661,5	45,33	0,46	4000,00	1111-7	694,5	741,5	48,43	2455,19
1111-7	617,5	663,5	46,16	0,46	3880,00	1111-7	696,5	742,5	52,08	2413,76
1111-7	619,5	665,5	47,51	0,48	4000,00	1111-7	698,5	744,5	52,76	2399,67
1111-7	621,5	667,5	47,51	0,48	3660,00	1111-7	699,5	745,5	48,47	2188,31
1111-7	623,5	669,5	48,81	0,46	3700,00	1111-7	700,5	746,5	49,38	2188,31
1111-7	625,5	671,5	48,91	0,47	3940,00	1111-7	701,5	747,5	49,10	2402,79
1111-7	627,5	673,5	45,13	0,45	3660,00	1111-7	705,5	751,5	49,64	2402,79
1111-7	629,5	675,5	45,24	0,45	3780,00	1111-7	706,5	752,5	51,44	1835,68
1111-7	631,5	677,5	45,16	0,45	3960,00	1111-7	709,5	754,5	50,04	1949,32
1111-7	633,5	679,5	45,51	0,46	4480,00	1111-7	710,5	755,5	49,61	1866,65
1111-7	635,5	681,5	45,29	0,46	4200,00	1111-7	713,5	757,5	48,47	2104,65
1111-7	637,5	683,5	46,16	0,46	3580,00	1111-7	715,5	759,5	46,80	2240,63
1111-7	639,5	685,5	47,21	0,48	4400,00	1111-7	718,5	763,5	47,03	2162,44
1111-7	641,5	687,5	47,19	0,48	4464,39	1111-7	719,5	765,5	47,03	2162,44
1111-7	643,5	689,5	43,19	0,45	4400,00	1111-7	723,5	769,5	45,09	2289,35
1111-7	645,5	691,5	42,73	0,45	4507,56	1111-7	726,5	772,5	47,21	2172,37
1111-7	647,5	693,5	43,23	0,45	4800,23	1111-7	727,5	773,5	50,16	1999,99
1111-7	649,5	695,5	43,23	0,45	4513,25	1111-7	728,5	774,5	49,19	2018,22
1111-7	651,5	697,5	43,57	0,45	4674,80	1111-7	729,5	775,5	49,19	2018,22
1111-7	653,5	699,5	42,08	0,42	4156,53	1111-7	735,5	778,5	48,24	1980,00
1111-7	655,5	701,5	42,79	0,41	4698,16	1111-7	736,5	779,5	48,17	1980,00
1111-7	657,5	703,5	41,05	0,41	4780,00	1111-7	739,5	782,5	48,17	1980,00
1111-7	659,5	705,5	42,23	0,42	4580,00	1111-7	741,5	785,5	50,42	1520,00
1111-7	661,5	707,5	41,64	0,42	4680,00	1111-7	743,5	787,5	54,82	1520,00
1111-7	663,5	709,5	41,17	0,42	4680,00	1111-7	745,5	789,5	54,82	1520,00
1111-7	665,5	711,5	40,22	0,40	4890,00	1111-7	748,5	791,5	48,64	2040,00
1111-7	667,5	713,5	40,22	0,40	4890,00	1111-7	751,5	794,5	50,19	1920,00
1111-7	669,5	715,5	40,22	0,40	5220,00	1111-7	753,5	796,5	52,24	1800,00
1111-7	671,5	717,5	40,57	0,42	4600,00	1111-7	755,5	798,5	53,35	1720,00
1111-7	673,5	719,5	40,56	0,42	4400,00	1111-7	756,5	799,5	53,35	1660,00
1111-7	675,5	721,5	42,86	0,46	4400,00	1111-7	759,5	801,5	54,01	1660,00
1111-7	677,5	723,5	41,91	0,42	4360,00	1111-7	761,5	803,5	49,78	1900,00
1111-7	679,5	725,5	38,53	0,39	4860,00	1111-7	763,5	805,5	48,63	2000,00
1111-7	681,5	727,5	39,10	0,39	4860,00	1111-7	765,5	807,5	50,42	1720,00
1111-7	683,5	729,5	38,53	0,39	5000,00	1111-7	767,5	809,5	51,04	1720,00
1111-7	685,5	731,5	39,10	0,39	5000,00	1111-7	769,5	811,5	51,04	1500,00
1111-7	687,5	733,5	38,63	0,37	5260,00	1111-7	771,5	813,5	55,92	1500,00
1111-7	689,5	735,5	38,63	0,37	4900,00	1111-7	773,5	815,5	55,92	1500,00
1111-7	691,5	737,5	39,32	0,39	4900,00	1111-7	775,5	817,5	54,69	1500,00
1111-7	693,5	739,5	40,68	0,41	4700,00	1111-7	777,5	819,5	54,69	1500,00
1111-7	695,5	741,5	39,42	0,39	4890,00	1111-7	779,5	821,5	53,32	1720,00
1111-7	697,5	743,5	39,42	0,39	4890,00	1111-7	781,5	823,5	53,32	1620,00
1111-7	699,5	745,5	38,53	0,40	4820,00	1111-7	783,5	825,5	54,38	1620,00
1111-7	701,5	747,5	38,53	0,40	5000,00	1111-7	785,5	827,5	54,31	1640,00
1111-7	703,5	749,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	787,5	829,5	54,31	1640,00
1111-7	705,5	751,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	789,5	831,5	54,31	1640,00
1111-7	707,5	753,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	791,5	833,5	54,31	1640,00
1111-7	709,5	755,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	793,5	835,5	54,31	1640,00
1111-7	711,5	757,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	795,5	837,5	54,31	1640,00
1111-7	713,5	759,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	797,5	839,5	54,31	1640,00
1111-7	715,5	761,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	799,5	841,5	54,31	1640,00
1111-7	717,5	763,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	801,5	843,5	54,31	1640,00
1111-7	719,5	765,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	803,5	845,5	54,31	1640,00
1111-7	721,5	767,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	805,5	847,5	54,31	1640,00
1111-7	723,5	769,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	807,5	849,5	54,31	1640,00
1111-7	725,5	771,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	809,5	851,5	54,31	1640,00
1111-7	727,5	773,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	811,5	853,5	54,31	1640,00
1111-7	729,5	775,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	813,5	855,5	54,31	1640,00
1111-7	731,5	777,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	815,5	857,5	54,31	1640,00
1111-7	733,5	779,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	817,5	859,5	54,31	1640,00
1111-7	735,5	781,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	819,5	861,5	54,31	1640,00
1111-7	737,5	783,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	821,5	863,5	54,31	1640,00
1111-7	739,5	785,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	823,5	865,5	54,31	1640,00
1111-7	741,5	787,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	825,5	867,5	54,31	1640,00
1111-7	743,5	789,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	827,5	869,5	54,31	1640,00
1111-7	745,5	791,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	829,5	871,5	54,31	1640,00
1111-7	747,5	793,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	831,5	873,5	54,31	1640,00
1111-7	749,5	795,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	833,5	875,5	54,31	1640,00
1111-7	751,5	797,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	835,5	877,5	54,31	1640,00
1111-7	753,5	799,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	837,5	879,5	54,31	1640,00
1111-7	755,5	801,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	839,5	881,5	54,31	1640,00
1111-7	757,5	803,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	841,5	883,5	54,31	1640,00
1111-7	759,5	805,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	843,5	885,5	54,31	1640,00
1111-7	761,5	807,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	845,5	887,5	54,31	1640,00
1111-7	763,5	809,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	847,5	889,5	54,31	1640,00
1111-7	765,5	811,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	849,5	891,5	54,31	1640,00
1111-7	767,5	813,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	851,5	893,5	54,31	1640,00
1111-7	769,5	815,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	853,5	895,5	54,31	1640,00
1111-7	771,5	817,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	855,5	897,5	54,31	1640,00
1111-7	773,5	819,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	857,5	899,5	54,31	1640,00
1111-7	775,5	821,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	859,5	901,5	54,31	1640,00
1111-7	777,5	823,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	861,5	903,5	54,31	1640,00
1111-7	779,5	825,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	863,5	905,5	54,31	1640,00
1111-7	781,5	827,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	865,5	907,5	54,31	1640,00
1111-7	783,5	829,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	867,5	909,5	54,31	1640,00
1111-7	785,5	831,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	869,5	911,5	54,31	1640,00
1111-7	787,5	833,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	871,5	913,5	54,31	1640,00
1111-7	789,5	835,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	873,5	915,5	54,31	1640,00
1111-7	791,5	837,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	875,5	917,5	54,31	1640,00
1111-7	793,5	839,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	877,5	919,5	54,31	1640,00
1111-7	795,5	841,5	40,36	0,41	4680,00	1111-7	879,5</			

Fortsetzung Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PG1111

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106[SI]	Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106[SI]
1111-7	759.5	805.5	54.52	0.55	1760.00	1111-8	821.5	882.5	53.25	0.53	1140.00
1111-7	760.5	806.5	53.56	0.54	1960.00	1111-8	823.5	884.5	44.06	0.44	2080.00
1111-7	761.5	807.5	48.48	0.48	1860.00	1111-8	824.5	885.5	47.48	0.47	2558.32
1111-7	763.5	809.5	51.25	0.51	1420.00	1111-8	825.5	886.5	48.92	0.49	2096.41
1111-7	764.5	810.5	54.51	0.55	1460.00	1111-8	826.5	887.5	47.93	0.48	1954.75
1111-7	765.5	811.5	54.49	0.54	1660.00	1111-8	828.5	889.5	52.58	0.53	1770.85
1111-7	766.5	812.5	53.43	0.53	1740.00	1111-8	829.5	890.5	56.84	0.57	1668.08
1111-7	768.5	814.5	51.72	0.52	2223.10	1111-8	830.5	891.5	58.44	0.58	1587.54
1111-7	769.5	815.5	42.82	0.43	3066.04	1111-8	831.5	892.5	60.78	0.61	1265.53
1111-7	770.5	816.5	51.25	0.51	1928.82	1111-8	833.5	894.5	59.76	0.60	982.32
1111-7	771.5	817.5	51.63	0.52	1790.67	1111-8	834.5	895.5	61.20	0.61	1060.82
1111-7	773.5	819.5	52.96	0.53	1913.30	1111-8	835.5	896.5	61.15	0.61	960.00
1111-7	774.5	820.5	49.07	0.49	2014.94	1111-8	836.5	897.5	61.87	0.62	840.00
1111-7	775.5	821.5	49.67	0.50	1816.40	1111-8	838.5	899.5	62.51	0.63	760.00
1111-7	776.5	822.5	53.40	0.53	1797.75	1111-8	839.5	900.5	60.72	0.61	780.00
1111-7	778.5	824.5	51.55	0.52	1797.53	1111-8	840.5	901.5	57.14	0.57	800.00
1111-7	779.5	825.5	51.56	0.52	1859.56	1111-8	841.5	902.5	52.50	0.53	960.00
1111-7	780.5	826.5	52.66	0.53	1833.71	1111-8	843.5	904.5	49.32	0.49	1580.00
1111-7	781.5	827.5	54.41	0.54	1532.08	1111-8	844.5	905.5	50.25	0.50	1820.00
1111-7	783.5	829.5	54.81	0.55	1549.02	1111-8	845.5	906.5	51.91	0.52	1880.00
1111-7	784.5	830.5	52.92	0.53	1627.44	1111-8	846.5	907.5	53.92	0.54	1880.00
1111-7	785.5	831.5	54.46	0.54	1505.80	1111-8	848.5	909.5	57.47	0.57	1340.00
1111-7	786.5	832.5	55.39	0.55	1824.24	1111-8	849.5	910.5	60.40	0.60	1200.00
1111-7	788.5	834.5	50.98	0.51	1761.87	1111-8	853.5	914.5	56.72	0.57	1020.00
1111-7	789.5	835.5	52.39	0.52	1683.53	1111-8	854.5	915.5	58.39	0.58	1060.00
1111-7	790.5	836.5	52.57	0.53	1705.65	1111-8	855.5	916.5	58.85	0.59	1000.00
1111-7	791.5	837.5	52.52	0.53	1607.27	1111-8	856.5	917.5	59.98	0.60	940.00
1111-7	793.5	839.5	56.91	0.57	1330.40	1111-8	858.5	919.5	60.12	0.60	920.00
1111-7	794.5	840.5	56.88	0.57	1332.43	1111-8	859.5	920.5	59.96	0.60	920.00
1111-7	795.5	841.5	56.30	0.56	1354.19	1111-8	860.5	921.5	59.79	0.60	980.00
1111-7	796.5	842.5	55.32	0.55	1455.89	1111-8	861.5	922.5	62.20	0.62	860.00
1111-7	798.5	844.5	57.53	0.58	1599.18	1111-8	863.5	924.5	61.21	0.61	760.00
1111-7	799.5	845.5	52.12	0.52	1557.67	1111-8	864.5	925.5	60.53	0.61	780.00
1111-7	800.5	846.5	52.09	0.52	1447.29	1111-8	865.5	926.5	60.37	0.60	780.00
1111-7	801.5	847.5	52.48	0.52	1424.97	1111-8	866.5	927.5	58.87	0.59	880.00
1111-7	803.5	849.5	53.72	0.54	1040.00	1111-8	869.5	929.5	57.78	0.58	960.00
1111-8	789.5	850.5	56.01	0.56	1683.53	1111-8	869.5	930.5	57.95	0.58	1000.00
1111-8	790.5	851.5	59.25	0.59	1705.65	1111-8	870.5	931.5	51.65	0.52	1460.00
1111-8	791.5	852.5	60.11	0.60	1607.27	1111-8	871.5	932.5	49.83	0.50	1820.00
1111-8	793.5	854.5	48.28	0.48	1330.40	1111-8	873.5	934.5	52.08	0.52	1740.00
1111-8	794.5	855.5	49.25	0.49	1332.43	1111-8	874.5	935.5	52.07	0.52	1800.00
1111-8	795.5	856.5	49.23	0.49	1354.19	1111-8	875.5	936.5	50.17	0.50	1700.00
1111-8	796.5	857.5	51.03	0.51	1455.89	1111-8	876.5	937.5	46.90	0.47	2040.00
1111-8	798.5	859.5	60.29	0.60	1599.18	1111-8	878.5	939.5	51.48	0.51	1820.00
1111-8	799.5	860.5	62.59	0.63	1557.67	1111-8	879.5	940.5	50.27	0.50	1880.00
1111-8	800.5	861.5	61.50	0.62	1447.29	1111-8	880.5	941.5	52.66	0.53	1520.00
1111-8	801.5	862.5	60.41	0.60	1424.97	1111-8	881.5	942.5	52.42	0.52	1360.00
1111-8	803.5	864.5	56.13	0.56	1040.00	1111-8	883.5	944.5	53.24	0.53	1400.00
1111-8	804.5	865.5	48.74	0.49	1180.00	1111-8	884.5	945.5	51.36	0.51	1300.00
1111-8	805.5	866.5	49.86	0.50	1600.00	1111-8	885.5	946.5	49.97	0.50	1160.00
1111-8	806.5	867.5	48.86	0.49	1900.00	1111-8	886.5	947.5	48.28	0.48	1420.00
1111-8	808.5	869.5	50.46	0.50	1960.00	1111-8	888.5	949.5	55.87	0.56	1180.00
1111-8	809.5	870.5	55.31	0.55	1900.00	1111-8	889.5	950.5	59.80	0.60	840.00
1111-8	810.5	871.5	56.08	0.56	1460.00	1111-8	890.5	951.5	62.52	0.63	820.00
1111-8	811.5	872.5	57.69	0.58	1400.00	1111-8	891.5	952.5	62.60	0.63	860.00
1111-8	813.5	874.5	59.95	0.60	1100.00	1111-8	893.5	954.5	58.52	0.59	980.00
1111-8	814.5	875.5	59.74	0.60	980.00	1111-8	894.5	955.5	58.34	0.58	980.00
1111-8	815.5	876.5	58.14	0.58	1000.00	1111-8	895.5	956.5	56.99	0.57	1120.00
1111-8	816.5	877.5	57.44	0.57	980.00	1111-8	896.5	957.5	56.69	0.57	1180.00
1111-8	818.5	879.5	59.14	0.59	900.00	1111-8	898.5	959.5	61.88	0.62	760.00
1111-8	819.5	880.5	57.24	0.57	940.00	1111-8	899.5	960.5	61.53	0.62	780.00
1111-8	820.5	881.5	57.80	0.58	1040.00	1111-8	900.5	961.5	61.39	0.61	760.00

Fortsetzung Tab. A-7: Wassergehalte und Magnetische Suszeptibilitäten der Kernsequenz PG1111

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106ISII	Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Wassergehalt(Gew%)	Wassergehalt (ww)	Magn.Susz. *106ISII
1111-8	901.5	962.5	59.45	0.59	780.00	1111-8	981.5	1042.5	46.44	0.46	2060.00
1111-8	903.5	964.5	59.42	0.59	820.00	1111-8	983.5	1044.5	47.70	0.48	1620.00
1111-8	904.5	965.5	58.81	0.59	858.24	1111-8	984.5	1045.5	36.65	0.37	2160.00
1111-8	905.5	966.5	56.64	0.57	1036.59	1111-8	985.5	1046.5	47.00	0.47	2240.00
1111-8	906.5	967.5	51.98	0.52	1175.04	1111-8	986.5	1047.5	49.69	0.50	1920.00
1111-8	908.5	969.5	47.17	0.47	2091.23	1111-8	988.5	1049.5	37.34	0.37	2840.00
1111-8	909.5	970.5	61.55	0.62	1149.55	1111-8	989.5	1050.5	55.00	0.55	1500.00
1111-8	910.5	971.5	61.43	0.61	827.92	1111-8	990.5	1051.5	56.43	0.56	1200.00
1111-8	911.5	972.5	59.37	0.59	785.66	1111-8	991.5	1052.5	56.87	0.57	1140.00
1111-8	913.5	974.5	60.12	0.60	842.55	1111-8	993.5	1054.5	51.60	0.52	1420.00
1111-8	914.5	975.5	60.89	0.61	780.92	1111-8	994.5	1055.5	58.76	0.59	1180.00
1111-8	915.5	976.5	57.86	0.58	801.91	1111-8	995.5	1056.5	61.68	0.62	880.00
1111-8	916.5	977.5	51.43	0.51	963.50	1111-8	996.5	1057.5	61.72	0.62	820.00
1111-8	918.5	979.5	60.46	0.60	926.39	1111-8	998.5	1059.5	60.55	0.61	840.00
1111-8	919.5	980.5	59.19	0.59	828.39	1111-8	999.5	1060.5	58.86	0.59	900.00
1111-8	920.5	981.5	57.93	0.58	1071.06	1111-8	1000.5	1061.5	57.72	0.58	940.00
1111-8	921.5	982.5	54.82	0.55	1433.49	1111-8	1001.5	1062.5	54.23	0.54	1120.00
1111-8	923.5	984.5	53.31	0.53	1776.58	1111-8	1003.5	1064.5	57.62	0.58	940.00
1111-8	924.5	985.5	51.73	0.52	1578.27	1111-8	1004.5	1065.5	54.27	0.54	1060.00
1111-8	925.5	986.5	52.11	0.52	1795.37	1111-8	1005.5	1066.5	49.43	0.49	1440.00
1111-8	926.5	987.5	54.34	0.54	1482.84	1111-8	1006.5	1067.5	43.90	0.44	2240.00
1111-8	928.5	989.5	54.74	0.55	1428.00	1111-8	1008.5	1069.5	47.07	0.47	2700.00
1111-8	929.5	990.5	56.28	0.56	1304.65	1111-8	1009.5	1070.5	53.82	0.54	1760.00
1111-8	930.5	991.5	50.69	0.51	1601.55	1111-8	1010.5	1071.5	60.28	0.60	1020.00
1111-8	931.5	992.5	49.00	0.49	2398.45	1111-8	1011.5	1072.5	60.55	0.61	760.00
1111-8	933.5	994.5	50.99	0.51	2330.75	1111-8	1013.5	1074.5	59.31	0.59	760.00
1111-8	934.5	995.5	51.93	0.52	1925.25	1111-8	1014.5	1075.5	58.34	0.58	800.00
1111-8	935.5	996.5	50.69	0.51	1941.88	1111-8	1015.5	1076.5	57.79	0.58	820.00
1111-8	936.5	997.5	45.56	0.46	1884.03	1111-8	1016.5	1077.5	59.06	0.59	800.00
1111-8	938.5	999.5	41.39	0.41	1850.26	1111-8	1018.5	1079.5	57.75	0.58	880.00
1111-8	939.5	1000.5	47.95	0.48	2053.39	1111-8	1019.5	1080.5	53.57	0.54	1040.00
1111-8	940.5	1001.5	49.98	0.50	1977.40	1111-8	1020.5	1081.5	50.90	0.51	1300.00
1111-8	941.5	1002.5	39.76	0.40	2340.77	1111-8	1021.5	1082.5	38.86	0.39	1920.00
1111-8	943.5	1004.5	46.61	0.47	2209.04	1111-8	1023.5	1084.5	67.24	0.67	2800.00
1111-8	944.5	1005.5	36.10	0.36	2452.63	1111-8	1024.5	1085.5	48.03	0.48	2180.00
1111-8	945.5	1006.5	36.65	0.37	3316.15	1111-8	1025.5	1086.5	51.48	0.51	1780.00
1111-8	946.5	1007.5	52.90	0.53	2200.00	1111-8	1026.5	1087.5	47.99	0.48	1720.00
1111-8	948.5	1009.5	52.47	0.52	1420.00	1111-8	1028.5	1089.5	50.68	0.51	1800.00
1111-8	949.5	1010.5	57.09	0.57	1025.69	1111-8	1029.5	1090.5	47.54	0.48	1960.00
1111-8	953.5	1014.5	59.37	0.59	1107.17	1111-8	1030.5	1091.5	50.62	0.51	1900.00
1111-8	954.5	1015.5	57.05	0.57	948.58	1111-8	1031.5	1092.5	52.39	0.52	1700.00
1111-8	955.5	1016.5	59.83	0.60	890.17	1111-8	1033.5	1094.5	37.00	0.37	2720.00
1111-8	956.5	1017.5	59.93	0.60	892.77	1111-8	1034.5	1095.5	45.61	0.46	2440.00
1111-8	958.5	1019.5	58.72	0.59	855.71	1111-8	1035.5	1096.5	48.70	0.49	2100.00
1111-8	959.5	1020.5	57.76	0.58	796.89	1111-8	1036.5	1097.5	56.77	0.57	2300.00
1111-8	960.5	1021.5	59.33	0.59	778.02	1111-8	1039.5	1099.5	28.54	0.29	9440.00
1111-8	961.5	1022.5	60.28	0.60	817.60	1111-8	1040.5	1101.5	32.91	0.33	8300.00
1111-8	963.5	1024.5	59.43	0.59	776.18	1111-8	1041.5	1102.5	30.44	0.30	3480.00
1111-8	964.5	1025.5	60.28	0.60	754.50	1111-8	1043.5	1104.5	56.99	0.57	1600.00
1111-8	965.5	1026.5	61.33	0.61	772.01	1111-8	1044.5	1105.5	56.04	0.56	1500.00
1111-8	966.5	1027.5	59.98	0.60	867.41	1111-8	1045.5	1106.5	51.10	0.51	1660.00
1111-8	968.5	1029.5	59.13	0.59	745.95	1111-8	1046.5	1107.5	52.25	0.52	1380.00
1111-8	969.5	1030.5	61.11	0.61	764.42	1111-8	1048.5	1109.5	53.72	0.54	1420.00
1111-8	970.5	1031.5	61.46	0.61	823.02						
1111-8	971.5	1032.5	61.45	0.61	1080.00						
1111-8	973.5	1034.5	56.30	0.56	1220.00						
1111-8	974.5	1035.5	56.90	0.57	1360.00						
1111-8	975.5	1036.5	56.09	0.56	1380.00						
1111-8	976.5	1037.5	56.58	0.56	1500.00						
1111-8	978.5	1039.5	49.46	0.49	1980.00						
1111-8	979.5	1040.5	48.29	0.48	2140.00						
1111-8	980.5	1041.5	43.87	0.44							

Anhang

Tab. A-6a+7a: Korngrößenzusammensetzung der Kernsequenz PG1111 und der Oberflächenkerne

Korngrößenverteilung									
Kern	Bohrtiefe	< 2 µm (%)	2 - 4 µm (%)	4 - 8 µm (%)	8 - 16 µm (%)	16 - 52 µm (%)	52 - 63 µm (%)	> 63 µm (%)	
PG1111	46.5	41.5	45.69	14.33	23.50	12.85	3.13	0.44	0.07
	116.5	111.5	53.53	12.48	15.64	11.71	6.14	0.43	0.07
	116.5	111.5	53.40	12.39	15.96	12.06	5.16	0.96	0.07
	116.5	111.5	52.93	13.11	16.31	11.84	5.84	-0.10	0.07
	196.5	191.5	43.18	11.46	16.43	15.16	11.05	2.60	0.12
	196.5	191.5	42.66	11.56	17.14	15.51	10.28	2.73	0.12
	311.5	306.5	41.81	12.63	20.26	16.69	7.15	1.37	0.09
	311.5	306.5	42.44	11.68	20.36	17.05	7.55	0.83	0.09
	379.5	422.5	44.41	12.42	17.89	16.23	7.40	1.49	0.15
	379.5	422.5	44.41	11.83	18.86	16.62	6.38	1.74	0.15
	449.5	492.5	51.04	10.94	17.23	14.49	5.54	0.60	0.15
	449.5	492.5	50.78	10.69	17.39	14.09	5.81	1.08	0.15
	449.5	492.5	50.98	10.90	17.05	14.02	5.15	1.73	0.15
	499.5	542.5	38.93	9.70	15.90	20.08	13.45	1.84	0.11
	499.5	542.5	38.93	9.43	16.24	19.35	12.59	3.35	0.11
	549.5	595.5	55.05	7.06	11.97	12.79	10.32	2.66	0.15
	549.5	595.5	54.72	7.27	12.00	13.09	9.82	2.95	0.15
	549.5	595.5	54.91	7.47	11.65	13.34	10.00	2.48	0.15
	624.5	670.5	46.02	7.28	9.74	14.78	15.15	6.64	0.38
	624.5	670.5	46.08	7.33	10.96	14.71	15.15	5.40	0.38
	699.5	745.5	55.40	9.58	13.59	11.30	7.58	2.34	0.21
	699.5	745.5	55.14	9.84	13.29	11.02	7.99	2.51	0.21
	749.5	795.5	79.04	9.72	6.75	2.83	1.22	0.23	0.21
	749.5	795.5	79.05	10.02	6.68	2.87	1.07	0.09	0.21
	816.5	877.5	69.04	11.07	10.28	4.77	2.66	0.82	1.37
	816.5	877.5	67.31	12.69	10.30	5.21	2.51	0.60	1.37
	816.5	877.5	69.10	11.16	10.27	5.34	2.37	0.38	1.37
	861.5	922.5	91.13	5.47	2.72	0.66	-0.02	0.00	0.04
	861.5	922.5	91.13	5.27	2.79	0.65	-0.04	0.15	0.04
	941.5	1002.5	79.33	14.06	4.16	0.85	0.92	0.34	0.34
	941.5	1002.5	79.50	14.26	4.21	1.56	0.05	0.07	0.34
	1026.5	1087.5	94.23	0.A.	0.A.	0.A.	0.A.	0.A.	0.12
PG1114	1.5		2.73	0.67	2.23	5.10	10.97	13.37	64.94
	1.5		2.73	0.53	2.19	5.33	11.51	12.78	64.94
PG1107	1.5		16.71	2.17	10.57	18.30	25.19	15.45	11.61
	1.5		16.71	2.12	9.57	16.81	23.89	19.29	11.61
PG1108	2.5		17.74	7.05	16.42	26.36	23.88	7.71	0.84
	2.5		18.07	6.84	17.22	26.12	22.83	8.08	0.84
PG1109	1.5		23.69	10.78	22.92	25.80	13.66	2.20	0.94
	1.5		23.32	11.83	22.61	25.17	13.79	2.34	0.94
	1.5		23.32	11.32	23.63	25.75	13.60	1.44	0.94
PG1110	1.5		43.93	12.32	20.34	17.02	5.62	0.69	0.09
	1.5		44.19	11.70	19.60	16.97	5.10	2.35	0.09

Tab. A-8: Intensität von Flächen- und Peakreflexen in Röntgendiagrammen der Gesamtmineralogie; Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Plagioklas		Augit		K <sup>+</sup> Feldspat		Quarz	
			Peak (3.21 Å)	Fläche (3.21 Å)	Peak (2.99 Å)	Fläche (2.99 Å)	Peak (3.77 Å)	Fläche (3.77 Å)	Peak (4.26 Å)	Fläche (4.26 Å)
1111-5	28.5	23.5	761	19388	169	2245	200	3000	105	991
1111-5	153.5	148.5	712	18108	152	2085	195	2697	120	1482
1111-5	263.5	258.5	749	19919	158	2343	230	3319	120	1502
1111-6	338.5	381.5	859	22270	201	2694	252	3309	119	1330
1111-6	478.5	521.5	724	18553	163	2366	202	3067	113	1310
1111-6	485.5	528.5	761	19816	173	2367	221	2975	130	1419
1111-6	533.5	576.5	733	18813	184	2490	202	2773	109	1246
1111-7	608.5	654.5	911	22281	160	2036	225	3180	119	1412
1111-7	628.5	674.5	761	19450	197	2664	211	2781	142	1556
1111-7	648.5	694.5	903	23682	210	2649	230	3093	126	1537
1111-7	658.5	704.5	823	21577	187	2468	231	3194	142	1654
1111-7	678.5	724.5	746	19940	134	2050	228	3003	137	1621
1111-7	718.5	764.5	610	15737	137	2100	186	2494	65	638
1111-7	733.5	779.5	531	12804	114	1658	168	2409	74	713
1111-8	778.5	839.5	479	11700	104	1414	157	2288	75	770
1111-8	843.5	904.5	549	13640	125	1726	171	2404	73	827
1111-8	873.5	934.5	541	14330	113	1773	167	2164	58	577
1111-8	913.5	974.5	458	11560	87	1251	149	2103	21	213
1111-8	928.5	989.5	533	13738	111	1764	162	2399	45	455
1111-8	948.5	1009.5	674	16702	135	2012	202	2520	29	288
1111-8	968.5	1029.5	489	12064	102	1354	151	2169	25	199
1111-8	998.5	1059.5	428	10279	64	1052	125	1693	10	200

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Smektit		Kaolinit		Illit		Korund	
			Peak (14.34 Å)	Fläche (14.34 Å)	Peak (7.14 Å)	Fläche (7.14 Å)	Peak (4.48 Å)	Fläche (4.48 Å)	Peak (3.48 Å)	Fläche (3.48 Å)
1111-5	28.5	23.5	63	4135	20	300	65	1700	230	4000
1111-5	153.5	148.5	85	3920	24	622	74	1659	260	4272
1111-5	263.5	258.5	44	2152	17	215	60	2115	245	3801
1111-6	338.5	381.5	72	3627	18	376	55	1085	238	3729
1111-6	478.5	521.5	36	2448	15	311	52	1344	266	4035
1111-6	485.5	528.5	73	4091	21	499	69	1760	288	4643
1111-6	533.5	576.5	51	2749	23	503	62	1355	259	4000
1111-7	608.5	654.5	116	5394	34	737	73	1869	272	4514
1111-7	628.5	674.5	99	5277	31	688	78	1803	254	4214
1111-7	648.5	694.5	97	5240	41	867	77	1807	253	4444
1111-7	658.5	704.5	105	5249	41	964	71	1758	283	4861
1111-7	678.5	724.5	78	4299	34	815	73	1582	249	3975
1111-7	718.5	764.5	159	7539	32	668	67	2166	258	4113
1111-7	733.5	779.5	140	6782	27	863	76	2124	271	4376
1111-8	778.5	839.5	115	6138	23	600	70	2127	242	4083
1111-8	843.5	904.5	139	7210	36	818	66	2145	278	4785
1111-8	873.5	934.5	126	5999	34	982	70	2096	265	4312
1111-8	913.5	974.5	110	7476	38	820	64	2484	244	4721
1111-8	928.5	989.5	85	4936	23	630	71	2035	249	4360
1111-8	948.5	1009.5	85	5221	17	376	56	2073	243	3763
1111-8	968.5	1029.5	132	6526	35	871	67	2084	275	4594
1111-8	998.5	1059.5	113	7279	30	841	72	2392	250	4211

Tab. A-9: Intensität von Flächen- und Peakreflexen in Röntgendiagrammen der Tonminerologie; Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Smektit		Kaolinit		Illit		Illit		
			Peaklage (Å)	Peakintensität / Peakfläche (Å)							
1111-5	46.5	41.5	16.769	120	14500	7.142	11	980	9.992	8	210
1111-5	116.5	111.5	16.5	259	15904	7.142	37	892	9.992	13	223
1111-5	196.5	191.5	16.769	245	14577	7.142	44	1192	9.934	17	217
1111-5	311.5	306.5	16.5	151	9596	7.142	27	865	9.992	7	156
1111-6	379.5	422.5	16.66	465	25371	7.142	82	2272	9.992	25	460
1111-6	449.5	492.5	16.66	448	24226	7.142	47	1561	9.992	16	262
1111-6	499.5	542.5	16.5	305	16515	7.074	28	692	9.992	12	142
1111-7	549.5	595.5	16.5	278	16262	7.142	50	1635	9.992	5	108
1111-7	624.5	670.5	16.714	337	19269	7.142	76	2399	9.992	28	573
1111-7	699.5	745.5	16.66	645	33882	7.142	95	2492	9.992	26	432
1111-7	749.5	795.5	16.5	390	19930	7.142	46	1210	9.858	9	69
1111-8	816.5	877.5	16.606	536	27481	7.172	71	1924	9.992	19	290
1111-8	861.5	922.5	16.66	443	23763	7.142	68	2364	9.972	12	147
1111-8	941.5	1002.5	16.5	271	17464	7.113	53	1913	9.992	20	562
1111-8	1026.5	1087.5	16.5	423	23175	7.142	61	1880	9.953	10	133
1114-1	1.5		16.606	164	10300	7.113	20	376	9.992	11	114
1107-1	1.5		16.769	238	15338	7.142	38	1138	9.583	16	573
1108-1	2.5		16.714	276	15595	7.113	43	1019	9.934	20	301
1109-1	1.5		16.769	231	13092	7.142	29	658	9.992	11	194
1110-1	1.5		16.5	270	15404	7.103	43	1021	9.992	18	320
1122-1	1.5		16.879	235	14057	7.142	35	937	9.992	13	192

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Plagioklas		Augit		K Feldspat		Quarz		Mos2	
			Peak (3.21 Å)	Fläche (3.21 Å)	Peak (2.99 Å)	Fläche (2.99 Å)	Peak (3.77 Å)	Fläche (3.77 Å)	Peak (4.26 Å)	Fläche (4.26 Å)	Peak (6.15 Å)	Fläche (6.15 Å)
1111-5	46.5	41.5	80	2556	35	510	20	476	26	597	430	6527
1111-5	116.5	111.5	68	2138	29	469	26	410	26	609	573	7525
1111-5	196.5	191.5	101	3058	52	837	37	742	34	604	384	5427
1111-5	311.5	306.5	119	1843	61	1285	48	905	35	486	252	3775
1111-6	379.5	422.5	142	4158	37	658	45	775	25	338	780	10314
1111-6	449.5	492.5	109	3449	49	797	40	822	19	257	585	8148
1111-6	499.5	542.5	106	3185	59	993	46	843	24	339	320	4565
1111-7	549.5	595.5	121	3848	49	944	47	702	9	81	480	7411
1111-7	624.5	670.5	134	3686	45	662	35	650	34	534	617	8825
1111-7	699.5	745.5	113	2879	18	270	35	704	19	228	1008	14792
1111-7	749.5	795.5	154	4544	67	1283	51	912	9	129	454	8475
1111-8	816.5	877.5	103	2850	44	866	39	669	19	245	813	10768
1111-8	861.5	922.5	134	4222	67	1060	53	764	15	138	1193	14690
1111-8	941.5	1002.5	119	3353	35	709	34	687	25	426	380	7089
1111-8	1026.5	1087.5	124	3972	66	1116	57	870	11	127	635	8685
1114-1	1.5		198	2887	117	1857	58	1046	29	465	192	3193
1107-1	1.5		128	4314	59	1387	26	590	25	488	669	10837
1108-1	2.5		84	2786	51	1128	39	607	31	422	421	6237
1109-1	1.5		114	3183	46	905	50	980	29	422	325	4932
1110-1	1.5		142	1990	59	1002	35	612	24	516	605	8450
1122-1	1.5		115	3413	55	1112	48	835	27	500	376	5478

## Anhang

Tab. A-10: Intensitäten der auf den internen Standard Korund bezogenen Flächenreflexe in Röntgendiagrammen der Gesamtmineralogie; Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Plagioklas/Std.	Augit/Std.	Orthoklas/Std.	Quarz/Std.	Smektit/Std.	Kaolinit/Std.	Illit/Std.
1111-5	28.5	23.5	4.847	0.561	0.750	0.248	1.034	0.000	0.425
1111-5	153.5	148.5	4.239	0.488	0.631	0.347	0.918	0.146	0.388
1111-5	263.5	258.5	5.240	0.616	0.873	0.395	0.566	0.057	0.556
1111-6	338.5	381.5	5.972	0.722	0.887	0.357	0.973	0.101	0.291
1111-6	478.5	521.5	4.598	0.586	0.760	0.325	0.607	0.077	0.333
1111-6	485.5	528.5	4.268	0.510	0.641	0.306	0.881	0.107	0.379
1111-6	533.5	576.5	4.703	0.623	0.693	0.312	0.687	0.126	0.339
1111-7	608.5	654.5	4.936	0.451	0.704	0.313	1.195	0.163	0.414
1111-7	628.5	674.5	4.616	0.632	0.660	0.369	1.252	0.163	0.428
1111-7	648.5	694.5	5.329	0.596	0.696	0.346	1.179	0.195	0.407
1111-7	658.5	704.5	4.439	0.508	0.657	0.340	1.080	0.198	0.362
1111-7	678.5	724.5	5.016	0.516	0.755	0.408	1.082	0.205	0.398
1111-7	718.5	764.5	3.826	0.511	0.606	0.155	1.833	0.162	0.527
1111-7	733.5	779.5	2.926	0.379	0.551	0.163	1.550	0.197	0.485
1111-8	778.5	839.5	2.866	0.346	0.560	0.189	1.503	0.147	0.521
1111-8	843.5	904.5	2.851	0.361	0.502	0.173	1.507	0.171	0.448
1111-8	873.5	934.5	3.323	0.411	0.502	0.134	1.391	0.228	0.486
1111-8	913.5	974.5	2.449	0.265	0.445	0.045	1.584	0.174	0.526
1111-8	928.5	989.5	3.151	0.405	0.550	0.104	1.132	0.144	0.467
1111-8	948.5	1009.5	4.438	0.535	0.670	0.077	1.387	0.100	0.551
1111-8	968.5	1029.5	2.626	0.295	0.472	0.043	1.421	0.190	0.454
1111-8	998.5	1059.5	2.441	0.250	0.402	0.047	1.729	0.200	0.568

Tab. A-11: Intensitäten der auf den internen Standard Molybdänsulfat bezogenen Flächenreflexe in Röntgendiagrammen der Tonmineralogie; Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Smektit/Std.	Kaolinit/Std.	Illit/Std.	Plagioklas/Std.	Augit/Std.	K' Feldspat/Std.	Quarz/Std.
1111-5	46.5	41.5	2.2215	0.1501	0.0322	0.3916	0.0781	0.0729	0.0915
1111-5	116.5	111.5	2.1135	0.1185	0.0296	0.2841	0.0623	0.0545	0.0809
1111-5	196.5	191.5	2.6860	0.2196	0.0400	0.5635	0.1542	0.1367	0.1113
1111-5	311.5	306.5	2.5420	0.2291	0.0413	0.4882	0.3404	0.2397	0.1287
1111-6	379.5	422.5	2.4599	0.2203	0.0446	0.4031	0.0638	0.0751	0.0328
1111-6	449.5	492.5	2.9732	0.1916	0.0322	0.4233	0.0978	0.1009	0.0315
1111-6	499.5	542.5	3.6177	0.1516	0.0311	0.6977	0.2175	0.1847	0.0743
1111-7	549.5	595.5	2.1943	0.2206	0.0146	0.5192	0.1274	0.0947	0.0109
1111-7	624.5	670.5	2.1835	0.2718	0.0649	0.4177	0.0750	0.0737	0.0605
1111-7	699.5	745.5	2.2906	0.1685	0.0292	0.1946	0.0183	0.0476	0.0154
1111-7	749.5	795.5	2.3516	0.1428	0.0081	0.5362	0.1514	0.1076	0.0152
1111-8	816.5	877.5	2.5521	0.1787	0.0269	0.2647	0.0804	0.0621	0.0228
1111-8	861.5	922.5	1.6176	0.1609	0.0100	0.2874	0.0722	0.0520	0.0094
1111-8	941.5	1002.5	2.4635	0.2699	0.0793	0.4730	0.1000	0.0969	0.0601
1111-8	1026.5	1087.5	2.6684	0.2165	0.0153	0.4573	0.1285	0.1002	0.0146
1114-1	1.5	3.2258	0.1178	0.0357	0.9042	0.5816	0.3276	0.1456	0.0450
1107-1	1.5	1.4153	0.1050	0.0529	0.3981	0.1280	0.0544	0.0677	0.0856
1108-1	2.5	2.5004	0.1634	0.0483	0.4467	0.1809	0.0973	0.0611	0.0611
1109-1	1.5	2.6545	0.1334	0.0393	0.6454	0.1835	0.1987	0.0724	0.0611
1110-1	1.5	1.8230	0.1208	0.0379	0.2355	0.1186	0.0724	0.0611	0.0611
1122-1	1.5	2.5661	0.1710	0.0350	0.6230	0.2030	0.1524	0.0913	0.0913

## 7.2.3 Geochemie

Tab. A-12: Kalibrierungsbereich und Standardabweichung der Röntgenfluoreszenzanlage Philips PW 1404/10 und die zur Auswertung genutzten Elemente.

Element	genutzte Elemente	Kalibrierungsbereich	±Std.Abw.
SiO <sub>2</sub>	x	0.80 - 99.75 Gew.%	0.50 Gew.%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	x	0.10 - 60.00 Gew.%	0.20 Gew.%
TiO <sub>2</sub>	x	0.02 - 4.20 Gew.%	0.01 Gew.%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	x	0.06 - 85.00 Gew.%	0.10 Gew.%
MgO	x	0.04 - 50.00	0.10 Gew.%
CaO	x	0.04 - 75.00 Gew.%	0.10 Gew.%
Na <sub>2</sub> O	x	0.04 - 12.00 Gew.%	0.10 Gew.%
K <sub>2</sub> O	x	0.02 - 15.00 Gew.%	0.10 Gew.%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	x	0.006 - 40.00 Gew.%	0.05 Gew.%
SO <sub>3</sub>		0.05 - 65.00 Gew.%	0.10 Gew.%
Mn	x	0 - 25000 [mg/kg]	85 [mg/kg]
As		5 - 4000 [mg/kg]	3 [mg/kg]
Ba	x	8 - 5500 [mg/kg]	17 [mg/kg]
Bi		5 - 1200 [mg/kg]	3 [mg/kg]
Ce		16 - 2500 [mg/kg]	10 [mg/kg]
Co	x	3 - 800 [mg/kg]	4 [mg/kg]
Cr	x	8 - 30000 [mg/kg]	20 [mg/kg]
Cu	x	4 - 7500 [mg/kg]	18 [mg/kg]
Ga		8 - 450 [mg/kg]	2 [mg/kg]
Hf		2 - 220 [mg/kg]	1 [mg/kg]
La		14 - 1500 [mg/kg]	8 [mg/kg]
Mo		2 - 800 [mg/kg]	2 [mg/kg]
Nb	x	2 - 1000 [mg/kg]	3 [mg/kg]
Nd		7 - 750 [mg/kg]	5 [mg/kg]
Ni	x	2 - 3500 [mg/kg]	12 [mg/kg]
Pb		4 - 6000 [mg/kg]	9 [mg/kg]
Pr		11 - 250 [mg/kg]	3 [mg/kg]
Rb		4 - 9500 [mg/kg]	10 [mg/kg]
Sc		1 - 350 [mg/kg]	4 [mg/kg]
Sm		6 - 120 [mg/kg]	2 [mg/kg]
Sr	x	4 - 5200 [mg/kg]	8 [mg/kg]
Th		4 - 1200 [mg/kg]	6 [mg/kg]
U		6 - 750 [mg/kg]	2 [mg/kg]
V	x	4 - 1100 [mg/kg]	7 [mg/kg]
Y	x	2 - 800 [mg/kg]	4 [mg/kg]
Zn	x	15 - 6000 [mg/kg]	7 [mg/kg]
Zr	x	4 - 12000 [mg/kg]	11 [mg/kg]

Tab. A-13: Wellenlängen und relativer Fehler zu den mit der ICP-OES gemessenen Haupt- und Spurenelementen sowie die zur Kalibrierung genutzten Eichlösungen.

Element	Wellenlänge	gen. Elementerel.	Std Fehler (%)	Konz. Eichlösungen (HE:mg/l, SE:µg/l)
Aluminium	Al309		2.65	0, 5, 10, 20, 50, 100
Aluminium	Al396	x	3.57	
Eisen	Fe238	x	1.38	0, 2, 5, 5, 10, 25, 50
Kalium	K766	x	1.43	0, 2, 5, 5, 10, 25, 50
Kalzium	Ca317	x	2.58	0, 2, 5, 5, 10, 25, 50
Kalzium	Ca422		0.83	
Magnesium	Mg279		0.43	0, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25
Magnesium	Mg285	x	2.31	
Mangan	Mn257	x	6.58	0, 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5
Natrium	Na588		7.01	0, 1.25, 2.5, 5, 12.5, 25
Natrium	Na589	x	6.36	
Phosphor	P 177	x	5.19	0, 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5
Phosphor	P 178		8.75	
Titan	Ti334	x	0.77	0, 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5
Barium	Ba455	x	9.12	0, 100, 200, 1000
Blei	Pb220		10.73	0, 50, 100, 500
Chrom	Cr205		24.69	0, 50, 100, 500
Chrom	Cr206		24.35	
Cobalt	Co228	x	10.05	0, 50, 100, 500
Kupfer	Cu327	x	6.73	0, 50, 100, 500
Molybdän	Mo202		28.37	0, 50, 100, 500
Molybdän	Mo204		16.29	
Nickel	Ni221	x	4.46	0, 50, 100, 500
Niob	Nb269		78.89	0, 50, 100, 500
Strontium	Sr407		8.93	0, 50, 100, 500
Strontium	Sr421	x	6.71	
Vanadium	V292	x	7.46	0, 50, 100, 500
Wolfram	W207		8.97	0, 50, 100, 500
Zink	Zn213	x	10.10	0, 50, 100, 500
Zirkon	Zr339		58.88	0, 50, 100, 500
Zirkon	Zr343		54.22	

Tab. A-14: Hauptelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111; Ergebnisse in [Gew. %] der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) der Untersuchungen mit Summen von  $100 \pm 1.5$  Gew. %.

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Gühverlust	Summe	Si/Al	Ti/Al	Fe/Al	Mg/Al	Ca/Al	Na/Al	K/Al	P/Al	Mn/Al
1111-5	16.5	11.5	48.46	15.64	1.11	11.34	5.24	6.99	1.76	0.82	0.21	0.24	9.02	100.84	2.74	0.080	1.37	0.380	0.603	0.158	0.082	0.011	0.022
1111-5	28.5	23.5	48.78	15.52	1.14	11.14	5.09	7.07	1.82	0.82	0.23	0.23	9.19	100.95	2.78	0.083	1.36	0.372	0.615	0.165	0.083	0.012	0.021
1111-5	43.5	38.5	48.46	15.85	1.11	11.21	4.90	6.51	1.77	0.84	0.22	0.21	9.80	100.91	2.70	0.079	1.34	0.351	0.554	0.157	0.083	0.012	0.019
1111-5	48.5	43.5	48.03	15.57	1.10	11.05	5.02	6.55	1.73	0.83	0.24	0.23	9.99	100.36	2.73	0.080	1.34	0.365	0.568	0.156	0.083	0.013	0.021
1111-5	53.5	48.5	48.41	15.79	1.09	11.23	5.24	6.76	1.87	0.84	0.22	0.20	9.37	101.09	2.71	0.078	1.34	0.376	0.578	0.166	0.083	0.011	0.019
1111-5	63.5	58.5	48.15	15.66	1.07	11.20	5.08	6.55	1.67	0.83	0.21	0.23	10.33	100.97	2.72	0.077	1.35	0.368	0.565	0.150	0.083	0.011	0.022
1111-5	78.5	73.5	48.42	15.45	1.09	11.19	5.14	6.64	1.71	0.88	0.25	0.23	9.85	100.87	2.77	0.080	1.37	0.378	0.580	0.156	0.089	0.013	0.022
1111-5	88.5	83.5	47.62	15.22	1.08	11.26	5.10	6.70	1.72	0.80	0.25	0.24	9.99	99.99	2.76	0.080	1.40	0.380	0.594	0.158	0.083	0.013	0.023
1111-5	98.5	93.5	47.29	15.13	1.07	11.20	5.08	6.72	1.77	0.82	0.24	0.23	9.79	99.40	2.76	0.080	1.40	0.381	0.599	0.164	0.085	0.013	0.023
1111-5	108.5	103.5	47.61	15.12	1.07	11.32	5.05	6.56	2.68	0.91	0.23	0.21	10.07	101.09	2.78	0.080	1.42	0.379	0.586	0.249	0.094	0.012	0.020
1111-5	118.5	113.5	48.12	15.11	1.04	11.14	4.94	6.50	1.43	0.82	0.22	0.20	9.08	98.75	2.81	0.078	1.39	0.371	0.581	0.133	0.085	0.012	0.019
1111-5	128.5	123.5	48.52	15.41	1.08	11.37	5.04	6.70	1.47	0.80	0.23	0.20	8.81	99.79	2.78	0.079	1.39	0.371	0.587	0.134	0.082	0.012	0.019
1111-5	143.5	138.5	49.08	15.50	1.08	11.31	5.14	6.53	1.80	0.87	0.21	0.19	8.90	100.78	2.80	0.079	1.38	0.376	0.569	0.163	0.088	0.011	0.018
1111-5	153.5	148.5	47.97	15.54	1.05	12.00	5.17	6.39	1.65	0.82	0.26	0.23	9.77	101.34	2.73	0.076	1.46	0.377	0.555	0.149	0.083	0.014	0.022
1111-5	163.5	158.5	49.27	14.86	1.09	11.00	5.01	7.10	1.49	0.75	0.21	0.19	8.33	99.47	2.93	0.083	1.40	0.383	0.645	0.141	0.079	0.012	0.019
1111-5	173.5	168.5	48.75	15.12	1.09	11.12	5.21	6.90	1.89	0.82	0.21	0.19	8.93	100.52	2.85	0.082	1.39	0.391	0.616	0.175	0.085	0.012	0.018
1111-5	183.5	178.5	49.33	14.96	1.08	11.03	5.02	6.99	1.50	0.75	0.21	0.19	8.57	99.80	2.91	0.082	1.39	0.380	0.631	0.141	0.079	0.012	0.019
1111-5	193.5	188.5	50.16	15.44	1.11	11.04	5.28	6.87	1.86	0.85	0.20	0.19	8.34	101.47	2.87	0.082	1.35	0.388	0.601	0.169	0.086	0.011	0.018
1111-5	203.5	198.5	49.43	15.06	1.09	11.27	5.19	7.19	1.54	0.72	0.21	0.19	8.29	100.35	2.90	0.082	1.41	0.391	0.644	0.144	0.075	0.011	0.019
1111-5	203.5	198.5	49.66	15.08	1.09	11.28	5.17	7.21	1.50	0.72	0.20	0.19	8.24	100.49	2.91	0.082	1.41	0.389	0.645	0.139	0.074	0.011	0.019
1111-5	213.5	208.5	49.03	14.63	1.05	10.98	5.05	6.91	1.49	0.76	0.20	0.18	8.35	98.81	2.96	0.082	1.42	0.392	0.638	0.143	0.081	0.011	0.018
1111-5	223.5	218.5	49.17	14.84	1.07	11.08	5.09	6.94	1.51	0.79	0.20	0.18	8.04	99.06	2.93	0.082	1.41	0.389	0.631	0.142	0.084	0.011	0.018
1111-5	233.5	228.5	49.18	14.55	1.07	11.01	5.08	7.09	1.54	0.74	0.19	0.18	8.32	99.11	2.99	0.084	1.43	0.396	0.658	0.148	0.080	0.011	0.018
1111-5	233.5	228.5	49.02	14.79	1.07	11.05	5.07	6.92	1.50	0.79	0.20	0.18	8.32	99.06	2.93	0.082	1.41	0.389	0.631	0.142	0.084	0.011	0.018
1111-5	243.5	238.5	50.44	15.14	1.11	11.23	5.19	7.19	1.55	0.79	0.20	0.18	8.18	101.39	2.94	0.083	1.40	0.389	0.641	0.144	0.082	0.011	0.018
1111-5	253.5	248.5	49.39	14.74	1.08	11.03	5.14	7.18	1.54	0.76	0.19	0.18	8.10	99.53	2.96	0.083	1.41	0.396	0.658	0.147	0.081	0.010	0.018
1111-5	253.5	248.5	49.39	14.74	1.08	11.03	5.14	7.18	1.54	0.76	0.19	0.18	8.10	99.53	2.96	0.083	1.41	0.396	0.658	0.147	0.081	0.010	0.018
1111-5	263.5	258.5	49.42	14.90	1.09	11.14	5.33	7.07	1.77	0.79	0.20	0.21	8.55	100.46	2.93	0.083	1.41	0.406	0.640	0.167	0.083	0.011	0.021
1111-5	273.5	268.5	49.50	14.80	1.07	11.11	5.14	6.96	1.47	0.77	0.21	0.19	8.35	99.73	2.95	0.082	1.42	0.394	0.635	0.139	0.082	0.012	0.018
1111-5	283.5	278.5	49.50	15.08	1.10	11.24	5.33	7.06	1.92	0.81	0.20	0.19	8.42	101.05	2.90	0.083	1.41	0.401	0.632	0.179	0.084	0.011	0.018
1111-5	298.5	293.5	48.87	14.79	1.06	11.81	5.20	6.91	1.74	0.77	0.22	0.20	8.41	101.13	2.92	0.081	1.51	0.399	0.631	0.165	0.082	0.012	0.020
1111-5	308.5	303.5	45.81	14.60	0.88	12.97	7.29	6.42	1.48	0.82	0.20	0.17	8.36	99.02	2.77	0.068	1.68	0.565	0.594	0.142	0.088	0.011	0.017
1111-6	278.5	321.5	48.80	15.00	1.08	11.08	5.24	6.94	1.72	0.78	0.19	0.22	8.86	99.94	2.87	0.082	1.40	0.396	0.624	0.161	0.082	0.010	0.022
1111-6	288.5	331.5	49.13	14.99	1.07	11.14	5.06	6.89	1.50	0.79	0.21	0.19	8.35	99.48	2.90	0.081	1.41	0.383	0.620	0.141	0.082	0.011	0.019
1111-6	298.5	341.5	48.67	15.08	1.08	11.21	5.06	6.86	1.50	0.81	0.20	0.19	8.73	99.55	2.85	0.081	1.41	0.381	0.614	0.139	0.084	0.011	0.018
1111-6	298.5	341.5	48.67	15.08	1.08	11.21	5.06	6.86	1.50	0.81	0.20	0.19	8.73	99.55	2.85	0.081	1.41	0.381	0.614	0.139	0.084	0.011	0.018
1111-6	308.5	351.5	49.35	15.18	1.08	11.26	5.06	6.86	1.52	0.80	0.21	0.19	8.79	100.47	2.87	0.080	1.40	0.379	0.610	0.141	0.083	0.011	0.018
1111-6	308.5	351.5	49.35	15.18	1.08	11.26	5.06	6.86	1.52	0.80	0.21	0.19	8.79	100.47	2.87	0.080	1.40	0.379	0.610	0.141	0.083	0.011	0.018
1111-6	318.5	361.5	48.80	14.65	1.10	11.51	5.18	7.24	1.54	0.76	0.18	0.18	7.85	99.16	2.94	0.085	1.49	0.401	0.667	0.147	0.082	0.010	0.018
1111-6	328.5	371.5	49.61	14.23	1.07	10.86	5.21	7.36	1.55	0.75	0.18	0.19	7.74	98.90	3.08	0.085	1.44	0.415	0.698	0.153	0.082	0.010	0.019
1111-6	338.5	381.5	49.86	14.74	1.14	11.08	5.46	7.55	1.86	0.80	0.19	0.22	7.43	100.40	2.99	0.088	1.42	0.420	0.691	0.177	0.085	0.011	0.021
1111-6	348.5	391.5	49.71	14.89	1.11	11.15	5.27	7.43	1.65	0.79	0.18	0.19	7.68	100.23	2.95	0.084	1.42	0.402	0.674	0.156	0.084	0.010	0.019

Fortsetzung: Tab. A-14: Hauptelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	MnO	Cluherverlust	Summe	Si/Al	Ti/Al	Fe/Al	Mg/Al	Ca/Al	Na/Al	K/Al	P/Al	Mn/Al
1111-6	358.5	401.5	48.93	14.86	1.07	11.08	5.43	7.00	1.93	0.87	0.17	0.19	8.13	99.85	2.91	0.082	1.41	0.414	0.182	0.092	0.009	0.018	
1111-6	368.5	411.5	48.60	15.05	1.04	11.34	5.29	6.97	1.56	0.85	0.18	0.19	8.39	99.64	2.85	0.079	1.42	0.399	0.145	0.089	0.010	0.019	
1111-6	378.5	421.5	49.49	14.99	1.04	11.34	5.29	6.97	1.56	0.85	0.18	0.19	8.39	99.64	2.85	0.079	1.42	0.399	0.145	0.089	0.010	0.019	
1111-6	388.5	431.5	48.86	14.74	1.04	11.21	5.22	6.86	1.50	0.83	0.19	0.19	8.49	99.30	2.92	0.081	1.41	0.405	0.166	0.088	0.009	0.021	
1111-6	398.5	441.5	49.48	14.91	1.05	11.34	5.48	6.80	1.90	0.90	0.18	0.19	8.38	100.65	2.93	0.080	1.44	0.402	0.163	0.089	0.010	0.019	
1111-6	408.5	451.5	47.97	14.72	1.04	11.17	5.44	6.94	1.85	0.93	0.20	0.22	8.28	98.81	2.88	0.080	1.43	0.419	0.179	0.085	0.010	0.019	
1111-6	418.5	461.5	48.55	14.90	1.02	11.44	5.36	6.74	1.47	0.85	0.18	0.19	8.69	99.54	2.88	0.078	1.45	0.408	0.160	0.138	0.089	0.010	0.019
1111-6	428.5	471.5	48.50	14.92	1.01	11.59	5.64	6.81	1.87	0.92	0.19	0.20	8.26	100.08	2.87	0.080	1.47	0.429	0.166	0.176	0.087	0.010	0.020
1111-6	438.5	481.5	47.99	14.82	1.04	11.50	5.49	6.95	1.52	0.84	0.18	0.20	8.34	99.03	2.86	0.080	1.47	0.420	0.163	0.144	0.089	0.010	0.020
1111-6	448.5	491.5	47.74	14.81	1.03	11.49	5.49	6.88	1.50	0.88	0.18	0.20	8.43	98.77	2.85	0.079	1.47	0.420	0.142	0.083	0.010	0.020	
1111-6	458.5	501.5	47.76	14.88	1.02	11.80	5.51	6.63	1.44	0.89	0.18	0.20	8.88	99.36	2.84	0.078	1.50	0.420	0.136	0.084	0.010	0.020	
1111-6	468.5	511.5	50.26	14.50	1.11	10.90	5.56	7.63	1.95	0.79	0.17	0.18	7.95	101.35	3.06	0.087	1.42	0.435	0.170	0.189	0.085	0.010	0.021
1111-6	478.5	521.5	49.18	13.92	1.05	10.78	5.19	7.02	1.75	0.78	0.16	0.20	9.47	99.56	3.12	0.086	1.46	0.423	0.166	0.176	0.088	0.009	0.021
1111-6	488.5	531.5	49.62	13.90	1.07	10.47	5.00	7.19	1.52	0.76	0.17	0.17	8.79	99.59	3.15	0.087	1.42	0.408	0.154	0.085	0.010	0.018	
1111-6	498.5	541.5	50.00	14.04	1.08	10.32	5.07	7.32	1.55	0.78	0.16	0.17	7.95	98.58	3.15	0.087	1.39	0.409	0.155	0.087	0.009	0.018	
1111-6	508.5	551.5	50.60	14.23	1.10	10.39	5.13	7.34	1.56	0.77	0.16	0.17	7.95	99.56	3.14	0.088	1.38	0.409	0.154	0.085	0.009	0.018	
1111-6	518.5	561.5	50.38	14.64	1.14	10.69	5.16	7.38	1.60	0.84	0.16	0.17	7.79	100.11	3.04	0.089	1.38	0.400	0.154	0.080	0.009	0.017	
1111-6	528.5	571.5	49.46	13.71	1.03	10.80	5.01	6.82	1.39	0.75	0.16	0.17	9.06	98.60	3.19	0.085	1.49	0.415	0.162	0.086	0.010	0.018	
1111-6	538.5	581.5	49.62	14.08	1.04	11.02	5.24	6.84	1.68	0.84	0.16	0.20	9.46	100.41	3.11	0.084	1.48	0.422	0.166	0.084	0.009	0.021	
1111-6	548.5	591.5	50.08	14.55	1.06	10.93	5.20	6.95	1.53	0.88	0.16	0.17	8.35	100.04	3.04	0.083	1.42	0.405	0.148	0.085	0.009	0.017	
1111-6	558.5	599.5	49.65	14.74	1.08	11.06	5.23	6.96	1.54	0.91	0.17	0.17	8.05	99.70	2.98	0.083	1.42	0.403	0.146	0.087	0.010	0.017	
1111-7	563.5	609.5	49.08	14.76	1.10	11.16	5.43	7.57	1.59	0.84	0.16	0.18	7.25	99.27	2.94	0.085	1.43	0.417	0.152	0.080	0.009	0.017	
1111-7	578.5	624.5	50.07	14.80	1.10	11.29	5.56	7.19	1.80	0.91	0.18	0.19	7.89	101.12	2.99	0.084	1.44	0.426	0.156	0.171	0.086	0.010	0.018
1111-7	588.5	634.5	49.29	14.66	1.09	11.66	5.67	7.26	1.79	0.89	0.19	0.20	7.87	100.67	2.97	0.084	1.50	0.439	0.169	0.115	0.088	0.015	
1111-7	598.5	644.5	48.88	14.54	1.09	10.82	5.44	7.26	1.78	0.90	0.15	0.19	8.46	99.51	2.97	0.085	1.41	0.424	0.167	0.172	0.087	0.009	0.019
1111-7	608.5	654.5	48.37	14.68	1.10	10.93	5.57	7.20	1.84	0.96	0.17	0.19	7.68	98.78	2.91	0.085	1.41	0.430	0.162	0.175	0.102	0.010	0.019
1111-7	613.5	659.5	50.25	14.77	1.14	11.17	5.70	7.62	1.99	0.92	0.15	0.17	7.04	101.14	3.01	0.088	1.43	0.438	0.169	0.189	0.088	0.008	0.016
1111-7	623.5	669.5	49.92	14.95	1.12	10.97	5.40	7.06	1.83	1.02	0.14	0.16	8.12	100.97	2.95	0.085	1.39	0.410	0.163	0.172	0.107	0.008	0.016
1111-7	633.5	679.5	50.60	15.37	1.10	11.02	5.36	6.70	1.85	1.13	0.15	0.16	7.97	101.47	2.91	0.081	1.36	0.396	0.169	0.165	0.105	0.008	0.017
1111-7	638.5	684.5	49.91	15.13	1.11	11.07	5.23	6.95	1.82	1.01	0.16	0.17	7.61	100.20	2.91	0.083	1.38	0.392	0.169	0.169	0.105	0.008	0.017
1111-7	648.5	694.5	49.58	15.00	1.14	11.30	5.47	7.36	1.89	0.99	0.18	0.18	7.22	100.47	2.92	0.086	1.42	0.413	0.166	0.177	0.104	0.010	0.018
1111-7	658.5	704.5	48.29	14.72	1.12	10.91	5.43	7.20	1.88	1.02	0.17	0.18	7.57	98.54	2.90	0.086	1.40	0.418	0.160	0.179	0.108	0.009	0.018
1111-7	668.5	714.5	48.29	14.72	1.12	10.91	5.43	7.20	1.88	1.02	0.17	0.18	7.57	100.58	2.88	0.086	1.37	0.409	0.162	0.174	0.108	0.009	0.015
1111-7	673.5	719.5	49.88	15.32	1.13	11.11	5.52	7.08	1.90	1.05	0.16	0.16	7.24	100.58	2.88	0.086	1.37	0.399	0.160	0.169	0.108	0.009	0.015
1111-7	678.5	724.5	50.10	15.42	1.12	11.18	5.43	6.90	1.86	1.06	0.17	0.17	7.76	101.18	2.87	0.079	1.45	0.431	0.160	0.171	0.104	0.010	0.016
1111-7	683.5	729.5	49.48	15.22	1.06	11.65	5.78	6.86	1.86	1.01	0.18	0.17	8.11	101.42	2.86	0.072	1.63	0.496	0.157	0.131	0.088	0.011	0.023
1111-7	693.5	739.5	46.67	14.43	0.92	12.48	6.31	5.95	1.35	0.90	0.19	0.23	9.82	101.22	2.93	0.074	1.64	0.523	0.148	0.148	0.101	0.011	0.020
1111-7	698.5	744.5	47.72	14.40	0.94	12.55	6.64	6.29	1.52	0.93	0.20	0.19	9.54	101.23	2.83	0.071	1.60	0.524	0.159	0.159	0.087	0.011	0.017
1111-7	703.5	749.5	47.29	14.75	0.92	12.52	6.82	6.77	1.67	0.82	0.20	0.18	9.65	99.92	2.82	0.071	1.63	0.525	0.163	0.151	0.084	0.013	0.021
1111-7	713.5	759.5	46.23	14.48	0.91	12.50	6.70	6.69	1.55	0.78	0.23	0.21	9.85	99.06	2.83	0.071	1.65	0.546	0.160	0.149	0.090	0.011	0.018
1111-7	718.5	764.5	46.08	14.40	0.90	12.55	6.93	6.51	1.53	0.83	0.19	0.18	9.99	100.56	2.79	0.069	1.68	0.571	0.160	0.141	0.088	0.012	0.018
1111-7	728.5	774.5	45.83	14.50	0.88	12.91	7.30	6.49	1.46	0.81	0.21	0.18	10.18	100.20	2.60	0.069	1.70	0.572	0.159	0.139	0.090	0.010	0.018
1111-7	738.5	784.5	45.65	14.39	0.88	12.92	7.26	6.33	1.43	0.83	0.18	0.18	9.86	99.80	2.76	0.068	1.75	0.588	0.163	0.132	0.083	0.013	0.022
1111-7	753.5	804.5	44.54	14.23	0.85	13.16	7.38	6.46	1.34	0.75	0.23	0.21	9.66	100.22	2.74	0.071	1.62	0.548	0.164	0.158	0.087	0.011	0.018
1111-7	758.5	809.5	45.36	14.64	0.91	12.56	7.07	6.98	1.65	0.81	0.20	0.18	9.86	100.22	2.74	0.071	1.62	0.548	0.164	0.158	0.087	0.011	0.018
1111-7	763.5	814.5	45.91	14.56	0.87	13.15	7.33	6.40	1.49	0.81	0.17	0.18	10.48	101.29	2.79	0.068	1.71	0.571	0.144	0.087	0.009	0.018	

Fortsetzung: Tab. A-14: Hauptelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Glühverlust	Summe	Si/Al	Ti/Al	Fe/Al	Mg/Al	Ca/Al	Na/Al	K/Al	P/Al	Mn/Al
1111-7	773.5	819.5	44.87	14.35	0.85	13.00	7.19	6.27	1.31	0.77	0.19	0.21	12.05	101.45	2.76	0.067	1.71	0.568	0.590	0.128	0.084	0.011	0.021
1111-7	778.5	824.5	46.30	14.76	0.90	12.96	6.93	6.36	1.38	0.84	0.21	0.18	10.15	100.97	2.77	0.069	1.66	0.533	0.582	0.131	0.089	0.012	0.018
1111-7	788.5	834.5	45.76	14.47	0.88	12.71	7.03	6.30	1.47	0.89	0.18	0.17	9.95	99.78	2.79	0.069	1.66	0.551	0.588	0.142	0.097	0.010	0.017
1111-8	803.5	864.5	45.82	14.79	0.80	13.22	7.42	6.25	1.36	0.84	0.19	0.16	10.23	101.06	2.74	0.061	1.69	0.569	0.570	0.129	0.089	0.010	0.016
1111-8	808.5	869.5	45.30	14.36	0.87	12.38	6.60	6.28	1.36	0.87	0.17	0.18	10.06	99.22	2.79	0.069	1.63	0.521	0.590	0.133	0.095	0.010	0.019
1111-8	818.5	879.5	44.82	14.55	0.73	13.30	7.49	6.49	1.38	0.75	0.18	0.16	11.01	100.83	2.72	0.057	1.73	0.584	0.602	0.133	0.081	0.010	0.016
1111-8	828.5	889.5	46.44	14.81	0.88	12.75	7.04	6.63	1.56	0.85	0.17	0.16	9.14	100.45	2.77	0.067	1.63	0.539	0.604	0.148	0.090	0.009	0.015
1111-8	838.5	899.5	43.95	14.27	0.67	14.15	8.05	6.26	1.17	0.71	0.17	0.16	11.63	101.18	2.72	0.053	1.87	0.640	0.592	0.115	0.078	0.010	0.017
1111-8	848.5	909.5	44.97	14.43	0.77	13.46	7.63	6.38	1.35	0.75	0.16	0.16	9.88	99.92	2.75	0.061	1.76	0.600	0.597	0.131	0.082	0.009	0.016
1111-8	858.5	919.5	44.23	14.20	0.70	13.76	7.83	6.66	1.27	0.74	0.17	0.16	10.93	100.62	2.75	0.056	1.83	0.625	0.633	0.125	0.082	0.010	0.016
1111-8	868.5	929.5	44.64	14.31	0.70	13.86	7.84	6.20	1.31	0.74	0.16	0.16	10.78	100.66	2.76	0.055	1.83	0.621	0.585	0.128	0.081	0.009	0.016
1111-8	873.5	934.5	46.38	14.75	0.87	12.54	6.84	6.57	1.40	0.84	0.17	0.18	11.86	100.78	2.78	0.067	1.61	0.526	0.601	0.133	0.089	0.010	0.018
1111-8	878.5	939.5	46.42	14.97	0.86	12.25	6.86	7.11	1.68	0.79	0.17	0.15	8.78	100.01	2.74	0.065	1.55	0.520	0.641	0.157	0.083	0.009	0.015
1111-8	888.5	949.5	44.55	14.59	0.74	12.50	7.08	7.76	1.64	0.69	0.17	0.15	10.21	100.05	2.70	0.058	1.62	0.550	0.718	0.158	0.074	0.009	0.015
1111-8	903.5	964.5	44.47	14.65	0.70	13.37	7.63	6.98	1.42	0.71	0.18	0.15	10.78	101.02	2.68	0.054	1.73	0.591	0.643	0.136	0.076	0.010	0.015
1111-8	908.5	969.5	45.31	15.03	0.81	11.16	6.46	9.75	1.99	0.67	0.17	0.15	8.85	100.34	2.66	0.061	1.40	0.487	0.876	0.186	0.070	0.009	0.015
1111-8	913.5	974.5	43.20	14.11	0.66	13.44	7.64	6.46	1.23	0.68	0.17	0.19	10.80	99.14	2.70	0.053	1.80	0.614	0.618	0.122	0.076	0.010	0.019
1111-8	923.5	984.5	46.27	14.67	0.86	12.61	7.02	6.85	1.58	0.82	0.17	0.16	9.65	100.65	2.79	0.066	1.62	0.543	0.630	0.151	0.088	0.009	0.016
1111-8	928.5	989.5	44.68	14.38	0.81	12.84	7.13	6.64	1.46	0.82	0.19	0.19	9.00	101.11	2.75	0.064	1.69	0.563	0.623	0.143	0.089	0.011	0.019
1111-8	933.5	994.5	46.52	14.76	0.89	12.28	6.96	7.17	1.65	0.81	0.16	0.16	8.81	100.20	2.78	0.068	1.57	0.535	0.656	0.157	0.086	0.009	0.015
1111-8	938.5	999.5	48.42	15.77	0.93	11.17	6.16	8.43	2.06	0.71	0.17	0.16	6.47	100.44	2.71	0.067	1.34	0.443	0.722	0.183	0.071	0.009	0.015
1111-8	938.5	999.5	46.46	15.12	0.91	10.88	6.03	8.38	2.04	0.71	0.18	0.17	10.68	101.15	2.71	0.068	1.36	0.452	0.748	0.189	0.074	0.010	0.017
1111-8	943.5	1004.5	47.89	15.13	0.95	11.69	6.58	8.04	1.89	0.74	0.15	0.16	7.44	100.63	2.80	0.071	1.46	0.493	0.717	0.175	0.077	0.008	0.015
1111-8	948.5	1009.5	46.40	14.95	0.82	12.51	7.08	7.61	1.69	0.68	0.17	0.18	12.55	100.25	2.74	0.062	1.58	0.537	0.687	0.159	0.072	0.010	0.018
1111-8	953.5	1014.5	44.24	14.42	0.70	13.36	7.76	6.90	1.43	0.70	0.17	0.16	10.37	100.18	2.71	0.055	1.75	0.610	0.646	0.139	0.076	0.010	0.016
1111-8	958.5	1019.5	43.28	14.05	0.67	13.24	7.55	7.95	1.31	0.65	0.22	0.19	11.98	101.12	2.72	0.054	1.78	0.610	0.764	0.131	0.073	0.013	0.019
1111-8	963.5	1024.5	43.29	14.14	0.65	13.23	7.77	7.32	1.40	0.68	0.16	0.15	11.54	100.28	2.70	0.052	1.77	0.623	0.699	0.139	0.075	0.010	0.016
1111-8	973.5	1034.5	45.25	14.53	0.74	12.99	7.36	6.86	1.57	0.73	0.18	0.15	9.96	100.31	2.75	0.058	1.69	0.575	0.637	0.152	0.079	0.010	0.015
1111-8	983.5	1044.5	48.37	15.80	0.87	11.67	6.63	7.89	1.98	0.81	0.16	0.15	6.92	101.25	2.70	0.062	1.40	0.476	0.674	0.176	0.080	0.009	0.014
1111-8	988.5	1049.5	47.36	15.52	1.02	10.79	6.09	9.54	2.33	0.60	0.16	0.18	5.02	98.62	2.70	0.074	1.31	0.445	0.830	0.210	0.060	0.009	0.017
1111-8	998.5	1059.5	41.98	13.81	0.65	13.50	7.96	6.62	1.22	0.69	0.19	0.19	11.79	98.60	2.68	0.053	1.85	0.653	0.647	0.124	0.078	0.012	0.020
1111-8	1008.5	1069.5	47.88	15.45	0.96	11.29	6.29	8.98	2.09	0.64	0.13	0.18	9.43	99.69	2.74	0.070	1.38	0.462	0.784	0.190	0.065	0.007	0.017
1111-8	1013.5	1074.5	43.58	14.27	0.66	13.72	8.04	6.56	1.37	0.70	0.16	0.16	11.30	100.48	2.70	0.052	1.82	0.639	0.620	0.135	0.077	0.009	0.016
1111-8	1028.5	1089.5	47.56	15.09	0.87	12.08	6.74	7.18	1.76	0.88	0.15	0.15	8.43	100.90	2.78	0.065	1.51	0.507	0.642	0.164	0.091	0.008	0.015
1111-8	1033.5	1094.5	48.41	15.83	0.99	10.55	6.09	9.16	2.38	0.69	0.14	0.15	4.95	99.33	2.70	0.071	1.26	0.436	0.781	0.211	0.068	0.007	0.014
1111-8	1038.5	1099.5	49.10	15.78	1.34	11.37	6.05	10.56	2.48	0.52	0.12	0.19	2.93	100.43	2.75	0.096	1.36	0.435	0.903	0.220	0.052	0.006	0.017
1111-8	1043.5	1104.5	45.63	14.58	0.76	12.95	7.53	6.97	1.55	0.73	0.16	0.16	9.82	100.83	2.76	0.059	1.68	0.586	0.645	0.149	0.079	0.009	0.016

Tab. A-15: Spurenelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111; Ergebnisse in [mg/kg] der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) der Untersuchungen mit Summen von  $100 \pm 1.5$  Gew. %.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Sr	V	Y	Zn	Zr	Ba/Al	Co/Al	Cr/Al	Cu/Al	Nb/Al	Ni/Al	Sr/Al	V/Al	Y/Al	Zn/Al	Zr/Al
1111-5	16.5	11.5	257	51	132	116	9	101	267	234	29	102	120	31.06	6.16	15.95	14.02	1.09	12.21	32.27	28.28	3.51	12.33	14.50
1111-5	28.5	23.5	235	50	124	138	7	108	265	246	31	103	119	28.61	6.09	15.10	16.80	0.85	13.15	32.27	29.95	3.77	12.54	14.49
1111-5	43.5	38.5	235	43	114	123	10	94	235	215	29	99	107	28.03	5.13	13.60	14.67	1.19	11.21	28.03	25.64	3.46	11.81	12.76
1111-5	48.5	43.5	260	50	131	150	10	105	276	243	31	107	123	31.57	6.07	15.91	18.21	1.21	12.75	33.51	29.50	3.76	12.99	14.93
1111-5	53.5	48.5	204	48	104	118	6	96	247	203	25	81	105	24.42	5.75	12.45	14.13	0.72	11.49	29.57	24.30	2.99	9.70	12.57
1111-5	63.5	58.5	222	51	125	142	10	106	270	246	31	99	121	26.80	6.16	15.09	17.14	1.21	12.80	32.59	29.70	3.74	11.95	14.61
1111-5	78.5	73.5	238	55	136	144	8	106	271	241	30	96	123	29.12	6.73	16.64	17.62	0.98	12.97	33.16	29.49	3.67	11.75	15.05
1111-5	88.5	83.5	249	55	120	140	9	108	270	242	29	96	116	30.93	6.83	14.90	17.39	1.12	13.41	33.53	30.06	3.60	11.92	14.41
1111-5	98.5	93.5	232	52	144	129	10	111	277	229	30	111	120	28.99	6.50	17.99	16.12	1.25	13.87	34.61	28.62	3.75	13.87	15.00
1111-5	108.5	103.5	211	47	116	121	6	100	245	208	29	103	110	26.38	5.88	14.50	15.13	0.75	12.50	30.63	26.00	3.63	12.88	13.75
1111-5	118.5	113.5	213	54	177	161	7	207	268	257	29	98	118	26.65	6.76	22.14	20.14	0.88	25.90	33.53	32.15	3.63	12.26	14.76
1111-5	128.5	123.5	223	51	175	143	8	186	269	262	31	101	120	27.36	6.26	21.47	17.54	0.98	22.82	33.00	32.15	3.80	12.39	14.72
1111-5	143.5	138.5	240	53	101	124	8	102	244	209	24	90	102	29.27	6.46	12.32	15.12	0.98	12.44	29.76	25.49	2.93	10.98	12.44
1111-5	153.5	148.5	235	53	123	156	9	109	285	222	33	92	121	28.58	6.45	14.96	18.97	1.09	13.26	34.66	27.00	4.01	11.19	14.72
1111-5	163.5	158.5	210	51	177	142	7	193	272	253	28	101	123	26.71	6.49	22.51	18.06	0.89	24.55	34.60	32.18	3.56	12.85	15.65
1111-5	173.5	168.5	216	51	116	116	10	95	240	226	25	83	98	27.01	6.38	14.50	14.50	1.25	11.88	30.01	28.26	3.13	10.38	12.25
1111-5	183.5	178.5	229	46	205	137	9	242	268	278	28	92	124	28.93	5.81	25.90	17.31	1.14	30.57	33.85	35.12	3.54	11.62	15.66
1111-5	193.5	188.5	216	47	106	118	9	100	246	220	23	84	100	26.45	5.75	12.98	14.45	1.10	12.24	30.12	26.94	2.82	10.28	12.24
1111-5	203.5	198.5	217	48	185	141	6	188	273	280	28	91	125	27.23	6.02	23.22	17.69	0.75	23.59	34.26	35.14	3.51	11.42	15.69
1111-5	203.5	198.5	210	55	183	140	7	183	269	269	30	94	120	26.32	6.89	22.93	17.55	0.88	22.93	33.71	33.71	3.76	11.78	15.04
1111-5	213.5	208.5	207	51	171	149	7	172	250	266	29	97	111	26.75	6.59	22.10	19.25	0.90	22.22	32.30	34.37	3.75	12.53	14.34
1111-5	223.5	218.5	219	46	172	132	7	171	261	261	31	92	125	27.90	5.86	21.91	16.82	0.89	21.78	33.25	33.25	3.95	11.72	15.92
1111-5	233.5	228.5	204	51	245	135	7	306	259	258	28	95	122	26.51	6.63	31.84	17.54	0.91	39.76	33.66	33.53	3.64	12.34	15.85
1111-5	233.5	228.5	219	46	172	132	7	171	261	261	31	92	125	27.98	5.88	21.98	16.87	0.89	21.85	33.35	33.35	3.96	11.76	15.97
1111-5	243.5	238.5	203	50	187	150	9	215	268	285	30	103	127	25.34	6.24	23.35	18.73	1.12	26.84	33.46	35.58	3.75	12.86	15.86
1111-5	253.5	248.5	214	52	172	146	6	202	265	273	30	97	127	27.44	6.67	22.05	18.72	0.77	25.90	33.98	35.00	3.85	12.44	16.28
1111-5	253.5	248.5	214	52	172	146	6	202	265	273	30	97	127	27.44	6.67	22.05	18.72	0.77	25.90	33.98	35.00	3.85	12.44	16.28
1111-5	263.5	258.5	214	52	130	136	6	102	264	240	31	103	123	27.15	6.60	16.49	17.25	0.76	12.94	33.49	30.45	3.93	13.07	15.60
1111-5	273.5	268.5	212	49	168	146	8	178	265	256	32	99	126	27.08	6.26	21.46	18.65	1.02	22.74	33.85	32.70	4.09	12.65	16.10
1111-5	283.5	278.5	224	51	109	109	9	97	243	201	25	84	102	28.08	6.39	13.66	13.66	1.13	12.16	30.46	25.20	3.13	10.53	12.79
1111-5	298.5	293.5	184	41	107	119	8	91	242	220	27	91	106	23.52	5.24	13.68	15.21	1.02	11.63	30.93	28.12	3.45	11.63	13.55
1111-5	308.5	303.5	186	65	98	164	7	137	186	164	21	73	104	24.08	8.42	12.69	21.23	0.91	17.74	24.08	21.23	2.72	9.45	13.47
1111-6	278.5	321.5	238	47	132	132	7	98	268	238	31	102	121	29.99	5.92	16.64	16.64	0.88	12.35	33.77	29.99	3.91	12.85	15.25
1111-6	288.5	331.5	218	49	185	136	8	194	267	254	29	94	130	27.50	6.18	23.34	17.15	1.01	24.47	33.68	32.04	3.66	11.86	16.40
1111-6	298.5	341.5	213	57	192	149	6	195	272	255	31	99	123	26.70	7.14	24.07	18.68	0.75	24.44	34.09	31.96	3.89	12.41	15.42
1111-6	298.5	341.5	213	57	192	149	6	195	272	255	31	99	123	26.70	7.14	24.07	18.68	0.75	24.44	34.09	31.96	3.89	12.41	15.42
1111-6	308.5	351.5	219	51	171	153	7	167	269	257	30	104	126	27.28	6.35	21.30	19.06	0.87	20.80	33.51	32.01	3.74	12.95	15.70
1111-6	308.5	351.5	219	51	171	153	7	167	269	257	30	104	126	27.28	6.35	21.30	19.06	0.87	20.80	33.51	32.01	3.74	12.95	15.70
1111-6	318.5	361.5	201	49	161	137	7	162	256	263	28	97	125	25.94	6.32	20.77	17.68	0.90	20.90	33.03	33.94	3.61	12.52	16.13
1111-6	328.5	371.5	210	52	190	130	7	234	240	269	27	92	106	27.90	6.91	25.24	17.27	0.93	31.08	31.88	35.73	3.59	12.22	14.08

Fortsetzung: Tab. A-15: Spurenelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Sr	V	Y	Zn	Zr	Ba/Al	Co/Al	Cr/Al	Cu/Al	Nb/Al	Ni/Al	Sr/Al	V/Al	Y/Al	Zn/Al	Zr/Al
1111-6	338.5	381.5	237	49	135	130	12	101	253	243	32	98	120	30.39	6.28	17.31	16.67	1.54	12.95	32.44	31.16	4.10	12.57	15.39
1111-6	348.5	391.5	212	48	200	142	9	247	256	270	28	99	120	26.91	6.09	25.38	18.02	1.14	31.35	32.49	34.27	3.55	12.57	15.23
1111-6	358.5	401.5	208	51	102	124	7	97	234	217	23	90	103	26.46	6.49	12.98	15.77	0.89	12.34	29.77	27.60	2.93	11.45	13.10
1111-6	368.5	411.5	221	51	195	150	8	268	256	255	29	94	122	27.76	6.41	24.50	18.84	1.01	33.67	32.16	32.04	3.64	11.81	15.33
1111-6	368.5	411.5	221	51	195	150	8	268	256	255	29	94	122	27.76	6.41	24.50	18.84	1.01	33.67	32.16	32.04	3.64	11.81	15.33
1111-6	378.5	421.5	213	48	126	151	9	106	254	239	30	106	120	26.86	6.05	15.89	19.04	1.13	13.37	32.03	30.14	3.78	13.37	15.13
1111-6	388.5	431.5	211	60	150	148	9	154	246	232	30	98	120	27.06	7.69	19.23	18.98	1.15	19.75	31.55	29.75	3.85	12.57	15.39
1111-6	398.5	441.5	219	49	101	111	8	101	225	193	22	88	101	27.77	6.21	12.81	14.07	1.01	12.81	28.53	24.47	2.79	11.16	12.81
1111-6	408.5	451.5	259	47	122	140	10	98	249	216	31	99	122	33.25	6.03	15.66	17.97	1.28	12.58	31.97	27.73	3.98	12.71	15.66
1111-6	418.5	461.5	216	57	191	168	6	305	251	233	27	100	127	27.41	7.23	24.24	21.32	0.76	38.71	31.85	29.57	3.43	12.69	16.12
1111-6	428.5	471.5	229	51	95	121	9	99	216	191	24	82	98	29.01	6.46	12.04	15.33	1.14	12.54	27.37	24.20	3.04	10.39	12.42
1111-6	438.5	481.5	235	58	185	150	8	271	234	233	28	97	117	29.98	7.40	23.60	19.14	1.02	34.57	29.85	29.73	3.57	12.38	14.93
1111-6	448.5	491.5	204	57	174	162	7	239	242	238	30	101	123	26.04	7.28	22.21	20.68	0.89	30.51	30.89	30.38	3.83	12.89	15.70
1111-6	458.5	501.5	213	58	181	178	10	223	240	224	29	100	129	27.06	7.37	23.00	22.61	1.27	28.33	30.49	28.46	3.68	12.70	16.39
1111-6	468.5	511.5	209	47	120	104	10	97	220	230	26	85	100	27.25	6.13	15.64	13.56	1.30	12.65	28.68	29.99	3.39	11.08	13.04
1111-6	478.5	521.5	200	51	131	142	7	103	226	233	32	104	114	27.16	6.93	17.79	19.28	0.95	13.99	30.69	31.64	4.35	14.12	15.48
1111-6	488.5	531.5	228	52	162	142	7	125	226	263	29	93	115	31.00	7.07	22.03	19.31	0.95	17.00	30.73	35.76	3.94	12.64	15.64
1111-6	498.5	541.5	243	46	153	131	9	116	224	262	29	98	121	32.72	6.19	20.60	17.64	1.21	15.62	30.16	35.28	3.90	13.20	16.29
1111-6	498.5	541.5	239	44	172	133	8	117	217	258	28	94	113	31.76	5.85	22.86	17.67	1.06	15.55	28.84	34.28	3.72	12.49	15.02
1111-6	508.5	551.5	232	49	178	136	9	152	227	280	28	97	127	29.97	6.33	22.99	17.57	1.16	19.63	29.32	36.17	3.62	12.53	16.40
1111-6	518.5	561.5	232	47	415	157	9	796	207	264	29	97	109	31.98	6.48	57.21	21.64	1.24	#####	28.54	36.39	4.00	13.37	15.03
1111-7	533.5	579.5	226	53	134	150	7	115	216	230	29	104	119	30.34	7.12	17.99	20.14	0.94	15.44	29.00	30.88	3.89	13.96	15.98
1111-7	543.5	589.5	221	51	225	162	8	281	220	253	30	101	123	28.70	6.62	29.22	21.04	1.04	36.50	28.57	32.86	3.90	13.12	15.98
1111-7	553.5	599.5	240	48	176	148	9	164	220	256	30	96	130	30.79	6.16	22.58	18.99	1.15	21.04	28.22	32.84	3.85	12.32	16.68
1111-7	563.5	609.5	221	49	177	148	9	152	219	261	25	95	116	28.31	6.28	22.67	18.96	1.15	19.47	28.05	33.43	3.20	12.17	14.86
1111-7	578.5	624.5	219	45	129	124	8	95	195	208	26	88	114	27.97	5.75	16.48	15.84	1.02	12.13	24.91	26.57	3.32	11.24	14.56
1111-7	588.5	634.5	215	50	135	140	11	106	209	237	28	95	120	27.73	6.45	17.41	18.06	1.42	13.67	26.96	30.57	3.61	12.25	15.48
1111-7	598.5	644.5	241	53	148	140	7	99	213	245	30	99	123	31.33	6.89	19.24	18.20	0.91	12.87	27.69	31.85	3.90	12.87	15.99
1111-7	608.5	654.5	261	43	143	147	9	104	206	244	30	130	116	33.60	5.54	18.41	18.93	1.16	13.39	26.52	31.42	3.86	16.74	14.94
1111-7	613.5	659.5	231	48	139	103	7	93	194	228	24	77	102	29.56	6.14	17.79	13.18	0.90	11.90	24.83	29.18	3.07	9.85	13.05
1111-7	623.5	669.5	222	48	133	123	11	95	188	219	25	88	105	28.07	6.07	16.82	15.55	1.39	12.01	23.77	27.69	3.16	11.13	13.28
1111-7	633.5	679.5	229	48	125	118	9	110	188	226	24	107	113	28.16	5.90	15.37	14.51	1.11	13.53	23.12	27.80	2.95	13.16	13.90
1111-7	638.5	684.5	237	43	129	120	7	91	187	220	27	96	114	29.61	5.37	16.12	14.99	0.87	11.37	23.36	27.49	3.37	11.99	14.24
1111-7	648.5	694.5	265	50	139	126	12	97	203	241	29	98	122	33.40	6.30	17.52	15.88	1.51	12.23	25.59	30.37	3.66	12.35	15.38
1111-7	668.5	714.5	254	52	143	142	9	104	211	240	31	105	130	32.61	6.68	18.36	18.23	1.16	13.35	27.09	30.81	3.98	13.48	16.69
1111-7	673.5	719.5	243	47	122	131	11	99	193	220	25	101	112	29.98	5.80	15.05	16.16	1.36	12.22	23.81	27.15	3.08	12.46	13.82
1111-7	678.5	724.5	241	43	121	143	9	99	189	223	27	99	117	29.54	5.27	14.83	17.53	1.10	12.14	23.17	27.34	3.31	12.14	14.34
1111-7	683.5	729.5	250	53	123	150	9	111	189	206	23	90	109	31.05	6.58	15.28	18.63	1.12	13.79	23.47	25.59	2.86	11.18	13.54
1111-7	693.5	739.5	215	62	114	221	6	143	201	206	31	97	129	28.17	8.12	14.93	28.95	0.79	18.73	26.33	26.99	4.06	12.71	16.90
1111-7	698.5	744.5	203	60	109	173	10	129	182	188	25	78	105	26.65	7.88	14.31	22.71	1.31	16.93	23.89	24.68	3.28	10.24	13.78
1111-7	713.5	759.5	173	60	98	174	9	130	195	156	27	73	99	22.17	7.69	12.56	22.30	1.15	16.66	24.99	19.99	3.46	9.36	12.69
1111-7	718.5	764.5	198	60	120	181	8	135	210	177	30	81	117	25.85	7.83	15.66	23.63	1.04	17.62	27.41	23.10	3.92	10.57	15.27
1111-7	728.5	774.5	195	57	98	164	7	125	186	168	25	73	101	25.60	7.48	12.86	21.53	0.92	16.41	24.42	22.05	3.28	9.58	13.26
1111-7	738.5	784.5	176	62	94	162	8	131	184	154	24	74	99	22.95	8.08	12.25	21.12	1.04	17.08	23.99	20.08	3.13	9.65	12.91

Fortsetzung: Tab. A-15: Spurenelementverteilung im Gesamtsediment der Kernsequenz PG1111.

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Sr	V	Y	Zn	Zr	Ba/Al	Co/Al	Cr/Al	Cu/Al	Nb/Al	Ni/Al	Sr/Al	V/Al	Y/Al	Zn/Al	Zr/Al
1111-7	753.5	799.5	179	63	98	181	6	135	179	156	21	78	99	23.51	8.28	12.87	23.78	0.79	17.73	23.51	20.49	2.76	10.25	13.01
1111-7	758.5	804.5	251	64	115	185	8	140	213	182	29	84	118	30.68	8.50	15.28	24.57	1.06	18.60	28.29	24.18	3.85	11.16	15.67
1111-7	763.5	809.5	166	59	104	158	9	127	195	180	23	79	99	21.43	7.62	13.43	20.40	1.16	16.40	25.18	23.24	2.97	10.20	12.78
1111-7	768.5	814.5	179	60	93	130	7	128	183	163	23	70	93	23.24	7.79	12.07	16.88	0.91	16.62	23.76	21.16	2.99	9.09	12.07
1111-7	773.5	819.5	185	76	90	223	5	168	201	129	26	114	116	24.37	10.01	11.86	29.36	0.66	22.13	26.48	16.99	3.43	15.02	15.28
1111-7	778.5	824.5	191	58	91	190	8	133	177	150	24	88	99	24.46	7.43	11.65	24.33	1.02	17.03	22.67	19.21	3.07	11.27	12.68
1111-7	783.5	834.5	206	64	89	169	7	128	185	145	24	81	101	26.91	8.36	11.63	22.08	0.91	16.72	24.17	18.94	3.14	10.58	13.19
1111-8	803.5	864.5	179	64	79	192	8	140	183	155	24	78	102	22.88	8.18	10.40	24.54	1.32	17.89	23.59	19.81	3.07	9.97	13.04
1111-8	808.5	869.5	201	66	106	212	10	153	201	176	28	88	110	26.46	8.69	13.95	27.91	1.32	20.14	26.46	23.17	3.69	11.58	14.48
1111-8	818.5	879.5	175	62	79	164	8	147	184	143	23	73	97	22.74	8.06	10.66	23.04	1.04	19.10	23.91	18.58	2.99	9.48	12.60
1111-8	828.5	889.5	190	59	84	185	7	129	192	170	24	74	106	24.25	7.53	10.72	23.61	0.89	16.47	24.51	21.70	3.06	9.45	13.53
1111-8	838.5	899.5	157	69	68	211	7	154	178	119	23	74	99	20.80	9.14	9.01	27.95	0.93	20.40	23.58	15.76	3.05	9.80	13.11
1111-8	848.5	909.5	149	62	81	201	9	139	185	143	20	72	102	19.52	8.12	10.61	26.33	1.18	18.21	24.24	18.73	2.62	9.43	13.36
1111-8	858.5	919.5	172	68	67	212	5	150	179	123	22	77	98	22.90	9.05	8.92	28.22	0.67	19.97	23.63	16.37	2.93	10.25	13.05
1111-8	868.5	929.5	164	71	70	173	6	145	180	126	19	77	99	21.66	9.38	9.25	22.85	0.79	19.15	23.78	16.64	2.51	10.30	13.08
1111-8	873.5	934.5	184	70	106	184	5	150	208	168	29	96	118	23.58	8.97	13.58	23.58	0.64	19.22	26.66	21.53	3.72	12.30	15.12
1111-8	878.5	939.5	180	54	86	165	7	123	196	160	24	69	98	22.73	6.82	10.86	20.84	0.88	15.53	24.75	20.20	3.03	8.71	12.38
1111-8	888.5	949.5	154	66	78	162	8	130	193	139	23	67	88	19.95	8.55	10.11	20.99	1.04	16.84	25.01	18.01	2.98	8.68	11.40
1111-8	903.5	964.5	162	64	71	178	7	137	189	125	22	77	95	20.90	8.26	9.16	22.97	0.90	17.68	24.39	16.13	2.84	9.94	12.26
1111-8	908.5	969.5	186	53	89	266	5	105	205	322	21	71	87	23.39	6.67	11.19	33.46	0.63	13.21	25.78	40.50	2.64	8.93	10.94
1111-8	913.5	974.5	197	64	107	184	7	135	197	188	31	89	121	26.39	8.57	14.34	24.65	0.94	18.09	26.59	25.19	4.15	11.92	16.21
1111-8	923.5	984.5	184	60	94	177	8	128	190	159	21	97	101	23.71	7.73	12.11	22.81	1.03	16.48	24.48	20.49	2.71	12.50	13.01
1111-8	928.5	989.5	204	59	107	180	6	133	227	171	26	85	108	26.82	7.76	14.07	23.67	0.79	17.49	29.85	22.48	3.42	11.18	14.20
1111-8	933.5	994.5	185	61	89	166	9	119	195	168	23	75	101	23.69	7.81	11.40	21.26	1.15	15.24	24.97	21.52	2.95	9.61	12.94
1111-8	938.5	999.5	196	49	105	138	6	96	220	172	25	76	100	23.49	5.87	12.59	16.54	0.72	11.51	26.37	20.62	3.00	9.11	11.99
1111-8	938.5	999.5	190	64	109	170	7	137	211	177	29	90	121	23.75	8.00	13.62	21.25	0.87	17.12	26.37	22.12	3.62	11.25	15.12
1111-8	943.5	1004.5	172	58	96	162	6	110	211	182	21	73	96	21.49	7.25	11.99	20.24	0.75	15.74	26.36	22.74	2.62	9.12	11.99
1111-8	948.5	1009.5	189	70	92	204	5	162	199	151	26	107	110	23.90	8.85	11.63	25.80	0.63	20.49	25.16	19.09	3.29	13.53	13.91
1111-8	953.5	1014.5	160	67	82	195	8	141	191	130	22	79	99	20.97	8.78	10.75	25.56	1.05	18.48	25.04	17.04	2.88	10.36	12.98
1111-8	958.5	1019.5	182	70	97	217	8	159	210	150	29	91	116	24.48	9.42	13.05	29.19	1.08	21.39	28.25	20.18	3.90	12.24	15.61
1111-8	963.5	1024.5	151	67	82	181	8	143	184	121	20	74	91	20.19	8.96	10.96	24.20	1.07	19.12	24.60	16.18	2.67	9.89	12.17
1111-8	973.5	1034.5	153	63	78	184	6	127	192	143	23	70	97	19.91	8.20	10.15	23.94	0.78	16.52	24.98	18.60	2.99	9.11	12.62
1111-8	983.5	1044.5	213	53	102	143	8	113	216	163	23	73	97	25.48	6.34	12.20	17.11	0.96	13.52	25.84	19.50	2.75	8.73	11.61
1111-8	988.5	1049.5	208	50	130	145	6	101	240	199	28	83	96	25.34	6.09	15.84	17.66	0.73	12.30	29.24	24.24	3.41	10.11	11.69
1111-8	998.5	1059.5	154	75	93	228	7	160	205	139	26	93	115	21.07	10.26	12.73	31.20	0.96	21.90	28.05	19.02	3.56	12.73	15.74
1111-8	1008.5	1069.5	203	63	109	187	8	135	220	166	28	81	108	24.84	7.71	13.34	22.88	0.98	16.52	26.92	20.31	3.43	9.91	13.21
1111-8	1013.5	1074.5	168	67	82	183	7	142	182	120	19	103	92	22.26	8.88	10.86	24.24	0.93	18.81	24.71	15.90	2.52	13.64	12.19
1111-8	1028.5	1089.5	217	58	84	130	8	117	201	149	22	74	100	27.18	7.27	10.52	16.29	1.00	14.66	25.18	18.67	2.76	9.27	12.53
1111-8	1033.5	1094.5	193	47	106	130	6	89	231	203	23	68	86	23.05	5.61	12.66	15.52	0.72	10.63	27.59	24.24	2.75	8.12	10.27
1111-8	1038.5	1099.5	168	41	138	109	7	84	231	269	22	88	85	20.13	4.81	16.53	13.06	0.84	10.06	27.67	32.22	2.64	10.54	10.18
1111-8	1043.5	1104.5	172	63	78	169	8	139	194	148	22	78	100	22.30	8.17	10.11	21.91	1.04	18.02	25.15	19.19	2.85	10.11	12.97

7.2.3.2 Tonfraktion (< 2 µm)

Tab. A-16: Hauptelementverteilung in der Tonfraktion der Kensequenz PG1111 in [Gew.-%]

Kern	Bohrtiefe (cm)	Tiefe (cm)	ADOS	T02	F00/F02	MgO	CaO	MnO	K2O	PO5	MnO	TiVAI	Mg/Al	Fe/Al	Ca/Al	Na/Al	K/Al	P/Al	Mn/Al
1111-2	12,5	15,78	0,94	10,02	5,64	4,39	4,61	0,55	0,95	0,23	0,25	0,0676	0,4054	1,2003	0,3943	0,0489	0,0345	0,0152	0,0232
1111-3	13,2	16,58	0,88	10,05	5,69	4,39	4,61	0,58	0,99	0,34	0,24	0,0676	0,3882	1,1458	0,3574	0,0491	0,0377	0,0169	0,0212
1111-5	22,75	24,25	0,91	9,77	5,74	4,75	4,75	0,50	0,92	0,31	0,21	0,0726	0,4578	1,2988	0,4509	0,0532	0,1026	0,0180	0,0216
1111-6	32,75	40,05	15,01	0,85	10,57	6,12	4,50	0,59	1,02	0,23	0,16	0,0642	0,4625	1,3312	0,4046	0,0551	0,1066	0,0126	0,0156
1111-7	45,75	50,05	15,89	0,87	11,05	7,03	5,08	0,72	1,13	0,24	0,25	0,0621	0,5018	1,3122	0,4315	0,0536	0,1116	0,0125	0,0230
1111-7	57,25	61,85	14,51	0,89	9,91	6,18	4,74	0,62	1,18	0,22	0,19	0,0696	0,4831	1,2911	0,4409	0,0599	0,1276	0,0125	0,0192
1111-7	61,75	66,35	15,66	0,88	9,74	5,88	4,34	0,61	1,35	0,19	0,17	0,0637	0,4259	1,1757	0,3741	0,0511	0,1386	0,0084	0,0166
1111-7	62,75	67,35	15,49	0,90	10,21	5,99	4,21	0,51	1,48	0,19	0,19	0,0609	0,4056	1,1523	0,3392	0,0511	0,1386	0,0084	0,0166
1111-7	64,75	69,35	16,75	0,89	10,35	6,13	4,40	0,56	1,31	0,19	0,19	0,0652	0,4489	1,2631	0,3834	0,0507	0,1327	0,0101	0,0170
1111-7	67,75	71,58	17,58	0,95	10,80	6,58	4,78	0,84	1,64	0,20	0,22	0,0574	0,5016	1,2764	0,3937	0,0517	0,1156	0,0113	0,0201
1111-7	67,75	72,35	17,57	0,93	10,52	6,63	4,64	0,71	1,64	0,22	0,22	0,0560	0,4280	1,1318	0,3564	0,0567	0,1465	0,0105	0,0183
1111-7	67,75	73,35	16,01	0,81	10,81	7,08	4,67	0,59	1,18	0,22	0,22	0,0574	0,5016	1,2764	0,3937	0,0517	0,1156	0,0113	0,0201
1111-7	68,75	73,35	15,30	0,80	11,04	7,50	4,81	0,54	1,10	0,18	0,20	0,0593	0,5560	1,3840	0,4243	0,0486	0,1128	0,0097	0,0220
1111-7	69,25	74,35	14,96	0,79	11,09	8,00	5,00	0,54	0,98	0,20	0,24	0,0599	0,5065	1,4013	0,4511	0,0506	0,1028	0,0110	0,0235
1111-7	69,25	74,85	15,17	0,77	10,83	8,11	5,42	0,57	0,99	0,22	0,20	0,0576	0,5064	1,3495	0,4822	0,0527	0,1024	0,0125	0,0203
1111-7	70,25	74,85	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	70,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	71,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	71,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	71,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205
1111-7	72,25	75,35	14,25	0,75	10,54	8,01	5,45	0,59	0,82	0,22	0,20	0,0597	0,5519	1,3982	0,5446	0,0581	0,0903	0,0127	0,0205</

Anhang

Tab. A-18: Prozentuale Ab- und Zufuhr von Hauptelementen der < 2µm - Fraktion in der Kernsequenz in Bezug auf Kernabschnitt 1112 - 950 cm; Berechnungsformel s. Text S.69.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Tl [%]	Mg [%]	Fe [%]	Ca [%]	Na [%]	K [%]	P [%]	Mn [%]	Verw.index
1111-5	17.5	12.5	17.74	-35.62	-9.23	-31.68	-27.01	7.23	52.64	34.61	0.85
1111-5	157.5	152.5	4.90	-38.19	-13.35	-38.08	-26.75	6.36	70.32	22.99	0.89
1111-5	247.5	242.5	26.48	-27.29	-1.78	-21.89	-11.64	16.49	81.06	25.48	0.77
1111-6	357.5	400.5	11.93	-26.56	0.67	-29.89	-17.69	21.04	27.27	-9.43	0.78
1111-6	457.5	500.5	8.21	-20.31	-0.77	-25.24	-5.12	26.67	25.45	33.68	0.75
1111-7	572.5	618.5	21.23	-23.29	-2.37	-23.61	-10.52	44.85	25.93	11.26	0.77
1111-7	617.5	663.5	11.07	-32.37	-11.09	-35.19	-19.77	53.55	0.77	-7.76	0.87
1111-7	627.5	673.5	6.20	-35.59	-12.86	-41.22	-23.74	57.38	-15.70	-3.62	0.91
1111-7	647.5	693.5	13.56	-28.72	-4.48	-33.57	-24.30	50.64	1.88	-1.27	0.83
1111-7	667.5	713.5	6.81	-32.58	-12.18	-36.42	0.06	60.09	-5.51	-8.17	0.87
1111-7	677.5	723.5	4.62	-32.03	-14.41	-38.24	-15.38	66.26	4.00	6.39	0.90
1111-7	687.5	733.5	0.00	-20.35	-3.48	-31.79	-22.83	31.28	14.13	16.75	0.78
1111-7	692.5	738.5	3.34	-11.71	3.15	-26.48	-27.46	28.06	-2.29	27.73	0.72
1111-7	697.5	743.5	4.37	-3.68	5.97	-21.84	-24.41	16.68	11.04	36.31	0.68
1111-7	702.5	748.5	0.32	-3.71	2.05	-16.45	-21.32	16.24	25.93	17.62	0.68
1111-7	707.5	753.5	4.02	3.52	5.73	-5.64	-13.30	2.50	28.23	19.25	0.63
1111-7	712.5	758.5	-0.78	-4.71	-0.48	-15.82	41.08	14.12	15.20	12.24	0.67
1111-7	717.5	763.5	-0.98	-3.38	-0.88	-12.99	18.90	8.28	10.96	13.51	0.67
1111-7	722.5	768.5	-5.14	-0.76	0.38	-12.52	-6.38	5.40	9.21	17.31	0.66
1111-7	727.5	773.5	-1.43	-4.23	-1.67	-10.64	0.36	13.06	12.97	15.56	0.67
1111-7	782.5	828.5	4.10	4.72	2.96	-4.03	-11.20	-0.10	19.30	10.42	0.63
1111-8	807.5	868.5	4.02	-1.96	0.39	-10.14	-10.92	14.30	19.76	-1.99	0.67
1111-8	872.5	933.5	2.28	-4.13	-2.30	-8.22	-11.34	14.92	6.05	-2.93	0.68
1111-8	932.5	993.5	1.43	-1.98	-0.48	-6.52	-8.09	10.65	-4.66	-2.47	0.66
1111-8	952.5	1013.5	-9.37	4.21	-0.04	1.71	-2.57	-3.91	0.81	-2.60	0.63
1111-8	977.5	1038.5	-5.37	-2.06	-3.88	-1.15	1.69	2.34	-3.42	-1.20	0.65
1111-8	1022.5	1083.5	17.44	-1.98	5.79	2.16	3.22	-3.78	12.16	9.00	0.63
1111-8	1047.5	1108.5	-4.17	1.76	-1.43	3.78	5.76	-5.24	-4.92	-2.73	0.63

Tab. A-19: Prozentuale Ab- und Zufuhr von Spurenelementen der < 2µm - Fraktion in der Kernsequenz in Bezug auf Kernabschnitt 1112 - 950 cm; Berechnungsformel s. Text S.69.

Kern	Bohrtiefe [cm]	Tiefe [cm]	Ba [%]	Co [%]	Cu [%]	Ni [%]	Sr [%]	V [%]	Zn [%]
1111-5	17.5	12.5	-1.75	-21.82	-7.37	-20.86	25.79	25.01	18.56
1111-5	157.5	152.5	10.03	-22.33	-26.66	-20.81	16.31	20.35	27.14
1111-5	247.5	242.5	18.96	-10.71	10.59	-10.46	36.59	46.48	6.46
1111-6	357.5	400.5	13.32	-9.16	-9.36	-9.00	13.93	33.73	16.52
1111-6	457.5	500.5	17.75	-6.10	-21.31	-11.14	3.05	7.22	-8.14
1111-7	572.5	618.5	27.00	-11.07	7.04	-13.85	-8.66	20.90	24.27
1111-7	617.5	663.5	33.70	-20.67	-0.47	-16.84	-18.78	13.13	16.31
1111-7	627.5	673.5	36.30	-18.97	-22.96	-20.94	-25.20	7.45	13.70
1111-7	647.5	693.5	27.99	-13.29	3.45	-13.99	-17.66	11.41	-0.19
1111-7	667.5	713.5	31.03	-21.37	-28.99	-26.12	-30.31	0.23	-15.33
1111-7	677.5	723.5	41.99	-18.87	-27.04	-21.64	-29.58	5.55	-8.20
1111-7	687.5	733.5	18.23	-10.02	-18.15	-5.83	-21.11	8.60	-0.93
1111-7	692.5	738.5	13.01	-2.58	-11.74	6.16	-21.11	8.65	6.11
1111-7	697.5	743.5	12.43	5.74	-10.59	7.97	-14.56	3.36	-7.68
1111-7	702.5	748.5	9.48	3.42	-10.62	6.05	-12.92	-12.16	-7.95
1111-7	707.5	753.5	1.11	7.38	-0.13	11.99	3.33	-11.66	-3.05
1111-7	712.5	758.5	5.41	3.99	-10.62	4.05	-12.45	-12.66	-10.99
1111-7	717.5	763.5	4.25	3.33	-10.95	3.33	-8.58	-11.39	-13.75
1111-7	722.5	768.5	0.61	4.46	-22.44	6.07	-8.30	-13.00	-12.70
1111-7	727.5	773.5	5.02	0.74	-23.34	0.51	-8.28	-9.63	-18.25
1111-7	782.5	828.5	-2.34	5.88	0.50	3.12	0.76	-11.69	-13.35
1111-8	807.5	868.5	3.13	-1.02	8.81	9.48	3.25	1.09	13.40
1111-8	872.5	933.5	4.24	-2.04	-17.68	-1.84	-3.15	-7.89	-6.16
1111-8	932.5	993.5	0.49	2.58	-7.42	2.51	-1.66	-9.31	-0.33
1111-8	952.5	1013.5	-6.26	0.35	-12.21	4.73	0.80	-16.39	-1.07
1111-8	977.5	1038.5	4.39	0.34	-17.54	-1.30	5.86	-10.08	0.04
1111-8	1022.5	1083.5	0.60	-0.34	68.44	-5.21	-4.23	57.23	7.29
1111-8	1047.5	1108.5	-3.47	-0.89	-13.59	1.11	2.39	-13.56	0.22

Tab. A-20: Elementintensitäten des beim Zentrifugieren abgeossenen Wassers zur Gewinnung der Tonfraktion dreier unterschiedlicher Proben und eines Blindwertes; 50 ml Lösung; Einwaage Probe 1 = 9.74 g; 2 = 4.64 g; 3 = 7.07 g.

Variabel	blind	1	2	3
P (ppm)	0.00	0.00	0.03	0.07
FE (ppm)	0.00	0.54	4.53	4.54
MN (ppm)	0.00	0.08	0.15	0.08
MC (ppm)	0.06	2.40	2.54	3.21
CA (ppm)	0.06	17.87	6.86	16.96
TI (ppm)	0.00	0.00	0.08	0.08
AL (ppm)	0.03	0.32	2.46	2.85
NA (ppm)	0.18	8.16	2.58	4.94
K (ppm)	0.36	1.01	0.73	1.11
Ba (ppm)	2.44	5.98	12.34	8.21
Zn (ppb)	3.73	5.82	5.52	5.69
Ni (ppb)	0.80	-1.92	5.59	6.48
Co (ppb)	-2.94	-4.35	-1.27	-0.88
V (ppb)	0.57	23.49	42.00	46.10
Cu (ppb)	4.95	12.88	52.27	64.73

### 7.2.3.3 Sand (> 63 µm) -, Silt (2 - 63 µm) - und Tonfraktion (< 2 µm)

Tab. A-21: Hauptelementkonzentrationen der Sand (> 63 µm) -, Silt (2 - 63 µm)- und Tonfraktion (< 2 µm) in (Gew.%); Kern PG1111.

Fraktion	Kern	Bohrtiefe	Tiefe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO <sub>tot</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>t</sub>
sand (> 63 µm)	1111-6	445-455	488-498	13.62	1.15	6.62	5.44	10.42	1.85	0.99	0.18	0.17
sand (> 63 µm)	1111-7	607-617	653-663	14.93	1.00	6.24	4.96	8.15	1.43	1.00	0.10	0.14
sand (> 63 µm)	1111-7	682-692	728-738	13.45	0.90	4.92	4.42	10.69	1.50	0.97	0.14	0.18
sand (> 63 µm)	1111-8	803-813	864-874	14.55	1.18	7.11	5.95	9.79	1.33	1.14	0.12	0.16
silt (2 - 63 µm)	1111-6	445-455	488-498	16.28	1.27	6.56	5.08	8.29	1.44	1.06	0.12	0.18
silt (2 - 63 µm)	1111-7	607-617	653-663	15.84	1.29	6.92	5.56	8.69	1.46	1.04	0.10	0.16
silt (2 - 63 µm)	1111-7	682-692	728-738	16.10	1.23	6.27	5.17	8.32	1.53	1.15	0.13	0.16
silt (2 - 63 µm)	1111-8	803-813	864-874	16.21	1.18	6.44	5.13	8.18	1.40	1.17	0.12	0.15
ton (< 2 µm)	1111-6	445-455	488-498	15.64	0.83	10.62	6.96	4.78	0.62	1.14	0.22	0.26
ton (< 2 µm)	1111-7	607-617	653-663	15.94	0.86	9.54	5.89	4.12	2.12	1.44	0.19	0.18
ton (< 2 µm)	1111-7	682-692	728-738	15.80	0.87	10.20	6.63	4.64	0.64	1.24	0.19	0.20
ton (< 2 µm)	1111-8	803-813	864-874	15.29	0.75	10.05	7.82	5.63	0.71	0.99	0.18	0.17

Tab. A-22: Spurenelementkonzentrationen der Sand (> 63 µm) -, Silt (2 - 63 µm)- und Tonfraktion (< 2 µm) in (Gew.%); Kern PG1111.

Fraktion	Kern	Bohrtiefe	Tiefe	Ba	Co	Cu	Ni	Sr	V	Zn
sand (> 63 µm)	1111-6	445-455	488-498	309.19	48.50	129.93	57.48	115.98	119.58	137.23
sand (> 63 µm)	1111-7	607-617	653-663	242.57	42.39	113.84	77.37	212.06	207.03	89.47
sand (> 63 µm)	1111-7	682-692	728-738	244.31	28.39	231.58	67.48	223.64	175.81	130.34
sand (> 63 µm)	1111-8	803-813	864-874	222.71	40.61	89.66	77.57	219.45	239.45	86.20
silt (2 - 63 µm)	1111-6	445-455	488-498	238.70	35.79	70.33	71.01	217.62	235.79	85.84
silt (2 - 63 µm)	1111-7	607-617	653-663	226.37	39.69	60.49	75.22	196.19	255.73	84.72
silt (2 - 63 µm)	1111-7	682-692	728-738	254.65	33.90	90.71	69.39	203.04	234.64	78.30
silt (2 - 63 µm)	1111-8	803-813	864-874	247.90	35.75	75.48	71.11	206.19	226.35	80.31
ton (< 2 µm)	1111-6	445-455	488-498	207.88	63.34	209.75	128.03	182.38	156.42	104.63
ton (< 2 µm)	1111-7	607-617	653-663	235.59	58.15	296.68	119.58	141.95	171.94	121.91
ton (< 2 µm)	1111-7	682-692	728-738	217.71	60.60	269.74	129.71	141.41	168.54	117.97
ton (< 2 µm)	1111-8	803-813	864-874	181.66	65.95	223.94	140.16	160.50	136.91	89.05

## 7.2.4 Statistik

### 7.2.4.1 Hauptkomponentenanalyse

Ausgangspunkt einer Faktorenanalyse ist eine quantitative Datenmatrix mit  $n$  Zeilen und  $x$  Spalten.  $N$  ist dabei die Anzahl der interessierenden Objekte (z.B. Schichten, Tiefen usw.) und  $x$  die Anzahl der betrachteten Variablen (z.B. Haupt- und Spurenelemente). Bei einer Hauptkomponentenanalyse wird die Korrelationsmatrix mit den beobachteten abhängigen Merkmalen verwendet und in unabhängige Komponenten transponiert (Hartung et al. 1995).

In einem zweidimensionalen Fall werden z.B. zwei Merkmale an  $n$  Objekten beobachtet. Die  $n$  Zeilen der sich ergebenden Datenmatrix lassen sich durch  $n$  Punkte mit den Koordinaten  $(y_{11}, y_{12}) \dots (y_{n1}, y_{n2})$  zweidimensional darstellen. Bei einer Normalverteilung der Merkmale und Korrelationen ungleich Null liegen die konstruierten Punkte innerhalb einer imaginären Ellipse mit zwei Hauptachsen, die sich im Mittelpunkt  $M$  treffen. Dabei soll die längste Achse das Maximum der Gesamtvarianz repräsentieren, die zweite Achse das Maximum der Restvarianz ausschöpfen (Hartung et al. 1995). Das ursprüngliche Koordinatensystem wird durch Drehung und Verschiebung in die Lage der Achsen der Ellipse transponiert (Prinzip der PCA). Hierbei erhält man neue, unkorrelierte und orthogonale Komponenten bzw. Faktoren. Der Winkel zwischen Ausgangsvariablen und Faktor ist dabei ein Maß für die Entfernung bzw. Korrelation und wird als Faktorladung bezeichnet.

Analog werden im mehrdimensionalen Fall mit Merkmalen  $x > 2$   $x$  Koordinatenpunkte mit  $x$  Achsen erzeugt. Geometrisch wird nun die Form eines Ellipsoids gebildet. (Davis 1986; Hartung et al. 1995; Swan et al. 1995).

Eine anschließende Rotation führt zu Faktoren, die die  $x$  Merkmale möglichst einfach beschreiben sollen, d.h. die Merkmale werden in sich ausschließende Gruppen aufgeteilt. Die Matrix wird solange rotiert bis die Summe der Varianzen keine weitere Veränderung mehr erfährt (Davis 1986). In der vorliegenden Arbeit ist die *Varimax-Rotation* zur Anwendung gekommen. Varimax ist eine orthogonale Rotation, bei der die Faktoren so rotiert werden, daß die Orthogonalität bestehen bleibt (Davis 1986; Hartung et al. 1995). Anschließend werden die Eigenwerte der rotierten Faktoren bestimmt, die die Summe der quadrierten Faktorladungen eines Faktors bzw. in der graphischen Veranschaulichung die Länge eines Faktors darstellen (Backhaus et al. 1990; Davis 1986; Hartung et al. 1995; Swan et al. 1995). Die Summe der Eigenwerte repräsentiert die totale Varianz des gesamten Datensatzes, d.h. der prozentuale Varianzanteil eines jeden Faktors kann berechnet werden.

Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse erhält man die Ausprägung der Faktoren bei den einzelnen Objekten (z.B. Tiefen). Diese bezeichnet man als Faktorwerte (Backhaus et al. 1990). Negative Faktorwerte bedeuten eine unterdurchschnittliche, ein Faktorwert von 0 eine durchschnittliche und ein positiver Faktorwert eine überdurchschnittliche Ausprägung in Bezug zum Faktor und allen anderen Objekten.

Anhang

Tab. A-23: Faktorwerte der Hauptkomponentenanalyse Heges. Und HE ges./Al: Gesamtdeiment Kern PG111.

Bohrtiefe	Tiefe (cm)	Faktor1HEges.	Faktor2HEges.	Faktor3HEges.	Faktor1HEges/Al	Faktor2HEges/Al	Faktor3HEges/Al
16.5	11.5	0.307	0.680	1.865	0.628	1.415	-0.737
28.5	23.5	0.379	0.758	2.094	0.854	1.617	-0.834
43.5	38.5	0.507	0.402	1.742	0.474	1.329	-0.452
48.5	43.5	0.307	0.319	2.374	0.585	2.023	-0.671
53.5	48.5	0.404	0.644	1.397	0.466	0.932	-0.565
63.5	58.5	0.349	0.263	1.951	0.432	1.622	-0.489
78.5	73.5	0.403	0.083	2.389	0.571	2.091	-0.339
88.5	83.5	0.021	0.319	2.597	0.629	2.333	-0.899
98.5	93.5	0.065	0.262	2.457	0.674	2.235	-0.822
108.5	103.5	0.628	0.839	1.247	1.292	0.695	-0.535
118.5	113.5	0.301	-0.389	1.293	0.197	1.402	-0.019
128.5	123.5	0.235	0.010	1.494	0.210	1.377	-0.310
143.5	138.5	0.663	0.054	0.944	0.424	0.735	0.122
153.5	148.5	-0.133	0.082	2.881	0.148	2.505	-0.667
163.5	158.5	0.352	0.162	0.793	0.636	0.839	-0.341
173.5	168.5	0.489	0.405	0.765	0.730	0.567	-0.302
183.5	178.5	0.335	0.163	0.832	0.553	0.850	-0.344
193.5	188.5	0.842	0.376	0.520	0.698	0.264	0.080
203.5	198.5	0.190	0.493	0.820	0.548	0.702	-0.617
203.5	198.5	0.230	0.479	0.678	0.531	0.578	-0.558
213.5	208.5	0.415	-0.168	0.173	0.523	0.388	0.044
223.5	218.5	0.483	-0.131	0.369	0.484	0.495	0.095
233.5	228.5	0.398	0.021	0.050	0.664	0.220	-0.091
233.5	228.5	0.469	-0.163	0.342	0.484	0.495	0.095
243.5	238.5	0.608	0.242	0.471	0.592	0.382	-0.001
253.5	248.5	0.499	0.115	-0.029	0.639	0.061	-0.028
253.5	248.5	0.499	0.115	-0.029	0.639	0.061	-0.028
263.5	258.5	0.452	0.359	0.901	0.850	0.776	-0.301
273.5	268.5	0.402	-0.105	0.561	0.488	0.690	-0.001
283.5	278.5	0.562	0.523	0.433	0.802	0.203	-0.219
298.5	293.5	0.098	0.192	1.108	0.553	1.027	-0.388
308.5	303.5	-0.943	-0.809	0.050	-1.245	0.264	0.342
278.5	321.5	0.390	0.336	0.985	0.761	0.873	-0.404
288.5	331.5	0.432	-0.056	0.673	0.451	0.732	-0.040
298.5	341.5	0.450	-0.121	0.625	0.358	0.674	0.045
298.5	341.5	0.450	-0.121	0.625	0.358	0.674	0.045
308.5	351.5	0.465	-0.005	0.797	0.393	0.768	-0.022
308.5	351.5	0.465	-0.005	0.797	0.393	0.768	-0.022
318.5	361.5	0.354	0.055	-0.123	0.536	-0.026	0.004
328.5	371.5	0.517	-0.012	-0.333	0.890	-0.102	0.097
338.5	381.5	0.585	0.653	0.590	1.193	0.389	-0.343
348.5	391.5	0.606	0.368	-0.022	0.766	-0.093	-0.044
358.5	401.5	0.853	0.095	-0.585	0.745	-0.627	0.469
368.5	411.5	0.533	-0.184	0.109	0.279	0.157	0.336
368.5	411.5	0.533	-0.184	0.109	0.279	0.157	0.336
378.5	421.5	0.739	0.076	0.287	0.730	0.226	0.255
388.5	431.5	0.559	-0.435	0.056	0.356	0.267	0.500
398.5	441.5	0.873	-0.183	-0.230	0.596	-0.251	0.742
408.5	451.5	0.638	-0.250	0.750	0.728	0.764	0.397
418.5	461.5	0.479	-0.532	0.125	0.126	0.315	0.573
428.5	471.5	0.661	-0.258	0.136	0.442	0.101	0.647
438.5	481.5	0.374	-0.333	0.084	0.220	0.221	0.369
448.5	491.5	0.450	-0.552	0.040	0.140	0.233	0.610
458.5	501.5	0.386	-0.822	0.301	-0.085	0.532	0.798
468.5	511.5	0.780	0.619	-0.831	1.191	-0.954	0.045
478.5	521.5	0.703	-0.290	-0.486	1.151	-0.165	0.463
488.5	531.5	0.802	-0.403	-0.998	1.031	-0.563	0.605
498.5	541.5	0.978	-0.307	-1.194	1.086	-0.829	0.714
498.5	541.5	1.044	-0.148	-1.182	1.101	-0.897	0.673
508.5	551.5	1.188	-0.109	-1.076	0.957	-0.914	0.829
518.5	561.5	0.689	-0.950	-1.106	0.679	-0.464	1.038
533.5	579.5	0.894	-0.684	-0.614	0.873	-0.244	1.064
543.5	589.5	1.125	-0.717	-1.060	0.548	-0.732	1.330
553.5	599.5	1.083	-0.698	-0.737	0.459	-0.469	1.262
563.5	609.5	0.738	0.077	-0.867	0.603	-0.815	0.447
578.5	624.5	0.989	-0.171	-0.360	0.725	-0.360	0.874
588.5	634.5	0.659	-0.136	0.076	0.669	0.060	0.600
598.5	644.5	1.061	-0.229	-0.986	0.875	-0.853	0.899
608.5	654.5	1.047	-0.323	-0.540	0.779	-0.459	0.964
613.5	659.5	1.266	0.233	-1.622	0.974	-1.733	0.994
623.5	669.5	1.708	-0.636	-1.826	0.657	-1.672	1.928
633.5	679.5	2.118	-1.068	-1.741	0.424	-1.565	2.581
638.5	684.5	1.601	-0.552	-1.238	0.621	-1.148	1.663
648.5	694.5	1.260	-0.154	-0.446	0.819	-0.534	1.091

Fortsetzung Tab. A-23: Faktorwerte der Hauptkomponentenanalyse (HE)

Bohrtiefe	Tiefe (cm)	Faktor1HEges.	Faktor2HEges.	Faktor3HEges.	Faktor1HEges./AI	Faktor2HEges./AI	Faktor3HEges./AI
778.5	824.5	-0.801	-0.950	0.576	-1.191	0.797	0.427
788.5	834.5	-0.473	-1.291	-0.715	-1.203	-0.327	1.123
803.5	864.5	-1.009	-1.088	-0.419	-1.752	-0.150	0.680
808.5	869.5	-0.452	-1.377	-0.424	-1.052	0.079	0.971
818.5	879.5	-1.563	-0.667	-0.536	-1.865	-0.308	-0.079
828.5	889.5	-0.520	-0.627	-0.953	-1.113	-0.813	0.632
838.5	899.5	-2.171	-1.116	-0.478	-2.563	-0.073	0.011
848.5	909.5	-1.421	-0.881	-0.959	-1.867	-0.648	0.296
858.5	919.5	-1.861	-0.888	-0.815	-2.167	-0.482	0.040
868.5	929.5	-1.734	-1.100	-0.890	-2.244	-0.518	0.335
873.5	934.5	-0.548	-0.807	-0.322	-1.054	-0.087	0.551
878.5	939.5	-0.645	0.217	-0.979	-0.804	-1.059	-0.234
888.5	949.5	-1.582	0.811	-0.967	-1.055	-1.145	-1.396
903.5	964.5	-1.903	-0.059	-0.481	-1.862	-0.452	-0.770
908.5	969.5	-1.278	2.996	-0.967	0.253	-1.808	-3.037
913.5	974.5	-2.178	-0.782	-0.020	-2.091	0.389	-0.615
923.5	984.5	-0.646	-0.403	-0.982	-1.005	-0.872	0.328
928.5	989.5	-1.182	-0.756	0.238	-1.244	0.497	0.014
933.5	994.5	-0.533	0.004	-1.120	-0.733	-1.123	0.056
938.5	999.5	-0.357	2.426	-0.518	0.341	-1.306	-1.898
938.5	999.5	-0.569	2.060	-0.350	0.480	-0.940	-2.059
943.5	1004.5	-0.325	1.389	-1.280	0.035	-1.690	-0.946
948.5	1009.5	-1.314	1.031	-0.082	-0.701	-0.423	-1.421
953.5	1014.5	-1.923	-0.198	-0.709	-1.870	-0.596	-0.661
958.5	1019.5	-2.584	0.443	0.740	-1.558	0.768	-2.027
963.5	1024.5	-2.162	-0.030	-1.093	-1.919	-0.970	-0.984
973.5	1034.5	-1.456	-0.114	-0.750	-1.450	-0.694	-0.460
983.5	1044.5	-0.219	1.517	-1.036	-0.258	-1.602	-0.842
988.5	1049.5	-0.729	3.879	-0.301	1.187	-1.460	-3.452
998.5	1059.5	-2.534	-0.833	0.384	-2.208	0.877	-0.894
1008.5	1069.5	-0.555	2.915	-1.006	0.632	-1.851	-2.388
1013.5	1074.5	-2.124	-0.605	-0.898	-2.271	-0.650	-0.379
1028.5	1089.5	-0.032	0.021	-1.562	-0.618	-1.631	0.497
1033.5	1094.5	-0.074	3.432	-1.427	0.975	-2.416	-2.401
1038.5	1099.5	-0.333	5.119	-0.874	2.028	-2.376	-3.853
1043.5	1104.5	-1.371	-0.046	-0.937	-1.409	-0.905	-0.383

Tab. A-24: Faktorwerte der Hauptkomponentenanalyse der SE<sub>ges.</sub> und SE<sub>ges./AI</sub>: Gesamtsediment Kern PG1111.

Kern	Bohrtiefe	Tiefe (cm)	Faktor1SEges	Faktor2SEges	Faktor3SEges	Faktor1SEges./AI	Faktor2SEges./AI	Faktor3SEges./AI
1111-5	16.5	11.5	1.002	1.056	-0.798	0.421	1.053	-0.890
1111-5	28.5	23.5	1.228	0.303	-0.571	0.332	0.701	-0.197
1111-5	43.5	38.5	0.172	1.481	-0.895	-0.303	1.226	-1.201
1111-5	48.5	43.5	1.631	0.670	-1.006	1.095	0.621	-1.120
1111-5	53.5	48.5	-0.706	0.790	-0.179	-1.869	1.227	0.270
1111-5	63.5	58.5	1.119	0.593	-0.766	0.485	0.636	-0.780
1111-5	78.5	73.5	1.191	0.193	-0.560	0.495	0.473	-0.317
1111-5	88.5	83.5	0.909	0.592	-0.754	0.609	0.582	-0.775
1111-5	98.5	93.5	1.295	0.700	-0.737	1.130	0.572	-0.914
1111-5	108.5	103.5	0.418	0.454	-0.464	-0.195	0.761	-0.067
1111-5	118.5	113.5	0.752	-0.271	0.942	0.311	0.289	1.157
1111-5	128.5	123.5	1.006	0.261	0.566	0.441	0.682	0.599
1111-5	143.5	138.5	-0.414	1.001	-0.807	-0.819	0.985	-0.616
1111-5	153.5	148.5	1.371	0.153	-0.812	0.624	0.369	-0.567
1111-5	163.5	158.5	0.753	0.069	0.841	0.493	0.522	1.027
1111-5	173.5	168.5	-0.875	1.523	-0.422	-0.731	1.174	-0.822
1111-5	183.5	178.5	0.367	0.903	1.458	0.508	1.100	0.992
1111-5	193.5	188.5	-0.966	1.537	-0.327	-1.208	1.396	-0.516
1111-5	203.5	198.5	0.574	0.273	1.157	0.045	0.955	1.454
1111-5	203.5	198.5	0.733	0.004	0.870	0.288	0.551	1.093
1111-5	213.5	208.5	0.358	0.168	0.758	0.347	0.481	0.879
1111-5	223.5	218.5	0.761	0.492	0.646	0.543	0.860	0.733
1111-5	233.5	228.5	0.158	0.112	2.516	0.421	0.625	2.358
1111-5	233.5	228.5	0.761	0.492	0.646	0.578	0.847	0.736
1111-5	243.5	238.5	1.026	0.196	0.949	0.790	0.521	0.809
1111-5	253.5	248.5	1.011	-0.219	0.930	0.699	0.372	1.279
1111-5	253.5	248.5	1.011	-0.219	0.930	0.699	0.372	1.279
1111-5	263.5	258.5	1.280	-0.113	-0.438	0.673	0.328	0.128
1111-5	273.5	268.5	1.154	0.125	0.429	1.028	0.388	0.473
1111-5	283.5	278.5	-0.710	1.369	-0.537	-0.686	1.114	-0.784
1111-5	298.5	293.5	-0.476	1.181	-0.340	-0.551	1.127	-0.324

Fortsetzung Tab. A-24: Faktorwerte der Hauptkomponentenanalyse (SE)

Kern	Bohrtiefe	Tiefe (cm)	Faktor1SEges	Faktor2SEges	Faktor3SEges	Faktor1SEges./AI	Faktor2SEges./AI	Faktor3SEges./AI
1111-5	308.5	303.5	-1.290	-0.641	-0.075	-1.117	-0.767	0.060
1111-6	278.5	321.5	1.208	0.530	-0.578	0.747	0.767	-0.318
1111-6	288.5	331.5	0.787	0.384	0.819	0.608	0.895	0.746
1111-6	298.5	341.5	1.142	-0.524	0.946	0.520	0.214	1.391
1111-6	298.5	341.5	1.142	-0.524	0.946	0.520	0.214	1.391
1111-6	308.5	351.5	1.282	-0.130	0.414	0.675	0.386	0.687
1111-6	308.5	351.5	1.282	-0.130	0.414	0.675	0.386	0.687
1111-6	318.5	361.5	0.604	0.229	0.558	0.499	0.549	0.733
1111-6	328.5	371.5	-0.388	0.528	1.584	0.164	0.728	1.427
1111-6	338.5	381.5	1.001	1.241	-0.965	1.538	0.615	-1.699
1111-6	348.5	391.5	0.344	0.581	1.420	0.516	0.757	1.010
1111-6	358.5	401.5	-0.684	0.788	-0.329	-0.818	0.810	-0.200
1111-6	368.5	411.5	0.483	0.128	1.510	0.408	0.501	1.278
1111-6	368.5	411.5	0.483	0.128	1.510	0.408	0.501	1.278
1111-6	378.5	421.5	1.074	0.355	-0.673	0.864	0.326	-0.671
1111-6	388.5	431.5	0.877	-0.193	-0.109	0.978	-0.227	-0.175
1111-6	398.5	441.5	-1.036	1.284	-0.432	-0.946	1.043	-0.628
1111-6	408.5	451.5	1.144	0.930	-1.111	1.460	0.485	-1.563
1111-6	418.5	461.5	0.718	-0.933	1.772	0.473	-0.285	1.961
1111-6	428.5	471.5	-1.011	1.273	-0.658	-0.756	0.846	-1.043
1111-6	438.5	481.5	0.386	-0.140	1.243	0.612	0.017	0.923
1111-6	448.5	491.5	0.892	-0.744	0.990	0.736	-0.328	1.148
1111-6	458.5	501.5	1.036	-0.559	0.546	1.248	-0.598	0.196
1111-6	468.5	511.5	-0.938	1.756	-0.356	-0.274	1.197	-0.999
1111-6	478.5	521.5	0.867	-0.050	-0.463	1.379	-0.190	-0.349
1111-6	488.5	531.5	0.425	0.353	0.181	1.133	0.247	0.081
1111-6	488.5	541.5	0.622	1.067	-0.270	1.551	0.618	-0.877
1111-6	498.5	541.5	0.100	1.140	0.177	0.782	0.891	-0.298
1111-6	508.5	551.5	0.641	0.772	0.333	1.040	0.622	-0.146
1111-6	518.5	561.5	-1.229	0.083	7.776	1.107	0.419	6.206
1111-7	533.5	579.5	0.863	-0.095	-0.451	1.366	-0.281	-0.477
1111-7	543.5	589.5	0.629	-0.178	1.743	1.096	-0.020	1.305
1111-7	553.5	599.5	0.912	0.500	0.214	1.234	0.338	-0.272
1111-7	563.5	609.5	-0.066	0.750	0.505	0.292	0.594	0.025
1111-7	578.5	624.5	-0.415	1.021	-0.375	-0.229	0.737	-0.712
1111-7	588.5	634.5	0.298	0.864	-0.637	0.902	0.247	-1.347
1111-7	598.5	644.5	0.971	0.168	-0.463	1.108	0.114	-0.511
1111-7	608.5	654.5	1.481	0.792	-0.967	1.859	0.343	-1.552
1111-7	613.5	659.5	-1.241	1.504	0.072	-1.013	1.327	-0.265
1111-7	623.5	669.5	-0.812	1.567	-0.523	-0.226	0.836	-1.419
1111-7	633.5	679.5	-0.125	1.119	-0.561	-0.177	0.779	-1.057
1111-7	638.5	684.5	-0.074	1.062	-0.472	-0.241	0.939	-0.692
1111-7	648.5	694.5	0.666	1.460	-1.064	1.270	0.617	-2.111
1111-7	668.5	714.5	1.435	0.360	-0.881	1.703	0.014	-1.299
1111-7	673.5	719.5	-0.093	1.410	-0.894	0.165	0.739	-1.715
1111-7	678.5	724.5	0.211	0.994	-0.753	0.058	0.678	-1.192
1111-7	683.5	729.5	-0.435	0.738	-0.552	-0.296	0.354	-1.050
1111-7	693.5	739.5	1.566	-2.044	-0.578	1.480	-1.895	-0.065
1111-7	698.5	744.5	-0.755	-0.066	-0.459	0.015	-0.722	-0.974
1111-7	713.5	759.5	-0.952	-0.458	-0.375	-0.744	-0.745	-0.425
1111-7	718.5	764.5	0.325	-0.899	-0.405	0.528	-1.045	-0.293
1111-7	728.5	774.5	-1.063	-0.267	-0.220	-0.754	-0.483	-0.181
1111-7	738.5	784.5	-1.282	-0.445	-0.273	-0.922	-0.759	-0.287
1111-7	753.5	799.5	-1.293	-0.980	-0.008	-1.121	-1.047	0.304
1111-7	758.5	804.5	0.609	-0.942	-0.611	1.113	-1.254	-0.624
1111-7	763.5	809.5	-1.296	-0.060	-0.150	-0.959	-0.388	-0.294
1111-7	768.5	814.5	-1.813	0.152	-0.032	-1.569	-0.044	-0.015
1111-7	773.5	819.5	1.190	-3.164	-0.713	0.982	-2.975	0.213
1111-7	778.5	824.5	-0.759	-0.699	-0.519	-0.601	-0.972	-0.540
1111-7	788.5	834.5	-0.765	-0.724	-0.550	-0.501	-0.885	-0.444
1111-8	803.5	864.5	-0.849	-1.047	-0.475	-0.780	-1.228	-0.336
1111-8	808.5	869.5	0.302	-1.236	-0.657	0.944	-1.767	-0.891
1111-8	818.5	879.5	-1.457	-0.476	-0.267	-1.135	-0.795	-0.280
1111-8	828.5	889.5	-0.814	-0.743	-0.346	-0.901	-0.758	-0.091
1111-8	838.5	899.5	-1.104	-1.876	-0.359	-0.841	-2.110	0.041
1111-8	848.5	909.5	-1.543	-0.950	-0.234	-1.099	-1.387	-0.245
1111-8	858.5	919.5	-1.027	-2.015	-0.263	-0.957	-2.019	0.423
1111-8	868.5	929.5	-1.476	-1.406	-0.241	-1.310	-1.540	0.224
1111-8	873.5	934.5	0.810	-2.145	-0.373	0.272	-1.702	0.483
1111-8	878.5	939.5	-1.413	-0.141	-0.167	-1.574	-0.129	0.043
1111-8	888.5	949.5	-1.863	-0.572	-0.216	-1.650	-0.801	-0.059
1111-8	903.5	964.5	-1.400	-1.020	-0.355	-1.384	-1.125	-0.010
1111-8	908.5	969.5	-1.131	-1.014	0.486	-1.714	-0.353	1.237
1111-8	913.5	974.5	0.814	-1.447	-0.612	1.175	-1.635	-0.346

Tab. A-25: Faktormatrix  $HE_{ges./Al}$  der Hauptelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 ( $n=125$ ) nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation. Positive bzw. negative Faktorladungen  $< 0.4$  werden mit + bzw. - gekennzeichnet.

Variabel	Faktor 1HEges./Al	Faktor 2HEges./Al	Faktor 3HEges./Al
Si/Al	0.587	-	0.536
Ti/Al	0.917	+	+
Fe/Al	-0.939		
Mg/Al	-0.916	-	-
Ca/Al	+	-0.62	-0.577
Na/Al	0.629	-0.401	-
K/Al	+		0.904
P/Al		0.929	-
Mn/Al	+	0.802	
Eigenwert	3.6	2.34	1.3
Varianz	40	25.9	14.4

Tab. A-26: Faktormatrix  $SE_{ges./Al}$  der Spurenelementkonzentrationen des Gesamtsedimentes in Kern PG1111 ( $n=125$ ) nach Anwendung der Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation. Positive bzw. negative Faktorladungen  $< 0.4$  werden mit + bzw. - gekennzeichnet.

Variabel	Faktor 1SEges./Al	Faktor 2SEges./Al	Faktor 3SEges./Al
Ba/Al	0.695	0.51	-
Co/Al	-	-0.95	
Cr/Al	0.548	+	0.672
Cu/Al	+	-0.92	+
Nb/Al	+	+	-0.481
Ni/Al	+	-	0.83
Sr/Al	0.522	0.479	+
V/Al	0.57	0.648	+
Y/Al	0.887	+	+
Zn/Al	0.848		
Zr/Al	0.924		+
Eigenwert	5.23	2.06	1.2
Varianz	47.5	18.8	10.9

7.3 <sup>14</sup>C-AlterTab. A-27: <sup>14</sup>C-Alter innerhalb der Kernsequenz PG1111.

Tiefe [cm]	Labor-Nr.	Probentyp	d13C [‰-V-PDB]	14C Alter [BP]
170-171	OXA-6067	Pollen	-23.3	12170 ± 130
306-307	OXA-5623	Gesamtsediment	-25.9	10590 ± 130
378-379	OXA-6066	Pollen	-23.6	15060 ± 90
540-541	OXA-6065	Pollen	-24.6	14760 ± 120
591-592	OXA-6064	Pollen	-23.4	15460 ± 160
604-605	OXA-5624	Gesamtsediment	-25.5	15680 ± 180

## 7.4 Lamaseewasser

Tab. A-28: Temperatur (t), pH-Wert, gelöster Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Leitfähigkeit (Lf) des Lamaseewassers an fünf verschiedenen Stationen

Station1 69°32,6 N 90°11,6 E; Wassertiefe: 37 m				
Tiefe [m]	t [°C]	pH	O <sub>2</sub> [mg/l]	Lf [µS/cm]
0,15	10,5	7,81	12,26	83,82
5	10,5	7,77	12,23	83,4
10	9,6	7,72	12,29	84,5
25	5,25	7,57	12,74	97,1
30	4,67	7,57	12,75	100,67
41	3,85	7,37	12,51	112,43
PG1111 69°32,9 N 90°12,7 E; Wassertiefe: 52,5 m				
0,1	10,4	7,77	12,77	82,78
5	10,35	7,68	12,78	81,6
12	7,4	7,63	12,82	85,6
15	6,1	7,51	12,82	90,84
20	5,4	7,46	12,81	94,83
25	5	7,45	12,9	94,48
30	4,4	7,48	12,42	95,83
43	3,9	7,45	12,45	100,95
Station3 69°33,1 N 90°03,7 E; Wassertiefe: 25 m				
0	10,6	7,71	12,26	80,88
5	10,4	7,65	12,44	81,68
10	7,53	7,47	12,93	83,75
15	6,9	7,43	13	83,83
16	6,5	7,42	12,9	86,5
17	6,4	7,42	12,88	88,8
18	6,5	7,5	12,81	91,85
19	6,5	7,5	12,78	92,8
20	6,2	7,48	12,75	111,34
Station5 69°34,2 N 90°12,2 E; Wassertiefe: 40 m				
0	10	7,67	12,47	80,9
5	9,8	7,69	12,46	80,7
10	7,2	7,53	12,94	83,7
15	6,1	7,49	12,94	87,5
17,5	5,8	7,42	12,89	88,4
20	5,4	7,44	12,86	90,3
25	5	7,39	12,69	92,2
38	4,1	7,43	12,74	101,7
Station6 69°34,7 N 90°12,6 E; Wassertiefe: 20 m				
0	8,7	7,7	12,64	79,84
5	8,5	7,66	12,79	82
10	7,2	7,64	12,98	87,8
15	5,8	7,58	13	90,78
17	5,5	7,76	13	97,3

Anhang

Tab. A-29: Kationenkonzentration im Tiefenprofil des Lamaseewassers an zwei verschiedenen Positionen

Station PG1297; 69°26.7' N/ 90°47.1' E												
Wassertiefe (m)	Si (mg/l)	Al (mg/l)	Ti (mg/l)	Fe (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	P (mg/l)	Mn (mg/l)	Ba (µg/l)	Sr (µg/l)
1	2.18	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.93	1.3	2.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	78
2	2.24	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.15	1.35	2.12	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	80
3	2.44	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.78	1.44	2.27	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	86
4	2.43	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.74	1.45	2.27	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	86
5	2.43	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.72	1.44	2.28	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	86
7	2.44	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.7	1.41	2.3	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	86
10	2.27	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.29	1.37	2.19	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	83
12	2.42	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.76	1.43	2.32	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	88
15	2.45	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.86	1.46	2.36	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	89
20	2.53	< 0.1	< 0.05	< 0.1	6.02	1.49	2.42	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	96
40	2.67	< 0.1	< 0.05	< 0.1	9.96	1.63	2.77	0.104	< 0.1	< 0.01	< 20	109
80	2.68	< 0.1	< 0.05	< 0.1	10.4	1.7	2.97	0.105	< 0.1	< 0.01	< 20	117
120	2.67	< 0.1	< 0.05	< 0.1	11.2	1.81	3.38	0.159	< 0.1	< 0.01	< 20	127
160	2.63	< 0.1	< 0.05	< 0.1	10.7	1.73	3.1	0.106	< 0.1	< 0.01	< 20	125
200	2.65	< 0.1	< 0.05	< 0.1	11.1	1.81	3.24	0.109	< 0.1	< 0.01	< 20	133
Station PG 1341; 69°53.3' N/ 90°16.1' E												
Wassertiefe (m)	Si (mg/l)	Al (mg/l)	Ti (mg/l)	Fe (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	P (mg/l)	Mn (mg/l)	Ba (µg/l)	Sr (µg/l)
1	2.19	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8	1.27	2.11	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	80
2	2.15	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.93	1.26	2.11	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	79
3	2.15	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.8	1.27	2.07	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	78
4	2.15	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.88	1.25	2.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	79
5	2.21	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.1	1.3	2.14	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	80
6	2.14	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.83	1.25	2.06	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	78
7	2.22	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.96	1.28	2.08	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	79
8	2.19	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.03	1.27	2.17	0.113	< 0.1	< 0.01	< 20	80
9	2.2	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.88	1.25	2.09	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	79
10	2.24	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.73	1.25	2.07	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	77
12	2.18	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.54	1.23	2.04	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	75
15	2.23	< 0.1	< 0.05	< 0.1	7.9	1.26	2.14	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	80
20	2.2	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.04	1.3	2.08	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	83
40	2.22	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.89	1.39	2.41	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	95
66	2.28	< 0.1	< 0.05	< 0.1	8.96	1.42	2.52	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 20	93

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

- **Sonderheft Nr. 1/1981** – „Die Antarktis und ihr Lebensraum“  
Eine Einführung für Besucher – Herausgegeben im Auftrag von SCAR  
**Heft Nr. 1/1982** – „Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 2/1982** – „Deutsche Antarktis-Expedition 1980/81 mit FS „Meteor““  
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Liste der Zooplankton- und Mikronektonnetzfänge  
zusammengestellt von Norbert Klages
- **Heft Nr. 3/1982** – „Digitale und analoge Krill-Echolot-Rohdatenerfassung an Bord des Forschungsschiffes „Meteor““ (im Rahmen von FIBEX 1980/81, Fahrabschnitt ANT III), von Bodo Morgenstern
- **Heft Nr. 4/1982** – „Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
Liste der Planktonfänge und Lichtstärkemessungen  
zusammengestellt von Gerd Hubold und H. Eberhard Drescher
- **Heft Nr. 5/1982** – „Joint Biological Expedition on RRS 'John Biscoe', February 1982“  
by G. Hempel and R. B. Heywood
- **Heft Nr. 6/1982** – „Antarktis-Expedition 1981/82 (Unternehmen ‚Eiswarte‘)“  
zusammengestellt von Gode Gravenhorst
- **Heft Nr. 7/1982** – „Marin-Biologisches Begleitprogramm zur Standorterkundung 1979/80 mit MS ‚Polarstern‘ (Pre-Site Survey)“ – Stationslisten der Mikronekton- und Zooplanktonfänge sowie der Bodentischerei  
zusammengestellt von R. Schneppenheim
- **Heft Nr. 8/1983** – „The Post-Fibex Data Interpretation Workshop“  
by D. L. Cram and J.-C. Freytag with the collaboration of J. W. Schmidt, M. Mall, R. Kresse, T. Schwinghammer
- **Heft Nr. 9/1983** – „Distribution of some groups of zooplankton in the inner Weddell Sea in summer 1979/80“  
by I. Hempel, G. Hubold, B. Kaczmaruk, R. Keller, R. Weigmann-Haass
- **Heft Nr. 10/1983** – „Fluor im antarktischen Ökosystem“ – DFG-Symposium November 1982  
zusammengestellt von Dieter Adelung
- **Heft Nr. 11/1983** – „Joint Biological Expedition on RRS 'John Biscoe', February 1982 (II)“  
Data of micronekton and zooplankton hauls, by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 12/1983** – „Das biologische Programm der ANTARKTIS-I-Expedition 1983 mit FS ‚Polarstern‘“  
Stationslisten der Plankton-, Benthos- und Grundscheppnetzfänge und Liste der Probenahme an Robben und Vögeln, von H. E. Drescher, G. Hubold, U. Piatkowski, J. Plötz und J. Voß
- **Heft Nr. 13/1983** – „Die Antarktis-Expedition von MS ‚Polarbjörn‘ 1982/83“ (Sommerkampagne zur Atka-Bucht und zu den Kraul-Bergen), zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Sonderheft Nr. 2/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition von FS ‚Polarstern‘ (Kapstadt, 20. Januar 1983 – Rio de Janeiro, 25. März 1983)“, Bericht des Fahrtleiters Prof. Dr. Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 3/1983** – „Sicherheit und Überleben bei Polarexpeditionen“  
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 14/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition (ANTARKTIS I) von FS ‚Polarstern‘ 1982/83“  
herausgegeben von Gotthilf Hempel
- **Sonderheft Nr. 4/1983** – „On the Biology of Krill *Euphausia superba*“ – Proceedings of the Seminar and Report of the Krill Ecology Group, Bremerhaven 12. - 16. May 1983, edited by S. B. Schnack
- **Heft Nr. 15/1983** – „German Antarctic Expedition 1980/81 with FRV ‚Walther Herwig‘ and RV ‚Meteor‘“ – First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Data of micronekton and zooplankton hauls  
by Uwe Piatkowski and Norbert Klages
- **Sonderheft Nr. 5/1984** – „The observatories of the Georg von Neumayer Station“, by Ernst Augstein
- **Heft Nr. 16/1984** – „FIBEX cruise zooplankton data“  
by U. Piatkowski, I. Hempel and S. Rakusa-Suszczewski
- **Heft Nr. 17/1984** – „Fahrtbericht (cruise report) der ‚Polarstern‘-Reise ARKTIS I, 1983“  
von E. Augstein, G. Hempel und J. Thiede
- **Heft Nr. 18/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht von den Fahrabschnitten 1, 2 und 3, herausgegeben von D. Fütterer
- **Heft Nr. 19/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht vom Fahrabschnitt 4, Punta Arenas-Kapstadt (Ant-II/4), herausgegeben von H. Köhnen
- **Heft Nr. 20/1984** – „Die Expedition ARKTIS II des FS ‚Polarstern‘ 1984, mit Beiträgen des FS ‚Valdivia‘ und des Forschungsflugzeuges ‚Falcon 20‘ zum Marginal Ice Zone Experiment 1984 (MIZEX)“  
von E. Augstein, G. Hempel, J. Schwarz, J. Thiede und W. Weigel
- **Heft Nr. 21/1985** – „Euphausiid larvae in plankton from the vicinity of the Antarctic Peninsula, February 1982“ by Sigrid Marschall and Elke Mizdalski
- **Heft Nr. 22/1985** – „Maps of the geographical distribution of macrozooplankton in the Atlantic sector of the Southern Ocean“ by Uwe Piatkowski
- **Heft Nr. 23/1985** – „Untersuchungen zur Funktionsmorphologie und Nahrungsaufnahme der Larven des Antarktischen Krills *Euphausia superba* Dana“ von Hans-Peter Marschall

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

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

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

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

- Heft Nr. 155/1995** – „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft Nr. 156/1995** – „An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients“, by Reiner Schlitzer.
- Heft Nr. 157/1995** – „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, von Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 158/1995** – „Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, von Cornelia Lüdecke.
- Heft Nr. 159/1995** – „The distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters“, by Dorothea Bauch.
- Heft Nr. 160/1995** – „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, von Gerhard Schmiedl.
- Heft Nr. 161/1995** – „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros sp.* und *Navicula sp.* unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin“, von Jürgen Nothnagel.
- Heft Nr. 162/1995** – „Meerestransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, von Thomas Letzig.
- Heft Nr. 163/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft Nr. 164/1995** – „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, von Thomas Fredericks.
- Heft Nr. 165/1995** – „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, von Georg Hanke.
- Heft Nr. 166/1995** – „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, von Holger Fischer.
- Heft Nr. 167/1995** – „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, von Hans-Stefan Niebler.
- Heft Nr. 168/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2“, herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer.
- Heft Nr. 169/1995** – „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf einer antarktischen Forschungsstation“, von Hans Wortmann.
- Heft-Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften – Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft Nr. 171/1995** – „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Wilfried Bauer.
- Heft Nr. 172/1995** – „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, von Holger Mandler.
- Heft Nr. 173/1995** – „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, von Stefan Matzer.
- Heft Nr. 174/1995** – „The Expedition ARKTIS-X/2 of RV ‚Polarstern‘ in 1994“, edited by Hans-W. Hubberten.
- Heft Nr. 175/1995** – „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, edited by Christine Siebert and Gmriy Bolshiyayov.
- Heft Nr. 176/1995** – „Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
- Heft Nr. 177/1995** – „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, von Carsten J. Schubert.
- Heft Nr. 178/1995** – „Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV ‚Polarstern‘ in 1995: CTD-Report“, by Jüri Sildam.
- Heft Nr. 179/1995** – „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdritanzeiger im Arktischen Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 180/1995** – „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, von Wolfgang J. Bonn.
- Heft Nr. 181/1995** – „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 182/1995** – „Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 183/1995** – „Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften“, von Uwe Bergmann.
- Heft Nr. 184/1995** – „Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas“, by Maria Dolores Andrés Hernández.
- Heft Nr. 185/1995** – „Verbreitung und Lebensweise der Aphroditen und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarevmeer (Antarktis)“, von Michael Stiller.
- Heft Nr. 186/1995** – „Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  and  $^{235}\text{U}$ : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antarctic Circumpolar Current System“, by Martin Frank.
- Heft Nr. 187/1995** – „The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994“, by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
- Heft Nr. 188/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
- Heft Nr. 189/1995** – „Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

\* vergriffen/out of print.  
\*\* nur noch beim Autor/only from the author.