

**„Wiedererkennbarkeit primärer Tonschichten in  
versenkungsdiagenetisch überprägten Kalk-Ton-  
Wechsellagerungen“**

**Vom Fachbereich Geowissenschaften und Geographie der Universität  
Hannover zur Erlangung des Grades  
Doktor der Naturwissenschaften  
Dr. rer. nat.**

**genehmigte Dissertation von  
Dipl.-Geol. Ina Eickhoff  
geboren am 9.10.1967 in Hannover**

**Referent:**

**Prof. Dr. I. Schülke**

**1. Koreferent:**

**Prof. Dr. H. Beiersdorf**

**2. Koreferent:**

**Prof. Dr. W. Ricken**

**Tag der Promotion:**

**14.05.2002**

## KURZFASSUNG

Für die Entwicklung eines zweifelsfreien Verfahrens zur Unterscheidung von Kalk-Mergel-Wechselagerungen, welche primär durch Wechsel in der Materialzufuhr entstanden sind und solchen, die aus einem homogenen Ausgangssediment durch versenkungsdiagenetische Phasenseparation hervorgegangen sind, wurden chemische und mineralogische Untersuchungen an Sedimenten aus dem Perubecken (SE-Pazifik) und Gesteinen aus Norddeutschland (Dörenthe, Salder) und Nordspanien (Gordoa, Urrunaga) durchgeführt. Tonminerale primärer Tonschichten sollten wegen ihres längeren Kontakts mit dem Meerwasser infolge relativ niedriger Sedimentationsraten eine andere chemische Signatur tragen als solche von Tonschichten, die aus einem tonhaltigen, aber relativ kalkreichen und unter höheren Sedimentationsraten abgelagerten Sediment durch diagenetische Phasenseparation entstanden sind. Für die Herausarbeitung dieses Unterschieds wurden zunächst sowohl unaufbereitete Proben sowie durch mechanische und chemische Aufbereitung aus diesen erzeugte kalkfreie Residualproben untersucht, aus denen auch die labile organische Substanz entfernt worden war. Außerdem wurde die  $< 2\mu$ -Fraktion der Proben in verschiedenen Schritten mittels RFA, ICP-MS, ICP-OES, RDA, MS, REM und DTA untersucht. Die Verteilung der Seltenerden-Elemente (REE) zeigt, dass sowohl die Gesamtproben (inkl. ihrer Residuale) als auch die Tonminerale/Tonfraktionen von relativ tonreichen Sedimenten, die bei niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden, tatsächlich eine andere chemische Zusammensetzung besitzen als die Tonminerale/Tonfraktionen von tonärmeren, beziehungsweise kalkreicheren Sedimenten, die bei hohen Sedimentationsraten und kürzeren Verweildauern der Partikel am Meeresboden abgelagert wurden. Auch bei einer späteren versenkungsdiagenetischen Überprägung bleiben die sedimentationsraten-abhängigen chemischen Signaturen erhalten.

Bei niedrigen Sedimentationsraten, das heißt bei zunehmender Dauer der Exposition der Tonmineralpartikel zum Meerwasser, steigt die Konzentration der REE an und zwar unabhängig vom Ablagerungsmilieu. Die Tonmineralzusammensetzung spielt aber bei der Beurteilung der REE-Verteilungsmuster eine wichtige Rolle, da Mixed-Layered-Tonminerale und Smektit mehr REE adsorptiv binden als Illit, wodurch sich ein Gleichgewicht zum Meerwasser bei letztgenannten erst später einstellt. Um die REE-Verteilungsmuster innerhalb eines Gebietes und zwischen den Gebieten sinnvoll miteinander vergleichen zu können, sollten neben den Verteilungsmustern der Tonminerale auch die der anderen potentiellen REE-Träger (Apatit, detritischer Muskovit und bestimmte Schwerminerale) und ihre Konzentrationen bekannt sein. Bei zunehmenden Konzentrationen von organischen Substanzen nehmen außerdem die Anreicherungen an MREE zu. Primäre Mergel sind in der Regel reicher an organischen Substanzen als Kalke. In den spätdiagenetisch bis anchimetamorph überprägten, mehr mergeligen Gesteinen aus N-Spanien wurden daher hohe MREE-Anreicherungen erreicht. Es können außerdem sekundäre Zufuhren von MREE aus den Kalken in die Mergel während der diagenetischen Phasenseparation im Zusammenhang mit der Bildungen von authigenem kryptokristallinen Apatit erfolgen. Trotz der unterschiedlichen tonmineralogischen Zusammensetzungen in Salder (Smektit  $>$  Illit) und Dörenthe (Illit  $>$  Mixed-layered-Tone  $>$  Chlorit  $>$  Smektit und Kaolinit) sind die flachverlaufenden REE-Verteilungsmuster beider Gebiete sehr ähnlich. Die REE-Fraktionierungen in den schichtparallelen und in den kluft-/schieferungsparallelen Mergeln von Dörenthe sind aber generell höher als in Salder. Die Konzentrationsunterschiede und die abweichenden Fraktionierungen zwischen den beiden Gebieten beruhen auf dem höheren Grad der Phasenseparationen in Dörenthe. Die Einbeziehung von Untersuchungen an kluft-

/schieferungsparallelen tonigen Belägen kann daher genutzt werden, die Mergel, die allein durch eine Versenkungsdiagenese entstanden sind bzw. deren primäre Materialunterschiede durch diese verstärkt worden sind, von solchen zu unterscheiden, die zusätzlich einer Lateralkompaktion mit Drucklösung unterlagen. In den untersuchten Wechsellagerungen Norddeutschlands mit der vorliegenden starken versenkungsdiagenetischen Phasenseparation haben stärkere Anreicherungen des Sr in den diagenetisch überprägten, primär schichtparallelen Mergeln und schwächere Anreicherungen des Sr in den durch lateral-kompaktive Drucklösung, also rein diagenetisch entstandenen klufffüllenden Mergeln, stattgefunden.

Die immobilen Elemente der Ti-Gruppe (Ti, Zr, Hf) und die Elemente Al, Rb und K sind in stärker terrigen beeinflussten Gesteinen (Flachwassersedimentation) der nordspanischen und norddeutschen Aufschlüsse Anzeiger für Sedimentationsphasen, in denen die Sedimentationsraten und Einträge von kalkigem biogenen Detritus reduziert waren, das heißt Phasen der (primären) kalkarmen Mergelablagerungen. Es kann auch gezeigt werden, dass der CIA-Index von Nesbitt & Young (1983), stellvertretend für die Alkaliverarmung, in den an organischen Substanzen und karbonatfreien Residualsedimenten zur Abgrenzung der diagenetisch überprägten Sedimente von rein diagenetisch entstandenen Residualsedimenten herangezogen werden kann, wenn primär angelegte lithofazielle Unterschiede und die Zufuhr an terrigenem Material groß waren. Die rein diagenetisch gebildeten Mergel sind stärker verarmt. Bei ausschließlich diagenetischen Bildungen von schichtparallelen Mergel-/Tonlagen neben mergeligen Klufffüllungen können zudem Unterschiede im Grad der lateral-kompaktiven und versenkungsbedingten Diagenese erkannt werden.

## **ABSTRACT**

In order to develop a save method for distinguishing limestone-marl intercalations formed by primary changes in sediment supply from limestone-marl intercalations formed by diagenetic phase separation during burial diagenesis, chemical and mineralogical analyses were performed on deep-sea sediments from the Peru Basin (SE Pacific Ocean) and rocks from northern Germany (Dörenthe and Salder) as well as from northern Spain (Gordoa and Urrunaga). The work was based on the postulate that clay minerals of primary clay layers should have a different chemical signature than clay minerals of clay layers which were formed by diagenetic phase separation from clayey but relatively carbonate-rich sediments. This in turn should be a consequence of relatively low sedimentation rates, hence longer residence time of clay particles at the sediment-seawater contact during primary clay-layer deposition.

Bulk samples, organic-free and carbonate-free residues as well as < 2µm fractions were investigated using RFA, ICP-MS, ICP-OES, RDA, MS, REM and DTA. The composition of REE-fractions of bulk samples and their residues as well as the clay minerals and clay fraction deposited under low sedimentation rates differ chemically from those deposited under relatively high sedimentation rates. Burial diagenesis does not alter this pattern, i.e. clay minerals seem to maintain their chemical memory regardless of diagenetic effects.

When sedimentation rates are low and clay-particle residence time at the sediment-seawater contact is long the concentration of REE is relatively increased, independently of the depositional

environment. However, the composition of the clay fraction plays a significant role, because mixed-layer clay minerals and smectites adsorb and absorb more REE than illite, which reaches an equilibrium with the seawater later than halloysite or smectite. For a sensible comparison between REE distribution patterns within a region or between regions also the concentration of other potential REE carriers should be known, especially such of detrital muscovite, apatite, and other heavy minerals. With increasing concentrations of organic substances the concentrations of MREE increase as well. Primary marls normally are richer in organic substances than limestones. Therefore the late-diagenetically and anchimetamorphically altered rocks from Spain are relatively rich in MREE. During diagenetic phase separation MREE can be released from carbonates and reprecipitated with authigenic cryptocrystalline apatite. Regardless of their different clay-mineralogical composition the lithologies of the rocks of Salder (smectite > illite) and Dörenthe (illite > mixed-layered-clay > chlorite > smectite and kaolinite) show similar flat REE distribution patterns. However, the REE fractionation of the marl layers and clay/marl fillings of tectonic joints of Dörenthe are greater. The higher degree of phase separation at Dörenthe may be responsible for the difference. The testing method developed here, which includes clay fillings of joints resulting from lateral tectonic compaction now can be used to differentiate between marl-limestone intercalations which have undergone lateral diagenetic compaction plus burial diagenesis with phase separation and such sediments which solely suffered phase separation during burial diagenesis. In the marls from Salder and Dörenthe which have undergone a strong phase separation during burial diagenesis Sr is more enriched than in the joint filling clays/marls.

The immobile elements of the Ti-group (Ti, Zr, Hf) and Al, Rb, and K of the shallow-marine rocks of Urrunaga and Gordoia as well as of Salder and Dörenthe are indicators for more terrigenous but reduced input of calcareous biogenic detritus and for phases of reduced carbonate productions. The CIA index introduced by Nesbitt & Young (1983), which is representative for the alkali decrease in the organic- and carbonate free residues, can be used to differentiate between diagenetically influenced from purely diagenetically derived residual sediments (secondary layers) if primary differences in lithology and input of terrigenous material were large. Exclusively diagenetic marls are more depleted than primary marls. If solely diagenetic bedding-parallel clays/marls besides clayey/marly joint tectonic fillings occur the method allows distinctions in the degree of burial diagenesis and lateral compactive diagenesis to be made.

**Schlagworte:**

Kalk-Mergel-Wechselagerungen; Drucklösung; Versenkungsdiagenese; Elementanreicherung; REE; Perubecken

**Keywords:**

Limestone-marl intercalations; pressure solution; burial diagenesis; element accumulation; REE; Peru Basin

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>14</b>
<b>2. Terminologie.....</b>	<b>16</b>
<b>3. Die Lösungswege zur Unterscheidung zwischen primärer und diagenetischer Schichtung sowie die Beschreibung der Kriterien für die Gewinnung von Probenmaterial.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Auswahl der Beprobungsorte.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Aufschlüsse für den Vergleich von Mergellagen, die sowohl durch lateral-kompaktive Prozesse als auch durch Versenkungsdiagenese entstanden sind (Lösungsweg 1).....</b>	<b>24</b>
4.1.1 Salder.....	25
4.1.2 Dörenthe.....	26
<b>4.2 Aufschlüsse für den Vergleich von Mergellagen, die mit hohen beziehungsweise niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden (Lösungsweg 2).....</b>	<b>28</b>
4.2.1 Perubecken.....	28
4.2.2 N-Spanien.....	31
<b>5. Methoden.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Beprobung der Aufschlüsse und Kerne.....</b>	<b>35</b>
5.1.1 Probenahme zu Lösungsweg 1. Aufschluss Salder und Aufschluss Dörenthe.....	35
5.1.2 Probenahme zu Lösungsweg 2.....	36
5.1.2.1 Beprobung der Kerne aus dem Perubecken.....	36
5.1.2.2 Aufschluss Gordoia und Aufschluss Urrunaga.....	37
<b>5.2 Aufbereitung der Proben.....</b>	<b>37</b>
5.2.1 Nass-Siebung.....	38
5.2.2 Schlämmanalyse nach Atterberg.....	38
5.2.3 Proben für die Messung mit der Induktiv-gekoppelten Plasmaspektroskopie (ICP).....	39
5.2.3.1 Druckaufschluss.....	40
5.2.4 Aufbereitung der Proben für die Röntgendiffraktometrie (RDA).....	41
5.2.5 Aufbereitung der Festgesteine.....	41

<b>5.3 Untersuchungsmethoden.....</b>	<b>42</b>
5.3.1 Karbonatmessung (KM).....	42
5.3.2 Röntgendiffraktometrie (RDA).....	42
5.3.3 Differentialthermoanalyse-Thermogravimetrie (DTA-TG).....	43
5.3.4 Mikrosonden-Messung (MS).....	44
5.3.5 Röntgenfluoreszenz (RFA).....	44
5.3.6 Nasschemische Analysemethoden: Induktiv-Gekoppelte-Plasmaspektroskopie (ICP).....	45
5.3.6.1 Massenspektrometrie (ICP-MS).....	45
5.3.6.2 Optische Emmisionsspektrometrie (ICP-OES).....	45
 <b>6. Ergebnisse.....</b>	<b>46</b>
<b>Korngrößenverteilung der Lockersedimente.....</b>	<b>46</b>
<b>6.1 Ergebnisse der Karbonatmessungen.....</b>	<b>46</b>
6.1.1 Festgestein .....	46
6.1.2 Lockersedimente .....	48
 <b>6.2 Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie-Untersuchungen (RDA).....</b>	<b>49</b>
6.2.1 Salder.....	49
6.2.2 Dörenthe.....	53
6.2.3 Perubecken.....	56
6.2.3.1 Reihe 1: Proben von Sedimenten, die ausschließlich unterhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert wurden.....	56
6.2.3.2 Reihe 2. Relative Häufigkeit von Mineralphasen in Proben von Sedi- menten, die sowohl oberhalb als auch unterhalb der Kalzitkompensa- tionszone (CCD) abgelagert wurden.....	59
6.2.4 N-Spanien (Gordoa und Urrunaga).....	61
6.2.4.1 Der Schwarze Siltstein an der Basis zum Cenoman (Urrunaga).....	63
 <b>6.3 Ergebnisse aus den Differentialthermoanalyse-Thermogravimetrie-Untersuchungen     (DTA-TG).....</b>	<b>65</b>
 <b>6.4 Ergebnisse der Mikrosonden (MS)- und der Rasterelektronen (REM)-Untersuchungen..</b>	<b>66</b>
 <b>6.5 Ergebnisse der Röntgenfluoreszenz-Analysen (RFA).....</b>	<b>67</b>
6.5.1 Salder.....	68
6.5.2 Dörenthe.....	71
6.5.2.1 Vergleich der TSK-normierten Daten der Gebiete Salder und Dörenthe....	75
6.5.2.2 Vergleich der Korrelationen der Festgesteinsproben aus Salder und Dörenthe.....	75
6.5.3 Perubecken .....	76

6.5.4 N-Spanien (Gordoa und Urrunaga).....	84
6.5.4.1 Elementkorrelationen der Lanthaniden-substituierenden Minerale in den Kalken und den Mergeln von Gordoa und Urrunaga.....	85
6.5.5 Der Alterationsindex (C <sub>h</sub> emical I <sub>n</sub> dex of A <sub>l</sub> teration).....	88
6.5.6 Verteilungsmuster der Sr-Konzentrationen.....	89
<b>6.6 Ergebnisse der Untersuchungen mit der Induktiv-gekoppelten Plasmaspektroskopie- Massenspektrometrie (ICP-MS).....</b>	<b>91</b>
6.6.1 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) in den Mergelproben aus Salder .....	91
6.6.2 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) in den Mergelproben aus Dörenthe.....	95
6.6.3 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) der Sedimente aus dem Perubecken.....	97
6.6.3.1 Das Verhalten der Seltenen Erden Elemente (REE) in der < 2 $\mu$ -Fraktion am Beispiel von Sedimenten aus dem Perubecken, welche unterhalb der CCD abgelagert worden sind.....	98
6.6.3.2 Die leicht desorbierbaren Ionen der Gesamtproben: GAD-Reihe.....	104
6.6.3.3 Die Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken.....	105
6.6.3.4 Vergleich der Eluatproben der GAD-Reihe mit den Proben der < 2 $\mu$ - Fraktion, den elektrolytfreien und -haltigen Gesamtproben der Reihe 1..	106
6.6.3.5 Die leicht desorbierbaren Ionen der Gesamtproben: Reihe 2.....	110
6.6.4 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) anhand der verfestigten Proben aus N-Spanien (Gordoa und Urrunaga).....	111
6.6.5 Die Elementverteilung der Tufflage T <sub>D1</sub> als Beispiel primärer Schichtung in einer Kalk-Mergel-Wechselagerung im Aufschluss Salder.....	116
<b>7. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den analytischen Arbeitsschritten.....</b>	<b>118</b>
<b>8. Diskussion.....</b>	<b>131</b>
<b>8.1 Untersuchungen zu Lösungsweg 1 an versenkungsdiagenetischen und lateral- kompaktiv diagenetisch veränderten Sedimenten.....</b>	<b>132</b>
8.1.1 Die Kalk-Mergel-Wechelfolgen aus Salder.....	132
8.1.2 Die Kalk-Mergel-Wechelfolgen aus Dörenthe.....	133
<b>8.2 Untersuchungen zu Lösungsweg 2 an diagenetisch nicht oder nur frühdiagenetisch beeinflussten Sedimenten.....</b>	<b>135</b>
8.2.1 Die Lockersedimente aus dem Perubecken.....	135
8.2.2 Untersuchungen zu Lösungsweg 2 aus Sedimentgesteinen, die aus versenkungsdiagenetisch bis anchimetamorph überprägten Sedimenten hervorgegan-	

gen sind: Die kalkigen und mergeligen Sedimentgesteine aus Gordoa und Urrunaga (N-Spanien).....	138
<b>8.3 Prozesse der Phasenseparation.....</b>	<b>141</b>
8.3.1 Drucklösungsprozesse.....	141
8.3.2 Auswirkungen der Phasenseparation auf die Tonmineralzusammensetzung.....	143
8.3.3 Die Tufflage $T_{D1}$ von Salder und ihr Verhalten bei der Phasenseparation.....	144
<b>9. Schlussfolgerung.....</b>	<b>145</b>
<b>10. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>150</b>
<b>Anhang mit Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>161</b>
1. Kartenausschnitte.....	165
2. Tabellen mit Erläuterungen zur Geologie.....	170
3. Tabellen mit Messdaten.....	174
4. Fototafeln: 4 Tafeln.....	239

<b>Formeln im Text:</b>		<b>Seite</b>
2.a	Ce/Ce*	17
2.b	Eu/Eu*	17; 102
2.c	Korrelationsmatrix	21
5.2.2	Stokessches Gesetz	38
6.5.3.a	Abgrenzung der hydrothermalen Faktoren	77
6.5.3.b	Abschätzung des biogenen Ba	79

<b>Liste der Abbildungen im Text</b>		<b>Seite</b>
Abb. 3a; 3b	Die Testmodelle für die Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Schichtung infolge diagenetischer Phasenseparation	23
Abb. 4.1	Aufschlüsse in Deutschland zu Lösungsweg 1	24
Abb. 4.2.1	Darstellung der Lage der Arbeitsgebiete 1 und 2 der Forschungsfahrt SO 79 (1992), in denen die untersuchten Kerne (siehe Nummern innerhalb der umgrenzten Arbeitsgebiete) abgeteuft worden sind	28
Abb. 4.2.2.a	Lage der Arbeitsgebiete Gordoia und Urrunaga bei Vitoria-Gasteiz in N-Spanien	31
Abb. 4.2.2.b	Modifizierte Karte des Basko-Kantabrischen Beckens (BKB)	32
Abb. 4.2.2.c	Geographische Lage der Rampenabschnitte	33
Abb. 5.2	Vereinfachtes Flussdiagramm zu Aufbereitung und Untersuchung von Lockersedimenten	37
Abb. 5.2.3	Probenaufbereitung der Reihe 1 aus dem Perubecken	40
Abb. 5.2.5	Aufbereitung und Untersuchungen an den Festgesteinsproben	42
Abb. 5.3.2	Schematische Darstellung der RDA-Schritte	43
Abb. 6.2.3	Schematisierte Darstellung der Häufigkeitsverteilung aller untersuchten Proben des Perubeckens von den häufigsten Mineralphasen in Relation zu der jeweiligen Korngröße	60
Abb. 6.5.1.a	Schematische Darstellung der Konzentrationsanstiege in den Proben aus dem Aufschluss Salder auf karbonatfreier Basis	70
Abb. 6.5.1.b	Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Hauptelemente von Proben aus dem Aufschluss Salder	70
Abb. 6.5.1.c	Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Nebenelemente von Proben aus dem Aufschluss Salder	71
Abb. 6.5.2.a	Schematische Darstellung der Konzentrationsanstiege in den Proben aus dem Aufschluss Dörenthe auf karbonatfreier Basis	73
Abb. 6.5.2.b	Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Hauptelemente von Proben aus dem Aufschluss Dörenthe	74
Abb. 6.5.2.c	Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Nebenelemente von Proben aus dem Aufschluss Dörenthe	74

Abb. 6.5.3.a	Abschätzung des hydrothermalen Faktors	77
Abb. 6.5.3.b	Abbildung der $P_2O_5$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Sedimentationsrate (cm/ka) am Beispiel von Proben aus dem Perubecken	81
Abb. 6.5.4.1.a-f	Abbildungen der Korrelationen von Si, K, Fe, Mg, Mn und den REE zu dem detritischen Faktor (Al)	87
Abb. 6.5.6	Sr-Konzentrationen	90
Abb. 6.6.1.a	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der schichtflächen-parallelen Mergelproben aus Salder	92
Abb. 6.6.1.b	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der schieferungsflächen-parallelen Mergelproben aus Salder	93
Abb. 6.6.1.c	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Salder	94
Abb. 6.6.1.d	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der schieferungsflächen-parallelen Mergel aus Salder	94
Abb. 6.6.2.a	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der Mergel <sub>l/SS</sub> und der Mergel <sub>g/SS</sub> aus Dörenthe	96
Abb. 6.6.2.b	Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der Mergel <sub>l/SS</sub> und der Mergel <sub>g/SS</sub> aus Dörenthe	96
Abb. 6.6.3.a	Darstellung der „UC“-normierten REE-Konzentrationen (Taylor & McLennan, 1981) von Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken	99
Abb. 6.6.3.b	Die REE-Verteilungsmuster der Anwachslagen von hydrogenetisch und diagenetisch gewachsenen Manganknollen und von hydrogenetisch gewachsenen Mn-Fe-Krusten am Beispiel von Proben aus dem Perubecken	100
Abb. 6.6.3.c	Die REE-Verteilungsmuster von authigenen marinen Baryten	100
Abb. 6.6.3.4.a-d	Die Verhältnisse von $(La/Yb)_N$ , $(LREE/HREE)_N$ , $(La/Sm)_N$ und $(Gd/Yb)_N$ zur Summe der REE am Beispiel von unterhalb der CCD abgelagerten Sedimenten aus dem Perubecken	108
Abb. 6.6.4.a	Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von Proben aus Gordoia vor der chemischen Aufbereitung	113
Abb. 6.6.4.b	Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von organik- und kalkfreien Residualproben aus Gordoia	113
Abb. 6.6.4.c	Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von Proben aus Urrunaga vor der chemischen Aufbereitung	114
Abb. 6.6.4.d	Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von organik- und kalkfreien Residualproben aus Urrunaga	115

## Liste der Tabellen im Text

## Seite

Tab. 2.a	Zusammengestellte Daten der Elementverteilung im N-Pazifik	18
Tab. 2.b	Auflistung der häufig auftretenden kombinierten Elementtypen	19
Tab. 6.1.1	Die gemittelten Karbonatkonzentrationen der Festgesteinsproben in einer vereinfachten Einteilung	48
Tab. 6.2.1.a	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke aus Salder	50
Tab. 6.2.1.b	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Salder	50
Tab. 6.2.1.c	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der schieferungsflächen-parallelen Mergel aus Salder	51
Tab. 6.2.1.d	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der Kalke aus Salder	52
Tab. 6.2.1.e	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Salder	52
Tab. 6.2.2.a	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke aus Dörenthe	54
Tab. 6.2.2.b	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Dörenthe	54
Tab. 6.2.2.c	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der schieferungsflächen-parallelen Mergel aus Dörenthe	54
Tab. 6.2.2.d	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der Kalke aus Dörenthe	55
Tab. 6.2.2.e	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Dörenthe	56
Tab. 6.2.3	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der < 2 $\mu$ -Fraktion von Proben der Kerne 6KL und 9KL (Nordgebiet) sowie 141KL und 169KL (Südgebiet) der Probenreihe 1 des Perubeckens	58
Tab. 6.2.4.a	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke und Mergel aus Gordoia und Urrunaga	61
Tab. 6.2.4.b	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten und entkarbonatisierten Residuen der Mergel aus Gordoia	62
Tab. 6.2.4.c	Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten und entkarbonatisierten Residuen der Mergel aus Urrunaga	63
Tab. 6.5.1.a	Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Salder	68
Tab. 6.5.1.b	Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der Mergel oder in den Residuen der Kalke aus Salder	69
Tab. 6.5.2.a	Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Dörenthe	72
Tab. 6.5.2.b	Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der Kalke oder in den Residuen der Mergel aus Dörenthe	72
Tab. 6.5.2.c	Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel oder in den Residuen der schieferungsflächen-	

	parallelen Mergel aus Dörenthe	73
Tab. 6.5.3.a	Geochemische Korrelationsgruppen der Elemente der Fraktion < 2 $\mu$ von Proben aus dem Perubecken	76
Tab. 6.5.3.b	Normativer Opalanteil am Gesamtsilizium in %	78
Tab. 6.5.3.c	Die Verteilung der Ba-Konzentrationen der Proben der Reihe 1, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind	79
Tab. 6.5.3.d	Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den untersuchten Proben der Reihe 1 gegenüber den gemittelten Tiefseetondaten (TST) von Martin und Whitfield (1983)	83
Tab. 6.5.4	Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Gordoia und Urrunaga	84
Tab. 6.6.3.a	Gemittelte Verhältnisse der Lanthanidenfraktionierung aller Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken, deren Sedimente unterhalb der CCD abgelagert worden sind	101
Tab. 6.6.3.b	Gemittelte Ce/Ce*-Verhältnisse der Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken, deren Sedimente unterhalb der CCD abgelagert worden sind	101
Tab. 6.6.3.c	Auf „UC“-Daten (Taylor & McLennan, 1981) normierte Eu/Eu*-Verhältnisse und Ba <sub>N</sub> -Konzentrationen Proben der Probenreihe 1 aus dem Perubecken von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert wurden, sowie die Eu/Eu*-Werte der Proben der Reihen GESSF, GES und GAD aus dem Perubecken	102
Tab. 6.6.3.2	Gemittelte Konzentrationen der adsorbtiv gebundenen Ionen der GAD-Reihe	105
Tab. 6.6.3.5	REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Eluate von Lockersedimentdaten (Reihe 2; Perubecken) zu Lösungsweg 2	111
Tab.6.6.4.a	Gemittelte REE-Verhältnisse der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Original- und Residualproben von den Kalken und Mergel aus Gordoia	112
Tab.6.6.4.b	Gemittelte REE-Verhältnisse der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Original- und Residualproben von den Kalken und Mergel aus Urrunaga	114

## Legende:

### Auflistung der Abkürzungen im Text:

REE	Umfasst die Seltene Erden Elemente	(La bis Lu)
LREE	Umfasst die Leichten Seltene Erden Elemente	(La bis Eu)
HREE	Umfasst die Schweren Seltene Erden Elemente	(Gd bis Lu)

Die Beschreibungen der REE-Verteilungen in den Festgesteinsproben erfordern eine weitere Untergliederung:

LREE	Umfasst die Leichten Seltene Erden Elemente	(La bis Pm)
MREE	Umfasst die Mittleren Seltene Erden Elemente	(Sm bis Ho)
HREE	Umfasst die Schweren Seltene Erden Elemente	(Er bis Lu)

### Normierungen:

HREE <sub>N</sub>	Der Index <b>N</b> kennzeichnet normierte Elementkonzentrationen einer Probe. Der jeweilige Normierungsstandard wie beispielsweise die „Obere Krusten“-Daten von Taylor und McLennan (1981) sind dem Kontext zu entnehmen.
„UC“	Steht für die „ <b>U</b> pper <b>C</b> rust“. Es handelt sich um die gemittelten „Obere Krusten“-Daten von Taylor & McLennan (1981).
„NASC“	Normierung auf die gemittelten „ <b>N</b> orth <b>A</b> merican <b>S</b> hale <b>C</b> omposite“-Daten von Haskin et al. (1968).
„TST“	Normierung auf die gemittelten <b>T</b> iefsee <b>T</b> on-Daten von Martin & Whitfield (1983).
„TSK“	Normierung auf die gemittelten <b>T</b> iefsee <b>k</b> arbonat-Daten von Wedepohl (1960).

### Probenkennzeichnung:

141-565	Lockersedimente: die erste Zahl gibt die Nummer des Kerns an. Nach dem Bindestrich folgt die Angabe der Kerntiefe unter Sedimentoberkante, aus der die Probe entstammt.
S; D; ...	Festgestein: Das Kürzel vor der Probennummer gibt den Probenahmeort an (S = Salder; D = Dörenthe; G = Gordoia; Ur = Urrunaga)
„okf“	Abkürzung für die Art der chemischen Probenaufbereitung: <b>f</b> rei von der labilen <b>o</b> rganischen Substanz (Aufbereitung: Wasserstoffperoxid) und <b>e</b> nt <b>k</b> arbonatisiert (Aufbereitung: Ameisensäure)
„g“	Glyzerinpräparat
//SS	Proben aus primären Mergellagen mit Lage parallel zur Schichtung
//SF	Proben aus diagenetisch gebildeten Mergellagen mit Lage parallel zur Schieferung bzw. parallel zur Klüftung

### Allgemeine Zeichen:

N	Platzhalter für die n-te Zahl
CCD	Karbonat-Kompensations-Tiefe (carbonate compensation deep)

## Danksagung

Mein Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), die das Dissertationsthema „Wiedererkennbarkeit primärer Tonschichten in versenkungsdiagenetisch überprägten Kalk-Ton-Wechsellagerungen“ mit einer Sachbeihilfe ermöglicht hat und der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (BGR), die meine Arbeit durch eine 2-jährigen Anstellung und einer folgenden Aufenthaltsberechtigung unterstützt hat.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Beiersdorf (BGR und Universität Hannover) für seine Anregung des Dissertationsthemas. Er hat meine Arbeit während meiner Dissertation mit gleichbleibender großer Diskussionsbereitschaft und konstruktiver Kritik betreut und unterstützt. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. I. Schülke (Universität Hannover) und Prof. Dr. W. Ricken (Universität Köln), welche sich freundlicherweise als weitere Referenten zur Verfügung stellten. Sie haben mit hilfreichen Anmerkungen zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen.

Ebenfalls danke ich meinem ehemaligen Referatsleiter Herrn Dr. H.-R. Kudraß (BGR) für seine freundliche Unterstützung und für die Genehmigung, die Kerne der Sonne-Fahrt SO 79 (Perubecken) zu beproben. In diesem Rahmen sei auch der FELS-WERKE Peine Salzgitter GmbH und der Kalkwerke Dörenthe H. Wallmeyer und Söhne & Co. KG für die schnelle und freundliche Genehmigung der Probenahme in Salder und Dörenthe gedankt. Ich möchte besonders Herrn Dipl.-Chem. Wallmeyer grüßen, der mir zu einem ersten Überblick im Gelände verhalf und mir freundlicherweise sein Kartenmaterial und einige RFA-Daten von Kalksteinen aus Dörenthe für erste Voruntersuchungen überließ.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. H.-G. Dietrich (BGR), der mir die Benutzung der Geräte der Technischen Mineralogie / Sedimentologie (REM, RDA, DTA, Gefriertrockner und den Atterberg-Raum) ermöglichte, und bei Herrn Dr. W. Knabe (BGR) für die anregenden Diskussionen und Ideen sowie bei Herrn C. Wittig (BGR) für seine Hilfe am REM bedanken. Nicht vergessen möchte ich Frau I. Hofmann (BGR), Frau A. Goldmann (BGR), Herr I. Meyer (BGR) und Herr P. Weck (BGR), die mich hilfsbereit bei meinen RDA- und DTA-Messungen unterstützten. Ich danke ebenso Herrn Dipl.-Biol. H. Lorenz (BGR), Herrn J. Lodziak (BGR), Herrn D. Remquard (BGR), Herrn J. Werthmann (BGR), Herrn B. Harazin (BGR), Herrn D. Spier (BGR), Frau H. Schwetje (BGR), Frau G. Prokschat (BGR) und Frau B. Grek (BGR). Sie führten meine Druckaufschlüsse und meine ICP-MS-, ICP-OES- und RFA-Messungen durch. Ich bedanke mich bei Herrn Dr. U. Siewers (BGR) für seine Unterstützung und Herrn Dr. D. Rammelmair (BGR), der mir Tipps für die Herstellung der Schliffe, welche von Herrn W. Dunker (BGR) und Herrn P. Rendschmidt (BGR) hergestellt worden sind, gab. Frau Dr. V. Marchig (BGR) hat mich hilfsbereit in geochemischen Fragen beraten und unterstützte mich durch nützliche Literaturhinweise. Dank auch Frau M. Schmidtke (BGR) und dem Team des Kopierzentrum der BGR.

Desweiteren möchte ich mich vielmals bei Herrn Dr. Jürgen Koepke (Min. Inst., Universität Hannover) für seine Anregungen und seine Einführung in die Funktionsweise der Mikrosonde sowie bei dem damaligen Hilfswissenschaftler M. Hahn bedanken. Herrn Dr. K.-U. Gräfe (Fachbereich Geowissenschaften; Universität Bremen) sei für seine Vorschläge für geeignete Aufschlüsse in Spanien gedankt. Die Interpretationen vieler Ergebnisse sind erst durch seine umfassenden Arbeiten in Spanien möglich geworden.

Schließlich möchte ich mich bei nicht genannten Arbeitskollegen, Freunden und besonders meiner Schwester und Dr. A. Volbers für ihre Unterstützungen und Ermutigungen bedanken.

## 1. Einleitung

Bei allen palökologischen und paläogeographischen Untersuchungen an marinen Kalk-Mergel- und Kalk-Ton-Wechselfolgen muss zunächst geklärt sein, ob die Wechselfolgen primär entstanden sind oder ob sie auf eine Phasenseparation infolge einer Versenkungsdiagenese zurückgehen. Dies ist besonders dann wichtig, wenn rhythmische Wechsellagerungen zyklische Umweltveränderungen (zum Beispiel orbital gesteuerte Klimaschwankungen) suggerieren. Auch für die Bewertung der Permeabilitäten von mergelig-kalkigen Beckenfüllungen im Hinblick auf Fluidmigration (zum Beispiel Kohlenwasserstoffmigration) ist die Feststellung, ob eine Beckenfüllung bereits primär, das heißt im Anfangsstadium, oder später sekundär infolge einer Versenkungsdiagenese von weniger permeablen tonreicheren Lagen durchzogen wird, von großer Bedeutung.

Rhythmische marine Kalk-Mergel-Wechselfolgen werden von einigen Autoren durch Änderungen der Ablagerungsverhältnisse in Milankovitch-Zyklen erklärt (Einsele & Seilacher, 1982; Fischer, 1982; Fischer & Seilacher, 1984; Schwarzacher & Fischer, 1982). Entsprechend sind die Mergellagen als primär entstanden aufzufassen. Kalkbänke in diesen Wechselfolgen, die über größere Entfernungen korrelierbar sind, weisen in jedem Fall auf eine primäre Schichtung hin („Event-Bänke“ nach Mutterlose et al., 1995; 1998). Ricken (1985; 1986; 1987), Ricken & Hemleben (1982), Ricken & Eder (1991), Einsele & Ricken (1991) sieht in der rhythmischen Wiederholung der Kalk- beziehungsweise Mergellagen den Ausdruck von Lösungs- und Wiederausfällungsprozessen innerhalb von Karbonatsedimenten mit dem Resultat einer Phasenseparation, das heißt, er sieht in den Wechselfolgen auch die Möglichkeit, dass sie diagenetisch, also sekundär gebildet sind. Nach Ricken (1986) setzt die wiederausfällungsbedingte Zementation bei einer Sedimentaflast von 50-100 m ein. Diese Angaben wurden von Baker et al. (1980), Bathurst (1987), Tada & Sievers (1986), Tada et al. (1987), Tada et al. (1989), Tada (1991), Bathurst (1995) modifiziert. Insbesondere durch die Arbeit von Grau (1996) wurde der Temperatureinfluss auf die Zementation von mergeligen Kalken durch Wiederausfällung gelösten Kalzits quantifiziert. In keiner der Arbeiten wurde aber eine Möglichkeit aufgezeigt, wie zwischen primär und sekundär entstandenen Mergel- oder Tonlagen zweifelsfrei unterschieden werden kann.

Beiersdorf & Knitter (1986) haben in einer Betrachtung von miozänen bis pliozänen Kreide-Kalkstein-Hornstein-Wechsellagerungen aus dem Panamabecken (östlicher Pazifischer Ozean) und des süddeutschen Posidonienschiefers wie auch von laminierten Mergeln und Kalk-Mergel-Wechselfolgen des süddeutschen Oxfords postuliert, dass sich diagenetisch entstandene Mergellagen von primär entstandenen mineralogisch und geochemisch unterscheiden lassen müssen.

Beiersdorf & Knitter (1986) gehen davon aus, dass Drucklösung infolge lateraler Kompaktion aus einem beliebigen Sediment prinzipiell gleiche Produkte wie die Versenkungsdiagenese hervorbringen kann. Mergel/Tone, die auf Klüften quer zur Schichtung von marinen Kalk-Mergel-

/Kalk-Ton-Wechselfolgen angetroffen werden, sind das Produkt einer auf laterale Druckspannung zurückgehenden Drucklösung mit mineralogisch-chemischer Phasenseparation (Plessmann, 1964; Plessmann, 1968; Langheinrich & Plessmann, 1968), die hier als lateral-kompaktive Diagenese bezeichnet wird. Gleichen die schichtflächen-parallelen Mergel-/Tonschichten den Belägen auf den Kluft- beziehungsweise Schieferungsflächen in ihrer mineralogischen und chemischen Zusammensetzung, kann nach Beiersdorf & Knitter (1986) davon ausgegangen werden, dass auch sie durch eine diagenetische Phasenseparation aus einem ursprünglich homogenen Substrat entstanden sind. Unterscheiden sich hingegen die Mergel-/Tonlagen der Wechselfolge von den Belägen auf den Schieferungsflächen, dann kann angenommen werden, dass bei der Ablagerung der Wechselfolge der Materialeintrag nicht gleichförmig war, sondern zu einer echten primären Schichtung geführt hat. Diese Schichtung kann allerdings durch eine Versenkungsdiagenese überprägt worden sein.

Da nicht immer die Möglichkeit gegeben ist, anhand von lateral-kompaktiv entstandenen Mergel-/Tonlagen (Beläge) zu überprüfen, ob eine marine Kalk-Mergel-/Kalk-Ton-Wechselfolge primäre Schichtung repräsentiert, haben Beiersdorf & Knitter (1986) postuliert, dass primär angelegte Mergel-/Tonlagen eine andere chemische Signatur tragen müssen, als sekundär durch Diagenese aus einem homogenen Sediment hervorgegangene. Diese primäre Signatur leiteten Beiersdorf & Knitter (1986) aus den unterschiedlichen Verweildauern am Meeresboden beziehungsweise an der Grenze zum Meerwasser ab, die bestimmte Sedimentkomponenten bei der Ablagerung unter unterschiedlichen Sedimentationsraten haben.

Beiersdorf & Knitter (1986) gehen in ihrer Arbeit von der bekannten Tatsache aus, dass im kalkigen marinen Ablagerungsmilieu tonreichere Sedimente allgemein unter niedrigeren Sedimentationsraten abgelagert werden als tonärmere, und dass bei niedrigen Sedimentationsraten die Verweildauer von Sedimentkomponenten am Meeresboden länger ist als bei hohen Sedimentationsraten. Entsprechend muss die chemische Beeinflussung von Sedimentkomponenten im Kontakt mit dem Meerwasser infolge von Absorption und/oder Adsorption bei niedrigen Sedimentationsraten länger dauern als bei hohen. Auf der Basis der theoretischen Überlegungen von Beiersdorf & Knitter (1986) wurde die hier vorliegende Arbeit in Angriff genommen.

## 2. Terminologie

Erläuterung von Fachausdrücken, die nachfolgend benutzt werden:

### **Bankpaar oder Couplet:**

In einer verfestigten Kalk-Mergel-Wechselfolge mit einer primär-sedimentologischen Anlage (primäre Schichtung) umfasst ein Bankpaar eine Mergelschicht und die direkt angrenzende, stratigraphisch hangende Kalksteinschicht.

### **Normierungen:**

Die Elemente mit gerader Atomzahl weisen durch ihre größere Stabilität eine höhere Konzentration im Sonnensystem auf als Elemente mit ungerader Atomzahl. Hieraus resultiert bei der graphischen Darstellung (Ordnungszahl gegen Konzentration) ein „Zickzackmuster“, welches sich auch in den natürlichen Proben widerspiegelt. Eine Normierung der Proben durch einen Standard führt zu einer Glättung der Kurve. Anstelle des häufig benutzten NASC-Standards (North American Shale Composition) wurden in dieser Arbeit die Proben auf die gemittelten „Oberen Krusten“-Daten (Average Upper Continental Crust) von Taylor und McLennan (1981; 1985) normiert. Die weltweit gesammelten und gemittelten Daten des „UC“-Standards sollen einen optimalen Vergleich mit und zwischen den Proben aus Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und aus dem Perubecken sowie dem Basko-Kantabrischen Becken Spaniens ermöglichen.

### **Die Seltene-Erden-Elemente (Lanthan bis Lutetium, Yttrium und Scandium):**

Die Lanthanidenelemente Lanthan bis Lutetium, welche zuzüglich Yttrium und Scandium auch als Seltene-Erden-Elemente bezeichnet (REE) werden, gehören zu den Übergangsmetallen (Mortimer, 1987). Diese nehmen durch die schrittweise Auffüllung der f-Unterschalen mit Elektronen eine Sonderrolle ein. In dieser Arbeit werden die Begriffe Lanthaniden und REE gleichgesetzt.

Beginnend mit dem Element Lanthan (Ordnungszahl 57) wird die 4f-Unterschale der N-Schale, die von den acht Elektronen in den  $5s^2$ - und  $5p^6$ -Unterschalen der O-Schale geschützt wird, mit steigender Ordnungszahl der Elemente aufgefüllt. Durch die steigende Kernladung werden die Schalen fester an den Atomkern gebunden, wodurch der Ionenradius trotz steigender Atommasse abnimmt (Henderson, 1984). Diesen Vorgang bezeichnet man als Lanthanidenkontraktion (Mortimer, 1987) und erklärt das fast identische physiko-chemische Verhalten der Lanthaniden. Dies führt in der Natur zu einem assoziierten Auftreten der Elemente. Die REE treten dreiwertig positiv auf, lediglich Europium kann unter heutigen, reduzierenden Bedingungen zweiwertig auftreten und verhält sich als  $\text{Eu}^{2+}$  chemisch wie die Erdalkalielemente. Das Element Cer tritt in der Natur aufoxidiert als  $\text{Ce}^{4+}$  auf (Goldberg, 1961; Akagi & Masuda, 1998).

Es wird allgemein zwischen den Leichten Seltenen Erden Elementen (LREE= La bis Eu) und den Schweren Seltenen Erden Elementen (HREE= Gd bis Lu) unterschieden. Die im Verhältnis relativ hohen Ionengrößen der LREE minimieren die Anzahl der kovalenten Bindungen und elektrostatischen Wechselwirkungen sowie die Tendenz zur Komplexbildung gegenüber den HREE. Die anorganischen wie organischen Komplexe mit den HREE sind daher stabiler. CO<sub>2</sub>-reiche Lösungen führen zu einer verstärkten Mobilität der sonst relativ immobilen Lanthaniden. In wässriger Lösung führt ein Abfall des pH-Wertes bei Gleichgewicht mit atmosphärischem CO<sub>2</sub> zu einer Mobilität, welche sich in Form von Transporten von Komplexen oder von freien Ionen zeigt. Ein pH-Anstieg führt zum Ausfällen von REE als Hydroxide oder Karbonate und zu Adsorptionen auf Mineraloberflächen sowie zu einem Austausch mit H<sup>+</sup> auf den Gitterplätzen. Die HREE sind nach Balashov & Girin (1969), Humphries (1984) stärker pH-sensitiv als die LREE.

Wichtige REE-Träger in marinen Sedimenten sind Apatit mit einem bevorzugten Einbau der Leichten und Mittleren Seltenen Erden Elemente (LREE und MREE) und Baryt, welcher bei einer authigenen Bildung meist durch eine Ce-Anomalie gekennzeichnet ist (Piper, 1974; Guichard et al., 1979), sowie oxidische und hydroxidische Mn-Ausfällungen und die Zeolithe. Ebenfalls sind die Phyllosilikate, insbesondere die Tonminerale, von großer Bedeutung. Die REE werden adsorptiv an der negativ geladenen Oberfläche und, bei den Tonmineralen wie den Smektiten, in der Zwischenschicht gebunden. Ein geringer Teil wird in das Schichtgitter substituiert (Roaldset & Rosenqvist, 1971; Prudencio et al., 1989). Ein häufiger REE-Träger ist detritischer Zirkon, welcher bevorzugt die HREE substituiert. Ebenso ist der Plagioklas, welcher durch eine positive Eu-Anomalie gekennzeichnet ist, ein wichtiger REE-Träger. Die Eu-Anomalie der Ca-Feldspäte beruht auf den Eu<sup>2+</sup>-Substitutionen für Ca<sup>2+</sup> anstelle von Sr<sup>2+</sup>.

#### **Ce-Anomalie und Eu-Anomalie:**

Bedingt durch das Oxidations- beziehungsweise Reduktionsverhalten können die Elemente Cer (Akagi & Masuda, 1998) und Europium vom Verteilungsmuster der normalisierten REE durch positive oder negative Anomalien abweichen. Die Anomalie ist positiv, wenn das Ce/Ce\*-Verhältnis größer als der interpolierte Ce\*-Wert ist beziehungsweise das Ce/Ce\*-Verhältnis größer 1 ist (Goldberg, 1961; Rollinson, 1993). Bei einem Wert < 1 spricht man von einer negativen Anomalie. Für Cer errechnet sich das Ce/Ce\*-Verhältnis aus:

$$\text{Ce/Ce}^* = 5 \text{ Ce}_N / (4 \text{ La} + \text{ Sm})_N \quad (\text{Formel 2.a})$$

Analog wird die gemessene Europium-Konzentration mit der theoretischen (interpolierten) verglichen:

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / \sqrt{(\text{Sm} \cdot \text{Gd})_N} \quad (\text{Formel 2.b})$$

<sub>N</sub> steht für Normierung auf die „Upper Crust“-Daten von Taylor & McLennan (1981)

\* ist der theoretische Wert bei einer linearen Interpolation.

### Kalzitkompensationstiefe (CCD):

Die CCD ist theoretisch die Tiefe in den Ozeanen, in der die Zufuhr rate an Kalzit in der Wassersäule gleich der Lösungsrate ist. Unterhalb der CCD liegt der Kalzit durch Untersättigung des Meerwassers vollständig gelöst vor und eine Nettoakkumulation kann in den Sedimenten nicht stattfinden. In der Praxis wird nach Vollbrecht (1992) die Grenze dort gezogen, wo der Karbonatgehalt in den Oberflächensedimenten gegen Null geht.

### Elementtypen

Besonders im Wasser kann zwischen vier Gruppen von Elementen mit jeweils typischen elektrochemischen Merkmalen und den daraus resultierenden Verhalten (wie Verweildauer, Affinität; usw.) unterschieden werden:

Elementtyp	Element / Verbindungen	Verhalten in der vertikalen Wassersäule	Verweildauer
<b>Konservativ-</b>	Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, gelöste Halogenide und Edelgase	geringe Reaktivität; konstante vertikale Verteilung; Entfernung aus der Wassersäule durch anorganische Prozesse	>> 10 <sup>5</sup> Jahre
<b>Redoxsensitiv-</b>	Cr, As, Se, Te, I, Pu	im offen-marinen Milieu können diese Elemente zu einem höheren Valenzzustand aufoxidieren; in anoxischen Becken ist die jeweils reduzierte Form stabil	ist abhängig von dem jeweiligen Oxidationszustand
<b>Nährstoff-*</b>	a) labile: C <sub>org</sub> , Nitrate, Phosphate	Oberflächenverarmung durch Konsumierung als Nährstoff, Anreicherung mit der Tiefe (oft bedingt durch Aufoxidation des Trägers); oft mehrfaches Recycling	hängt ab von: der Partikelgröße, dem Abbau mit der Tiefe, der Zahl der Nährstoff-Zyklen (Recycling)
	b) refraktorische leicht: Cu, Ni, Cd, Zn, Ba schwer: Fe, Si, Ge		
<b>Scavenging-</b>	überwiegend Metalle wie Pb und Bi, sonst Al, Th, Ce, Co, Hg,	Oberflächenanreicherung bzw. höhere Anreicherung als in der Tiefe; adsorbatives Entziehen dieser Elemente aus der Wassersäule durch chemisches und biologisches Scavenging **	< 10 <sup>3</sup> Jahre; oft < 10 <sup>2</sup> Jahre

Tab. 2.a: Zusammenge stellte Daten der Elementverteilung im N-Pazifik (Nozaki, 2000). Die Daten sind stellvertretend für den gesamten Pazifik. \* Die Spalte „Nährstoff-Typ“ ist nach der Gliederung von Chester (2000) weiter unterteilt in eine labile (leicht abbaubare) und in eine refraktorische (in Hartteilen und Skeletten der Organismen eingebaut und daher schwer abbaubar) Fraktionen. \*\* Entnommen aus Goldberg (1954).

Die Zuordnung eines Elementes in einen Elementtyp (Tab. 2.a) erfolgt nach seinem dominierenden Verhalten, schließt jedoch Übergangsformen beziehungsweise kombinierte Formen nicht aus (Tab. 2.b).

Elementtyp	Elemente
Nährstoff-Scavenging-Typ	Be, Cu, Ga, REE, Zr, Sc, Ti, V, Fe
Nährstoff-Redox-Typ	Se, Cr(VI), As (V)
Redox-Scavenging-Typ	Te, Cr(III), As(III), I, Pl, Ac

Tab. 2.b: Auflistung der häufig auftretenden kombinierten Elementtypen nach Nozaki (2000).

### Scavenging:

Unter Scavenging wird das Einfangen von Elementen/Ionen und kleinen Partikeln durch Adsorption verstanden. Goldberg (1954) unterscheidet zwischen einem biogenen und einem chemischen Scavenging.

Bei dem Scavenging im chemischen Sinn wird der Komplex oder das Partikel als Scavenger (Adsorbent) bezeichnet. Wichtig ist das Verhältnis zwischen der Ladung und der Größe des Ions/Komplexes sowie das Verhältnis der Oberfläche des Adsorbenten und dessen Ladung. Hieraus ergibt sich, dass mit Zunahme der Oberfläche des Scavengers die Zahl der angezogenen Ionen steigt. Am effektivsten werden die Ionen mit der höchsten Ladungsdichte und solche, die unlösliche Verbindungen und Komplexe bilden, angezogen. Zusätzlich gilt, je länger der Kontakt zwischen der Lösung und dem Partikel besteht, desto besser kann das Adsorbens binden.

Beim biogenem Scavenging erfolgt die Aufnahme direkt über einen Ionenaustausch oder über eine Oberflächenadsorption (Spooner, 1949; Goldberg & Arrhenius, 1958). Biogene Scavengers nehmen vorrangig Kupfer, Kobalt, Nickel, Zink, Vanadium und Titan auf. Eine weitere Form der Elementakkumulation erfolgt über das Konsumieren von kleinen Partikeln mit adsorbierter Metallfracht.

Wichtige Scavenger sind unter anderem Tonminerale, Manganhydroxide/-Oxide, Eisenhydroxide/-Oxide und abgestorbenes Plankton (Murray, 1975; Balistrieri & Murray, 1984). Die adsorbierten Elemente und deren Konzentrationen an der Partikeloberfläche sind reversibel. Diese Reversibilität beruht auf dem chemischen Gleichgewichtsbestreben (Bacon & Andersen, 1982). Eine solche Änderung kann beispielsweise beim Kontakt der Partikel mit dem Sediment und dem Porenwasser auftreten (Honeyman et al., 1988; Jannasch et al. 1988).

## **Herkunft und Klassifizierung der Elemente und der chemischen Signale sedimentärer Partikel**

Es erfolgt eine Abgrenzung zwischen den **detritischen** und **nicht-detritischen** Elementen. Nach Chester (2000) sind detritische Elemente Teil eines kristallinen Gitters, welches in Form eines Festkörpers transportiert wird. Trotz möglicher Austauschreaktionen mit der umgebenden Lösung, bleibt die ursprüngliche Matrix erhalten. Die Herkunft ist lithogen. Dies bedeutet, dass das Gestein aus verwitterter, ozeanischer Kruste hervorgeht. Es kann auch kontinentalen Ursprungs sein.

**Nicht-detritische** Elemente sind solche, die über organische und anorganische Träger der Lösung entzogen werden. Es findet nach Chester (2000) ein Austausch zwischen dem gelösten Zustand und den Feststoffen statt.

Die Sedimenttypen werden nach ihren **hydrothermalen, lithogenen, biogenen** und **hydrogenen** Komponenten unterteilt (Dymond, 1981; Chester, 2000):

- **Hydrothermale** Sedimente entstehen in den Einflussbereichen der aktiven Spreizungszonen durch metallreiche Ausfällung, die mit zunehmender Entfernung vom Herd Sulfide (wie Sphalerit und Pyrit), Eisensilikate (u. a. Fe-Smektite), dann Eisenoxide und am Ende Manganoxide bilden.
- Die **lithogene** Komponente umfasst Material aus submarinen Verwitterungen von Festgesteinen, submarinem Vulkanismus und dem Eintrag von kontinentalen Schüttungen.
- Die **biogene** Komponente im Sediment besteht hauptsächlich aus Karbonatschalen (zum Beispiel von Foraminiferen, Coccolithophoriden) sowie opalbildenden Organismenresten (zum Beispiel von Radiolarien, Diatomeen) und aus geringen Anteilen von biogenem Baryt und Apatit (Skelett einiger Organismen).
- Als **hydrogene** Sedimente, im weiteren Sinn authigene Neubildungen, werden solche klassifiziert, die durch anorganische Reaktionen zu Feststoffen kristallisiert sind. Dies kann durch Präzipitation oder durch Halmyrolyse geschehen. Elderfield (1976) fasst unter den Präzipitaten alle primären anorganischen Ausfällungen (einschließlich solche aus dem Porenwasser und aus dem Bereich submariner Exhalation) zusammen. In die Gruppe fallen alle Karbonate, Phosphate, Oxyhydroxide, Sulfide und Sulfate. Der Begriff „hydrogen“ wird in dieser Arbeit um die authigen gebildeten Tonminerale der Nepheloidschicht und der Porenräume im Sediment erweitert. Als Halmyrolyseprodukte werden sowohl lithogene als auch vulkanische Gesteine zusammengefasst, die mit dem Meerwasser reagieren. Tonminerale und Zeolithe sind typische Beispiele dieser Neubildungen. Suboxische wie auch oxische Diageneseprodukte der oberflächennahen Sedimente werden ebenfalls zu den hydrogenen Sedimentkomponenten gezählt.

Hydrogene Sedimente werden dort erwartet, wo die Sedimentationsrate gering ist.

Aus der Definition der hydrogenen Sedimente leiten Marchig & Gundlach (1977) die Bezeichnung „**hydrogene** Elementgruppe“ ab. Die Elemente werden als unlösliche Verbindungen oder als refraktorische Bestandteile (Boström et al. 1969; 1973; 1974; Marchig, 1983) und/oder adsorptiv gebunden dem Wasser entzogen (Murray, 1975). Hiervon ist die „**terrigene**“ Gruppe, die überwiegend Silikate vermutlich detritischer Herkunft umfasst, abgrenzbar.

#### **Berechnung der Korrelationsmatrix:**

Bei der einfachen Korrelation werden nur jeweils zwei Elemente miteinander verglichen, und diese werden als X- und Y-Wert dargestellt. Aus den Wertepaaren ergeben sich folgende Freiheitsgrade (FG):

$$FG = n - 2$$

n = Probenanzahl

$$r = \frac{n \cdot S_{xy} - S_x \cdot S_y}{\sqrt{[n \cdot S_x^2 - (S_x)^2] \cdot [n \cdot S_y^2 - (S_y)^2]}} \quad (\text{Formel 2.c})$$

Der Korrelationskoeffizient r kann für ein Wertepaar zwischen 1 und -1 variieren. Liegt der Wert nahe Null, so besteht kein Zusammenhang zwischen den beiden Elementen, liegt der Wert im negativen Bereich, so fällt bei Anstieg des einen Wertes der zu vergleichende. Aufgelistet werden in dieser Arbeit Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit P von = 0,1 %. Eine weitere Korrelation der entkarbonatisierten Proben soll der Überprüfung und der weiteren Aufschlüsselung der Elemente untereinander dienen.

### **3. Die Lösungswege zur Unterscheidung zwischen primärer und diagenetischer Schichtung sowie die Beschreibung der Kriterien für die Gewinnung von Probenmaterial**

Zur Überprüfung des Modells zur Unterscheidung zwischen primären und sekundären Mergel-/Ton-Lagen in marinen Kalk-Mergel-/Ton-Mergel-Wechselfolgen wurde bei der Probenbeschaffung wie folgt vorgegangen:

- a) Für den Vergleich von schichtparallelen Mergel-/Ton-Lagen und lateral-kompaktiv entstandenen Belägen auf den Schieferungsflächen (**LÖSUNGSWEG 1**) mussten Proben aus Steinbrüchen mit Kalkbank-Serien gewonnen werden, bei denen die einzelnen Kalkbänke durch mm- bis cm-dicke Ton-/Mergellagen getrennt und durch schräg bis senkrecht zur Schichtung verlaufende tektonisch bedingte Klüfte beziehungsweise Schieferungen mit Ton-/Mergelfüllungen zerlegt sind (Abb. 3a).
  
- b) Für den Vergleich der Tonfraktion von tonarmen kalkigen Sedimenten, die mit hohen Sedimentationsraten abgelagert wurden, mit der Tonfraktion tonreicherer kalkiger Sedimente, die mit niedrigeren Sedimentationsraten abgelagert wurden (**LÖSUNGSWEG 2**), mussten sowohl Proben von unverfestigten kalkig-mergeligen Tiefseeschlämmen, als auch von verfestigten Kalk-Mergel-Wechselfolgen gewonnen werden, bei denen die Sedimentationsraten für die tonarmen und tonreichen Schichten als Schätzung bekannt und unterschiedlich sind (Abb. 3b).

Der Rückgriff auf die unverfestigten Tiefseeschlämme erfolgte, weil Riech & von Grafenstein (1987) an der Tonfraktion von Tiefseesedimenten im äquatorialen nordöstlichen Pazifischen Ozean sedimentationsraten-abhängige Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung gefunden, dies aber nicht unter dem Aspekt der Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Schichtung abgehandelt haben. Die beiden Autoren haben entdeckt, dass die Tonfraktion trotz frühdiagenetischer Überprägung, wie sie in Form von Opallösung und Alteration von basaltischem Glas zu beobachten ist, ihr „chemisches Gedächtnis“ aus der Zeit der Ablagerung behält und zwar abhängig von der Sedimentationsrate. Das chemische Gedächtnis ermöglicht Rückschlüsse auf das ursprüngliche Ablagerungsmilieu (Beiersdorf & Natland, 1983). So ergibt sich aus stratigraphischen und paläogeographischen Trends, dass die Tonfraktion um so höhere Konzentrationen an Mn, Cu, Ni, Ba, P unter anderen Elementen aufweist, je näher die Sedimente an der äquatorialen Hochproduktionszone und der daraus resultierenden äquatorialen, biogenen Hochsedimentationszone abgelagert wurden.

Die Möglichkeiten, zwischen den primären und den sekundären Mergellagen zu unterscheiden, wurde im Rahmen der Förderung des Antrags BE 834/3-1 durch die Deutsche Forschungsgesellschaft unter der Annahme 3.a und 3.b überprüft.

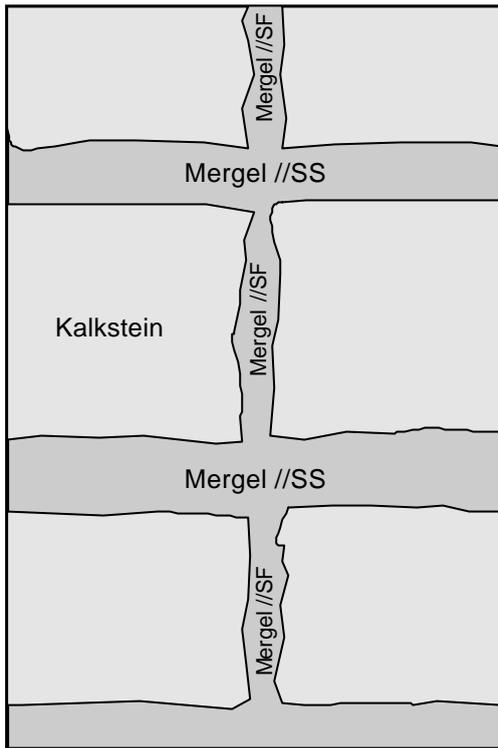


Abb. 3a

Kalkig-mergelige Wechselfolge	Tongehalt	Sedimentationsrate (cm/ka)	Verweildauer von Komponenten am Meeresboden
	hoch	niedrig	lang
niedrig	hoch	kurz	
hoch	niedrig	lang	

Abb. 3b

Abb. 3: Die Testmodelle für die Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Schichtung infolge diagenetischer Phasenseparation:

Abb. 3a: Schematische Darstellung des Falls 1, bei dem Versenkungsdiagenese und lateral-kompaktive Prozesse aus mergeligen Kalken schichtparallele//SS und schieferungs-/kluffparallele//SF Residualmergel hervorgebracht haben. Sind diese aus einem homogenen Sediment hervorgegangen, müsste ihre mineralogisch-chemische Zusammensetzung gleich sein. Bestehen Unterschiede, so können diese auf primäre Unterschiede der Zufuhr von Komponenten während der Sedimentation zurückgehen (primäre Schichtung).

Abb. 3b: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Sedimentationsraten bei der Ablagerung tonig-mergeliger Sedimente, ihren Tongehalten und den Verweildauern von Komponenten am Meeresboden beziehungsweise ihre Exposition zum Meerwasser. Lange Verweildauern bei niedrigen Sedimentationsraten bedingen die längere chemische Austauschzeit und verändern die ursprüngliche chemische Zusammensetzung. Das bedeutet, dass tonreiche Sedimente einer kalkig-mergeligen Wechselfolge auch noch nach einer diagenetischen Überprägung als primär entstanden eingestuft werden können (primäre Schichtung).

## 4. Auswahl der Beprobungsorte

Für den Vergleich von schichtparallelen Mergel-/Ton-Lagen und lateral-kompaktiv entstandenen Mergelbelägen (Lösungsweg 1) wurden Proben aus Aufschlüssen bei **Salzgitter-Salder** (nördliches Harzvorland, Niedersachsen) und **Dörenthe** (nahe Tecklenburg, Nordrhein-Westfalen) mit kretazischen Kalkbank-Serien gewonnen, in denen die einzelnen Kalkbänke durch mm- bis cm-dicke Mergellagen getrennt und durch schräg bis senkrecht zur Schichtung verlaufende tektonisch bedingte Schieferungen mit Mergelbelägen zerlegt sind.

Für den Vergleich der Tonfraktion von tonarmen kalkigen Sedimenten, die mit hohen Sedimentationsraten abgelagert wurden, mit der Tonfraktion tonreicher kalkiger Sedimente, die mit niedrigeren Sedimentationsraten abgelagert wurden, wurden einerseits Proben von rezenten bis miozänen unverfestigten kalkig-mergeligen Tiefseeschlämmen des **Perubeckens** (südöstlicher Pazifischer Ozean) sowie auch von verfestigten kretazischen Kalk-Mergel-Wechselfolgen aus Aufschlüssen bei **Gordoa** und **Urrunaga**, nördlich beziehungsweise nordwestlich der Provinzhauptstadt Vitoria-Gasteiz, N-Spanien, gewonnen, bei denen die Sedimentationsraten für die tonarmen und tonreichen Schichten schätzungsweise bekannt sind.

### 4.1 Aufschlüsse für den Vergleich von Mergellagen, die sowohl durch lateral-kompaktive Prozesse als auch durch Versenkungsdiagenese entstanden sind (Lösungsweg 1)

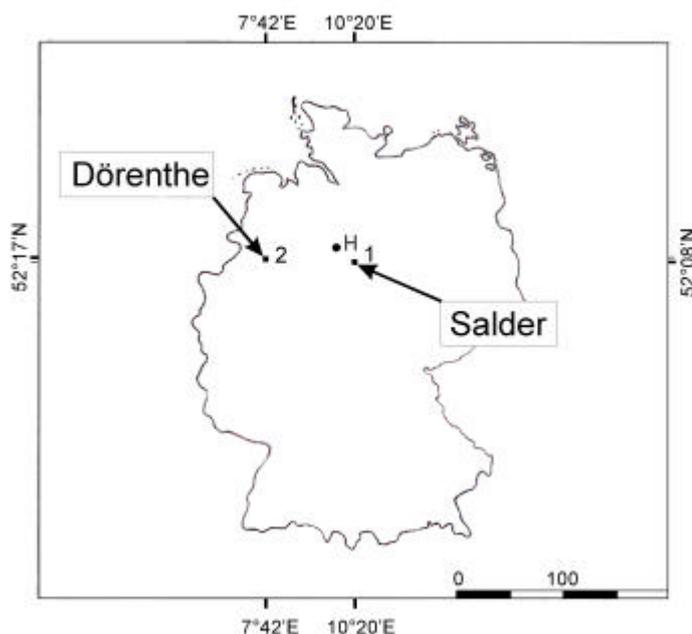


Abb. 4.1:  
Aufschlüsse in Deutschland zu  
Lösungsweg 1:  
1. Salder in Niedersachsen,  
2. Dörenthe in Nordrhein-  
Westfalen  
H: Hannover

#### **4.1.1 Salder**

##### **Lage des Aufschlusses**

Der Steinbruch Salder der FELS-WERKE Peine Salzgitter GmbH liegt am NE-Hang des Lichtenberger Höhenzuges, südlich der Ortschaft Salder (R: 35 91000, H: 57 7775). Hierzu siehe Abb. 4.1 und Anhang A-1 mit einem Ausschnitt der 1:25 000, Blatt 3827 Lebenstedt West und der TK 1:25 000, Blatt 3828 Lebenstedt Ost.

##### **Lithostratigraphie und tektonische Stellung**

Der im Streichen ca. 750 m lange Kalksteinbruch Salder umfasst eine ungefähr 220 m dicke Folge von marinen oberkretazischen Kalkbänken mit eingeschalteten kalkigen Mergellagen. Sie wurde im subherzynen Becken, dem Ablagerungsraum des Mesozoikums nördlich des Harzpaläozoikums und südlich des paläozoischen Flechtingen-Roßlau-Blocks, abgelagert (Beitz et al., 1987; Bräutigam, 1962; Kockel, 1990; Kockel & Franske, 1998).

Es handelt es sich im Steinbruch um gebankte Kreidekalke (Ernst et al., 1979; Ernst et al., 1983), welche eine Zeitspanne vom Mittel-Turon (*l. Iamarcki-Zone*) bis zum Kontakt mit den Emscher-Mergeln des Mittel-Coniacs (*C. deformis-Zone*) umfassen (Anhang Tafel 1). Das Profil setzt mit den oberen 40 m des Mittleren Turons ein. Anderenorts liegen die Kalke meist als rötlich gefärbte Rotpläner vor, in Salder zeigen diese jedoch eine hellgraue Färbung und eine mergelige bis stark mergelige Ausbildung. Das Obere Turon hat im Steinbruch eine Mächtigkeit von ungefähr 140 m. In der jüngeren Literatur (Ernst & Wood, 1995; Mutterlose et al., 1998; Wood & Ernst, 1998) wird die Unterstufe nach dem Inoceramen-Spektrum in vier Faunenstufen unterteilt.

Das weißgraue Gestein ist dickplattig bis dünnbankig und zeigt teilweise eine flaserige Ausbildung. Zwischen den Kalksteinen befinden sich graue, kalkige Mergellagen im mm- bis cm-Bereich. Zum Hangenden nimmt der Anteil der Mergelzwischenlagen erst ab, dann mehr und mehr zu und leitet die grauen Mergel und Tone des Unter-Coniacs (Emscher-Mergel) ein. Diese mehr oder weniger regelmäßige Wechselfolge mit oftmals flaseriger Ausbildung der Kalksteine wird von Ernst et al. (1979) als Grau-Weiße Folge bezeichnet.

Die weißgrauen Kalksteine wechsellagern mit grauen, schichtparallelen, wenige mm-dünnen Mergellagen. Diese regelmäßigen Wechsel werden von Mutterlose et al. (1998) als Folge von durch den Orbitalzyklus hervorgerufene Meeresspiegelschwankungen (Transgressions-/Regressionszyklen) gedeutet.

Im Mittel-Turon und Ober-Turon durchsetzen vereinzelte Tufflagen (Wray & Wood, 1995; Wray et al., 1996) die Kalk-Mergel-Wechselfolge. Schichtparallel abgelagerte, graue, vulkanogene Horizonte bilden einen scharfen Kontakt zu den angrenzenden Kalken und lassen sich makroskopisch nicht von den zyklisch abgelagerten Mergellagen unterscheiden.

Die Schichten fallen im Aufschluss mit 70° in N- bis NNE-Richtung ein. Die Kalksteine werden je nach Tonanteil von zwischen 20° und 60° nach Süden einfallenden Schieferungsflächen durchbrochen. Diese sind sigmoidal bis gerade ausgebildet. Auf diesen Flächen befindet sich eine mergelige bis tonige Zwischenlage von wenigen Millimetern. Einzelne Schieferungsflächen sind stylolithisch ausgebildet. Es lassen sich jedoch öfters parallel zur Schieferung verlaufende Stylolithensäume erkennen. Dies deutet darauf hin, dass Drucklösungen stattgefunden haben, die zu diesen mergeligen Rückständen geführt haben (Fiedler, 1965; Beiersdorf, 1968). Nach Langheinrich & Plessmann (1968) erfolgte eine Reduzierung der gesamten Gesteinsmächtigkeit senkrecht zur Schichtung durch Drucklösungsprozesse während der Versenkungsdiagenese und infolge der Steilstellung der Sedimente um 25 %.

#### **4.1.2 Dörenthe**

##### **Lage des Aufschlusses**

Beprobt wurden Kalke und Mergel des Steinbruches der Fa. Wallmeyer und Söhne am Brechtweg (R 34 10 020, H 57 90044 bis R 34 10030, H 57 90030) nördlich des Ortes Dörenthe, westlich der B 219 (Abb. 4.1; und Anhang A-2 mit dem Kartenausschnitt aus der TK 1:25 000, Blatt 3712 Ibbenbüren (Tecklenburg)).

##### **Lithostratigraphie und tektonische Stellung**

Der Aufschluss umfasst die Kalk-Mergel-Wechsellagen des Mittleren und Oberen Cenomans (Anhang Tafel 2). Stratigraphisch endet das Profil ca. 4 m unterhalb der Turon-Basis. Das beprobte Profil beträgt vertikal 54 m.

Die Kalk-Mergel-Wechsellagen wurden im Münsterländer Becken, dem schüsselförmigen Ablagerungsraum der Kreide, der vom Teuteburger Wald, der Paderborner Hochfläche und dem Sauerland begrenzt wird und sich nach NW und W zur Niedersächsischen Senke und dem Niederländischen Becken öffnet, abgelagert (Grabert, 1998).

Das Mittlere Cenoman wird in der Tecklenburger Gegend als *varians*-Pläner bezeichnet und besteht aus einer 80 m mächtigen Wechselfolge von Kalksteinen und Mergellagen. Die grauen Mergel sind bis maximal 2 cm mächtig, die wellig begrenzten grauen „Pläner“-Schichten sind bis zu 20 cm stark. Die Mächtigkeit der Mergellagen nimmt zum Hangenden ab. In den Kalken sind Anzeichen von Bioturbation zu erkennen. Das Gestein ist fossilreich, häufige Vertreter sind Inoceramen und Ammoniten (Thiermann & Dahm-Arens, 1970; Lehmann & Wiedmann, 1996).

Das Obere Cenoman hat im Bereich Dörenthe eine Mächtigkeit von 100 m, welche nach Osten hin abnimmt. Es handelt sich hierbei um die *rhodomagense*-Kalke, welche nach Thiermann & Dahm-Arens (1970) im Bereich der Dörenther Klippen früher einsetzen und die Pläner-Kalke verdrängen.

Namengebend für das anstehende Gestein ist das sporadische Auftreten von *Acanthoceras rhotomagense* (Thiermann & Dahm-Arens, 1970). Die weiß bis weißgrauen Kalke zeigen splittige Brüche. Die Bankmächtigkeit schwankt zwischen 10 und 50 cm. Die Kalksteine sind nach Lehmann et al. (1995) aus einem Coccolithenschlamm hervorgegangen. Makrofossilien sind selten. Vereinzelt lassen sich Grabspuren und Pyritablagerungen beobachten. Zwischen den Bänken befinden sich mm bis cm dünne dunkle Mergellagen.

Der Karbonatgehalt der Kalksteine nimmt zum stratigraphisch Hangenden zu. Sowohl die Dicke der Mergelzwischenlagen als auch die der Kalksteine nimmt ab. Mit dem einsetzenden Turon wird das Gestein wieder plattig und dunkler. Der Übergang ist im Steinbruch deutlich zu erkennen.

Die mergelig-kalkigen Sedimente sind Kennzeichen küstenferner Flachseeablagerungen, die frei von klastischen Beimengungen sind.

Die Kalkstein-Mergelwechsellagerung im Steinbruch Dörenthe besteht aus dünnbankigen, zum Hangenden zunehmend dicker-bankig ausgebildeten Kalksteinen und schichtparallelen, wenige mm bis cm dicken Mergellagen. Die Schichtflächen sind eben und fallen mit 60° in SSW- bis SW-Richtung ein. Diese Bankpaare (Couplets) werden nach Mutterlose et al. (1995; 1998) als Orbitalzyklen interpretiert. Der Verband wird durch eine teilweise sigmoidal ausgebildete Schieferung mit einem Streichen um 280° und einem Fallen von 70° durchzogen. Kennzeichnend für diese Flächen ist ein grauer wenige mm dicker Mergelfilm. Mit Ausnahme einzelner „Event-Bänke“ (Ernst et al., 1983; Kaplan, 1992; Mutterlose et al., 1995; Mutterlose et al., 1998) sind die Kalke fossilarm.

Das beprobte Profil setzt stratigraphisch innerhalb des Mittleren Cenomans mit einer hellen fossilreichen Bank ein. Sie wird von Mutterlose et al. (1995) dem „Mid-Cenoman-Event“ zugeordnet. Im Liegenden dieser „Event-Bank“ sind die mittel- bis dünnbankigen Kalke deutlich mergeliger und grauer. Die angrenzenden Mergel sind mehr plattig ausgebildet. Oberhalb der „Event-Bank“ setzt eine Kalk-Mergel-Wechselfolge ein, die zum einen durch eine Gesamtzunahme des Karbonatgehaltes in Richtung des stratigraphisch Jüngeren, zum anderen durch an Dicke verlierende Mergellagen zugunsten bankig ausgebildeter Kalksteine gekennzeichnet ist. Oberhalb eines dunkelgrauen, 50 cm mächtigen fossilreichen Couplets, der sogenannten 6-7er Bank (Mutterlose et al., 1995; Mutterlose et al., 1998), werden die Kalksteine heller und die Schichtmächtigkeit nimmt auf 25-30 cm, vereinzelt auf 40 cm, zu. Die Mergelschichten werden weniger. Kennzeichnend für diesen Profilabschnitt sind gehäuft auftretende, gut ausgebildete schichtparallele Stylolithensäume (Mutterlose, 1995). Vertikale Stylolithensäume sind ebenfalls zu beobachten. Sie sind schlechter ausgebildet.

## 4.2 Aufschlüsse für den Vergleich von Mergellagen, die mit hohen beziehungsweise niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden (Lösungsweg 2)

### 4.2.1 Perubecken

#### Lage der beprobten Kerne

Die bearbeiteten Tiefseeschlämme stammen aus Kernen der Forschungsfahrt SO79 (SEDIPERU) unter Fahrtleitung von U. v. Stackelberg, die mit der FS Sonne 1992 durchgeführt wurde (unveröffentl. Fahrtbericht von v. Stackelberg, 1993). Es wurde in zwei Gebieten (Abb. 4.2.1) gearbeitet. In einem äquatornäheren Gebiet 1 ( $6^{\circ}25' - 7^{\circ}10'$  südlicher Breite;  $89^{\circ}15' - 90^{\circ}00'$  westlicher Länge) und in einem südlicher gelegenen Gebiet 2 ( $8^{\circ}05' - 8^{\circ}55'$  südlicher Breite;  $90^{\circ}25' - 91^{\circ}00'$  westlicher Länge). Der Meeresboden liegt in Tiefen zwischen 4000 und 4350 m (Wiedicke & Weber, 1996) und es ist durch ein typisches Tiefseehügelrelief gekennzeichnet.

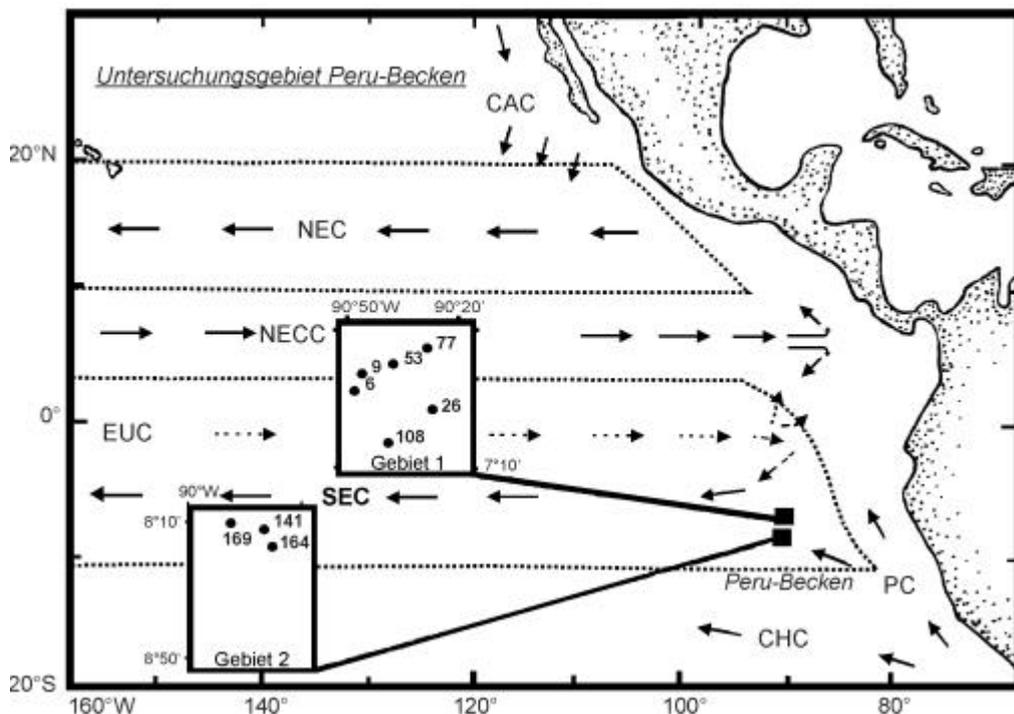


Abb. 4.2.1: Darstellung der Lage der Arbeitsgebiete 1 und 2 der Forschungsfahrt SO 79 (1992), in denen die untersuchten Kerne (siehe Nummern innerhalb der umgrenzten Arbeitsgebiete) abgeteuft worden sind. Die Hauptmeeresströmungen (Lyle, 1992; Lyle et al., 1992) sind wie folgt abgekürzt: CAC (California Current)= Kalifornischer Strom, NEC (North Equatorial Current)= Nordäquatorialstrom, NECC (North Equatorial Counter current)= Nordäquatorialer Gegenstrom, EUC (Equatorial Undercurrent)= Äquatorialer Tiefenstrom, SEC (South Equatorial Current)= Südäquatorialstrom, CHC (Chile Current)= Chile-Strom, PC (Peru Current)= Peru-Strom.

## **Lithologie und tektonische Stellung der untersuchten Sedimente**

Bei den untersuchten Sedimenten handelt es sich um Tone, Mergel und Kalkschlämme, die nach Schmitz, 1981; Sioulas, 1982; Stoffers et al., 1982a; Riech & Wiedicke, 1993 in drei lithostratigraphische Einheiten untergliedert werden können:

Einheit 1 besteht aus rezenten und mittelpleistozänen, teilweise reduzierten mergeligen Schlämmen und reduzierten Kieselschlämmen, die unter einer 10 cm mächtigen oxidierten, halbflüssigen Schicht mit kieseligen und kalkigen Mikroorganismen als gelblichbraune bis olivfarbene kieselige, bioturbate Sedimente abgelagert worden sind. Verglichen mit den Oberflächensedimenten werden die unterlagernden Sedimente nach Sioulas (1982) durch höhere Fe- und Cu-Konzentrationen und durch geringere Mn- und Ni-Konzentrationen charakterisiert. Die relativ geringen Gehalte an Mn beziehungsweise an Mn-Hydroxiden lassen in den oberen Metern auf durch reduzierende Bedingungen hervorgerufene Mobilisationen der Elemente Mn und Ni schließen.

Die Sedimente enthalten zwischen 0 und 50 % CaCO<sub>3</sub>. Hohe Gehalte an Kieselorganismen sind in den Kernen 9KL und 77KL zu finden. In diesen Kernen führen die hohen Sedimentationsraten von bis zu 1,67 cm/ka und 2,00 cm/ka zu guten Konservierungen der Kieselschaler. Kern 77KL ist ein gutes Beispiel für die Laminierung durch karbonatreiche (Kalkschlämme) und kalkärmere Mergellagen. Allgemein steigen die Karbonatgehalte wieder ab einer Tiefe von 1 bis 5 m.

Die Einheit 2 besteht aus altpleistozänen und pliozänen oxidierten Kieselschlämmen und Tonen.

Im Norden setzt Einheit 2 bei einer Tiefe von 4-7 m, im Süden wegen der geringeren Sedimentationsraten bei 1-3 m, mit dunkelbraunen, seltener dunklen rotbraunen, oxidischen Kieselschlämmen, radiolarienreichen Tonen und Tonen ein. Der Opalanteil nimmt mit zunehmender Teufe, einhergehend mit einer ansteigenden Korrosion des Opals, ab. Die bioturbaten, kalkarmen bis kalkfreien Sedimente weisen Relikte von Fischzähnen und von vulkanischem Glas auf. Verglichen mit den Sedimenten der Einheit 1 zeigen die Sedimente höhere Gehalte an Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn und Mg. Hingegen ist Ba geringer konzentriert. Nach Stoffers et al. (1982a) ist die Abfolge weitgehend unterhalb der CCD abgelagert worden.

Einheit 3 wird durch pliozäne und miozäne Tone, oxidische Mergel und Kalkschlämme gekennzeichnet. Die dunkelbraunen Tone sind fast karbonatfrei und gehen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich über Mergel in helle, hellgraue Kalkschlämme über, die einen Kalkgehalt von > 60 %, oftmals sogar > 80 % erreichen. Nach Riech & Wiedicke (1993) sind die Kalkschlämme bis 2 m mächtig.

Geht man von einem allmählichen Wechsel der Sedimentzusammensetzung mit zunehmender Entfernung von der Ostpazifischen Spreizungszone aus, so muss die Kalzit-Kompensationstiefe (CCD) zum Zeitpunkt der Ablagerung um einige 100 m tiefer gelegen haben als heute. Hiergegen beschreiben Kennett et al. (1975), van Andel et al. (1975) und Schmitz (1981) für den Kolbenlot-Kern SO4-19, der aus der Sonne-Fahrt SO 4 im Perubecken stammt, einen abrupten Übergang

von den dunkelbraunen, nannofossilreichen Tonen zu den Kalkschlämmen. Dieser abrupte lithologische Wechsel wird von den Autoren als Hiatus beschrieben. Hiernach ist der Wechsel Konsequenz der Eiskappenbildung in der Antarktis vor ca. 12 Mio. Jahren, wodurch sich Antarktisches Bodenwasser (AABW) bilden konnte, welches nordwärts strömt und in weiten Teilen des Pazifiks Partikel erodiert und wieder ablagert. Das AABW ist ehemaliges Oberflächenwasser, welches sauerstoffreich ist und daher auf die Oberflächensedimente korrosiv wirkt.

Das Arbeitsgebiet befindet sich im nördlichen Teil des Perubeckens (Abb. 4.2.1 und Anhang A-3) und liegt auf der Nazca Platte (Minster et al., 1974; Yeats, 1976) sowie südlich des äquatorialen Upwellings und der biogenen Hochproduktionszone (Toggweiler, 1991). Das Perubecken grenzt im Norden an den Carnegie-, im Westen an den Galapagos Rücken, im Osten an den Peru-Chile-Graben und im Süden an den Nazca-Rücken.

Die Sedimentbedeckung beträgt 50-150 m (Erlandson et al., 1981), wovon die oberen 5-15 m quartären Alters sind (von Stackelberg, 1997). Nach Rekonstruktionen von Riech & Wiedicke (1993) sind die miozänen Mergel und Karbonate bei einer ost-südostwärts gerichteten Plattendrift von 7 cm/a auf der Ostflanke des Ostpazifischen Rücken (EPR) abgelagert worden. Nach Piasias, Mayer & Mix (1995) hat sich die Plattendrift vor etwas 5 Mio. Jahren verlangsamt. Für die Lage der Kerne bedeutet dies, dass diese zum Zeitpunkt der Sedimentation näher am Äquator lag. Das Alter der ozeanischen Kruste wird von Mammerickx et al. (1975) mit  $\leq 18$  Mio. Jahren angegeben.

Das Ausmaß der Bioproduktion wird von den Meeresströmungen im Äquatorialen Ostpazifik (Abb. 4.2.1) bestimmt, wodurch wiederum die Sedimententwicklung und die Elementakkumulation beeinflusst werden. Die Innertropische Konvergenzzone (ITCZ), resultierend aus der Konvergenz der Passatwindssysteme der Nord- und Südhemisphäre, ist heute etwas nördlich vom Äquator gelegen. Diese Lage entlang des Äquators führt in Verbindung mit der Corioliskraft zu einer Absenkung des Meeresspiegels und einem Druckgefälle. Ein Ausgleich wird durch die westwärts abfließenden Oberflächenströme, dem NEC (North Equatorial Current) und dem SEC (South Equatorial Current) (Piasias et al., 1995) geschaffen. Die schwankende Stärke der Passatwinde führt zu jahreszeitlichen Veränderungen der Lage der ITCZ (Wyrтки, 1965; Wyrтки, 1967; Wyrтки, 1974). Zwischen Februar und April ist der SE-Passat und damit auch der SEC am schwächsten ausgebildet, und die ITCZ nimmt ihre südlichste Position ein. Der ostwärts gerichtete EUC (Equatorial Undercurrent) wird nach Bryden & Brady (1985) und Toggweiler et al. (1991) westlich der Galápagosinseln in Oberflächenschichten abgelenkt (50 bis 200 m Tiefe) und trägt durch das Äquatoriale Upwelling zum Nährstoffhaushalt entscheidend bei. Im Vergleich sind der entlang der Westküste Südamerikas in NNW-Richtung fließende Peru-Strom (PC) und die hiermit verbundenen Wassermassen des Küstenupwelling vor Peru (Toggweiler et al., 1991) kälter, salzhaltiger und nährstoffreicher (Toggweiler et al., 1991). Der ebenfalls vom Antarktischen Bodenwasser (AABW) gespeiste kühle, nährstoffreiche Chile-Strom (CHC) fließt südlich des Arbeitsgebietes in NW-Richtung (Lonsdale, 1976) und begrenzt den nährstoffreicheren Teil des SE-Pazifiks.

## 4.2.2 N-Spanien

### Das Basko-Kantabrische Becken (BKB)

Nach Gräfe (1994), Mathey (1987), Mathey (1988), Schwentke (1990) und Wiedmann (1980, 1988) treten im Basko-Kantabrischen Becken primäre Kalkmergel-Mergelkalk-Wechselagerungen auf. Da die Ablagerung der Sedimente stark meeresspiegeldominiert war, leitet sich die Sedimentationsrate des Ablagerungsraumes aus der jeweiligen Wassertiefe ab. Hiermit ist eine zu- und abnehmende Entfernung von der flachen Karbonatrampe verbunden. Für die rampennäheren Mergelkalke werden danach höhere Sedimentationsraten angenommen als für die rampenferneren Kalkmergel. Für die Fragestellung sind zwei beckennahe Profile mit unterschiedlich deutlich ausgebildeten Sequenzen 3. Ordnung beziehungsweise abgrenzbare System-Trakte (LST, TST, HST) gewählt worden (Anhang A-6 bis A-9):

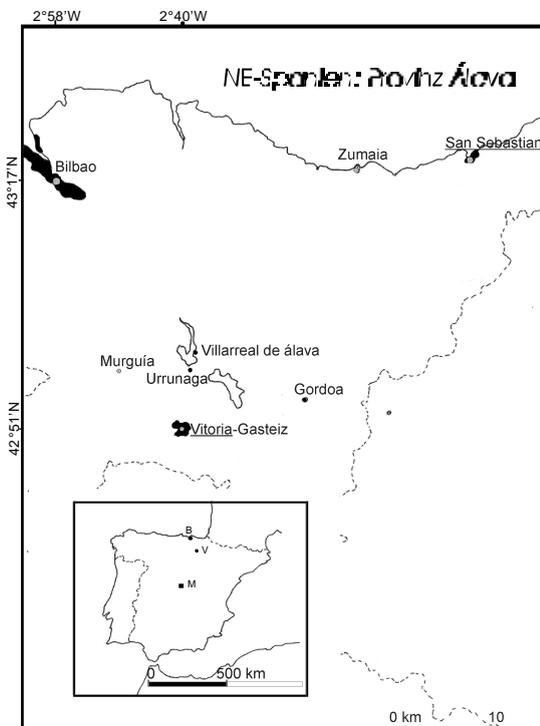


Abb. 4.2.2.a:

Lage der Arbeitsgebiete Gordoa und Urrunaga bei Vitoria-Gasteiz in N-Spanien, Provinz Álava. M= Madrid; B= Bilbao; V= Vitoria-Gasteiz.

Das untersuchte zusammengesetzte Profil Gordoa (Anhang A-4) setzt etwa einen Kilometer nördlich von Galaretta mit plattigen bis dünnbankigen Mergeln/Mergelkalken des Mittleren Cenomans ein und wird ca. 500 m nördlich und westlich von Gordoa fortgesetzt (ca. 57 km ostnordöstlich von Vitoria-Gasteiz). Es handelt sich hier um dünnbankige Kalkmergel bis Mergelkalke des Turons und des Santons.

Das Profil Urrunaga (Anhang A-5) liegt ca. 29 km nördlich von Vitoria-Gasteiz. Es setzt an der Südspitze des Urrunaga Stausees (ca. 700 m nordwestlich des Ortes Urrunaga) mit Ablagerungen des Turons ein. Bei den Sedimenten handelt sich um graue, stark verfestigte Kalkmergel/Mergelkalke mit bankiger bis dünnbankiger Ausbildung. Die Proben Ur2-2 und Ur2-2a

bilden ein Bankpaar (Parasequenz im sequenzstratigraphischen Sinn) aus Mergelkalken und Kalkmergeln, die im cm- bis dm-Abständen wechsellagern. Das Profil endet SSE von dem Urrunaga-Stausee, 550 m westlich der Ortschaft Lucco mit dunkelgrauen mikritischen Kalkmergeln/Mergelkalken des Santons.

### Lage und Bildung der Becken

Paläogeographisch gehören die Aufschlüsse in den Gebieten Gordoa und Urrunaga zum nördlichen beziehungsweise zum östlichen Teil des Vitoria-Beckens, welches wiederum ein Teilbecken des Basko-Kantabrischen Beckens (BKB) ist.

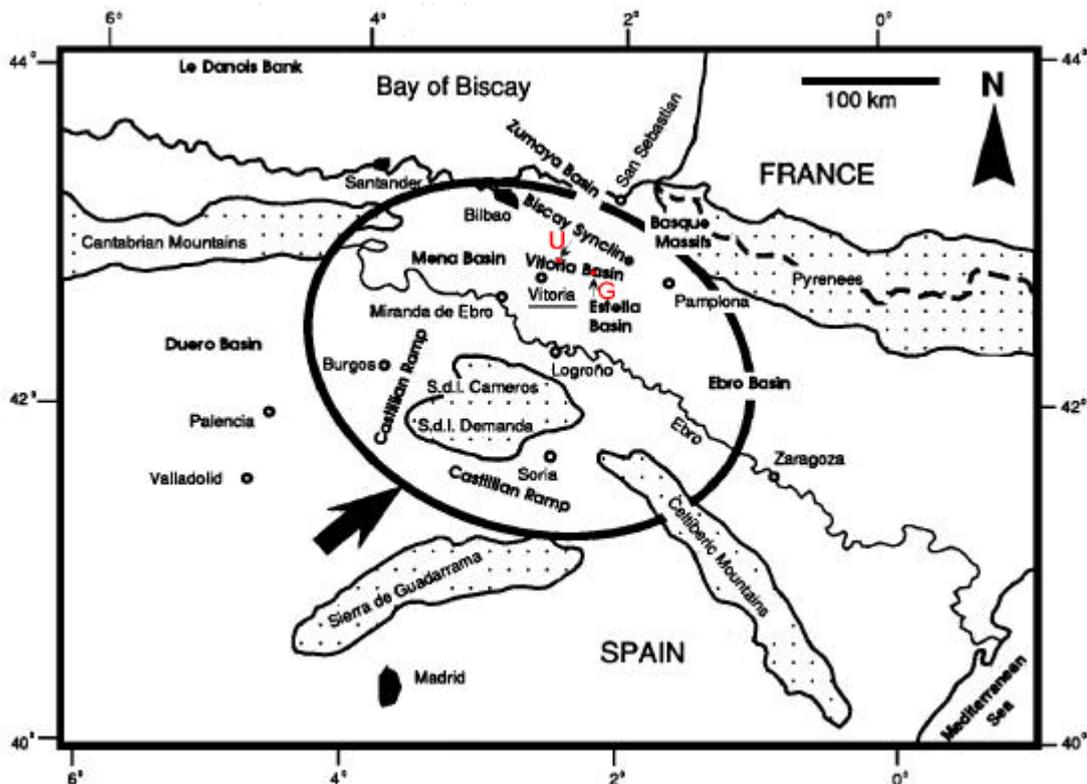


Abb. 4.2.2.b: Modifizierte Karte des Basko-Kantabrischen Beckens (BKB) nach Gräfe (1994), welches durch die ovale Markierung stark vereinfacht umrissen ist. G= Arbeitsgebiet Gordoa und U= Arbeitsgebiet Urrunaga

Das Basko-Kantabrische Becken (BKB) ist nach Engeser (1985) durch eine in die Iberische Platte laufende Transcurrentstörung entstanden. Diese ist Teil eines vom ozeanischen Rücken des Biskaya-Ozeans ausgehenden Transformstörungssystem mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Störungen. Das Basko-Kantabrische Becken kann daher während der Kreide und dem Alttertiär als „Randmeer“, dessen Existenz durch das Biskaya-Hoch belegt wird, beziehungsweise als Intraschelfbecken bezeichnet werden (Engeser et al., 1984). Während der Hauptsubsidenz (Abb. 4.2.2.b; Anhang A-7) im Cenoman wird das Becken von einer synsedimentären Tektonik erfasst, die zu einer Teilbeckenausbildung führt. Eines der südlich

gelegenen Teilbecken ist das Vitoria-Becken. Das BKB kann nach Wiedmann et al. (1983), Read (1985), Gräfe (1994) und Gräfe & Wiedmann (1993; 1998) ist genetisch in vier Rampenabschnitte (Innere proximale Rampe; Äußere proximale Rampe; Distale Rampe und Tieferes Becken) (Abb. 4.2.2.c) untergliedert:

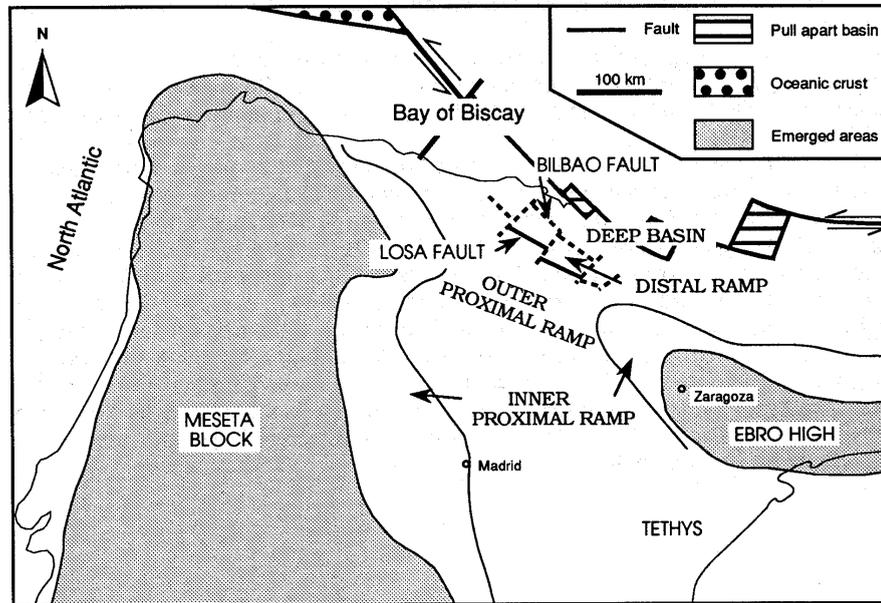


Abb. 4.2.2.c: Geographische Lage der Rampenabschnitte. Die Karte ist keine palinspastische Wiedergabe. Die Abbildung wurde aus Gräfe (1994) übernommen.

Der Übergangsbereich zwischen distaler Rampe und dem Becken fällt im Cenoman bis Turon mit  $0,5-1^\circ$  ein und versteilt im Coniac und Santon auf ca.  $5^\circ$ .

### Entwicklung der Beckenfazies

Die Basis der oberen Kreide besteht aus einer euxinischen schwarzen Flyschserie und wird von hellen pelagischen Mergeln überlagert. Kennzeichnend für die mehrere hundert Meter mächtigen Ablagerungen sind vulkanische und vulkano-klastische Einschaltungen.

Im Vitoria-Becken setzt im Mittleren-/Oberen Cenoman der Flysch à Boules über den Mergeln ein. Der Name (Ciry & Mendizabal, 1949) stammt von den kugeligen Auswitterungen ehemaliger Kalksteinbänke. Diese 5 bis 10 cm, maximal 20 cm mächtigen Bänke wechsellagern mit bis zu 20 cm dicken Mergellagen. Die Mergel sind feinkörnig. Nach Wiedmann et al. (1983) sind die lutitischen Kalkbänke aus Kalkturbiditablagerungen in einem pelagischen Milieu hervorgegangen. Ihre Gesamtmächtigkeit wird auf ca. 100 m geschätzt. Der Flysch à Boules ist besonders im westlichen Teil des Beckens ausgebildet. Gute Aufschlüsse befinden sich entlang des **Urrunaga**-Stausees. Ein anderes Extrem dieser Ausbildung findet sich im Bereich von **Gordoa** im östlichen

Teil des Beckens. Neben der Abnahme der Gesamtmächtigkeit cenomaner Sedimente werden in **Gordoa** die dunklen Mergel des Mittleren und Oberen Cenomans auf 20 m reduziert und die Kalksteineinschaltungen sind auf einzelne dünn- bis mittelbankige Ablagerungen beschränkt. Stratigraphisch wird diese Ausbildung als Galerreta-Subfazies abgegrenzt.

Mit zunehmender Paläowassertiefe sinkt die Diversität der Sedimente im Vitoria-Becken. Die Turbiditeinschaltungen enden an der Grenze zum Turon. Die autochthonen Ablagerungen bestehen aus Mergeln, Kalkmergeln und Kalken (Ciry & Mendizabal, 1949; Gischler et al., 1994). Der terrigene Einfluss war im Turon am geringsten. Nach Floquet (1991) führte die Transgression auch zur Überflutung der Karbonatplattformen der Hochebenen, wie zum Beispiel dem Aitzgorri-Block.

Im oberen Turon setzt der Regressionszyklus ein. Hiermit verbunden sind erneute, mächtige Kalkturbiditablagerungen des Coniacs. Die Hintergrundsedimentation reduziert sich auf pelagische Kalkmergel und Mergel. Im unteren Santon werden die Sedimente erneut toniger und die Kalkturbiditeinschaltungen werden geringer. Es herrschen Mergel und mergelige Kalksteine vor.

Im unteren Santon werden die Sedimente erneut toniger und die Kalkturbiditeinschaltungen werden geringer. Unterschiede ergeben sich zwischen dem östlichen und dem westlichen Teil des Vitoria-Beckens. Im Westteil des Beckens treten mergelige Kalke, die zum stratigraphisch Hangenden in Mergel übergehen, auf. Im Ostteil tritt eine mergelige bis tonigmergelige „Echinodermenfazies“ auf, die in der Umgebung von Dallo durch kalkige Einschaltungen unterbrochen wird und zu einer eher kalkigen Mergelausbildung führt. Die kalkigen Einschaltungen werden als Turbidite interpretiert.

### **Die Untersuchungsgebiete Gordoa und Urrunaga**

Das Gebiet um Gordoa-Galarreta zeigt im Cenoman und im Turon die größte Nähe zum Zentrum des Vitoria-Beckens. Das Ablagerungsmilieu ist pelagisch. Die abgedeckte Abfolge des Profils setzt im oberen Untercenoman ein (Anhang A-4, Anhang Tafel 3). Bis zur Turongrenze beträgt die Mächtigkeit der Sedimente 60 m. Anhand des Verhältnisses zwischen den benthischen und planktonischen Foraminiferen gibt Gräfe (1994) eine Ablagerungstiefe im Turon zwischen 300-500 m an. Mit dem Erreichen des transgressiven Hochstands des Megazyklus (MU 2) in der Oberkreide (Grenze Turon/Coniac) wurde eine Wassertiefe von ca. 1000 m erreicht. Die feinkörnigen, grauen bis dunkelgrauen Kalkmergel bis Mergel des Cenomans sind plattig bis dünnplattig ausgebildet und sind durch „Mudstone“-Konkretionen gekennzeichnet. Im Vergleich zu den Ablagerungen des Cenomans sind die des Turons bankig bis feinbankig ausgebildet. Neben den beprobten grauen, plattigen Kalkmergeln des oberen Santons treten auch Mergelkalke mit einem „Wackestone“-Gefüge aus Mikroorganismen in einer feinkörnigen Matrix auf.

Die Ablagerungen des Turons entlang des Urrunaga-Stausees (Anhang A-5; Anhang Tafel 4) sind ein gutes Beispiel für die Sedimente der distalen Rampe. Die Ablagerungen belegen deutlich die Beckenvertiefung, welche später und deutlich geringer als in Gordoa erfolgte. Anhand der

Foraminiferen-Spezifizierung (Gräfe, 1994) kann die Beckentiefe im Cenoman mit 10-70 m, im Turon mit 300 m angegeben werden. Die größte Beckentiefe wurde im Santon erreicht und lag bei ungefähr 700 m. Bei den untersuchten Sedimenten des Turons handelt es sich um graue, mikritische Kalkmergel und Mergelkalke. Oberhalb der turbiditischen Sequenzen des Coniacs und der Basis des unteren Santons setzt eine Abfolge aus dünnbankig bis bankig ausgebildeten, mikritischen Kalkmergeln und Mergelkalken ein. Die Sedimente sind als „Mudstones“ und „Wackestones“ ausgebildet. Ein Aufschluss befindet sich westlich der Ortschaft Luco.

### **Sedimentationsraten**

Engeser (1985) hat aus Bohrprofilen über die Sedimentmächtigkeit der einzelnen Oberkreidestufen auf die Sedimentationsraten geschlossen. Hierbei ist zu beachten, dass die untersuchten Proben kompaktiert sind. Die berechneten Sedimentationsraten können daher nur Minimalwerte darstellen und die Proben wurden nicht direkt an den Lokationen der Bohrkerne entnommen. In Anlehnung an die Daten werden daher für das im östlichen Vitoria Becken gelegene Gebiet Gordoia im Cenoman eine Sedimentationsrate von 5 cm/ka angenommen. Diese sinkt mit der fortschreitenden Transgression auf 3-4 cm/ka und erreicht im turbiditdominierten Coniac sowie im Santon Sedimentationsraten von 30 cm/ka. Für das im westlichen Teil des Vitoria-Beckens gelegene Gebiet Urrunaga lassen sich für das Cenoman Sedimentationsraten von 25 cm/ka errechnen. Diese verringern sich auf ~ 18 cm/ka im Turon und steigen im Santon und Cenoman auf 30 cm/ka. In beiden Gebieten beruhen die hohen Sedimentationsraten des Coniacs und des Santons und die hieraus resultierenden Sedimentmächtigkeiten auf mächtigen Turbiditeinschaltungen und weniger auf erhöhten Hintergrundsedimentationen.

Aufgrund der geringen Auflösung der Sedimentationsraten musste bei der Probenahme daher von der Annahme ausgegangen werden, dass die weniger mergeligen Sedimente höheren Sedimentationsraten entsprechen als die mergeligeren.

## **5. Methoden**

### **5.1 Beprobung der Aufschlüsse und Kerne**

#### **5.1.1 Probenahme zu Lösungsweg 1:**

##### **Aufschluss Salder und Aufschluss Dörenthe**

Von den anstehenden Kalksteinen der Aufschlüsse Salder und Dörenthe wurden Handstücke entnommen. Die geringmächtigen, grauen, schichtparallelen Mergellagen und die grauen, mergeligen Füllungen der vertikalen Schieferungsfugen wurden mit einem Spachtel

herauspräpariert. Es wurden jeweils Bankpaare aus Kalksteinen und den schichtparallelen Mergellagen, sowie die sie durchsetzenden Mergelbeläge beprobt.

Kalksteinproben: bis zu 1 kg in Salder und bis zu 1,5 kg in Dörenthe

Mergelproben<sub>//SS</sub>: bis 300 g

Mergelproben<sub>//SF</sub>: bis 200 g

Im Aufschluss Salder wurde zusätzlich eine grau-graugrüne, stark alterierte Tufflage, die sich makroskopisch nicht von den schichtparallelen Mergellagen unterscheidet, beprobt. Die Probenmenge dieser Probe (S10a) betrug 300 g.

## **5.1.2 Probenahme zu Lösungsweg 2**

### **5.1.2.1 Beprobung der Kerne aus dem Perubecken**

Die Kerne der Fahrt SO79 (SEDIPERU) wurden wie folgt beprobt:

In der Probenreihe 1 sind karbonatfreie Sedimente der Kerne 6KL und 9KL aus dem Nordgebiet und der Kerne 141KL und 169KL aus dem Südgebiet beprobt worden. Die beprobten Kernabschnitte enthalten Sedimente, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind. Die Proben der dunklen, tonreichen Sedimente sind altpleistozänen bis miozänen Alters und werden der lithologischen Einheit 2 zugeordnet. Die Sedimentationsraten betragen in den Proben des Nordgebietes 0,83 cm/ka und in den Proben des Südgebietes 0,6 cm/ka und 0,58 cm/ka.

Die Proben der Reihe 2 entstammen Sedimenten, die nahe der CCD abgelagert worden sind. Demgemäß schwankt der Karbonatgehalt zwischen 0-46 %. Die beprobten Kerne 9KL, 26KL, 53KL, 77KL und 108KL aus dem Nordgebiet und die Kerne 164KL und 169KL aus dem Südgebiet sind kieselig-mergelige Schlämme, vereinzelt Kieselschlämme und Tone der lithologischen Einheiten 1 sowie 2 und sind rezenten bis altpliozänen/miozänen Alters. Die Sedimentationsraten der Proben des Nordgebietes schwanken zwischen 0,31-1,66 cm/ka, die der Proben des Südgebietes schwanken zwischen 0,21-0,36 cm/ka. Die angegebenen Spannen der Sedimentationsraten gelten nur für die beprobten Kernabschnitte.

Aus den Kernen wurden Scheiben mit einem Volumina von ca. 50 cm<sup>3</sup> (Reihe 1), beziehungsweise von 30 cm<sup>3</sup> (Reihe 2) entnommen.

Ziel der Beprobung der Reihe 1 ist der Vergleich von Proben aus einem Gebiet mit niedrigen Sedimentationsraten mit Proben eines Gebietes mit hohen Sedimentationsraten. Die Reihe 2 wurde für den Vergleich von Elementverteilungen zwischen Proben gleichen Alters und gleicher Sedimentationsrate sowie für den Vergleich von Proben aus Gebieten mit niedrigen und hohen Sedimentationsraten, jedoch vergleichbaren Alters, gewonnen.

### 5.1.2.2 Aufschluss Gordoa und Aufschluss Urrunaga

Die Beprobung in N-Spanien fand unter dem Gesichtspunkt der Abgrenzung von Hoch- und Niedersedimentationsphasen statt. Von den plattig bis dünnbankig ausgebildeten grauen Kalkmergeln/Mergelkalken und von den grauen bis dunkelgrauen Mergeln bis kalkigen Mergeln der Aufschlüsse Gordoa und Urrunaga wurden Handstücke von ca. 0,8 bis 1 kg entnommen.

Die Beprobung eines bankig ausgebildeten Siltsteinaufschlusses an der Cenomanbasis des „Urrunaga“-Profils sollte einen Vergleich detritisch abgelagerter Glimmer, welche in einer terrigen-deltaischen beeinflussten Umgebung abgelagert wurden, mit solchen, die in einem epikontinentalen Becken abgelagert wurden, erleichtern. Von dem schwarz bis dunkelbraunen, eisenschüssigen und glimmerreichen Siltstein wurde ein Handstück von 1 kg entnommen.

## 5.2 Aufbereitung der Proben

Die Proben wurden sowohl für die mineralogischen als auch für die chemischen Analysen aufbereitet. Die Bearbeitung der Weich- beziehungsweise Lockersedimente ist in Abb. 5.2 schematisiert dargestellt.

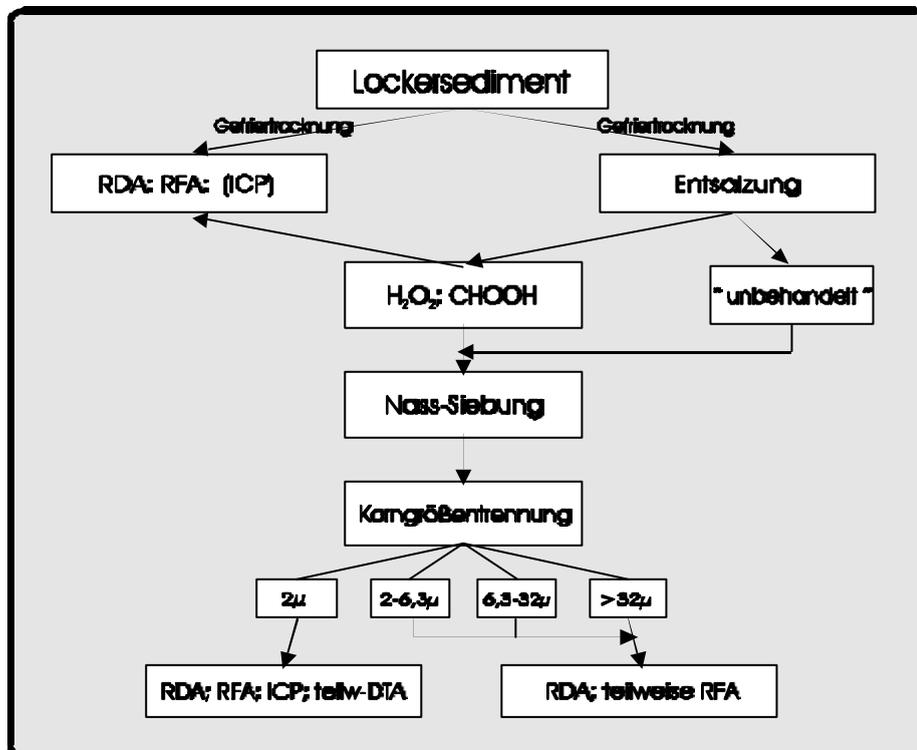


Abb. 5.2: Vereinfachtes Flussdiagramm zu Aufbereitung und Untersuchung von Lockersedimenten unter spezieller Berücksichtigung der Probenreihe 2 aus dem Perubecken.

Die Proben wurden im Trockenschrank bei 40 °C oder einem Gefriertrockner der Fa. LMC-2 Gamma 1-20; Fa. Crist; Alpha I-20 getrocknet und im Anschluss gewogen. Für die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wurde eine Teilmenge von einem 1 g abgetrennt. In der Schwingmühle der Fa. Siebtech wurden diese Proben mit Achateinsätzen analysenfein gemahlen.

Der verbleibende Probenteil wurde erneut mit doppelt deionisiertem Wasser (H<sub>2</sub>O) aufsuspendiert und entsalzen. Durch das Entfernen der Elektrolyte sollte ein späteres Ausflocken der Tonpartikel während der Korngrößentrennung verhindert werden. Die Entsalzung erfolgte mittels Dialysierschläuchen (Nadir; 50 mm; Porengröße 25-30 Å) in einer mit deionisiertem Wasser gefüllten Wanne. Ein Teil der Proben wurde außerdem mit einer Ultrazentrifuge (Fa. Heraeus Sepatech Megfuge 1.0; Heraeus Sepatech Varifuge 3.0) von den überschüssigen Elektrolytkonzentrationen befreit. Um methodenbedingte Unterschiede der Ergebnisse auszuschließen, wurden Stichproben sowohl mit der Zentrifuge als auch in Dialysierschläuchen aufbereitet. Der Austauschprozess wurde als angemessen angesehen, wenn kein Chlorid mehr mit Silbernitrat nachweisbar war. Die Proben wurden im Anschluss geteilt: Ca. 1/3 der Probe wurde direkt nassgesiebt und fraktioniert. Die verbleibenden 2/3 des Probenmaterials wurden mit 10%igem Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) vom organischen Anteil (Heydemann, 1992) befreit und im Anschluss mit 10%iger Ameisensäure (CHOOH) entkarbonatisiert. Die Aufbereitung mit Ameisensäure ist für die empfindlichen Tonminerale am schonendsten, bedarf im Anschluss jedoch einer gründlichen Waschung, da bereits geringste Restkonzentrationen zu Ausflockungen führen.

### 5.2.1 Nass-Siebung

Für die anschließende Nass-Siebung wurden die Proben mit dispergierenden 0,001 n Ammoniakwasser (NH<sub>4</sub>OH) in Suspension gebracht und ca. 30 Sekunden mit dem Ultraschallgerät (Fa. Bandelin Sonopuls GM 2600) beschallt. Hierdurch wurden unerwünschte Aggregationen zerstört, ohne empfindliche Mineralphasen, wie die Tonminerale, zu zerstören. Die Suspension wurde anschließend durch ein < 32µ-Sieb gesiebt und gründlichst gewaschen. Die abgetrennte > 32µ-Fraktion wurde im Trockenschrank bei maximal 50 °C getrocknet und gewogen.

### 5.2.2 Schlämmanalyse nach Atterberg

Nach der Abtrennung der > 32µ-Fraktion wurde die verbleibende Restsuspension (< 32µ-Fraktion) mittels der Schlämmanalyse nach Atterberg (Müller, 1967) weiter fraktioniert.

$$V_s = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_w) g}{18\mu} \quad (\text{Formel 5.2.2})$$

$V_s$  = Sinkgeschwindigkeit;  $d$  = Korndurchmesser;  $\rho_w$  = Dichte Wasser;  $\rho_s$  = Dichte Sedimentkorn;  $\mu$  = dynamische Viskosität und  $g$  = Erdbeschleunigung

Diese Korngrößentrennung beruht auf der Annahme, dass die meisten Körner einen kugelförmigen Habitus aufweisen und einen kugelförmigen Äquivalentdurchmesser aufweisen. Dieser wird über die Sinkgeschwindigkeiten und nach dem Stokesschen Gesetz berechnet:

In einem thermokonstanten Raum wurde die jeweilige < 32 $\mu$ -Fraktion als Suspension in einen speziellen Glaszylinder mit Syphon (Atterbergzylinder) gefüllt und mit 0,001 n dispergierend wirkenden Ammoniakwasser (NH<sub>4</sub>OH) aufgefüllt. Um ein störungsfreies Sedimentieren zu gewährleisten, beschränkte sich die anfängliche Trockeneinwaage auf maximal 7 g. Anschließend erfolgte eine Homogenisierung. Der Absatzzeitraum variiert als Funktion der Fallhöhe, der Grenzkorngröße und der Temperatur. Die kleinste Fraktion wurde immer zuerst abgetrennt. Der Vorgang musste so lange wiederholt werden, bis eine vollständige Trennung zwischen der Flüssigkeit und der Probe erreicht worden ist. Der Überstand wurde gesammelt und eingedampft. Die Fraktionen < 6,3 $\mu$ -Fraktion wurden gefriergetrocknet. Die getrockneten Fraktionen wurden am Ende gewogen.

In einem letzten Schritt erfolgte das analysenfeine Zerkleinern je nach Fragestellung und Probenmenge in einem Achatmörser oder in einer Schwingmühle mit Achateinsatz.

### **5.2.3 Proben für die Messung mit der Induktiv-gekoppelten Plasmaspektroskopie (ICP)**

Von den Proben wurden jeweils 1g für die RF-Analyse abgetrennt. Ca. 1/4 der verbliebenen Substanz wurde für die spätere Messung der Gesamtproben abgenommen, wovon 1/8 der Probensubstanz als salzhaltige GES-Reihe über einen Druckaufschluss (Kap. 5.2.3.1) aufgeschlossen und mit der ICP-MS gemessen wurde. Das verbleibende 1/8 der gefriergetrockneten Probenmenge der Probenreihe 1 aus dem Perubecken wurde mit 25 ml doppelt deionisiertem Wasser aufsuspendiert und 48 Stunden geschüttelt. Danach wurden die Suspensionen zentrifugiert und die dekantierten Eluate gesammelt. Dieser Vorgang wurde pro Probe viermal wiederholt. Die gesammelten Salzlösungen mit den „leicht desorbierbaren“ Ionen wurden mit 1%-Vol. konzentrierter Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) angesäuert. Im Falle von Trübungen wurden die Proben vor dem Ansäuern durch einen 0,45  $\mu$ m Cellulosefilter filtriert und nachfolgend für die Messungen über Nacht entgast. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Eluate der Probenreihe 1 als GAD-Reihe (adsorbierte Ionen der Gesamtproben) bezeichnet (Abb. 5.2.3), und die salzfreie Festsubstanz wird GESSF-Reihe genannt. Diese Proben wurden ebenfalls als Druckaufschluss aufgeschlossen und dann gemessen.

Die verbleibenden 3/4 der Ausgangsmenge wurde wie unter Kap 5.2 beschrieben entsalzen und in die Korngrößen getrennt (Kap. 5.2.2). Eine ICP-MS Messung erfolgte nur an der < 2-Fraktion. Wie für die Lockersedimente reichen bei den Festgesteinsproben (Salder, Dörenthe, Gordoia und Urunaga) Probenmengen von 100 mg für den Druckaufschluss aus.



#### **5.2.4 Aufbereitung der Proben für die Röntgendiffraktometrie (RDA)**

Die mit einem Achatmörser vorsichtig auf  $\ll 10\mu$  zerkleinerten und homogenisierten Proben (ca. 100 mg) wurden in die Eintiefung eines Glasträgers gegeben, in der das pulverisierte Material mit einem glatten Mattglasplättchen durch Druck fixiert und die Oberfläche glattgestrichen wurde.

Bereits bei geringen Karbonatgehalten (wenige Prozent) werden die Beugungsmuster der Tonminerale und der der Spurenkomponenten der Mineralgemische durch das Beugungsmuster des Kalzits so stark überlagert, dass eine chemische Vorbehandlung (Kap. 4.2) der zu untersuchenden Proben erforderlich wird. Diese erfolgte mit Ameisensäure (CHOOH) und Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ).

Für die Identifizierung der Smektite und der smektitischen Schichten in den „Mixed-layered“ Mineralen wurde die Veränderung der Schichtabstände durch die Solvation mit Glycerin ausgenutzt. Die Doppelschicht weitet sich auf 17,8 Å (001-Reflex) auf, hingegen der (001)-Reflex des Chlorits (Jasmund & Lagaly, 1993) nicht verschoben wird. Die Glycerinpräparate (200g-Probe vermengt mit Glycerin) wurden in einem Aluminiumträger gemessen.

#### **5.2.5 Aufbereitung der Festgesteine**

Von den stark verfestigten Handstücken wurde mit einer mechanischen Quetsche ein Teil der Probe abgetrennt und als Referenzstück aufbewahrt (Beschreibung s. Abb. 5.2.5). Aus dem anderen Teil wurden Klötze für die Mikrosondenuntersuchungen (MS) herausgesägt. Die Restprobe wurde mit dem Backenbrecher vorsichtig auf eine Größe von einem 1 cm zerkleinert und, sofern möglich, in einem Achatmörser feiner gemahlen. Bei diesem Prozess muss eine mechanische Zerstörung einzelner Körner in Betracht gezogen werden, was zu einer Verfälschung der Korngrößenanalyse führen kann. Angesichts der zu erwartenden hohen Karbonat-/Silikatverhältnisse und dem Interesse an der späteren Residualfraktion ist der Fehler jedoch vernachlässigbar gering. Die Proben wurden erneut geteilt, gemahlen und der Messung der Karbonatgehalte (KM), Röntgendiffraktometrie (RDA), Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) und der induktiv gekoppelten Plasmaspektroskopie-Massenspektrometrie (ICP-MS) zugefügt.

Um eine weitere Auflockerung des Gesteinsverbandes zu erzielen, wurde zu dem verbleibenden Material deionisiertes Wasser gegeben und mit Ultraschall eine Minute lang behandelt. Es erfolgte dann die chemische Aufbereitung mit  $H_2O_2$  und CHOOH sowie die Messungen mit der RDA und RFA. Ausgesuchte Proben wurden mechanisch nach der Atterberg-Methode (Beschreibung s. 5.2.2) in die Fraktionen  $> 32\mu$ ,  $32-2\mu$  sowie  $< 2\mu$  fraktioniert und röntgendiffraktometrisch sowie röntgenfluoreszenzanalytisch untersucht.

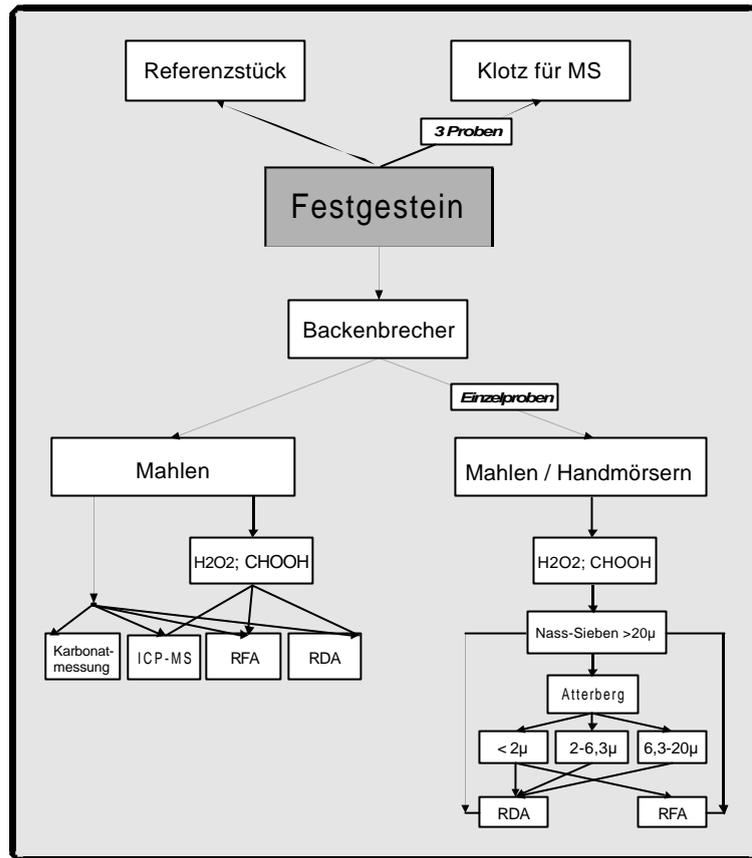


Abb. 5.2.5:  
Aufbereitung und Untersuchungen an den Festgesteinsproben.

## 5.3 Untersuchungsmethoden

### 5.3.1 Messung der Karbonatgehalte

Mit dem von Klosa (1994) entwickelten Karbonatmessgerät, bei dem das  $\text{CO}_2$  quantitativ aus einer Gas-Säure-Reaktion bestimmt wird, wurden die Karbonatgehalte von den Locker- und Festgesteinsproben über das freigesetzte  $\text{CO}_2$  bestimmt. Außerdem wurde stöchiometrisch ermittelt, ob Siderit, Aragonit oder Dolomit als Nebenkomponente des Kalzits vorliegt.

### 5.3.2 Röntgendiffraktometrie (RDA)

Für die röntgendiffraktometrische Bestimmung der Mineralkomponenten wurden mit den Röntgendiffraktometern PW 1710 und PW 3710 der Fa. Philips gearbeitet. Als Strahlungsquelle diente eine Cu-Anode und ein Hochspannungsgenerator (Anodenspannung 40 kV, Anodenstrom 30 mA). Der Divergenzschlitz zur Bündelung des subparallelen Lichts beträgt bei beiden Geräten  $1^\circ$ . Das Filterelement vor dem monochromatischen Kristall, die Streuschlitzblende, ist aus Ni. Der

Monochromator besteht aus einem Graphitkristall, der bei einer gewölbten Ausbildung nur die gewünschte  $K_{\alpha}$ -Strahlung zum Detektor durchlässt.

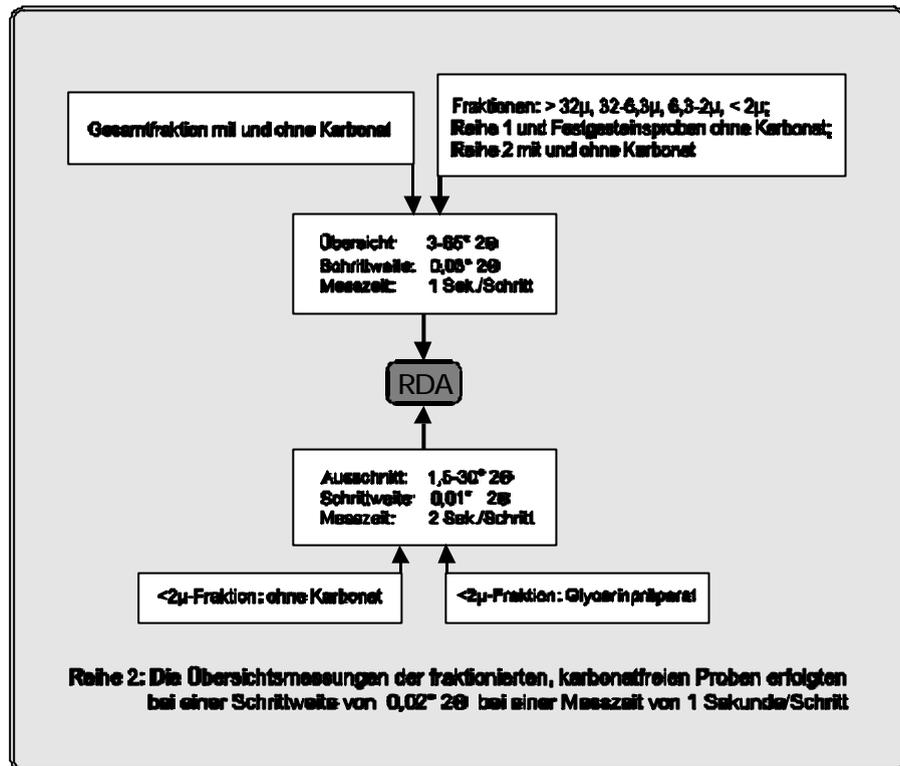


Abb. 5.3.2:  
Schematische Darstellung der RDA-Schritte.

Der Messbereich liegt zwischen 1°–70° 2 $\theta$ . Die phasencharakteristischen Kristallgitterabstände (d-Werte) werden mit Hilfe der von Computerprogrammen gespeicherten Standards verglichen. Für den PW1710 wurde das Programm ADP 3.6 (Philips), für den PW 3710 die Philips-Software „Galaxy“ verwandt.

Die Übersichtsmessungen der Lockersedimente erfolgte in Schrittweiten von 0,02° 2 $\theta$ , in den Festgesteinen von 0,03° (Abb. 5.3.2).

### 5.3.3. Differentialthermoanalyse-Thermogravimetrie (DTA-TG)

Mit Hilfe der DTA-TG (Mackenzie, 1957; Schulze, 1969; Smykatz-Kloss, 1974) wurden physikalische und chemische Eigenschaften von tonigen Sedimenten als Funktion von Temperatur und Zeit ermittelt. Dieses Verfahren ist besonders deshalb bei den Tonmineralen von Bedeutung, weil anhand der Dehydroxilierungstemperatur auf das Tonmineral selbst geschlossen, teilweise sogar sein Kristallinationsgrad (zum Beispiel bei Kaolinit) ermittelt werden kann. Bei dem verwendeten Gerät Thermal Analyse „STA-780“ (U.T.P., DC Amplifier, Balance Control der Fa. Stanton Redcroft) wurden die Temperaturdifferenzen zwischen der „inerten“  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Referenzprobe und der Probe (40 mg) bei einer Aufheizrate von 10 °C/min in einem

Temperaturbereich von 10 °C bis maximal 1200 °C ermittelt und über eine Computersoftware ( $\mu$ -Musics IMC, Berlin; Version 1.1) dargestellt. Gleichzeitig wurden mittels der Thermogravimetrie die Gewichtsänderungen der Probe als Funktion von Temperatur und Zeit gemessen und graphisch dargestellt.

### **5.3.4 Mikrosonden-Messung (MS)**

Mit der Mikrosonde wurden die Verteilungen der Haupt- und Nebenelemente mit einer Ordnungszahl  $> 11$  gemessen. Für die MS-Untersuchungen wurden hochpolierte Dünnschliffe im Format 26 x 45 mm mit einer Standarddicke von 30  $\mu\text{m}$  analysiert. Da die Karbonatproben von weichen Tonsäumen durchzogen sind, erfolgte eine Trockenpolitur mit Diamantpulver anstelle der üblichen Aluminium-Politur. Die leitfähige, homogene Beschichtung der Messfläche mit Kohlenstoff lag zwischen 20 und 40 nm.

Gemessen wurde mit einer Elektronenstrahl-Mikrosonde der Fa. Cameca. Dabei wurde mit einer Beschleunigungsspannung von 15 kV und einen Strahlstrom von 18 nA gearbeitet. Die Messanordnung war wellenlängendispers (Reed, 1996) und lief über vier Spektrometer mit Zählzeiten von 10 Sekunden pro Peak. Der Background wurde jeweils 5 Sekunden „rechts und links vom Peak“ für jedes Element gemessen. Die Korrektur erfolgte über die übliche PAP. Als Ca- und Si-Standard wurde Wollastonit eingesetzt. Mit der Wellendispersen Messung (WDX) kann für Na und Sr in Kalksteinen eine Nachweisgrenze von 100 mg/kg erreicht werden.

### **5.3.5 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)**

Für die Bestimmung der Elementkonzentrationen der Lockersediment- und Festgesteinsproben wurde auch die RFA eingesetzt.

Vor der Messung wurden die Proben von jeweils 1 g gemahlen ( $< 40 \mu$ ) und nach der DIN 18128 in einen Porzellantiegel bei 1030 °C 10 Minuten lang geglüht, um flüchtige Bestandteile auszutreiben. Der entstandene Glühverlust (LOI) ist in % angegeben. Anschließend wurden die Proben im Platintiegel (Pt95-Au5) mit 5 g Lithiummetaborat und 25 g Lithiumbromid versetzt und in einem automatischen Schmelzofen (Fa. Herzog 12/1500) bei 1200 °C 20 Minuten lang geschmolzen. Die Messung der Konzentrationen von  $\text{TiO}_2$ , CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ , Cl, Ba, Cs, Sb, Sc und Sn erfolgte an dem wellenlängendispersen (WD XRF), sequentiellen Röntgenfluoreszenzgerät der Fa. Philips PW 1480 und PW 1418 mit einem 100 kV-Generator und einer Cr-Röntgenröhre (PW 1480). Die übrigen Haupt- und Spurenelemente wurden mit einer Rh-Röntgenröhre (PW 2400) bestimmt. Die Messzeit pro Probe betrug bei dem PW 1480 22 Minuten und bei dem PW 1418 16 Minuten (hauptsächlich für die Korrektur der Matrixeffekte). Die Kalibrierung erfolgte anhand internationaler Referenzproben. Die Auswertung sowie  $\alpha$ -Korrektur geschah nach dem Philips-Modell.

### **5.3.6 Nasschemische Analysemethoden: Induktiv–gekoppelte Plasmaspektroskopie (ICP)**

Mit der ICP wurden angesäuerte Wasserproben und die Eluate der Druckaufschlüsse von aufbereiteten Feststoffen nasschemisch analysiert.

#### **5.3.6.1 Massenspektrometrie (ICP-MS)**

Der Vorteil des Messverfahrens besteht in den geringen Nachweisgrenzen im ppb-Bereich. Eine begrenzte Anwendung findet das Messverfahren bei den Elementen Ca, Fe, Mg, K und Na, sowie bei zu hohen Konzentrationen einiger Elemente wie zum Beispiel Al, Mn und Ba.

Die Untersuchungen zu dieser Arbeit wurden mit dem Gerät Elan 5000A der Fa. Perkin Elmer/Sciex durchgeführt. Die ICP-MS mit einem induktiv gekoppelten Plasma besteht neben dem HF-Generator und einem horizontal eingebauten Plasmabrenner aus einem Quadrupel-Massenspektrometer.

#### **5.3.6.2 Optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES)**

Mit der ICP-OES wurden die Element-Konzentrationen bestimmt, die für eine ICP-MS-Messung zu hoch konzentriert waren. Dazu zählen die Elemente Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na und teilweise Ba. Ein Hauptvorteil gegenüber anderen Messverfahren ist, dass viele Elemente gleichzeitig erfasst werden können, und zudem liegt die benötigte Lösungsmenge bei nur 0,5–2 ml (1–10 mg Festsubstanz). Nachteilig ist das Überschneiden einiger Interferenzlinien, was durch den Vergleich mit dem internen Standard korrigiert werden kann. Zu hohe Konzentrationen können zu Nebeneffekten, wie die Streulichteffekte bei hohen Ca-Konzentrationen, führen.

Gemessen wurde mit dem JY 166 Ultratrace Gerät der Fa. Jobin Yvon, welches ein sequentielles und simultanes Messverfahren kombiniert. Für den simultanen Teil wurde das Modell JY 80 C Referenz mit einem Spektralbereich zwischen 110–520 nm und 45 Messkanälen eingesetzt, für den sequentiellen Teil das Modell HR 1000 mit einem Spektralbereich zwischen 160–510 nm. Der 68 MHz-HF-Generator weist eine Leistung von 900–1200 W auf. Der Plasmabrenner ist horizontal eingebaut, wodurch eine höhere Plasmadichte erzeugt werden kann, die insgesamt zur gewünschten Erniedrigung der Nachweisgrenze führt. Die in dem automatischen Probensammler geladenen Proben wurden mit Hilfe des Trägergases dem Plasma axial zugeführt.

## 6. Messergebnisse

Es werden in diesem Kapitel nur die Messergebnisse dargestellt, die für die Fragestellung der Arbeit entscheidend sind. Darüber hinausgehende, ergänzende Resultate werden im Anhang dargestellt, so dass sich eine vollständige Dokumentation aller Ergebnisse ergibt.

### **Korngrößenverteilung der Lockersedimente (Kerne aus dem Perubecken)**

Die Probenreihe 1 mit Proben aus Sedimenten, die ausschließlich unterhalb der CCD abgelagert wurden, zeigen für die Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL keine Änderung der Korngrößenverteilung mit der Tiefe.

Der Grobsilt- und Sandanteil liegt in den Kernen 6KL und 9KL des Nordgebietes zusammen bei 4 % beziehungsweise bei 3 %. Der Anteil der Fraktion 2-32 $\mu$  liegt bei 30 % und 33 % und der Tonanteil (< 2 $\mu$ -Fraktion) schwankt zwischen 66 % in Kern 6KL und 64 % in Kern 9KL. Die Kerne 141KL und 169KL des Südgebietes zeigen Grobsilt- und Sandanteile von 2 %. Unterschiede zwischen den Kernen ergeben sich aus der Verteilung der 2-32 $\mu$ - und der < 2 $\mu$ -Fraktion. Die Proben des Kerns 169KL weisen Fein-/Mittelsiltanteile von 38 % und Tonfraktionsanteile von 60 % auf. Dagegen enthalten die Proben des Kerns 141KL 26 % der Fraktion 2-32 $\mu$  und 70 % der Fraktion < 2 $\mu$ . Obwohl die Tonfraktion in den Proben des Kerns 141KL stärker vertreten ist, ist die Korngrößenverteilung der beiden Gebiete insgesamt sehr ähnlich (Anhang T-1.a).

Die quartären Proben der Probenreihe 2 mit einer Ablagerung um die CCD zeigen ebenfalls gebietsunabhängige Verteilungen. Der Anteil der Tonfraktion (< 2 $\mu$ -Fraktion) beträgt im Mittel ca. 47 %. Der Fein-/Mittelsiltanteil (2-32 $\mu$ -Fraktion) liegt bei ca. 43 % und der Grobsilt- und Sandanteil bei ca. 9 % (Anhang T-1.b).

## 6.1 Ergebnisse der Karbonatmessungen

### 6.1.1 Festgestein

Bei allen Proben gab es während der Karbonatbestimmung nach Klosa (1994) eine ideale Gasentwicklung, das heißt, stöchiometrisch konnte nur Kalzit ermittelt werden.

#### **Proben zu Lösungsweg 1:**

##### **Salder:**

Folgt man der Einteilung nach Correns (1968), so setzt sich die untersuchte Gesteinsfolge im Steinbruch Salder aus Wechsellagerungen von Kalkmergel und mergeligen Kalken mit 82-91,7 % CaCO<sub>3</sub> und schichtparallelen Tonmergeln und Kalkmergeln mit 24,1-66,7 % CaCO<sub>3</sub> zusammen.

Die entlang der Schieferungsflächen entnommenen Mergel weisen Karbonatkonzentrationen zwischen 43,9 bis 59,4 %  $\text{CaCO}_3$  auf. Die Schwankungen der Karbonatkonzentrationen sind bei den schieferungsflächen-parallelen Proben geringer als in den schichtflächen-parallelen. Letztere haben im Mittel um 9,1 % geringere Karbonatkonzentrationen als die Proben der Schieferungsflächen (Anhang T-2.a).

#### **Dörenthe:**

Die Gesteinsabfolge im Steinbruch Dörenthe besteht aus einer Wechsellagerung aus Kalkmergeln und mergeligen Kalken mit Karbonatkonzentrationen von 83,5-94,3 %  $\text{CaCO}_3$  und schichtparallelen Tonmergeln bis Kalkmergeln mit Karbonatkonzentrationen von 29,6-68,7 %  $\text{CaCO}_3$ . Im Vergleich zu den schichtparallelen Proben weisen die lateral-kompaktiv, das heißt die eindeutig diagenetisch gebildeten, schieferungsflächen-parallelen Karbonatkonzentrationen zwischen 42,4-58,5 %  $\text{CaCO}_3$  auf und sind nach Correns (1968) als Mergel zu bezeichnen. Diese Proben haben im Mittel um 1,6 % höhere Karbonatkonzentrationen als das Mittel der Ton-/Kalkmergel, welche parallel zur Schichtung abgelagert wurden (Anhang T-2.a).

#### **Proben zu Lösungsweg 2:**

##### **N-Spanien**

Die meisten Proben der Gesteinsfolge aus dem Untersuchungsgebiet „**Gordoa**“ sind Kalkmergel/Mergelkalke und enthalten zwischen 74,2-76,9 %  $\text{CaCO}_3$ . Von diesen weicht die Probe G1-4 mit 61,1 %  $\text{CaCO}_3$  ab. Sie gehört zu der Klasse der Mergel.

Die Proben aus dem Untersuchungsgebiet „**Urrunaga**“ repräsentieren Kalkmergel/Mergelkalke mit Karbonatkonzentrationen von 72,5-76,9 %  $\text{CaCO}_3$ . Geringere Konzentrationen weisen die Proben Ur2-1 mit 66,5 %  $\text{CaCO}_3$  und Probe Ur2-2a mit 67,2 %  $\text{CaCO}_3$  auf (Anhang T-2.b).

#### **Zu Lösungsweg 1 und 2:**

Um die Beschreibungen der Ergebnisse der Festgesteins- und Lockersedimentproben zu vereinfachen, werden nachfolgend alle Proben mit  $\text{CaCO}_3$ -Konzentrationen  $> 68$  %  $\text{CaCO}_3$  als Kalke, solche mit Konzentrationen  $< 68$  %  $\text{CaCO}_3$  als Mergel bezeichnet. Die Proben mit Karbonatanteilen  $< 5$  %  $\text{CaCO}_3$  werden als Tone zusammengefasst.

Zur besseren Übersicht sind in der Tabelle 6.1.1 die Mittelwerte nach Fazies und Gebiet angegeben. Eine ausführliche Auflistung befindet sich im (Anhang T-2.a und T-2.b).

in %	Kalke	Mergel//SS	Mergel//SF
<b>Deutschland: Salder</b> (n=38)	88,4	42,5	50,7
<b>Deutschland: Dörenthe</b> (n=21)	89,1	53,3	53,5
<b>N-Spanien: Gordoa</b> (n=7)	75,2	61,1	
<b>N-Spanien: Urrunaga</b> (n=6)	75,0	66,8	

Tab. 6.1.1: Die gemittelten Karbonatkonzentrationen der Festgesteinsproben in einer vereinfachten Einteilung. n = Zahl der Proben; //SS = schichtflächen-parallele Mergellagen; //SF = schieferungsflächen-parallele Mergellagen.

### 6.1.2 Lockersedimente

Die hier diskutierten Karbonatkonzentrationen beruhen auf zwei Datensätzen. Zum einen wurden Daten aus dem unveröffentlichten Expeditionsbericht der Forschungsfahrt SO79 (von Stackelberg, 1993) übernommen, zum anderen wurden zusätzlich Messungen an Material der Forschungsfahrt SO79 durchgeführt und verwendet.

Die braunen-dunkelbraunen Proben der **Reihe 1** wurden unterhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert und sind daher nahezu karbonatfrei (0-4 % CaCO<sub>3</sub>). Nach der Zusammensetzung handelt es sich um Tone.

Die Proben der **Reihe 2** mit Ablagerung ober- und unterhalb der CCD weisen Konzentrationen zwischen 0-46 % CaCO<sub>3</sub> auf. Nach eigenen Messungen und nach den Daten, welche dem unveröffentlichten Fahrtbericht (von Stackelberg, 1993) der Forschungsfahrt SO 79 (SEDIPERU) unter der Fahrtleitung von U. v. Stackelberg im Jahr 1992 entnommen wurden, von Proben aus dem Quartär bis zum frühen Pliozän, sind sowohl die maximalen CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen als auch die Schwankungen innerhalb eines Kernes des Nordgebietes (9KL, 77KL, 53KL und 26KL) höher als die des Südgebietes (164KL, 169KL).

Eine ausführliche Auflistung der Daten befindet sich in Anhang (Anhang T-2.b). Entsprechend ihres CaCO<sub>3</sub>-Gehaltes handelt es sich um Mergelschlämme beziehungsweise um Tone bei Karbonatkonzentrationen < 5 % CaCO<sub>3</sub>. In den Kernen beider Gebiete konnte kein Aragonit oder Dolomit nachgewiesen werden.

## 6.2 Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie-Untersuchungen (RDA)

### Festgestein: Proben zu Lösungsweg 1

Die Röntgendiffraktometrie erlaubt eine semiquantitative Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung der Gesamtproben und der einzelnen Korngrößenfraktionen, wodurch Zusammenhänge zwischen den Komponenten und ihrer Herkunft/Entstehung erkennbar werden. Die einzelnen Mineralphasen wurden in Klassen eingeteilt:

Spurenkomponente	(Sp)	< 1 %
Spuren- bis Nebenkompone	(Sp-N)	1 – 5 %
Nebenkompone	(N)	5 – 10 %
Neben- bis Hauptkomponente	(N-H)	10 – 25 %
Hauptkomponente	(H)	> 25 %

Mehrdeutige Ergebnisse sind in den Tabellen 6.2.1.b; 6.2.1.c; 6.2.2.c; 6.2.2.e; 6.2.3.a; 6.2.4.a und 6.2.4.b mit einem Fragezeichen versehen.

### 6.2.1. Salder

#### Gesamtproben

Die Hauptkomponente der Kalkproben ist Kalzit, die Neben- bis Spurenkomponenten sind Quarz und Smektit. Lediglich in einer Probe wurde auch eine Spur von Illit nachgewiesen.

In den Proben der Mergel<sub>//SS</sub> ist Kalzit wiederum die Hauptkomponente, während Smektit sowohl als Neben- wie auch als Hauptkomponente auftritt. Quarz und Illit sind in Spuren vertreten. Die mineralogische Zusammensetzung der Mergel<sub>//SF</sub> entspricht vollkommen denen der Mergel<sub>//SS</sub>.

Zur besseren Aufschlüsselung der Mineralkomponenten wurden alle Proben wie unter 5.2 beschrieben aufbereitet. Die kalkfreien Residuen tragen den Vermerk „okf“ (organik- und karbonatfrei). Die Ergebnisse aller Proben wurden durch Glycerinpräparate überprüft.

Die Residuen der Kalksteine zeigen unabhängig von der stratigraphischen Lage eine gleichförmige Mineralzusammensetzung (Tab. 6.2.1.a; Anhang T-3.a).

Mineral	Halbquantitativer Anteil
<b>Smektit</b>	H-N
<b>Quarz</b>	N-H; N
<b>Ton</b> „Mixed-layered“	Sp-N
<b>Illit/Muskovit</b>	Sp
<b>Feldspat</b>	Sp
<b>Chlorit</b>	Sp?

Tab. 6.2.1.a: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke aus Salder bezogen auf die Gesamtproben.

Die Residuen der Kalksteine enthalten mehr als 5 %, oft mehr als 5-25 % Smektit sowie Quarz. Die Quarzkonzentration scheint dabei etwas geringer zu sein. Feldspat und Illit sind zu jeweils < 1 % vertreten. Chlorit konnte auch durch die Aufbereitung als Glycerinpräparat nicht mit Sicherheit als eigenständige Phase nachgewiesen werden. Kennzeichnend für das Mineralgemisch sind die Schichtwechsellagerungen aus Smektit mit eingeschalteten Illitschichten. Es nehmen jedoch auch einzelne Chloritschichten an dem Aufbau der Minerale mit Wechsellagerung, den sogenannten „Mixed-layered“-Tonen, teil. Vereinzelt konnte Gips und Pyrit als Spur nachgewiesen werden. Das Auftreten von Pyrit ist in den Kalken auf örtliche Anreicherungen (zum Beispiel Fossilisationen) beschränkt.

Die Zusammensetzungen der karbonatfreien Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> (Tab. 6.2.1.b; Anhang T-3.a) unterscheiden sich von denen aus Kalken erzeugten Residuen durch geringere Quarzkonzentrationen zugunsten der Smektit- und untergeordnet der Illit/Muskovit-Konzentrationen. Chlorit tritt nur in einigen Proben in Form einzelner Reflexe auf. Neben dem (001)-Reflex ist ein schwach ausgebildeter (002)-Reflex identifizierbar. Der (003)-Reflex fehlt teilweise vollständig.

Mineral	Halbquantitativer Anteil
<b>Smektit</b>	H
<b>Quarz</b>	N; N-H
<b>Illit/Muskovit</b>	Sp-N
<b>Ton</b> „Mixed-layered“	Sp
<b>Chlorit</b>	Sp?
<b>Feldspat</b>	Sp?

Tab. 6.2.1.b: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> aus Salder bezogen auf die Gesamtproben.

Neben den unvollständigen Oktaederschichten weisen die Chlorite eine Wechsellagerung mit den quellfähigen Smektiten auf. Der Hauptteil der Schichtminerale mit Wechsellagerungsstruktur wird jedoch von Illit/Smektit-Wechsellagerungen gestellt. Weitere Minerale sind der sporadisch als Spur nachgewiesene Feldspat und Gips sowie der in einigen Proben identifizierte Baryt und möglicherweise Apatit.

Der Grad der Smektitkristallinität ist unterschiedlich. So zeigt die Probe „S10a okf“ einen sehr gut geordneten montmorillonitischen Smektit. Illit und Chlorit konnten nicht nachgewiesen werden.

Mineral	Halbquantitativer Anteil
Smektit	H
Quarz	N
Ton „Mixed-layered“	Sp; Sp-N
Illit/Muskovit	Sp; Sp-N
Feldspat	Sp?
Chlorit	Sp?

Tab. 6.2.1.c: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Mergel<sub>//SF</sub> aus Salder bezogen die Gesamtproben.

Die Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Mergel<sub>//SF</sub> (Tab. 6.2.1.c; Anhang T-3.a) unterscheidet sich nicht von denen der schichtparallelen Mergel, jedoch zeigen sich geringfügige Unterschiede in den Anteilen: Der Quarzanteil und Illit/Muskovitanteil ist in den Mergelresiduen<sub>//SF</sub> niedriger. Apatit und Gips treten sporadisch als Spur auf.

Ungeachtet der Lithologie sind sowohl die Smektite als auch die smektitischen Lagen der ungeordneten „Mixed-layered“-Tone dioktaedrisch ausgebildete Montmorillonite. Den Glycerinpräparaten zufolge bestehen die Wechsellagerungen aus unregelmäßigen Illit/Smektit-Schichten mit untergeordneten Chloritschichten, was sich in einer Serie von nicht rationalen Basisreflexen äußert. Der Übergang von den „Mixed-layered“-Tonen zu fehlgeordneten Montmorilloniten ist fließend.

### Fraktionierte Proben

Deutliche mineralogische Unterschiede zwischen der Ton- und der Siltfraktion werden erst bei Fraktionen oberhalb der Grobsiltfraktion sichtbar (Tab. 6.2.1.d, Tab. 6.2.1.e und Anhang T-3.a).

Daher wurden lediglich diese beiden Fraktionen an repräsentativen Residualproben der Kalke und der Mergel<sub>SS</sub> untersucht und aufgelistet.

Mineral	Halbqualitativer Anteil	
	Fraktion: > 20 $\mu$	< 2 $\mu$
Quarz	H	H
Smektit		H; H-N
Feldspat	H; N-Sp	
Illit/Muskovit	Sp	Sp
Chlorit	Sp	Sp?
Pyrit	N-Sp	
Goethit	Sp	

Tab. 6.2.1.d: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der Kalke aus Salder.

Mineral	Halbqualitativer Anteil	
	Fraktion: > 20 $\mu$	< 2 $\mu$
Smektit	H	H
Quarz	H-N	Sp
Feldspat	N-Sp	
Illit/Muskovit	Sp	Sp

Tab. 6.2.1.e: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der Mergel<sub>SS</sub> aus Salder.

Die Residuen der Kalke bestehen in der > 20 $\mu$ -Fraktion und in der < 2 $\mu$ -Fraktion zu über 25 % aus Quarz. Die Feldspatanteile (hauptsächlich Albit) der Grobsiltfraktion schwanken innerhalb der Proben zwischen 25 % und < 1 %. Pyrit tritt als Neben- bis Spurenkomponente sporadisch auf. Im Gegensatz zu der Tonfraktion tritt in der Grobsiltfraktion kein Smektit auf, es konnte jedoch Chlorit und Illit/Muskovit als Spur nachgewiesen werden. Die Tonfraktion ist durch das Auftreten von Quarz und Smektit als Hauptkomponenten gekennzeichnet. Das Schichtmineral Illit tritt mit < 1 % auf. Eine Spur von Chlorit konnte nicht mit Sicherheit identifiziert werden. Im Gegensatz zu der Grobsiltfraktion konnte desweiteren kein Feldspat oder Pyrit nachgewiesen werden.

Die „Mergelresiduen“ unterscheiden sich von den Residuen der Kalke durch den geringeren Anteil an Quarz, welcher in der Grobsiltfraktion noch als Haupt- bis Nebenkomponente auftritt, jedoch in der Tonfraktion auf Konzentrationen von < 1 % reduziert ist. In beiden Fraktionen ist Smektit die Hauptkomponente. Feldspat konnte wie in den Proben der Kalkresiduen nur in der > 20 $\mu$ -Fraktion nachgewiesen werden. Der Anteil wird dort auf 1-5 % geschätzt und es handelt sich um Kalifeldspat sowie um albitischen Feldspat. Das Fehlen der Feldspäte in der Tonfraktion lässt eine

detritische Herkunft dieser vermuten. Illit/Muskovit tritt in beiden Fraktionen als Spur auf. Chlorit konnte nicht nachgewiesen werden.

Das breiter ausgebildete Mergelband, aus dem die Probe „S8“ entnommen wurde, ist sowohl in der Grobsiltfraktion als auch in der Tonfraktion quarzreicher als in den übrigen schichtflächenparallelen Mergelproben.

## 6.2.2 Dörenthe

### Gesamtproben

Die Kalkstein- und Mergelproben setzen sich nach den Übersichtsmessungen aus Kalzit (> 25 %), Quarz (5-10 %) und Illit/Muskovit (5-10 %) sowie Chlorit (< 1 %) zusammen.

Die Mergel<sub>SS</sub>-, Mergelresiduen<sub>SF</sub> und Kalkresiduen (Tab. 6.2.2.a bis Tab. 6.2.2.c; Anhang T-3.b) aus Dörenthe kennzeichnet zum einen die insgesamt homogene und quantitativ gleichförmige Verteilung der Mineralkomponenten, zum anderen eine wellige bis breite Bande zwischen 2,5° und 8° 2 $\theta$ , welche sich aus einer Reihe unscharfer Reflexe von Schichtmineralen zusammensetzt. Die unterschiedlichen Lithologien werden nachfolgend zusammengefasst beschrieben: Quarz ist in allen Proben mit > 25 % vertreten. Illit/Muskovit tritt in den Kalkresiduen als Hauptelement auf, wird jedoch in den Residualproben der Mergel<sub>SS</sub> und der Mergel<sub>SF</sub> zur Nebenkomponekte (5-10 %). Die Bande umfasst eine Reihe von schlechtkristallinen Smektit- und Chloritreflexen und grenzt in einigen Proben an den (002)-Reflex des Illits beziehungsweise an den (003)-Reflex des Muskovits. Auch mit Hilfe von Glycerinpräparaten lassen sich die (001)-Reflexe von Smektit und Chlorit nur schwer aufschlüsseln. Schwach ausgebildete Basisreflexe zwischen 24,5 Å und 25 Å belegen Wechsellagerungen zwischen Montmorillonit und Chlorit. Illit/Muskovit-Wechsellagerungen sind ebenfalls zu beobachten. Insgesamt werden die Reflexe als Schichtminerale mit unregelmäßigen Wechsellagerungen interpretiert. Der Anteil der Wechsellagerungen ist mit den gegebenen Methoden jedoch nicht zu quantifizieren. Unabhängig von der Wechsellagerung einzelner Schichten, liegt Illit/Muskovit zusätzlich als eigenständige Phase sowohl in den Kalken wie auch in den Mergel<sub>SS</sub> und Mergel<sub>SF</sub> vor.

Mineral	Halbquantitativer Anteil
Quarz	H
Illit/Muskovit	H
Ton „Mixed-layered“	N
Chlorit	N-Sp
Smektit	Sp
Kaolinit/Halloysit	Sp
Feldspat	Teilweise Sp

Tab. 6.2.2.a: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke aus Dörenthe bezogen auf die Gesamtproben.

Mineral	Halbquantitativer Anteil
Quarz	H
Illit/Muskovit	N, teilw. N-H
Ton „Mixed-layered“	N
Chlorit	N-Sp
Smektit	Sp
Kaolinit/Halloysit	Sp-N
Feldspat	teilweise Sp

Tab. 6.2.2.b: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Mergel/SS aus Dörenthe bezogen auf die Gesamtproben.

Mineral	Halbquantitativer Anteil
Quarz	H
Illit/Muskovit	N
Ton „Mixed-layered“	N
Chlorit	N-Sp
Smektit	Sp?
Kaolinit/Halloysit	Sp?
Feldspat	teilweise Sp

Tab. 6.2.2.c: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Mergel/SF aus Dörenthe bezogen auf die Gesamtproben.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Residuen der Kalke und denen der Mergel<sub>//SS</sub> beruht auf den höheren Kaolinit- oder Halloysit-Konzentrationen in letzteren. In den Mergeln<sub>//SF</sub> konnte das Zweischichtmineral nicht mit Sicherheit identifiziert werden. Feldspatreflexe konnten nur in einigen Proben, unabhängig von der Lithologie, als Spur nachgewiesen werden.

### Fraktionierte Proben

Die Fraktionierung an repräsentativen Kalk- und Mergel<sub>//SS</sub>-Proben führt zu einer deutlichen Aufschlüsselung der Tonminerale und der Herausarbeitung feiner Unterschiede:

Die > 20 $\mu$ -Fraktion der Kalkresiduen (Tab. 6.2.2.d und Anhang T-3.b) besteht zu > 25 % aus Quarz und aus einer Spur von Goethit (< 1 %). Feldspat (albitischer Feldspat, möglicherweise auch Plagioklas oder Kalifeldspat) kann in einzelnen Proben bis zu 1 % vorliegen, Pyrit sogar bis zu 10 %. Von den Schichtsilikaten konnte nur Illit/Muskovit sporadisch als Spur nachgewiesen werden.

In der < 2 $\mu$ -Fraktion (Tab. 6.2.2.d) nimmt der Quarzanteil gegenüber dem der > 20 $\mu$ -Fraktion ab und kann sogar bis auf 10 % der Gesamtzusammensetzung reduziert sein. Als Nebenkomponenten sind die Schichtminerale Smektit und die „Mixed-layered“-Tone nachgewiesen und Chlorit, Illit/Muskovit und Kaolinit/Halloysit reichern sich in den Proben bis zu 5 % an. Feldspat-, Pyrit- und Goethit-Anreicherungen fehlen anders als in der Grobsiltfraktion vollständig.

Die > 20 $\mu$ -Fraktion der Mergelresiduen<sub>//SS</sub> (Tab. 6.2.2.e) unterscheidet sich nur unwesentlich von der der Kalkresiduen (Tab. 6.2.2.d). Illit/Muskovit und Kaolinit, eventuell auch Halloysit, treten deutlich in der < 2 $\mu$ -Fraktion auf. Beide Schichtminerale liegen als Spurenkomponenten vor.

Mineral	Halbquantitativer Anteil	
	Fraktion: > 20 $\mu$	< 2 $\mu$
Quarz	H	H, teilweise H-N
Smektit		N
Ton „Mixed-layered“		N
Chlorit		N-Sp
Illit/Muskovit	teilweise Sp	N-Sp
Kaolinit		N-Sp
Halloysit		Sp?
Goethit	Sp	
Pyrit	teilweise N	
Feldspat	teilweise Sp	

Tab. 6.2.2.d: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten karbonatfreien Residuen der Kalke aus Dörenthe.

Die < 2 $\mu$ -Fraktion der Mergelresiduen<sub>n/SS</sub> (Tab. 6.2.2.e) zeigt im Vergleich zu der Grobsiltfraktion der Residuen der Mergel<sub>n/SS</sub> und im Vergleich zu der < 2 $\mu$ -Fraktion der Residuen der Kalke eine geringere Quarzkonzentration. Smektit liegt als Nebenkomponente vor. Im Unterschied zu der Tonfraktion der Kalkresiduen kann in der < 2 $\mu$ -Fraktion der schichtflächen-parallelen Mergel der Anteil der „Mixed-layered“-Tone über 25 % betragen. Gleiches gilt für Illit/Muskovit und Kaolinit. Dagegen ist Chlorit nicht mit Sicherheit identifiziert worden. Die Feldspat-, Pyrit- und Goethitkomponente fehlt sowohl in der < 2 $\mu$ -Fraktion der Kalkresiduen als auch in der der Mergelresiduen.

Mineral	Halbquantitativer Anteil	
	Fraktion: > 20 $\mu$	< 2 $\mu$
Quarz	H	H-N,N
Smektit		N
Ton „Mixed-layered“		H-N,N
Chlorit		N-Sp?
Illit/Muskovit	Sp	N-Sp; teilweise N-H
Kaolinit	Sp	N-Sp; teilweise N-H
Halloysit		Sp?
Goethit	teilweise Sp	
Pyrit	teilweise Sp-N	
Feldspat	teilweise Sp	
Apatit	Sp	

Tab. 6.2.2.e: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten kalk-freien Residuen der Mergel<sub>n/SS</sub> aus Dörenthe.

Auch nach mehrfacher Überprüfung der < 2 $\mu$ -Fraktion ist nicht auszuschließen, dass neben oder anstelle des Kaolinites Halloysit und/oder Chlorit auftritt. Dies gilt sowohl für die Kalk-, als auch für die Mergelproben. In der > 20 $\mu$ -Fraktion tritt in den Mergeln eine weitere Phase als Spur auf. Es handelt sich hierbei um Apatit, welcher sporadisch auch in den Kalksteinen nachgewiesen werden konnte.

## 6.2.3 Perubecken

### 6.2.3.1 Reihe 1: Proben von Sedimenten, die ausschließlich unterhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert wurden

Die Gesamtproben aus allen Kernen (Nordgebiet: 6KL, 9KL; Südgebiet: 141KL, 169KL) zeigen untereinander geringe Unterschiede. Es handelt sich um amorphe Substanzen wie Opal A und röntgenamorphe Al-Si-O-Verbindungen sowie smektitische Tone, „Mixed-layered“-Tone und Quarz. Unterschiede in der Mineralzusammensetzung ergeben sich zwischen den Kornfraktionen > 32 $\mu$ ,

32-2 $\mu$  und < 2 $\mu$ . Eine detaillierte Auflistung befindet sich im Anhang T-3.d.1. Der Hauptvorteil der Korngrößentrennung liegt in der Abtrennung des biogenen Opalanteils (Diatomeen-, Radiolarien-, Silicoflagellatenreste) und der hiermit verbundenen Minimierung des Basisrauschens in der Siltfraktion. Die hierdurch bessere Tonmineralidentifizierung soll die Abgrenzung detritischer Tone von authigenen erleichtern.

### **Fraktion > 32 $\mu$**

Die Grobsiltfraktion (> 32 $\mu$ ) aller Kerne setzt sich aus der amorphen Substanz (hauptsächlich biogener Opal) als Hauptkomponente zusammen. Albitischer Feldspat tritt als Spur bis Nebenkomponente auf.

Die Proben aus dem Südgebiet enthalten geringe Anteile von Quarz und vereinzelt Apatit sowie detritische Tonminerale. Kern 141KL weist Illit-Muskovit bis zu 10 %, jedoch keinen Smektit auf. Smektit tritt nur in den jüngeren Sedimenten des Kerns 169KL auf. Im Unterschied zu den Proben des Nordgebietes enthalten die Sedimente der Kerne 141KL und 169KL eine weitere Komponente, die sich mit der RDA nicht näher identifizieren lässt. Es handelt sich hierbei vermutlich um das Manganmineral Todorokit oder um den Hellglimmer Paragonit. Beide Phasen können im marinen Milieu auftreten. Die Mangangehalte und die dunkle Farbe des Gesamtsediments weisen jedoch eher auf Todorokit hin.

Die mineralogische Zusammensetzung ist in den Proben des Nordgebietes gleich. Sie besteht aus amorpher Substanz, Feldspat und vereinzelt auftretenden Spuren von Illit/Muskovit, Chlorit, Smektit und Wechsellagerungen von Tonmineralschichten. Apatit tritt sporadisch auf und liegt bei < 1%.

Der Unterschied zwischen den beiden Gebieten besteht in den geringfügig höheren Illitanteilen in den Proben der Kerne 141KL und 169KL des Südgebietes und in dem Fehlen von Quarz in den Proben der Kerne 6KL und 9KL des Nordgebietes. Das Siliziumdioxid ist im Nordgebiet als biogenes, amorphes Opal-A gebunden.

### **Fraktion 2-32 $\mu$**

Die Fraktion 2-32 $\mu$  zeigt gegenüber der Fraktion > 32 $\mu$  eine generelle Abnahme der amorphen Substanz bei einer gleichzeitigen Zunahme an Quarz. Dieser liegt dann als Nebenkomponente, teilweise als Neben- bis Hauptkomponente vor. Diese Abnahme ist besonders im Nordgebiet deutlich zu erkennen. Daneben bauen albitischer Feldspat und Baryt als Neben- bis Spurenelemente diese Kornklasse auf.

Das Südgebiet (Gebiet 2) ist durch ein breites Tonmineralspektrum gekennzeichnet. Neben „Mixed-layered“-Tonen treten Smektit (> 25 %) und Chlorit sowie Illit/Muskovit als Spurenkomponenten auf. Sporadisch kommt es zu Beimengungen von Todorokit oder Paragonit.

Diese beiden Mineralphasen fehlen im Nordgebiet (Gebiet 2). Illit/Muskovit, Kaolinit und Chlorit bauen als Spur zusammen mit Smektit (Spuren- bis Nebenkomponente) den Tonmineralanteil des Kerns 9KL auf, hingegen die Zusammensetzung der Proben des Kerns 6KL auf Smektit und Wechsellagen mit Smektit beschränkt bleibt.

### Fraktion < 2 $\mu$

Ein deutlicher Sprung in der mineralogischen Zusammensetzung erfolgt von der Siltfraktion zur Fraktion < 2 $\mu$  (Abb. 6.2.3). Tonminerale smektitischer Zusammensetzung stellen neben der amorphen Komponente die Hauptkomponente dar. Quarz, albitischer Feldspat und Baryt sind eine allgemeine, aber quantitativ untergeordnete Beimengung. Sepiolit und Kaolinit treten sporadisch auf. Apatit scheint verstärkt im Südgebiet aufzutreten. Im Nordgebiet wurden Zeolithe (Phillipsit) nachgewiesen.

Mineral	Perubecken	
	Nordgebiet (Gebiet 1)	Südgebiet (Gebiet 2)
<b>Amorphe Komponente</b>	H; N-H	H; N-H
<b>Smektit</b>	N-H; N	H-N; N
<b>Wechselschichtminerale</b>	H	N; N-H
<b>Feldspat</b>	Sp; SP-N	Sp; SP-N
<b>Illit/Muskovit</b>	SP?	Sp
<b>Chlorit</b>	Sp?	Sp
<b>Quarz</b>	Sp	Sp
<b>Apatit</b>	Sp?	Sp
<b>Zeolith</b>	Sp	-
<b>Baryt</b>	Sp	Sp

Tab. 6.2.3: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der < 2 $\mu$ -Fraktion von Proben der Kerne 6KL und 9KL (Nordgebiet) sowie 141KL und 169KL (Südgebiet) der Probenreihe 1 des Perubeckens. Die untersuchten Sedimente wurden im Altpleistozän bis Pliozän unterhalb der CCD abgelagert.

Bei den Smektiten handelt es sich in beiden Gebieten um schwach kristalline Montmorillonite. Vereinzelt sind auch schwache, beidellitische (um 5,84° 2 $\theta$ ) und nontronitische Reflexe (6,36° 2 $\theta$ ) ausgebildet. Es konnte jedoch nur Montmorillonit als eigenständige Phase nachgewiesen werden. In einigen Proben sind schwache Saponit-Reflexe im Bereich zwischen 4,70° 2 $\theta$  und 5,84° 2 $\theta$  ausgebildet.

### Mineralogische Besonderheiten im Nordgebiet

Wichtig ist die Ausbildung von Wechsellagerungen von Smektiten mit eingeschalteten Chlorit- und/oder Illit/Muskovit-Lagen. In Kern 6KL ist kaum Chlorit und Illit/Muskovit vorhanden. Nur

glycerinierte Proben erlauben eine schwache Aufschlüsselung der Reflexe. Die wechsellagernden Illit- und Smektitsschichten zeigen sich in einer strukturlosen Bande zwischen  $8,84^\circ 2\theta$  und  $10^\circ 2\theta$ . Ein gleiches Bild zeigt sich für die Proben des Kerns 9KL, wo der Anteil der Chloritreflexe größer ist. Möglicherweise geht der Chlorit dort keinerlei Wechsellagerungen mit dem Smektit ein, sondern liegt als Spurenmineral eigenständig vor. Die Probe „9-1414of“ gibt Hinweise auf regelmäßige Hellglimmer-/Smektit-Wechsellagen. Diese Wechsellagerungen zeigen bereits strukturelle Sequenzen, die zu einer höheren Ordnung („eigenständige Reflexe“) geführt haben.

### **Mineralogische Besonderheiten im Südgebiet**

Im Südgebiet werden die Tonminerale hauptsächlich von den montmorillonitischen Smektiten repräsentiert. Chlorit und Illit liegen als Spuren vor. Der (001)-Reflex des Chlorits und der (002)-Reflex des Illits (beziehungsweise (003)-Reflex) wird von der Flanke des dominierenden ersten Hauptreflexes des Montmorillonits überdeckt. Wie im Nordgebiet ist eine Trennung dieser Reflexe nur durch eine Probenbehandlung mit Glycerin möglich. Die Proben 169-900, 169-1005 zeigen gegenüber den jüngeren Proben einen leichten Anstieg des Hellglimmeranteils. Im Südgebiet liegt Chlorit sowie Illit/Muskovit auch als eigenständige Mineralphase vor. Zusätzlich zeigen die Proben der Kerne 141KL und 169KL sowohl regelmäßige Wechsellagen mit Chlorit oder Illit/Muskovit als auch unregelmäßige.

Alle Analysen zeigen einen stark bis schwach aufgeweiteten 001-Reflex des smektitischen Tons. Mit Aufweitung durch Glycerin zeigen die Proben eine Peakaufweitung, die nur selten eine eindeutige Trennung zwischen den Reflexen der einzelnen Tonminerale hervorruft. Dies beruht mit größter Wahrscheinlichkeit zum einen auf der Wechsellagerung montmorillonitischer Schichten mit Chlorit- und Illit-Schichten, zum anderen auf dem Einbau von beidellitischen, nontronitischen und saponitischen Schichten. Zusätzlich zeigen die Tone eine unterschiedliche Hydratation von  $12,5 \text{ \AA}$  bis  $19,5 \text{ \AA}$ . Aufweitungen bis auf  $19,5 \text{ \AA}$  sind bei einer langen Verweildauer in wässriger Lösung möglich. Die (060)-Reflexe liegen allgemein bei  $< 1,5 \text{ \AA}$  und weisen auf dioktaedrische Tonminerale hin.

### **6.2.3.2 Reihe 2: Relative Häufigkeit von Mineralphasen in Proben von Sedimenten, die sowohl oberhalb als auch unterhalb der Kalzitkompensationszone (CCD) abgelagert wurden**

In den postpleistozänen Proben, besonders in den oberflächennahen, ist der amorphe Anteil deutlich höher als in den pleistozänen. Der amorphe Anteil setzt sich aus Opal-A, aus Allophanen, im engeren Sinn Al-Si-O-Verbindungen und untergeordnet aus Fe-Mn-Verbindungen zusammen.

Von der  $> 32\mu$ -Fraktion über die  $32-6,3\mu$ -Fraktion und die  $6,3-2\mu$ -Fraktion zu der  $< 2\mu$ -Fraktion ist eine Verschiebung des „Mineralspektrums“ feststellbar (Abb. 6.2.3; Anhang T-3.d.2). Opal-A beschränkt sich zu über 90 % auf die  $> 32\mu$ -Fraktion. Der Opal-Anteil, auf karbonatfreier Basis, ist

im Nordgebiet deutlich höher als im Südgebiet. Neugebildeter und detritischer Quarz ist Hauptkomponente der 32-6,3 $\mu$ -Fraktion und der 6,3-2 $\mu$ -Fraktion und nimmt in der Tonfraktion bis auf < 5 % ab.

Die detritischen Komponenten, hauptsächlich Feldspat (Plagioklas und Albit, untergeordnet Kalifeldspat) und Illit/Muskovit, weniger Chlorit und Kaolinit, nehmen von der Grobsilt- zur Tonfraktion langsam, aber kontinuierlich ab. Die Illit/Muskovit-Konzentration ist im Südgebiet höher. Baryt und Ca-reicher Apatit sind in beiden Gebieten als Spurenkomponente, teils bis zu 5 %, nachgewiesen. Beide Minerale sind hauptsächlich auf die Feinsilt- und Tonfraktion beschränkt. Der Nachweis von Phillipsit ist mit Unsicherheit behaftet. Der Zeolit wurde vereinzelt in Proben des Nordgebietes nachgewiesen.

Smektit ist das Hauptmineral der < 2 $\mu$ -Fraktion. Es handelt sich um einen schlecht auskristallisierten Montmorillonit. Der Grad der Smektitkristallinität ist im Südgebiet geringfügig höher. In beiden Gebieten treten vereinzelt beideillitische und sporadisch saponitische und nontronitische (001)-Reflexe auf. Für die Tonfraktion sind außerdem Wechsellagerungen aus Illit/Smektit und Chlorit/Smektit kennzeichnend. In den Proben des Südgebietes wurden weniger Chlorit/Smektit-Wechsellagerungen beobachtet.

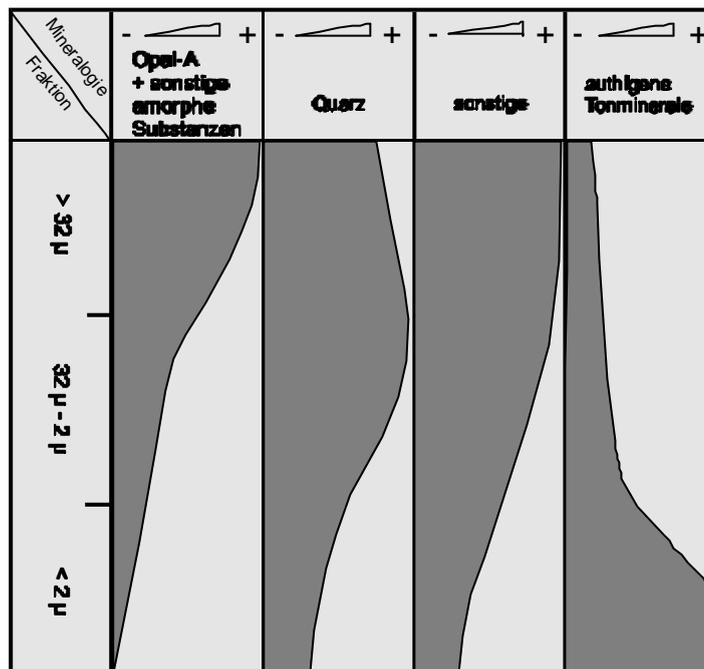


Abb. 6.2.3: Schematisierte Darstellung der Häufigkeitsverteilung aller untersuchten Proben des Perubeckens von den häufigsten Mineralphasen in Relation zu der jeweiligen Korngröße. Die Darstellung enthält sowohl Proben von Sedimenten, die oberhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert wurden als auch solche deren Ablagerung unterhalb der CCD erfolgten. Sonstige= Detritische Tonminerale wie Kaolinit, Chlorit, Illit/Muskovit und detritischer Feldspat sowie authigener Baryt und Apatit. Authigene Tonminerale: Smekтите und Mixed-layered-Tone mit Smektit-schichten.

### Veränderungen mit der Tiefe

In den Oberflächenproben sind schlecht kristallisierte Smekтите und die „Mixed-layered“-Tone Hauptvertreter der Tonminerale. Sie sind mit den detritischen Spuren- bis Nebenkomponenten Kaolinit, Chlorit und Illit vergesellschaftet. Unterhalb der ersten Dezimeter Teufe erfolgt in den Sedimenten eine deutliche Abnahme von Chlorit, Illit und Kaolinit. Diese Abnahme setzt sich mit zunehmender Kerntiefe langsam und kontinuierlich fort. Mit Erreichen der lithologischen Einheit 2, an der Grenze zum Altpleistozän, erfolgt ein erneuter Sprung. Chlorit, Illit und Kaolinit werden dann im Vergleich zu den jüngeren Sedimenten der sedimentologischen Einheit 1 kaum mehr nachgewiesen und es ist erneut ein Anstieg der Smektitkristallinität zu verzeichnen.

### 6.2.4 N-Spanien (Gordoa und Urrunaga)

#### Gesamtproben

Mit den Übersichtsmessungen wurde Kalzit als Hauptkomponente und die Nebenkomponenten Quarz und Schichtminerale nachgewiesen.

Die mit CHOOH entkarbonatisierten und mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aufbereiteten Proben zeigen innerhalb eines Gebietes in der Zeitspanne Cenoman bis Santon kaum Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung, jedoch geringe Unterschiede in den Konzentrationen der einzelnen Komponenten. Eine detaillierte Auflistung ist dem Anhang T-3.c zu entnehmen.

#### Gordoa

Die Residualproben aus dem küstenferneren Untersuchungsgebiet Gordoa zeigen folgende mineralogische Zusammensetzungen (Tab. 6.2.4.a):

Mineral	Halbquantitativer Anteil	
	Gordoa	Urrunaga
Quarz	H	H
Illit/Muskovit	N	N
Feldspat (hauptsächlich albitisch)	N-Sp; Sp	teilweise Sp
Chlorit	Sp; N	Sp; N
Kaolinit	Sp?	Sp?
Ton „Mixed-layered“	Sp?	Sp
Pyrit	teilweise Sp	teilweise Sp

Tab. 6.2.4.a: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der karbonatfreien Residuen der Kalke und Mergel aus Gordoa und Urrunaga.

Neben der Hauptkomponente Quarz liegt Illit/Muskovit als Nebenkomponekte vor. Der Anteil der Feldspäte reicht von Spurenkonzentrationen bis zu 5 %. Kaolinit und/oder Halloysit konnte nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Die Identifizierungsschwierigkeiten beruhen auf der gegenseitigen Überlagerung der 001- und 002-Basisreflexe (Kaolinit/Halloysit) bei 7 Å und 3,5 Å mit dem zweiten und vierten Basisreflex des Chlorits. Hierdurch wird eventuell der Anteil der Chloritkomponente, vermutlich Clinochlor, überschätzt. Die Chloritkonzentration scheint zum stratigraphisch Hangenden zu steigen und liegt in der Regel zwischen 1-10 %, kann jedoch auch vereinzelt darüber liegen. Einzelne als smektitisch identifizierte Lagen sind Teil der „Mixed-layered“-Tone, deren Anteil vernachlässigbar gering ist und nur in einigen Proben nachgewiesen wurde.

### Urrunaga

Die Proben aus Urrunaga weisen unabhängig von den unterschiedlichen Wassertiefen eine sehr ähnliche mineralogische Zusammensetzung wie die „Residuen“ der Proben aus Gordoia auf. Es fehlt jedoch weitestgehend Feldspat. Die Chloritkonzentrationen steigen im Gegensatz zu denen der Proben aus Gordoia nicht zum stratigraphisch Hangenden an. Das Couplet Ur2-2 und Ur2-2a und die Probe Ur2-1 weisen einen scharfen Peak bei 24,7 Å auf. Es handelt sich hierbei um den (001)-Reflex des Rektorits, einem dioktaedrischen Wechsellagerungsmineral aus regulären Schichtenfolgen von Glimmer- und Smektitischen. Die Proben Ur2-1 und Ur2-2a sind im Vergleich zu den übrigen Proben aus Urrunaga mergeliger ausgebildet (siehe Kap. 6.1).

### Fraktionierte Proben aus Gordoia

Mit der Fraktionierung konnte gezeigt werden, dass Chlorit als Clinochlor vorliegt. Dieser ist oftmals nicht eindeutig von der Kaolinitkomponente zu trennen. Bei der Feldspatkomponente handelt sich um Ca-Albit.

Mineral	Halbquantitativer Anteil	
	Fraktion: > 20µ	< 2µ
Quarz	H	N-Sp
Feldspat	N; teilweise N-Sp	
Illit/Muskovit	N; teilweise Sp	H-N
Chlorit	Sp?; N?	N-Sp; Sp
Kaolinit	N-Sp?	Sp

Tab. 6.2.4.b: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten und entkarbonatisierten Residuen der Mergel aus Gordoia.

Die mineralogische Zusammensetzung beider Fraktionen (Tab. 6.2.4.b) entspricht sich weitestgehend, es zeigen sich jedoch Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung. Quarz tritt

bevorzugt in der > 20 $\mu$ -Fraktion auf und konnte in der < 2 $\mu$ -Fraktion lediglich mit einer Konzentration von 1-5 % nachgewiesen werden. Albitischer Feldspat kann in der Siltfraktion bis zu 10 % vorliegen und fehlt in der < 2 $\mu$ -Fraktion. Der Anteil der Tonminerale Illit/Muskovit, welcher die Hauptkomponente der < 2 $\mu$ -Fraktion ist, und Chlorit nimmt mit abnehmender Korngröße zu. Dagegen nimmt die Kaolinitkonzentration zur < 2 $\mu$ -Fraktion ab. Die Konzentrationen des Kaolinites sollten jedoch insgesamt unter Vorbehalt betrachtet werden.

### Fraktionierte Proben aus Urrunaga

Die Mineralzusammensetzungen sind in beiden Korngrößenfraktionen (Tab. 6.2.4.c) gleich, es ändert sich jedoch die halbquantitative Verteilung. Die Quarzkonzentration (> 25 %) nimmt von der Grobsiltfraktion zur Tonfraktion ab (Tab. 5.2.4.b). Ebenso verringert sich der Feldspatanteil (Ca-Albit) von 5-10 % auf < 1 %. Chlorit tritt bevorzugt in der Fraktion > 20 $\mu$  auf, während Muskovit, beziehungsweise Illit/Muskovit, vorrangig in der Tonfraktion nachzuweisen ist. Die < 2 $\mu$ -Fraktion zeigt bis zu 5 % smektitische Schichtminerale mit Wechsellagerungsstrukturen und eine Spur einer weiteren Mineralphase, bei der es sich um Siderit oder Pyrit handelt, auf. „Mixed-layered“-Tone konnten in der Grobsiltfraktion nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Mineral	Halbquantitativer Anteil	
	Fraktion: > 20 $\mu$	< 2 $\mu$
Quarz	H	H-N
Feldspat	N	Sp
Illit/Muskovit	N-Sp, Sp	N
Chlorit	N	Sp
Ton „Mixed-layered“	Sp?	N-Sp

Tab. 6.2.4.c: Halbquantitative Mineralzusammensetzung der fraktionierten und entkarbonatisierten Residuen der Mergel aus Urrunaga.

Die mineralogische Zusammensetzung des Bankpaares Ur2-2 („Kalk“) und Ur2-2a („Mergel“) unterscheidet sich im wesentlichen im korngößenunabhängigen, höheren Quarz/Schichtmineral-Verhältnis der Probe Ur2-2. In beiden Fraktionen dieser Probe konnte Chlorit nicht oder nur mit großer Unsicherheit behaftet nachgewiesen werden. Der Anteil an „Mixed-layered“-Tonen ist im Vergleich zu dem der Probe Ur2-2a etwas geringer. Eine Spur von Siderit oder Pyrit konnte nur in der mergeliger ausgebildeten Probe Ur2-2a nachgewiesen werden.

#### 6.2.4.1 Der Schwarze Siltstein an der Basis zum Cenoman (Urrunaga)

Um die Herkunft der Hellglimmer (Illit/Muskovit) besser abschätzen zu können, wurde eine Probe eines basal zur cenomanen Kalk-Mergelwechselfolge liegenden, fluviatil-deltaisch abgelagerten,

schwarzen Siltsteins (Villa Areal; Urrunga-Stausee) geröntgt. Stratigraphisch ist das Gestein dem Grenzbereich Alb/Cenoman zuzuordnen und leitet im Gebiet Urrunaga den faziellen Übergang in ein marines Milieu im Cenoman ein. Der Karbonatgehalt liegt nach der Karbonatmessung bei 5 %.

Die Übersichtsmessungen der Residualprobe zeigen eine mineralogische Zusammensetzung aus Quarz (> 25 %), muskovitischen und illitischen Hellglimmern (25-10 %), Feldspat (5-10 %), Chlorit (5-10 %) und Pyrit (5-10 %). Eine farbgebende kohlige Phase tritt als Spurenkomponente in der Matrix auf.

### **Fraktionierte Proben**

Anhand der Fraktionierung ergibt sich folgende Abgrenzung: Die > 20 $\mu$ -Fraktion wird von der Hauptkomponente Quarz und Chlorit als Nebenkomponekte (5-10 %) aufgebaut. Feldspat sowie Muskovit und Illit/Muskovit sind in dieser Fraktion bis zu 5 % vertreten. Hinzu kommen die Accessorien Pyrit, Chalcopyrit, Sphalerit.

In der < 2 $\mu$ -Fraktion tritt Muskovit und Illit/Muskovit als Hauptkomponente, Quarz als Neben- bis Spurenbestandteil und albitischer Feldspat als Spur auf. Der Chloritanteil kann bis über 10 % betragen. Farbgebend für das Gestein ist eine kohlige Mineralkomponente.

### **Generelle Beobachtung bezüglich der Mineralogie der Proben N-Spaniens**

Die Korngrößentrennung in die > 20 $\mu$ - und < 2 $\mu$ -Fraktion ergibt stärkere mineralogische Unterschiede sowohl innerhalb einer Probe als auch zwischen den beiden Gebieten in N-Spanien. Die Proben aus Urrunaga zeigen zwischen den Korngrößentraktionen deutlichere Unterschiede als die aus Gordo.

In beiden Gebieten N-Spaniens enthalten sowohl die Gesamtproben als auch die „Fraktionierten Proben“ Illit in seinen verschiedenen Kristallinätsmodifikationen bis hin zum Muskovit. Einzelne Proben, insbesondere die aus dem Gebiet Urrunaga, zeigen daneben zwei Hellglimmer mit einer unterschiedlichen Kristallinität. Die Muskovite entsprechen denen der Siltsteine aus Villa Areal.

Die Proben aus dem Gebiet Urrunaga sind insgesamt chloritreicher und geringfügig quarzreicher als die Proben aus Gordo. Mit zunehmender Paläowassertiefe nimmt der Quarzgehalt in den Proben aus Urrunaga ab. Ein vergleichbarer Trend konnte für das Arbeitsgebiet Gordo nicht festgestellt werden.

### 6.3 Ergebnisse aus den Differentialthermoanalyse-Thermogravimetrie-Untersuchungen (DTA-TG)

Ziel der DTA-TG-Untersuchungen einzelner Proben aus Salder ist die bessere Abgrenzung der unterschiedlichen Schichtminerale.

Die DTG-Kurve der Probe S10a setzt sich aus drei deutlich ausgeprägten endothermen Peaks und einem exothermen Peak zusammen. Der erste endotherme Peak wird von drei sich überlappenden Stufen aufgebaut und zeigt ein deutlich ausgebildetes Maximum bei 135 °C (1. Stufe). Die zweite Stufe liegt bei 190 °C, die dritte ist ansatzweise zu erkennen und liegt bei einer Temperatur zwischen 250 und 260 °C. Die stufenweise Abgabe des Zwischenwassers weist auf adsorbierte zweiwertige Ionen (Smykatz-Kloss, 1974; Earnest, 1991a; Earnest, 1991b; Jasmund & Lagaly, 1993). Da die Probe aus einer mergeligen Fazies stammt und auf karbonatfreier Basis gemessen wurde, handelt es sich vermutlich um eine Belegung von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen. Der breite zweite endotherme Peak bei 685 °C beschreibt die Dehydroxilation. Nach Todor (1976), Jasmund & Lagalay (1993) erfolgt eine Abnahme der Bindungsfestigkeit mit Zunahme von  $\text{Fe}^{3+}$ -Substitutionen in der Oktaederschicht. Mit den  $\text{Fe}^{3+}$ -Substitutionen sind Verschiebungen der Dehydroxilierungsreaktionen zu niedrigeren Temperaturen verbunden. In Probe S10a kann daher ein verstärkter  $\text{Fe}^{3+}$ -Einbau anstelle von  $\text{Al}^{3+}$  ausgeschlossen werden. Der dritte endotherme Peak ist breit ausgebildet und liegt bei ca. 886 °C. Die endotherme Reaktion korrespondiert mit dem Kollabieren der dehydrierten Silikatmatrix. Das Ausbleiben einer unmittelbar angrenzenden exothermen Reaktion schließt ein Fe-reiches Schichtmineral aus. Der Gesamtwasserverlust liegt bei 18,6%. Hiervon sind 14,6% hygroskopisch gebunden.

Ein breiter exothermer Peak liegt bei einer Temperatur von 446 °C und entwickelt sich zu einem Maximum von 471 °C. Bei der Reaktion handelt es sich um die Oxidation von Eisensulfid. Eine Differenzierung der Pyrit- oder Markasitpeaks ist aufgrund der geringen Konzentration in der Probe nicht möglich (Mackenzie, 1957).

Insgesamt ist ein quellfähiges 2:1-Schichtmineral ohne erkennbare Wechsellagerungen mit anderen Schichtmineralen nachgewiesen worden. Es handelt sich hierbei um einen montmorillonitische Smektit. Vermutlich baut dieser bevorzugt Mg neben Al in der Oktaederschicht ein. Als Spur ist Pyrit oder Markasit identifiziert worden.

Die karbonatfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergelproben S4.1 und S4m zeigen wie die Probe S10a endotherme Kurven mit Peaks um 130 °C, 672 °C und 892 °C (Anhang T-4). Es handelt sich um Proben von Smektiten ohne Beimengungen von Illiten. Es konnten keine eingebauten Illitlagen („Mixed-layered“-Tone) nachgewiesen werden.

Die Proben mit den Bezeichnungen Salder 1, Salder 1w, Salder S7, S8 und S10m zeigen bei den Untersuchungen einen erste endothermen Peak mit einer stufenweise Abgabe des

hygroskopischen Wassers. Der erste Peak (= 1. Stufe) liegt zwischen 107 und 114 °C. Die zweite Stufe liegt zwischen 150 und 180 °C. Die Dehydroxylierung verläuft bei diesen Proben in Form einer breiten schüsselförmigen bis senkenförmigen, endothermen Reaktion. Hierbei liegen die Maxima zwischen 512 und 543 °C. Das Kollabieren der dehydrierten Silikatmatrix (3. endothermer Peak) erfolgt bei Temperaturen zwischen 862 und 886 °C.

Illite oder illitische Schichten in Wechsellagerung mit Smektitsschichten führen zu der Ausbildung einer schüsselförmigen Ausbauchung der jeweiligen DTA-Kurve um gemittelte 530 °C. Nach Mackenzie (1957) ist die Breite der Dehydroxylierung abhängig von dem Verhältnis willkürlich wechsellagernder Illit-/Montmorillonit-Schichten. Diese Beobachtung stimmt mit den gemessenen DTA-Kurven überein. Mit einem Anstieg des Illitanteils in der Probe steigt die Temperaturspanne der Dehydroxylierung. Gleichzeitig sinkt das Temperaturmaximum. Nach Johns und Jonas (1954) beruht diese Verschiebung auf der größeren Substitution des  $Al^{3+}$  für  $Si^{4+}$  im Illitgitter im Vergleich zu der im Smektitgitter. Eine Verschiebung der endothermen Reaktion erfolgt bei steigendem Illitanteil in Richtung geringerer Temperaturen. Mit einer Erhöhung des illitischen Anteils ist auch eine frühere Desorption des Zwischenschichtwassers feststellbar.

Eine Trennung zwischen einzelnen Illitlagen, die geordnet oder ungeordnet mit Smektitlagen wechsellagern, und einem Gemisch aus Smektit und Illit ist nicht möglich. Mischungsversuche der illitfreien Probe S10a mit Standardilliten im Verhältnis 1:4 (I:M) zeigen eine undefinierbare, breite Abgabe des Zwischenschichtwassers und eine stark aufgeweitete Dehydroxylierungsreaktion. Ursache ist möglicherweise eine Überlagerung der endothermen Peaks.

Die Probe S7 führt neben den Tonmineralen auch Markasit oder Pyrit.

## **6.4 Ergebnisse der Mikrosonden (MS)- und der Rasterelektronenmikroskopie (REM)- Untersuchungen**

Untersucht wurden MS-Schliffe aus Dörenthe und Salder von Kalksteinen mit Stylolithen (Anhang T-5.c; Anhang T-5.d). Die Karbonate bestehen insgesamt zu > 95% aus Kalzit, oft sogar zu > 98 % (Anhang T-5.a; Anhang T-5.b). Der Anteil an eingebautem Fe, Mn, Mg und Sr schwankt und liegt mit Ausnahmen im Spurenbereich. Zusätzlich konnte anhand der MS- und REM-Untersuchungen eine Änderung der Stöchiometrie der Kalzitrekristallite in Richtung der Stylolithen nachgewiesen werden.

Nahe der Stylolithen und im Kontakt zu diesen treten manganhaltige Kalzite bis Mn-Kalzite auf. Der Rhodocroisitanteil schwankt zwischen 1 bis 60 %. Diese Karbonate bauen zum Teil Fe, Sr und/oder Mg ein und sind mit Manganmineralen vergesellschaftet. Mit zunehmenden Abstand von

den Stylolithen werden die Kalzite „reiner“, das heißt der Anteil an eingebautem Fe, Mn, Mg, Sr nimmt ab. Nur vereinzelt treten in diesen Bereichen Kalzite mit einem erhöhten Rhodocroisitanteil auf. Sporadisch treten Kalzite mit einer Fe-Komponente (Sideritkomponente) von > 1% auf. In diesen Kristallen steigt gleichzeitig der Einbau von Sr und/oder Mg an. Bei den vereinzelt auftretenden, rundlichen bis ovalen Kalziten handelt es sich um Mikrofossilien. Die Zusammensetzung ist Sr- und Mg-reicher als die der angrenzenden, feinkörnigeren Karbonate.

In den Stylolithen wurden neben den bereits erwähnten Mn-Kalzitkristalliten, feinstkristalline Tonminerale und Quarze identifiziert. Letztere sind mit Fe- und Ti-Oxiden/-Hydroxiden überzogen. Die Tonminerale sind Mn-arm und binden örtlich, je nach Angebot, Ba. Sporadisch treten Zirkone und Baryt auf.

Bei den untersuchten Feldspäten handelt es sich um K-Feldspat.

## 6.5 Ergebnisse der Röntgenfluoreszenz-Analysen (RFA)

Die RFA-Ergebnisse sollen in erster Linie die chemischen Signaturen für primäre Schichten liefern. Um später einen Vergleich der Proben aus allen Gebieten zu ermöglichen, werden nur die Elemente in Betracht gezogen, die in Festgesteinsproben zu Lösungsweg 1 im Originalzustand oberhalb der RFA-Nachweisgrenze liegen: Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Mn, K, P, Ba, Ce, Co, Cr, La, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, V, Y, Zn, Zr. Diese Elemente wurden auch in den Lockersedimenten (Lösungsweg 2) nachgewiesen. Bei allen Festgesteinsproben der Aufschlüsse Gordoia und Urrunaga fallen von den oben genannten Elementen Co, Cu, La und Pb unter die Nachweisgrenze.

Um das Verhalten zweier Elemente miteinander vergleichen zu können, wurde mit Hilfe von einfachen Korrelationsrechnungen eine Korrelationsmatrix aus allen nutzbaren Messdaten zusammengestellt (Kap. 2; Formel 2.1). Weiterhin wurden die chemischen Zusammensetzungen der Kalke, Mergel<sub>SS</sub> und Mergel<sub>SF</sub> verglichen und in einem weiteren Schritt normiert dargestellt. Die Normierungen auf die gemittelten Daten von Tiefseekarbonaten (Turekian & Wedepohl, 1961) sollen zum einen lithologische Varianzen zwischen den Gebieten Salder, Dörenthe und Urrunaga/Gordoia hervorheben, zum anderen werden durch Drucklösung bedingte Anreicherungen verdeutlicht, denn es ist bekannt, dass Kalzitlösung und Wiederausfällung die ursprünglichen Karbonatgehalte (Hallam, 1986; Langheinrich & Plessmann, 1968; Ricken, 1985; 1986; 1987; Ricken & Hemleben, 1982) und die Zusammensetzung (Füchtbauer 1988; Wanless, 1979; Ricken, 1986; 1987) verändert.

## 6.5.1 Salder

### Korrelationsmatrix

Nach der Probenkorrelation (Anhang T-6.a.1) untereinander ergibt sich mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\geq 99,9$  % folgende Gruppierung:

Gruppe	Elemente
Gruppe 1	Ca, Mn
Gruppe 2	Si, Ti, Al, Fe, Mg, K, P, Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Zn, Zr
Gruppe 2a	Ce, La, Y, Sc

Tab. 6.5.1.a: Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Salder:

Gruppe 1= Karbonatgruppe; Gruppe 2= Residualgruppe mit Affinität zu den Tonmineralen, Baryt, Apatit und Zirkon; Gruppe 2a= Untergruppe der Residualgruppe: die Lanthanoiden.

Nach der Korrelationsmatrix grenzen sich zwei Korrelationsgruppen voneinander ab. Gruppe 1 (Karbonatgruppe) enthält Elemente, die vorrangig in den Karbonaten aus Salder eingebaut werden. Die Gruppe 2 (Residualgruppe) setzt sich aus Elementen zusammen, die in/an den „Rückständen“ der Mergel und Karbonate gebunden sind. Das bedeutet, diese Elemente haben eine deutliche Affinität zu den Tonmineralen, Baryt, Apatit und Zirkon. Außerdem fallen in diese Gruppe auch Elemente, die die amorphe bis hypamorphe Oxy- und Hydroxidverbindungen aufbauen. Eine Sonderstellung nehmen die Lanthanoiden ein. Sie besitzen eine hohe Affinität untereinander und korrelieren, bis auf Sc, welches mit Rb korreliert, nicht mit den anderen Elementen der Gruppe 1 und 2. Y zeigt innerhalb der Gruppe 2 nur Verbindungen unter einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 %. Die Lanthaniden werden jedoch adsorptiv an die Tonminerale sowie in den Tonmineralen, Baryt, Apatit und Zirkon substituiert und werden daher als Untergruppe 2a bezeichnet.

Eine Korrelation der entkarbonatisierten Proben führt zu einer Übereinstimmung mit den aufgelisteten Ergebnissen. Die Elemente der Gruppe 2 zeigen auf karbonatfreier Basis eine verstärkte Korrelation zu Zirkonium. Das Vorliegen von assessorischem Zirkon kann daher in den Proben aus Salder als gesichert angesehen werden. Die auf karbonatfreier Basis verstärkte Sr-Ba-Korrelation weist auf Substitutionen von Sr in Baryt.

### Vergleich der chemischen Zusammensetzung der unterschiedlichen lithologischen Komponenten

In einem ersten Schritt wurden die entkarbonatisierten Proben der Mergel<sub>SS</sub> und der Mergel<sub>SF</sub> mit denen der Kalksteine verglichen. Nachfolgend sind Elemente mit deutlichen Unterschieden zwischen den lithologischen Komponenten (Tab. 6.5.1.b) aufgeführt:

Lithologie	Elemente
In den entkarbonatisierten Kalksteinen angereichert	Si
In den entkarbonatisierten Mergeln <sub>//SS</sub> und <sub>//SF</sub> angereichert	Ti, Al, Fe, K, As, Co, Cr, Cu, La, Ni, Rb, V, Y, Zn, Zr

Tab. 6.5.1.b: Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der Mergel oder in den Residuen der Kalke aus Salder.

Die Elemente Ba und Ce weisen auf lithologisch unabhängige, örtliche Anreicherungen hin.

In einem weiteren Schritt wurden die Elementkonzentrationen der einzelnen Bankpaare untereinander verglichen. Hierbei ergab sich für die entkarbonatisierten Mergel<sub>//SS</sub>- und Kalksteinresiduen folgendes Bild:

- in den Residuen der Kalksteine ist Si angereichert
- Cu, Sr, V weisen die Tendenz zur Anreicherung in den Residuen der Kalksteine auf
- in den Residuen der Mergel sind deutlich Ti, Al, Ce, La, Zn angereichert
- Ni, Pb, Th, Rb, Zr zeigen die Tendenz zur Anreicherung in den Residuen der Mergel

Die Elementverteilung innerhalb der Bankpaare stimmt mit denen der gemittelten Daten überein. Ein analoges Bild zeigt der Vergleich zwischen den Mergellagen<sub>//SF</sub> zu den Residuen der Kalksteine.

Weniger bis minimal ausgeprägt sind die Konzentrationsunterschiede zwischen den Mergeln<sub>//SS</sub> und denen der Mergel<sub>//SF</sub>. Letzte zeigen eine geringfügig höhere Anreicherung von Al, V, Rb, Sr gegenüber den Mergel<sub>//SS</sub> (Abb. 6.5.1.a). Diese Anreicherungen gelten sowohl innerhalb der untersuchten Bankpaare als auch für die Mittelwerte aller Mergel<sub>//SF</sub> und Mergel<sub>//SS</sub>. Die Konzentrationen von Cr, Ni, Y, Zn, Zr der Mergel<sub>//SF</sub> sind nur als Mittelwerte höher als die der Mergel<sub>//SS</sub>. Umgekehrt sind Si, Ti, La eindeutig stärker in den schichtparallelen Mergeln angereichert. Dies gilt sowohl für die einzelnen Bankpaare als für die Mittelwerte aller Mergel<sub>//SF</sub> und Mergel<sub>//SS</sub>. Für Co, Cu, Pb ist die Gesamtkonzentration Mergel<sub>//SS</sub> größer als die der Mergel<sub>//SF</sub> und der Vergleich der Einzelkonzentrationen der Couplets zeigt keinen Trend.

Vereinfacht gilt für die Konzentrationen der karbonatfreien Proben:

$$\text{Si}_{\text{Kalkstein}} > \text{Si}_{\text{Mergel//SS}} > \text{Si}_{\text{Mergel//SF}}$$

$$\text{Ti, La}_{\text{Mergel//SS}} > \text{Ti, La}_{\text{Mergel//SF}} > \text{Ti, La}_{\text{Kalkstein}}$$

$$\text{Al, V, Rb, Sr}_{\text{Mergel//SF}} > \text{Al, V, Rb, Sr}_{\text{Mergel//SS}} > \text{Al, V, Rb, Sr}_{\text{Kalkstein}}$$

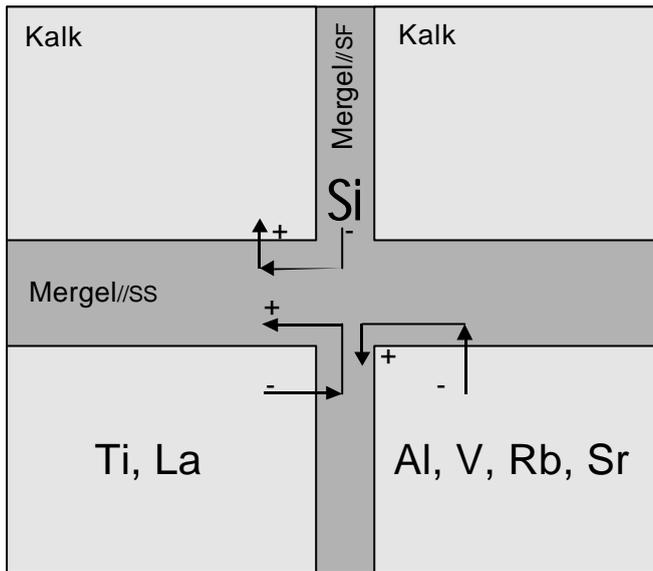


Abb. 6.5.1.a:  
Schematische Darstellung der Konzentrationsanstiege in den Proben aus dem Aufschluss Salder auf karbonatfreier Basis. Der Pfeil zeigt in Richtung zunehmender Konzentrationen.

**Ergebnisse nach der Normierung auf Tiefseekarbonate „TSK“ (Turekian & Wedepohl, 1961)**

Die An-/Abreicherungen gegenüber den gemittelten Tiefseekarbonaten sind in Abb. 6.5.1.b und Abb. 6.5.1.c dargestellt.

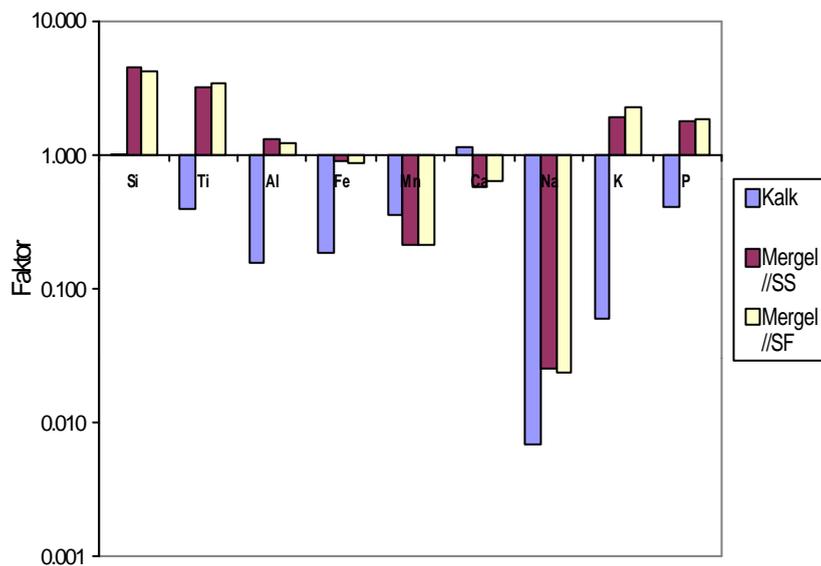


Abb. 6.5.1.b: Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Hauptelemente von Proben aus dem Aufschluss Salder.

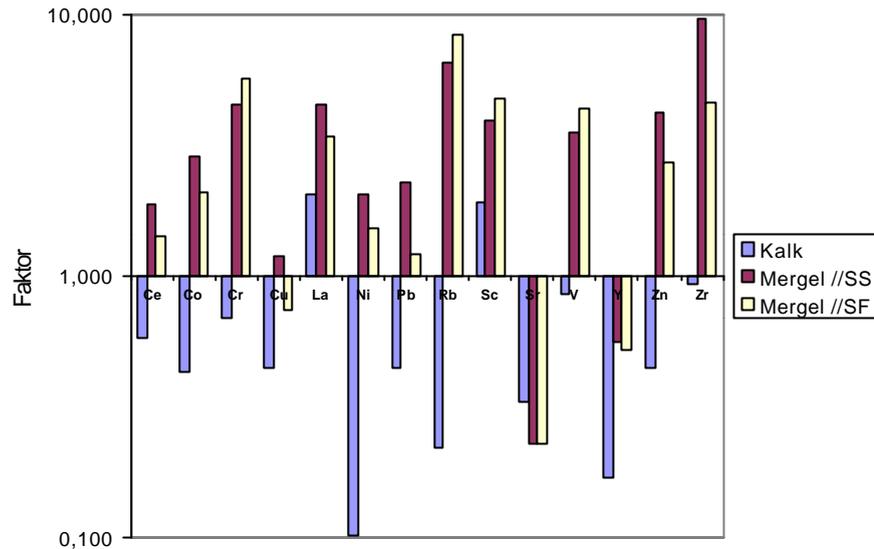


Abb. 6.5.1.c: Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Neben- und Spurenelemente von Proben aus dem Aufschluss Salder.

Die An-/Abreicherungen der Haupt-, Neben- und Spurenelemente verhalten sich sowohl in den Mergeln<sub>//SS</sub> als auch in den Mergeln<sub>//SF</sub> umgekehrt zu denen der Kalksteinproben. Dieses gegenläufige Verhalten beruht auf der bevorzugten Bindung der Elemente der „Residualgruppe 2“ und der „Lanthanoidengruppe 2a“ in/an die Tonminerale, beziehungsweise auf deren Verfügbarkeit in Zeiten geringer biogener Sedimentation. Dies erfolgt aufgrund einer verminderten Verdünnung durch die Karbonatproduktion.

Zusätzlich zeigen die Abreicherungen terrigener Elemente wie Al, Ti, Cr der Kalksteinproben, dass zur Zeit der Ablagerung die Einträge vom Land begrenzt gewesen sein müssen, und dass eine durch Drucklösung initiierte Ca-Zufuhr im Rahmen der Diagenese erfolgt sein muß. Für eine sekundäre Zufuhr sprechen die Ca-Anreicherungen in den Kalksteinen gegenüber dem Standard.

Ausnahmen sind Mn, Na, La und Sr. Diese Elemente, außer La, sind sowohl in den Kalksteinen als auch in den Mergeln<sub>//SS</sub> und den Mergeln<sub>//SF</sub> gegenüber dem Standard angereichert. Dagegen wird La in allen drei Lithologien angereichert. Ebenso wie Sc, welches ebenfalls in den Kalksteinen angereichert ist, korreliert La nicht mit Ca und spiegelt damit den terrigenen Einfluß wider.

## 6.5.2 Dörenthe

### Korrelationsmatrix der Elemente

Die Korrelationsmatrix der Originalproben (Anhang T-6.b.1) führt mit einer Wahrscheinlichkeit P von > 99,9 % zu folgenden Gruppierungen: Die Elemente Ca, Mn, Sr werden zu der Gruppe 1 (Karbonatgruppe) zusammengefasst. Die übrigen Elemente gehören der Gruppe 2

(Residualgruppe) an. Bei diesen Elementen handelt es sich um terrigene Elemente beziehungsweise um solche, die vorrangig an die residualen Tonminerale gebunden sind, oder terrigener Herkunft (z.B. detritischer Baryt) sind. Ausnahmen sind die Lanthaniden La und Ce. Sie korrelieren weder untereinander, noch mit den anderen Elementen der Gruppe 2 und werden als terrigene Elemente zu der Untergruppe 2a zusammengefasst.

Die Überprüfung der Korrelationen anhand der entkarbonatisierten Proben führt zu analogen Ergebnissen. Sr zeigt wiederum eine stark negative Korrelation zu den typisch terrigenen Elementen, eine positive zu P. Es wird davon ausgegangen, dass Sr ausschließlich in Kalzit und/oder Apatit substituiert wird.

Gruppe	Elemente
Gruppe 1	Ca, Sr, Mn
Gruppe 2	Si, Ti, Al, Fe, Mg, K, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, Sc, V, Y, Zn, Zr
Gruppe 2a	La, Ce

Tab. 6.5.2.a: Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Dörenthe: Gruppe 1= Karbonatgruppe; Gruppe 2= Residualfraktion mit Affinität zu den Tonmineralen, Baryt, Apatit und Zirkon.

### Vergleich der chemischen Zusammensetzung der unterschiedlichen lithologischen Komponenten

Die Vergleiche zwischen den Residuen der Kalksteine mit denen der Mergel<sub>//SS</sub> und der Mergel<sub>//SF</sub> ergeben eindeutige Unterschiede (Tab. 6.5.2.b und Tab. 6.5.2.c):

Lithologie	Elemente
Kalke > Mergel <sub>//SS</sub> und Mergel <sub>//SF</sub>	Si, Fe, P, Ce, Ni, Sn, Y, Zn
Kalke < Mergel <sub>//SS</sub> und Mergel <sub>//SF</sub>	Ti, Al, K, Ba, Cr, Rb, V, Zr

Tab. 6.5.2.b: Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der Kalke oder in den Residuen der Mergel aus Dörenthe.

Dieses Ergebnis gilt sowohl für die Vergleiche von gemittelten Daten der residualen Kalksteinproben mit denen der residualen schicht- und schieferungsflächenparallelen Mergelproben als auch für die Konzentrationsvergleiche der unterschiedlichen Lithologien einzelner Bankpaare.

Die Vergleiche der Konzentrationen der Mergelresiduen<sub>//SS</sub> und der Mergelresiduen<sub>//SF</sub> ergeben folgende Unterschiede:

Lithologie	Elemente
Mergel <sub>//SF</sub> > Mergel <sub>//SS</sub>	Si, Mn, K, P, Co, Cr, Ni, Rb, Sr, Y, Zn, Zr
Mergel <sub>//SF</sub> < Mergel <sub>//SS</sub>	Al, Cu, La, Pb, Sc,

Tab. 6.5.2.c: Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> oder in den Residuen der Mergel<sub>//SF</sub> aus Dörenthe.

Die Konzentrationsunterschiede zwischen den Mergelresiduen<sub>//SS</sub> und der Mergelresiduen<sub>//SF</sub> sind gering. Sie gelten jedoch für die Mittelwerte und für die Vergleiche von Konzentrationen der einzelnen Bankpaare.

Vereinfacht gilt für die Konzentrationen der karbonatfreien Proben:

$$\text{Si, P, Ni, Y, Zn}_{\text{Kalkstein}} > \text{Si, P, Ni, Y, Zn}_{\text{Mergel//SF}} > \text{Si, P, Ni, Y, Zn}_{\text{Mergel//SS}}$$

$$\text{Al}_{\text{Mergel//SS}} > \text{Al}_{\text{Mergel//SF}} > \text{Al}_{\text{Kalkstein}}$$

$$\text{K, Cr, Zr, Rb}_{\text{Mergel//SF}} > \text{K, Cr, Zr, Rb}_{\text{Mergel//SS}} > \text{K, Cr, Zr, Rb}_{\text{Kalkstein}}$$

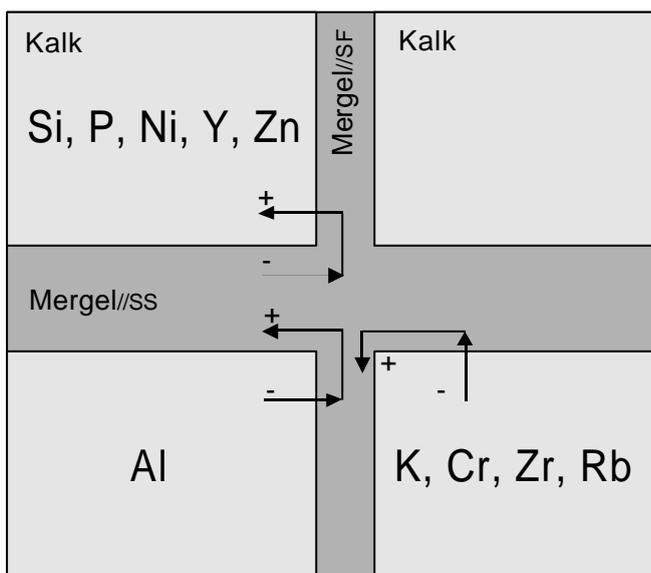


Abb. 6.5.2.a:  
Schematische Darstellung der Konzentrationsanstiege in den Proben aus dem Aufschluss Dörenthe auf karbonatfreier Basis. Der Pfeil zeigt in Richtung zunehmender Konzentration.

### Ergebnisse nach Normierung auf TSK nach Turekian & Wedepohl (1961)

Die TSK-normierten Kalksteine zeigen gegenüber den Tiefseekarbonaten eine Anreicherung des Ca um den Faktor 1,13. Weitere angereicherte Elemente sind La, Rb, Sc, Zr. Abgereichert werden Si, Ti, Al, Fe, Mn, Na, K, P. In den Mergeln sind die Hauptelemente Fe, Mn, Ca, Na und die Nebenelemente Cu, Sr, Y gegenüber den gemittelten Tiefseekarbonaten abgereichert. Die verbleibenden Elemente, zu entnehmen aus Abbildungen 5.3.2.a und 5.3.2.b, werden gegenüber der Norm angereichert.

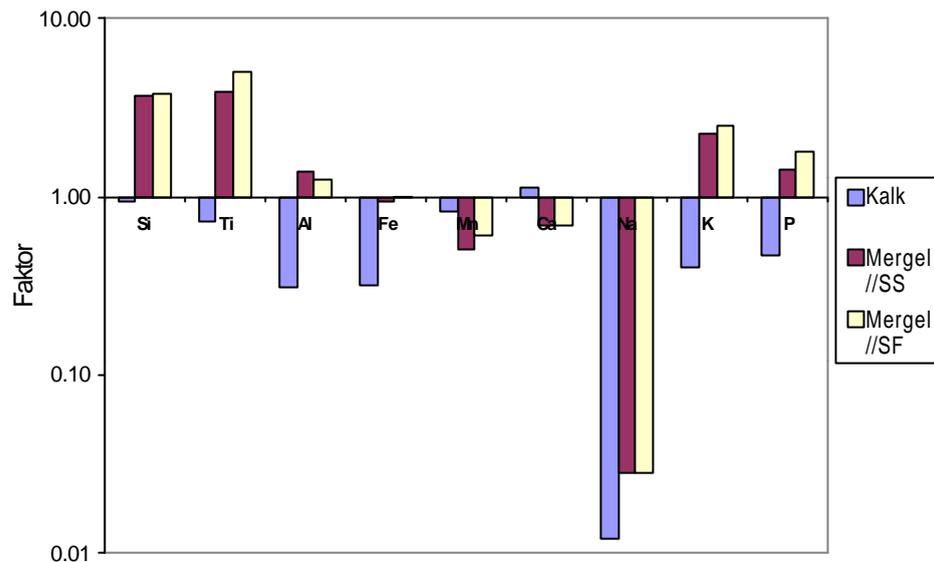


Abb. 6.5.2.b: Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Hauptelemente von Proben aus dem Aufschluss Dörenthe.

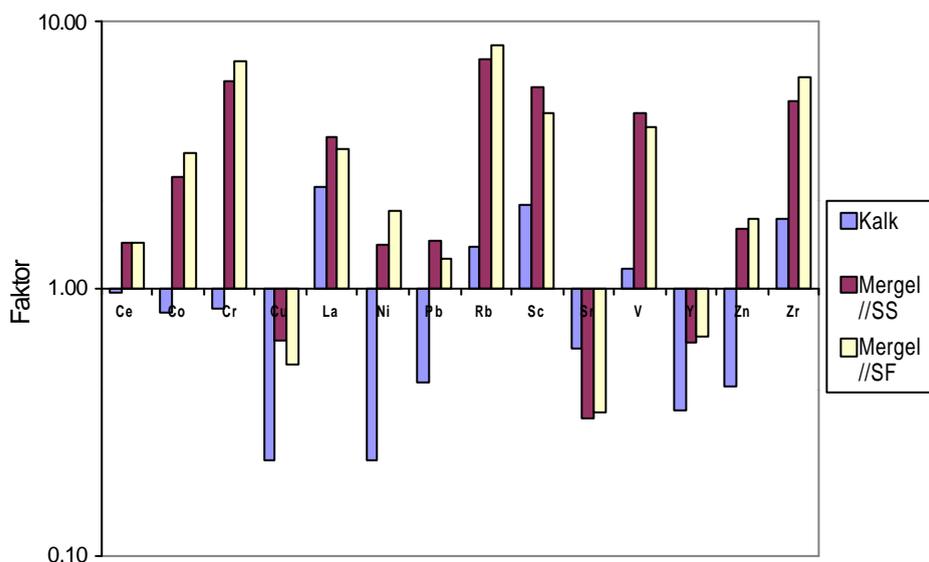


Abb. 6.5.2.c: Auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) normierte Neben- und Spurenelemente Proben aus dem Aufschluss Dörenthe.

### 6.5.2.1 Vergleich der TSK-normierten Daten der Gebiete Salder und Dörenthe

Die Kalksteinproben in Dörenthe entsprechen eher den gemittelten TSK-Proben als diejenigen aus Salder. Dies zeigt sich sowohl in den geringer abgereicherten Hauptelementen, ausgenommen Ca, als auch in den ab- und angereicherten Nebenelementen. Lediglich die Abreicherungen von Cu und Zn sind in Salder geringer, während Rb und Zr in den Kalksteinen angereichert sind und in denen aus Dörenthe nicht. Die Kalksteine beider Gebiete zeigen gegenüber dem TSK-Standard Ca-, La- und Sc-Anreicherungen. Sekundäre Mobilisationen werden als eine Ursache für die Ca-Anreicherungen angesehen. Hiergegen weisen die La- und Sc-Faktoren eher auf den Einfluß einer landnahen Paläoküste.

Die Mergel<sub>//SS</sub> und die Mergel<sub>//SF</sub> beider Gebiete verhalten sich mit Ausnahme von dem Element Cu gegenüber dem TSK-Standard gleich. Das heißt, die Elemente der „Residualgruppe 2“ und der „Untergruppe 2a“ werden bevorzugt angereichert und die Elemente der „Karbonatgruppe“ werden abgereichert. Die jeweilige Höhe der Elementanreicherungen beziehungsweise Abreicherungen ist jedoch in beiden Gebieten unterschiedlich.

### 6.5.2.2 Vergleich der Korrelationen der Festgesteinsproben aus Salder und Dörenthe

Der Einbau der Lanthaniden in die Karbonate (i.e.S. Kalzit) der norddeutschen Festgesteinsproben aus Salder und Dörenthe ist vernachlässigbar gering. Der siliklastische Anteil (Si/Ca zu Al/Ca) besteht in den Kalken, schichtflächen-parallelen Mergeln<sub>//SS</sub> und schieferungsflächen-parallelen Mergeln<sub>//SF</sub> beider Gebiete hauptsächlich aus Phyllosilikaten. Die Si/Ca zu Al/Ca-Korrelation liegt bei  $r = 0,99$ . Im Gegensatz zu den Proben aus N-Spanien wird in den Proben aus Norddeutschland das Silizium fast vollständig in den Schichtmineralen gebunden. Der freie Quarzanteil steigt von den Kalken über die Mergel<sub>//SF</sub> zu den Mergeln<sub>//SS</sub>. Der Quarzanteil ist in den Salder-Proben unabhängig von der Lithologie höher als in denen aus Dörenthe. Kalium ist in beiden Gebieten an die Phyllosilikate und in Spuren an die Feldspäte gebunden. Dies wird durch den K-Anstieg proportional zu dem des Al belegt. Die Korrelationskoeffizienten liegen bei 0,96 (Dörenthe-Proben) und bei 0,86 (Salder-Proben). Die geringere Signifikanz in Salder beruht auf der stark Al-konzentrierenden, tuffitischen Probe S10a. Monoton steigende Fe/Ca- zu Al/Ca-Verhältnisse belegen die Bindung des Fe an die Tonminerale. In einzelnen schichtflächen-parallelen Mergelproben kommt es zu Abweichungen von der Steigung. Während sich in Salder die Mergel<sub>//SS</sub> durch höhere Verhältnisse von den Mergeln<sub>//SF</sub> abgrenzen lassen, treten in den genetisch unterschiedlichen Mergelproben aus Dörenthe keine Unterschiede auf. Die Mg/Ca- zu Al/Ca-Verhältnisse der norddeutschen Proben zeigen, anders als die der spanischen Proben, einen linearen Verlauf. Bedingt durch die geringeren Mg-Konzentrationen der Proben aus Dörenthe verläuft deren lineare Steigung flacher. Mg ist hauptsächlich an die Tonminerale gebunden und nicht an die Karbonate. Hiergegen korreliert Mn nicht mit den Schichtsilikaten, sondern ist in den Proben beider Arbeitsgebiete an die Karbonatphase gebunden. Die REE/Ca- zu Al/Ca-Korrelationen sind in Dörenthe mäßig signifikant. Hiergegen treten die REE und Al in den Proben

aus Salder nur gering in Wechselwirkung. Im Gegensatz zu den Proben aus Norddeutschland zeigen die Proben aus den spanischen Untersuchungsgebieten einen linearen Anstieg der REE-Konzentrationen mit zunehmenden Al-Konzentrationen. Die REE/Ca- und Zr/Ca-Darstellung zeigt ein breites, ansteigendes Band der Verhältnisse. Die REE sind daher nicht ausschließlich an die Zirkone oder an die Tonminerale gebunden. Die REE-Konzentrationen werden in den Mergel- und Kalkproben aus Salder stärker von den höheren und sporadisch im Sediment auftretenden Zirkongehalten geprägt als in den Proben aus Dörenthe.

### 6.5.3 Perubecken

#### Korrelationsmatrix der Elemente

Die Matrix basiert auf den RFA-Daten der chemisch unaufbereiteten < 2 $\mu$ -Fraktion der Reihe 1 (Proben aus Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind) (Anhang T-6.d.1.1).

Anhand der Daten können folgende Gruppierungen (Tab. 6.5.3.a) vorgenommen werden: Ca, Ba, Co, Cu, La, Mg, Mn, Y, P werden in der Gruppe 1 zusammengefasst. Hierzu gehören auch Sr, Ni, Zn. Ihre Signifikanz ist jedoch geringer. Diese Gruppe entspricht in etwas der Karbonatgruppe der Untersuchungsgebiete Salder, Dörenthe, Gordoa, Urrunaga, welche sich in ehemaligen epikontinentalen Becken befinden, zuzüglich der hydrogenen Elemente (Marchig & Gundlach, 1977). Sie wird daher auch als hydrogene Gruppe bezeichnet. Rb, Al, Ti, Si, Fe, K, Cr sind terrigene Elemente und bilden die Gruppe 2.

Gruppe	Elemente
Gruppe 1;	Ca, Mg, Mn, P, Ba, Co, Cu, La, Sr, Ni, Y, Zn
Gruppe 2;	Al, Ti, Si, K, Cr, Fe, Rb, Sc, V
Gruppe 3;	(Pb), (Zr), (Ce)

Tab. 6.5.3.a: Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der < 2 $\mu$ -Fraktion von Proben aus dem Perubecken.

Ce, Pb und Zr korrelieren sehr gut untereinander und mit den Elementen La, P und Y. Diese Elemente zeigen eine erhöhte Affinität zu detritischem Zirkon, authigenem Apatit und den Tonmineralen. Da eine eindeutige Zuordnung zu den hydrogenen oder terrigenen Elementen nicht möglich ist, werden diese Elemente gesondert in Gruppe 3 zusammengefasst.

Die Korrelationsmatrizen der Gesamtproben der Reihe 1 und der der Reihe 2 führen zu analogen Korrelationsgruppen wie die der < 2-Fraktion der Probenreihe 1.

### Abgrenzung der detritischen, hydrothermalen und biogener Einflussfaktoren

Proben, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind, wurden auf mögliche „Fremdsignale“ wie die detritischen, hydrothermalen und biogenen Einträge überprüft.

Die detritische Komponente wird durch  $\text{Al}_2\text{O}_3$  repräsentiert. Die Homogenität wurde durch die lineare Relation zwischen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und der detritischen Komponente  $\text{TiO}_2$  überprüft. Es besteht eine Korrelation von  $r = 0,93$ . Spezielle Anreicherungen an Al durch detritische Einträge von Feldspat- und/oder Tonmineralen sind daher im Nord- und im Südgebiet auszuschließen.

Die Abgrenzung der hydrothermalen Signale erfolgte mit Hilfe einer einfachen Diskriminierung (Boström, 1974; Boström et al., 1973):

$$\text{Al} / (\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn}) \quad (\text{Formel 6.5.3.a})$$

Nach dieser Diskriminierung kann in den untersuchten Tiefseesedimenten der Reihe 1 (Gesamtproben und Proben der  $< 2\mu$ -Fraktion) das hydrothermale Signal vernachlässigt werden (Anhang T-10).

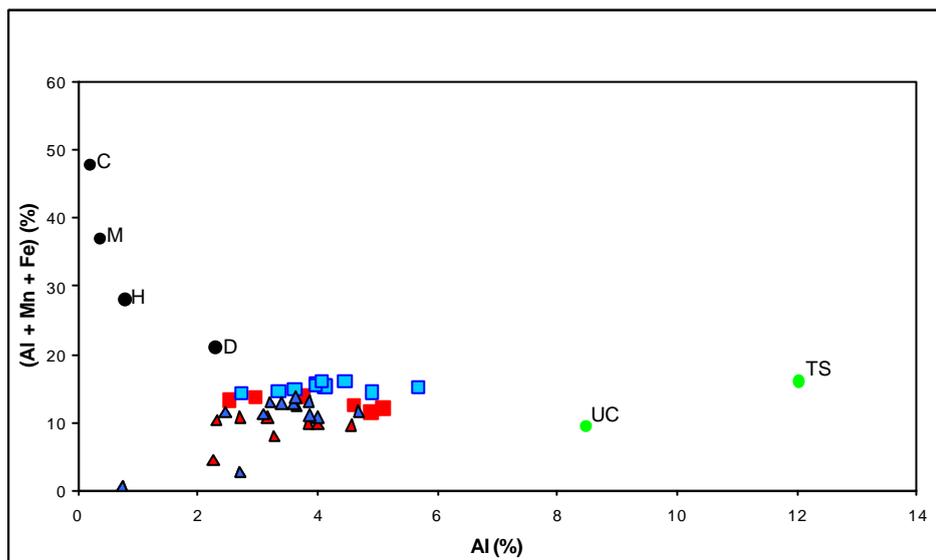


Abb. 6.5.3.a: Abschätzung des hydrothermalen Faktors. Dargestellt werden die Proben der Reihe 1 ( $\Delta$  = Gesamtproben;  $\bar{y}$  =  $< 2\mu$ -Fraktion; rot = Nordgebiet; blau = Südgebiet) im Vergleich zu hydrothermalen oder hydrothermal beeinflussten Sedimenten. M = hydrothermale Ausfällungen;  $< 63\mu$ -Fraktion; East Pacific Rise (Marchig & Gundlach, 1982); H = hydrothermale tonreiche Ablagerungen. FAMOUS Gebiet; Mittelatlantischer Rücken (Hoffert et al., 1978); C = Hydrothermale Ablagerungen; Galapagos Mounds (Moorby & Cronan, 1983); D = metallreiche Ablagerungen aus dem Bauer Deep; Zentral-Pazifik (Dymond et al., 1973). TST = Tiefseetone (Martin & Whitfield, 1983); UC = Upper Crust (Taylor & McLennan, 1981).

Aus der Abbildung (Abb. 6.5.3.a) geht deutlich die Abgrenzung der Proben (Gesamtproben und Proben der  $< 2\mu$ -Fraktion) durch höhere Al- und geringere Mn- sowie Fe-Konzentrationen von den

hydrothermalen und hydrothermal beeinflussten Sedimenten hervor. Es wird zusätzlich die Abgrenzung der Proben von den TST-Daten und den UC-Daten durch geringere Al-Konzentrationen deutlich. Die Fe- und Mn-Konzentrationen sind im Südgebiet (geringere Sedimentationsraten) höher als im Nordgebiet (höhere Sedimentationsraten), speziell als die Proben des Kerns 9KL aus dem Nordgebiet. Gegenüber den gemittelten Tiefseetondaten sind die Gesamtproben, insbesondere die aus dem Nordgebiet, an Al, Mn und Fe angereichert. Insgesamt kann ein hydrothermaler Einfluss auf die Proben der Reihe 1 ausgeschlossen werden.

Nach Boström et al. (1973) liegt die gemittelte Sedimentzusammensetzung aus Material der Oberen Kruste in einem Verhältnis von  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3$  vor.  $\text{SiO}_2$ -Konzentrationen, die zu einem Verhältnis über 3 führen, repräsentieren den Anteil an biogenem Silizium, dem Opal. Der normative Überschuss darf jedoch nur als grobe Abschätzung verstanden werden (Tab. 6.5.3.b).

	Reihe 1		Reihe 2
	< 2 $\mu$	Gesamtprobe	Gesamtprobe
Nordgebiet	57	57	55
Südgebiet	50	49	46

Tab. 6.5.3.b: Normativer Opalanteil am Gesamtsilizium in %. Für den Vergleich sind die Daten der Reihe 2 mit Proben oberhalb und unterhalb der CCD auf karbonatfreier Basis aufgeführt worden.

Nach der normativen Methode von Boström et al. (1973) erfolgt eine Abnahme des Opals von dem äquatornäheren Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten zu dem Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten (Tab. 6.5.3.b; Anhang T-9). Dieser Trend zeichnet sich sowohl für die unterhalb der CCD abgelagerten Proben als auch für die oberhalb der CCD abgelagerten Proben ab. Letztere weisen geringfügig höhere Unterschiede zwischen den Gebieten auf. Als Ursache wird die Untersättigung des Meerwassers und die resultierende Anlösung kleiner Organismenreste angesehen. Der normative Opalanteil korreliert negativ zu dem detritischen Faktor  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r > -0,9$ ). Die Gesamtproben der Reihe 2 zeigen durch Streuungen von Einzelproben Korrelationen von  $r = 0,19$  (Norden) und  $r = -0,64$  (Süden).

Das Gesamtsilizium/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis weist eine mäßig positive Signifikanz um  $r = 0,73$  auf. Diese Abweichungen belegen indirekt den biogenen Anteil. Insgesamt sind die Unterschiede des biogenen  $\text{SiO}_2$  des Nord- und des Südgebietes eher gering, so dass auf das biogene  $\text{SiO}_2$  nachfolgend nicht weiter eingegangen werden muss. Gleiches gilt für den Anteil an detritischen Quarz.

### Phosphat (Apatit)

Die Phosphatkonzentrationen sind im Nordgebiet geringer als im Süden und verhalten sich somit gegenläufig zur Bioproduktivität, die in Richtung zum Äquator zunimmt. Die  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Anreicherungen im Süden beruhen auf den niedrigeren Akkumulations- und Sedimentationsraten. Die

Phosphatkonzentrationen sind in der Reihe 1 (Proben, die unterhalb der CCD abgelagert wurden) höher als in der Reihe 2 (Proben, die um die CCD abgelagert wurden). Die Oberflächenproben der Reihe 2 sind gegenüber denen, die bei einer größeren Kerntiefe abgelagert worden sind, an P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> verarmt. Für die Gesamtuntersuchungen ist der Anteil an P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, gebunden in den anorganischen Apatitausfällungen, jedoch vernachlässigbar.

### Barium

Barium wird durch Baryt repräsentiert und steht für das biogene Signal (Dymond et al., 1992). Eine Abschätzung des biogenen Ba erfolgt über das Ba/Al-Verhältnis (Calvert, 1976). Untersuchungen an den Gesamtproben der Reihe 1 zeigen eine minimale Abnahme des Gesamtbariums von Süd nach Nord (Tab. 6.5.3.c).

Reihe	Gebiet	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ba (ppm)	Ba/Al
Reihe 1; < 2μ-Fraktion	Nord	7,70	11230	0,295
	Süd	7,48	11269	0,287
Reihe 1; Gesamt	Nord	6,18	11162	0,344
	Süd	6,78	13435	0,385

Tab. 6.5.3.c: Die Verteilung der Ba-Konzentrationen der Proben der Reihe 1, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind.

Nach (Boström et al., 1973) gilt:

$$\mathbf{Ba_{bio} = Ba_{ges} - [Al_{Probe} \times (Ba/Al)_{Erdkruste}]}$$
 (Formel 6.5.3.b)

Nach Taylor (1964) liegt das Ba/Al-Verhältnis zwischen 0,005 und 0,01. Das Mittel beläuft sich auf 0,0075. Wedepohl (1991) gibt ein Mittelwert von 0,0065 an. Bei der Anwendung der Formel ergeben sich teilweise negative Werte. Aufgrund fehlender Daten ist die Bestimmung eines Korrekturfaktors über den Gehalt an Schalen und an C<sub>org</sub> nicht möglich. Daher werden alle negativen Ergebnisse gleich Null gesetzt. Nach den daraus resultierenden Daten bestehen keine Konzentrationsunterschiede zwischen dem normativen Ba<sub>bio</sub> im Norden und dem im Süden. Das Ba<sub>bio</sub> kann daher als biogenes Fremdsignal bei nachfolgenden Betrachtungen unberücksichtigt bleiben.

## **Vergleich von Probensätzen der Sedimente, die unterhalb der CCD abgelagert wurden (Reihe 1) mit solchen, die sowohl unterhalb und oberhalb der CCD abgelagert wurden (Reihe 2)**

Die verglichenen Proben sind karbonatfrei und frei von der labilen Fraktion.

### **Hauptelemente**

Die Elemente Ti, Al, Fe, Mn, Mg, K und P werden im Südgebiet sowohl in den Gesamtproben der Reihe 1 als auch in den Gesamtproben der Reihe 2 stärker akkumuliert. Umgekehrt wird Si höher im Nordgebiete angereichert.

In der < 2 $\mu$ -Fraktion beider Probenreihen sind die Elemente Fe, Mn, Mg, P im Südgebiet höher akkumuliert als im Nordgebiet, während K und Ti in beiden Gebieten gleich stark konzentriert sind. Si und Al sind im Nordgebiet stärker angereichert. Die Unterschiede der Akkumulationshöhen der aufgeführten Hauptelemente sind insgesamt geringer als die der Gesamtproben.

### **Neben- und Spurenelemente**

In den Gesamtproben sind die Elemente Ba, Ce, Co, La, V, W und Y im Süden höher angereichert, während Cr im Norden verstärkt akkumuliert wird.

Ein ähnliches Bild zeigt sich in der < 2 $\mu$ -Fraktion. Cr ist stärker im Norden, Ba, Ce, Co, La, V, W und Y dagegen stärker im Süden angereichert. Wie bei den Hauptelementen sind die Konzentrationsunterschiede in der < 2 $\mu$ -Fraktion gegenüber der Gesamtprobe geringer.

### **Abweichende Elemente**

Die Ni- und Cu-Konzentrationen sind mit Vorbehalt zu betrachten. Zwischen den Gebieten bestehen keine Unterschiede oder es findet im Südgebiet eine Korngrößenunabhängige Elementanreicherung statt. Umgekehrt sind die Zn-Konzentrationen mit Ausnahme der gemittelten Gesamtproben der Reihe 1 im Norden höher. Sc und Rb sind in den Gesamtproben im Süden angereichert und zeigen innerhalb der Tonfraktion keine Konzentrationsunterschiede. Rb kann dort sogar etwas abgereichert sein. Das Element Sr ist in der Reihe 2 (mit Proben oberhalb und unterhalb der CCD) gegenüber den Proben der Reihe 1 angereichert. Dieser Unterschied beruht auf der Sr-Substitution in die Karbonate. Hervorzuheben ist der Konzentrationsunterschied der REE (Ce, La und Y) zwischen den Gebieten. Diese Elemente zeigen immer eine deutliche, Korngrößenunabhängige Elementakkumulation im Süden gegenüber dem Norden. Nochmals zu erwähnen ist die Verringerung der Konzentrationsunterschiede zwischen den Gebieten von den Gesamtproben zu der < 2 $\mu$ -Fraktion, unabhängig davon, ob die Proben oberhalb oder unterhalb der CCD abgelagert worden sind (Anhang T-6.d.1.1; Anhang T-6.d.1.2; Anhang T-6.d.2.1; Anhang T-6.d.2.2; Anhang T-6.d.2.3; Anhang T-6.d.2.4).

## Die Elementkonzentrationen der Lockersedimente im Verhältnis zu den Sedimentationsraten

Untersucht wurden die Gesamtproben und die Proben der abgetrennten  $< 2\mu$ -Fraktion der Reihe 1 mit sowie Proben der Reihe 2. Generell kann eine Abnahme der Korrelations-Signifikanzen (Elementanreicherung/Sedimentationsrate) der unterhalb der CCD abgelagerten Sedimente zu Sedimenten, die oberhalb der CCD abgelagert wurden, festgestellt werden. Zur Vereinfachung erfolgt folgende Einteilung: -0,2 bis 0,2 keine Signifikanz, -0,21 bis -0,4 beziehungsweise 0,21 bis 0,4 mäßige Signifikanz, -0,41 bis -1 beziehungsweise 0,4 bis 1 hohe Signifikanz. Der an die Karbonate gebundene CaO-Anteil und auch das „Rest-CaO“ (Apatit) werden nachfolgend als CaO-Konzentration zusammengefasst.

## Hauptelemente

Mit wachsenden Sedimentationsraten steigen in den Proben aller Reihen die  $\text{SiO}_2$ -Konzentrationen mäßig bis hoch signifikant an. Lediglich die unaufbereiteten Proben der Reihe 2 zeigen schwache Verdünnungen mit steigenden Sedimentationsraten. Diese Verdünnungen beruhen auf den oberhalb der CCD konservierten Karbonatschalern. Dementsprechend steigen die CaO-Konzentrationen in den karbonathaltigen Proben der Reihe 2 mit steigenden Sedimentationsraten mäßig an. Allgemein erfolgen jedoch negative Korrelationen. Die Konzentrationen von MnO und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  korrelieren in den ober- und unterhalb der CCD abgelagerten Sedimenten negativ. Die Signifikanzen sind in den Proben der Reihe 1 hoch, in denen der Reihe 2 mäßig. Die Abhängigkeit von der Sedimentationsrate und dem primären Karbonatgehalt wird am Beispiel von  $\text{P}_2\text{O}_5$  deutlich (Abb. 6.5.3.b).

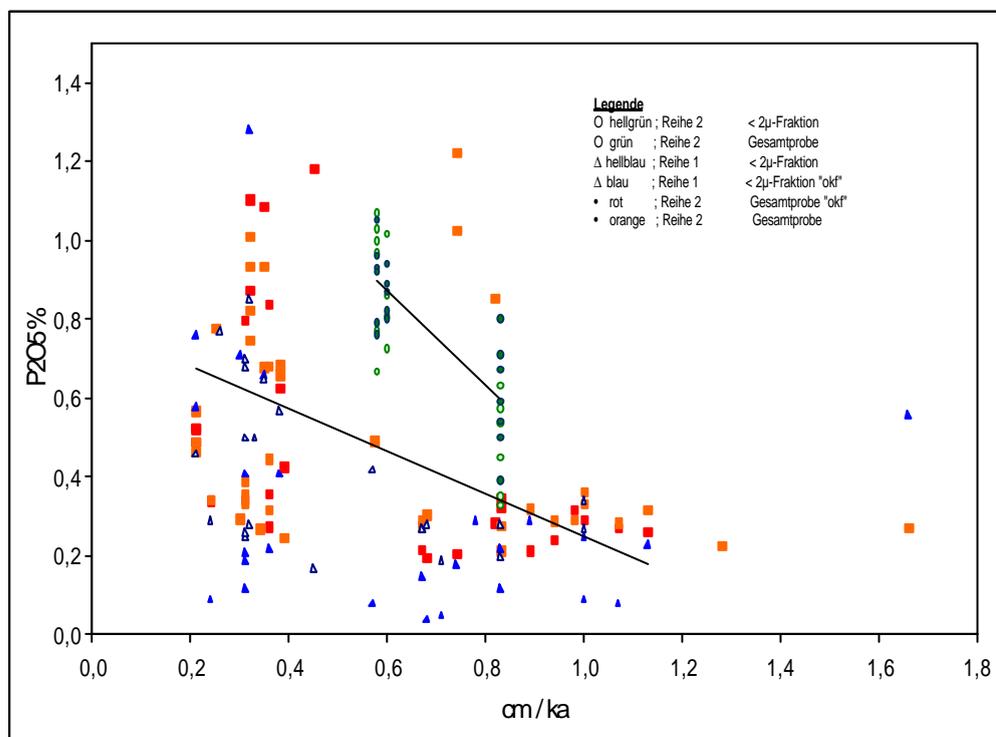


Abb. 6.5.3.b: Abbildung der  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Sedimentationsrate (cm/ka) am Beispiel von Proben aus dem Perubecken. „okf“= organik- und karbonatfrei.

Die unterhalb der CCD abgelagerten Proben (Reihe 1) zeigen auch bei höheren Sedimentationsraten höhere negative Signifikanzen bei gleichzeitig höherer  $P_2O_5$ -Anreicherung als in Sedimenten, die oberhalb der CCD abgelagert worden sind.

Die  $TiO_2$ -,  $K_2O$ - und  $Al_2O_3$ -Konzentrationen in den untersuchten Sedimentabschnitten zeigen mäßige oder geringe Abhängigkeiten von den Sedimentationsraten.

### **Nebenelemente**

Die Elemente Co, La, Y und Zn zeigen in den Proben aus Sedimenten, welche unterhalb der CCD abgelagert wurden, starke Abnahmen der Konzentrationen mit steigenden Sedimentationsraten. Beprobte Sedimente mit Ablagerung oberhalb der CCD zeigen für diese Elemente kaum Signifikanzen. Die Konzentrationen der angereicherten Elemente Ba, Cu und Ni korrelieren schwach negativ mit den Sedimentationsraten. In der  $< 2\mu$ -Fraktion der Reihe 1 hat die Sedimentationsrate keinen Einfluss auf die Ba-, Cu- und Ni-Akkumulation.

Die Elemente Ce und V werden mäßig bis stark bei steigender Sedimentationsrate abgereichert. Hierbei zeigen alle Proben aus oberhalb der CCD abgelagerten Sedimenten eine stärkere negative Signifikanz, welche auf der Verdünnung durch die biogene Komponente, hauptsächlich durch die Karbonatschaler, beruht.

Die Konzentrationen von Cr, Pb, Rb in den oberhalb und unterhalb der CCD (Reihe 2) abgelagerten Sedimenten zeigen eine minimale bis fehlende Abhängigkeit von den Sedimentationsraten.

Insgesamt kann gesagt werden, dass es sich bei den Elementen mit hohen bis mittleren negativen Korrelationen der Konzentrationen zu den Sedimentationsraten, mit Ausnahme von V und Ce, um hydrogene Elemente handelt: Es sind die Elemente Ba, Co, Cu, Ni, La, Y, Zn beziehungsweise  $MnO$ ,  $P_2O_5$ . Hiergegen zeigen die terrigenen Elemente beziehungsweise Oxide wie  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ , Cr, Pb tendenziell geringe negative bis fehlende Korrelationen zu den Sedimentationsraten. Für die Sedimente aus dem Perubecken bedeutet dies, dass hauptsächlich die Höhe der Bioproduktion, i. e. S. der Anteil an Ca und Si, die Höhe der Sedimentationsraten steuert und dementsprechend die Verdünnung der Elementkonzentrationen erfolgt, hingegen die terrigenen Einträge eine untergeordnete Rolle spielen. Die hydrogenen Elemente, deren Konzentrationen von den Verdünnungen stärker beeinflusst werden, repräsentieren die „statistische Hintergrund-sedimentation“.

Die Anreicherungen der Elemente in der Tonfraktion der Reihe 1 (Proben aus unterhalb der CCD abgelagerten Sedimenten) verhalten sich schwächer umgekehrt proportional zu den Sedimentationsraten als die Gesamtproben dieser Reihe. Dieser Trend trifft auf die Proben der Reihe 2 (Proben, die oberhalb und unterhalb der CCD abgelagert worden sind) nicht zu.

### Vergleich der Elementkonzentration der < 2 $\mu$ -Fraktion der Probenreihe 2 mit den gemittelten Tiefseetondaten von Martin und Whitfield (1983)

Um festzustellen, wie typisch die tonigen Sedimentproben aus dem Perubecken gegenüber anderen Tiefseetonen sind und um die Proben untereinander besser auf feine Unterschiede innerhalb der Zusammensetzung und der Elementanreicherung als Funktion der Sedimentationsrate vergleichen zu können, wurden die Daten auf die gemittelten Tiefseetondaten von Martin und Whitfield (1983) normiert.

#### Hauptelemente

Gegenüber den gemittelten Tiefseetondaten von Martin und Whitfield (1983) wurden die Hauptelemente Si, Ti, Al und K abgereichert. Kern 9KL weicht am geringsten von der Norm ab. Die Elemente Ti, Al und K zeigen in den Kernen 6KL und 141KL unter Einbezug der ortsabhängigen Sedimentationsraten eine zunehmende Abreicherung mit der Tiefe. Schwache Ansätze einer Tiefenabhängigkeit finden sich auch in den Kernen 9KL und 169KL. Die angereicherten Elemente Fe, Mn, Mg, Ca und P weisen generell keinen tiefenabhängigen Trend auf. Schwache Konzentrationsanstiege mit der Tiefe treten in Kern 141KL für Mg, Fe, Ca auf. Die Mangananreicherungen gegenüber den gemittelten Tiefseetonen beschränken sich auf die Proben des Kerns 9KL.

Die Elementverteilung von Kern 9KL ist der der TST am ähnlichsten. Am stärksten weichen die Kerne aus dem Gebiet der niedrigen Sedimentationsraten im Süden von der Norm ab. Dieser Trend wird bei der Mn-Akkumulationen besonders deutlich.

#### Neben- und Spurenelemente

	Neben- und Spurenelemente
Angereicherte Elemente	Ba, Cu, Co*, La, Ni, Sc, Sr, Y, Zn
Abgereicherte Elemente	Ce, Cr, Pb, Rb, V

Tab. 6.5.3.d: Elemente mit einer eindeutigen Anreicherung in den untersuchten Proben der Reihe 1 gegenüber den gemittelten Tiefseetondaten (TST) von Martin und Whitfield (1983). Co\* wird in den Proben des Nordgebietes sowohl an- wie auch abgereichert.

Bei den angereicherten Elementen (Tab. 6.5.3.d; Anhang T-6.c.1) handelt es sich mit Ausnahme von Sc um die sogenannten hydrogen-residualen Elemente (Marchig und Gundlach, 1977), die den authigenen Signalen im Meer und den oberflächennahen Sedimenten zugeordnet werden. Ihr Einbau in die Sedimentkomponenten erfolgt mit Ausnahme des „Scavengers“ Co über organische Nährstoffaufnahmen (Ba, Ni, Zn) sowie Freisetzungen oder über einen kombinierten Nährstoff-

Adsorptionszyklus (Cu, La, Y). Elemente des Scavenging-Typs zeigen im Süden gegenüber dem Norden eine höhere Anreicherung. Zn als typischer Vertreter des Nährstofftyps ist im Norden stärker angereichert. Bei den abgereicherten Elementen Cr, Rb, Pb, V handelt es sich um solche, die vorrangig über terrigene Einträge in das Meer gelangen. Rb zeigt in beiden Gebieten eine zunehmende Abreicherung mit der Tiefe.

#### 6.5.4 N-Spanien (Gordoa und Urrunaga)

##### Korrelationsmatrix der Elemente

Anhand der Korrelationen der Elementverteilungen ergeben sich zwei Elementgruppen (Tab. 6.5.4; Anhang T-6.c.1). Die Gruppe 1 (Karbonatgruppe) besteht aus Ca, Sr, Mg. Gruppe 2 repräsentiert die „Residualgruppe“ mit den übrigen Elementen. Von den Lanthaniden kann nur Y deutlich in die zweite Gruppe eingeordnet werden. La fällt unter die RFA-Nachweisgrenze und in einigen Proben liegt auch Ce darunter. Bei Überschreitung der Nachweisgrenze fällt Ce in die Gruppe 2 (Residualgruppe).

Gruppe	Element
Gruppe 1	Ca, Sr, Mg
Gruppe 2	Si, Ti, Al, Fe, (Mn), K, (P), Ba, Cr, Ni, Pb, Rb, V, Y, Zn, Zr

Tab. 6.5.4: Geochemische „Korrelationsgruppen“ der Elemente der Gesamtproben aus Gordoa und Urrunaga.

Ein Vergleich der karbonatfreien Proben ergibt noch in eine weitere Abgrenzung (Anhang T-6.c.2). Dieser Gruppe gehören dann Y, Ce, P und bedingt Mn an. Bis auf das Übergangsmetall Mn werden diese Elemente bevorzugt in Apatit und anderen Phosphaten eingebaut. Weiterhin zeigen Korrelationen auf entkarbonatisierter Basis, dass Mg in den Proben aus Gordoa und Urrunaga sowohl in den Karbonaten als auch in den Tonmineralen substituiert wird.

##### Vergleich der chemischen Zusammensetzung der unterschiedlichen lithologischen Komponenten

In dem Gebiet Gordoa fand vom Cenoman bis Santon eine Beckenvertiefung von < 300 m auf 1000 m statt. Diese Beckenvertiefung und die überregionale Transgression in der Oberkreide führten zu keiner nachweisbaren Änderung des Chemismus. Es erfolgte nicht, wie vermutet, eine Zunahme der hydrogenen Elemente mit zunehmender Wassertiefe. Ebenso lassen die unterschiedlichen Systemtrakte keinen eindeutigen chemischen Trend erkennen. Unter Vorbehalt erfolgt jedoch mit der steigenden überregionalen Transgression eine schwache Zunahme der Al-, K-, Ba- und Rb-Konzentrationen. Dieser Anstieg weist auf eine generelle Zunahme der Tonminerale im Becken. Deutlicher werden die Gegensätze zwischen den Proben mit primär unterschiedlichen Karbonatkonzentrationen, bei denen es sich vermutlich um Parasequenzen

handelt. Mit Abnahme der primären Karbonatkonzentrationen konzentrieren die Residuen der Proben mehr Al, Ti, K, Rb, Cr, Ba und Zr. P verhält sich gegenläufig.

In Urrunaga sind die Schwankungen der Konzentrationen, ausgenommen die der Karbonatgehalte, im Vergleich zu denen aus Gordoia größer. Die überregionale Transgression in der Oberkreide führte einhergehend mit einer zunehmenden Meerestiefe zu einer schwachen Zunahme der Al-, Mg- und K-Konzentrationen.

Kleinräumige Meeresspiegelschwankungen zeigen, dass mit Abnahme des primären Karbonatgehaltes, unter Ausschluss der stark verkieselten Mergelprobe Ur2-a, ein Anstieg der Konzentration der Hauptelemente Ti, Al, K erfolgt. Gleichermäßen und einschließlich der Probe Ur2-a verhält es sich mit den Neben- und Spurenelementen Ba, Cr, Cs, Ni, Pb, Rb, Zn, Zr. Hiergegen sinkt das vollständig an die Karbonatphase gebundene Sr mit zunehmender Wassertiefe und Abnahme der Karbonatkonzentrationen.

#### **Normierung auf TSK**

Zwischen den Gordoia- und Urrunagaprobe gibt es bezogen auf die Elementverteilung kaum Unterschiede, Urrunaga entspricht jedoch eher den gemittelten TSK-Daten und die SiO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind geringer als in Gordoia.

Die Elemente Al, Fe, Mn, Ca, K, P sind gegenüber den TSK-Daten abgereichert. Mit Ausnahme von Ti sind die Faktoren dieser Elementan-/Abreicherungen in den Gordoia-Proben höher als die in Urrunaga. Die Ca-Abreicherung ist in beiden Gebieten identisch. Si und Ti sind nur in den Gordoia-Proben gegenüber dem Standard angereichert.

Von den Neben- und Spurenelementen, die einheitlich über der RFA-Nachweisgrenze liegen, sind die Elemente Cr, Rb, Sc, V, Zr gegenüber dem Standard angereichert. Der Anreicherungsfaktor liegt bei den Proben aus Urrunaga höher. Ba, Ce, Co, Sr, Y, Zn sind in beiden Gebieten abgereichert, wobei diese Elemente in den Gordoia-Proben mit Ausnahme von Co und Sr eine stärkere Abreicherung zeigen.

#### **6.5.4.1 Elementkorrelationen der Lanthaniden-substituierenden Minerale in den Kalken und den Mergeln von Gordoia und Urrunaga**

Aufgrund der stark negativen Korrelation der Summe der REE und des La zu Ca, dem „Stellvertreter“ für Kalzit, kann der Einbau in die Kalzitpräzipitate und Kalzitschaler vernachlässigt werden. Der siliziklastische Anteil, Quarz (Si) und die Schichtminerale (Al), in den Beckensedimenten zeigt bei der Si/Ca- zu Al/Ca-Korrelation ein breites, positiv anwachsendes Band (Abb. 6.5.4.1.a). Der Quarzanteil führt zu Abweichungen von dem linearen Verlauf, da das Gesamtsilizium in den Mergeln und Kalken von den Phyllosilikaten (Al) und von freiem Quarz

konsumiert wird. Die Bindung des Siliziums an die detritischen Zirkone kann aufgrund der geringen Zr-Konzentrationen vernachlässigt werden. Einen linearer Anstieg von den Kalken zu den Mergeln erfolgt für das an die Schichtsilikate gebundene Element K (Abb. 6.5.4.1.b). Die  $K_2O/Al_2O_3$ -Verhältnisse auf karbonatfreier Basis liegen zwischen 0,11 und 0,14. K-Träger sind in beiden Untersuchungsgebieten Kalifeldspat und illitische/muskovitische Phyllosilikate. Das linear steigende Verhältnis Fe/Ca- zu Al/Ca (Abb. 6.5.4.1.c) zeigt die Bindung des Eisens an die Tonminerale. Die Fe- und Al-Konzentrationen steigen monoton von den Kalken Gordoas über die Kalke Urrunagas zu den Mergeln dieser beiden Gebiete an. Dagegen zeigt die Mg/Ca- zu Al/Ca-Darstellung (Abb. 6.5.4.1.d) eine breite Zone, die eine bevorzugte Bindung des Mg an die Tonminerale ausschließt. Ein Teil des Mg ist daher in der Karbonatphase gebunden. Das Mn/Ca- zu Al/Ca-Verhältnis (Abb. 6.5.4.1.e) zeigt einen linearen, schwach ansteigenden Trend mit wachsenden Al-Konzentrationen. Der Korrelationskoeffizient ( $r$ ) liegt bei 0,8. Dies bedeutet, dass die Tonminerale der Mergel geringfügig mehr Mn enthalten als die der Kalksteine. Eine Auftrennung nach den Gebieten zeigt eine hohe Korrelation ( $r= 0,9$ ) der Proben Urrunagas und somit eine gute Bindung des Mn an die Tonminerale. Dagegen zeigen die Proben Gordoas eine geringe Korrelation von Mn/Ca und Al/Ca ( $r= 0,21$ ) und somit eine vernachlässigbare Bindung des Mn an die Tonminerale. Es konnte in diesen Proben jedoch auch keine Korrelation zu Ca ( $r= 0,06$ ), dem Anzeiger für Kalzit, nachgewiesen werden. In den Proben Urrunagas besteht ebenfalls keine Korrelation ( $r= -0,6$ ) von Mn und Ca.

Das Verhältnis von REE/Ca- zu Al/Ca-Darstellung (Abb. 6.5.4.1.f) deutet auf eine Zunahme der REE-Konzentrationen mit einem zunehmenden Tonmineralanteil hin. Die Tonminerale sind durch einen bevorzugten Fe-Einbau gekennzeichnet. Die höheren absoluten REE-Konzentrationen in den Urrunagaprobe n beruhen auf dem höheren Anteil an detritischen Zirkonen gegenüber den Proben aus Gordoas. Mit Zunahme des Tonanteils in den Sedimenten steigt der Anteil detritischer Zirkone, beziehungsweise die Zr-Konzentration.

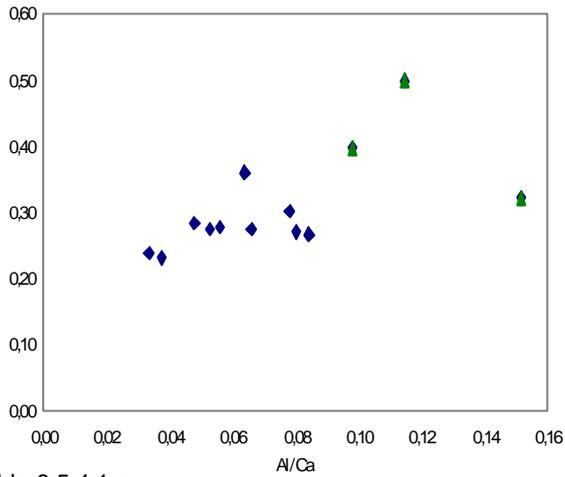


Abb. 6.5.4.1.a

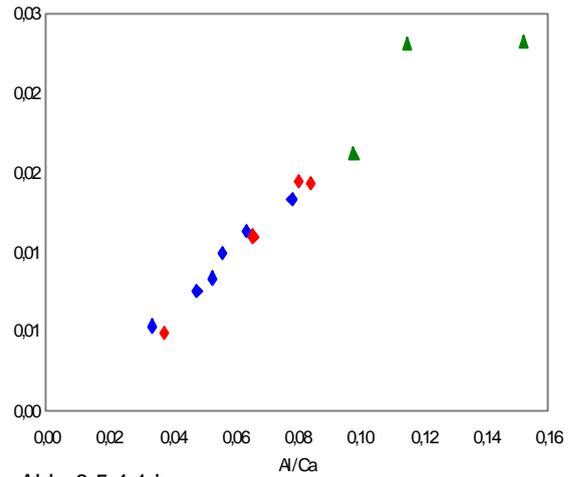


Abb. 6.5.4.1.b

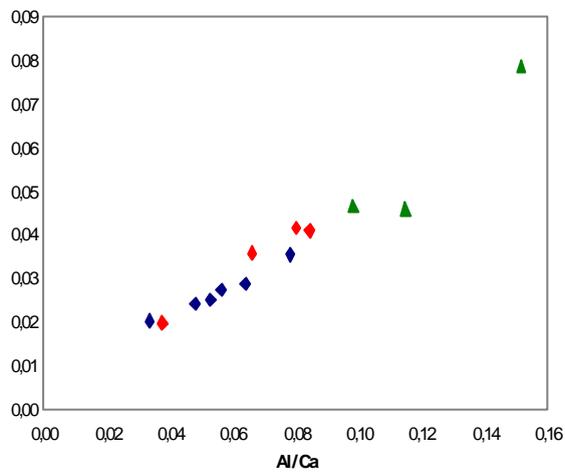


Abb. 6.5.4.c

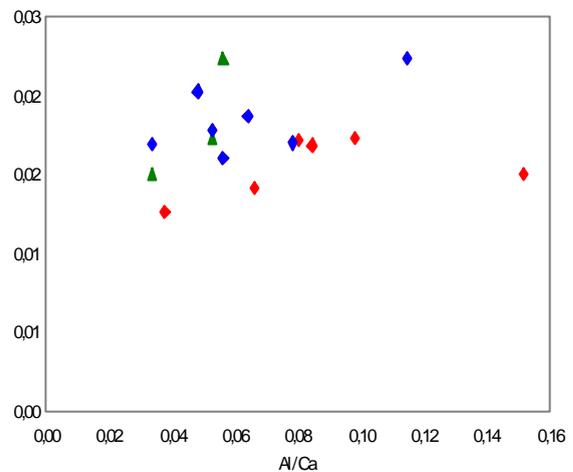


Abb. 6.5.4.d

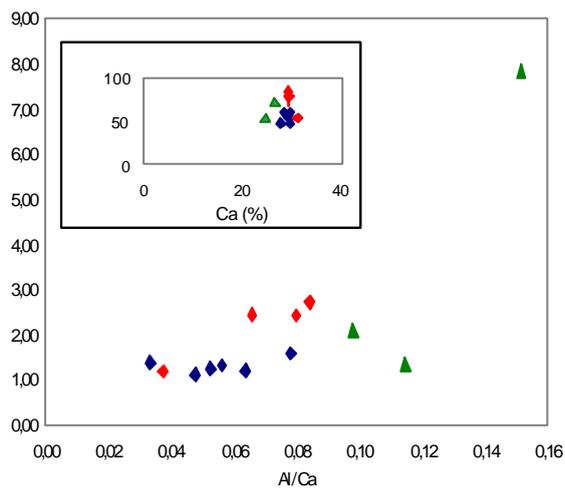


Abb. 6.5.4.e

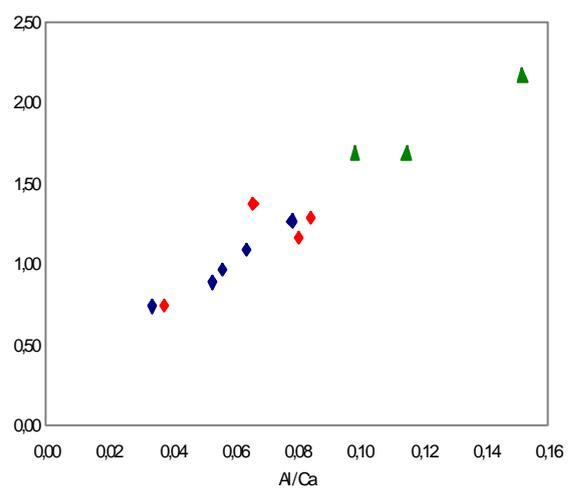


Abb. 6.5.4.f

Die Abb. 6.5.4.1.a-f zeigen die Korrelation von Si, K, Fe, Mg, Mn und den REE zu dem detritischen Faktor (Al). Die Mergelproben werden durch grüne Dreiecke dargestellt, die kalkigen Proben durch Rauten. In Abb. 6.5.4.1.a werden die kalkigen Proben zusammengefasst. Bei den übrigen Korrelationen zeichnen sich feine gebietsabhängige Unterschiede ab. Blau steht für die Kalke aus Gordoia, Rot für die Kalke aus Urrunaga.

### 6.5.5 Der Alterationsindex (Chemical Index of Alteration)

Der Alterationsindex (Chemical Index of Alteration) von Nesbitt & Young (1983) beschreibt den Grad der Verwitterung eines Gesteins. Bei der Verwitterung werden bevorzugt die Alkali- und Erdalkalimetalle mit Ausnahme der Elemente Cs, Rb, Ba abgereichert und die immobilen Elemente angereichert. Mit voranschreitender Verwitterung steigt der Index. Dieser liegt bei Schiefen zwischen 70-75 (CIA) und bei Residualtonen zwischen 85-100 (CIA).

$$\text{CIA-Index: } \quad [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \cdot 100$$

(CaO auf karbonatfreier Basis und unter Abzug von Apatit)

Mit Hilfe dieses Indexes können, auf entkarbonatisierter Basis der Proben, auch geringfügig ausgebildete, chemische Unterschiede zwischen den primären und den sekundär gebildeten (diagenetischen) Mergellagen herausgearbeitet werden und zwischen marinen Gebieten unterschieden werden.

In den Kalksteinresiduen aus Salder liegt der Index bei 77,12 (CIA) und steigt in den sekundären, schieferungsflächen-parallelen Mergelresiduen auf 77,49 an (Anhang T-7). Die schichtflächen-parallelen Mergelresiduen haben einen Index von 79,67. Diese sind daher gegenüber den Residuen sekundärer Mergel stärker an „CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O“ verarmt.

Einen vergleichbaren Trend zeigen die Proben aus Dörenthe, auch wenn die Indizes höher sind und die Index-Unterschiede zwischen den Residuen der Kalke, der Mergel<sub>SF</sub> und der Mergel<sub>SS</sub> geringer ausgebildet sind. Die gemittelten CIA-Werte steigen von den Residuen der Kalke (82,90) zu denen der Mergel<sub>SF</sub> (83,25) zu denen der Mergel<sub>SS</sub> (83,97) an (Anhang T-7).

Im Unterschied zu den Proben aus Norddeutschland zeigen die Residuale der Kalke und Mergel aus Gordoia und Urrunaga keinen faziesabgrenzenden CIA-Index. Der Index liegt für die Proben aus Gordoia bei 82,67 und für die aus Urrunaga bei 82,13. Aufgrund der homogenen Werte kann keine Eingliederung der Proben in Transgressionsphasen 3. Ordnung erfolgen (Anhang A-7).

Die ober- und unterhalb der CCD abgelagerten Proben der Tonfraktion (< 2µ-Fraktion) aus dem Perubecken (Reihe 2) zeigen einen geringfügigen Anstieg der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Konzentrationen im Verhältnis zu dem der Alkali- und Erdalkalimetalle von Nord nach Süd. Im Nordgebiet zeigen die Proben der Reihe 2 (ober- und unterhalb der CCD) einen CIA von 76,71 und im Südgebiet einen CIA von 80,35. In den Proben der Reihe 1 (unterhalb der CCD) steigt der Index von 65,63 im Norden auf 67,81 im Süden. Aus den Indizes der Gesamtproben ergibt sich ein umgekehrter Trend. Insgesamt scheint der (CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)-Anteil im Nordgebiet mit den insgesamt höheren Sedimentationsraten etwas geringer zu sein als im Südgebiet mit den generell geringeren Sedimentationsraten. Der Index liegt bei 74,13 im Norden und bei 72,39 im Süden. Diese Tendenz

umfasst sowohl Proben, die oberhalb der CCD als auch solche, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind (Anhang T-7).

### 6.5.6 Die Verteilung der Sr-Konzentration

Das Sr/Ca-Verhältnis gibt Aufschluss über das Bildungsmilieu und die Ausgangszusammensetzung des Karbonats (Kinsman, 1969; Lippmann, 1973). Während Kalzit hauptsächlich die rezenten foraminiferenreichen marinen Tiefwasserkarbonate aufbaut, ist der metastabile Aragonit neben Kalzit, Mg-Kalzit und Dolomit kennzeichnendes Mineral känozoischer Flachwasserkarbonate. Sr wird bevorzugt in das Aragonitgitter eingebaut. Die Sr-Konzentration kann dann primär in aragonitischen Kalziten bei bis zu 9400 ppm (theoretische Gehalte) (Veizer, 1983) und in Kalziten zwischen 1000 und 1200 ppm (Kinsman, 1969) liegen. Turekian & Wedepohl (1961) geben für gemittelte Tiefseekarbonate Konzentrationen von 2000 ppm an. In einem offenen System erfolgt mit der Diagenese eine Abnahme der Sr-Gesamtkonzentration (Wiggins, 1986). Diagenetisch gebildeter authigener Kalzit enthält nach Hesse (1986) 2-5mal weniger Sr als der primär biogen gebildete. Nach Koch & Bausch (1989) ist in Kalken bei diagenetischen Veränderungen der Sr-Konzentrationen eine Anreicherung in angrenzenden tonreichen Schichten zu beobachten.

Die untersuchten Festgesteinsproben und die Proben der Lockersedimente aus dem Perubecken zeigen alle einen Anstieg der Sr-Konzentration mit zunehmender  $\text{CaCO}_3$ -Konzentration. Kennzeichnend für die Proben aus Salder ist die geringe Steigerung der Sr-Konzentration von den Mergeln zu den Kalken. Die Kalksteinproben konzentrieren im Mittel um 669 ppm und haben gegenüber den Proben aus den schichtflächen-parallelen Mergellagen<sub>//SS</sub> (457 ppm) etwas über 200 ppm mehr Sr. Die Konzentration der Mergel<sub>//SF</sub> liegen um 467 ppm. Nach den gemittelten Sr/ $\text{CaCO}_3$ -Verhältnissen wird Sr nicht bevorzugt in den Kalksteinen (Sr/ $\text{CaCO}_3$  von 7,60) angereichert, sondern in den Mergeln<sub>//SS</sub> (Sr/ $\text{CaCO}_3$  von 11,10). Die Mergel<sub>//SF</sub> nehmen mit einem gemittelten Verhältnis von 8,91 eine Zwischenstellung ein (Anhang T-8). Diese Verteilung entspricht den Beobachtungen von Koch & Bausch (1989).

Die Proben aus Dörenthe zeigen insgesamt höhere Sr-Konzentrationen als die Proben aus Salder. Die Karbonatproben weisen Sr-Konzentrationen um 1182 ppm, die Mergel<sub>//SF</sub> um 685 ppm und die Mergel<sub>//SS</sub> um 649 ppm auf. Anders als bei den Proben aus Salder ist das Sr/ $\text{CaCO}_3$ -Verhältnis in den Kalksteinen am größten (13,20), eng gefolgt von den Mergeln<sub>//SF</sub> (12,89) und den Mergeln<sub>//SS</sub> (12,77) (Anhang T-8). Die starken Sr-Anreicherungen in den schichtflächen-parallelen Mergeln in den Salder- und Dörenthe-Proben weisen auf eine starke, sekundäre Mobilisierung des Sr. Diese Mobilisierung wurde in den beiden Untersuchungsgebieten durch Drucklösungsprozesse hervorgerufen. Die mergeligen Schichten hinderten aufgrund ihrer geringen Permeabilität einen diagenetischen Porenwasseraustausch und führten somit zu einer Sr-Anreicherung. Eine analoge

Konzentrierung erfolgte in den unlöslichen Rückständen entlang der Schieferungsflächen. In den Proben aus Dörenthe sind die Unterschiede der Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse zwischen den Lithologien fast gleich. Es wird davon ausgegangen, dass die Drucklösungsrate, die auf die primär höher Sr-konzentrierten Karbonatproben aus Dörenthe eingewirkt hat, geringer gewesen ist als die in Salder.

Die Sr-Konzentrationen der Proben aus N-Spanien liegen mit Ausnahme der Mergelprobe Ur2-1 aus Urrunaga (793 ppm) bei Konzentrationen zwischen 1009 und 1418 ppm. Für die Proben aus Gordoa ergibt sich aus den Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnissen weder eine faziesbezogene Verteilung, noch eine Bindung der Sr-Konzentrationen an die verschiedenen sequenzstratigraphischen Ordnungen, wie sie von Bachmann (1994) für die Karbonatrampe von Organyà beschrieben worden ist. Das Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnis schwankt zwischen 13,42 und 18,79. Faziesabhängige Sr-Konzentrationen sind schwach in den Proben aus Urrunaga feststellbar. Die Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse der Mergel schwanken dort zwischen 11,93 und 15,01 und in den Kalken zwischen 15,13 und 17,81 (Anhang T-8). Die diagentisch überprägten Proben aus N-Spanien weisen auf keinen drucklösungsbedingten Sr-Verlust hin.

Die marinen Tiefseesedimente zeigen gebiets- und kernunabhängig einen flachen, linearen Anstieg der Sr-Konzentrationen mit steigenden Karbonatkonzentrationen. Proben mit bis zu 10 % CaCO<sub>3</sub> enthalten bei geringen Schwankungen im Mittel 453 ppm Sr (Anhang T-8). Bei geringen und mittleren Sedimentationsraten werden kleine Karbonatschaler aufgrund der hohen relativen Oberfläche schnell gelöst (Hesse, 1990). Das hierdurch freigesetzte Sr wird in dem Porenwasser angereichert. Diffusionsprozesse führen möglicherweise zu einer Homogenisierung der Sr-Konzentrationen. Proben, die zu Zeiten geringer Sedimentation unterhalb der CCD abgelagert wurden, können aufgrund der langen Expositionszeit zum Meerwasser vermehrt Sr anreichern (gemittelte Tiefseetone enthalten nach Martin & Whitfield (1983) nur 250 ppm Sr).

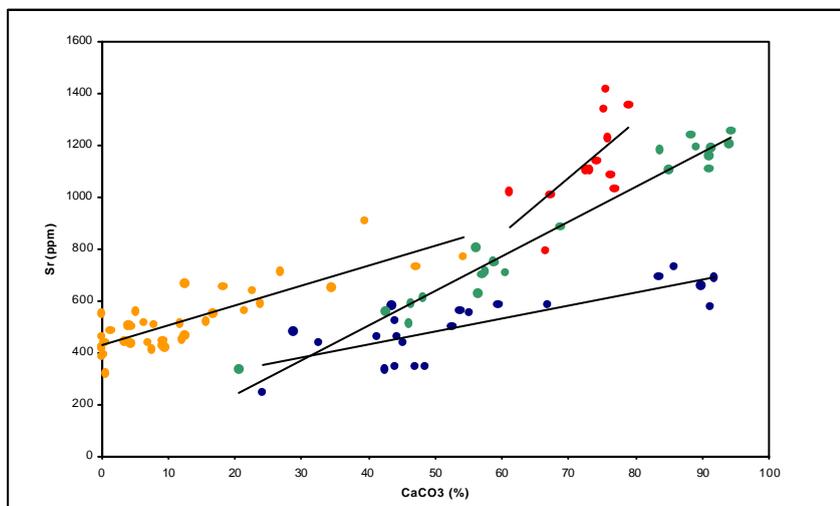


Abb. 6.5.6:  
Sr-Konzentrationen:  
Blau= Salder;  
Grün= Dörenthe;  
Rot= N-Spanien  
(Gordoa und  
Urrunaga)  
Gelb= Perubecken.

## 6.6 Ergebnisse der Untersuchungen mit der Induktiv-gekoppelten Plasma-spektroskopie-Massenspektrometrie (ICP-MS)

### 6.6.1 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) in den Mergelproben aus Salder

Die schichtflächen-parallel und die schieferungsflächen-parallel (drucklösungsbedingte) ausgebildeten Mergel werden auf Konzentrationsunterschiede der REE hin untersucht. Desweiteren wird der unterschiedliche Verlauf der Verteilungsmuster diskutiert.

Die Summen der REE-Ausgangskonzentrationen der Mergelproben parallel zur Schichtung (Mergel<sub>//SS</sub>) S7, S8, S8a, S9a/1, S11a mit Konzentrationen um 110,59 ppm ( $\Sigma$  REE) sind deutlich höher als die der Proben S7a, S8c, S9, S11 aus rein diagenetisch gebildeten Mergeln<sub>//SF</sub>, welche die Bankpaare schräg durchlaufen. Die Summen der REE der diagenetisch gebildeten Mergeln<sub>//SF</sub> liegen im Mittel bei 92,17 ppm ( $\Sigma$  REE). Die Mergeln<sub>//SF</sub> sind zwischen 6,06 und 34,46 ppm ( $\Sigma$  REE) geringer konzentriert als die jeweils „komplementären“ Mergeln<sub>//SS</sub> eines Bankpaares. Die schichtflächen-parallele Probe S10a hebt sich durch höhere Konzentrationen von 284,03 ppm ( $\Sigma$  REE) von den übrigen primär abgelagerten, schichtflächen-parallelen Proben ab. Ebenso ist die sekundäre, schieferungsflächen-parallele Probe S10 desselben Bankpaares höher konzentriert ( $\Sigma$  REE 105,75 ppm) als die der übrigen schieferungsflächen-parallelen Proben (Anhang T-26.a).

### Vergleich der Probendaten aus Salder mit denen der „Upper Crust“- Daten von Taylor & McLennan (1981)

Die nachfolgend auf die „Upper Crust“-Daten von Taylor & McLennan (1981) normierten Proben der schichtflächen-parallelen Mergel (Mergel<sub>//SS</sub>) zeigen geringe Fraktionierungen innerhalb der Proben in Form flacher Verläufe der REE-Muster (Anhang T-14). Die schwachen Fraktionierungen der REE äußern sich durch einen Anstieg von den LREE<sub>N</sub> zu den MREE<sub>N</sub>. Dies lässt sich mit (LREE/MREE)<sub>N</sub>-Verhältnissen um 0,56 beziffern. Bei den (La/Sm)<sub>N</sub>-Vergleichen ergeben sich aufgrund der fehlenden Ce-Anomalien geringere Fraktionierungen mit Werten um 0,88. Die Fraktionierungen der MREE<sub>N</sub> zu den HREE<sub>N</sub> zeigen sich in den Mergeln<sub>//SS</sub> in einem schwachen Absinken der Kurven zu den HREE<sub>N</sub>. Die (MREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse liegen bei 1,70. Die (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnisse variieren zwischen Werten von 1,27 und 1,51 (Anhang T-14). Alle normierten Proben sind durch negative Ce-Anomalien mit Ce/Ce\*-Werten zwischen 0,72 und 0,84 und fehlenden Eu-Anomalien gekennzeichnet.

Die Probe S10a verhält sich abweichend von den übrigen schichtflächen-parallelen Mergelproben. Diese Probe ist durch auffallend hohe LREE<sub>N</sub>- und MREE<sub>N</sub>-Anreicherungen und einem starken Kurvenabfall zu den HREE<sub>N</sub> gekennzeichnet. Die HREE<sub>N</sub>-Konzentrationen führen zu einem MREE/HREE<sub>N</sub>-Verhältnis von 2,89. Die Überprüfung der internen Fraktionierung mit Hilfe des (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnis führt zu einem Wert von 2,67. Das (LREE/MREE)<sub>N</sub>-Verhältnis beträgt 0,79

und das  $(La/Sm)_N$ -Verhältnis liegt bei 0,73. Ein weiterer Unterschied besteht in der fehlenden Ce-Anomalie, zusätzlich ist eine ausgeprägte negative Eu-Anomalie feststellbar. Der  $Eu/Eu^*$ -Wert der Probe S10a beträgt 0,51. Bei der Mergellage, aus der die Probe stammt, handelt es sich um eine stark alterierte Tufflage (Kap. 6.6.5).

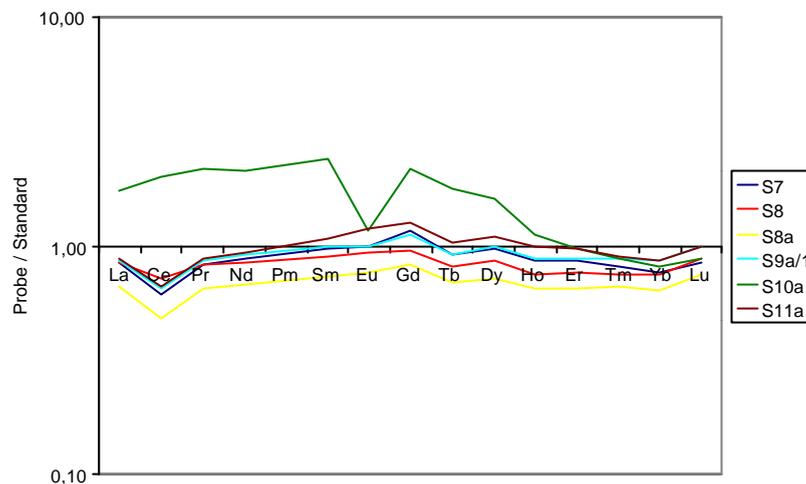


Abb. 6.6.1.a: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der schichtflächen-parallelen Mergelproben aus Salder. Probe S10a ist vulkanogener Herkunft.

Die  $(LREE/MREE)_N$ -Verhältnisse aller rein drucklösungsbedingter Mergel<sub>//SF</sub> liegen bei 0,53, während die  $(MREE/HREE)_N$ -Verhältnisse zwischen 1,52 und 1,80 schwanken (Anhang T-11). Die Vergleiche der internen Fraktionierungen anhand der Einzelemente führen zu folgenden Ergebnissen: Die  $(La/Sm)_N$ -Verhältnisse liegen zwischen 0,77 und 0,91, die  $(Gd/Yb)_N$ -Verhältnisse zwischen 1,17 und 1,47. Für die Proben sind negative Ce-Anomalien mit  $Ce/Ce^*$ -Verhältnissen um 0,72 kennzeichnend. Eine Ausnahme stellt die Probe S10 dar, sie weist eine geringer ausgeprägte negative Anomalie mit einem  $Ce/Ce^*$ -Wert von 0,78 auf.

Die parallel zu den Schieferungsflächen entnommene Mergelprobe S10 gehört demselben Bankpaar an wie die Probe S10a und zeigt wie diese eine negative Eu-Anomalie. Das  $Eu/Eu^*$ -Verhältnis der Mergelprobe<sub>//SF</sub> von 0,77 ist jedoch gegenüber der schichtflächen-parallelen Probe S10a schwächer ausgebildet. Wie die anderen Proben aus den schieferungsflächen-parallelen Mergelbelägen ist das REE-Muster der Probe S10 durch einen flachen Verlauf gekennzeichnet, der auf eine geringe Fraktionierung zurückzuführen ist.

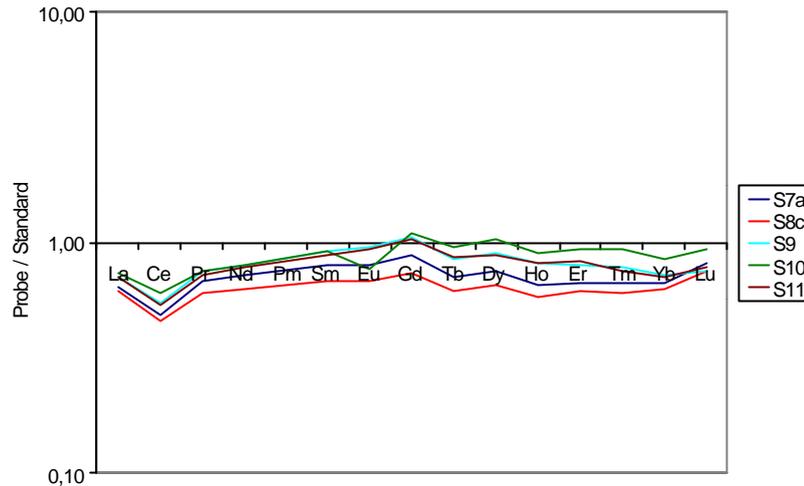


Abb. 6.6.1.b: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der schieferungsflächen-parallelen Mergelproben aus Salder.

#### Vergleich der residualen Mergelproben auf karbonatfreier Basis aus Salder

Im Gegensatz zu den Gesamtproben aus Salder weisen die schichtflächen-parallelen Residuen der Mergel allgemein geringere REE-Konzentrationen ( $\Sigma$  REE 114,18 ppm) auf als die schieferungsflächen-parallelen Residualproben  $\Sigma$  REE 133,37 ppm) (Anhang T-26.a). Die aus einer Tufflage stammende, residuale Probe S10a „okf“ ist wie die Originalprobe S10a durch ihr abweichendes REE-Muster gekennzeichnet (Abb. 6.6.1.a). Die REE-Konzentrationen liegen bei 263,00 ppm ( $\Sigma$  REE). Die schieferungsflächen-parallele Residualprobe S10 „okf“ desselben Bankpaares fällt mit 129,85 ppm ( $\Sigma$  REE) in die Bandbreite der übrigen schieferungsflächen-parallelen Residualproben. Die REE-Verteilungsmuster bleiben generell auch nach der chemischen Aufbereitung erhalten.

Die Normierungen der Residualproben (Anhang T-11 und T-15) auf die Upper Crust-Daten von Taylor & McLennan (1981) führen zu folgenden Ergebnissen: Die  $(\text{LREE}/\text{MREE})_N$ -Verhältnisse der schichtflächen-parallelen Proben sinken geringfügig auf Verhältnisse um 0,51. Analog dazu verhalten sich die  $(\text{MREE}/\text{HREE})_N$ -Verhältnisse, die bei 1,52 liegen. Insgesamt findet im Vergleich zu den Originalmergelproben eine Verschiebung der REE-Konzentrationen von den REE geringerer Ordnungszahl zugunsten denen der HREE statt. Diese Annahme wird durch die Einzelementvergleiche der  $(\text{La}/\text{Sm})_N$ -Verhältnisse und  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ -Verhältnisse bestätigt. Die Abnahme der La-Konzentrationen führt zu einer Verringerung der  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ -Werte.

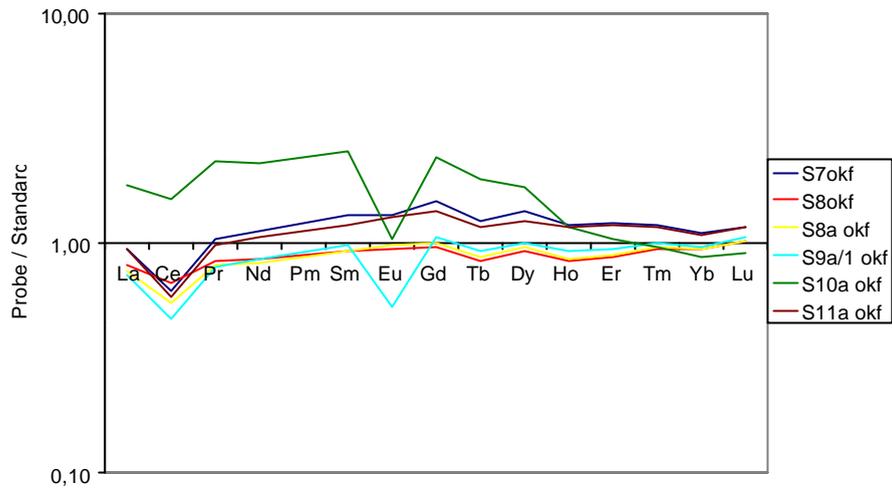


Abb. 6.6.1.c: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der schichtflächen-parallelen Mergel aus Salder.

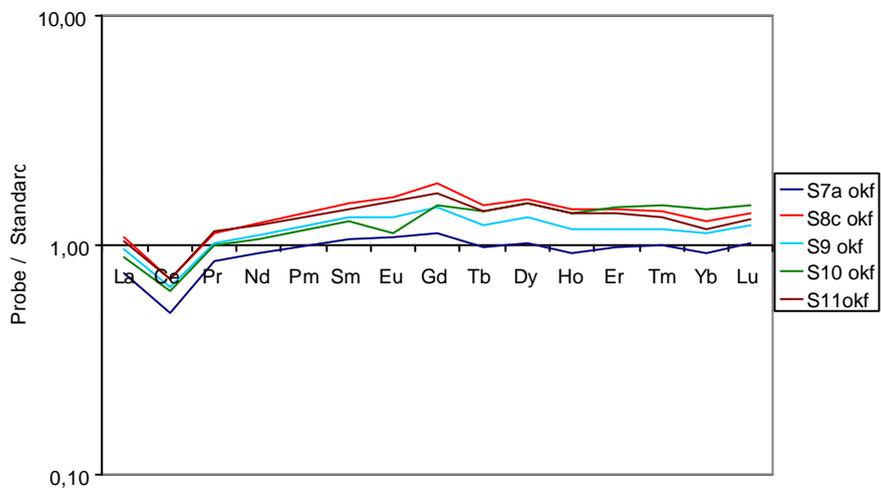


Abb. 6.6.1.d: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der schieferungsflächen-parallelen Mergel aus Salder.

## **6.6.2 Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) in den Mergelproben aus Dörenthe**

Untersucht wurden sowohl primär angelegte, schichtflächen-parallele Mergel als auch diagenetisch gebildete, schieferungsflächen-parallele Mergel (Anhang T-26.b). Die Summen der REE-Konzentrationen ( $\Sigma$  REE) aller Originalproben schwanken zwischen 91,83 und 151,84 ppm. Die Vergleiche zwischen den schichtflächen-parallelen und den schieferungsflächen-parallelen Mergeln innerhalb eines Bankpaares sowie auch die Vergleiche der einzelnen Bankpaare untereinander lassen keine Unterschiede der Konzentrationen zwischen den einzelnen Lithologien erkennen. Das heißt, Mergel primärer und diagenetischer Entstehung weisen gleiche Verteilungsmuster und Konzentrationen, die herkunftsunabhängig sind, auf.

### **Vergleich der Probendaten aus Dörenthe mit denen der „Upper Crust“-Daten von Taylor & McLennan (1981)**

Die Verteilungsmuster aller normierten Originalproben zeigen einen flachen Verlauf nahe des „UC“-Standards. Charakteristisch für diese REE-Muster sind schwach ausgebildete Maxima im Bereich der Mittleren Seltenen Erden Elemente (MREE)<sub>N</sub>. Vornehmlich die Eu- und Gd-Konzentrationen der Proben sind für die Maxima verantwortlich. Die Anreicherungsfaktoren (F) dieser Elemente, Eu und Gd, reichen von 1,01 bis zu 1,56 (Anhang A-10 und T-16).

Die (LREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse der schieferungsflächen-paralleler Mergel (Mergel<sub>//SS</sub>) liegen zwischen 0,74 und 0,76. Die Verhältnisse werden durch geringe Ce-Konzentrationen, die zu negativen Ce/Ce\*-Verhältnissen zwischen 0,67 und 0,72 führen, hervorgerufen. Die schwachen Fraktionierungen der REE äußern sich durch einen Anstieg von den LREE<sub>N</sub> zu den MREE<sub>N</sub>. Dies läßt sich mit (LREE/MREE)<sub>N</sub>-Verhältnissen um 0,51 beziffern. Bei den Einzelelementvergleichen ((La/Sm)<sub>N</sub>) ergeben sich geringere Fraktionierungen mit Werten zwischen 0,68 und 0,72. Die Abweichungen beruhen auf dem Ausschluss der geringen Ce-Werte. Die (MREE<sub>N</sub>/HREE<sub>N</sub>)-Fraktionierungen in den Mergeln<sub>//SS</sub> belegen das Absinken der REE-Kurven zu den HREE<sub>N</sub>. Die Verhältnisse variieren zwischen 1,91 und 1,97 und die (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnisse schwanken zwischen Werten von 1,46 und 1,58 (Anhang T-16). Alle normierten Proben sind durch fehlende Eu-Anomalien beziehungsweise minimal positive Werte um 1,05 gekennzeichnet.

Die (LREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse rein drucklösungsbedingten Mergel (Mergel<sub>//SF</sub>) liegen zwischen 0,74 und 0,79 und entsprechen in etwa den Verhältnissen der Mergel<sub>//SS</sub>. Hiergegen zeigen die (LREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse der Mergel<sub>//SF</sub> höhere Fraktionierungen zwischen 0,54 und 0,57. Höhere Schwankungen weisen die (MREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse mit 1,52 bis 1,80 auf (Anhang T-16). Die Einzelelementvergleiche führen zu folgenden Ergebnissen: Die Gesamtfractionierungen ((La/Yb)<sub>N</sub>) liegen bei 1,08 und zeigen bevorzugte, wenn auch schwach höhere, La-Anreicherungen gegenüber den Mergeln<sub>//SS</sub>. Diese Werte verschleiern jedoch den REE-Kurvenanstieg zu den MREE<sub>N</sub>. Dieser wird durch die internen Fraktionierungen deutlich. So liegen die (La/Sm)<sub>N</sub>-Verhältnisse zwischen 0,78 und 0,87, die (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnisse zwischen 1,42 und 1,52. Wie bei den Mergeln<sub>//SS</sub> beruhen die hohen MREE<sub>N</sub>-Werte in den Mergeln<sub>//SF</sub> hauptsächlich auf den

erhöhten Gd-Werten. Die negativen Ce-Anomalien mit Ce/Ce\*-Verhältnissen um 0,73 sind in den Mergeln<sub>//SF</sub> etwas geringer als in den Mergeln<sub>//SS</sub>.

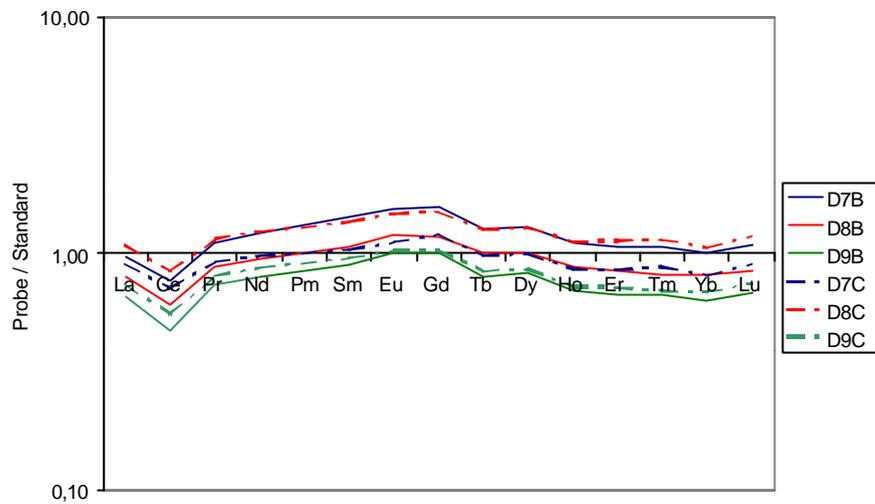


Abb. 6.6.2.a: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der Mergel<sub>//SS</sub> und der Mergel<sub>//SS</sub> aus Dörenthe. Die Proben mit dem Index „B“ sind schichtflächen-paralleler Herkunft und der schieferungsflächen-parallelen Proben haben den Index „C“.

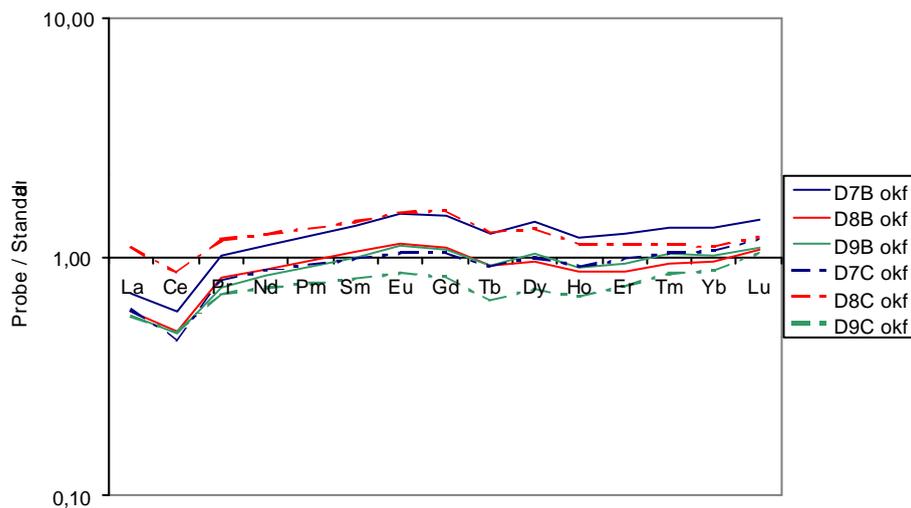


Abb. 6.6.2.b: Darstellung der auf „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen der karbonat- und organikfreien Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> und der Mergel<sub>//SS</sub> aus Dörenthe. Die Proben mit dem Index „B“ sind schichtflächen-paralleler Herkunft und die schieferungsflächen-parallelen Proben haben den Index „C“.

### **Vergleich der residualen Mergelproben auf karbonatfreier Basis aus Dörenthe**

Die Verteilungsmuster der REE<sub>N</sub> bleiben in den Mergeln<sub>SS</sub> und in den Mergeln<sub>SF</sub> auch nach der chemischen Aufbereitung größtenteils erhalten. Deren REE-Summen ( $\Sigma$ REE) liegen bei 94 ppm. Die Mergel<sub>SS</sub> und die Mergel<sub>SF</sub> zeigen jedoch auch Einzelwerte, die bis zu 153,89 ppm reichen.

Die Normierungen der Residualproben (Anhang T-17) auf die Upper Crust-Daten von Taylor & McLennan (1981) führen zu folgenden Ergebnissen: Nach der Aufbereitung sinken die (LREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse auf Werte zwischen 0,58 und 0,75. Hiernach zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Mergeln<sub>SS</sub> und den Mergeln<sub>SF</sub>. Der relative Anstieg der HREE<sub>N</sub> wird mit Hilfe der (La/Yb)<sub>N</sub>-Vergleiche deutlich. Diese Verschiebung wird zum einen durch die bevorzugten La-Verluste, zum anderen durch die mäßigen Verluste an den MREE verursacht. Mit den internen Fraktionierungen zeigen sich Unterschiede zwischen den primären Mergeln (Mergeln<sub>SS</sub>) und den Mergeln diagenetischer Herkunft (Mergeln<sub>SF</sub>): Die (LREE/MREE)<sub>N</sub>- und die (La/Sm)<sub>N</sub>-Verhältnisse sind in den Mergeln<sub>SF</sub> geringer als in den Mergeln<sub>SS</sub> (Anhang T-17). Das heißt, in den Mergeln parallel zu den Schieferungsflächen ist der Verlust an den LREE (bzw. La) geringer. Die primär höheren MREE<sub>N</sub>-Werte im Vergleich zu den HREE<sub>N</sub>-Werten der Mergel<sub>SS</sub> gegenüber denen der diagenetisch gebildeten Mergel bleiben auch nach der chemischen Aufbereitung erhalten. Die Ce/Ce\*- und die Eu/Eu\*-Werte zeigen keine Unterschiede zwischen den Residualproben unterschiedlicher Herkunft. Diese Verhältnisse bleiben auch konstant in Hinblick auf die Originalproben beider Lithologien.

### **Vergleich der residualen Mergelproben auf karbonatfreier Basis aus Dörenthe mit den Tiefseetondaten (Martin und Whitfield, 1983)**

Die Residualproben der Mergel<sub>SS</sub> und Mergel<sub>SF</sub> sind mit Ausnahme der Elemente Er und Tm des Residuums der Mergelprobe D7B okf gegenüber den Tiefseetondaten von Martin & Whitfield (1983) abgereichert. Die Höhe der Abreicherung ist für die hinteren REE<sub>N</sub> (Ho bis Lu) geringer. Unterschiede zwischen den jeweiligen Residuen der Mergel<sub>SS</sub> und den Residuen der Mergel<sub>SF</sub> eines Bankpaares bestehen nach den vorliegenden Daten nicht.

### **6.6.3 Die Verteilungsmuster der Seltenen Erden Elemente (REE) der Sedimente aus dem Perubecken**

Die Ergebnisse dienen dem Vergleich zwischen dem Gebiet im Norden und dem im Süden. Hierfür wurden speziell die Selten Erden Elemente (REE) der < 2 $\mu$ -Fraktion der Probenreihe 1 (Proben mit Ablagerung unterhalb der CCD) untersucht. Die Messungen erfolgten an den salzfreien, über Druckaufschluss aufgeschlossenen Eluat.

### **6.6.3.1 Das Verhalten der REE in der < 2 $\mu$ -Fraktion am Beispiel von Sedimenten aus dem Perubecken, welche unterhalb der CCD abgelagert worden sind**

Die nicht-normierten Daten ergeben eine deutliche Differenz zwischen den Proben aus den Kernen 6KL und 9KL des äquatornäheren Nordgebietes (Gebiet 1) mit den insgesamt höheren Sedimentationsraten und denen der Kerne 141KL und 169KL des äquatorferneren Südgebietes (Südgebiet 2) mit den geringeren Sedimentationsraten. Die Summen der REE-Konzentrationen in den Proben aus dem Nordgebiet betragen durchschnittlich 215 mg/kg. Die Konzentrationssummen der Proben aus dem Süden sind um den Faktor 1,8 höher als die in dem Nordgebiet. Die REE-Konzentrationssummen im südlichen Gebiet betragen durchschnittlich 387 mg/kg (Anhang 26.d.1). Auch innerhalb der Gebiete treten Unterschiede zwischen den jeweiligen Proben der Kerne auf, diese Unterschiede sind jedoch so gering, dass nur am Rande darauf eingegangen wird. In den Proben des Kerns 141KL (Südgebiet), mit einem Durchschnittswert von 397 mg/kg, konnte eine tendenzielle Abnahme der REE-Gehalte mit zunehmender Kerntiefe nachgewiesen werden.

Generell kann also eine Zunahme der Konzentrationssummen von Norden nach Süden hin festgestellt werden. Dies manifestiert sich besonders am Beispiel der Y-Konzentrationen mit 98 mg/kg (9KL) und 124 mg/kg (6KL) im Norden und mit 228 mg/kg (169KL) und 239 mg/kg (141KL) im Süden (Anhang 26.d.1).

### **Vergleich der LREE mit den HREE**

Die Summen der LREE-Konzentrationen in den Proben der Kerne 6KL, 141KL, 169KL sind um mehr als das 2,6fache höher angereichert als die Summen der HREE-Konzentrationen dieser Proben. Noch höher ist die Akkumulationen der LREE in Kern 9KL. Dort sind die LREE sogar um das 3,3fache gegenüber den HREE angereichert. Die Proben der untersuchten Kerne lassen keine Tiefengradienten bezüglich der REE-Fraktionierung erkennen, die auf diagenetisch-bedingte REE-Mobilisationen beruhen könnten.

### **Normierung auf die Daten der Oberen Kruste („UC“-Daten) von Taylor und McLennan (1981)**

Die Proben wurden auf die häufig genutzten Daten der Oberen Kruste („UC“-Daten) von Taylor und McLennan (1981) normiert, um einerseits feststellen zu können, wie charakteristisch die untersuchten Tiefseeschlämme sind, und andererseits sollen mit Hilfe dieser Normierungen versteckte An- und Abreicherungen einzelner REE besser hervorgehoben werden.

In der Abb. 6.6.3.a sind die gemittelten sowie „UC“-normierten Daten beider Gebiete dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass die Proben der Kerne 141KL und 169KL des Südgebietes deutlich höhere Anreicherungen gegenüber den gemittelten „UC“-Daten aufweisen als die Proben der Kerne 6KL und 9KL des Nordgebietes. Innerhalb der jeweiligen Gebiete sind die Konzentrations- und Fraktionierungsunterschiede niedrig. Geringe Differenzen sind hauptsächlich im Norden vorzufinden. Dort weisen die Proben von dem Kern 6KL höhere Anreicherungen an  $HREE_N$  auf als die von 9KL und bilden geringere negative Ce-Anomalien aus. Hiergegen sind die  $HREE_N$ -

Anreicherungen innerhalb des Südgebietes vernachlässigbar. In beiden Gebieten ist ein Anstieg von den LREE<sub>N</sub>-Summen zu den HREE<sub>N</sub>-Summen festzustellen (Anhang T-13; Anhang T-22).

Die REE-Muster aller Kerne zeigen unterschiedlich stark ausgeprägte positive Europium-Anomalien, die nicht auf vulkanogenen oder äolischen Einträgen von Eu-Trägern wie den Feldspäten beruhen, sondern vielmehr durch sehr hohe Bariumkonzentrationen verursacht werden (Kap. 6.6.3.4).

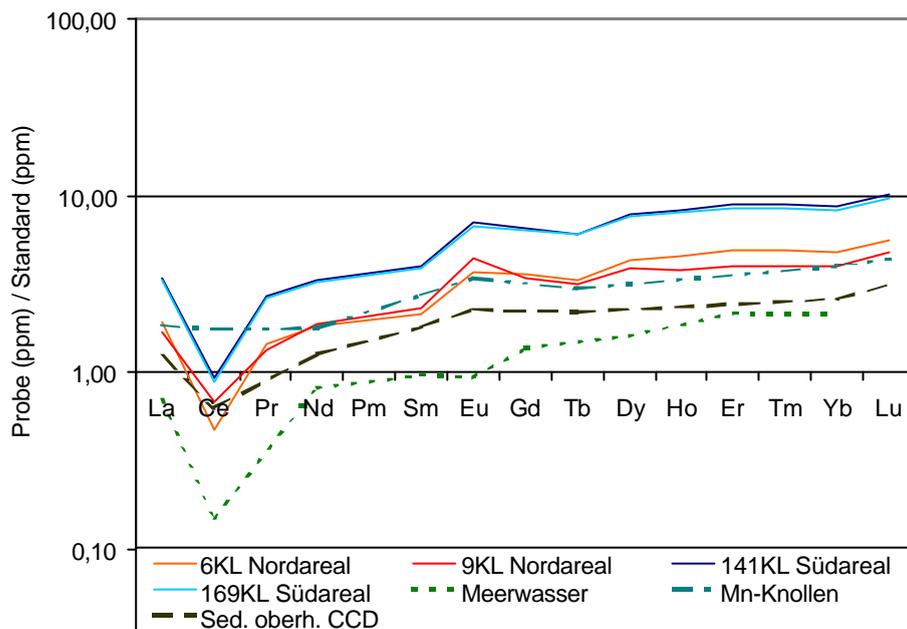
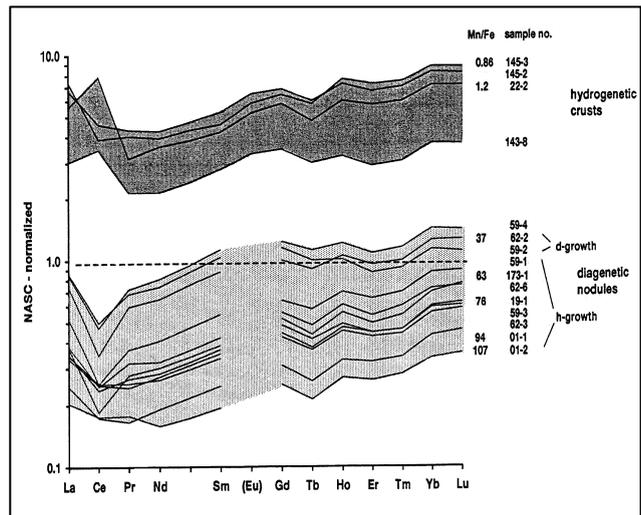


Abb. 6.6.3.a: Darstellung der „UC“-normierten REE-Konzentrationen (Taylor & McLennan, 1981) von Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken. Da die Daten innerhalb eines Kernes nur geringfügig variieren, wurden die Faktoren eines Kernes gemittelt und sind in dieser Abbildung dargestellt. Zusätzlich sind gemittelte Meerwasserdaten von Elderfield & Greaves (1982), gemittelte „Ses\*\*\*“-Daten aus Sedimenten, die oberhalb der CCD im SW-Pazifik abgelagert worden sind, und Mn-Knollen-Daten aus dem SW-Pazifik von Glasby et al. (1987) dargestellt worden.

Abb. 6.6.3.b:

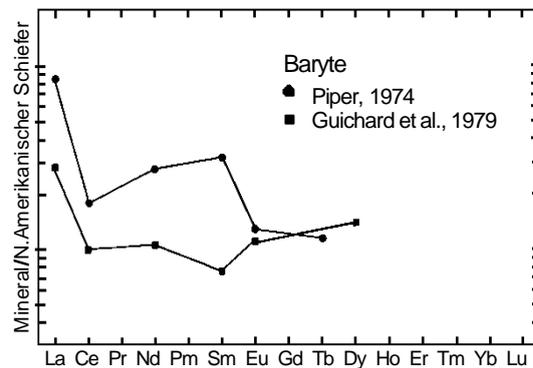
Die REE-Verteilungsmuster der Anwachslagen von hydrogenetisch und diagenetisch gewachsenen Manganknollen und von hydrogenetisch gebildeten Mn-Fe-Krusten am Beispiel von Proben aus dem Perubecken. Die „NASC“-normierten Daten (Haskin et al., 1968) sind aus von Stackelberg (1997) übernommen.



Die REE-Verteilungen spiegeln mineralspezifische und herkunftsabhängige Muster wieder. Die Abbildungen 6.6.3.b sollen dem besseren Verständnis dienen. Die Normierung auf Nord-Amerikanischen Schiefer „NASC“-Daten von Haskin et al. (1968) entspricht ungefähr den gemittelten „UC“-Daten

Abb. 6.6.3.c:

Die REE-Verteilungsmuster von authigenen marinen Baryten. Die Daten von Piper (1974) und Guichard et al. (1979) sind auf die Zusammensetzung „NASC“ (Haskin et al., 1968) normiert und wurden von Henderson (1984) zusammengestellt.



### Fraktionierung innerhalb der „UC“-normierten Proben

Die Fraktionierung der REE-Muster kann neben der  $(LREE/HREE)_N$ -Darstellung auch durch das  $(La/Yb)_N$ - beziehungsweise das  $(La/Lu)_N$ -Verhältnis dargestellt werden. Während die ausführlichen Einzelverhältnisse in den Anhängen T-13 und T-22 nachzulesen sind, werden die jeweils gemittelten  $(La/Yb)_N$ -Verhältnisse eines Kernes an dieser Stelle behandelt (Tab. 6.6.3.a): Die Proben des Kernes 6KL sind mit einem Wert von 0,47 geringer fraktioniert als die Proben der Kerne 9KL (0,3), 141KL (0,26) und 169KL (0,27). Die Diskrepanz zwischen den  $(La/Yb)_N$ -Verhältnissen und den  $(LREE/HREE)_N$ -Verhältnissen in Kern 9KL des Nordgebietes beruhen auf den dort höheren Ce-Konzentrationen.

Die Überprüfung der Fraktionierungen der  $LREE_N$  erfolgt mit Hilfe der  $(La/Sm)_N$ -Verhältnisse. Aus Tab. 6.6.3.a geht hervor, dass die internen Fraktionierungen der  $LREE_N$  in den Proben des Kernes

9KL am größten sind, die  $(La/Sm)_N$ -Verhältnisse jedoch am kleinsten. Die Fraktionierungen innerhalb der  $HREE_N$  sind in den Proben des Kerns 9KL am geringsten, das heißt, die  $HREE_N$  geringerer Ordnungszahl sind gegenüber den  $HREE_N$  höherer Ordnungszahl stärker angereichert. Das  $(Gd/Yb)_N$ -Verhältnis liegt bei 0,86. Die Proben des Kerns 6KL und die Proben des Südgebietes (141KL und 169KL) hingegen reichern stärker  $Yb_N$  im Vergleich zu  $Gd_N$  an.

Gebiet	Verhältnis	$(LREE/HREE)_N$	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$
<b>Nordgebiet</b>	6KL	0,32	0,47	0,90	0,74
	9KL	0,39	0,30	0,72	0,86
<b>Südgebiet</b>	141KL	0,33	0,26	0,87	0,75
	169KL	0,33	0,27	0,86	0,75

Tab. 6.6.3.a: Gemittelte Verhältnisse der Lanthanidenfraktionierung aller Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken, deren Sedimente unterhalb der CCD abgelagert worden sind. Die Verhältnisse basieren auf „UC“-normierten Daten (Taylor & McLennan, 1981).  $_N$  steht für normiert.

Für die Fraktionierungen des Kerns 9KL kann, im Vergleich zu denen der Kerne 6KL, 141KL und 169KL, zusammenfassend festgestellt werden, dass relative Anreicherungen zugunsten der  $MREE_N$  wie zum Beispiel  $Gd_N$  im Verhältnis zu den  $LREE_N$  stattgefunden haben. Die graphisch dargestellte Steigung von  $Gd_N$  zu  $Yb_N$  des Kerns 9KL fällt im Vergleich zu den Steigungen der übrigen Kerne flacher aus.

### Cer-Anomalie

Die Cer-Anomalie wurde nach folgender Formel, wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt, bestimmt:

$$Ce/Ce^* = 5 Ce_N / (4 La + Sm)_N \quad (\text{Formel 2.2})$$

$_N$ : Steht für auf „UC“-normierte Daten

Alle untersuchten Proben der Kerne 6KL, 141KL und 169KL zeigen eine deutlich ausgeprägte negative Cer-Anomalie mit  $Ce/Ce^*$  Werten zwischen 0,23 und 0,31. Die Proben des Kerns 9KL weichen mit negativen Ce-Anomalien zwischen 0,33 und 0,42 etwas geringer von dem hypothetischen Wert 1 ab. Eine vollständige Auflistung der  $Ce/Ce^*$ -Werte befindet sich in Anhang T-22 und die gemittelten Probendaten sind im Anschluss aufgelistet.

Kern	6KL	9KL	141KL	169KL
Verhältnis				
<b>Ce/Ce*-Verhältnis</b>	0,24	0,38	0,26	0,25

Tab. 6.6.3.b: Gemittelte  $Ce/Ce^*$ -Verhältnisse der Proben der Kerne 6KL, 9KL, 141KL und 169KL aus dem Perubecken, deren Sedimente unterhalb der CCD abgelagert worden sind. Die Verhältnisse basieren auf „UC“-normierten Daten (Taylor & McLennan, 1981).

Die Daten implizieren zum einen die Abhängigkeit der Ce/Ce\*-Verhältnisse von der jeweiligen lokalen Sedimentationsrate, zum anderen den hohen Einfluss der primären Sedimentzusammensetzung auf die Ce-Konzentration.

### Der Einfluss der Ba-Konzentrationen auf die Eu/Eu\*-Verhältnisse

Die Eu/Eu\*-Verhältnisse ergeben sich, wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt, aus der folgenden Formel:

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / \sqrt{(\text{Sm} \cdot \text{Gd})_N} \quad (\text{Formel 2.b})$$

$_N$ : Steht für auf „UC“-normierte Daten

Die hohen  $\text{Eu}_N$ -Werte mit einem Anreicherungsfaktor gegenüber den UC-Daten von 2,81 bis 8,85 zeigen positive Eu-Anomalien zwischen 1,26 und 1,71 (Anhang T-22). Eine Abgrenzung zwischen dem Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten und dem Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten ist mit Hilfe der Eu/Eu\*-Werte nicht möglich. Bei genauerer Betrachtung steigen die  $\text{Eu}_N$ -Werte mit Zunahme der  $\text{Ba}_N$ -Werte an. Letzte sind in beiden Gebieten mit einem Faktor zwischen 12 und 22 gegenüber den „UC“-Daten angereichert.

Reihe	Kern Verhältnis	6KL	9KL	141KL	169KL
		$\text{Eu/Eu}^*$	1,35	1,52	1,41
< 2 $\mu$	$\text{Ba}_N$	13,02 – 14,61	14,92 – 23,73	14,54 – 20,34	12,42 – 21,86
	$\text{Eu/Eu}^*$	1,60	2,00	1,66	1,68
GE S	$\text{Eu/Eu}^*$	1,20	1,19	1,21	1,15
GAD	$\text{Eu/Eu}^*$	1,11	1,12	1,12	1,12

Tab. 6.6.3.c: Auf „UC“-Daten (Taylor & McLennan, 1981) normierte Eu/Eu\*-Verhältnisse und  $\text{Ba}_N$ -Konzentrationen von Proben der Probenreihe 1 aus dem Perubecken von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert wurden. Zusätzlich sind auch die Eu/Eu\*-Werte der Proben der Reihen GES, GESSF und GAD der Probenreihe 1 aus dem Perubecken dargestellt.

### Sedimentationsraten und Vergleich mit gemittelten Tiefseeton-Daten (TST-Daten von Martin & Whitfield, 1983)

Die Normierungen auf die Sedimentationsraten führen bei einem Vergleich der Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion (Reihe 1) aus dem Nordgebiet (Kern 6KL und 9KL), deren Sedimente bei Sedimentationsraten von 0,83 cm/ka abgelagert wurden, mit denen aus dem Südgebiet (Kern

141KL und 169KL), deren Sedimente bei Sedimentationsraten von 0,58 cm/ka und 0,6 cm/ka abgesetzt wurden, zu deutlich höheren Konzentrationen der Lanthanidenelemente im Süden als im Norden. Die REE-Konzentrationen liegen nach der Normierung im Nordgebiet bei Werten um 260,59 ppm/cm/ka (Kern 6KL) beziehungsweise 257,88 ppm/cm/ka (Kern 169KL) gegenüber Werten um 684,47 ppm/cm/ka (Kern 141KL) beziehungsweise 642,25 ppm/cm/ka (169KL) im Südgebiet. Das bedeutet, mit zunehmender Sedimentationsrate sinkt im Perubecken die Anreicherung der REE in dem Sediment, selbst dann, wenn eine biogene Verdünnung durch zum Beispiel Karbonatschaler fehlt.

Gegenüber den gemittelten Tiefseetondaten von Martin & Whitfield (1983) sind die Proben aus dem Südgebiet an REE angereichert. Hiergegen entsprechen die Konzentrationen der Proben aus dem Nordgebiet denen der Norm.

### **Die Korrelation der REE zu den REE-Scavengern Baryt und Manganoxiden und -hydroxiden in der Gesamtproben und < 2 $\mu$ -Fraktion der Reihe 1**

Bereits geringfügige Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung toniger Sedimente führen zu einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Um diese Unterschiede herausarbeiten zu können, werden die beiden neben den Tonmineralen wichtigsten und in beiden Gebieten röntgenographisch nachgewiesenen REE-Scavenger Baryt und die Manganoxide/-hydroxide auf ihre Korrelation mit den REE überprüft. Ba steht stellvertretend für Baryt, Mn für die Manganoxide/-hydroxide.

Das Barium wird neben Baryt auch an die Tonminerale und an die Manganoxide/-hydroxide gebunden. Hauptsächlich baut es jedoch den authigen gefällten Baryt auf. Die Elemente werden nach Piper (1974) und Guichard et al. (1979) bereits aus dem Meerwasser und dem Porenwasser der oberen Zentimeter der Sedimentsäule konzentriert und in den authigenen Barytausfällungen gebunden. Mariner Baryt bindet mehr REE als das Gesamtsediment. Das heißt, kleinste Bariumanreicherungen, die auf Barytausfällungen hinweisen, müssten sich auch durch erhöhte REE-Konzentrationen bemerkbar machen.

Trotz Schwankungen der Ba-Konzentrationen in den Gesamtproben der Reihe 1 lassen sich die Proben des Kerns 9KL von den übrigen Kernen durch geringere REE/Ba-, LREE/Ba- und HREE/Ba-Verhältnisse abgrenzen. Die Ba-Konzentrationen korrelieren mit den Konzentrationen der REE- und mit denen der Fraktionen (LREE und HREE) jeweils mit Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,99$ . Hiergegen liegen die Korrelationskoeffizienten der Proben der Kerne 6KL, 141KL, 169KL im Bereich von  $r = -0,49$  bis  $0,18$ . Die < 2 $\mu$ -Fraktion ist gekennzeichnet durch gebietsunabhängige Ba-Schwankungen mit Ba-Maxima innerhalb der Kerne. Diese Konzentrationsschwankungen führen zu unsicheren Korrelationen, die von denen der Gesamtproben abweichen. Lediglich die Proben des Kerns 9KL haben eine hohe positive Signifikanz ( $r = 0,95$  bis  $1$ ).

Insgesamt erfolgt nur in den Proben des Kerns 9KL eine signifikante Bindung der REE an den authigenen Baryt. Die Proben dieses Kerns sind SiO<sub>2</sub>-reicher als die Proben der Kerne 6KL, 141KL und 169KL, aber tonärmer.

Die Korrelationen zwischen den summierten REE-Konzentrationen ( $\Sigma$  REE) und den Mn-Konzentrationen führen, sowohl innerhalb eines Gebietes als auch zwischen dem Nordgebiet mit den höheren Sedimentationraten und dem Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten zu uneinheitlichen Ergebnissen: Die REE-/Mn-Korrelationen sind in den Proben des Kerns 6KL des Nordgebietes hoch negativ ( $r = -0,99$ ). Die Mn-Konzentrationen im Sediment wirken verdünnend auf die REE-Konzentrationen. Hingegen weisen die gering an Mn-konzentrierten Proben des Kerns 9KL (Nordgebiet) eine hohe positive Korrelation zu den REE auf. Die bei geringeren Sedimentationsraten abgelagerten Proben der Kerne 141KL und 169KL aus dem Südgebiet grenzen sich gegenüber denen des Nordgebietes durch vernachlässigbare Korrelationen von  $r = 0,27$  (141KL) und  $0,25$  (169KL) ab.

Die Untergliederungen der REE in die LREE und in die HREE und deren Vergleich mit Mn führt zu vergleichbaren Korrelationswerten wie die (REE/Mn)-Korrelationen in den jeweiligen Kernen. Die (LREE/Mn)- und die (HREE/Mn)-Vergleiche führen in den Proben des Kerns 6KL (Nordgebiet) zu negativen Korrelationen von  $r = -1$  und  $r = -0,98$  und die der Proben des Kern 9KL (Nordgebiet) zu positiven von  $r = 0,90$  und  $r = 0,97$ . Die Proben des Kerns 9KL weisen geringere Mn-Anreicherungen auf als die der Kerne 6KL, 141KL und 169KL. Hieraus resultieren die höheren (REE/Mn)-, (LREE/Mn)- und (HREE/Mn)-Verhältnisse, die mit einem Faktor von 2,9 beziehungsweise von 3,31 und 2,81 höher sind als die Proben der übrigen Kerne.

Die Proben aus den Kernen 141KL und 169KL des Südgebietes zeigen mit Werten zwischen 0,12 und 0,31 keine signifikante Verbindung der LREE und der HREE zu Mn.

Besonders Ce wird häufig in den Mn-Oxy-/Hydroxiden angereichert und somit dem Sediment entzogen. Die gesonderten Vergleiche der Ce-Werte mit den Mn-Werten führt zu einer klaren Abgrenzung der Gebiete durch gute bis hohe Korrelationen der Proben des Nordgebietes und geringen bis fehlenden Korrelationen im Südgebiet.

### **6.6.3.2 Die leicht desorbierbaren Ionen der Gesamtproben: GAD-Reihe**

Die wässrigen Lösungen mit den desorbierten REE spiegeln zum einen das Verteilungsmuster ozeanischen Tiefenwassers (Elderfield & Greaves, 1982; Elderfield et al., 1990) und das von Tiefseesedimenten wider, zum anderen zeigen die GAD-Proben einen Konzentrationsanstieg von Nord nach Süd. Die Mittelwerte der Konzentrationen adsorptiv gebundener REE liegen im Nordgebiet zwischen 523 und 1108  $\mu\text{g/L}$  und im Südgebiet zwischen 983 und 1673  $\mu\text{g/L}$  (Tab. 6.6.3.2 und Anhang T-26.d.3).

REE-Konzentration ( $\mu\text{g/L}$ ) \diagdown Kern	Nordgebiet		Südgebiet	
	6KL	9KL	141KL	169KL
GAD-Reihe	985	854	1402	1339

Tab. 6.6.3.2: Gemittelte Konzentrationen der adsorptiv gebundenen REE der GAD-Reihe (Perubecken).

Die „UC“-normierten Verteilungsmuster aller Proben zeigen einen Anstieg von den LREE<sub>N</sub> zu den HREE<sub>N</sub> (Anhang T-13 und T-25) sowie ausgeprägte Ce-Anomalien. Alle Proben zeigen gebietsunabhängig hohe Fraktionierungen durch starke Anreicherungen der HREE<sub>N</sub> gegenüber dem Standard mit (La/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnissen zwischen 0,25 und 0,35. Die internen Fraktionierungen der LREE<sub>N</sub> sind mit (La/Sm)<sub>N</sub>-Werten von 0,72, beziehungsweise mit Verhältnissen von 0,62 in Kern 9KL, schwächer ausgeprägt. Die Fraktionierungen der HREE<sub>N</sub> mit Hilfe der (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Werte führen gebietsunabhängig zu Verhältnissen um 0,4. Die Ce/Ce\*-Werte in den Kernen 6KL, 141KL und 169KL schwanken zwischen 0,16 und 0,21. Die Ce-Anomalien sind in den Proben des Kerns 9KL etwas niedriger ausgebildet. Deren Ce/Ce\*-Verhältnisse liegen bei 0,21 und 0,30.

Die Eluate mit den desorbierten Ionen zeigen kern- und tiefenunabhängige Eu/Eu\*-Konzentrationen zwischen 1,09 und 1,13.

### 6.6.3.3 Die Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken

Die REE-Verteilungsmuster der salzfreien Gesamtproben mit der Bezeichnung „GESSF“ zeigen einen Anstieg von den LREE zu den HREE (Anhang T-23). Die REE-Konzentrationen in den Proben des Nordgebietes liegen in Kern 6KL zwischen 141 und 186 mg/kg und schwanken in denen des Kerns 9KL zwischen 46 und 216 mg/kg. Die Proben der Kerne des Südgebietes zeigen REE-Konzentrationen zwischen 163 und 235 mg/kg (Kern 141KL) beziehungsweise zwischen 177 und 217 mg/kg (Kern 169KL). Insgesamt zeichnet sich ein Konzentrationsanstieg von Nord nach Süd ab.

Die Fraktionierungen der Lanthaniden in den „UC“-normierten salzfreien Gesamtproben liegen gebiets- und kernunabhängig bei (La/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnissen zwischen 0,44 und 0,65. Auffallend sind die minimalen bis fehlenden Fraktionierungen der LREE<sub>N</sub>. Aufgrund der hohen La<sub>N</sub>-Werte in den Proben der Kerne 6KL, 141KL und 169KL liegen die (La/Sm)<sub>N</sub>-Werte zwischen 1,01 und 1,22. Abweichungen zeigen die Proben 141-589GESSF und 141-772GESSF mit Werten von 0,93 und 0,99. Die Proben des Kerns 9KL, ausgenommen die Probe 9-870GESSF, weisen (La/Sm)<sub>N</sub>-Verhältnisse zwischen 0,95 und 0,97 auf. Die Fraktionierungen der HREE<sub>N</sub> sind, ausgedrückt durch die (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnisse von 0,69 bis 0,86 ((Gd/Yb)<sub>N</sub>-Wert von durchschnittlich 0,74), insgesamt in allen Kernen gleich. Alle Proben der untersuchten Kerne sind durch hohe negative Ce-Anomalien gekennzeichnet. Die Ce/Ce\*-Werte liegen bei 0,33, nur die der Proben des Kerns

9KL aus dem sedimentationsreicheren Nordgebiet liegen bei 0,49. Alle Proben zeigen eine ausgeprägte positive Eu-Anomalie. Während die Eu/Eu\*-Werte der Proben des Kerns 6KL zwischen 1,46 und 1,81 schwanken, variieren die des Kerns 9KL zwischen 1,20 und 2,34. Im Südgebiet liegen die Eu/Eu\*-Werte in beiden Kernen zwischen 1,50 und 1,82. Ein Vergleich mit den Ba<sub>N</sub>-Konzentrationen, die in den Proben des Nordgebietes deutlich geringer sind, mit den Eu<sub>N</sub>-Konzentrationen führt zu einer (Ba/Eu)<sub>N</sub>-Korrelation von 0,50. Die hohen positiven Eu-Anomolien, insbesondere die der Proben aus dem Kern 9KL, beruhen daher auf Eu-Substitutionen im Plagioklasgitter anstelle eines Einbaus in das Barytgitter. Dagegen erfolgt in der < 2μ-Fraktion hauptsächlich der Einbau in das Barytgitter, kaum jedoch in das des Feldspats. Zusätzlich erfolgt bei allen Messungen eine messtechnisch bedingte Überschätzung der Eu-Konzentrationen infolge der hoher Ba-Konzentrationen (Kap. 6.6.3.4).

Die Probe 9-870GESSF verhält sich durch höhere Konzentrationen (40 mg/kg), höhere HREE<sub>N</sub>-Anteile gegenüber den LREE<sub>N</sub>-Anteilen, einer LREE<sub>N</sub>-Fraktionierung von 0,74 und einer HREE<sub>N</sub>-Fraktionierung von 0,90 abweichend gegenüber den anderen Proben des Kerns 9KL.

#### **6.6.3.4 Vergleich der Eluatproben der GAD-Untersuchungsreihe mit den Proben der < 2μ-Fraktion, der elektrolyt-freien und -haltigen Gesamtproben der Reihe 1**

Anhand der „UC“-normierten Proben ergibt sich ein korngößenunabhängiges Nord-Süd-Gefälle der REE-Konzentrationen. Der Anstieg der Konzentrationen vom Nord- zum Südgebiet, im weiteren Sinn in Richtung der abnehmenden Sedimentationsraten, liegt in den Gesamtproben (GES), in den salzfreien Gesamtproben (GESSF) und in den salzhaltigen Eluaten (GAD) bei Faktoren zwischen 1,52 und 1,58. In der Tonfraktion (< 2μ-Fraktion) steigen die Konzentrationen sogar um einen Faktor von 1,9 an. Die Konzentrationsunterschiede in der < 2μ-Fraktion innerhalb der Kerne eines Gebietes sind jedoch geringer als in den anderen Untersuchungsreihen.

Die absoluten Konzentrationen der GAD-Proben zeigen, dass der Hauptteil der REE adsorptiv gebunden wird. Die Konzentrationen sind gegenüber den Proben der Tonfraktion um das 4- bis 5-fache angereichert. Noch deutlicher wird der Unterschied zwischen den Eluaten und den salzfreien Gesamtproben (Anhang T-22 bis T-25).

Wie aus den Abbildungen 6.6.3.4.a-d hervorgeht, sind die desorbierten REE<sub>N</sub> in den Proben der GAD-Reihe stärker fraktioniert als die der < 2μ-Fraktion und insbesondere höher fraktioniert als in den salzfreien Gesamtproben (GESSF). Analog sind in den Proben der GAD-Reihe die Summen der HREE<sub>N</sub> gegenüber denen der LREE<sub>N</sub> höher. Unabhängig von der Probenreihe grenzen sich die Proben des Kerns 9KL durch geringere Anreicherungsunterschiede zwischen den LREE<sub>N</sub> und den HREE<sub>N</sub> von den (LREE<sub>N</sub>/HREE<sub>N</sub>)-Verhältnissen der Proben der Kerne 6KL, 141KL und 169KL ab.

Die internen Fraktionierungen der LREE<sub>N</sub> der salzfreien Gesamtproben zeigen bevorzugte Anreicherungen an La<sub>N</sub> gegenüber Sm<sub>N</sub>. Die (La/Sm)<sub>N</sub>-Verhältnisse sind  $\geq 1$  (Mit Ausnahme der Proben des Kerns 9KL, deren Verhältnisse bei knapp  $\leq 1$  liegen). Im Gegensatz dazu führen die Fraktionierungen der LREE<sub>N</sub> in der Tonfraktion und innerhalb der Eluate der desorbierten Ionen zu (La/Sm)<sub>N</sub>-Werten deutlich  $< 1$ .

Die Proben der GAD-Reihe zeigen sehr hohe interne Fraktionierungen der HREE<sub>N</sub> mit (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Werten zwischen 0,36 und 0,46. Im Gegensatz hierzu sind die internen HREE<sub>N</sub>-Fraktionierungen in den Proben der GES-, GESSF- und der  $< 2\mu$ -Fraktion-Reihe mit (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnissen von 0,7 bis 0,8 vergleichsweise gering.

Die Höhen der negativen Ce-Anomalien steigen von den salzfreien Gesamtproben über die Proben der Tonfraktion zu den Eluaten der GAD-Reihe. In allen Probenreihen sind die Proben des Kerns 9KL (Nordgebiet) durch höhere Ce/Ce\*-Werte (Anhang T-13) gekennzeichnet.

Neben dem deutlich erkennbaren Nord-Südgefälle der REE-Konzentrationen als Funktion der Sedimentationsrate können die Untersuchungen zeigen, dass die Oberfläche, somit die Adsorptionsfähigkeit der Sedimentpartikel, eine entscheidende Rolle bei der Höhe des REE-Scavengings spielt. Die HREE sind leichter adsorbierbar/desorbierbar, was sich speziell auf die Tonminerale, aber auch auf die Quarzminerale etc. auswirkt. Folglich erfolgt eine bevorzugte Anreicherung der HREE in den Eluaten. Der Anteil der HREE ist in der Tonfraktion stärker vertreten als in den Gesamtproben. Allgemein kann mit Zunahme der Korngröße und der damit verbundenen Abnahme mariner Tonminerale ein Absinken der REE-Konzentrationen festgestellt werden.

Alle untersuchten Proben mariner Sedimente zeigen vergleichbare REE-Muster. Diese Signaturen entsprechen dem Muster des Meerwassers beziehungsweise dem von im Gleichgewicht mit dem Meerwasser befindlichen Sedimenten. Das bedeutet, dass zum einen der biogene Niederschlag in beiden Gebieten des Perubeckens zur Zeit der Ablagerung der Sedimente mäßig bis gering war, zum anderen, dass keine Beeinflussung auf die Sedimente durch terrigene Einträge stattfand.

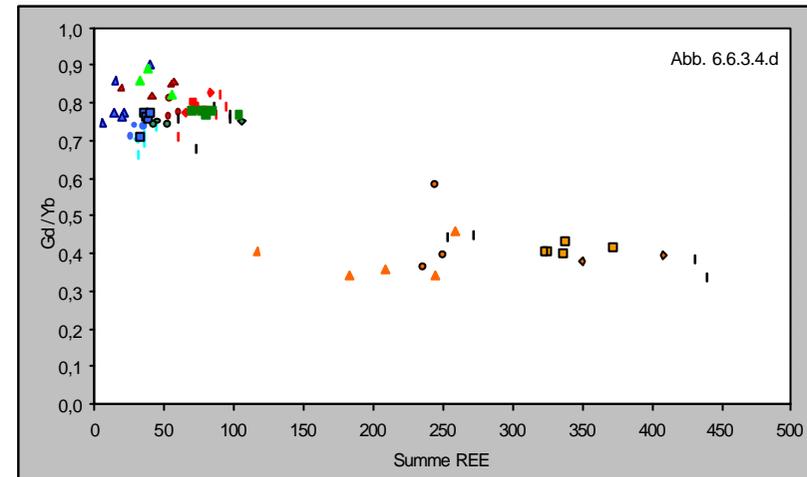
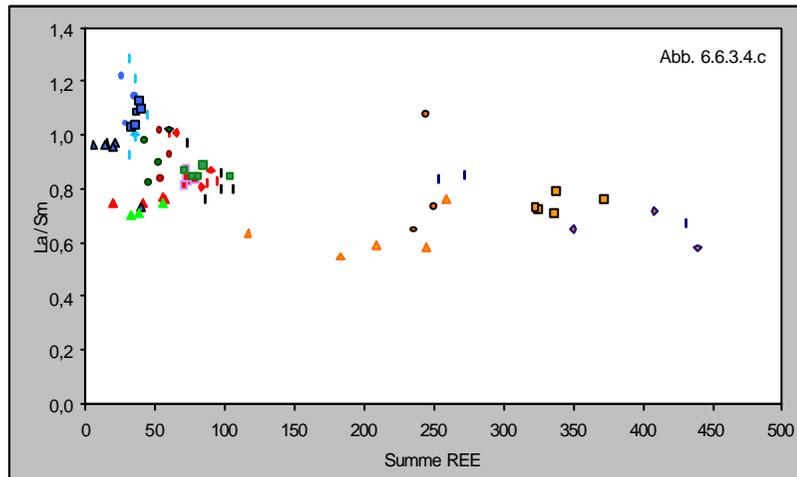
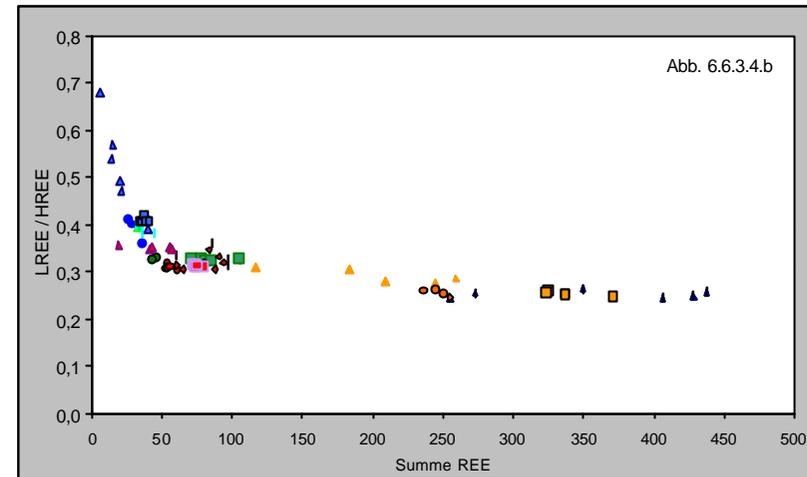
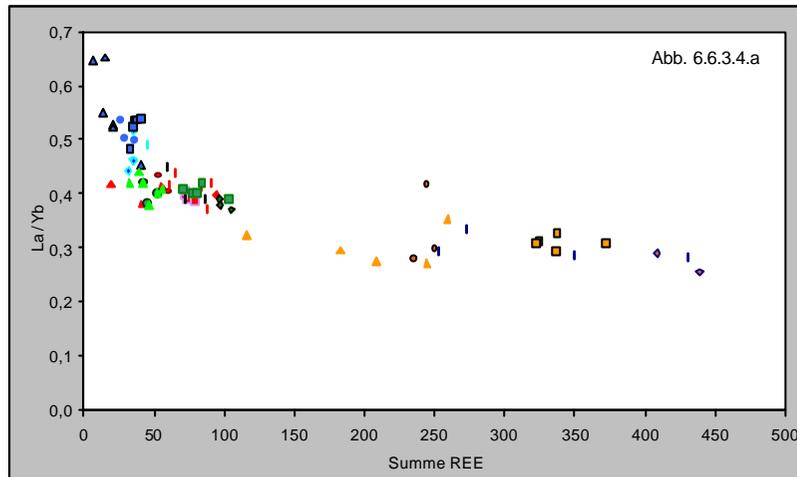


Abb. 6.6.3.4.a-d: Die Verhältnisse von  $(La/Yb)_N$ ,  $(LREE/HREE)_N$ ,  $(La/Sm)_N$  und  $(Gd/Yb)_N$  zur Summe der REE am Beispiel von unterhalb der CCD abgelaugerten Sedimenten aus dem Perubecken. Die Proben sind auf die Daten der Oberen Krusten („UC“-Daten) von Taylor & McLennan (1981) normiert und wie folgt gekennzeichnet: Rot= Gesamtprobe (GES); Orange= salzige Eluate der Gesamtproben (GAD); Blau= salzfreie Gesamtproben (GESSF); Grün =  $< 2\mu$ -Fraktion.  $\circ$  = Kern 6KL;  $\Delta$  = Kern 9KL;  $\diamond$  = Kern 141KL und  $\square$  = Kern 169KL.



### **Ursache für die ausgeprägten Eu-Anomalien**

Wie bereits in Kap. 6.6.3.1 beschrieben steigen die Eu-Konzentrationen mit steigenden Ba-Konzentrationen an. Hieraus ergibt sich, dass die hohen Eu-Konzentrationen und indirekt die positiven Anomalien auf Interferenzen der Eu-Isotopen 151 und 153 mit den Ba-Isotopen beruhen. Je höher die Ba-Konzentrationen sind, desto höher werden die „scheinbaren“ Eu-Konzentrationen, die von dem ICP-MS-Gerät nicht ausreichend korrigiert werden können. Bei den Ba/Eu-Extremwerten korrelieren wiederum die Eu/Eu\*-Werte negativ mit den Ba/Eu-Werten. Eine eindeutige Ursache für diese umgekehrt proportionale Abnahme ist ungeklärt. Die positiven Eu-Anomalien der salzfreien Gesamtproben (GESSF-Reihe), möglicherweise auch die der Proben der Tonfraktion, sind unabhängig hiervon abzugrenzen. Deren hohe Eu/Eu\*-Werte (Tab. 6.6.3.c) werden durch Eu<sup>2+</sup>-Substitutionen in magmatisch gebildete Plagioklase in der Silt- und Sandfraktion hervorgerufen. Zusätzliche „Überhöhungen“ der Eu-Konzentrationen durch Interferenzen mit den Ba-Isotopen sind dann nicht auszuschließen.

### **6.6.3.5 Die leicht desorbierbaren Ionen der Gesamtproben: Reihe 2**

Aus der Probenreihe 2, welche sich aus Proben und Eluaten von oberhalb und unterhalb der CCD abgelagerten Sedimenten zusammensetzt, wurden repräsentative Eluate untersucht. Die REE<sub>N</sub>-Verteilungsmuster spiegeln die Signaturen ozeanischen Tiefenwassers wider. Anhand der Eluate zeichnen sich folgende Tendenzen ab: Die Gesamtfractionierung ((LREE/HREE)<sub>N</sub>) (Tab. 6.6.3.5 und Anhang T-27) der Oberflächensedimente (< 40 cm) ist geringer als die der tiefergelegenen Sedimente. Letztere sind wiederum geringer fraktioniert als die Eluate der GAD-Reihe von Sedimenten, die ausschließlich unterhalb der CCD abgelagert wurden. Während die Fraktionierungen der vorderen REE<sub>N</sub> zu keinen eindeutigen gebiets- oder tiefenbedingten Unterschieden führen, erfolgen nach den (Gd/Yb)<sub>N</sub>-Verhältnissen in den Oberflächensedimenten und in den karbonatreicheren Sedimenten (zum Beispiel 9-824 und 9-844) geringere Fraktionierungen der hinteren REE<sub>N</sub> als in den karbonatärmeren Sedimenten.

Die Höhe der Summe der MREE<sub>N</sub> ist in den Oberflächensedimenten, unabhängig von den Sedimentationsraten, größer als in den untersuchten tiefergelegenen Sedimenten. Die MREE<sub>N</sub>-Anreicherungen werden zum Teil von den hohen Eu-Akkumulationen verursacht. Desweiteren erfolgt ein Anstieg der Summen der MREE<sub>N</sub> mit steigenden CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen. Deutliche Unterschiede zeigen sich ab CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen von > 10 %. Hieraus folgt, dass die (MREE/HREE)<sub>N</sub>-Werte der oberflächennahen Sedimente und/oder karbonatreicheren Sedimente höher sind als die der tiefergelegenen und karbonatärmeren Sedimente.

Proben	Sed.rate* (cm/ka)	CaCO <sub>3</sub> (%)	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>
9-227 III	0,63	7,48	0,45	0,90	0,25	1,41
9-617	1,00	11,74	0,40	0,82	0,25	1,28
9-824	0,83	34,34	0,38	0,89	0,26	1,29
9-844	0,83	39,42	0,36	0,90	0,23	1,26
26-4	0,24	12,01	0,38	0,85	0,23	1,30
26-12	0,36	6,32	0,39	0,84	0,21	1,32
26-574	0,54	0,21	0,45	0,77	0,28	1,26
26-698	0,38	7,70	0,32	0,76	0,24	1,12
26-707	0,35	3,96	0,39	0,73	0,31	1,14
26-1307	0,36	12,46	0,27	0,73	0,20	1,04
26-1322	0,34	18,20	0,56	0,91	0,47	1,38
77-1329	0,74	9,45	0,27	0,73	0,19	1,08
164-354,5	-	0,00	0,49	0,78	0,51	1,14
164-454,5 c	-	0,00	0,30	0,75	0,26	1,07
169-vel4	0,21	4,40	0,36	0,85	0,24	1,25
169-vel9	0,22	4,40	0,40	0,75	0,21	1,28
169-378	0,32	3,48	0,32	0,71	0,25	1,08
169-1136,5	0,78	2,10	0,31	0,74	0,26	1,06
169-1236,5	0,36	5,00	0,34	0,72	0,26	1,10

Tab. 6.6.3.5: REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Eluate von Lockersedimentdaten (Reihe 2; Perubecken) zu Lösungsweg 2. Die Reihe 2 setzt sich aus chemisch unbehandelten Proben von Sedimenten, die ober- und unterhalb der CCD abgelagert wurden, zusammen. Sed.rate\* steht für Sedimentationsraten in cm/ka.

#### 6.6.4 Die Verteilungsmuster der REE in den verfestigten Mergeln und Kalken aus Gordoia und Urrunaga

Untersucht wurden die oberkretazischen „Kalk- und Mergelproben“ aus dem Gebiet Urrunaga mit Paläo-Beckentiefen zwischen 10-70 m im Cenoman und 700 m im Santon sowie Proben aus dem vergleichsweise distaler gelegenen Ablagerungsgebiet Gordoia mit ehemaligen Paläo-Beckentiefen zwischen ca. 60 m im Cenoman und 1000 m (Grenze Turon/Coniac).

Trotz gleicher Karbonatkonzentrationen der „Kalke“ (72-76 % CaCO<sub>3</sub>) und der „Mergel“ (61-67 % CaCO<sub>3</sub>) in beiden Gebieten enthalten die Proben aus Gordoia geringere Gehalte an REE als die aus Urrunaga. Die Kalke aus Gordoia zeigen Konzentrationen um 28 ppm, die mit Zunahme der tonigen Komponente auf 42 ppm in den Mergeln ansteigen. Dagegen wurden in den Proben der Kalke aus Urrunaga 34 ppm und in den Mergelproben zwischen 45 und 57 ppm gemessen. Auch nach der chemischen Aufbereitung weisen die Residuen der Mergelproben aus Gordoia und Urrunaga höhere REE-Konzentrationen auf als die Residuen der Kalke beider Gebiete. Die

Residuen belaufen sich in Gordoia auf 66 ppm (Kalke) und 50 ppm (Mergel) und in Urrunaga auf 86 ppm (Kalke) und 99 ppm (Mergel) (Anhang T-18 und T-19).

### Vergleich der Proben aus Gordoia

Die Originalproben und die dazugehörigen Residualproben sind auf die Oberen Krusten-Daten („UC“-Daten) von Taylor & McLennan (1981) normiert worden. Die Originalproben aus Gordoia sind im Verhältnis zu den „UC“-Daten abgereichert. Sowohl die Proben der Kalke wie auch die der Mergel zeigen ein konvexes Muster mit einem Maximum im Bereich der Mittleren Seltenen Erden Elemente ( $MREE_N$ ). Die Muster der Kalksteinproben sind stärker gewölbt und der Anteil der Schweren Seltenen Erden Elemente ( $HREE_N$ ) sowie insbesondere der Leichten Seltenen Erden Elemente ( $LREE_N$ ) ist gegenüber den Mittleren Seltenen Erden Elementen ( $MREE_N$ ) geringer (Anhang T-11 und T-19 mit den  $(LREE/MREE)_N$ , den  $(HREE/MREE)_N$ , den  $(La/Sm)_N$  und den  $(Gd/Lu)_N$ ). Im Vergleich zu den REE-Mustern der Kalke sind die entsprechenden Muster der Mergel geringer fraktioniert (Abb. 6.6.4.a). Von den MREE wird bevorzugt das Element Gd angereichert. Bei Betrachtungen der internen Fraktionierung mit Hilfe der Einzelelemente kann dies im Einzelfall zu einer Überschätzung der MREE führen. Alle Proben weisen eine negative Ce-Anomalie mit  $Ce/Ce^*$ -Verhältnissen zwischen 0,82 und 0,91 auf. Tendenziell nimmt die Anomalie mit steigenden Tongehalten zu.

	Originalproben			Residualproben		
Gordoia	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$
Kalk	0,93	0,79	1,35	1,23	1,33	0,93
Mergel	1,05	0,95	1,19	1,11	1,73	0,64

Tab. 6.6.4.a: Gemittelte REE-Verhältnisse der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Original- und Residualproben von den Kalken und Mergel aus Gordoia.

### Vergleich der residualen Proben aus Gordoia

Die Residualproben der Kalke und der Mergel sind ebenfalls gegenüber dem „UC“-Standard abgereichert und zeigen schwach bis stark konkave Verteilungsmuster (Abb. 6.6.4.b). Diese deutlich veränderten Fraktionierungen zeigen sich zum einen durch einen hohen Anstieg der  $(LREE/MREE)_N$ -Verhältnisse der Kalkresiduen von 0,28 auf 0,81 und der residualen Mergelprobe (G1-4 okf) von 0,31 auf 0,90 (Anhang T-11). Zum anderen steigen die  $(MREE/HREE)_N$ -Verhältnisse von 1,71 auf 5,19 in den Kalksteinresiduen und in den Mergelresiduen von 1,58 auf 4,03 an. Dieses Ergebnis weicht stark von den Fraktionierungen der Einzelelemente ab (Tab 6.6.4.a und Anhang T-19). Danach nimmt der Anteil der hinteren  $REE_N$  mit der chemischen Aufbereitung relativ zu den  $MREE_N$  zu und der Verlust der  $MREE_N$  steigt graduell mit Zunahme des primären tonigen Anteils in der Probe (Tab. 6.6.4.a; Anhang T-18 und T-19) an. Die Abweichungen der Einzelelementvergleiche zu denen der  $LREE_N$ -,  $MREE_N$ - und  $HREE_N$ -Verhältnisse beruhen auf den bevorzugten An- und Abreicherungen einzelner Elemente.

Vergleiche der Proben mit und ohne Karbonat zeigen, dass mit Abnahme der Kalkgehalte die Konzentrationen der HREE schwach steigen. Die Residuen weisen von der Lithologie unabhängige, negative Ce-Anomalien zwischen 0,82 und 0,91 auf.

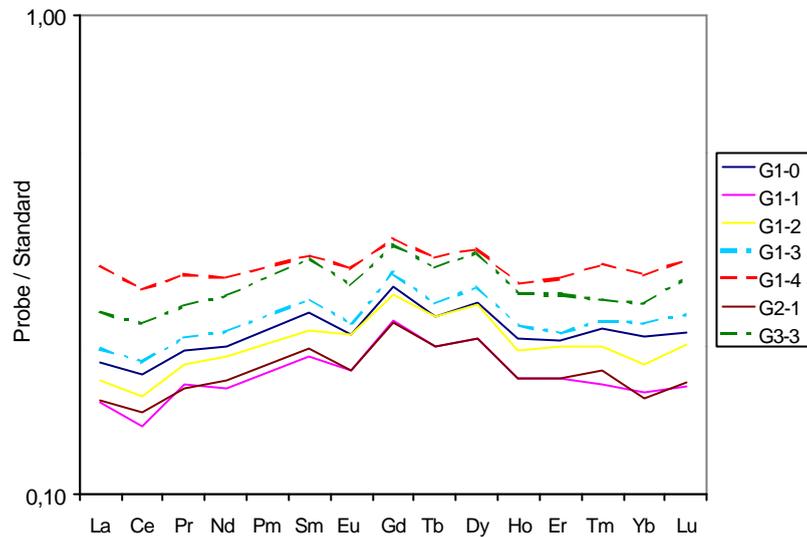


Abb. 6.6.4.a: Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von Proben aus Gordoa vor der chemischen Aufbereitung. Die „Kalke“ sind mit einer durchgehenden Linie dargestellt, die „Mergel“ mit einer durchbrochenen.

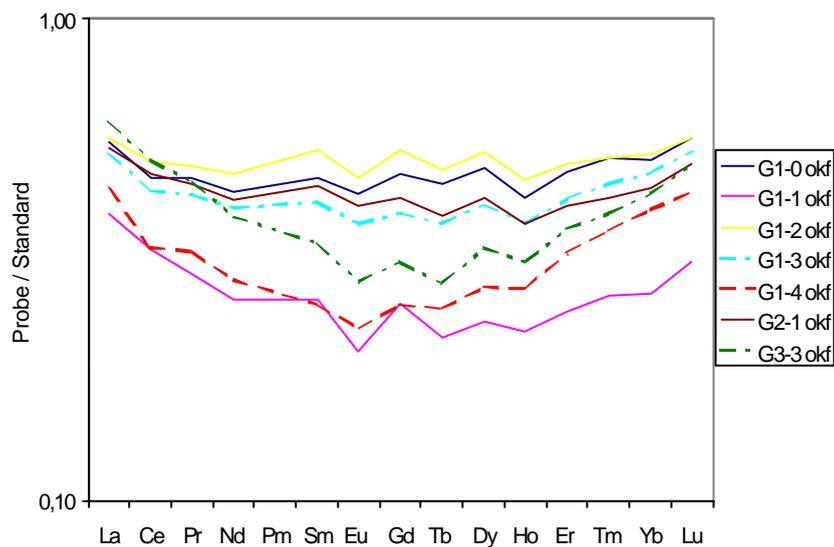


Abb. 6.6.4.b: Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von organik- und kalkfreien Residualproben aus Gordoa. Die „Kalke“ sind mit einer durchgehenden Linie dargestellt, die „Mergel“ mit einer durchbrochenen.

### Vergleich der Proben aus Urrunaga

Die Proben aus Urrunaga zeigen analog der Proben aus Gordoia im Originalzustand konvex verlaufende Verteilungsmuster (Abb. 6.6.4.c) und konkav verlaufende nach der chemischen Aufbereitung (Abb. 6.6.4.d). Die  $(\text{LREE}/\text{MREE})_N$ -Verhältnisse zwischen den Originalproben der Kalke und der Mergel lassen keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Lithologien erkennen. Die Werte liegen bei 0,28. Hingegen lassen sich Unterschiede bei Vergleichen der  $(\text{MREE}/\text{HREE})_N$ -Verhältnisse erkennen (Anhang T-11 und T-20). Höhere  $\text{MREE}_N$ -Summen führen in den Kalken zu Verhältnissen von 1,72 und in den Mergeln zu Verhältnissen von lediglich 1,59. Die REE-Fraktionierungen wurden sowohl bei den Kalken als auch bei den Mergeln anhand der Einzelemente überprüft: Die Fraktionierungen der Mergelproben zeigen geringere  $(\text{La}/\text{Sm})_N$ - und  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ -Verhältnisse als die Kalkproben. Diese Daten sind in Tab. 6.6.4.b aufgelistet. Alle Proben weisen von der Lithologie unabhängige negative Ce-Anomalien zwischen 0,76 und 0,89 auf.

Urrunaga	Originalproben			Residualproben		
	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$
Kalk	0,92	0,76	1,38	1,25	1,28	1,00
Mergel	1,01	0,92	1,23	1,48	0,94	1,57

Tab. 6.6.4.b: Gemittelte REE-Verhältnisse der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Original- und Residualproben von den Kalken und Mergel aus Urrunaga.

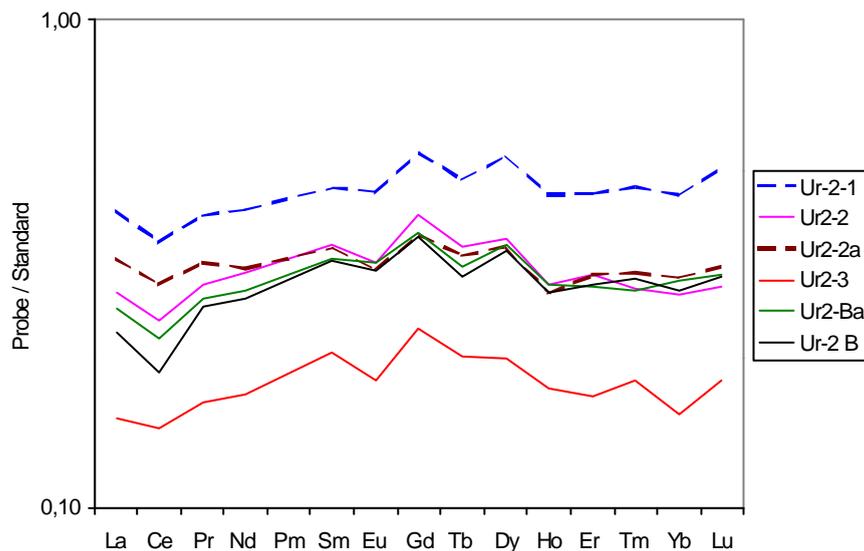


Abb. 6.6.4.c: Darstellung der UC-normalierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von Proben aus Urrunaga vor der chemischen Aufbereitung. Die „Kalke“ sind mit einer durchgehenden Linie dargestellt, die „Mergel“ mit einer durchbrochenen.

### Vergleich der residualen Proben aus Urrunaga

Mit der chemischen Aufbereitung erfolgt ein Verlust der  $MREE_N$ , der sich in den ansteigenden  $(LREE/MREE)_N$ -Verhältnissen niederschlägt (Anhang T-11 und T-21). Unterschiede zwischen den Residuen der Kalke und der Mergel sind gering. Die  $(LREE/MREE)_N$ -Verhältnisse der Originalproben steigen von 0,28 auf 0,84 in den Rückständen an. Die  $(MREE/HREE)_N$ -Verhältnisse liegen in den Kalkresiduen bei 5,49 und in den Rückständen der Mergel bei 5,23. Die Mergelresiduen reichern wie die Originalproben mehr  $HREE_N$  an als die Kalksteinresiduen. Anhand der Einzelementvergleiche kann bestätigt werden, dass mit der Entfernung des Karbonats und der organischen Bestandteile eine deutliche Abtrennung der MREE stattfindet. Dieser Verlust ist besonders in den Residuen der Kalksteine feststellbar (Anhang T-21). Die Residualproben weisen von der Lithologie her unabhängige, negative Ce-Anomalien zwischen 0,75 und 0,96 auf.

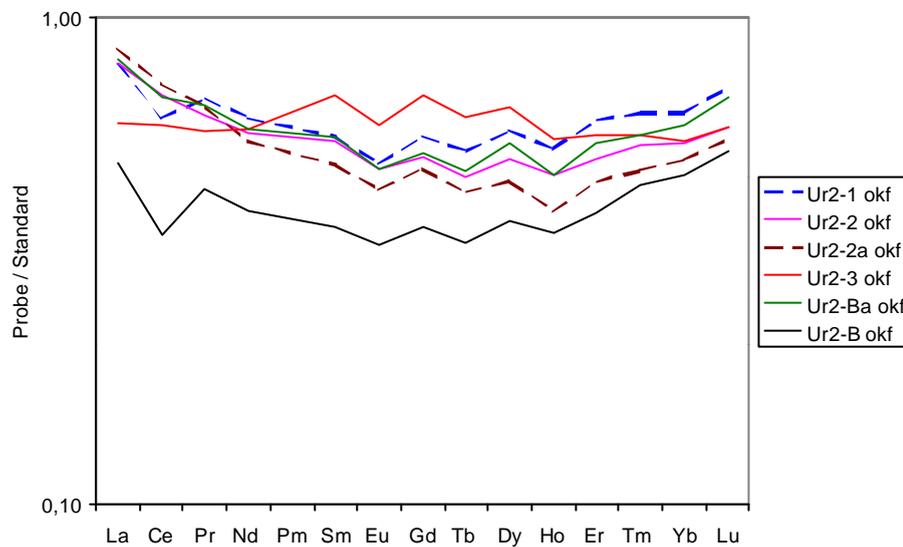


Abb. 6.6.4.d: Darstellung der UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) REE-Konzentrationen von organik- und kalkfreien Residualproben aus Urrunaga. Die „Kalke“ sind mit einer durchgehenden Linie dargestellt, die „Mergel“ mit einer durchbrochenen.

Zusammenfassend kann für die Proben aus Gordoia und Urrunaga festgestellt werden, dass unabhängig von der mineralogischen Zusammensetzung die  $MREE_N$  im Vergleich zu den  $LREE_N$  und  $HREE_N$  stärker akkumuliert sind. Mit der chemischen Aufbereitung werden zwischen 2,72 bis 13,20 % der  $MREE_N$  abgetrennt. Alle Proben konzentrieren stark Gd. Aus dieser Gd-Anreicherung resultiert möglicherweise eine scheinbare, negative Eu-Anomalie in den Ausgangsproben mit  $Eu/Eu^*$ -Verhältnissen zwischen 0,91 und 0,97. In den Residualproben rangieren die  $Eu/Eu^*$ -Werte zwischen 0,79 und 0,94. Spuren von Kalifeldspäten kommen ebenfalls als Ursache für die schwachen, negativen Eu-Anomalien in Betracht.

Die „Upper Crust“-normierten Proben aus Gordoia und Urrunaga weichen von den im Gleichgewicht mit dem Meerwasser befindlichen Tiefseeschlämmen (beispielsweise die Proben

aus dem Perubecken (Haskin & Wildeman, 1965)) durch geringere Konzentrationen und starke Anreicherungen der MREE ab. Die Unterschiede zeigen sich unabhängig von der Lithologie auch in den geringeren Ce/Ce\*-Verhältnissen der spanischen Proben gegenüber denen des Perubeckens.

#### **Vergleich der residualen Mergelproben aus Gordoia und Urrunaga mit Tiefseetondaten**

In allen Residualproben der Gebiete Gordoia und Urrunaga sind die Elemente der Lanthaniden-Reihe gegenüber den gemittelten Tiefseeton-Daten (TST-Daten von Martin und Whitfield, 1983) abgereichert. Die maximale Abreicherung erfolgt für das Element Eu. Mit Zunahme der Tonkomponente erfolgt keine Annäherung an den Standard.

#### **6.6.5 Die Elementverteilung der Tufflage T<sub>D1</sub> als Beispiel primärer Schichtung in einer Kalk-Mergel-Wechselagerung im Aufschluss Salder**

Die Probe S10a der Tufflage T<sub>D1</sub> des Ober-Turons unterscheidet sich makroskopisch nicht von den zyklisch abgelagerten Mergellagen. Nach den geochemischen Analysen handelt es sich jedoch um eine zu einem Bentonit alterierte Aschenlage.

Charakteristisch für die vulkanogene Herkunft der Probe S10a ist das signifikante REE-Muster (Abb. 6.6.1.a), die Eu-Anomalie, die hohe Fraktionierung der REE mit (La/Yb)<sub>N</sub>-Werten von 2,15 und die hohen Konzentrationen der diagenetisch immobilerelemente Hf, Nb, Zr, Th im Vergleich zu denen der übrigen Mergelproben aus Salder.

In der Probe S10a (auf karbonathaltiger Basis) ist Hf um den Faktor 9,16 und Th um den Faktor 3,02 gegenüber den übrigen mergeligen Proben angereichert. Die Nb- und Zr-Konzentrationen variieren stärker. Der Anreicherungsfaktor der vulkanogenen Probe S10a liegt für Nb um das 1,5- bis 4,39-fache und für Zr um das 3,85- bis 9-fache höher als in den reinen Mergelproben. Von den stärker mobilen Elementen (LIL) Cs, Rb, K, Ba, Sr, Eu ist die Cs-Konzentration der Probe S10a um das 3,98-fache, die des Rb um das 3,51-fache und die des K um das 2,75-fache geringer konzentriert als in den übrigen Mergelproben. Die Elemente Eu und Sr lassen keine Unterschiede zwischen den beiden Lithologien erkennen. Das mobile Element Ba ist unerwartet um den Faktor 8,06, beziehungsweise bei Ausschluss der Extremwerte um den Faktor 15,64 in der Probe S10a, gegenüber den übrigen Mergelproben<sub>SS</sub> angereichert. Die hohen Konzentrationen lassen eine diagenesebedingte Anreicherung vermuten.

Die chemischen Unterschiede zwischen den mergeligen Proben unterschiedlicher Herkunft bleiben auch auf karbonatfreier Basis erhalten.

Die Klassifizierung der geochemischen Zusammensetzung der Probe S10a erfolgte auf entkarbonatisierter und LOI-freier Basis mit Hilfe des TAS-Diagramms von LeMaitre et al. (1989). Die Abkürzung TA steht für den Gesamtanteil an den Alkalien ( $K_2O$  und  $Na_2O$ ) und S für den Anteil an  $SiO_2$ . Nach der TAS-Einteilung hat die Probe S10a okf beziehungsweise die Ausgangsprobe S10a eine andesitische bis dazitische Zusammensetzung. Mittels eines  $K_2O/SiO_2$ -Vergleichs erfolgt eine weitere Qualifizierung in einen „low- $K_2O$ -Trend“. Bei der Klassifizierung bleibt jedoch der Verlust an Alkalielementen und der MgO-Verlust im Rahmen der Alteration sowie der diagenetischen Überprägung und der damit verbundenen Veränderung der chemischen Zusammensetzung zu beachten. Die ursprüngliche Zusammensetzung kann nach Winchester & Floyd (1977) eher von den immobilen Elementen Zr, Ti, Hf und Nb wiedergegeben werden. Nach der Darstellung des  $Zr/TiO_2$ - zu Nb/Y-Verhältnisses handelt es sich um eine phonolitische Ausgangszusammensetzung.

Die aus einer diagenetisch entstandenen, schieferungsflächen-parallelen Mergellage stammende Probe S10, beziehungsweise die karbonatfreie Probe S10 okf, nimmt bezogen auf die immobilere Elemente Hf, Nb, Th, Zr eine geochemische Stellung zwischen der als vulkanogen identifizierten Probe S10a (S10a okf) des gleichen Bankpaares und den übrigen Mergelproben ein. Die Konzentrationen der immobilere Elemente liegt in Probe S10 (S10 okf) eindeutig höher als in den übrigen Mergelproben, insbesondere höher als in den schieferflächen-parallelen Mergeln. Hiergegen sind die LIL-Elemente K, Cs und Rb gegenüber den Mergeln<sub>/SS</sub> und den Mergeln<sub>/SF</sub> geringer angereichert. Da sich die  $SiO_2$ -,  $TiO_2$ -,  $Na_2O$ - und  $K_2O$ - Konzentrationen eher wie die der vulkanogenen Probe S10a (S10a okf) verhalten, muss die angrenzende Kalkbank mit der mergelig belegten Schieferfläche, aus der die Probe S10 (S10 okf) stammt, durch Material vulkanogener Herkunft beeinflusst sein. Nach der TAS-Darstellung handelt es sich um eine andesitische bis dazitische Zusammensetzung mit hohen  $K_2O$ -Konzentrationen. Deutliche Unterschiede zu der Probe S10a (S10a okf) ergeben sich aus der  $Zr/TiO_2$  zu Nb/Y-Darstellung, nach der die Ausgangszusammensetzung als trachyandesitisch zu klassifizieren ist.

## 7. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den analytischen Arbeitsschritten

Die Ergebnisse aus den analytischen Arbeitsschritten werden nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst.

### Korngrößenverteilung:

- Anhand der untersuchten Proben der lithostratigraphischen Einheiten 1 und 2 (Quartär bis Pliozän) aus dem Perubecken ergeben sich zwischen dem äquatornäheren Nordgebiet und dem äquatorferneren Südgebiet keine Unterschiede in der Korngrößenverteilung.
- Nach den vorliegenden Daten sind jedoch zeitabhängige Unterschiede zwischen den lithostratigraphischen Einheiten 1 und 2 vorhanden: Die fein- und mittelsilthaltigen Tonproben aus dem Altpleistozän bis Pliozän der Reihe 1 enthalten weniger als 10 % Partikel der Fraktion  $> 32\mu$ , meist sogar unter 5 %. Hingegen sind die untersuchten Proben aus dem Quartär grobkörniger und die Abweichungen einzelner Proben von den gemittelten Korngrößen sind höher. Der Anteil der  $> 32\mu$ -Fraktion kann in den tonig-siltigen Sedimenten bis zu 37 % erreichen.

### Karbonatkonzentrationen:

- Zur Vereinfachung sind die Proben nach ihren Karbonatkonzentrationen in folgende Klassen eingeteilt worden: Proben, die eine Karbonatkonzentration von mehr als 68 %  $\text{CaCO}_3$  aufweisen, werden als Kalke bezeichnet, solche mit Konzentrationen von 5-68 %  $\text{CaCO}_3$  als Mergel und solche mit Konzentrationen  $< 5\%$   $\text{CaCO}_3$  als Tone.
- Die Kalke aus Salder enthalten 82,0-91,7 %, die Mergel<sub>SS</sub> 24,1-66,7 % und die Mergel<sub>SF</sub> 43,9-59,4 %  $\text{CaCO}_3$  (Mittelwerte siehe Tab. 6.1.1).
- Vergleichbare Konzentrationen gelten für Dörenthe: Die Kalke enthalten 83,5-94,3 %, die Mergel<sub>SS</sub> 29,6-68,7 % und die Mergel<sub>SF</sub> 42,4-58,5 %  $\text{CaCO}_3$ .
- Der Übergang zwischen den Mergeln und den Kalken ist in den Proben der spanischen Untersuchungsgebiete fließend. Die geringen Karbonatschwankungen zwischen den heute vorliegenden Kalken und Mergeln beruhen auf der Ablagerung nahe dem Beckenzentrum. So weisen die Kalke aus den spanischen Untersuchungsgebieten Gordoa und Urrunaga Konzentrationen von 74,2-76,9 %  $\text{CaCO}_3$  in Gordoa beziehungsweise Konzentrationen von 72,5-76,9 %  $\text{CaCO}_3$  in Urrunaga auf. Der untersuchte Mergel aus Gordoa enthält 61,1 %  $\text{CaCO}_3$ , die aus Urrunaga 66,5 %  $\text{CaCO}_3$  beziehungsweise 67,2 %  $\text{CaCO}_3$ .
- Die unterhalb der CCD abgelagerten Tonproben enthalten im Nord- und Südgebiet des Perubeckens zwischen 0-4 %  $\text{CaCO}_3$ . Die aus dem unveröffentlichten Fahrtbericht (von Stackelberg, 1993) entnommenen Daten der Proben mit Ablagerung oberhalb der CCD enthalten bis zu 46 %  $\text{CaCO}_3$ . Die Konzentrationsschwankungen sind generell im Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten größer als im Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten.
- Aragonit und Dolomit konnten bei keiner der Messungen mit dem Karbonatmessgerät von Klosa (1994) nachgewiesen werden.

## RDA:

- Salder: Die unaufbereiteten Kalk- und Mergelproben setzen sich in Salder aus Kalzit, Quarz und Smektit zusammen.
  - Die Zusammensetzungen der kalkfreien Residuen der Kalke, Mergel<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub> aus Salder unterscheiden sich weniger/kaum in den mineralogischen Zusammensetzungen als in den quantitativen. Die Residuen der Kalke grenzen sich von denen der Mergel durch höhere Quarz- und Feldspatkonzentrationen und geringere Smektitkonzentrationen ab. Laut RDA ist der Quarzanteil in den Mergeln<sub>//SS</sub> größer als in den Mergeln<sub>//SF</sub>. Die Illit-/Muskovitanteile in den Proben nehmen von den Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> über die der Mergel<sub>//SF</sub> zu denen der Kalke ab. Im Gegensatz hierzu steigt der Anteil an „Mixed-layered“-Tonmineralen, hauptsächlich aufgebaut aus Smektiten und eingeschalteten Illit-/Muskovitschichten, von den Mergelresiduen<sub>//SS</sub> über die Mergelresiduen<sub>//SF</sub> zu den Kalkresiduen an.
  - Die Teilung der kalkfreien Residuen in die > 20 $\mu$ - und die < 2 $\mu$ -Fraktion zeigt, dass die Feldspäte (Kalifeldspäte und Albite) unabhängig von der Lithologie auf die > 20 $\mu$ -Fraktion beschränkt sind, und belegen deren detritische Herkunft. Illit/Muskovit ist sowohl in der > 20 $\mu$ - und in der < 2 $\mu$ -Fraktion der Kalkresiduen als auch in den beiden Fraktionen der Mergelresiduen vertreten.
  - Hingegen bleiben die smektitischen Tonminerale auf die Residuen der Kalke der < 2 $\mu$ -Fraktion beschränkt. In den Mergeln sind die Smektite in beiden Korngrößen vertreten.
  
- Dörenthe: Die Kalkstein- und Mergelproben setzen sich nach den Übersichtsmessungen aus Kalzit, Quarz, Illit/Muskovit sowie Chlorit zusammen.
  - Die mineralogischen Zusammensetzungen aus (hauptsächlich) Quarz und einem Tonmineralgemenge aus mäßig kristallinem Illit/Muskovit, „Mixed-layered“-Tonen, Chlorit, Kaolinit/Halloysit und Smektit kennzeichnen alle kalkfreien Residuen (Kalke, Mergel<sub>//SS</sub>, Mergel<sub>//SF</sub>).
  - Unterschiede zwischen den Kalkresiduen und den residualen Mergeln<sub>//SS</sub> zeigen sich in den höheren Kaolinitkonzentrationen in den residualen Mergeln<sub>//SS</sub>, während Illit/Muskovit etwas stärker in den Kalkresiduen vertreten ist. Kaolinit/Halloysit konnte in den Mergeln<sub>//SF</sub> nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Aufgrund der unregelmäßigen Wechsellagerungen ist die halbquantitative Verteilung mit Vorbehalt zu betrachten.
  - Nach den Fraktionierungen der Mergelresiduen und der Kalkresiduen in die > 20 $\mu$ -Fraktion und < 2 $\mu$ -Fraktion konnte in der > 20 $\mu$ -Fraktion nur noch Illit/Muskovit und Kaolinit in den Mergelresiduen nachgewiesen werden.
  - Die feinen Unterschiede in der Zusammensetzung zwischen den Lithologien zeigen sich in der < 2 $\mu$ -Fraktion durch höhere Illit-/Muskovit-, „Mixed-layered“-Tonmineral-, Kaolinit-/Halloysit-Anteile der Mergelresiduen. Dagegen ist Chlorit in den Kalkresiduen stärker vertreten.

- N-Spanien: Die mineralogischen Zusammensetzungen sind in den Gebieten Gordoia und Urrunaga gleich. Die chemisch und mechanisch unaufbereiteten Proben setzen sich aus Kalzit, Quarz, Feldspat (hauptsächlich Albit) und Reflexen von Schichtmineralen zusammen. Bei den Schichtmineralen handelt es sich hauptsächlich um Illit/Muskovit, daneben um Chlorit, Kaolinit und in Spuren um „Mixed-layered“-Tonminerale. Die kalkfreien Residualproben zeigen Illit in verschiedenen Modifikationen bis hin zu Muskovit. Dies geht besonders deutlich aus den Zusammensetzungen der Proben aus Urrunaga hervor, wo vermutlich zwei Hellglimmer unterschiedlicher Kristallinität nebeneinander vorliegen. Vermutlich handelt es sich um detritische Muskovite/Illite und um Illitneubildungen.
  - Die Fraktionierungen ( $> 20\mu$ -Fraktion,  $< 2\mu$ -Fraktion) der Residualproben führen in den Proben aus Gordoia, mit Ausnahme des Fehlens von Feldspat (Ca-Albit) in der Tonfraktion, zu keiner Änderung der mineralogischen Zusammensetzung. Quantitative Unterschiede zeigen sich jedoch in der  $> 20\mu$ -Fraktion durch höhere Quarz- und Kaolinitanteile gegenüber denen der  $< 2\mu$ -Fraktion. Illit/Muskovit kennzeichnet die  $< 2\mu$ -Fraktion.
  - Die Fraktionierungen der Residualproben aus Urrunaga führen zu einem ähnlichen Ergebnis: Quarz, Feldspat und Chlorit vertreten hauptsächlich die  $> 20\mu$ -Fraktion, Illit/Muskovit und die „Mixed-layered“-Tonminerale die  $< 2\mu$ -Fraktion.
  - Vergleiche der karbonatfreien Gesamtproben beider Gebiete zeigen, dass in Gordoia mehr Feldspat akkumuliert worden ist als in Urrunaga, wo geringfügig mehr Quarz und Chlorit vorhanden ist.
  - In den Proben aus Gordoia korreliert der Chloritanstieg mit dem geringen Anstieg an Mg im Santon und ist eine Folge der einsetzenden Beckenverflachung.
  - In den Proben aus Urrunaga sinken die Quarz- und Zirkonanteile im Turon mit zunehmender Paläo-Wassertiefe, beziehungsweise mit zunehmender Entfernung des ehemaligen Ablagerungsraumes vom Land.
  - Der Siltstein aus Villa Areal besteht neben Quarz und illitischen Hellglimmern aus Chlorit, Feldspat, Pyrit, kohligen Substanzen und Kalzit. Die Hellglimmer entsprechen denen der Proben aus Urrunaga. Es wird daher von dem gleichen Liefergebiet der detritischen Einträge ausgegangen.

#### Lockersedimente aus dem Perubecken:

- Die mineralogische Zusammensetzung der Ausgangsproben und der Residualproben sind unabhängig von ihrer Sedimentation oberhalb oder unterhalb der CCD +/- gleich.
- Die Sedimente aus dem Perubecken setzen sich aus amorpher Substanz, Kalzit, montmorillonitischen Smektiten und „Mixed-layered“-Tonen sowie aus Feldspat, Quarz, Illit/Muskovit, Chlorit, Apatit, Baryt, einzelnen Mn-Verbindungen sowie Zeolithen zusammen.
- Mit der Korngrößentrennung erfolgt eine deutliche Verschiebung des Mineralspektrums. Die  $> 32\mu$ -Fraktion ist durch Reste von Karbonatschalern und Silikatschalern (Opal) sowie durch Baryt, Apatit und detritische Minerale wie Feldspat, Illit, Chlorit, Kaolinit und Quarz gekennzeichnet. Der amorphe Anteil nimmt mit abnehmender Korngröße stark ab. Der prozentuale Anteil detritischer Tonminerale und authigener Neubildungen wie Apatit und Baryt

sinkt dagegen langsamer. Hauptmineral der 32-2 $\mu$ -Fraktion ist Quarz. Die < 2 $\mu$ -Fraktion wird hauptsächlich von authigenen Tonmineralen (vorwiegend montmorillonitischen Smektiten und „Mixed-layered“-Tonen) und amorphen bis hypamorphen Fe-Mn-Al-Verbindungen aufgebaut.

- Mit zunehmender Kerntiefe ist eine Veränderung der Tonmineralzusammensetzung im Sediment zu erkennen: Die Oberflächenproben sind durch schlecht kristalline Smektite, „Mixed-layered“-Tone und detritische Tonminerale (Chlorit, Illit/Muskovit und geringfügig Kaolinit) gekennzeichnet. Unterhalb einer Teufe von wenigen Dezimetern nehmen letztgenannte langsam ab. An der Grenze zum Altpleistozän erfolgt eine sprunghafte Abnahme der detritischen Tonminerale und ein Anstieg der Smektitkristallinität.
- Es zeigen sich geringfügige mineralogische Unterschiede zwischen dem Nordgebiet und dem Südgebiet. In den Proben aus dem Nordgebiet fehlt in der > 32 $\mu$ -Fraktion Quarz weitestgehend und der Anteil an Illit/Muskovit ist geringer, hingegen ist der Anteil an Opal höher als in den Proben des Südgebietes mit den geringeren Sedimentationsraten als im Nordgebiet. Ausschließlich dort wurde in der 2-32 $\mu$ -Fraktion sporadisch Todorokit und Paragonit nachgewiesen. Im Südgebiet ist der Anteil an Smektit in der < 2 $\mu$ -Fraktion höher und der der „Mixed-layered“-Tone (überwiegend Chlorit und Smektit) geringer. Umgekehrte Verteilungsmuster liegen im Nordgebiet, wo vereinzelt Zeolithe nachweisbar sind, vor.

#### **DTA-TG:**

- Mit Hilfe der DTA-TG-Messungen von Proben aus Salder konnten Proben, die fast nur aus smektitischen Tonmineralen bestehen, von smektitreichen bis -haltigen Proben mit eingebauten Illitlagen oder Beimengungen von Illiten klar unterschieden werden. Die Zunahme an Illiten oder Illitschichten in einer Probe ist anhand des 2. endothermen Peaks ablesbar.
- Illite oder illitische Schichten in Wechsellagerung mit Smektitschichten führen zu der Ausbildung einer schüsselförmigen Ausbauchung der DTA-Kurve. Die Temperaturspanne der Dehydroxilierungsreaktion steigt mit dem Anstieg des Illitanteils. Gleichzeitig sinkt das Temperaturmaximum. Mit dem Anstieg des Illitanteils ist außerdem eine frühere Desorption des Zwischenschichtwassers feststellbar.
- Nach den vorliegenden Daten ist eine Trennung von einzelnen wechsellagernden Smektit-/Illitlagen von einem Gemisch aus Illiten und Smektiten nicht möglich.
- Bei den Smektiten ohne erkennbare Wechsellagerungen handelt es sich um Montmorillonite mit einer Belegung von zweiwertigen Ionen. Ein verstärkter Einbau von Fe<sup>3+</sup> in die Oktaederschicht anstelle des Al<sup>3+</sup> kann ausgeschlossen werden.
- Mit Hilfe der DTA-TG-Messungen konnten feindispers verteilte Spuren von Eisensulfid im Sediment nachgewiesen werden. Es handelt sich um Pyrit oder um Markasit.

#### **Mikrosonde:**

- Die Karbonate bestehen zu über 95 % aus Kalzit. Im Kontakt zu den Styrolithen treten vermehrt manganhaltige Karbonate auf. Umgekehrt wird der Einbau von Sr, Mg, Mn, Fe in die Kalzitkristalle, mit einigen wenigen Ausnahmen, geringer.

- Im Bereich der Styrolithen werden Quarz mit Fe-Ti-Oxid-/Hydroxidüberzügen, Tonminerale, amorphe Al-Ti-Fe-Verbindungen und sporadisch auch Baryt und Zirkon angereichert.
- Bei den untersuchten Feldspäten handelt es sich um Kalifeldspäte.

### **RFA-Daten:**

- Nach der Korrelationsmatrix sind die untersuchten Elemente der Festgesteinsproben in zwei Korrelationsgruppen einzuteilen: eine Karbonatgruppe und in eine „Residual“-Gruppe (oder terrigene Gruppe)
  - Die Karbonatgruppe besteht in den Proben aus Salder aus den Elementen Ca und Mn. Die Karbonatgruppe der Proben aus Dörenthe enthält neben Ca, Mn sowie Sr und die der Proben aus Gordoa und Urrunaga besteht aus den Elementen Ca, Mg und Sr.
  - Die „Residual“-Gruppen der Festgesteinsgebiete setzen sich aus den übrigen, oberhalb der Nachweisgrenze liegenden Elementen zusammen.
- **Die Elementverteilungen in den Festgesteinsproben:**
  - Salder: Ohne die labile organische Fraktion zeigen die kalkfreien Residualproben (Kalke, Mergel<sub>//SS</sub>, Mergel<sub>//SF</sub>) folgende Elementanreicherungen: Die Si-Konzentrationen nehmen von den Residuen der Kalke über die Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> zu denen der Mergel<sub>//SF</sub> ab. In umgekehrter Reihenfolge sinken die Al-, V-, Rb-, Sr-Konzentrationen. Die La- und Ti-Konzentrationen nehmen von den Residuen der Mergel<sub>//SS</sub> über die der Mergel<sub>//SF</sub> bis zu denen der Kalksteine ab.
  - Dörenthe: Ohne die labile Fraktion zeigen die kalkfreien Residualproben (Kalke, Mergel<sub>//SS</sub>, Mergel<sub>//SF</sub>) folgende Elementanreicherungen: Die Si-, P-, Ni-, Y-, Zn-Konzentrationen sind in den Residuen der Kalke am höchsten angereichert. Die Konzentrationen nehmen dann über die Residuen der Mergel<sub>//SF</sub> zu denen der Mergel<sub>//SS</sub> ab. In umgekehrter Reihenfolge sinken die Al-Konzentrationen. Die K-, Cr-, Zr- und Rb-Konzentrationen nehmen von den residualen Mergeln<sub>//SF</sub> über die residualen Mergel<sub>//SS</sub> bis zu den residualen Kalksteinen ab.
  - N-Spanien: In Gordoa ist in den Residuen generell keine größere Konzentrationszunahme, mit Ausnahme von Al, K, Ba und Rb mit zunehmender Transgression (innerhalb der Sequenzen 2. und 3. Ordnung) beziehungsweise Wassertiefe, erfolgt. In Urrunaga wird mit zunehmender Paläo-Wassertiefe mehr Al, Mg und K in den Proben angereichert.
  - Die Bankpaare aus Mergel und Kalken repräsentieren kurze Meeresspiegelschwankungen (Parasequenzen). Anhand der unterschiedlichen Lithologien aus Gordoa und Urrunaga kann auf karbonatfreier und organikfreier Basis der Proben ein Anstieg der Al-, Ti-, K-, Rb-, Cr-, Ba- und Zr-Konzentrationen mit Abnahme der primären Karbonatkonzentrationen, demgemäß mit steigenden Paläo-Wassertiefe, belegt werden. In Urrunaga ist zusätzlich ein Anstieg der Cs-, Ni- sowie Zr-Konzentrationen feststellbar. Die Höhen der P- und Sr-Anreicherungen verhalten sich gegenläufig.

- **Die Elementverteilung im Vergleich zu gemittelten Tiefseekarbonaten:**
  - Die Normierung der Proben aus Salder und Dörenthe auf Tiefseekarbonate (Turekian & Wedepohl, 1961) zeigt, dass die Ablagerungsgebiete Salder und Dörenthe während der Oberkreide nur geringfügig durch terrigene Einträge beeinflusst worden sind. Die Proben aus Salder und Dörenthe sind gegenüber den Tiefseekarbonaten an Haupt- und Nebenelementen verarmt. Ausnahmen sind in den Salder-Proben die schwach angereicherten Elemente Ca, Si, La und Sc. In den Proben aus Dörenthe sind die Elemente Ca, La, Rb, Sc und Zr nur geringfügig im Vergleich zur Norm akkumuliert.
  - Die Kalksteine aus Dörenthe entsprechen eher den gemittelten Tiefseekarbonaten (Turekian & Wedepohl, 1961) als die aus Salder.
  - Die lithologischen Unterschiede und die Karbonatkonzentrationen der Proben aus Gordoia und Urrunaga sind geringer als in den Proben der norddeutschen Gebiete. Neben den Elementen Cr, Rb, Sc, V, Zr sind in Gordoia zusätzlich die Elemente Ti und Si gegenüber den Tiefseekarbonaten angereichert. Die Sedimente aus Gordoia und Urrunaga sind durch terrigene Einträge geprägt.
  
- **Die Bindung einzelner Elementen an die Minerale:**
  - Nach den (Si/Ca zu Al/Ca)-Verhältnissen besteht der siliklastische Anteil in den Proben aus Salder, Dörenthe, Gordoia und Urrunaga hauptsächlich aus Schichtmineralen.
  - In den Proben aus Norddeutschland wird Si fast vollständig in den Schichtmineralen gebunden. Der freie Quarzanteil sinkt von den Kalken über die Mergel<sub>SF</sub> zu den Mergeln<sub>SS</sub> ab. Die Proben aus N-Spanien weisen mehr freien Quarz auf.
  - Fe, Mg und K werden insgesamt in den Schichtmineralen gebunden. Einige schichtflächen-parallele Mergelproben aus Salder weisen, im Gegensatz zu den schieferungsflächen-parallelen Mergelproben, eine Bindung des Fe's an mindestens ein weiteres Mineral auf. Es handelt sich vermutlich um ein Fe-Hydroxid.
  - Mg wird in den Proben aus N-Spanien nicht an die Tonminerale gebunden, sondern an die Karbonate.
  - Nur in Urrunaga (N-Spanien) korreliert Mn mit den Schichtsilikaten. In den übrigen Festgesteinsgebieten (Gordoia, Salder und Dörenthe) ist Mn vorrangig an die Karbonate gebunden.
  - Beim Vergleich der REE/Ca- mit den Al/Ca-Verhältnissen korrelieren die Tonminerale aus Salder gering, die aus Dörenthe stärker mit den REE. In Dörenthe sind die REE ausschließlich an die Tonminerale gebunden. Die Proben aus N-Spanien zeigen ebenfalls hohe Korrelationen der REE-Konzentrationen mit den Tonkonzentrationen.
  - Die REE-Konzentrationen werden zusätzlich von der Höhe der Zirkonkonzentrationen bestimmt. Diese Abhängigkeit ist in Salder, Gordoia und Urrunaga stärker ausgeprägt als in Dörenthe.

- **Die Elementverteilungen in den Lockersedimenten**
- **Perubecken:** Im Perubecken kann zwischen drei Korrelationsgruppen unterschieden werden: Gruppe der hydrogenen Elemente (Ca, Mg, Mn, P, Ba, Co, Cu, La, Sr, Ni, Y, Zn), Gruppe der terrigenen Elemente (Al, Ti, Si, K, Cr, Fe, Rb, Sc, V) und Gruppe der lanthanophilen Elemente (Pb, Zr, Ce). Letztgenannte nimmt eine Zwischenstellung zwischen den anderen Gruppen ein. Die Elementgruppierungen stimmen weitestgehend mit denen von Marchig et al. (1982) überein.
  - Detritische Einträge an Phyllosilikaten und besonders an Feldspäten können ebenso wie die hydrothermalen Einträge vernachlässigt werden.
  - Der biogene Einfluss, i.e.S kalkiger und kieseliger Biodetritus, nimmt vom Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten zum Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten ab. Im südlichen Gebiet wurde Opal in der Tonfraktion und in den Gesamtproben sowohl bei Ablagerung oberhalb als auch unterhalb der CCD geringer akkumuliert als im Nordgebiet.
  - Die Phosphatkonzentrationen steigen mit abnehmenden Sedimentationsraten. Unabhängig hiervon sind die Oberflächenproben beider Gebiete an Phosphaten verarmt. Insgesamt sind deren Konzentrationen und die Form der Bindung für die Gesamtuntersuchungen unerheblich.
  - Der Anteil des normativ bestimmten, biogenen Bariums an den Gesamtkonzentrationen ist in beiden Gebieten vernachlässigbar. Örtlich stark auftretende Ba-Konzentrationen sind auf Anlösung und konzentrierte Wiederausfällung (Redoxreaktionen) im Sediment zurückzuführen.
  - Die Elemente Mn, Fe, Mg, P, Ba, Ce, Co, La, V, W, Y werden verstärkt in den oberhalb und unterhalb der CCD abgelagerten Sedimenten des Südgebietes unabhängig von der Korngröße akkumuliert. In den Gesamtproben werden zusätzlich noch K, Al, Ti gegenüber dem Nordgebiet angereichert. Si und Cr zeigen eine Zunahme der Konzentrationen in Richtung auf das äquatoriale Hochproduktionsgebiet (Nordgebiet).
  - In den Gesamtproben sind die Konzentrationsunterschiede zwischen dem sedimentationsreicheren Nordgebiet und dem sedimentationsärmeren Südgebiet höher als in der < 2 $\mu$ -Fraktion.
- **Elementverteilung in Abhängigkeit von den Sedimentationsraten (Gesamtproben und die < 2 $\mu$ -Fraktion der Probenreihen 1 und 2:**
  - Die Si- und Ca-Konzentrationen wachsen mit steigenden Sedimentationsraten an. Dagegen werden die Mn-, Fe-, P-Konzentrationen geringer. Die Ti-, K-, Al-Konzentrationen werden durch steigende Sedimentationsraten nur geringfügig beeinflusst.
  - Generell steigen die Konzentrationen der Neben- und Spurenelemente Co, La, Y, Zn, Ce, V, Ba, Cu, Ni unterschiedlich stark bei sinkenden Sedimentationsraten an. Die Höhe des umgekehrt proportionalen Verhaltens ändert sich für einige Elemente je nach Lage zur CCD.
  - Die terrigenen Elemente Cr, Pb, Rb sind nicht von den Sedimentationsraten abhängig.

- In der Tonfraktion ist die Abhängigkeit der Konzentrationen von der jeweiligen Sedimentationsrate im Vergleich zu den Gesamtproben geringer.
- Kennzeichnend für die auf Tiefseeton (TST) normierten (Martin & Whitfield, 1983) Daten der  $< 2\mu$ -Fraktion sind hohe Akkumulationen an Fe und Mn, aber auch an Ca, Mg und P. Die Akkumulationen der Neben- und Spurenelemente beschränken sich mit Ausnahme von Sc auf die Elemente der sogenannten hydrogenen Gruppe (Ba, Cu, Co, La, Ni, Sr, Y, Zn). Die Elemente des Scavenger-Typs werden bevorzugt im Südgebiet gegenüber der TST-Norm angereichert, hingegen werden die typischen Elemente des Nährstoff-Typs wie zum Beispiel Zn im Nordgebiet bevorzugt angereichert. Bei den abgereicherten Elementen (Ce, Cr, Pb, Rb, V) handelt es sich vorrangig um solche, die über terrigene Einträge ins Meer gelangt sind.
- Bedingt durch die geringen Sedimentationsraten weichen die Sedimente aus dem Südgebiet am stärksten von der Norm ab und die des Kerns 9KL (Nordgebiet) am geringsten.
- Anhand der hydrogenen Elemente, deren Konzentrationen mit steigenden Sedimentationsraten sinken, kann unter Berücksichtigung gebietsspezifischer Merkmale zwischen den Hochakkumulations- und den Niedrigakkumulationsgebieten unterschieden werden.

### **Vergleich der Alkalikonzentrationen (im weiteren Sinn der CIA-Index) in den Residualproben**

- Die Alkaliabreicherungen an „CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O“ sind in den Proben aus Salder geringer als in den Proben aus Dörenthe und N-Spanien.
- Mit Hilfe der CIA-Indizes kann für die untersuchten Residuen der Kalke und Mergel aus N-Spanien keine Faziesabgrenzung oder eine Eingliederung in die Transgressionsphasen 3. Ordnung erfolgen. Die primären Unterschiede der Lithologien sind zu gering und eine drucklösungsbedingte Umlagerung konnte mit dieser Methode nicht nachgewiesen werden.
- Der Einfluss von Drucklösungen zeigt sich in den lithofaziell unterschiedlichen Proben aus Salder und Dörenthe. Der Grad der Alkaliverarmung steigt von den karbonatfreien Residuen der Kalksteine über die diagenetisch entstandenen Mergelresiduen zu den primär schichtflächen-parallelen Mergelresiduen an.
- In den Lockersedimenten des Perubeckens sind zwei gegenläufige Trends zu beobachten. Während die Indizes der Gesamtproben von Norden nach Süden abfallen, sinken in der  $< 2\mu$ -Fraktion die Alkalikonzentrationen „CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O“ (bei somit steigenden Indizes) vom Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten zum Südgebiet mit den geringeren Sedimentationsraten.

### **Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse**

- In Salder belegen die Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse eine diagenetische Überprägung, die zu einer leichten Anreicherung von Sr in den diagenetischen Mergeln<sub>1/SF</sub> und zu einer stärkeren

Anreicherung in den primären Mergeln<sub>//SS</sub> geführt hat. Es hat eine sekundäre Anreicherung der Sr-Konzentrationen in den Proben der Mergel<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub> stattgefunden.

- Dagegen zeigen die insgesamt Sr-reicheren Kalksteinproben aus Dörenthe die größten Verhältnisse. Etwas geringere Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse weisen die Mergel<sub>//SF</sub> und Mergel<sub>//SS</sub> auf. Die geringen Unterschiede zwischen den Lithologien weisen auf eine diagenetische Anreicherung in den Mergeln<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub> durch Karbonatlösung hin.
- Die diagenetisch überprägten Proben aus N-Spanien weisen auf keinen drucklösungsbedingten Sr-Verlust hin. Während die Verhältnisse der Proben aus Gordoia unabhängig von der Fazies stark schwanken, zeigen die Proben aus Urrunaga einen Anstieg der Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse mit steigenden Karbonatkonzentrationen.
- Die Sr-Konzentrationen der Proben aus dem Perubecken steigen langsam mit steigenden CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen.

### **ICP-Daten: Die UC-normierten REE-Verteilungsmuster und deren Verhältnisse**

#### **Salder:**

- Die REE<sub>N</sub>-Verteilungsmuster sind vergleichbar mit Tiefseesedimenten, die sich im Gleichgewicht mit dem Meerwasser befinden. Der Anstieg der REE-Verteilungsmuster zu den HREE<sub>N</sub> ist jedoch deutlich flacher als in typischen Tiefseesedimenten, zu denen auch die Sedimentproben aus dem Perubecken zählen.
- Alle Proben zeigen eine schwach bis mäßig negative Ce-Anomalie. Sie weist auf terrigene Einträge hin und ist im Vergleich zu den Proben aus dem Perubecken gering ausgebildet.
- Es werden keine Eu-Anomalien ausgebildet. Mögliche terrigene und/oder vulkanogene Einträge von Feldspäten sind daher vernachlässigbar.
- Die Mergel<sub>//SS</sub> konzentrieren  $\bar{\varnothing}$  110,59 ppm REE bei Karbonatkonzentrationen um 43 % und reichern somit mehr REE an als die Mergel<sub>//SF</sub> mit  $\bar{\varnothing}$  92,17 ppm REE bei Karbonatkonzentrationen um 51 %.
- Nach der chemischen Aufbereitung sind die Konzentrationen der REE in den karbonatfreien und von labiler Organik freien Mergelresiduen<sub>//SS</sub> ( $\bar{\varnothing}$  114,18 ppm REE) geringer als in den karbonatfreien und ebenfalls von labiler Organik freien Mergeln<sub>//SF</sub> ( $\bar{\varnothing}$  122,37 ppm REE). Hieraus folgt: Die Karbonate in den Mergeln<sub>//SS</sub> müssen während der Diagenese mehr REE durch Umkristallisation und Drucklösung eingebaut haben als die der diagenetisch gebildeten Mergel<sub>//SF</sub>, oder die Mergel<sub>//SS</sub> waren in ihrer Ausgangszusammensetzung reicher an labiler organischer Substanz als die Karbonate.
- Die chemische Aufbereitung führt in allen kalkfreien Mergelresiduen zu einer bevorzugten Abnahme der LREE<sub>N</sub>-Konzentrationen. Das heißt mit der Abnahme der LREE<sub>N</sub>-Anteile erfolgt eine relative Verschiebung zu den MREE<sub>N</sub>- und den HREE<sub>N</sub>-Anteilen.
- Die Gesamtfraktionierung der REE<sub>N</sub> ist in den Mergeln<sub>//SS</sub> und Mergeln<sub>//SF</sub> minimal, aber die Mergel<sub>//SS</sub> sind, wenn auch schwach, geringer intern fraktioniert (siehe (LREE/MREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse; (MREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse) als die Mergel<sub>//SF</sub>. Diese Aussage trifft auch auf die Vergleiche der Einzelelemente zu.

- Auch die Residualproben der Mergel<sub>//SS</sub> sind geringer fraktioniert als die Residuale der Mergel<sub>//SF</sub>. Die Unterschiede in den Fraktionierungen zwischen den genetisch unterschiedlichen Residualmergeln sind größer als die Fraktionierungen der Originalproben.
- Die Mergelprobe<sub>//SS</sub> S10a weicht von den Verteilungsmustern der übrigen Mergel durch hohe LREE<sub>N</sub>- und MREE<sub>N</sub>-Anreicherungen ab. Weitere Unterschiede bestehen in der fehlenden Ce-Anomalie und der stark negativen Eu-Anomalie. Die Probe S10a ist vulkanogener Herkunft. Die angrenzende, diagenetisch entstandene Mergelprobe<sub>//SF</sub> S10 weist höhere REE-Konzentrationen auf als die anderen Mergel<sub>//SF</sub>. Es ist eine schwach negative Eu-Anomalie ausgebildet. Die heutige Karbonatbank mit der schieferflächen-parallelen Mergellage S10 muss während der Ablagerung des Sediments durch vulkanogene Einträge kontaminiert worden sein.

#### **Dörenthe:**

- Die REE-Verteilungsmuster zwischen den Mergeln<sub>//SS</sub> und den Mergeln<sub>//SF</sub> sind ähnlich. Alle UC-normierten Proben zeigen einen Anstieg der Kurve zu den MREE<sub>N</sub> und einen Abfall der Kurve von den MREE<sub>N</sub> zu den HREE<sub>N</sub>. Gegenüber den Verteilungsmustern von offen-marinen Tiefseesedimenten zeigen die Muster der Proben aus Dörenthe eine Anreicherung der MREE<sub>N</sub>.
- Alle Proben zeigen eine schwach bis mäßig negative Ce-Anomalie. Diese ist im Vergleich zu den Proben aus dem Perubecken gering ausgebildet.
- Es werden keine Eu-Anomalien ausgebildet. Feldspateinträge können daher vernachlässigt werden.
- Die REE-Konzentrationen der Mergel<sub>//SS</sub> und der Mergel<sub>//SF</sub> schwanken zwischen 91,83 und 151,84 ppm bei Karbonatkonzentrationen um 53,3 % (Mergel<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub>).
- Nach der chemischen Aufbereitung mit CHOOH und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> schwanken die REE-Konzentrationen in den Residualproben beider Lithologien zwischen 87,20 und 225,80 ppm.
- Die (LREE/HREE)<sub>N</sub>-Fraktionierung der Mergelproben liegt bei 0,75-0,76. Geringe Unterschiede ergeben sich zwischen den Mergeln<sub>//SS</sub> und den Mergeln<sub>//SF</sub> erst durch die internen Fraktionierungen der LREE<sub>N</sub> und der HREE<sub>N</sub>. Diese sind in den schichtflächen-parallelen Proben jeweils geringfügig grösser als in den schieferungsflächen-parallelen.
- Mit der Entkarbonatisierung erfolgt ein relativer Anstieg der HREE<sub>N</sub> gegenüber den MREE<sub>N</sub>. Nach den Einzelelementvergleichen (Kap. 6.6.2) ergibt sich eine stärkere Gesamtfractionierung und eine ausgeprägtere Fraktionierung der LREE<sub>N</sub> in den Mergelresiduen<sub>//SS</sub>. Vergleiche der (MREE/HREE)<sub>N</sub> zeigen eine geringere Fraktionierung in den kalkfreien Mergelresiduen<sub>//SF</sub>.

#### **Perubecken:**

- Die Verteilungsmuster aller untersuchten Proben und Eluate (GES-, GESSF-, < 2μ-Fraktion-, GAD-Reihe) spiegeln die Signatur ozeanischen Tiefenwassers wider. Das heißt, die Proben beider Gebiete befanden sich über einen längeren Zeitraum im Gleichgewicht mit dem Meerwasser (Haskin & Wildeman, 1965).

- Die Probenreihen mit Proben von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind, zeigen unterschiedlich hohe REE-Konzentrationen. Diese steigen von den Gesamtproben über die Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion bis zu den Eluaten der GAD-Reihe an. Im Perubecken sind die Konzentrationsunterschiede zwischen den Gesamtproben und der Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion in der Verdünnung der Konzentrationen durch das amorphe SiO<sub>2</sub> der > 32 $\mu$ -Fraktion zurückzuführen.
- Die Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion, die salzhaltigen und salzfreien Gesamtproben und die Eluate (GAD-Reihe) von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind, zeigen einen Anstieg der REE-Konzentrationen vom Nord- zum Südgebiet. Das heißt, bei abnehmenden Sedimentationsraten steigen die REE-Konzentrationen an.
- Bei gleichen Sedimentationsraten ist ebenfalls ein schwacher Anstieg der REE-Konzentrationen vom äquatornäheren Nordgebiet zum äquatorferneren Südgebiet feststellbar. Diese Konzentrationsunterschiede sind in den salzfreien Gesamtproben am geringsten, am deutlichsten in der abgetrennten Tonfraktion und in den Proben der GAD-Reihe.
- Die Proben der Reihen (GES, GESSF, < 2 $\mu$ -Fraktion, GAD) sind durch hohe negative Ce-Anomalien gekennzeichnet. Gebietsabhängige Unterschiede sind nicht vorhanden, jedoch weicht Kern 9KL durch geringere Ce-Anomalien von den übrigen Kernen ab.
- Positive Eu-Anomalien sind in den Proben der Reihen GES und in den Eluaten der GAD-Reihe nicht oder nur vernachlässigbar gering ausgebildet. Dagegen zeigen die salzfreien Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion mäßige und die salzfreien Gesamtproben deutliche Anomalien. Diese Abweichungen sind vorrangig durch den Anteil an detritischen Feldspäten verursacht worden.
- Einige der Proben aus dem Perubecken sind gekennzeichnet durch schwache bis mäßige Eu-Anomalien. Diese Eu-Werte müssen bei sehr hohen Ba-Konzentrationen zu geringeren Werten korrigiert werden, da die Eu-Konzentrationen aufgrund der isobarischen Interferenzen der Adsorptionsbande der <sup>151</sup>Eu- und <sup>153</sup>Eu-Isotope mit denen der Ba-Isotope bei der Messung überhöht worden sind.
- Die REE-Fraktionierungen sind in den Proben der GAD-Reihe gebietsunabhängig am stärksten ausgeprägt. Ursache hierfür ist die stärkere Anreicherung an adsorptiv gebundenen HREE. Dieser Trend zeichnet sich auch in den internen Fraktionierungen der LREE und in den internen Fraktionierungen der HREE ab. Am geringsten sind die Fraktionierungen in den salzfreien Gesamtproben.
- Vergleiche der Kerne aus dem Nordgebiet mit denen des Südgebietes zeigen, dass die Proben des Kern 9KL aus dem Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten geringer fraktioniert sind als die Proben der übrigen untersuchten Kerne. Die Fraktionierungen der Proben des Kerns 6KL (Nordgebiet) sind mit denen der Kerne 141KL und 169KL aus dem sedimentationsärmeren und äquatorferneren Südgebiet vergleichbar, jedoch sind die Gesamtkonzentrationen der REE in dem Kern 6KL deutlich geringer.
- Unterhalb der CCD abgelagerte Sedimente aus dem Südgebiet zeigen REE-Konzentrationen, die oberhalb der gemittelten Tiefseetondaten von Martin & Whitfield (1983) liegen. Die Daten aus dem Nordgebiet mit den höheren Sedimentationsraten entsprechen eher den gemittelten Tiefseetondaten.

- Allgemein sind Baryt und die Manganoxide wichtige REE-Scavenger im südlichen Pazifik. In den untersuchten Proben der Reihe 1 zeigen jedoch nur die Proben des Kerns 9KL signifikante Bindungen der REE (beziehungsweise an die LREE und die HREE) an Ba und somit an Baryt.
  - Die Proben des Kerns 9KL sind geringer an Mn konzentriert als die Proben der Kern 6KL, 141KL, 169KL. Nur in den Proben des Kerns 9KL ist Mn hoch positiv signifikant zu den REE, LREE und den HREE. Die Proben des Kerns 6KL sind gekennzeichnet durch stark negative Signifikanzen, und die Proben der Kerne aus dem Südgebiet (141KL, 169KL) zeigen vernachlässigbar geringe Korrelationen.
  - Ce wird bevorzugt in den Mn-Oxiden und Mn-Hydroxiden gebunden. Diese Aussage konnte anhand der positiven Korrelationen für die Kerne des Nordgebietes gezeigt werden. Hiergegen zeigen die Proben aus dem Südgebiet keine Bindung an die Mn-Oxide und Mn-Hydroxide.
  
- Die Eluate von Sedimenten der Reihe 2, die oberhalb der CCD abgelagert worden sind, befinden sich mit dem Meerwasser im Gleichgewicht (Haskin & Wildeman, 1965). In diesen Eluaten sind die  $(LREE/HREE)_N$ -Fraktionierungen gegenüber den Eluaten der GAD-Reihe, welche von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind, stammen, geringer fraktioniert. Die Unterschiede basieren vermutlich auf den geringeren Verweildauern der oberhalb der CCD abgelagerten Sedimente im Kontakt zum Meerwasser.
- In den Oberflächensedimenten sind die Höhen der  $MREE_N$ -Summen im Verhältnis zu denen der  $HREE_N$  unabhängig von der jeweiligen Sedimentationsrate größer als in den tiefergelegenen Sedimenten. Desweiteren erfolgt ein Anstieg der  $MREE_N$ -Summen mit steigenden  $CaCO_3$ -Konzentrationen. Deutliche Unterschiede zeigen sich ab  $CaCO_3$ -Konzentrationen von > 10 %.

### **N-Spanien:**

#### Originalproben

- Trotz der geringen Unterschiede zwischen den Karbonatkonzentrationen der Mergel und Kalke aus Gordoia und Urrunaga ist in beiden Gebieten ein Anstieg der REE-Konzentrationen mit steigenden Tongehalten in den Proben zu erkennen.
- Die Proben aus Gordoia (Kalke  $\varnothing$  28 ppm REE; Mergel  $\varnothing$  42 ppm REE) sind bei vergleichbaren Karbonatkonzentrationen (Kap. 6.1) geringer an REE konzentriert als die aus Urrunaga (Kalke:  $\varnothing$  34 ppm REE; Mergel:  $\varnothing$  51 ppm REE). Dieser Unterschied beruht auf den höheren Zirkoneinträgen in das Sediment.
- In Gordoia und in Urrunaga sind die UC-normierten REE-Verteilungsmuster in den Mergeln und den Kalken fast identisch. Diese zeigen einen konvexen Verlauf mit einem Maximum im Bereich der  $MREE_N$ . Die Proben beider Gebiete weisen minimal ausgeprägte Ce-Anomalien auf.
- Die Fraktionierungen ( $(LREE/MREE)_N$ -Verhältnisse;  $(MREE/HREE)_N$ -Verhältnisse) der Kalksteinproben sind etwas höher als die der Mergelproben. Dies beruht auf der stärkeren Konzentrierung der MREE mit zunehmenden Karbonatgehalten. Insbesondere wird das

Element Gd besonders stark konzentriert. Umgekehrt sind die Anteile der HREE in den tonigeren Proben geringfügig größer. Dieser Anstieg wird durch Schwerminerale wie Zirkon verursacht und trifft auf beide spanischen Untersuchungsgebiete zu.

#### Residualproben

- Die chemische Abtrennung der labilen organischen Fraktion und des Karbonats führt zu einem Verlust der MREE, welche in allen Residualproben beider Gebiete zu konkav verlaufenden Verteilungsmustern führen. Hierbei steigt der Verlust mit steigenden Tonanteilen. Die schwachen Ce-Anomalien werden verringert.
- Die zueinander ins Verhältnis gesetzten Summen der  $LREE_N$ ,  $MREE_N$  und  $HREE_N$  der Residualproben aus Gordoa und Urrunga zeigen nach der chemischen Aufbereitung geringere Gesamtfractionierungen und geringere Fractionierungen der vorderen  $REE_N$  als die Originalproben. Dagegen steigen die Fractionierungen der hinteren  $REE_N$ . Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den  $(Gd/Yb)_N$ -Verhältnissen der Residualproben. Diese Abweichungen werden durch die hohen Gd-Konzentrationen in den chemisch unaufbereiteten Proben und einem mäßigen Gd-Verlust durch die chemische Aufbereitung hervorgerufen. Dieser Befund führt zu der Annahme, dass die Sedimente leicht lösliche Verbindungen, die bevorzugt die MREE, insbesondere Gd, anreichern, enthalten. Hierbei kommen besonders hohe  $C_{org}$ -Konzentrationen, Apatit und anderen Phosphatminerale in Frage.
- Obwohl sich geringe Zunahmen der  $HREE_N$ -Konzentrationen mit steigenden Tonanteilen abzeichnen, sind die Mergelresiduen aus Gordoa und aus Urrunaga nach den  $(LREE/MREE)_N$ - und  $(MREE/HREE)_N$ -Verhältnissen zu urteilen insgesamt weniger fraktioniert als die Kalksteinresiduen.
- Die REE-Konzentrationen sind in den Proben aus Gordoa und Urrunaga geringer als in denen der anderen Untersuchungsgebiete. Ursache hierfür ist zum einen der hohe Anteil an Illiten/Muskoviten, welche weniger REE adsorbtiv binden als die Smektiten, zum anderen die geringeren Verweildauern am Meeresboden gegenüber denen der anderen Untersuchungsgebiete, in denen die Sedimentationsraten insgesamt geringer waren.

#### **Herkunft und Zusammensetzung der Tufflage $T_{D1}$**

- Die mergelige Probe S10a entstammt einer bentonitischen Lage des Ober-Turons, die als Tufflage  $T_{D1}$  bezeichnet wird.
- Die stark alterierte Tufflage grenzt sich von den übrigen Mergellagen durch hohe  $(La/Yb)_N$ -Verhältnisse von 2,16, einer negativen Eu-Anomalie von 0,51 beziehungsweise von 0,43 auf karbonatfreier Basis und Anreicherungen der immobilen Elemente Hf, Nb, Zr und Th und dem mobileren Element Ba ab. Die Ba-Konzentrationen sind vermutlich sekundär akkumuliert worden. Hingegen werden die Elemente K, Cs und Rb um mehr als das 2,7-fache gegenüber den anderen schichtflächen-parallelen Mergellagen abgereichert.
- Nach der heutigen chemischen Zusammensetzung handelt es sich um eine andesitische bis dazitische Tufflage mit einem „low- $K_2O$ -Trend“. Unter Einbezug der starken Alteration des

Sediments und den Vergleichen der immobilen Elemente ((Zr/TiO<sub>2</sub>)- zu (Nb/Y)-Verhältnisse) kann auf eine phonolitische Ausgangszusammensetzung geschlossen werden.

- Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der mergeligen Schieferungsbeläge, welche die hangende, stratigraphisch jüngere Kalksteinbank queren, und den fehlenden Spuren von Bioturbation an der Grenze des schichtflächen-parallelen Mergels zum Kalkstein kann auf anhaltende Einträge von Tuffpartikeln auch nach dem Wechsel zu einer kalzitisch dominierten Hintergrundsedimentation geschlossen werden. Dies zeigt sich in der Anreicherung immobilere Elemente, einer schwach negativen Eu-Anomalie und in der geringeren Fraktionierung der MREE<sub>N</sub> zu den HREE<sub>N</sub> gegenüber den Fraktionierungen der anderen Mergel<sub>I/SF</sub>. Nach der heutigen chemischen Zusammensetzung handelt es sich um eine andesitische bis dazitische Zusammensetzung mit hohen K<sub>2</sub>O-Konzentrationen. Die trachyandesitische Ausgangszusammensetzung ist aufgrund der starken Verdünnung in der Karbonatphase und den späteren Drucklösungsprozessen in den Kalkbänken mit Vorsicht zu betrachten.

## 8. Diskussion

Zur Erkennung von primären Ton-/Mergel-Schichten in versenkungsdiagenetisch überprägten Kalk-Ton/Mergel-Wechselagerungen und ihrer Unterscheidung von diagenetisch durch Phasenseparation entstandenen Ton-/Mergel-Schichten sollte die Tonfraktion, speziell deren Tonminerale, auf primär erworbene chemische Eigenschaften untersucht werden.

Dafür wurden zwei Lösungswege vorgeschlagen, die parallel verfolgt werden sollten. Im Lösungsweg 1 sollten mergelige Klufffüllungen/Schieferungsbeläge in gebankten Kalken die eindeutig durch lateral-kompaktive Drucklösung entstanden sind, solchen Mergeln gegenübergestellt werden, die zwischen den Mergelbänken liegen, bei denen aber nicht klar war, ob sie primär als tonmineralreichere Schichten bei niedrigen Sedimentationsraten gebildet wurden und anschließend durch versenkungsdiagenetische Drucklösungen über eine Phasenseparation eine Anreicherung der Tonminerale erfahren haben. Die Untersuchungen zu Lösungsweg 2 könnten außerdem Hinweise auf Unterschiede im Grad der lateral-kompaktiven gegenüber versenkungsdiagenetischen Drucklösung liefern.

Beim Lösungsweg 2 sollte das Postulat von Beiersdorf & Knitter (1986) überprüft werden, welches davon ausgeht, dass die Verweildauer der Tonminerale am Meeresboden nach ihrem „Abregnen“ aus der Wassersäule ihre chemischen Signatur beeinflusst. Chemische Austauschprozesse zwischen den Tonmineralen und dem Meerwasser sollten bei niedrigeren Sedimentationsraten und damit verbundener längerer Verweildauer intensiver sein als bei kurzer. Bei hohen Sedimentationsraten ist dagegen die Verweildauer kürzer und die chemischen Austauschprozesse sollten entsprechend weniger intensiv sein. Deshalb sollten die Tonminerale von Sedimenten überprüft werden, die mit unterschiedlichen Sedimentationsraten abgelagert wurden. Dafür sollten

einerseits Sedimente ohne deutliche diagenetische Überprägung und andererseits solche mit diagenetischer Überprägung herangezogen werden.

Die Komplexität der Ablagerungsverhältnisse und die Überprägung der Sedimente infolge von Diagenese und Metamorphose sowie durch hydrothermale Einflüsse und stärkere hydrogenetische Mn-Fe-Oxyhydroxid-anreicherungen in den Sedimenten sind bei den Untersuchungen durch umfangreiche, tonmineralschonende Aufbereitungsverfahren und Analysemethoden berücksichtigt worden (Boström et al., 1973; Dymond & Veeh, 1975; Dymond, 1981; Heath & Dymond, 1981). Die hydrothermalen und hydrogenetischen Einflussfaktoren haben sich minimal auf die untersuchten Sedimente ausgewirkt und sind daher vernachlässigbar (Marchig & Gundlach, 1977; Leinen & Stakes, 1979; Marchig et al., 1982).

## **8.1 Untersuchungen zu Lösungsweg 1 an versenkungsdiagenetischen und lateral-kompaktiv diagenetisch veränderten Sedimenten**

### **8.1.1 Die Kalk-Mergel-Wechselfolgen aus Salder**

Mineralogische Unterschiede zeigen sich in den Proben aus Salder zum einen in den schwankenden und niedrigeren Kalzitkonzentrationen der Mergel<sub>//SS</sub> (24,1-66,7 % CaCO<sub>3</sub>) gegenüber den Mergeln<sub>//SF</sub> mit 43,9-59,4 % CaCO<sub>3</sub>, zum anderen durch das Smektit- (im weiteren Sinn „Mixed-layered“-Ton)/Illit-Verhältnis in den kalkfreien Residualproben. Deren Illit-Konzentrationen fallen von den Mergeln<sub>//SS</sub> über die Mergel<sub>//SF</sub> zu den Kalken ab. Umgekehrt verhält es sich mit den „Mixed-layered“-Tonen aus montmorillonitischen Smektiten und Illiten. Während die Absolutkonzentrationen an Si in den Mergeln<sub>//SS</sub> höher sind als in den Mergeln<sub>//SF</sub>, ist der berechnete freie Quarzanteil in den Mergeln<sub>//SS</sub> geringer konzentriert, das heißt, die Tone der Mergel<sub>//SS</sub> binden mehr Si. Diese grenzen sich zusätzlich durch höhere Zirkonkonzentrationen ab. Die immobilisierten Elemente Al, Rb, V und das mobile Element Sr werden bevorzugt in den komprimierten Rückständen der Mergel<sub>//SF</sub> gegenüber den Mergeln<sub>//SS</sub> angereichert. Die Sr-Konzentrationen sind ein Indikator für eine diagenetische Umkristallisation des Kalzits aus der eine sekundäre Anreicherung in den Mergeln resultiert. Unter Einbezug der CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen wird das generell chalkophile Sr stärker in den schichtflächen-parallelen Mergeln, dort bevorzugt an die Tonminerale gebunden, eingebaut. Ursache hierfür ist die Freisetzung des Sr aus den Kalziten der primär mergeligeren Sedimentabschnitte und der zusätzlichen Zufuhr von Sr aus den kalzitreicheren Abschnitten, aus denen auch die Sr-Anreicherungen der diagenetischen, schieferungsflächen-parallelen Mergelbeläge resultieren.

Eine weitere Abgrenzung zwischen den Mergeln<sub>//SS</sub> und den rein diagenetisch entstandenen Mergelbelägen (Mergel<sub>//SF</sub>) wird durch den CIA-Index der kalkfreien Residualproben veranschaulicht. In der folgenden Reihenfolge nimmt die Alkaliverarmung zu: Kalksteine (77,12) < Mergel<sub>//SF</sub> (77,46) < Mergel<sub>//SS</sub> (79,67). Geht man von terrigenen Einträgen der Tonminerale und

einem gleichbleibenden Herkunftsgebiet aus, so ist der Transportweg zum Beckenzentrum während einer Transgressionsphase (Niedrigsedimentation im Becken) weiter und die Dauer der untermeerischen Verwitterung ausgeprägter. Diese Unterschiede werden durch Abreicherung der Alkali- und Erdalkalielemente in den mergeligen Sedimentpartien im Zuge der Phasenseparation verstärkt. Umgekehrt wurden die immobilere Elemente wie Rb, Al und V in den Mergeln als „Rückstände“ angereichert. Insgesamt zeigt der geringe Grad der Alkaliverarmung (Nesbitt & Young, 1984), dass die Verwitterungseffekte nur zu einer geringfügigen Alkaliverarmung der Tonminerale aus Salder geführt haben.

Die REE eignen sich besonders gut als Indikator für Hoch- und Niedrigsedimentationsphasen: Die während der Hochsedimentationsphasen abgelagerten kalkreicheren Sedimente reichern in Salder bedingt durch die geringeren Verweildauern und die starke Verdünnung durch das Karbonat weniger REE an als die mergeligere Sedimente. Dieses Ergebnis kann jedoch nicht uneingeschränkt auf die Konzentrationen der diagenetisch entstandenen Mergel<sub>//SF</sub> im Verhältnis zu denen der Mergel<sub>//SS</sub> übertragen werden. In den Mergeln<sub>//SS</sub> sind zwar im Originalzustand mehr REE konzentriert, chemisch aufbereitete Mergelresiduale sind jedoch gegenüber den diagenetisch komprimierten Rückständen der Mergel<sub>//SF</sub> verarmt. Diese Diskrepanz beruht auf den stärkeren Verlusten der vorderen REE bei Abtrennung der labilen organischen Fraktion. Hier muss eine Lösung des LREE substituierenden, kryptokristallinen Apatits, aber auch die anderer leicht löslicher organischer Verbindungen, in Betracht gezogen werden. Es kann belegt werden, dass eine Abgrenzung der Mergel unterschiedlicher Genese mit Hilfe der Fraktionierung der REE möglich ist.

### **8.1.2 Die Kalk-Mergel-Wechselfolgen aus Dörenthe**

Im Aufschluss Dörenthe liegen ebenfalls Sedimentgesteine vor, in denen deutliche schichtparallele Phasenseparationen stattgefunden haben, die zur Ausbildung von Mergeln<sub>//SF</sub> geführt haben. Die Karbonatkonzentrationen (Kalke 83,5-94,3 % CaCO<sub>3</sub>, Mergel<sub>//SS</sub> 29,6-68,7 % CaCO<sub>3</sub>, Mergel<sub>//SF</sub> 42,4-59,4 % CaCO<sub>3</sub>) der unterschiedlichen Lithologien sind vergleichbar mit denen aus Salder. Unterschiede zwischen den Gebieten zeigen sich in der Zusammensetzung der Tonminerale. Die kalk- und organikfreien Residuen der Kalke und Mergel setzen sich aus einem Gemenge von mäßig kristallinen Illiten, Smektiten, Chloriten und Kaoliniten/Halloysiten zusammen. Insgesamt sind Tonfraktion mit ungeordneten Wechsellagerungsstrukturen, an deren Aufbau Smektitschichten beteiligt sind, kennzeichnend. Eine stichhaltige halbquantitative Verteilung und Abgrenzung der Lithologie wird erst nach der Korngrößentrennung möglich: Illite und Kaolinite/Halloysite treten ausschließlich in der > 20µ-Fraktion der Mergel<sub>//SS</sub> auf, während die < 2µ-Fraktion vorwiegend aus „Mixed-layered“-Tonen besteht. Im Gegensatz hierzu kennzeichnet die < 2µ-Fraktion der Kalksteine höhere Chloritkonzentrationen.

An den Residualproben konnten folgende chemische Unterschiede festgestellt werden: Die bevorzugt biogen gebundenen und mobilen Elemente Si, P, Ni, Zn sowie das immobilere Element Y werden erwartungsgemäß in den Kalken angereichert. Die Konzentrationen sinken über die

Mergel<sub>//SF</sub> zu den Mergeln<sub>//SS</sub>. Die Konzentrationsunterschiede beruhen zum einen auf lithofaziell unterschiedlichen Vorzeichnungen, zum anderen auf der Mobilität der oben genannten Elemente. In den Mergeln<sub>//SS</sub> treten die biogenen Hauptkomponenten gegenüber den terrigenen zurück. Es entstanden also weniger Organismenreste (Schalenreste) mit durch Bioscavenging eingebauten Elementen wie Zn und P der Akkumulation zur Verfügung. Längere Verweildauern infolge niedriger Sedimentationsraten ermöglichten in Dörenthe einen Abbau der organischen Substanzen und eine Freisetzung in das Porenwasser während der Frühphase der mehr mergeligen Sedimentation, während eine schnelle Einbettung durch hohe Sedimentationsraten in den kalkreicheren Sedimenten erfolgte. Mit der folgenden Phasenseparation wurden die mobilen Elemente in den Mergeln<sub>//SS</sub> abgereichert, während die terrigenen Elemente K, Cr, Rb und Zr verstärkt angereichert worden sind. Die kalkhaltigeren Partien waren primär an diesen Elementen verarmt. Die Phasenseparation führte zu einer diagenetischen Anreicherung von immobilisierenden Elementen wie Zr und Cr und mobileren Elementen mit größerem Ionenradius wie Rb. Das Resultat ist eine Konzentrationsabnahme, auf karbonatfreier und organikfreier Basis, von den Mergeln<sub>//SS</sub> über die Mergel<sub>//SF</sub> zu den Kalken. Der CIA-Index liegt in Dörenthe zwischen knapp über 82 und ist damit höher als in Salder. Der Grad der Alkaliverarmung steigt wie dort von den karbonatfreien Residuen der Kalksteine über die diagenetisch entstandenen Mergelresiduen zu den Residuen der primär schichtflächen-parallelen Mergel. Die Unterschiede zwischen den Kalksteinen und den daraus hervorgegangenen Mergeln<sub>//SF</sub> können nur auf eine drucklösungsbedingte Phasenseparation zurückgeführt werden, während für die Mergel<sub>//SS</sub> eine primäre Anlage vorliegt.

Die REE zählen zu den immobilisierenden Elementen, die sich im Allgemeinen resistent gegenüber der Verwitterung und der Diagenese verhalten (McLennan, 1989). Sie dienen der Herausarbeitung primärer lithofazieller Unterschiede. Die REE-Verteilungsmuster der UC-normierten Mergeln<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub> aus Dörenthe zeigen für alle Proben einen Anstieg der Kurven zu den MREE<sub>N</sub>, dann eine erneute Abnahme zu den HREE<sub>N</sub>. Mit Hilfe der Gesamtkonzentration ist keine lithologische Trennung möglich, da sowohl die Konzentrationen der schichtflächen- als auch die der schieferungsflächen-parallelen Mergelproben zwischen 91,83 und 151,84 ppm schwanken. Diese Konzentrationsschwankungen bleiben auch nach der chemischen Aufbereitung erhalten, jedoch steigt der Anteil der HREE<sub>N</sub> relativ zu denen der LREE<sub>N</sub> und MREE<sub>N</sub> an. Feine Unterschiede zwischen den rein diagenetisch entstandenen Mergeln<sub>//SF</sub> und den diagenetisch überprägten Mergeln<sub>//SS</sub> ergeben sich aus den internen Fraktionierungen der REE<sub>N</sub> wie zum Beispiel die (LREE/MREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse oder die (MREE/HREE)<sub>N</sub>-Verhältnisse. Die Mergeln<sub>//SS</sub> aus Dörenthe sind sowohl ohne chemische Aufbereitung als auch als aufbereitete Residuale geringfügig stärker fraktioniert als die Mergel<sub>//SF</sub>. Die Art und Weise der internen Fraktionierungen ist ortsspezifisch, die Unterschiede eines Gebietes sind jedoch lithologischen Ursprungs und können somit als „Marker“ herangezogen werden.

Vergleichen mit den gemittelten chemischen Zusammensetzungen von Tiefseekarbonaten (Turekian & Wedepohl, 1961) zufolge entsprechen die Sedimente aus Dörenthe diesen mehr als die Sedimente aus Salder. Die Unterschiede beruhen auf dem Einfluss terrigener Schüttungen,

welcher wie folgt steigt: Perubecken < Dörenthe < Salder < Nordspanien (Gordoa < Urrunaga). Die höheren detritischen Einträge in Salder gegenüber denen aus Dörenthe, die auch während der karbonatdominierten Hochsedimentationsphasen anhalten, führen zu leichten Abweichungen der Ergebnisse aus Salder von denen aus Dörenthe. Ein Beispiel sind die höheren Si-Konzentrationen in den residualen Mergeln<sub>//SS</sub> von Salder gegenüber den dortigen residualen Mergeln<sub>//SF</sub> im Vergleich zu den Si-Konzentrationen der residualen Mergeln<sub>//SS</sub> von Dörenthe, wo die Si-Konzentrationen in den Mergeln<sub>//SF</sub> höher sind.

Wie die Daten der diagenetisch überprägten Proben aus Dörenthe und Salder zeigen, können die immobilisierten Elemente, im engeren Sinn die Ti-Gruppe, in einem Sedimentkörper Anzeiger („Marker“) für unterschiedliche primäre chemische Einträge während der Sedimentation genutzt werden. Das diagenesesensitive und mobile Sr ist ein Anzeiger für diagenetische Prozesse, da mit der Umkristallisation des Hochmagnesiumkalzits, in diesen Fällen des Aragonits, in Niedrigmagnesiumkalzit (Veizer, 1983), Sr freigesetzt wird. In einem offenen bis halboffenen System, wie es in Dörenthe und Salder der Fall ist, wird das freigesetzte Sr in den Mergeln angereichert, da der Durchfluss von Porenlösungen erschwert wird. Es kann gezeigt werden, dass die „tonmineralliebenden“ Elemente K, Al, Rb, V Anzeiger für Phasen geringerer biogener Produktion im Vergleich zum terrigenen Einfluss sind, und dass Rb aufgrund der Ionengröße bevorzugt in den Rückständen angereichert wird. Es ist jedoch Vorsicht bei dieser Gruppe von Elementen geboten, da sie sich während der Verwitterung und Diagenese mobil verhalten. Gerade die Tonmineralzusammensetzung beeinflusst sensitiv die Höhe der K- und Al-Konzentrationen. Folglich muss die mineralogische Zusammensetzung bekannt sein, um auf primäre oder drucklösungsbedingte Unterschiede schließen zu können.

## **8.2 Untersuchungen zum Lösungsweg 2 an diagenetisch nicht oder nur frühdiagenetisch beeinflussten Sedimenten**

### **8.2.1 Die Lockersedimente aus dem Perubecken**

Im Vergleich zu Sedimenten, die mit niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden, zeigen solche, die mit hohen abgelagert wurden, höhere Anteile an Mikrofossilresten. Sie sind bei Sedimenten, die unterhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert worden sind, silikatisch. Oberhalb der CCD dominieren karbonatische Fossilreste. Die Quartären Sedimente des Perubeckens sind zudem unabhängig von der Sedimentationsrate durch relative hohe Anteile an den detritischen Tonmineralen Illit, Chlorit und untergeordnet Kaolinit gekennzeichnet. Diese werden mit zunehmender Tiefe und damit verbundener Frühdiagenese zugunsten von Tonmineralwechsellagerungen abgebaut (Marchig & Rösch, 1983; Aoki & Kohyama, 1991). Unterhalb der Grenze zum Altpleistozän stellt sich außerdem eine höhere Kristallinität und

Erhöhung der Smektitkonzentration ein (siehe auch Sioulas, 1982; Stoffers et al., 1982a; Stoffers et al., 1982b). Die Verteilung von Smektit und „Mixed-layered“-Tonmineralen ist fortan homogen.

In den karbonatfreien Proben des weiter von den äquatorialen biogenen Hochproduktionsgebieten entfernten Südgebietes werden Mg, Fe, Mn, P, Ba, Ce, Co, La, V, W, Y in der < 2 $\mu$ -Fraktion und in den Gesamtproben, zusätzlich K, Al, Ti in den Gesamtproben, gegenüber dem Nordgebiet angereichert. Umkehrt wird im Nordgebiet mehr Si, welches an Opal gebunden ist, und Cr in den Sedimenten konzentriert. Dieser Befund bleibt auch nach der Normierung der Proben auf die jeweilige Sedimentationsrate weitestgehend erhalten. So steigen die Si- und Ca-Konzentrationen in den Gesamtproben und in der < 2 $\mu$ -Fraktion mit steigenden Sedimentationsraten an, während die Konzentrationen von Mn, Fe, P, La, Co, Y, Zn, Ce, V, Ba, Cu, Ni fallen, das heißt, bei letztgenannten Elementen findet eine Verdünnung statt. Mit Ausnahme von Fe und V handelt es sich um hydrogene Elemente. Hingegen zeigen die terrigenen Elemente Ti, Al, K, Cr, Pb, Rb keine oder nur minimale Korrelationen zu den Sedimentationsraten. Die Abhängigkeit der Elementkonzentration von der Sedimentationsrate ist in der Tonfraktion im Vergleich zu den Gesamtproben kleiner. Somit sind die Konzentrationsunterschiede in den Gesamtproben zwischen dem sedimentationsstärkeren Nordgebiet und dem insgesamt sedimentationsärmeren Südgebiet höher als in der < 2 $\mu$ -Fraktion. Ursache hierfür ist die stärkere biogene Produktion im Norden, von der verstärkt die refraktorische Fraktion aus Silikat- und Karbonatschalen beziehungsweise Skeletten in der > 32-Fraktion den Meeresboden erreicht.

Für die Proben aus dem Perubecken von Sedimenten, die oberhalb der CCD abgelagert worden sind, konnte ein flacher Anstieg der Sr-Konzentrationen mit steigenden CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen festgestellt werden. Das chalcophile Element Sr kann nur eingeschränkt als „Markerelement“ auf die Tiefseesedimente oberhalb der CCD übertragen werden, da, verglichen mit den Flachwassersedimenten epikontinentaler Becken, nur begrenzt Sr in die Tiefseekarbonate eingebaut wird. Unterhalb der CCD bestehen zwischen Sr und den anderen Elementen (mit Ausnahme zu den Elementen Ba und V) oder Elementgruppen keinerlei signifikante Korrelationen, ebensowenig wie eine Abhängigkeit zu den Sedimentationsraten besteht. In einigen Proben führen steigende Sedimentationsraten zu einem schwachen Verdünnungseffekt.

Die Sedimente beider Gebiete sind gegenüber den gemittelten chemischen Zusammensetzungen von Tiefseetonen (Martin & Whitfield, 1983) an hydrogenen Elementen angereichert. Die allgemein geringen Sedimentationsraten in den Arbeitsgebieten des Perubeckens führten zu einem bevorzugten Anreichern an Elementen des Nährstoff-Typs im Nordgebiet und an Elementen des Scavenger-Typs im Südgebiet. In den Proben beider Gebiete wurde stark Fe und Mn akkumuliert.

Die Lanthaniden (REE) sind besonders gute Indikatoren für die Abgrenzung von Hoch- und Niedrigsedimentationsphasen, für Redoxbedingungen und für die Herkunft von Mineralkomponenten. Die Verteilungsmuster der salzhaltigen Gesamtproben (GES), der salzfreien Gesamtproben (GESSF), der salzfreien Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion und der salzhaltigen Eluate mit den desorbierten

Ionen (GAD) spiegeln sedimentations(raten)unabhängig die Signatur ozeanischen Tiefenwassers wider. Es kann gezeigt werden, dass auch mit der geochemischen Diskriminierung der Tonminerale die Verteilungsmuster erhalten bleiben. Die REE-Konzentrationen nehmen gebietsunabhängig von der GAD-Reihe über die salzfreie < 2 $\mu$ -Fraktion, und weiter über die salzhaltigen Gesamtproben zu den salzfreien Gesamtproben ab. Der Hauptanteil der REE wird folglich adsorptiv an der Oberfläche und/oder in der Zwischenschicht von Tonmineralen gebunden. Die geringeren REE-Konzentrationen der Gesamtproben beider Gebiete beruhen auf der Verdünnung durch Quarz in der Silt- und Sandfraktion. Spuren von detritischen Mineralen wie Feldspat, Zirkon, Monazit, die auf einen terrigenen Einfluss hinweisen, oder authigenen Mineralen wie den Manganoxo-/hydroxiden spielen eine vernachlässigbare Rolle, da größere Anteile derselben zu einer Veränderung der Verteilungsmuster führen würden. Durch den Anstieg der REE-Konzentrationen vom Nord- zum Südgebiet in Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert worden sind, konnte für alle salzhaltigen und salzfreien Gesamtproben, der Proben der < 2 $\mu$ -Fraktion sowie für die Eluate (GAD-Reihe) gezeigt werden, dass die absoluten REE-Konzentrationen innerhalb einer Probenreihe abhängig von der Expositionszeit am Meeresboden sind, das heißt, es erfolgt in Gebieten oder Phasen mit geringer Sedimentation eine stärkere Anreicherung.

Die Eluate von Sedimenten, die oberhalb der CCD abgelagert wurden (Reihe 2), sind gegenüber den Eluaten von Sedimenten, die unterhalb der CCD abgelagert wurden (GAD-Reihe), in Folge der kürzeren Exposition der Sedimente zum Meer geringer fraktioniert. Es konnte anhand der Eluate der Reihe 2 gezeigt werden, dass mit steigenden CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen die MREE-Konzentrationen steigen. Diese Abhängigkeit der Verteilungsmuster von der Bioproduktion zeigt sich auch in den organikreichen Oberflächenproben, in welchen die MREE-Konzentrationen im Verhältnis zu denen der HREE, unabhängig von den Karbonatkonzentrationen, größer sind als in den tiefergelegenen Sedimenten. Im Perubecken erfolgt ein schneller Abbau der organischen Substanz und somit eine schnelle MREE-Freisetzung über das Porenwasser.

Ungeachtet dessen spricht die Meerwassersignatur der Proben zum einen für eine authigene Smektitbildung, zum anderen für eine sehr lange Expositionszeit der detritischen Tone (Illit, Chlorit) aller untersuchten Sedimente zum Meerwasser, die zu einer vollständigen Überprägung der Verteilungsmuster detritischer Schichtsilikate geführt hat.

Neben den Tonmineralen sind allgemein Baryt und die Manganoxhydroxide wichtige REE-Scavenger. Obwohl die Elemente Ba und Mn in den Sedimenten stark angereichert sind, ergeben sich nur in den Proben des Kerns 9KL signifikante Korrelationen zwischen den REE und Ba beziehungsweise Mn. Die Proben des Kerns 6KL zeigen stark negative Signifikanzen zwischen den REE und Mn. Obwohl auch innerhalb eines Gebietes Schwankungen der Sedimentzusammensetzungen auftreten, spielt das zusätzliche Scavenging eine vernachlässigbare Rolle, da auch bei zusätzlichen REE-Anreicherungen die REE-Konzentrationen deutlich unterhalb derer im Südgebiet liegen.

### **8.2.2 Untersuchungen zu Lösungsweg 2 aus Sedimentgesteinen, die aus versenkungsdiagenetisch bis anchimetamorph überprägten Sedimenten hervorgegangen sind: Die kalkigen und mergeligen Sedimentgesteine aus Gordoia und Urrunaga (N-Spanien)**

In N-Spanien wurden bewusst diagenetisch bis anchimetamorph überprägte Gebiete mit höheren (Urrunaga) und niedrigeren Sedimentationsraten (Gordoia) einschließlich den jeweiligen gebiets-spezifischen Schwankungen der Sedimentationsraten gewählt, festgelegt an den Bohrlochdaten (Engeser, 1985) und an den Meeresspiegelschwankungen, die durch die sequenzstratigraphischen Bearbeitungen von Gräfe (1994), Gräfe & Wiedmann (1993), Wiedmann et al. (1983) bekannt waren. Für die Fragestellung sind in beiden Gebieten Sedimentgesteine, die während eines Transgressionstrakts, folglich bei niedrigen Sedimentationsraten und prinzipiell geringen terrigenen Einträgen, abgelagert wurden, mit solchen verglichen worden, die während eines Regressionstrakts (hohe Sedimentationsraten und erhöhte terrigene Einträge) abgelagert wurden. Analog wurde bei den Parasequenzen vorgegangen.

Anhand der kleinräumigen Mergel- und Kalkwechsellagerungen, den Parasequenzen, bei denen es sich im weiteren Sinne um Mergel (61,7 %  $\text{CaCO}_3$ , Gordoia; 66,5-67,2 %  $\text{CaCO}_3$  Urrunaga) und um Kalkmergel/Mergelkalke (74,2-76,9 %  $\text{CaCO}_3$  Gordoia; 72,5-76,9 %  $\text{CaCO}_3$  Urrunaga) handelt, konnten keine Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung der Lithologien festgestellt werden, die auf eine durch Phasenseparation hervorgerufene Ionenmigrationen hinweisen. Die ursprünglich schwachen Oszillationen der Karbonatkonzentrationen zwischen sedimentations-schwachen (karbonatärmeren) und sedimentationsstarken (karbonatreicheren) Beckenab-lagerungen sind durch eine diagenetische Phasenseparation in einem geschlossenen bis halboffenen System nur geringfügig verstärkt worden.

Trotz der unterschiedlichen Entfernung zur ehemaligen Küste, den gebietsspezifischen Beckenvertiefungen und den damit verbundenen unterschiedlichen Sedimentationsraten ist die mineralogische Zusammensetzung der Sedimentgesteine Gordoias und Urrunagas sehr ähnlich. Anders als in den Sedimenten des Perubeckens ist hier das dominierende Schichtmineral der  $< 2\mu$ -Fraktion Illit beziehungsweise Illit/Muskovit. Untergeordnet konnte montmorillonitischer Smektit, sporadisch auftretender Rektorit (Urrunaga) und ungeordnete „Mixed-layered“ Tone sowie Chlorit nachgewiesen werden. Chlorit, Quarz, Feldspat (Ca-Albit, Kalifeldspat), Illit/Muskovit und Kaolinit bauen hauptsächlich die Fraktion  $> 20\mu$  auf. Bei den Illiten/Muskoviten der Siltfraktion handelt es sich vermutlich um detritische Einschüttungen, bei den Illiten der  $< 2\mu$ -Fraktion um spätdiagenetische bis anchimetamorphe Umbildungen unter Abbau der Smektite und Illit-Smektit-Wechsellagerungen. Das für die Reaktion notwendige  $\text{K}^+$  und  $\text{Al}^{3+}$  resultiert aus dem Abbau der Kalifeldspäte. Trotz des hohen Mg-Angebots durch die Mg-reichen Kalzite, blieb die Chloritneubildung selbst in den kalzitreicheren Kalken, minimal.

Für die Gebiete Gordoia und Urrunaga erfolgten mit Abnahme der Sedimentationsraten beziehungsweise mit zunehmenden Wassertiefen in Bezug auf die schwächeren Meeresspiegel-

schwankungen und in bezug auf die Transgressions-Regressionszyklen 2. und 3. Ordnung ein Anstieg von Al, K, plus Rb und Ba in Gordoa beziehungsweise zuzüglich von Mg in Urrunaga. In den kalkfreien Mergelresiduen der Parasequenzen beider Gebiete werden außerdem noch Ti, Rb, Cr, Zr und in Urrunaga zusätzlich Cs und Ni gegenüber den karbonatfreien Kalkresiduen angereichert. Bis auf Mg, Ni und Ba handelt es sich um die sogenannten „terrigenen Elemente“ mit einer bevorzugten Bindung an die Tonminerale. Vergleiche mit den norddeutschen Proben, den Proben aus dem Perubecken und den gemittelten Tiefseekarbonatdaten (Turekian & Wedepohl, 1961) verdeutlichen, dass trotz der zunehmenden Beckenvertiefung der Einfluss terrigener Schüttungen erhalten geblieben ist. Umgekehrt werden Sr und P mit zunehmender Karbonatkonzentration angereichert. Anders als im Perubecken, wo die Sedimentationsraten um das 3-30fache geringer sind, bestimmt in den spanischen Ablagerungsgebieten nahe der Paläo-Küste das Maß an Bioproduktion (im engeren Sinn die küstennahen Karbonatproduktion) die terrigen beeinflusste Hintergrundsedimentation und somit das Elementangebot. Der hohe Alterationsindex „CIA“ (Nesbitt & Young, 1983) um 82,4 bestätigt zum einen die hohen terrigenen Einträge, zum anderen den hohen Grad der mechanischen und chemischen Aufarbeitung der eingetragenen Sedimente. Die anhaltenden Einträge trotz zunehmender Entfernung vom Land beruhen auf dem Aufbau der schwach beckenwärts einfallenden Rampen und deren distaler Verteilung (Read, 1985). Im Cenoman/Turon fiel der distale Rampenabschnitt mit  $< 0,5^\circ$  ein. Der Einfallswinkel am Hangfuss wird von Gräfe (1994) mit  $0,5-1^\circ$  angegeben. Er wurde mit der einsetzenden Einengungstektonik im Coniac und Santon auf  $5^\circ$  versteilt. Dies führte dazu, dass vom Cenoman bis zum Santon statt weiträumiger Karbonatplattformen lediglich Bioherme im Meterbereich auf der proximalen Rampe gebildet wurden (Fouke et al., 1994; Schlager, 1991; Schlager, 1992). Trotz der becken- und landwärtigen Verschiebungen der Küstenlinie konnte es deshalb zu einem ungehinderten „Passieren“ der feinkörniger Fracht (im engeren Sinn Tone) beziehungsweise von Trägern der Elemente, im weiteren Sinn Al, K, Ti, Rb, vom Land zum Beckenzentrum kommen.

Die Sr-Konzentrationen liegen bei den flach-marinen Sedimenten zwischen 1009 und 1418 ppm und sind deutlich höher als in den offen-marinen Sedimenten des Perubeckens ( $\bar{\varnothing}$  453 ppm bei  $\leq 10\%$   $\text{CaCO}_3$ ) und den durch Drucklösung überprägten Sedimenten aus Salder (siehe unten). Dort, wie auch abgeschwächt in Dörenthe, erfolgt eine sekundäre Sr-Anreicherung in den Mergeln<sub>SS</sub> (Kubanek & Parekh, 1976; Parekh et al., 1977; Koch & Bausch, 1989). Diese konnte in den spanischen Proben nicht nachgewiesen werden. In denen ist zwar ein diskontinuierlicher Anstieg der Sr-Konzentrationen mit zunehmenden  $\text{CaCO}_3$ -Konzentrationen zu verzeichnen, nicht jedoch eine diagenetisch bedingte Sr-Anreicherung in den Mergeln. Der Erhalt der Sr- und Mg-Konzentrationen in den Kalziten belegt ein durch insgesamt hohe Sedimentationsraten (in der Oberkreide) hervorgerufenes geschlossenes bis halboffenes System während der diagenetischen Umkristallisation.

Es kann gezeigt werden, dass die REE-Konzentrationen in den Proben aus Gordoa und Urrunaga wie in den Lockersedimenten des Perubeckens mit sinkenden Sedimentationsraten ansteigen.

Umgekehrt sinken mit zunehmenden  $\text{CaCO}_3$ -Konzentrationen (kennzeichnend für hohe Sedimentationsraten) die REE-Anreicherungen. Bei gleichen  $\text{CaCO}_3$ -Konzentrationen führen die höheren Zirkoneinträge im Gebiet Urrunaga zu höheren REE-Konzentrationen als im Gebiet Gordoia, eine Änderung der Verteilungsmuster bleibt jedoch aus. Die UC-normierten Proben kennzeichnet ein konvexer Verlauf der Verteilungsmuster mit einem Maximum im Bereich der  $\text{MREE}_N$  und eine schwach negative Ce-Anomalie. Die hohen Anreicherungen der MREE in den Kalken und Mergeln der spanischen Untersuchungsgebiete beruhen ebenfalls auf den hohen Konzentrationen an organischer Substanz ( $C_{\text{org}}$ -Konzentrationen), welche aufgrund der hohen Sedimentationsraten nur bedingt abgebaut werden konnten. Der hohe Verlust der MREE mit der chemischen Aufbereitung, welcher besonders hoch in den residualen Mergelproben ist, schließt schwer lösliche Mineralkomponenten wie Zirkon, der eine Anreicherung der mittleren und hinteren REE verursachen könnte, als Erklärung aus. Ursache ist vielmehr der zur Illitbildung kogenetische, durch P-Freisetzung aus organischer Substanz, welche in den kalkärmeren Sedimenten höher angereichert ist, gebildete, leicht lösliche Francolith (kryptokristalliner Apatit) (Bouch et al., 1995) und andere Phosphatminerale (Hannigan & Basu, 1998). Dieser substituiert die MREE aus der organischen Substanz und die bei der diagenetischen Illitbildung aus Smektit freigesetzten (Ohr et al., 1994).

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Konzentrationen der organischen Komponenten in den Mergeln durch geringer werden der  $\text{CaCO}_3$ -Hintergrundsedimentation höher waren als in den Kalken. Die Karbonate rekristallisieren während der Diagenese schneller (Bausch, 1965; Bausch, 1968; Ricken, 1985; Ricken, 1987; Bathurst, 1991; Ricken & Eder, 1991) als die Mergel, so dass ein Teil der MREE über die Porenlösung sekundär in Form leicht löslicher Verbindungen in den Mergeln angereichert werden konnte.

Die herausgearbeiteten „norddeutschen Anzeiger“ sind weitestgehend auf die während der stärker terrigen beeinflussten Hoch- sowie Niedrigsedimentationsphasen abgelagerten Sedimente Nordspaniens (Gordoia und Urrunaga) übertragbar. Auch dort steigt der Einfluss terrigener Elemente mit Abnahme der Sedimentationsraten beziehungsweise mit Abnahme der biogenen Hochproduktion in Phasen relativ niedriger Wasserstände. Somit steigt der Einfluss der immobilen Elemente (im engeren Sinn die Ti-Gruppe) und der mobileren Elemente Al, K, Rb, Ba. Der „Diageneseanzeiger“ Sr ist unter Abschätzung der Höhe der vorangegangenen Phasenseparationen auch auf die spanischen Arbeitsgebiete anwendbar.

In allen vier Festgesteinsgebieten sind die „terrigen/biogen“-Verhältnisse ausschlaggebende Einflussfaktoren. Die herausgearbeiteten Unterscheidungsmerkmale, die sogenannten Anzeiger oder „Marker“, gelten für Sedimente küstennaher Ablagerung beziehungsweise Ablagerung in Flachwasserbereichen, jedoch nur eingeschränkt für Sedimente der ozeanischen Tiefsee, besonders wenn diese unterhalb der CCD abgelagert worden sind. Es kann für die

Tiefseesedimente des Perubeckens gezeigt werden, dass dort ausschließlich die „hydrogen/biogen“-Verhältnisse ausschlaggebend sind. Mit steigenden Sedimentationsraten steigen die Si- und Ca-Konzentrationen und somit der biogene Einfluss (Faktor), der zu einer Verdünnung der hydrogenen Elemente (wie den REE) führt. Die „Anzeigerelemente“ der Festgesteinsgebiete (Ti-Gruppe und Al, K, Rb) verhalten sich dagegen im Perubecken, welches stellvertretend für Tiefseesedimente ausgewählt worden ist, passiv.

In den Tiefseesedimenten sind die hydrogenen Elemente, besonders die immobilen REE, wichtige Indikatoren für Hoch- bzw. Niedrigsedimentationsphasen. Steigende REE-Konzentrationen korrelieren mit sinkenden Sedimentationsraten und folglich auch mit zunehmender Länge der Exposition des jeweiligen Sediments zum Meerwasser. Diese Aussage lässt sich auf die untersuchten Festgesteinsgebiete übertragen. Dort ist verstärkt der Tonanteil an dem Gesamtsediment und die Art der Tonminerale zu berücksichtigen.

### **8.3 Prozesse der Phasenseparation**

#### **8.3.1 Drucklösungsprozesse**

Nach den vorliegenden Ergebnissen hat die diagenetische Überprägung der Sedimente primäre Alternationen kalkreicherer und kalkärmerer Sedimente aus N-Deutschland (Salder und Dörenthe) und aus N-Spanien (Gordoa und Urrunaga), wo anchimetamorphe Bedingungen vorlagen, beeinflusst. Unterschiedliche Ausgangsbedingungen wie zum Beispiel die Lage zum Beckenzentrum, der Karbonatgehalt, die Karbonatzusammensetzung und die Kompaktion zeigen sich in der Stärke der erfolgten Phasenseparationen. In allen vier Gebieten darf von primär angelegten Oszillationen der Karbonatkonzentrationen durch Meeresschwankungen ausgegangen werden.

Die diagenetischen Drucklösungen beziehungsweise die stattgefundenen Phasenseparationen sind in den spanischen Untersuchungsgebieten nicht (beckennähere Sedimentgesteine aus Gordoa) oder nur schwer erkennbar (beckenfernere Sedimentgesteine aus Urrunaga). Die geringen chemischen Unterschiede zwischen den mergeligen und kalkigen Sedimentgesteinen aus Gordoa und Urrunaga beruhen auf den mergeligen Ausgangszusammensetzungen mit geschätzten Fluktuationen der Karbonatkonzentrationen zwischen 65 und 70 %  $\text{CaCO}_3$ . Damit liegen sie unterhalb beziehungsweise an der unteren Grenze der sogenannten Verwitterungsgrenze (Ricken, 1986). In Übereinstimmung mit dem Karbonatkompaktionsgesetz (Ricken, 1986; 1987) verlaufen die Karbonatkurven sinusförmig und irregulär. Das heißt, die primären Schichtungen wurden nur schwach zerstört, auch wenn sich die Karbonatgehalte geändert haben (Ricken & Eder, 1991). Nach der Phasenseparationen sind diese primären Schichtungen in den Kalken bei den  $\text{CaCO}_3$ -Gehalten um bis zu 10 % höher und in den Mergeln um bis zu 10 % niedriger als in den Ausgangssedimenten.

Im Gelände äußern sich diese diagenetischen Überprägungen durch einzelne, schwach hervortretende karbonatreichere Bänke oder karbonatreichere Platten. Die rhythmischen Kalk-Mergel-Alternationen sind in dem Gebiet Urrunaga erheblich besser ausgebildet als im Gebiet um Gordo. Das heißt, das küstenfernere Ausgangssediment aus Gordo muss homogener gewesen sein. In beiden Gebieten führten die hohen Sedimentationsraten, teilweise bedingt durch die Turbiditeinschaltungen, zur Ausbildung eines „geschlossenen oder halboffenen Systems“ (Pingitore, 1978; Mirsal & Zankel, 1979). Die hohen Sedimentationsraten führten zu schnellen, mechanischen Kompaktionen und den damit verbundenen Reduzierungen der Porenräume trotz der hieraus resultierenden, gleichzeitigen Verlangsamung der Zementation (Füchtbauer & Richter, 1988; Neugebauer, 1973). Die Mg-Freisetzung während der diagenetisch bedingten Rekristallisation in Mg-arme Kalzite führte daher zu keinen nennenswerten sekundären Anreicherungen in den mergeligeren Sedimentpartien. Analog verhält es sich mit dem Element Sr (Bausch 1965; Bausch, 1968). Umgekehrt erfolgt in Richtung der karbonatreicheren Sedimente nur ein begrenzter, advektiver Transport an gelösten  $\text{CaCO}_3$ . Somit bleibt das Maß der Phasenseparation gering.

Im Gegensatz zu den spanischen Gebieten lagen die Ausgangszusammensetzungen in Salder und Dörenthe oberhalb der sogenannten Verwitterungsgrenze (Einsele, 1982; Ricken, 1986; Ricken & Eder, 1991), die in Abhängigkeit von Faktoren wie dem Klima und der Dauer der Exposition eine Karbonatkonzentrationsspanne zwischen 65 und 85 % einnimmt. Sedimente mit höheren Karbonatkonzentrationen müssen in Kalke und Sedimente mit geringeren Karbonatkonzentrationen separiert worden sein. Die Überschreitungen der Verwitterungs-Obergrenze (Ricken & Eder, 1991) durch die insgesamt kalkreichen Ausgangszusammensetzungen zeigen sich heute in den Aufschüssen Salder und Dörenthe in rhythmischen, klar abgegrenzten Kalk-Mergel-Wechselfolgen parallel zur primären Schichtung. Die Phasentrennung in den Ausgangssedimenten, bei der primäre schichtflächen-parallele Oszillationen der Karbonatkonzentrationen verstärkt wurden, erfolgte in dem halboffenen bis offenen System durch Lösung der Karbonate in den mergeligen Sedimentabschnitten und einer Ausfällung in den primär kalkreicheren Sedimentabschnitten. Die „ $\text{CaCO}_3$ -Diffusionen“ werden durch die bevorzugte Lösung kleiner Karbonatpartikel, wie sie vorrangig in tonigen und mergeligen Sedimenten vorliegen, aufgrund des dort stärker gehemmten Kristallwachstums durch Tonpartikel an der Kristalloberfläche (Bausch, 1965; Bausch, 1968) und durch die stärker vertretenden Inhibitoren wie Mg, Fe, Al, K (Kubanek & Parekh, 1976; Parekh et al., 1977; Baker et al., 1980; Tada et al., 1987) hervorgerufen. Gleichzeitig wird in den mergeligeren Sedimentabschnitten die Kalzitrekristallisation durch selbige Inhibitoren und Tone verlangsamt, so dass während der Phasenseparationen die Porenräume länger für diffusive Stoffbewegungen erhalten bleiben.

Anhand der Sr-Akkumulationen in den heutigen Mergellagen und Mergelfilmen parallel zur Schichtung und zur Schieferung und anhand der untersuchten Tufflage  $T_{D1}$  muss also für die Kalk-Mergel-Wechselfolgen der Aufschlüsse Salder und Dörenthe von zwei Phasenseparationen ausgegangen werden. Aus den Phasentrennungen resultiert zum einen die

Überprägung/Verstärkung der primären Anlage der Karbonatfluktuationen (Schichtung) durch eine Versenkungsdiagenese und zum anderen die Anlage der Mergelbeläge entlang der Schieferungsflächen durch eine lateral-kompaktive Phasentrennung (diagenetische Mergelbildung). Dies bedeutet, dass zum Zeitpunkt der Bildung der diagenetischen Mergel<sub>///SF</sub> der Porenraum noch ausreichend groß gewesen sein muss, um eine weitere Aufnahme gelöster Karbonate und eine Wiederausfällung in den Kalken zu gewährleisten. Langheinrich & Plessmann (1968) berechneten für den Steinbruch Salder einen Volumenverlust senkrecht zur Schieferung, welche in diesem Kontext auch als embryonale Schieferung bezeichnet wurde, von 25 %.

Die Ausbildungen der Horizontal- und Vertikalstyrolithen in den Kalkbänken in Salder und Dörenthe resultieren wie die diagenetischen Mergel<sub>///SF</sub> aus Drucklösungen nach dem RIECKE'schen Prinzip (RIECKE, 1895; Trurnit, 1967; Trurnit & Ansturz, 1979; Schwander et al., 1981; Guzzetta, G., 1984; Bathurst, 1995; Railsback, 1996; Railsback, 1998; Andrews & Railsback, 1997). Die Löslichkeitserhöhung erfolgt durch kompressiven Stress senkrecht zur Beanspruchungsrichtung. Als Rückstände verbleiben Tone, Schwerminerale und Elemente wie Mg, Fe und Sr. In den Kalken aus Norddeutschland hat dieses „Überangebot“ an Mg, Fe, Sr und insbesondere an Mn entlang der Styrolithen zu einem verstärkten Einbau in die Kalzitkristallite geführt.

### **8.3.2 Auswirkungen der Phasenseparationen auf die Tonmineralzusammensetzung**

Die Verstärkung der chemischen Gradienten infolge der Phasenseparationen kann nach Deconinck und Debrabant (1985), Chamley (1989) mit der Diagenese zu einer bevorzugten Bildung von Chloriten (Deconinck, 1987) in den Kalken und von Illiten in den Mergeln führen. Für die Illitbildung sind K-Feldspat und Muskovit notwendig, während bei der Chloritbildung Mg aus der Rekristallisation von Mg-haltigen oder Mg-führenden in Mg-freie Kalzite zur Verfügung stehen sollte. In Dörenthe zeichnet sich nach der Korngrößenfraktionierung in der < 2 $\mu$ -Fraktion eine geringfügig stärkere Anreicherung von Chlorit in den Kalkresiduen ab als in den Mergelresiduen. Umgekehrt sind Illit/Muskovit und die „Mixed-layered“-Tone in den Mergelresiduen stärker vertreten. Diese geringen Diskrepanzen der Tonmineralzusammensetzungen werden durch die Phasenseparationen verstärkt. Anders verhält es sich in den mergeligeren, spanischen Arbeitsgebieten, wo die Fluktuationen der primären Zusammensetzungen nicht zur Ausbildung primärer, chemischer Gradienten oder zu nachweisbaren Ionenmigrationen zwischen den heutigen Alternationen ausreichte. Hieraus erklären sich auch die hohen positiven Korrelationen des Mg mit den Kalziten trotz der Rekristallisationen unter anchimetamorphen Bedingungen. Diese haben zur Umwandlung des Smektit zu Illit/Smektit und Illit geführt. Unterschiede in den Tonmineralzusammensetzungen ergeben sich lediglich aus der Korngrößenfraktionierung (< 2 $\mu$ -Fraktion = Illit und „Mixed-layered“-Tone; > 20 $\mu$ -Fraktion = Illit/Muskovit, Chlorit).

In Salder erfolgten trotz der Phasenseparation mit einer Volumenreduktion senkrecht zur Schieferung von 25 % keine lithologieabhängigen Tonmineralneubildungen. In den residualen, smektitdominierten Proben nimmt lediglich der Illitanteil von den Mergeln<sub>///SS</sub> über die Mergel<sub>///SF</sub> zu den Kalken hin ab (umgekehrt proportional verhält es sich mit den „Mixed-layered“-Tonen). Das

heißt, fehlende Choritbildungen in den Kalken und somit fehlende Unterschiede in der Tonmineralzusammensetzung werden auf geringe Mg-Konzentrationen in den primären Kalziten zurückgeführt.

### 8.3.3 Die Tufflage $T_{D1}$ von Salder und ihr Verhalten bei der Phasenseparation

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass in die Kalk-Mergel-Wechselfolgen des norddeutschen Mittel- und Oberturons vier Tuffhorizonte (Bräutigam, 1962; Dorn & Bräutigam, 1959) eingeschaltet sind. Die smektitischen Bentonite, die im frischen Zustand hellgrau, blaßgrünlich bis gelbbraun gefärbt sind, lassen sich von Salder (Wray & Wood, 1995; Wray et al., 1996) über das Münsterländer Becken (Seibertz & Vortisch, 1979; Wray et al., 1995) bis nach Ostengland (Wray & Wood, 1998) korrelieren. Uneinigkeit besteht in der geographischen Herkunft der Tuffe. Potentielle Liefergebiete sind Südschweden (Zimmerle, 1989), der mitteleuropäische Raum (Seibertz & Vortisch, 1979) oder die Anton-Dohrn-Kuppe im Rockall-Trog (Wray & Wood, 1998).

Anhand der weiten, geographischen Verbreitung der zu Bentoniten alterierten Tuffhorizonte kann von Phasen höherer vulkanogener Einträge in ein Becken mit einer karbonatdominierten Sedimentation ausgegangen werden. Vergleiche zwischen der Tufflage  $T_{D1}$  und den vulkanogen unkontaminierten Mergeln<sub>SS</sub> lassen auf eine vergleichbare Phasenseparation in einem im Karbonatgehalt fluktuierenden Ausgangssediment schließen. Ginge man davon aus, dass keine Fluktuationen bestanden hätten, so dürften die rein diagenetisch entstandenen Mergeln<sub>SF</sub> in der stratigraphisch hangenden Kalkbank keine Merkmale aufweisen, die auf vulkanische Einträge hinweisen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Nach den vorliegenden Ergebnissen grenzt sich dieser Mergeln<sub>SF</sub> (Probe S10) von den übrigen, nicht vulkanogen kontaminierten Mergeln<sub>SF</sub> durch deutlich höhere Konzentrationen der immobilen Elemente Hf, Nb, Zr, Th und durch höhere HREE-Anreicherungen ab. Die LIL-Elemente K, Cs und Rb werden in Probe S10 gegenüber den Mergeln<sub>SS</sub> und Mergeln<sub>SF</sub> geringer abgereichert, währenddessen die SiO<sub>2</sub>-, TiO<sub>2</sub>-, Na<sub>2</sub>O- und K<sub>2</sub>O-Konzentrationen sich eher wie die in dem tuffitischen Mergeln<sub>SS</sub> (Probe S10a) verhalten. Zum Beispiel kann auf anhaltende Einträge von Tuffpartikeln auch nach dem Wechsel zu einer kalzitisch dominierten Sedimentation geschlossen werden (zum Beispiel durch strömungsbedingte Aufarbeitung der Tufflage). Trotz der Übereinstimmungen der Mergeln<sub>SS</sub> tuffitischer Herkunft und der angrenzenden Mergeln<sub>SF</sub> mit vulkanogenen Merkmalen (Probe S10) liegt insgesamt eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung vor. Nach der TAS-Einteilung (LeMaitre et al., 1989) handelt es sich bei diesen alterierten und diagenetisch überprägten Sedimenten um eine andesitische bis dazitische Zusammensetzung. Den immobileren Elementen (Winchester & Floyd, 1977; Wilson, 1989) zufolge entspricht die Ausgangszusammensetzung der Mergeln<sub>SS</sub> einer phonolitischen Herkunft, die der vulkanogenen Kontamination in dem hangenden Kalkstein beziehungsweise in den Mergeln<sub>SF</sub> (Probe S10) einer trachyandesitischen Herkunft. Bezogen auf die Kalk-Mergel-Wechselfolge bedeutet die abweichende Zusammensetzung, dass zum einen bereits zum Zeitpunkt der Sedimentation Schwankungen in den chemischen Zusammensetzungen (lithologische Fluktuationen) vorgelegen haben und somit lithologische Vorzeichnungen nur durch

eine Phasenseparation verstärkt wurden, zum anderen sich die Zusammensetzung der vulkanischen Aschen geändert haben muss.

Pacey (1984) beschreibt zu Mergel alterierte Tufflagen aus Kreideaufschlüssen Englands. Dort niedergegangene troposphärische „Niederschläge“ sind vergleichbar mit der beprobten Tufflage T<sub>D1</sub> der Kalk-Mergel-Wechselfolge Salders. Ein fließender Übergang von troposphärischen Tuffeinträgen zu stratosphärischen oder ein nachfolgender Wechsel zu stratosphärischen Einträgen ist denkbar. Demnach wären feinste Aschepartikel vom stratosphärischen Typ als Hintergrundsedimentation in die Kalkmatrix abgelagert und später mit der Phasenseparation zu einem Mergel vom Typ der Probe S10 (Mergel<sub>SF</sub>) konzentriert worden.

## 9. Schlussfolgerung

Die Verteilung der Seltenen-Erden-Elemente (REE) zeigt, dass sowohl die Gesamtproben als auch die Tonminerale/Tonfraktionen von relativ tonreichen Sedimenten, die bei niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden und der damit verbundenen längeren Verweildauer der Sedimentpartikel im Meerwasserkontakt, eine andere chemische Zusammensetzung besitzen als die Tonminerale/Tonfraktionen von kalkreicheren Sedimenten, die bei hohen Sedimentationsraten und kürzeren Verweildauern der Partikel am Meeresboden abgelagert wurden. Auch bei späterer versenkungsdiagenetischer Überprägung bleiben die sedimentationsraten-abhängigen chemischen Signaturen erhalten.

Mit zunehmender Dauer der Exposition der Partikel zum Meerwasser, also bei niedriger werdenden Sedimentationsraten, steigt die Konzentration der REE an und zwar unabhängig davon, ob das Ablagerungsmilieu durch biogene oder hydrogene Faktoren, wie bei den rezenten bis subrezenten und pliozänen bis quartären Lockersedimenten des Perubeckens, oder durch biogene oder terrigene Faktoren, wie bei den oberkretazischen Gesteinen der norddeutschen und nordspanischen Aufschlüsse, beeinflusst wurde. Für das Perubecken bedeutet dies, dass in Sedimenten, die bei niedrigen Sedimentationsraten abgelagert wurden, ein Anstieg der REE-Konzentrationen sowohl in der < 2 $\mu$ -Fraktion als auch in den Gesamtproben und den Eluatn mit den desorbierten Ionen zu verzeichnen ist. Auch für die Festgesteine aus Norddeutschland und Nordspanien wurde festgestellt, dass die Mergel, die mit niedrigeren Sedimentationsraten abgelagert wurden, höhere REE-Konzentrationen aufweisen, als die mit höheren Sedimentationsraten abgelagerten Kalke.

Um die REE-Verteilungsmuster innerhalb eines Gebietes und zwischen den Gebieten sinnvoll miteinander vergleichen zu können, sollten aber auch andere REE-Träger wie Apatit, detritischer Muskovit und die detritischen Schwerminerale (zum Beispiel Zirkone), die neben den Tonmineralen im Sediment vorliegen, und ihre Konzentrationen bekannt sein. Es kann gezeigt werden, dass in

keinem Gebiet signifikante Erhöhungen der hinteren REE in Folge von Zirkoneinträgen erfolgt sind. In den UC-normierten Proben beruhen die „Konzentrationsanstiege“ von den LREE<sub>N</sub> zu den HREE<sub>N</sub> ausschließlich auf den längeren Verweildauern am Meeresboden, wie es generell für die offen-marinen Sedimente aus dem Perubecken im Vergleich zu den flachmarinen Sedimenten aus Norddeutschland und Nordspanien der Fall ist. Die detritischen Muskovite in den spanischen Proben können ebenfalls unberücksichtigt bleiben. Die minimalen Apatitkonzentrationen beziehungsweise die dadurch beeinflussten REE-Verteilungsmuster sollten in Sedimenten, die bei generell höheren Sedimentationsraten und geringeren Verweildauern im Meerwasser (Flachmeer) abgelagert wurden, einen höheren Einfluss auf die REE-Verteilungsmuster haben als in Sedimenten mit langer Exposition (Tiefseesedimente), deren ererbte REE-Signaturen durch die Meerwassersignaturen überprägt worden sind. Weiterhin spielt die Tonmineralzusammensetzung in einem Sediment eine wichtige Rolle, da „Mixed-layered“-Tonminerale und Smektite mehr REE ad- und absorptiv binden als Illite. Ein Gleichgewicht zum Meerwasser wird sich bei letztgenannten erst später einstellen.

Der Gehalt an organischer Substanz ist in den Sedimenten ein weiterer Einflussfaktor in Bezug auf die Konzentrationen der REE und auf ihre Verteilungsmuster. Anhand der REE-Muster von Oberflächensedimenten aus dem Perubecken, die oberhalb der Kalzitkompensationstiefe (CCD) abgelagert worden sind, kann gezeigt werden, dass bei zunehmenden Konzentrationen an organischen Substanzen steigende Anreicherungen der MREE stattgefunden haben. In den spätdiagenetisch bis anchimetamorph überprägten spanischen Sedimentgesteinen wurden ebenfalls hohe MREE-Anreicherungen durch starke Akkumulationen nicht-abgebauter labiler, organischer Anteile beobachtet. Der REE-Anteil und der Anteil der leicht löslichen Phasen ist in den Mergeln, die während Phasen geringerer Karbonatproduktionen abgelagert wurden, höher als in den Kalken. Es ist außerdem von einer sekundären Zufuhr von MREE aus den Kalken in die Mergel während der Phasenseparation und Diagenese und damit einhergehender Bildung von kryptokristallinen Apatiten auszugehen.

Trotz der unterschiedlichen tonmineralogischen Zusammensetzungen in Salder (Smektit > Illit) und Dörenthe (Illit > „Mixed-layered“-Tone > Chlorit > Smektit und Kaolinit) sind die flachverlaufenden REE-Verteilungsmuster beider Gebiete sehr ähnlich, auch wenn in den schichtflächen-parallelen Mergeln<sub>//SS</sub> und in den kluff-/schieferungsflächen-parallelen Mergeln<sub>//SF</sub> von Dörenthe generell höhere REE-Fraktionierungen vorliegen als in den Mergeln<sub>//SS</sub> und in den Mergeln<sub>//SF</sub> von Salder. Jedoch sind in Dörenthe die Originalproben wie auch die kalk- und organikfreien Residualproben parallel zur Schichtung höher fraktioniert als in den Proben parallel zur Schieferung (diagenetische Mergel<sub>//SF</sub>). Umgekehrte Verhältnisse liegen in den Proben von Salder vor. Ferner sind die REE-Konzentrationen insgesamt in den chemisch unaufbereiteten Mergeln<sub>//SS</sub> höher als in den Mergeln<sub>//SF</sub>, hingegen schwanken in Dörenthe die REE-Konzentrationen der Mergel<sub>//SS</sub> und Mergel<sub>//SF</sub> bei etwa gleichen Mittelwerten. Die Konzentrationsunterschiede und die abweichenden Fraktionierungen der beiden Gebiete beruhen auf dem höheren Grad der Phasenseparationen in Dörenthe. Die Untersuchungsmethode kann daher genutzt werden, um Sedimente, die einer

Lateralkompaktion mit Drucklösung unterlagen, von solchen zu unterscheiden, die durch eine reine Versenkungsdiagenese entstanden beziehungsweise deren primäre Materialunterschiede durch diese verstärkt worden sind.

Die immobilen Elemente der Ti-Gruppe (Ti, Zr, Hf) und die Elemente Al, Rb und K, die aufgrund ihrer großen Ionenradien wenig mobil sind und somit in den Lösungsrückständen angereichert werden, gehören zu den terrigenen Elementen. Sie sind ebenfalls Anzeiger für primäre, chemische Unterschiede in Sedimentkörpern. In den Festgesteinsgebieten sind diese Elemente Anzeiger für Sedimentationsphasen, in denen die Sedimentationsraten gering waren und folglich die biogenen Einträge in Form von Karbonatschalern reduziert waren. In diesen Phasen erfolgte die Ablagerung der kalkärmeren Mergel. In diesen Festgesteinsproben sind die Elementkonzentrationen der Ti-Gruppe sowie von Al, Rb und K höher als in den kalkreicheren Mergeln, die bei höheren Sedimentationsraten und bei höheren Bio-Produktionen abgelagert worden sind. In offen-marinen Gebieten wie dem Perubecken, in denen überwiegend hydrogene plus biogene Verhältnisse vorliegen, verhalten sich die Elemente der Ti-Gruppe und die „tonmineralliebenden“ Elemente Al, Rb und K passiv gegenüber den Sedimentationsraten. Das heißt, diese Anzeiger sind nur auf Flachwassersedimente ohne große terrigene Einträge anwendbar.

Dort ist die Entfernung zum Land der entscheidende Einflussfaktor und das damit verbundene „terrigen/biogen“-Verhältnis während der Sedimentation. Die Konzentrationen der Elemente der Ti-Gruppe spielen in offen-marinen Sedimenten bei den dominierenden hydrogenen- oder biogenen-Verhältnissen keine oder kaum eine Rolle. Nach den vorliegenden Untersuchungen steigt der terrigene Einfluss wie folgt: Lockersedimente des Perubeckens (kein terrigener Einfluss) << Norddeutschland (Dörenthe < Salder) << Nordspanien (Gordoa < Urrunaga). Trotz dieser Unterschiede konnten mit Hilfe der herausgearbeiteten Anzeiger („Marker“) die Festgesteinsgebiete (flach-marine Sedimente) mit den Lockersedimenten (offen-marinen Sedimenten) begrenzt verglichen werden.

Mit Zunahme des hydrogenen Charakters spielen hydrogene Elemente wie zum Beispiel die REE und Mn wie auch authigene Minerale (unter anderem die Mn-Hydroxide/-Oxide, Apatit und Baryt) eine wichtige Rolle. Der Einfluss letztgenannter konnte im Fall der Sedimente aus dem Perubecken vernachlässigt werden.

Das chalcophile, mobile Element Sr ist Anzeiger für diagenetische Prozesse, da zum einen bei der Umwandlung von Hoch-Magnesiumkalzit und/oder Aragonit in Niedrig-Magnesiumkalzit Sr freigesetzt wird, zum anderen erfolgt eine Mobilisierung während der Phasenseparationen. Mit Hilfe der Sr-Konzentrationen kann in offen-marinen Sedimenten, die oberhalb der Kalzit-Kompensationstiefe (CCD) abgelagert worden sind, zwischen primär kalkärmeren und primär kalkreicheren Sedimenten unterschieden werden, auch wenn Tiefseekarbonate generell weniger Sr einbauen als die Flachwasserkarbonate. Die Sr-Konzentrationen steigen mit wachsenden CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen flach an. Dieser Anstieg lässt sich auch auf die spätdiagenetisch

überprägten Kalk-Mergel-Wechselfolgen der Gebiete in Nordspanien, in denen keine ausgeprägten Phasenseparationen stattgefunden haben, übertragen. Die bei niedrigen Sedimentationsraten abgelagerten Mergel sind Sr-ärmer als die Kalke der hohen Sedimentationsraten. Eine zusätzliche, sekundäre Zufuhr an Sr aus den Kalken in die Mergel wird nicht ausgeschlossen. In Wechsellagerungen Norddeutschlands mit deutlich erkennbarer Phasenseparation hat eine stärkere Anreicherung des Sr in den diagenetisch verstärkten, primären, schichtflächen-parallelen Mergeln<sub>SS</sub> und eine schwächere in den durch lateral-kompaktive Drucklösung, also rein diagenetisch entstandenen kluffüllenden Mergeln<sub>SF</sub> stattgefunden. Die Abweichungen der Konzentrationen zwischen den Mergeln unterschiedlicher Herkunft beruhen auf den Sr-haltigen Karbonatkristallen, die durch ein gehemmtes Kristallwachstum kleiner sind als in den Kalken. Die kleineren Kalzite werden während der Diagenese schneller gelöst. Das freigesetzte Sr bleibt in den Mergeln erhalten, und es erfolgt eine zusätzliche Einwanderung von Sr aus den Kalksteinen. Die Tonpartikel verlangsamen die Rekristallisation gegenüber den Kalken, so dass während der Phasenseparationen die Porenräume länger für diffusive Sr-Anreicherungen aus den Kalken geöffnet bleiben, während die Sr-Anreicherungen in den Mergeln<sub>SF</sub> bei der lateral-kompaktiven Drucklösung und Phasenseparation entstehen. Ein klarer Beleg für die Phasenseparation ist auch die Bildung vertikaler und horizontaler Styolithen. Entlang der Styolithensäume bauen die Kalzit-Rekristallite insgesamt mehr Fe, Sr, Mg und insbesondere mehr Mn ein als Kalzite mit zunehmender Entfernung von den Styolithen. Dies wird durch das erhöhte Angebot an Fe, Sr, Mg und Mn erklärt.

Es kann auch gezeigt werden, dass auch der CIA-Index von Nesbitt & Young (1983), stellvertretend für die Alkaliverarmung stehend, in den kalk- und organikfreien Residualproben zur Abgrenzung der diagenetisch überprägten Sedimente von rein diagenetisch entstandenen Sedimenten herangezogen werden kann. Diese Abgrenzung ist bei geringen, primär angelegten lithofaziellen Unterschieden in Sedimenten nur bedingt möglich. Die kalkfreien Residuen der Gesamtproben der Lockersedimente aus dem Perubecken zeigen steigende Alkalikonzentrationen ( $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) vom Gebiet mit den höheren Sedimentationsraten hin zu dem mit den niedrigeren. Dagegen ist in der  $< 2\mu$ -Fraktion die Alkaliverarmung im Niedersedimentationsgebiet, trotz der höheren Verweildauer an der Sedimentoberfläche, höher als im Nordgebiet. Minimale Unterschiede in der Tonmineralzusammensetzung, die jedoch mit der Röntgendiffraktometrie nicht nachweisbar sind, haben wahrscheinlich diese Diskrepanzen zwischen den Gesamtproben und den Proben der  $< 2\mu$ -Fraktion verursacht. Die Aussagen über die Alkaliverarmung der Sedimente aus dem Perubecken lassen sich nicht auf die diagenetisch überprägten Kalke und Mergel Gordoas und Urrunagas übertragen. Es kann jedoch für Sedimente, die durch eine deutliche Phasenseparation gekennzeichnet sind (Salder und Dörenthe), gezeigt werden, dass mit Hilfe der CIA-Indizes primär angelegte, später diagenetisch überprägte Mergeln<sub>SS</sub> von rein diagenetisch gebildeten Mergeln<sub>SF</sub>, deren Alkaliverarmungen geringer sind, unterschieden werden kann. Die Alkaliverarmungen sind wiederum in den Kalken geringer als in den Mergeln<sub>SF</sub>. Die geringen Unterschiede zwischen den drei Lithologien wurden durch die Phasenseparationen in einem halboffenen System verstärkt. In den Gesteinen Nordspaniens führten dagegen die primär

geringen Unterschiede der Ausgangssedimente und das geschlossene System während der Diagenese zu keiner oder keiner nachweisbaren, lithologische Unterschiede verstärkenden Phasenseparation. In bezug auf den CIA-Index verhalten sich Sedimente, die durch terrigene Einträge beeinflusst sind, folglich anders als terrigen unbeeinflusste Sedimente.

Während in Gordoia und Urrunaga die geringen mineralogischen und chemischen Variationen der Beckensedimente und die generell sehr hohen Sedimentationsraten, welche zu einem mehr oder weniger geschlossenen Diagenesesystem geführt haben, eine Phasenseparation im engeren Sinn verhindert haben (advective Transporte haben zu kleinräumigen Austauschen der Elemente im Grenzbereich der unterschiedlichen Lithologien geführt), erfolgten in Salder und Dörenthe deutliche Phasenseparationen in einem halboffenen System. In Salder und Dörenthe sind die Austauschprozesse aufgrund der Überschreitungen der sogenannten oberen Verwitterungsgrenze durch sehr kalkreiche Ausgangssedimente erfolgt. Hieraus resultieren die Mergel<sub>SF</sub>.

Die Vergleiche zwischen den Mergeln<sub>SS</sub>, bei denen nicht klar war, ob diese aus diagenetischen Phasenseparationen hervorgegangen sind, und den diagenetisch entstandenen Mergeln<sub>SF</sub> haben ergeben, dass auf der Basis der oben genannten Aussagen eine Unterscheidung über die Genese der einzelnen Lithologien getroffen werden kann. In keiner der untersuchten Kalk-Mergel-Wechselfolgen (Salder und Dörenthe) liegt in den Mergeln<sub>SS</sub> eine rein diagenetische Schichtung vor, jedoch sind die primären lithologischen Unterschiede durch eine diagenetische Phasentrennung verstärkt worden. Die primäre Anlage einer Schicht wird allerdings nur bei der Tufflage T<sub>D1</sub> von Salder deutlich sichtbar.

Mit dem Nachweis, dass die REE-Konzentrationen von mergeligen und kalkigen Sedimenten an Sedimentationsraten beziehungsweise Verweildauern von ad- und absorptionsfähigen Sedimentkomponenten am Meeresboden gekoppelt sind, können nach den Ergebnissen dieser Arbeit nunmehr nicht nur eindeutig primäre Anlagen einer Schichtung aus diagenetisch überprägten Gesteinsfolgen ermittelt werden, sondern auch Sedimentationsraten-Unterschiede abgeleitet werden. Beim Vorliegen von mergeligen/tonigen Klufffüllungen (Schieferungsflächenbelägen), die durch lateral-kompaktive Drucklösung mit Phasenseparation aus verfestigten kalkigen Sedimenten hervorgegangen sind, lässt sich nach den Untersuchungsergebnissen nunmehr auch feststellen, ob Mergellagen, die zwischen Kalkbänken liegen rein durch Versenkungsdiagenese entstanden sind oder aber eine primäre Schichtung vorlag, die später diagenetisch überprägt wurde. Mit Hilfe der Ti-Gruppen-Elemente sowie mit Al, Rb und K kann außerdem der Grad des terrigenen Einflusses bestimmt werden.

Bei ausschließlich diagenetischen Bildungen von schichtflächen-parallelen Mergel-/Tonlagen können jetzt auch Unterschiede im Grad der lateral-kompaktiven und versenkungsdiagenetischen Diagenese und das Vorliegen von schieferungsflächen-parallelen Mergel-/Tonlagen erkannt werden.

## 10. Literaturverzeichnis

- Akagi, T. & Masuda, A., 1998:** A simple thermodynamic interpretation of Ce anomaly. *Geochem. J.*, 32, 301-314
- Aoki, S. & Kohyama, N., 1991:** The vertical change in clay mineral composition and chemical characteristics of smectite in sediment cores from the southern part of the Central Pacific Basin. *Mar. Geol.*, 98, 41-49
- Andrews, L. M. & Railsback, L. B., 1997:** Controls on Stylolite Development: Morphic, Lithologic, and Temporal Evidence from bedding-Parallel and Tranverse Stylolites from the U.S Appalachians. *Journ. Geol.*, 105, 59-73.
- Bachmann, M., 1994:** Die Karbonatrampe von Organyà im oberen Oberapt und unterem Unterapt (NE-Spanien, Prov. Lerida): Fazies, Zylo- und Sequenzstratigraphie. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 202 p.
- Bacon, M. P. & Andersen, R. F., 1982:** Distribution of thorium isotopes between dissolved and particulate forms in the deep sea. *J. Geophys. Res.*, 87, 2045-2056
- Baker, P. A., Kastner, M., Byerlee, J. D & Lockner, D. A., 1980:** Pressure Solution And Hydrothermal Recrystallization Of Carbonate Sediments—An Experimental Study. *Mar. Geol.*, 38, 185-203
- Balashov Y.A. & Y.P. Girin, 1969:** On the reserve of mobile rare earth elements in sedimentary rocks *Geokhimiya*, 7, 807-816
- Balistreri, L. S. & Murray, J. W., 1984:** Marine scavenging: Trace metal adsorption by interfacial sediment from MANOP Site H, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 48, 5, 921-929
- Bathurst, R. G. C. , 1987:** Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction. *Sedimentology*, 34, 749-778
- Bathurst, R. G. C., 1991:** Pressure-dissolution and limestone bedding: the influence of stratified Cementation, In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (eds.): *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 450-463
- Bathurst, R. G. C., 1995:** Burial diagenesis of limestones under simple overburden. Stylolites, cementation and feedback. Séance spécialisée, Carbonates intertropicaux, Paris, 3 et 4 mai 1993. *Bull. Soc. géol. France*, 1995, t. 166, n° 2, 181-192
- Bausch, W. M., 1965:** Strontiumgehalte in Süddeutschen Malmkalken. *Geol. Rundschau*, 55, 86-96
- Bausch, W. M., 1968:** Outlines of distribution of strontium in marine limestones. In: Müller, German und Friedman, G. M., 1968: *Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe*. Berlin-Heidelberg-New York Springer Verlag, 255 p.
- Beiersdorf, H., 1968:** Spuren syn- und postdiagenetischer, tektonischer Beanspruchung in den Karbonatgesteinen Mittel- und Südsaxoniens (Horizontalstylolithen, Längsrippung und Längsplattung). Dissertation, Göttingen, 84 p.
- Beiersdorf, H. & Natland, J. H., 1983:** Sedimentary and diagenetic processes in the central panama basin since the late miocene: The lithology and composition of sediments from Deep Sea Drilling Project Sites 504 and 505 Washington. In: Stout, L. N. (ed.): *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Washington, 69, 343-383
- Beiersdorf, H. & Knitter, H., 1986:** Diagenetic Layering and Lamination. *Mitt. Geol.- Paläont. Inst. Univ. Hamburg*. SCOPE/ UNEP Sonderband Heft 60, 267- 273
- Beitz, D., Führer, F., Greiner, G. & Plein, E., 1987:** Evolution of the Lower Saxony Basin. *Tectonophysics*, 137, 127-170
- Boström, K., 1974:** New finds of exhalative deposits on the East Pacific Rise. *Geologiska Föreningens förhandlingar*, P.1 , 53-60

- Boström, K., Peterson, M. N. A., Joensuu, O. & Fisher, D. E., 1969:** Aluminium-poor ferromanganous sediments on Active Oceanic Ridges. *Journ. Geophys. Res.*, 74, 12, 3261-3270
- Boström, K., Kraemer, T. & Gartner, S. 1973:** Provenance and accumulation rates of the opaline silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments. *Chem. Geol.*, 11, 123-48
- Boström, K., Joensuu, D. & Brohm, I., 1974:** Plankton: Its chemical composition and its significance as a source of pelagic sediments. *Chemical Geology*, 14, 255-271
- Bouch, J. E., Hole, M. J., Trewin, N. H. & Morton, A. C., 1995:** Low-temperature aqueous mobility of the rare-earth elements during sandstone diagenesis. *Journ. Geol. Soc., London*, Vol. 152, 895-898
- Bräutigam, F., 1962:** Zur Stratigraphie und Paläontologie des Cenomans und Turons im nordwestlichen Harzvorland. Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 261 p.
- Bryden, H. L. & Brady, E. C., 1985:** Diagnostic model of the three-dimensional circulation in the upper Equatorial Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1255-1273
- Calvert, S. E., 1976:** The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: Riley, J. R. & Chester, R. (eds.): *Chemical Oceanography*, 6, 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press, 187 p.
- Chamley, H., 1989:** *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 623 p.
- Chester, R., 2000:** *Marine Geochemistry*. Second edition, Blackwell science. 506 p.
- Ciry, R. & Mendizabal, J., 1949:** Contribution à l'étude du Cénomaniens et du Turonien des confins septentrionaux des Provinces de Burgos, d'Alava et Navarra. *Ann. Hebert et Haug (Livre Jub. „Charles Jakob“)*, 7, 61-79
- Correns, C. W., 1968:** *Einführung in die Mineralogie*, 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, (Nachdruck 1981), 414 p.
- Deconinck, J.-F., 1987:** Identification de l'origine détritique ou diagénétique des assemblages argileux: le cas des alternance marne-calcaire du Crétacé intérieur subalpin. *Bull. Soc. géol. France*, 8, t. III, 1, 139-145
- Deconinck, J.-F. & Debrabant, P., 1985:** Diagenèse des argiles dans le domaine subalpin: rôles respectifs de la lithologie, de l'enfouissement et de la surcharge tectonique. *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, 26, 321-330
- Dorn, P & Bräutigam, F., 1959:** Hinweise auf Oberkreidevulkanismus in NW-Deutschland in NW-Deutschland. *Abh. Braunschweig. Wiss. Gesell.*, 11, 1-4
- Dymond, J., 1981:** Geochemistry of Nazca plate surface sediments: An evaluation of hydrothermal, biogenic, detrital, and hydrogenous sources. In: *Nazca Plate: Crustal Formation and Andean Convergence*. Reprinted 1983. The Geological Society of America, Memoir 154, 133-173
- Dymond, J., Corliss, J. B., Heath, G. R., Field, C. W., Dasch, E. J. & Veeh, H. H., 1973:** Origin of metalliferous Sediments from the Pacific Ocean. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 3355-3372
- Dymond, J. & Veeh, H. H., 1975:** Metall accumulation rates in the Southeast Pacific and the origin of metalliferous sediments: *Earth Plan. Sci. Lett.*, 28, 13-22
- Dymond, J., Suess, E. & Lyle, M., 1992:** Barium in deep-sea sediments: a geochemical proxy for paleoproductivity. *Paleoceanography*, 7, 2, 163-181
- Earnest, C. M., 1991a:** Thermal analysis of selected illite and smectite clay minerals. Part I. Illite clay specimens. In: *Smykatz-Kloss, W. & S. St. J. Warne. Lecture Notes in Earth Sciences*, 38, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 270-286
- Earnest, C. M., 1991b:** Thermal analysis of selected illite and smectite clay minerals. Part II. smectite clay minerals. In: *Smykatz-Kloss, W. & S. St. J. Warne. Lecture Notes in Earth Sciences*, 38, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 288-312
- Einsele, G. & Seilacher, A., 1982:** Cyclic and event stratification. In: *Einsele, G. & Seilacher, A.: Workshop*

- Cyclic and Event Stratification Tübingen on April 25<sup>th</sup>-27<sup>th</sup> 1980, Springer, Berlin Heidelberg New York, 536 p.
- Einsele, G. & Ricken, W., 1991:** Introductory Remarks. In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (eds.). Cycles and events in stratigraphy. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 611-616
- Elderfield, H., 1976:** Hydrogenous material in marine sediments: excluding manganese nodules. In: Riley, J. P. & Chester, R., 1976: Chemical Oceanography. Vol. 5, 137-215
- Elderfield, H. & Greaves, M. J., 1982:** The rare earth elements in seawater: The depth distributions of La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er and Yb in the oceanic water column are used to evaluate the marine geochemical cycle of the rare earth elements and their application as water- mass tracers. *Nature*, 296, 18 March, 214-219
- Elderfield, H., Upstill-Goddard, R. & Sholkovitz, E. R., 1990:** The rare earth elements in rivers, estuaries, and coastal seas and their significance to the composition of ocean waters. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 54, 4, 971-991
- Engeser, T., Reitner, J., Schwentke, W. & Wiedmann, J., 1984:** Die kretazisch-alttertiäre Tektogenese des Basko-Kantabrischen Beckens (Nordspanien). *Z. dt. geol. Ges.*, 135, 243-268
- Engeser, T., 1985:** Sedimentologische, Faziale und Tektonische Untersuchungen in der Oberkreide des Basko-Kantabrischen Beckens (Nordspanien). Diss. Univer. Tübingen, 232 p.
- Erlanson, D., Hussong, D. & Campell, J., 1981:** Sediments and associated structure of the northern Nasca plate. In: Kulm, L. et al. (eds.): Nasca Plate: Crustal formation and Andean Convergence. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 154, 295-314
- Ernst, G., Schmid, F. & Klisches, G. 1979:** Multistratigraphische Untersuchungen in der Oberkreide des Raumes Braunschweig-Hannover. In: Wiedmann, J. (Eds.): Aspekte der Kreide Europas, IUGS Series, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart A 6: 11-46
- Ernst, G., Schmid, F. & Seibertz, E., 1983:** Event-Stratigraphie im Cenoman und Turon von NW-Deutschland. *Zitteliana*, 10, 531-554
- Ernst, G. & Wood, C. J., 1995:** Die tiefere Oberkreide des subherzynen Niedersachsens (Raum Hildesheim-Salzgitter-Vienenburg): Faziesgeschichte, Beckendynamik, Events und Sequenzen. In: Exkursionsführer= 65. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft, Hildesheim. Hrsg.: Boetzkies, M.. Terra Nostra, Bonn, 5/95, 41-84
- Fouke, B. W., Everts, A. J. W., Zwart, E. W. & Schlager, W., 1994:** Diagenesis and stratal packaging of subareal exposure unconformities in carbonate platforms. Intern. Meeting on Perimeterterran Carbonate Platforms, 1, 05.09.1994-08.09.1994, Marseille. *Géologie méditerranéenne*, 21, ¼, 67-68
- Fiedler, K., 1965:** Strukturgeologische Untersuchungen zur Querplattung (Sigmiodalklüftung) in den Oberkreidekalken des Osnings. *Mittl. Geol. Staatsinst. Hamburg*, 34, 5-125
- Fischer, A. G., 1982:** Orbital cyclicity in mesozoic strata. In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (eds.): Cycles and events in stratigraphy. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 48-62
- Fischer, A. G. & Seilacher, W., 1984:** Cretaceous bedding rhythms under orbital control? In: Berger, A., Imbrie, J., Hays, J., Kukla, G., Salzman, B. (eds.). Milankovitch and climate. NATO ASI Series C 126, Reidel, Dordrecht, 163-176
- Floquet, M., 1991:** La Plate forme Nord-Castillane au Crétacé supérieur (Espagne). *Mém. géol. Univ. Dijon*, 14, 925 p.
- Füchtbauer, H., 1988:** Sandsteine. In: Füchtbauer et al., 1988: Sedimente und Sedimentgesteine; Sediment-Petrologie Teil II. Füchtbauer, H. (ed.), Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 97-183
- Füchtbauer, H. & Richter, D. K., 1988:** Karbonatgesteine. In: Füchtbauer et al., 1988: Sedimente und

- Sedimentgesteine; Sediment-Petrologie Teil II. Füchtbauer, H. (ed.), Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 97-183
- Gischler, E., Gräfe, K.-U. & Wiedmann, J., 1994:** The Upper Cretaceous Lacazina Limestone in the Basco-Cantabrian and Iberian basins of the northern Spain. *Facies*, 30, 209-246
- GLA, 1970:** Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000. Blatt 3712 Tecklenburg, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (GLA), Krefeld.
- Glasby, G. P., Gwozdz, R., Kunzendorf, H., Friedrich, G. & Thijssen, T., 1987:** The distribution of rare earth and minor elements in manganese nodules and sediments from the equatorial and S.W. Pacific. *Lithos*, 20, 97-113
- Goldberg, E. D., 1954:** Marine Geochemistry. Chemical scavengers of the Sea. *Jour. Geol.*, 62, 249-212
- Goldberg, E. D. & Arrhenius, G. O. S., 1958:** Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13, 153-212
- Goldberg, E. D., 1961:** Chemistry in the oceans. In: Sears, M. (ed.): *Oceanography*, Am. Assoc. Adv. Sci. Publ., 67, 583-597
- Grabert, H., 1998:** Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (eds). 351 p.
- Gräfe, K. -U., 1994:** Sequence Stratigraphy in the Cretaceous and Paleogene (Aptian to Eocene) of the Basco-Cantabrian Basin (N.Spain). Diss. Univer. Tübingen, A 18, 418 p.
- Gräfe, K. -U. & Wiedmann, J., 1993:** Sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous of the Basco-Cantabrian Basin (northern Spain). *Geologische Rundschau*, 82, 327-361
- Gräfe, K. -U. & Wiedmann, J., 1998:** Sequence stratigraphy on a carbonate ramp; the Late Cretaceous Basco-Cantabrian Basin (northern Spain). – In: De Graciansky, P. C., Hardenbohl, J., Jacquin, T. & Vail, P. R.: *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European Basins*. Spec. Publ.- Soc. Sedim. Geol., 60, 333-341
- Grau, R., 1996:** Versenkungsdiagenese pelagischer Sedimente unter erhöhtem Wärmefluß, DSDP Legs 68-70, Sites 501/504 und 505 (Panama-Becken, östl. Pazifik). Dissert., *Documenta Naturae*, 103, 172 p.
- Guichard, F., Church, T.M., Treuil M. & Jafreziec, H., 1979:** Rare earths in barites: distribution and effects on aqueous partitioning. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 43, 7, 983-997
- Guzzetta, G., 1984:** Kinematics of stylolite formation and physics of the pressure solution process. *Tectonophysics*. 101, 383-394
- Hallam, A., 1986:** Origin of minor limestone-shale cycles: Climatically induced or diagenetic? *Geol.*, 14, 609-612
- Hannigan, R. & Basu, A. R., 1998:** Late Diagenetic Trace Element Remobilisation in Organic-Rich Black Shales of the Taconic Foreland Basin of Québec, Ontario and New York. In: Schieber J., Zimmerle, W. & Sethi P. S., 1998. *Shales and Mudstones II. Petrography, Petrophysics, Geochemistry, and Economic Geology*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (eds) (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 209-231
- Haskin, L. A., Wildeman, T. R., 1965:** Rare-Earth Elements in Ocean Sediments. *Journal of Geophysical Res.*, 70, 12, 2905-2910
- Haskin, L. A., Haskin, M. A., Frey, F. A. & Wildeman, T. R., 1968:** Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Ahrens, L. H., 1968: *Origin and distribution of the elements*, Vol. 1, 889-911
- Heath, G. R. & Dymond, J., 1981:** Metalliferous-sediment deposition in time and space: East Pacific Rise and Bauer Basin, northern Nasca plate. In: *Nazca Plate: Crustal Formation and Andean Convergence*. Reprinted 1983. The Geological Society of America, Memoir 154, 175-197
- Henderson P., 1984:** Rare Earth Element Geochemistry. *Developments in the Geochemistry*, 2 ed., Elsevier Sciences., Amsterdam, 510 p.

- Hesse, R., 1986:** Diagenesis 11: Early diagenetic pore water/sediment interaction: modern offshore basins. Geosci. Canada, 13, 165-196
- Hesse, R., 1990:** Early Diagenetic Pore Water/ Sediment Interaction: Modern Offshore Basins. In: McIlreath, I.A. & Morrow, D.A.(eds.). Diagenesis. Geoscience Canada Reprint Series 4, 277-316
- Heydemann, A., 1992:** Sedimentpetrographisches Praktikum, Teil 1. Script zum Praktikum, 24 p.
- Hoffert, M., Perseil, A. Hekinian, R., Choukroune, P., Needham, H. D., Francheteau, J. & Le Pichon, X., 1978:** Hydrothermal deposits sampled by diving saucer in Transform Fault „A“ near 37°N on the Mid-Atlantic Ridge, FAMOUS area. Oceanol. Acta, 1, 73-86
- Honeyman, B. D., Balistrieri, L. S. & Murray, J. W., 1988:** Oceanic trace metal scavenging: the importance of particle concentration. Deep Sea Res., 35, 227-246
- Humphries, S. E., 1984:** The mobility of the rare earth elements in the crust. In: Henderson, P. (ed.) Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, 317-342
- IGME, 1976:** Mapa geologico de Espana, 1 : 50 000, sheet no. 112, Vitoria, serie 2, 1.,. edition
- IGME, 1976:** Mapa geologico de Espana, 1 : 50 000, sheet no. 114, Alsasua, serie 2, 1.,. edition
- Jannasch, H. W., Honeyman, B. D., Balistrieri, L. S. & Murray, J. W., 1988:** Kinetics of trace element uptake by marine particles. Geochim. et Cosmochim. Acta, 52, 2, 567-577
- Jasmund, K. & Lagaly, G., 1993:** Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz in der Industrie und Umwelt. Steinkopff Verlag Darmstadt, 490 p.
- Johns, W. D. & E. C. Jonas, 1954:** Relation between isomorphism and properties of clays. J. Geol., 62, 163-171
- Kaplan, U., 1992:** Die Oberkreide-Aufschlüsse im Raum Lengerich/Westfalen. Geologie und Paläontologie in Westfalen, 21, 7-37
- Kennett J. P., Houtz, R. E., Andrews, P. B., Edwards, A. R., Gostin, V. A., Hajós, M., Hampton, M., Jenkins, D. G., Margolis, S. V., Owenshine, A. T. & Perch-Nielsen, K. , 1975:** Cenozoic paleo-oceanography in the southwest Pacific Ocean and the development of the circum-Antarctic current. In: White, S. M. (ed.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 29 of the cruises of the Drilling Vessels Glomar Challenger, Lyttleton, New Zealand to Wellington, New Zealand, March-April 1973, Init. Reports of the DSDP, 29, Washington, 1155-1169
- Kinsman, D. J. J., 1969:** Interpretation of Sr concentrations in carbonate minerals and rocks. Journal Sediment. Petrol., 39, 485-508
- Klosa, D., 1994:** Eine rechnergesteuerte Methode zur Bestimmung des Gesamt-Karbonatgehaltes in Sedimenten und Böden. Zeits. f. angew. Geol., 40/1, 18-21
- Koch, R. & Bausch, W. M., 1989:** Überblick über die stratigraphisch-palynologischen, sedimentologisch-mikrofaziellen und mineralogisch-geochemischen Untersuchungen am Kernmaterial der Bohrung Saugau GB 3. Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 13, 181-198
- Kockel, F., 1990:** Excursion guide to the Harz foreland and Leinebergland. 22-23 Sept. 1990. Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (Hannover) und Petroleum Geologische Kring. Hannover, BGR, 32 p.
- Kockel, F. & Franske, H. J., 1998:** The Subhercynian Region - The Northern Harz boundary. Exkursionsführer. Leipziger Geowissenschaften, Band 7, 45-71
- Kubaneck, F. & Parekh, P. P., 1976:** A study of trace element distribution in an Interlaminated Limestone-Dolostone. Geologisches Jahrbuch, D 20, 23-39
- Kühne, F., 1932:** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25000 Blatt 3828 Barum, Erläuterungen Blatt 3828 Barum, Berlin, 53 p.
- Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, 1995:** Topographische Karte 1 : 25 000, Blatt 3712 Ibbenbüren (Tecklenburg). Herausg.: Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld
- Langheinrich, G. & Plessmann, W., 1968:** Zur Entstehungsweise von Schieferungs-Flächen in Kalksteinen

- (Turon-Kalke eines Salzauftriebssattels im Harzvorland). Geol. Mitt., 8, 111-142
- Leinen, M. & Stakes, D., 1979:** Metal accumulation rates in the central equatorial Pacific during cenozoic time. Geol. Soc. Am. Bulletin, Part I, 90, 357-375
- Lehmann, A., Drozdowski, G., Hill, H., Michel, G., Michel, K., Skupin, K. & Staude, K., 1995.** Geologie im Münsterland. Krefeld. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, GLA, 195 p.
- Lehmann, A. & Wiedmann, J., 1996:** Integrated Stratigraphy of the Cenomanian and Lower Turonian of the Northwestern Münsterland Basin. Project: Wi 112/35 „Multistatigraphische Untersuchungen in einem Ost-West-Profil der Oberkreide (Cenoman-Turon) vom Münsterland nach Sachsen“, Project Leader: Wiedmann, J., In: Reitner, J. et al. (eds.): Globale und Regionale Steuerungsfaktoren biogener Sedimentation, Göttingen Arbeiten zur Geologie und Paläontologie Sonderband, Göttingen, 3, 117-121
- LeMaitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas M.J., Sabine P. A., Schmid, R. Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooley, A. R. & Zanetti, B., 1989:** A classification of igneous rocks and glossery of terms. Blackwell, Oxford, 193 p.
- Li, Y. -H., 1981:** Ultimate removal mechanisms of elements from the ocean. Geochim. et Cosmochim., 45, 1559-1564
- Lippmann, F., 1973:** Sedimentary carbonate minerals. Monogr. Ser. of Theoret. and Experim. Studies, 6, 228 p.
- Lonsdale, P., 1976:** Abyssal circulation of Southeastern Pacific and some geological implication. Journ. Geophys. Res., 81, 6, 1163-1176
- Lyle, M., 1992:** Composition map of surface sediments of the eastern tropical Pacific Ocean. In: Mayer, L., Piasias, N., Janecek, T., et al.. Proc. ODP Init. Repts., 139 (Pt. 1): College Station, TX (Ocean Drilling Program), 101-115.
- Lyle, M., Mayer, L., Piasias, N., Hagelburg, T., Dadey, K. & Bloomer, S., 1992:** Downhole logging as a paleoceanographic tool on Ocean Drilling Program Leg 138; interface between high-resolution stratigraphy and regional synthesis. Paleoceanography, 7, 6, 691-700
- Ohr, M., Halliday, A. N. & Peacor, D. R., 1994:** Mobility and fractionation of rare earth elements in argillaceous sediments: Implications for dating diagenesis and low-grade metamorphism. Geochim et Cosmochim. Acta, Vol. 58, 289-312
- Mackenzie, R.C., 1957:** The differential thermal investigations of clays. Mineralogical Society (clay minerals group), London, 456 p.
- Mammerickx, J., Anderson, N., Menhard, H. W. & Smith S. M., 1975:** Morphology and tectonic evolution of the East-Central Pacific. Geol. Soc. Am. Bull., 86, 111-118
- Marchig, V., 1983:** Chemische Zusammensetzung der Sedimente aus dem Peru-Becken, In: von Stackelberg, U., 1983: Abschlußbericht: Untersuchungen der Sedimentationsgeschichte des Peru-Beckens als Beitrag zum Tiefsee-Umweltschutz (SO-Pazifik), Forschungsfahrt SO/79- (18.4.-9.6.92), 153-180
- Marchig, V. & Gundlach, H., 1977:** Zur Geochemie von Manganknollen aus dem Zentralpazifik und ihrer Sedimentunterlage. Geol. Jb., D 23, 91-104
- Marchig, V. & Gundlach, H., 1982:** Iron-rich metalliferous sediments on the East Pacific Rise: prototype of undifferentiated metalliferous sediments on divergent plate boundaries. Earth Planet. Sci. Lett., 58, 361-82
- Marchig, V., Gundlach, H., Möller, P. & Schley, F., 1982:** Some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments. Mar. Geol., 50, 241-256
- Marchig, V. & Rösch, H., 1983:** Formation of clay minerals during early diagenesis of a calcareous ooze. Sed. Geol., 34, 282-299
- Mathey, B. 1987:** Les Flysches Crétacé supérieur des Pyrénées Basques. Mém. Géol. Univ. Dijon, 12, 399 p.

- Mathey, B., 1988:** Paleogeographical evolution of the Basco-Cantabrica domain during the Upper Cretaceous. In: Lamolda, M. A., Kauffman, E. G. & Walliser O. H., 1988: Paleontology and evolution; extinction. Revista Espanola de Paleontologia. Spec. Issue, 142-147
- Martin, J.-M. & Whitfield, M., 1983:** The significance of the river input of chemical elements to the ocean. In: Trace Metals in the Sea Water. Wong, C.S., Boyle, E. A., Bruland, K. W., Burton, J. D. & Goldberg, E. D. (eds.), Plenum, New York, 265-296
- McLennan, S. M., 1989:** Rare Earth Elements in sedimentary rocks: Influence of Provenience and sedimentary processes. In: Lipin B. R. & McKay, G. A., 1989: Geochemistry and mineralogy of Rare Earth Elements. Reviews in Mineralogy, 21, Min. Soc. Am., 169-200
- Minster, J. B., Jordan, T. H., Molnar, P. & Haines, E., 1974:** Numerical Modelling of Instantaneous Plate Tectonics Geophysics 36,3, 541-576
- Mirsal, I. & Zankl, H., 1979:** Petrography and geochemistry of carbonate void-filling cements in fossil reefs.- Geol. Rdsch., 68, 920-951
- Moorby, S. A. & Cronan, D. S., 1983:** The geochemistry of hydrothermal and pelagic sediments from the Galapagos hydrothermal Mounds DSDP Leg 70. Mineral mag., 47, 291-300
- Mortimer, C. E., 1987:** Chemie. Das Basiswissen der Chemie. Mit Übungsaufgaben. 5. Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart New York, 1987, 660 p.
- Müller, G., 1967:** Methods in sedimentary petrology. In: Engelhardt, W. v., Füchtbauer, H. & Müller, G.: Sedimentary Petrology, Part 1. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 283 p.
- Murray, J. W., 1975:** The interaction of metal ions at the manganese dioxide. - Geochim. et Cosmochim. Acta., 39, 509-519
- Mutterlose, J., Kaplan, U. & Hiss, M., 1995:** Die Kreide im nördlichen Münsterland und im Westteil des Niedersächsischen Beckens. Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten, 45, 69 p.
- Mutterlose, J., Wood C. J. & Ernst, G., 1998:** The Lower and Upper Cretaceous of the Hannover-Braunschweig area (NW-Germany) - Part C, 39-142. In: Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten, 48, 69 p.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1983:** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from the major element chemistry of lutites. Nature, 299, 715
- Neugebauer, J., 1973:** Fossil- Diagenese, Nr. 3: The diagenetic problem of chalk. The role of pressure solution and pore fluid. N. Jahrb. f. Geologie + Paläont., Abh., Bd. 143, 1973, pp. 223- 245
- Niedersächsisches Landesverwaltungsamt – Landesvermessung, 1992:** Topographische Karte 1 : 25 000, Blatt 3828 Lebenstedt Ost. Herausg.: Niedersächsisches Landesverwaltungsamt– Landesvermessung, Hannover
- Niedersächsisches Landesverwaltungsamt – Landesvermessung, 1996:** Topographische Karte 1 : 25 000, Blatt 3827 Lebenstedt West. Herausg.: Niedersächsisches Landesverwaltungsamt – Landesvermessung, Hannover
- Nozaki, Y., 2000:** A Fresh Look at Element Distribution in the North Pacific. Internetveröffentl., [http://www.agu.org/eos\\_elec/97025e-table.html](http://www.agu.org/eos_elec/97025e-table.html), 1-4
- Pacey, R. N., 1984:** Bentonites in the Chalk of central eastern England and their relation to the opening of the northeast Atlantic. Earth Plan. Sci. Lett., 67, 48-60
- Parekh, P. P., Möller, P., Dulski, P. & Bausch, W. M., 1977:** Distribution of trace elements between carbonate and non-carbonate phases of limestone. Earth and Planet. Sci. Lett., 34, 39-50
- Pingitore, N. E., Jr., 1976:** The behavior of Zn<sup>2+</sup> and Mn<sup>2+</sup> during carbonate diagenesis: Theory and applications. Journ. Sediment. Petrol., 48, 799-814
- Piper, D. Z., 1974:** Rare Earth Elements in the Sedimentary Cycle: A Summery. Chem. Geol., 14, 285-304
- Pisias, N. G., Mayer, L. A. & Mix, A. C., 1995:** Paleoceanography of the eastern equatorial pacific during the

- neogene: synthesis of Leg 138 drilling results. In: Piasias, N. G., Mayer, L. A., Janecek, T. R., Palmer-Julson, A. & van Andel, T. H. (eds.), 1995. Proc. ODP. Sci. Results, 138, 5-21
- Plessmann, W., 1964:** Gesteinslösung, ein Hauptfaktor beim Schieferungsprozeß. Geol. Mitt., 4, 1, 69-82
- Plessmann, W., 1966:** Diagenetische und kompressive Verformung in der Oberkreide des Harz-Nordrandes sowie im Flysch von San Remo. N. Jahrb. f. Geologie + Paläont., Abh., Bd. 8, 481-493
- Prudencio, M. I., Figueiredo, M. O. & Cabral, J. M. P., 1989:** Rare earth distribution and its correlation with clay mineralogy in the clay-sized fraction of cretaceous and pliocene sediments (Central Portugal). Clay Min., 24, 67-74
- Railsback, L. B., 1996:** Stylolithes in limestones that lacked significant primary aragonite. Bulletin Soc. géol. France, 1996, 167, 1, 181-183
- Railsback, L. B., 1998:** Evaluation of spacing of stylolites and its implications for self-organization of pressure dissolution. Journal of Sedimentary Res., 68, 1, 2-7
- Read, J. F., 1985:** Carbonate platform facies models. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin, 69, 1-21
- Reed, S. J. B., 1996:** Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. University Press, Cambridge, 201 p.
- Ricken, W., 1985:** Epicontinental marl-limestone alterations: Event deposition and diagenetic bedding (Upper Jurassic, SW-Germany). In: Bayer U. & Seilacher, A. (eds). Sedimentary and evolutionary cycles. Lecture Notes Earth Sciences, 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 127-162
- Ricken, W., 1986:** Diagenetic bedding: a model for marl-limestone alterations. Lecture Notes Earth Sciences, 6, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 210 p.
- Ricken, W., 1987:** The carbonate compaction law: a new tool. Sedimentology, 34, 571- 584
- Ricken, W. & Hemleben, C., 1982:** Origin of marl-limestone alterations (Oxford 2) in southwest Germany. In: Einsele, G. & Seilacher, A.(eds.). Cyclic and event stratification. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 63-71
- Ricken, W. & Eder, W., 1991:** Diagenetic modification of calcareous beds – an overview. In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (eds.). Cycles and events in stratigraphy. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 430-449
- Riech, V. & von Grafenstein, R., 1987:** Sedimentological and geochemical trends in deep-sea in deep-sea sedimentation of the Clarion-Clipperton block southeast of Hawaii since the Early Miocene. Geol. Jb., D87, 71-104
- Riech, V. & Wiedicke, M., 1993:** Sedimente aus dem Peru-Becken. In: von Stackelberg, U., 1983: Abschlußbericht: Untersuchungen der Sedimentationsgeschichte des Peru-Beckens als Beitrag zum Tiefsee-Umweltschutz (SO-Pazifik), Forschungsfahrt SO/79- (18.4.-9.6.92), 115-152
- Riecke, E., 1895:** Über das Gleichgewicht zwischen einem festen homogenen deformierten Körper und einer flüssigen Phase.-Ann Physik, 54: 731-738
- Roadset, E. & Rosenquist, I. T., 1971:** Unusual lanthanide distribution. Nature, 231, 153-154
- Rollinson, H., 1993:** Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Geochemistry Series, Longman, Singapore, 352 p.
- Schlager, W., 1991:** Depositional bias and environmental changes - important factors in sequence stratigraphy. Sediment. Geol., 70, 109-130
- Schlager, W., 1992:** Sedimentology and Sequences Stratigraphy of Reefs and Carbonate Platforms. Amer. Assoc. Petrol., Cont. Educ. Courses Note Ser., 34, 71 p.
- Schmitz, W., 1981:** Sedimentologische und geochemische Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Peru-Becken. Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 101 p.
- Schulze, D., 1969:** Differentialthermoanalyse, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 335 p.
- Schwander, H. W., Bürgin, A. & Stern, W. B., 1981:** Some geochemical data on stylolites and their host

- rocks. *Eclogae geol. Hel.*, 74,1,217-224
- Schwarzacher, W. & Fischer, A. G., 1982:** Limestone shale bedding and perturbations of the Earth's orbit. In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (eds.). *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 72-95
- Schwentke, W., 1990:** Upper Cretaceous Tectono-Sedimentary and Facies Evolution of the Basque Pyrenees (Spain). *Tübinger geowiss. Arb.*, A 7, 194 p.
- Seibertz, E & Vortisch, W., 1979:** Zur Stratigraphie, Petrologie und Genese einer Bentonit-Lage aus dem oberen Mittel-Turon (Oberkreide) des südöstlichen Münsterlandes. *Geol. Rdsch.*, 68, 649-679
- Servicio Geográfico del Ejército S. G. E., 1993:** Cartografía militar de España. Mapa general Serie L. E. 1 : 50 000, Salvatierra 23-7 (113).
- Servicio Geográfico del Ejército S. G. E., 1994:** Cartografía militar de España. Mapa general Serie L. E. 1 : 50 000, Vitoria 22-7 (112).
- Sethi, P. S., Hannigan, R. E. & Leithold, E. L., 1998:** Rare-Earth Element Chemistry of Cenoman-Turonian Shales of the North American Greenhorn Sea, Utah. In: Schieber J., Zimmerle, W. & Sethi P. S., 1998. *Shales and Mudstones II. Petrography, Petrophysics, Geochemistry, and Economic Geology*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (eds) (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 195-298
- Siewers, U., 1999:** Does bottles type and acid-washing influence trace element analyses by ICP-MS on water samples? A test covering 62 elements and four bottle types: high density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), fluorinated ethene propene copolymer (FEP) and perfluoroalkoxy (PFA). In: Reimann, C., Siewers, U., Skarphagen, H. & Banks, D., 1999: *The science of the total environment*.- 239, 111-130
- Sioulas, A., 1982:** Das Peru-Becken, eine sedimentologisch-geochemische Studie. Promotionsarbeit, Universität Heidelberg, 108 p.
- Smykatz-Kloss, W., 1974:** Differential thermal analysis. Application and results in mineralogy. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. *Schriftenreihe Minerals and rocks*, 11, 185 p.
- Spooner, G. M., 1949:** Observation on the adsorption of radioactive strontium and yttrium by marine algae. *Jour. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, 28, 587-625
- Stoffers, P., Sioulas, A., Glasby, G. P. & Thijssen, T., 1982a:** Geochemical and sedimentological studies of a box core from the western sector of the Peru Basin. *Mar. Geol.*, 49, 225-240
- Stoffers, P., Sioulas, A. & Glasby, G. P., 1982b:** Sediments and Micronodules in the Northern and Central Peru Basin. *Geol. Rdsch.* 73, 3, 1055-1080
- Tada, R., 1991:** Origin of Rhythmical bedding in middle Miocene siliceous rocks of the Onnogawa formation, Northern Japan. *Journ. Sedim. Petr.*, 61, 7, 1123-1145
- Tada, R., Maliva, R. & Siever, R., 1987:** A new mechanism for pressure solution on porous quartzose sandstone. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 51, 9, 2295- 2301
- Tada, R. & Siever, R., 1986:** Experimental knife-edge pressure solution of halite. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 50, 1, 29-36
- Tada, R. & Siever, R., 1989:** Pressure solution during diagenesis. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 17, 89-117
- Taylor, S. R., 1964:** The abundance of chemical elements in the continental crust— a new table. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 28, 8, 1273-1285
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1981:** The composition and evolution of the continental crust: rare earth Element evidence from sedimentary rocks. *Phil. Trans. Roy. London A301*, 381-399
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1985:** The continental crusts: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, 312 p.
- Toggweiler, J. D. Dixon, K. & Broecker, W. S., 1991:** The Peru upwelling and the ventilation of the south

- Pacific thermocline. *J. Geophys. Res.*, 96, 20467-20497
- Todor, D., 1976:** Thermal analysis of minerals. *Analiza termica a mineralelor*, Bukarest, 1972. Übersetzt von Marcus, S., Tunbridge Wells, Kent, Abacus Press, 256 p.
- Thiermann A. & Dahm-Arens, H., 1970:** Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25000, Erläuterungen Blatt Tecklenburg, Geologisches Landesamt, Nordrhein-Westfalen. 243 p.
- Trurnit, P., 1967:** Morphologie und Entstehung diagenetischer Drucklösungserscheinungen. *Geol. Mitt.*, 7, 173-204
- Trurnit, P. & Ansturz, G. C., 1979:** Die Bedeutung von Lösungsvorgängen für die stratigraphische Abfolge, *Geol. Rdsch.*, 68, 3, 1107-1124
- Tucker, M., 1996:** Methoden der Sedimentologie. Enke-Verlag, Stuttgart, 366 p.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H., 1961:** Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72, 175-191
- Van Andel, T., Heath, R. & Moore, T., 1975:** Cenozoic history and paleoceanography of the central equatorial Pacific ocean. *Geol. Soc. Am., Mem.* 143, 134 p.
- Veizer, J., 1983:** Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element techniques. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Short Course Notes*, 10, 3.1-3.100
- Vollbrecht, R., 1992:** Ozeanböden: Sedimentation und Plattendynamik. Skript zur Vorlesung „Ozeanböden: Sedimentation und Plattendynamik“. Universität Göttingen, 15 Kapitel
- von Stackelberg, U., 1993:** Abschlußbericht: Untersuchungen der Sedimentationsgeschichte des Peru-Beckens als Beitrag zum Tiefsee-Umweltschutz (SO-Pazifik), Forschungsfahrt SO/79- (18.4.-9.6.92), 239 p.
- von Stackelberg, U., 1997:** Growth history of manganese nodules and crusts of the Peru Basin. In: Nicholson, K., Hein, J. R., Bühn, B. & Dasgupta, S. (eds.): *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, No 119, 153-176
- Wanless, H. R., 1979:** Limestone response to stress: pressure solution and dolomitization. *J. Sed. Petrol.*, 49, 2, 437-462
- Wedepohl, K. -H., 1991:** Chemical composition and fractionation of the continental crust. *Geol. Rdsch.*, 80,2, 207-223
- Wiedicke, M. H. & Weber, M., 1996:** Small-scale variability of seafloor features in the northern Peru Basin – results from acoustic survey methods. *Mar. geophys. Res.*, 18, 5, 507-526
- Wiedmann, J., 1980:** Iteneraire Géologique Travers Le Crétacé Moyen des chaînes vascogotiques et celtibériques (Espagne du Nord).- *Cuad. Geol. Ibér.*, 5, 127-214
- Wiedmann, J., 1988:** Ammonoid extinction and the „Cretaceous-Tertiary boundary event“.- In: Wiedmann, J. & Kullmann, J. (eds.), *Cephalopods – Present and Past*, Stuttgart; 117-140
- Wiedmann, J., Reitner, J. Engeser, T. & Schwentke, W., 1983:** Plattentektonik, Fazies- und Subsidenzgeschichte des basko-kantabrischen Kontinentalrandes während Kreide und Alttertiär. *Zitteliana* 10, 207-244
- Wiggins, W. D., 1986:** Geochemical signatures in carbonate matrix and their relation to deposition and diagenesis, Pennsylvanian marble falls limestone, central texas. *Journ. Sed. Petrol.*, 56, 6, 771-783
- Wilson, M., 1989:** *Igneous Petrogenesis. A global tectonic approach*. Kluwer Academic Publisher. 466p.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977:** Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20, 325-201
- Woldstedt, P., Dahlgrün, F. & Schmierer, T., 1933:** Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25000 Blatt 3827 Lesse, Erläuterungen zu Blatt 3827 Lesse, 48 p.
- Wood, C. J. & Ernst, G., 1998:** Turonian-Coniacian of Salzgitter-Salder. In: Mutterlose, J., Bornemann, A.,

- Rauer, S., Spaeth, C. & Wood, C. J.: Key Localities of the northwest European Cretaceous. Bochumer Geologische und Geotechnische Arbeiten, 48, 94-120
- Wray, D. S. & Wood, C. J., 1995:** Geochemical identification and correlation of tuff layers in Lower Saxony, Germany. Berliner geowiss. Abh., E 16, Gundolf-Ernst-Festschrift, 215-225
- Wray, D. S., Kaplan, U. & Wood, C. J., 1995:** Tuff-Vorkommen und ihre Bio- und Eventstratigraphie im Turon des Teutoburger Waldes, der Egge und des Haarstrangs. Geol. Paläont. Westf., 37, 51 p.
- Wray, D. S., Wood, C. J., Ernst, G. & Kaplan, U., 1996:** Geochemical subdivision and correlation of clay-rich beds in Turonian sediments of northern Germany. Terra Res., Terra Nova, 8, 603-610
- Wray, D. S. & Wood, C. J., 1998:** Distinction between detrital and volcanogenic clay-rich beds in Turon-Coniacian chalk of eastern England. Proc. Yorkshire Geol. Soc., 52, 1, 95-105
- Wyrтки, K., 1965:** Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 3, 33-46
- Wyrтки, K., 1967:** Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. Limnol., 1, 117-147
- Wyrтки, K., 1974:** Equatorial currents in the Pacific 1950-1970 and the relations to the trade winds. J. Phys. Oceanogr. 4, 372
- Yeats, R. S., 1976:** The dynamic topography of the Pacific Ocean and its fluctuations. Initial Reports, DSDP, 23, Honolulu 1974, re-issued 1977, Washington, 1974, 803-808
- Zimmerle, W., 1989:** Vestiges of volcanic activity in Cretaceous sediments of the Western Tethys.- In: Wiedmann J. (eds.), 1989: Proceedings 3rd International Cretaceous Symposium, Tübingen. Stuttgart, 951-987

# Anhang

	Seite
Kartenausschnitte.....	165
Tabellen mit Erläuterungen zur Geologie.....	170
Tabellen mit Messdaten.....	174
Fototafeln: 4 Tafeln.....	239

## Liste der Abbildungen im Anhang

## Seite

Anhang A-1	Aufschluss Salder. Ausschnitt aus den Topografischen Karten 1: 25 000, Blatt 3827 Lebenstedt West und Blatt 3828 Lebenstedt Ost	165
Anhang A-2	Aufschluss Dörenthe. Ausschnitt aus den Topografischen Karten 1: 25 000, Blatt 3712 Ibbenbüren	166
Anhang A-3	Die Lage der Gebiete 1 und 2 im Perubecken, aus denen die für die vorliegenden Untersuchungen bearbeiteten Kerne der Forschungsfahrt SO 79 SEDIPERU (v. Stackelberg, 1993) stammen	167
Anhang A-4	Das Profil Gordoia in N-Spanien. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1: 50 000 Blatt Salvatierra 23-7 (113)	168
Anhang A-5	Das Profil Urrunaga in N-Spanien. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1: 50 000 Blatt Vitoria 22-7 (112)	169
Anhang A-6	Die Ordnungen relativer Meeresspiegelschwankungen nach Vail et al. (1977) und Haq (1987)	170
Anhang A-7	Die Megasequenzeinteilung im Basko-Kantabrischen Becken nach Wiedmann et al. (1983)	171
Anhang A-8	Die Liste der untersuchten Proben aus Gordoia in N-Spanien	172
Anhang A-9	Die Liste der untersuchten Proben aus Urrunaga in N-Spanien	172
Anhang A-10	Darstellung der REE-Verteilungsmuster der gemittelten, UC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) und chemisch unaufbereiteten Originalproben und Residualproben	173

## Liste der Abbildungen im Anhang

## Seite

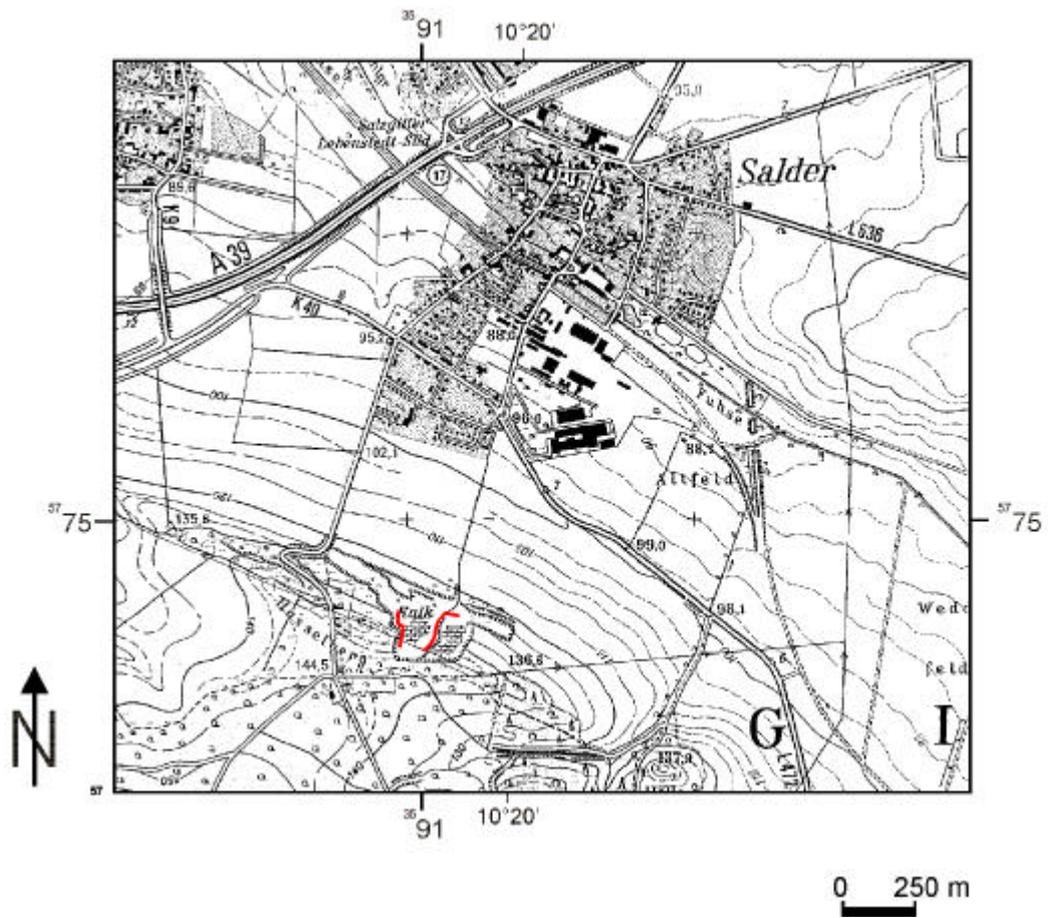
Anhang T-1.a	Die Korngrößenverteilung in % der Sedimente der Reihe 1 aus dem Perubecken	174
Anhang T-1.b	Die Korngrößenverteilung in % der Sedimente der Reihe 2 aus dem Perubecken	174
Anhang T-2.a	Die Auflistung der gemittelten Karbonatmesswerte zu Lösungsweg 1	175
Anhang T-2.b	Die Auflistung der gemittelten Karbonatmesswerte zu Lösungsweg 2	176
Anhang T-3.a	Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Salder	177
Anhang T-3.b	Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Dörenthe	178
Anhang T-3.c	Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Gordoia und Urrunaga	179
Anhang T-3.d.1	Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus dem Perubecken (Reihe 1)	181
Anhang T-3.d.2	Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus dem Perubecken (Reihe 2)	182
Anhang T-4	Die gemessenen endothermen und exothermen Reaktionen von zwei Illitstandards (Illit 1: Morris, Illinois; Illit 2: „moosgrüner Ton“) und von karbonatfreien Proben aus Salder	185
Anhang T-5.a	Die Berechnung der Kalzitzusammensetzung der stylolithisch durchsetzten	

	Kalksteinprobe Salder 1.	185
Anhang T-5.b	Die Berechnung der Kalzitzusammensetzung der stylolithisch durchsetzten Kalksteinprobe Dörenthe 1	186
Anhang T-5.c	Die MS-Messungen: Dörenthe 1	187
Anhang T-5.d	Die MS-Messungen: Salder 1	188
Anhang T-6.a.1	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Salder	189
Anhang T-6.a.2	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Salder auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labiler organischer Substanz	190
Anhang T-6.b.1	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Dörenthe	192
Anhang T-6.b.2	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Dörenthe auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labiler organischer Substanz	193
Anhang T-6.c.1	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Gordoa und Urrunaga	195
Anhang T-6.c.2	Die RFA-Rohdaten der Proben aus Gordoa und Urrunaga auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labiler organischer Substanz	196
Anhang T-6.d.1.1	Die RFA-Rohdaten der < 2 $\mu$ -Fraktion der Proben aus dem Perubecken (Reihe 1)	197
Anhang T-6.d.1.2	Die RFA-Rohdaten der unfraktionierten Proben aus dem Perubecken (Reihe 1)	198
Anhang T-6.d.2.1	Die RFA-Rohdaten der karbonathaltigen, fraktionierten Proben (< 2 $\mu$ -Fraktion) der Reihe 2 aus dem Perubecken	200
Anhang T-6.d.2.2	Die RFA-Rohdaten der fraktionierten Proben (< 2 $\mu$ -Fraktion) der Reihe 2 aus dem Perubecken auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von der labilen organischen Fraktion	202
Anhang T-6.d.2.3	Die Konzentrationen der Gesamtproben (Reihe 2) aus dem Perubecken	204
Anhang T-6.d.2.4	Die Konzentrationen der Gesamtproben (Reihe 2) aus dem Perubecken auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von der labilen organischen Fraktion	206
Anhang T-7	Die Liste der CIA-Indizes (Chemical Index of Alteration) nach Nesbitt & Young (1983)	208
Anhang T-8	Vergleich der Sr/CaCO <sub>3</sub> -Verhältnisse in den verschiedenen Arbeitsgebieten	209
Anhang T-9	Der normativ bestimmte Anteil an Opal am Gesamtsilizium nach Boström (1973)	210
Anhang T-10	Abgrenzung des hydrothermalen Einflußfaktors der untersuchten Sedimente der Reihe 1 aus dem Perubecken	211
Anhang T-11	Die Liste der gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Festgesteinsproben zu Lösungsweg 1 und 2	212
Anhang T-12	Die Liste der gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Festgesteinsproben zu Lösungsweg 2 für den Vergleich der spanischen Arbeitsgebiete Gordoa und Urrunaga	212
Anhang T-13	Die gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten“ (Taylor & McLennan, 1981) Lockersedimentdaten (Reihe 1) zu Lösungsweg 2	213
Anhang T-14	Die REE-Daten der Mergelproben <sub>//SS</sub> und Mergelproben <sub>//SF</sub> aus Salder	214
Anhang T-15	Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Mergelproben <sub>//SS</sub> und Mergelproben <sub>//SF</sub> aus Salder	214
Anhang T-16	Die REE-Daten der Mergelproben <sub>//SS</sub> und Mergelproben <sub>//SF</sub> aus Dörenthe	215
Anhang T-17	Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Mergelproben <sub>//SS</sub> und Mergel-	

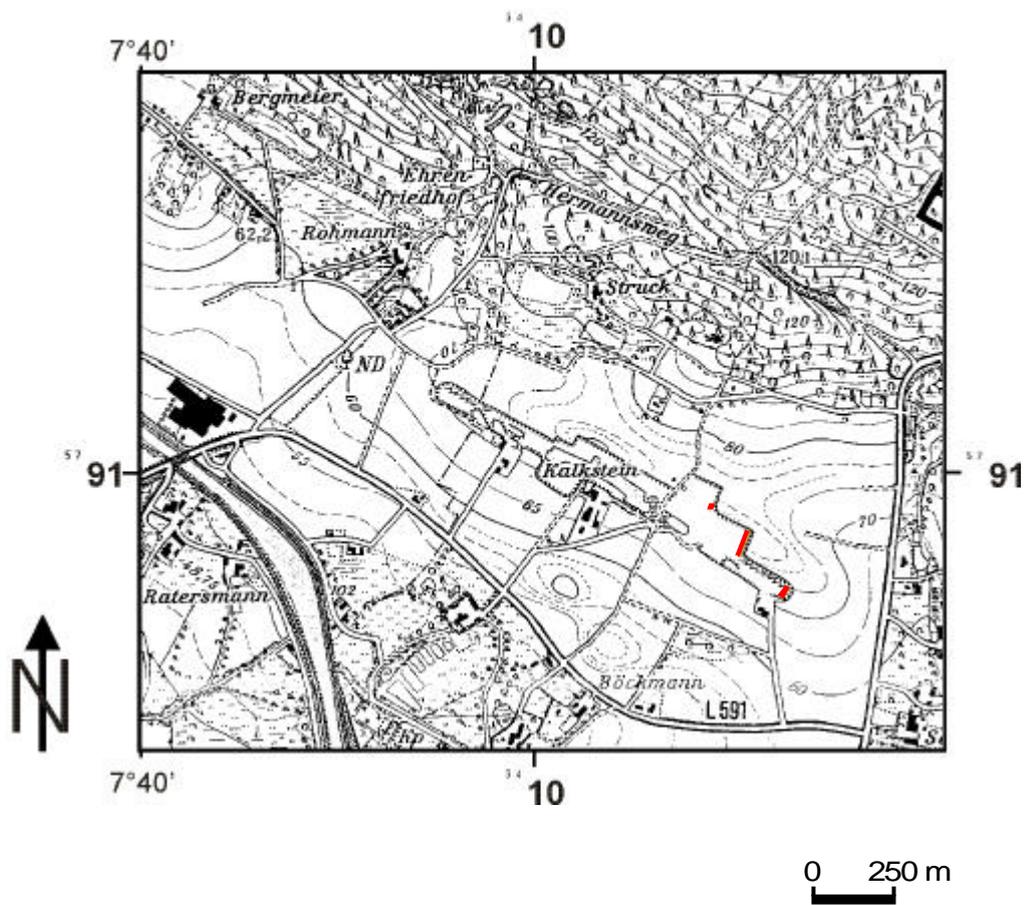
	proben <sub>//SF</sub> aus Dörenthe	215
Anhang T-18	Die REE-Daten der Proben aus Gordo	215
Anhang T-19	Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Proben aus Goroda. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz	216
Anhang T-20	Die REE-Daten der Proben aus Urrunaga	216
Anhang T-21	Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Proben aus Urrunaga. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz	216
Anhang T-22	Die salzfreie < 2 $\mu$ -Fraktion der Reihe 1 aus dem Perubecken	217
Anhang T-23	Die salzfreien Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken	218
Anhang T-24	Die unaufbereiteten Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken	219
Anhang T-25	Die salzhaltigen Eluate der Proben der Reihe 1 aus dem Perubecken	220
Anhang T-26.a	Die Rohdaten der Proben aus Salder	221
Anhang T-26.b	Die Rohdaten der Proben aus Dörenthe	224
Anhang T-26.c.1	Die Rohdaten der Proben aus Gordo	226
Anhang T-26.c.2	Die Rohdaten der Proben aus Urrunaga	228
Anhang T-26.d.1	Die ICP-MS-Daten der fraktionierten Proben (< 2 $\mu$ -Fraktion) der Reihe 1 aus dem Perubecken	230
Anhang T-26.d.2	Die ICP-MS-Rohdaten der salzfreien Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken	233
Anhang T-26.d.3	Die ICP-MS-Rohdaten der salzhaltigen Eluate (GAD) der Reihe 1 aus dem Perubecken	236
Anhang T-27	Die ICP-MS-Rohdaten der salzhaltigen Eluate der Reihe 2 aus dem Perubecken	238

## Liste der Tafel im Anhang

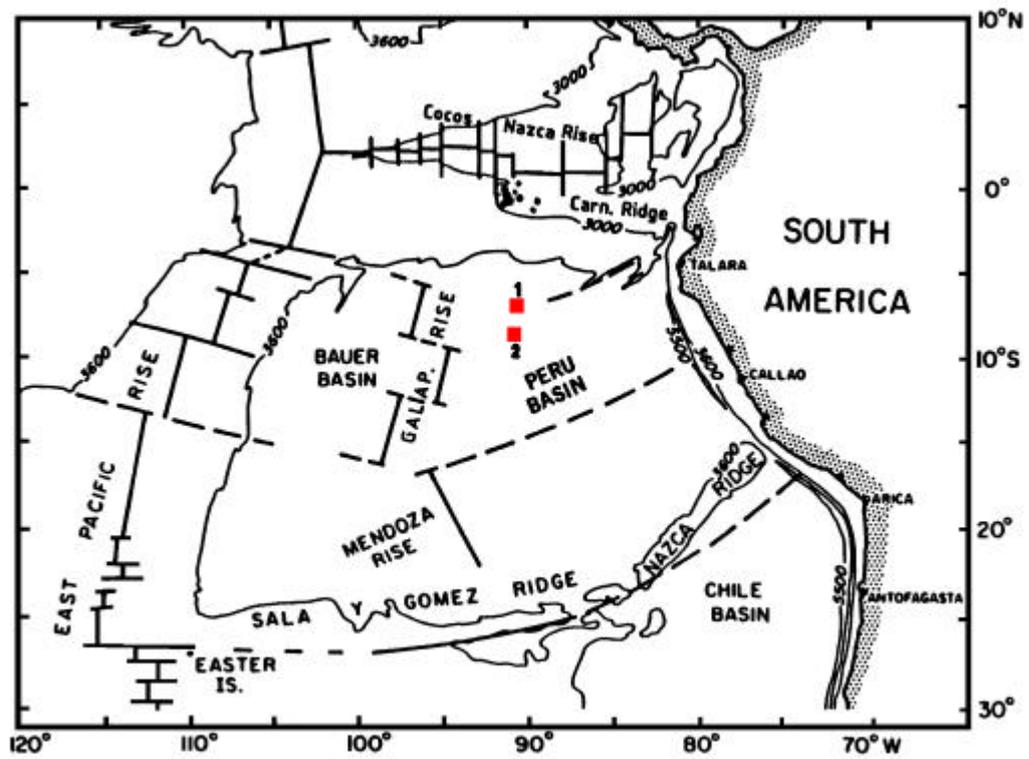
Anhang Tafel 1	Abbildungen von dem Aufschluss Salder
Anhang Tafel 2	Abbildungen von dem Aufschluss Dörenthe
Anhang Tafel 3	Abbildungen von dem dem Profil in Gordo
Anhang Tafel 4	Abbildungen von dem Profil in Urrunaga



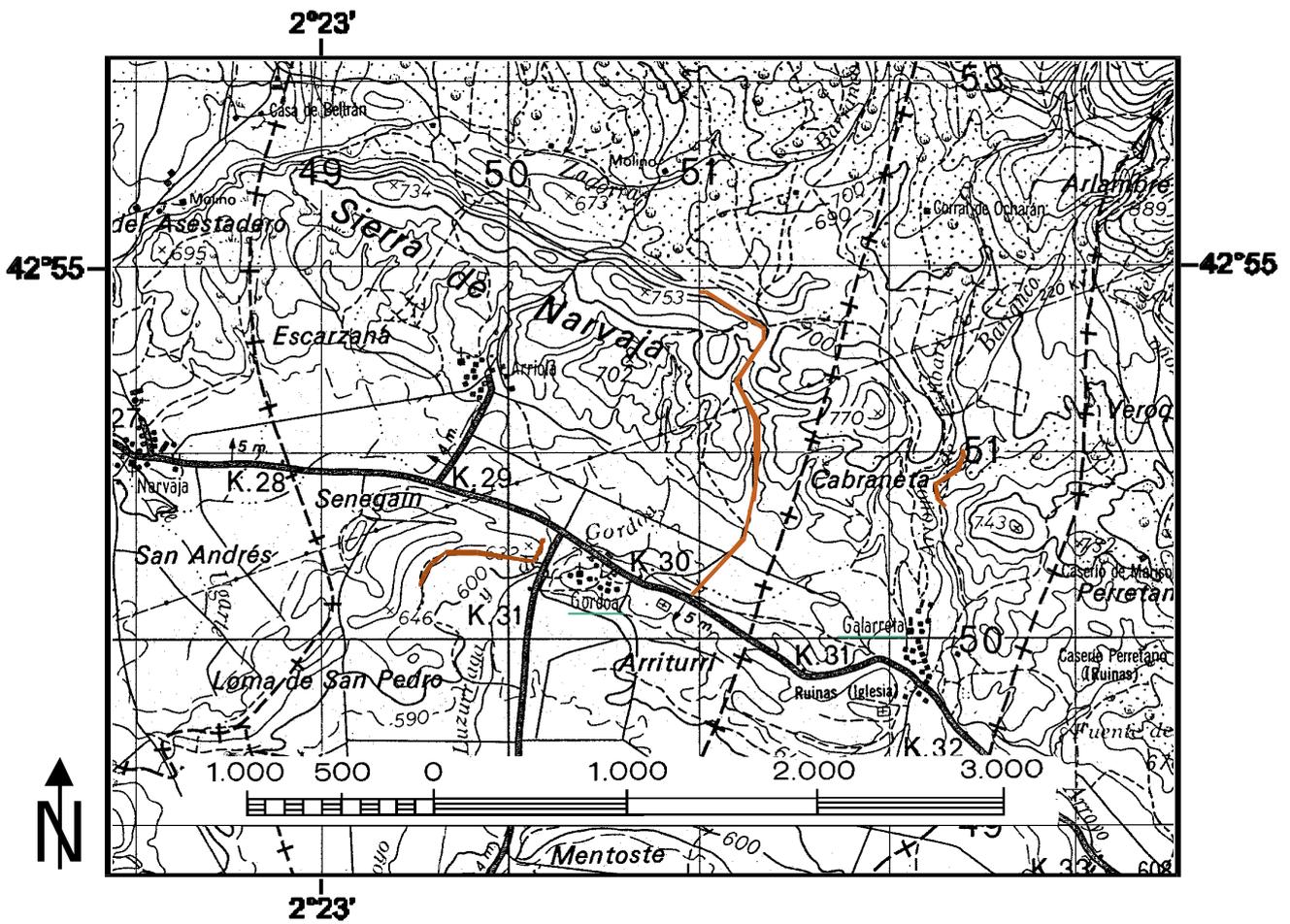
Anhang A-1: Aufschluss Salder: Ausschnitt aus den Topografischen Karten 1: 25 000, Blatt 3827 Lebenstedt West und Blatt 3828 Lebenstedt Ost. Der bearbeitete Profilschnitt ist markiert.



Anhang A-2: Aufschluss Dörenthe. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1 : 25 000, Blatt 3712 Ibbenbüren. Der bearbeitete Profilabschnitt ist markiert.



Anhang A-3: Die Lage der Gebiete 1 und 2 im Perubecken, aus denen die für die vorliegenden Untersuchungen bearbeiteten Kerne der Forschungsfahrt SO 79 SEDIPERU (v. Stackelberg, 1993) stammen.



Anhang A-4: Das Profil Gordoa in N-Spanien. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1: 50 000 Blatt Salvatierra 23-7 (113). Die bearbeiteten Profilabschnitte sind markiert.



Anhang A-5: Das Profil Urrunaga in N-Spanien. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1: 50 000 Blatt Vitoria 22-7 (112). Beprobte wurden die markierten Profilschnitte südlich und nordwestlich der Ortschaft Urrunaga und südlich der Ortschaft Villareal de Álava.

## Sequenzstratigraphie

Zyklus	Dauer (Vail et al., 1991)	Sedimentakkumulation (Einsele et al., 1991)	Zyklen nach Fischer & Bottjer (1991)
1. Ordnung	> 50 Ma	> 100 m	Wilson
2. Ordnung Megasequenzen (*)	3 bis 50 Ma	> 100 m	Extinktion
3. Ordnung Sequenzen	0,5 bis 3 Ma	10 bis 100 m	
4. Ordnung Parasequenzen - Sets	0,08 bis 0,5 Ma	10 bis 100 m	Milankovitch: Exzentrizität 100000 und 400000 a
5. Ordnung Parasequenzen	0,03 bis 0,08 Ma	1 bis 4 m	Ekliptikschiefe: 41000 a
6. Ordnung Parasequenzen	0,01 bis 0,03 Ma		Präzession: 19000 bis 21000 a (**)

Anhang A-6: Die Ordnungen relativer Meeresspiegelschwankungen nach Vail et al. (1977) und Haq (1987). Die Gliederung der Zeitspanne einer Ordnung stammt von Vail et al. (1991) und die Einteilung über die Sedimentakkumulation einer Ordnung stammt von Einsele et al. (1991). Als Vergleich ist die Einteilung der Zyklen nach Fischer & Bottjer (1991) in der 3. Spalte aufgeführt. (\*) Wiedmann et al. (1983), Gräfe et al. (1993), Gräfe (1994) fassen die Sequenzen in Megasequenzen zusammen. Die Zyklen 6. Ordnung entsprechen der Definition für ein Bankpaar sensu Mutterlose et al. (1995).

## Megasequenzen im Basko-Kantabrischen Becken

Die aufgeführten Megasequenzen (MU) stellen Sequenzen 2. Ordnung dar, welche zeitlich die Entwicklung des Biskaya-Pyrenäen-Systems untergliedern. Sie folgen nicht der neuen sequenzstratigraphischen Gliederung der Oberkreide in 5 Megasequenzen von Gräfe und Wiedmann (1993) und Gräfe (1994), sondern folgen der Einteilung von Wiedmann (1983).

Megasequenz	Nach Wiedmann et al. 1983	Strukturelle Entwicklung	Fazies
MU 1	Oxford- Thiton bis Unteralb		Limnisch, fluviatil bis flachmarin (Wealden-Fazies); im Süden: Karbonatfazies des Urgon
MU 2	Mittelalb bis Turon	Hauptsubsidenz- und Transgressionsphase:  <u>Oberalb/Untercenoman:</u> Rasche Subsidenz kann die Sedimentation ausgleichen  <u>Obercenoman:</u> Sedimentationsraten lassen nach. Beckenpelagisierung  <u>Unter-/Mittelturon:</u> Größte Bathymetrie: je nach Beckenteil zwischen 500 –1000m	<u>ab Mittelalb:</u> Heterogene Sedimente durch Rampenausbildung  <u>Mittel-/Obercenoman:</u> Pelagische Mergel. Im Vitoria-Becken mit Einschaltungen von Kalkturbiditen  <u>Unter-/Mittelturon:</u> Pelagische Mergel auch im Süden
MU 3	Cenoman bis Campan	1. Regressions- und Kompressionsphase:  <u>Cenoman:</u> Hauptregressionsphase  <u>Obersanton:</u> Flachmarines Becken mit Wassertiefen < 200 m  <u>Campan:</u> Subsidenz lässt nach; Progradierendes Deltasystem; Transpression lässt nach; Subduktion vor der Nordküste.	<u>Südliches Becken:</u> Ausbildung von weitläufigen Karbonatplattformen.  <u>Nördlichen Becken:</u> Pelagische Fazies mit vereinzelt Karbonatplattformen und mächtigen Kalkturbiditen im Vitoria-Becken  <u>Santon/Untercampan:</u> Pelagische Sedimente im Norden, karbonatische im Süden  <u>Campan:</u> Kalkige und sandige Flysche (siliklastische Ablagerungen, Mergel östlich von Vitoria)
MU 4	Maastricht bis Eozän	2. Regressions- und Kompressionsphase:  <u>Unteres Maastricht:</u> Erneute schwache Transgression  <u>bis Ende Eozän:</u> Beckenverfaltung und Heraushebung	<u>Maastricht:</u> Mergel, fein- mittelklastische Ablagerungen; Einsetzen von Dolomitablagerungen  <u>Eozän:</u> Tonige hemipelagische Sedimente, Dolomite, Karbonate, siliklastische Ablagerungen

Anhang A-7: Die Megasequenzeinteilung im Basko-Kantabrischen Becken nach Wiedmann et al. (1983). Der graue Bereich markiert den Megazyklus MU 2, da die fazielle Entwicklung im Cenoman und Turon Turon für die Fragestellung der Arbeit von besonderer Bedeutung ist.

## Probenliste: Gordoia

Probe	Lage / Ort	Stratigraphische Eingliederung	Sequenzstrat. Eingliederung	Lithologische Eingliederung
<b>G 1-1</b>	Nördlich der Ortschaft Galarreta: Oberhalb von einem Bachbett	Mittleres Cenoman	(*)	Kalkmergel, Mergelkalke: Grau bis dunkelgrau, plattige Ausbildung, dünnplattig, teils mit „Mudstone“- Konkretionen. Neben G 1-2
<b>G 1-2</b>	Nördlich der Ortschaft Galarreta: Oberhalb von einem Bachbett	Mittleres Cenoman	(*)	Kalkmergel, Mergelkalke: Grau bis dunkelgrau, plattige, dünnbankige Ausbildung, teils mit „Mudstone“-Konkretionen. Neben G 1-1
<b>G 1-3</b>	Nördlich der Ortschaft Galerreta	Oberes Cenoman	(*)	Kalkmergel, Mergelkalke: Dunkelgrau bis grau, plattige Ausbildung; Probe wechsellagernd mit G 1-3
<b>G 1-4</b>	Nördlich der Ortschaft Galerreta	Oberes Cenoman	(*)	Tonig-mergelige Matrix, in der sich Mergelbänke befinden: Probe wechsellagernd mit G 1-3
<b>G 2-1</b>	Nördlich der Straße Galaretta-Gordoia	Oberes Turon	HST	Kalkmergel bis Mergelkalke: Grau, bankig bis feinbankig, feinlaminiert, keine ebenen „bedding planes“
<b>G 3-3</b>	Westlich der Ortschaft Gordoia	Höheres Santon	HST	Mergelkalk mit Ausbildung als Wackestone: Grau, fein- bis plattig, feinlaminiert

Anhang A-8: Die Liste der untersuchten Proben aus Gordoia in N-Spanien. (\*) Diese können nicht näher Sedimente sequenzstratigraphisch eingegliedert werden. Vermutlich sind die gekennzeichneten Proben während eines TST (Übergangstrakts) abgelagert worden. HST bedeutet: Hochstandtrakt.

## Probenliste: Urrunaga

Probe	Lage / Ort		Sequenzstrat. Eingliederung	Lithologische Eingliederung
<b>Ur 2-1</b>	Am Stausee: Nordwestlich der Ortschaft Urrunaga	Basis Turon	LST	Mergel: grau, kalkig, plattig bis dünnbankig, mikritische Ausbildung
<b>Ur 2-2a</b>	Am Stausee: Nordwestlich der Ortschaft Urrunaga	Turon	TST*	Mergeliger Kalkstein bis Kalkmergel: Mikritisch, grau, bankig und sehr festes Gestein, in Wechsellagerung mit Ur 2-2b
<b>Ur 2-2b</b>	Am Stausee: Nordwestlich der Ortschaft Urrunaga	Turon	TST*	Kalkiger Mergel: Grau, plattig bis dünnbankig, örtlich stark verwittert, in Wechsellagerung mit Ur 2-2a
<b>Ur 2-3</b>	Am Stausee: Nordwestlich der Ortschaft Urrunaga	Top Turon	HST	Mergelkalk bis Kalkmergel: Dunkelgrau, bankig, „Mud- bis wackestone-Textur“, fest
<b>Ur 2-B</b>	Westlich der Ortschaft Luco	Santon	HST	Mergelkalk bis Kalkmergel: dunkelgrau, bankig, mikritisch,
<b>Ur 1-A</b>	In Villarreal de Álava	Höchstes Alb**		Siltstein: Schwarz bis dunkelbraun, stark eisenschüssig, glimmerreich, bankig bis massiv

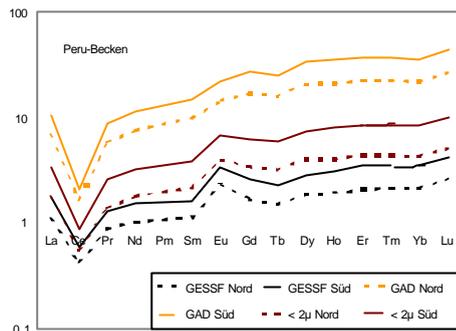
Anhang A-9: Die Liste der untersuchten Proben aus Urrunaga in N-Spanien. \*) Bei dem Couplet Ur 2-2a und Ur 2-2b handelt es sich um eine bankig ausgebildete Wechselfolge aus Kalkmergeln/ Mergelkalcken und Mergeln, die im Rahmen von Meeresspiegelschwankungen 5.-6. Ordnung abgelagert worden sind. \*\*) Die Probe Ur 1-A liegt an der Basis des Urrunaga-Profiles. TST bedeutet Übergangstrakt, LST Tiefstandtrakt und HST Hochstandtrakt.

**Schichtsilikate:**

**Originalprobe**

**Residualprobe\***

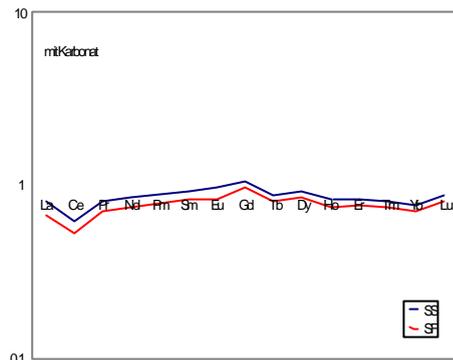
Smektit >> Illit, Chlorit,  
Kaolinit



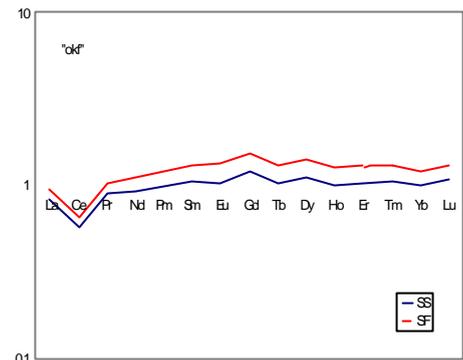
Peru-Becken

**Verteilungsmuster  
der REE**

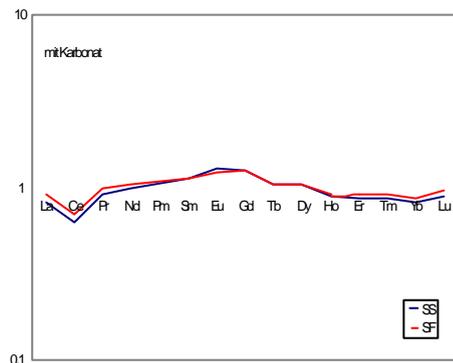
Smektit > Illit



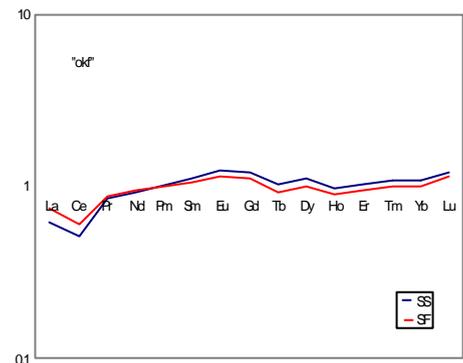
Salder



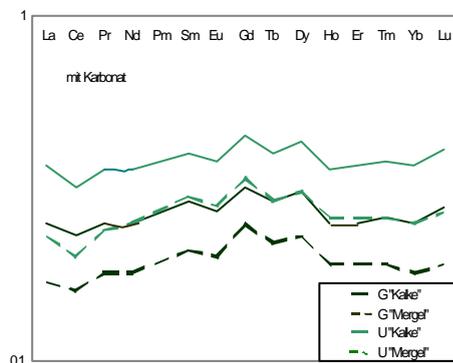
Illit > Wechselschicht.  
> Chlorit > Smektit +  
Kaolinit



Dörenthe



Illit; Illit/ Muskovit >  
Chlorit >  
Wechselschicht. +  
(Kaolinit)



Gorda und Urrunaga

**Anhang A-10: Darstellung der REE-Verteilungsmuster der gemittelten, LC-normierten (Taylor & McLennan, 1981) und chemisch unauflöslicher Originalproben und der Residualproben\* ("okf" = kalkfrei und frei von der labilen organischen Fraktion). Bei den Proben aus Salder und Dörenthe handelt es sich um schichtflächen-parallele Mergel (/SS) und um schieferungsflächen-parallele Mergel (/SF). Wechselschicht = geordnete und ungeordnete Wechselschichtminerale mit Smektit-schichten.**

### Korngrößenverteilung: Reihe 1

Kern	Tiefe	<2 $\mu$	2-32 $\mu$	>32 $\mu$
6	460	74,92	22,20	2,90
	675	68,97	27,89	3,14
	755	55,80	39,66	4,54
9	921	67,50	31,27	1,23
	1100	48,54	44,75	6,71
	1414	70,61	28,64	0,76
141	520	67,69	30,34	1,97
	589	72,26	26,98	0,76
	772	72,28	26,18	1,55
	977	68,93	27,55	3,45
	1120	58,67	29,62	11,71
169	1320	79,84	19,09	1,07
	791	60,60	39,18	0,21
	850	58,16	40,78	1,06
	900	58,66	38,65	2,69
	1005	95,52	3,00	1,19
	1075	60,52	35,26	4,23

Anhang T-1.a: Die Korngrößenverteilung in % der Sedimente der Reihe 1 aus dem Peru-Becken. Die Sedimente sind unterhalb der CCD abgelagert worden.

Kern	Tiefe	<2 $\mu$	2-6,3	6,3-32	>32
9	227,0	52,03	30,68	9,57	7,72
	617,0	45,82	30,64	9,47	14,07
	732,0	53,08	27,17	15,66	4,08
	824,0	32,03	40,17	15,26	12,54
	844,0	46,78	25,41	12,07	15,74
26	4,0	31,24	53,35	12,11	3,30
	12,0	43,44	36,80	15,93	3,83
	203,0	45,38	20,96	8,72	24,94
	207,0	21,46	31,85	35,05	11,64
	210,0	43,78	34,21	9,94	12,07
	322,0	43,65	23,44	19,03	13,88
	698,0	40,22	6,85	43,94	8,99
77	45,0	57,17	27,51	10,43	4,89
	565,0	58,55	20,31	16,99	4,15
164	454,5	33,12	13,02	16,93	36,93
169	378,0	33,55	5,44	37,44	23,56

Anhang T-1.b: Die Korngrößenverteilung in % der Sedimente der Reihe 2 aus dem Peru-Becken. Die Sedimente sind oberhalb und unterhalb der CCD abgelagert worden.

Salder

Probe	CaCO <sub>3</sub> *	Lithologie
S1-1	72,00	Kalk
S1-2	75,00	Kalk
S3-1	70,00	Kalk
3-2	82,00	Kalk
3-3a	84,00	Kalk
3-3b	82,00	Kalk
3-4	78,00	Kalk
4a-3	86,00	Kalk
4c-2	88,00	Kalk
4c-3	87,00	Kalk
4b-2	85,00	Kalk
4b-3	83,00	Kalk
3-5	69,00	Mergel//ss
4b-1	41,00	Mergel//ss
4c-1	31,00	Mergel//ss
4a-1	68,00	Mergel//SF
Proben	CaCO <sub>3</sub> **	Lithologie
S1	83,43	Kalk
S2	91,13	Kalk
S3	85,65	Kalk
S4	89,68	Kalk
S5	91,70	Kalk
S1.1	66,70	Mergel//ss
S2.1	46,90	Mergel//ss
S3.1	41,10	Mergel//ss
S4.1	43,85	Mergel//ss
S5.1	24,10	Mergel//ss
S7	44,15	Mergel//ss
S8	43,40	Mergel//ss
S8a	53,70	Mergel//ss
S9a-1	32,40	Mergel//ss
S10a	28,75	Mergel//ss
S11a	42,35	Mergel//ss
S6	45,15	Mergel//SF
S7a	52,40	Mergel//SF
S8c	54,95	Mergel//SF
S9	43,85	Mergel//SF
S10	59,35	Mergel//SF
S11	48,45	Mergel//SF

Dörenthe

Probe	CaCO <sub>3</sub> **	Lithologie
D1a	83,50	Kalk
D2a	84,90	Kalk
D3a	91,30	Kalk
D4a	91,00	Kalk
D5a	88,20	Kalk
D6a	90,90	Kalk
D7a	94,00	Kalk
D8a	89,05	Kalk
D9a	94,30	Kalk
D1b	57,00	Mergel//ss
D2b	68,70	Mergel//ss
D3b	46,00	Mergel//ss
D4b	20,60	Mergel//ss
D5b	56,00	Mergel//ss
D6b	56,40	Mergel//ss
D7b	48,00	Mergel//ss
D8b	57,45	Mergel//ss
D8b1	46,35	Mergel//ss
D9b	60,50	Mergel//ss
D7c	58,80	Mergel//SF
D8c	42,50	Mergel//SF
D9c	58,53	Mergel//SF

Anhang T-2.a: Die Auflistung der gemittelten Karbonatmesswerte zu Lösungsweg 1. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt. Bei Abweichungen von > 5 % erfolgte eine weitere Messung.

\* Messungen mit der Karbonatbombe

\*\* Messungen mit der von Klosa (1994) entwickelten Karbonatmessmethode

Karbonatmessungen

Proben zu Lösungsweg 2

**Festgestein**

**N-Spanien: Gebiet Gordoa**

Probe	CaCO <sub>3</sub> **	Lithologie
G1-0	75,75	Kalk
G1-1	74,17	Kalk
G1-2	76,25	Kalk
G1-3	72,45	Kalk
G1-4	61,05	Mergel
G2-1	75,45	Kalk
G3-3	76,85	Kalk
<b>N-Spanien: Gebiet Urrunaga</b>		
Probe	CaCO <sub>3</sub> **	Lithologie
Ur2-1	66,45	Mergel
Ur2-2	75,20	Kalk
Ur2-2a	67,20	Mergel
Ur2-3	78,95	Kalk
Ur2-B	72,60	Kalk
Ur2-Ba	73,05	Kalk
Ur-A	5,00	Sandstein

**Lockersediment**

**Perubecken**

**Reihe 2**

Probe	CaCO <sub>3</sub> **	Lithologie
9KL/227	7,48	Mergel
9KL/301	15,60	Mergel
9KL/617	11,74	Mergel
9KL/732	0,00	Ton
9KL/824	34,34	Mergel
9KL/844	39,42	Mergel
26KL/4	12,01	Mergel
26KL/12	6,32	Mergel
26KL/203	16,70	Mergel
26KL/210.5	47,00	Mergel
26KL/565	0,62	Ton
26KL/574	0,21	Ton
26KL/698	7,70	Mergel
26KL/707	3,96	Ton
26KL/1304	12,46	Mergel
26KL/1311	18,20	Mergel
53KL/181	26,74	Mergel
77KL/45	1,27	Ton
77KL/75.5	0,40	Ton
77KL/289	21,24	Mergel
77KL/454.5	23,73	Mergel
77KL/965 III	9,09	Mergel
77KL/975	9,09	Mergel
77KL/1142	12,49	Mergel
77KL/1298	54,09	Mergel
77KL/1329	9,45	Mergel
108KL/456.5	22,52	Mergel
108KL/537.5	0,00	Ton
164KL/356.5	0,00	Ton
164KL/456.5	0,00	Ton
169VEL/4	4,40	Ton
170KG/4.5	4,40	Ton
170KG/9	6,92	Mergel
169KL/76.5	0,00	Ton
169KL/336.5	0,00	Ton
169KL/378III	3,48	Ton
169KL/456.4	3,94	Ton
169KL/1136.5	2,10	Ton
169KL/1236.6	5,00	Ton

Anhang T-2.b: Die Auflistung der gemittelten Karbonatmesswerte zu Lösungsweg 2. Es wurden jeweils Doppel-Bestimmungen durchgeführt. Bei Abweichungen von > 5 % erfolgte eine weitere Messung.

\*\* Messungen mit der von Klosa (1994) entwickelten Karbonatmessmethode.



### Aufschluss Salder

3. Fraktionierte Proben auf karbonatfreier Basis.			Die Proben sind frei von der latilen organischen Komponente								
Lithologie	Probe	Fraktion	Qz	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	W	Goe	Py
Kalke	S2	<2µ	X		X		o	o?			
	S4	<2µ	X		X-x		o?				
	S8	<2µ	x		X		o				
Mergel	S4.1	<2µ	o?		X						
	S5.1	<2µ	o?		X		o?				
Kalke	S2	>20µ	X	x-o			o	o?		o	
	S4	>20µ	X				o				x-o
	S8	>20µ	X		x-o		o		x-o	x-o	
Mergel	S4.1	>20µ	X-x	x-o	X						
	S5.1	>20µ	X-x	X	X						

Anhang T-3.a: Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Salder.

### Aufschluss Dörenthe

1. Die Kalk- und Mergelproben zeigen mit Karbonat die folgende Zusammensetzung	
HK	Cc
NK-Sp	Qz
Sp	Mus, Chl

2. Gesamtproben auf karbonatfreier Basis			Die Proben sind frei von der latilen organischen Komponente							
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Sm	Il-Mus	Chl	Kao	W	Sonstige/Bemerkungen
Kalke	D1A	Gesamt	X		o	x	o-x	o		
	D2A	Gesamt	X		o	x	o-x	o	o*	*Il-Sm
	D3A	Gesamt	X		o	x	o-x	o		
	D4A	Gesamt	X	O	o	x	o-x	o		
	D5A	Gesamt	X	O	o?	x	o-x	o		
	D6A	Gesamt	X	O	o	x	o-x	o		
	D7A	Gesamt	X	O	o	x	o-x	o?		
	D8A	Gesamt	X		o	x	o-x	o		
Mergel //Schichtung	D9A	Gesamt	X		o	x	x-o	o		
	D1B	Gesamt	X		o	x, (x-X)	o-x	x-o		
	D2B	Gesamt	X		o	x	o	o-x		
	D3B	Gesamt	X		o	x (x-X)	o-x	o-x		
	D4B	Gesamt	X		o	x	o-x	o-x		
	D5B	Gesamt	X	o?	o	x	o-x	o-x	o?	
	D6B	Gesamt	X	o?	o?	x	o-x	o-x	o?	
	D7B	Gesamt	X	o?	o?	x	o-x	o-x		
Mergel //Schieferung	D8B	Gesamt	X	o?	o?	x	o-x	o-x		
	D9B	Gesamt	X	o?	o?	x	o	o		
	D7C	Gesamt	X		o?	x	o-x	?	O	Sm in Wechsellagerung
	D8C	Gesamt	X		o?				O	
	D9C	Gesamt	X		o?	x	o	?	O	Gips

### Aufschluss Dörenthe

3. Fraktionierte Proben auf karbonatfreier Basis			Die Proben sind frei von der latilen organischen Komponente										
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Sm	Il-Mus	Chl	Kao	W	FeOOH Goe	sid	Py	Sonstige/Bemerkungen
Kalke	D1A	<2µ	x		X-x	x-o		x-o					Hall anstelle von Kao?
	D5A	<2µ	X-x		x	x-o	x???	x-o*	x?				Vermikulit? Chl? Hall?
	D7A	<2µ	x		x	x-o		x-o	x?				anstelle von Sm W?
	D9A	<2µ	x		x	x-o		x-o	x?				
	D9	<2µ	x		x	x-o		x-o					
Mergel //Schichtung	D1b+D2B	<2µ	X-x		X	x-o		x-o	X?				
	D5B	<2µ	X-x		x	X	X?	X	x?				
	D7B	<2µ	x		x	x		x	X?				
	D9B	<2µ	x		x	x-o		x-o	x?				
Häufig ist nicht eindeutig, ob es sich um "reinen" Smektit handelt, oder noch Wechsellagerungen eingebaut worden sind Anstelle des Kaolinitis kann auch Halloysit eingebaut sein. Eine röntgenographische Festlegung ist in dieser Form nicht möglich													
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Sm	Il-Mus	Chl	Kao	W	α-FeOOH Goethit	sid	Py	Sonstige/Bemerkungen
Kalke	D1A	>20µ	X			o				O	o		
	D5A	>20µ	X									x	
	D7A	>20µ	X	o						O			
	D9A	>20µ	X										
	D9	>20µ	X	o		o					o*		Sid oder Ap
Mergel //Schichtung	D1b+D2B	>20µ	X			o				O	o		
	D5B	>20µ	X	o		o		o			o	x-o	
	D7B	>20µ	X			o		o?			o*		Sid oder Ap
	D9B	>20µ	X	o		o?		o			o*		Sid oder Ap
Apatit könnte vorhanden sein.			u/o für Siderit										

Anhang T-3.b: Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Dörenthe.

### Aufschlüsse Gordoia und Urrunaga

1. Die Kalkproben zeigen mit Karbonat die folgende Zusammensetzung								
Lithologie	Probe	Gesamt	Cc	Quarz	Fsp	Sm	Il-Mus	Chl
Kalke	Ur 2-1	Gesamt	X	x-o	o	o?	o	
	G1-0	Gesamt	X	x-o	o		o	
	G1-1	Gesamt	X	x-o	o			
Siltstein	Ur 1-A	Gesamt	o	X	x		x-X	x

## Aufschlüsse Gordoa und Urrunaga

2. Gesamtproben auf karbonatfreier Basis			Die Proben sind frei von der labilen organischen Komponente										
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Sm	Il	Mus	Il-Mus	Chl	Kao	W	Py	Sonstige/Bemerkungen
Kalk	G1-0	Gesamt	X			x			o		o?		Sm in Wechsellig. mit Il?, Hall.
Kalk	G1-1	Gesamt	X	x-o;0				x	o?	o?		o?	Kao o. Chl Sm als W
Kalk	G1-2	Gesamt	X	x-o;0				x-o				o?	statt Py ev. Chalcopyrit, Hall, Kao, Anhydrit
Kalk	G1-3	Gesamt	X	o;0-x		x	x		o-x				Kao? Hall? Sm als W
Mergel	G1-4	Gesamt	X-x		x?		x	x					
Kalk	G2-1	Gesamt	X	x-o;0	x?		x		x-o	o?	o?		Clinochlor W?
Kalk	G 3-3	Gesamt	X	o; 0-x			x		x, x-X	o?			kein Il, albit. Fsp
Mergel	Ur 2-1	Gesamt	X	o			x		o; 0-x	o?	o (Rektorit)		Anhydrit?, Kao?
Kalk	Ur 2-2	Gesamt	X			x			o; 0-x		o (Rektorit)		Il oder Mus
Mergel	Ur 2-2a	Gesamt	X					x	o; 0-x		o (Rektorit) ?		
Kalk	Ur 2-3	Gesamt	X					x-o	o; 0-x				
Kalk	Ur 2-B	Gesamt	X										
Kalk	Ur 2-Ba	Gesamt	X	o-x		o?	x		x-o				Sm? Ca-Albit

3. Fraktionierte Proben auf karbonatfreier Basis			Die Proben sind frei von der labilen organischen Komponente										
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Sm	Il-Mus	Chl	Kao	W	Py	Sonstige/Bemerkungen		
Sand-/Siltstein	Ur 1-A okf	<2µ	x-o	o		X-x	X						
Kalk	G1-3 okf	<2µ	X		x-o			o					
Mergel	G1-4 okf	<2µ								X			
Kalk	G1-3-4 okf	<2µ	X		o?	x-o		o					
Kalk	Ur2-2 okf	<2µ	X-x			x			x-o			Mixed-Layer (Sm und Il/Musk)	
Mergel	Ur2-2a okf	<2µ	X-x	o		x	o		x-o			Kao / Chl; Py oder Sid	Corrensit? Ca-Albit
Mergel	Ur 2-2a okf g	<2µ	X			X-x 2M	o						
Lithologie	Probe	Fraktion	Quarz	Fsp	Il-Mus	Chl	W	Py	Sonstige/Bemerkungen				
Sand-/Siltstein	Ur 1-A okf	> 20µ											
	G1-3 okf	> 20µ	X	x-o	x	o?						Spur Kao	Ab geordnet
	G1-4 okf	> 20µ	x	o	x								
Mergelstein	G1-3-4 okf	> 20µ	X	o	x	x							Chl als Clinochlor ausgebildet; Kao?
	Ur2-2 okf	> 20µ	X	x	x-o	o?							
	Ur2-2a okf	> 20µ	X	x	x-o	o	o?						
Kalk	G1-3-4 okf g	>20µ	X		o-x	x							Clinochlor; Il-Mus

Anhang T-3.c: Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus Gordoa und Urrunaga.

Perubecken: Lockersedimente

Reihe 1

Probe	Fraktion	amorph	Qz	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeo	ba	Al2O3	Sonstige/Bemerkungen
6-460	<2μ	X	o	o	x-X?						o	x-o	o?				
6-675	<2μ	X	o	o	x-X?						o	x-o	o?	o?	o		Sepiolit?
6-755	<2μ	X	o		x-X?						o-x reg	o-x		o?			
9-921	<2μ	X	o		x			o?		x							Wechselschichten im Smektit; Spur Chl u Illit.
9-1100	<2μ	X-x	o; o-x	o; o-x?	x			w o	o?	x				o?			Chl als W. Illit ebenf. wechsellagernd
9-1414 of	<2μ	X-x	o	o	X-x			o??							o-x		Ca-Albit
9-1414 a	<2μ	X	o	o?	X-x		o	o	o?	x	x ja			?	o-x	o?	Gibbsit?
141-520	<2μ	X	x-o	???	X-x	o?	o	o	o??	x							Chl, Kao, Ill liegen neben Sm vor. Beidellitischer Komponente. Sepiolit?
141-589	<2μ	X	x-o	x-o	x		o	o	o?	X	x						Tosudit
141-772	<2μ	X	o	o	x		o	o?	o?	x							Magnesit
141-977	<2μ	X	o; o-x	o?	x		o-x				x-o				o?		Magnesit?
141-1120	<2μ	x-X	o	o-x	x-X		o	o		x					o		Magnesit ?, Kaolinit? teils reg. Wechsellagerungen
141-1320	<2μ	x-X	o-x	o	c-X		o?	?	o?					?	x-o		Magnesit; Beidellitischer Peak
169-791	<2μ	X	o	o	x		o	o		X-x					o		
169-850	<2μ	X	o	o	x-X	o	o	o	o	X-x					o?		Magnesit?
169-900	<2μ	X-x	o	o?	x		o-x	o	o?	x					o		Glaukonit? Magnesit?
169-1005	<2μ	X	o	o-x	x		o; o-x	o		X					o	x-o	Chl, Il oder beide W mit Smektit; Karbonatapatit
169-1075	<2μ	x	o	o	x-X		o	o		x					o	o?	Talk?: Il > Chl; Sepiolit?

Probe	Fraktion	amorph	Qz	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeo	ba	Al2O3	Sonstige/Bemerkungen
6-675	2-32μ	X	x-o	x-o						X					x-o		
6-755	2-32μ	X	o	x-o	X										x-o		
9-921	2-32μ	X	X-x	x-o	x-o										o		
9-1100	2-32μ	X	X	x-o	o?		o		o						x-o		Chl u/o Kao
9-1414	2-32μ	X	X-x	x-o	x-o			o?							x-o		
141-520	2-32μ	X	X-x	x-o			o	o		x-o					x-o		
141-589	2-32μ	X	X-x	x-o	o?			o							o		
141-772	2-32μ	X	x	x-o			o?								x-o		Todorokit oder Paragonit als Spur
141-977	2-32μ	X	x-o	x-o			o								x-o		Todorokit oder Paragonit als Spur
141-1120	2-32μ	X	X-x	x-o											x-o		
169-791	2-32μ	X	x	x-o	x										x-o		
169-850	2-32μ	X	x-o	x-o	x-o			o							x-o		
169-900	2-32μ	X	x	x-o						x					x-o		
169-1075	2-32μ	X	x	x-o						x					x-o		

Lockersedimente: Perubecken

Reihe 1

Probe	Fraktion	amorph	Qz	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeol	ba	Al2O3	Sonstige/Bemerkungen
6-460	>32μ	X		x-o			o	o?	o?								Chl oder Kao
6-675	>32μ	X	O	o	x					x			o?		o		
6-755	>32μ	X		x-o			o										Nk-Spur Gips; NK Halit
9-921	>32μ	X		o													
9-1100	>32μ	X		o													
9-1414	>32μ	X		o?													
141-520	>32μ	X	O	x-o			o?										Nk-Sp= Todorokit oder Paragonit
141-589	>32μ	X	O	x-o													
141-772	>32μ	X	O	o			o						o				Nk= Todorokit oder Paragonit
141-977	>32μ	X	O	x-o			x-o						o?				Nk-Sp= Todorokit oder Paragonit
141-1120	>32μ	X		x-o			x-o										
141-1320	>32μ	X	O	o									o				Nk= Todorokit oder Paragonit
169-791	>32μ	X	O	x-o	o		o										Paragonit ev. auch Todorokit als Spur
169-850	>32μ	X		x-o			o										Paragonit ev. auch Todorokit als Spur
169-900	>32μ	X	O	o									o				Nk-Sp= Todorokit oder Paragonit
169-1005	>32μ	X	O	x-o													Nk-Sp= Todorokit oder Paragonit
169-1076	>32μ	X	O	o	o?												

Anhang T-3.d.1: Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus dem Perubecken (Reihe1)

Lockersedimente: Perubecken

Reihe 2

Probe	Fraktion	amorph	Qz	Cc	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeol	ba	Al2O3	Sonstige/Bemerkungen
9-824	Ges	X	o	X-x	o (ab)				o									
9-844	Ges	X	o	X-x														
26-203	Ges	X	o-x	x	o (ab)													
77-289	Ges	X	o	x	o (ab)													
77-975	Ges	X	o	x-o														
77-1238	Ges	X	o	X-x														
77-1329	Ges	X	o			o												
108-456,5	Ges	X	o	X-x														
108-456,5B	Ges	X			o (ab)									o				
170-9	Ges	X	o	o	o (ab)				o	o								
169-76,5	Ges	X	x-o		o (ab)						o							
169-1236,5	Ges	X	o	x-o	o (ab)	o?												

## Lockersedimente: Perubecken

## Reihe 2

Probe	Fraktion	amorph	Quarz	Cc	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeo	ba	Sonstige/Bemerkungen	
9-227	<2μ	x	x	o?	o	X	o		o?		o				o?		Chl? Kao?	
9-617	<2μ	x-X	x		o	x-X,x	o?					o						
9-732	<2μ	X	x	X-x	o-x	x		o	x-o							o		
9-824	<2μ	x	x-o	X-x	o	w			x		x		x				Ba oder Ap	
9-844	<2μ	x	x-o	X-x	o	x			x		x		x					
26-4	<2μ	X	o-x	o		x-X	o	o	o		x					o?	Rektorit W aus Sm/Il und Chl/Sm; Corrensit	
26-12	<2μ	x	x,x-X	x		x	o		o									
26-203	<2μ	x-X	x	x	x	X-x		x-o	o	o							Saponit-Rektorit	
26-207	<2μ	x-o	x	x	x-o	X-x		o							o		Ba; Phillipsit; Saponit. Komponente	
26-210	<2μ	x-X	x-o	X	o	x		o	o,o-x	?	o						Ba; W= Il/Sm; Chl/Sm Rekt./Corr.	
26-574	<2μ	x	x-o	o	o	X												
26-698	<2μ	X	x-o		o?	X		o?	o?		?							
26-707	<2μ	X	o	x-o	o	X											Gips ?, Opal A??, Kao, Ba, W	
26-1307	<2μ	x	o	x-o	o	X		o*			o						* als Wechsellagerung	
26-1307a	<2μ	x	o, o-x	o	o?	X			o?	o?							Reflexe von Saponit, Chl-Chl/Il; Spur von Il	
26-1311	<2μ	x	o	x	o?	X		o?	o?		o					x	W von Il und Sm	
26-698 kf	<2μ	x	o-x		o?	X		o?	o								Ba	
77-45	<2μ	x	x-o	x-o	x-o	x, x-X		o	o?	o?	o?					o?	Il/Mus	
77-565	<2μ		x	X	x-o	x-o					x-o						Schlechte Kristallinität der Tonminerale Gips?	
77-975	<2μ	x	x-o	X-x	x-o	x		o	o?							o		
77-1329	<2μ	x	o		o	x		o			o						Sm/Chl; Sm/Il; Hall?; Ca-Ab	
108-537,5	<2μ	o				X		o	o							o	Birnessit	
164-454,5	<2μ	x			o	X-x					o						W zwischen Sm / Il; Birnessit als Spur; Nontronitreflexe?	
169-378	<2μ	x	x	o?	o	X-x			x-o								x	
169-1136,5	<2μ	x	x		o?	X			o									
169-1236,5	<2μ	x	x	?	o?	X			o		o						x	
77-565okf	<2μ		x,x-X		x-o	x,x-X	o	o	o		x						o	Saponit
77-975okf	<2μ		x-o		o	X		o	o?	o?	x						o	Chl und Kao/Chl als Wechselschichtungen

Lockersedimente: Perubecken

Reihe 2

Probe	Fraktion	amorph	Quarz	Cc	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeol	ba	Sonstige/Bemerkungen
9-227	2-6,3µ	X	x-X	o	o	x-X	x		o?		o						Gips Kao?
9-617	2-6,3µ	x-X	x	x-o	o	x	o		o*								Kao
9-824	2-6,3µ	X	x	X	o	x		o?								?	
9-844	2-6,3µ	X	x	X	o	o		o?	o							?	
26-12	2-6,3µ	X	x, x-X	x-x-X	o	x-X			o								
77-45	2-6,3µ	x	x	x,x-o	o	o	?										W von Sm/Chl.; Beidellit- und Saponit-Fe Reflexe
77-565	2-6,3µ		x,x-X	X	x-o	x-o					x-o					x	
108-537,5	2-6,3µ	x	o	o	o	x		x-o	x-o		x					o	

Probe	Fraktion	amorph	Quarz	Cc	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeol	ba	Sonstige/Bemerkungen
9-227	6,3-32µ	X	X-x	o-x	o	o					o						
9-617	6,3-32µ	X-x	x-X	x	o	o	o				o						
9-844	6,3-32µ	X		X				o?	o		o						
26-12	6,3-32µ	X	x	X-x	o?	o?											
26-698	6,3-32µ	X	x-o	X	x-o	o		?	?								
77-45	6,3-32µ	x	x	x,x-o	o	o			o?		o						Zunahme an Quarz, alb. Fsp.,
77-565	6,3-32µ	x	x-o,x	X	o?												Feldspat
108-537,5	2-6,3µ	x	o	o	o	x		x-o	o-x		x-o					o	

Probe	Fraktion	amorph	Quarz	Cc	Fsp	Sm	Il	Il-Mus	Chl	Kao	w	Il/Sm	Chl/Sm	ap	Zeol	ba	Sonstige/Bemerkungen
9-617	>32µ	X	x	x-o		o	o				o						
9-732	>32µ	X	o	x													
9-824	>32µ	X	x-o	X-x					o							x-o	OpalA
9-844	>32µ	X	x-o	X-x		w										x-o	
26-4	>32µ	X	x-o	x	o	o?											OpalA saponitische u. beidellit. Reflexe
26-12	>32µ	X	x-o	X-x													
26-203	>32µ	X		X	?	o?		o	?	?	x				?		Opal-CT? Ca-Apatit
26-210	>32µ	X	x	X	?	?											amorpher Anteil ist erhöht
26-130x	>32µ	X															
77-45	>32µ	X	o	x	o?						o						OpalA
77-565	>32µ	x-X	x-o	X	o?										?		Zeolithe als Spur, Hinweis auf Tonm.
108-537,5	>32µ	X	o	o	o	x		x-o	x-o		x-o						
164-454,5	>32µ	X	o		o	x-o			o								Vermikulit?

Anhang T-3.d.2: Die mineralogische Zusammensetzung der Proben aus dem Perubecken (Reihe2). Die Sedimente sind ober- und unterhalb der CCD abgelagert worden.

## DTA-Messungen

Probe	Wasserabgabe (%)			Endotherme Reaktionen (°C)			Exotherme Reaktionen (°C)
	Gesamt	adsorptiv	Dehydrox.	Peak 1	2	3	1
Illit ie1	6,76	2,05	4,71	118	536 - 582 max. 564	882	-
Illit ie2	10,30	3,01	-	111,66 max. 128	534	-	-
Ill-Mont * <sup>1</sup>	24,45	2,93	21,52	158	517-567 max. 529	812	904
Ill-Mont * <sup>2</sup>	24,03	2,86	21,17	167	(518-577)	809	905
Salder 1 * <sup>3</sup>	12,58	8,05	3,53	94 150**	512	862	-
Salder 1w	19,54	11,60	7,94	107 168**	533	-	-
S4.1 //SS	21,62- 19,41	15,25	6,37-4,16	124 186**	669	890	-
S4m	17,21	13,01- 12,09	4,20 5,12	133 199**	670-679	894	-
S7 //SS	-	-	-	113 180**	543	873	-
S8	-	-	-	107 164**	522	886	-
S8c	18,62	14,60	4,02	136 190 250-260	685	886	-
S10m	13,39	7,94	5,45	114 175** 275	542	877	-

Anhang T-4: Die gemessenen endothermen und exothermen Reaktionen von zwei Illitstandards (Illit 1: Morris, Illinois; Illit 2: „moosgrüner Ton“) und von karbonatfreien Proben aus Salder. Adsorptiv= Abgabe des adsorptiv gebundenen Wassers (oberflächengebundenes Wasser und solches aus den Zwischenschichten). Dehydrox.= Dehydroxilierung. \*<sup>1</sup> Mischung des Illit-Standards 1 mit der Probe 8c im Verhältnis 20/80. \*<sup>2</sup> Mischung des Illit-Standards 2 mit der Probe 8c im Verhältnis 20/80. \*<sup>3</sup> kalkfreies Residuum eines Kalksteins. \*\* zweite und/oder dritte Schulter von drei Schultern sind schwach ausgebildet.

## Bestimmung der Kalzitzusammensetzung

Probe	Siderit	Rhodochroit	Magnesit	Kalzit
1	0,84	0,42	2,96	95,76
2	1,01	0,49	1,30	97,20
3	1,17	0,40	2,47	95,97
4	1,63	0,89	1,74	95,74
5	1,04	0,35	0,00	98,61
6	1,17	0,46	2,41	95,95
7	1,06	0,56	2,49	95,90
8	0,72	0,00	1,42	97,86

Anhang T-5.a: Die Berechnung der Kalzitzusammensetzung der stylolithisch durchsetzten Kalksteinprobe Salder 1. Die Daten beruhen auf REM-Messungen.

### Bestimmung der Kalzitzusammensetzung

Probe	Siderit	Rhodo- chroit	Magnesit	Kalzit	Strontianit		
1	0,55	0,16	0	99,19	0,10	Messungen ohne Mg	
2	1,22	0,23	0	98,47	0,08		
3	0,35	0,34	0	99,24	0,07		
4	4,77	42,65	0	52,49	0,08		
5	0,63	60,44	0	38,94	0,00		
6	0,47	4,02	0	95,18	0,33		
11	0,33	4,06	0	95,29	0,32		
12	0,46	0,79	0	98,69	0,05		
13	0,00	62,8	0	36,96	0,24		
15	0,40	3,87	0	95,73	0,00		
21	0,17	56,66	1,23	41,79	0,15		
23	0,39	4,30	0,10	94,78	0,42		
26	0,48	0,06	0,93	98,17	0,35		
27	0,15	0,44	0,84	98,54	0,02		
30	0,33	0,39	1,29	97,99	0,00		
31	0,13	0,03	0,04	99,80	0,00		
32	0,24	0,27	0,62	98,87	0,00		
34	3,16	0,00	1,92	94,23	0,69		
35	1,83	0,03	1,36	96,17	0,60		
36	0,32	0,36	0,43	98,87	0,12		
37	0,10	0,61	0,69	98,60	0,00		
38	0,27	0,04	0,11	99,38	0,20		
39	0,27	0,17	0,66	98,78	0,11		
40	0,28	0,20	0,79	98,55	0,18		
41	0,20	0,19	0,5	98,99	0,11		
42	0,16	0,03	0,23	99,49	0,10		
43	0,43	0,29	0,63	98,53	0,12		
44	1,82	0,13	0,57	97,48	0,00		
45	0,59	0,24	0,46	98,20	0,52		
48	0,17	0,45	0,85	98,53	0,00		
52	0,09	0,05	0,78	98,77	0,31		
53	0,01	0,31	1,92	97,44	0,31		
55	0,42	0,24	0,55	98,56	0,23		
56	0,74	1,26	0,72	97,00	0,28		
57	0,36	0,08	0,72	98,71	0,13		
58	0,10	0,05	2,02	97,49	0,34		
59	0,00	0,23	0,39	99,16	0,22		
60	0,41	0,05	0,82	98,59	0,14		
61	0,30	0,17	0,61	98,92	0,00		
62	0,00	0,04	0,69	99,00	0,27		
63	0,14	0,11	0,17	99,48	0,09		
64	0,42	0,16	0,53	98,67	0,22		
65	0,39	0,11	0,51	98,79	0,20		
66	0,16	0,06	0,28	99,46	0,03		
67	0,35	0,17	0,58	98,68	0,21		
68	0,38	0,22	0,77	98,55	0,09		
69	0,65	0,47	0,52	98,31	0,05		
70	0,87	0,19	1,30	97,50	0,15		
72	0,37	0,21	0,60	98,82	0,00		
73	0,40	0,22	0,38	98,68	0,32		
74	0,48	0,28	0,39	98,65	0,20		
75	0,34	12,88	0,43	86,26	0,10		
76	0,21	1,32	0,33	98,14	0,00		
77	0,13	0,20	0,71	98,83	0,12		

Anhang T-5.b: Die Berechnung der Kalzitzusammensetzung der stylolithisch durchsetzten Kalksteinprobe Dörenthe 1. Die Daten beruhen auf MS-Messungen.

**MS-Messungen**

<b>M</b>	<b>W%(O )</b>	<b>W%(Mg)</b>	<b>W%(Al)</b>	<b>W%(Si)</b>	<b>W%(Ca)</b>	<b>W%(Ti)</b>	<b>W%(Mn)</b>	<b>W%(Fe)</b>	<b>W%(Sr)</b>
1	17,59		0,10	0,20	42,80	0,02	0,11	0,39	0,06
2	18,74		1,31	2,98	34,90	0,00	0,13	0,71	0,04
3	16,24		0,22	0,46	38,34	0,11	0,21	0,22	0,04
4	16,96		1,47	1,21	17,35	0,02	22,56	2,59	0,04
5	13,84		0,53	0,06	11,75	0,01	29,18	0,31	0,00
6	16,34		0,36	0,68	36,08	0,02	2,44	0,29	0,18
7	48,70		1,51	40,73	2,14	0,06	0,05	0,14	0,00
8	49,23		0,86	41,96	1,49	0,04	0,13	0,03	0,00
9	16,39		0,35	0,65	36,75	0,00	2,11	0,09	0,07
10	16,71		0,39	1,16	33,49	0,00	5,65	0,03	0,05
11	16,74		0,90	1,05	34,90	0,00	2,38	0,20	0,17
12	16,24		0,14	0,34	38,95	0,01	0,50	0,08	0,03
13	14,20		1,50	0,02	10,76	0,00	29,25	0,00	0,10
14	14,27		0,84	0,25	14,71	0,03	25,12	0,05	0,06
15	17,11		0,78	1,12	36,05	0,00	2,33	0,25	0,00
16	35,30		9,84	19,69	7,97	0,44	0,03	2,10	0,08
17	41,29		15,10	23,31	0,90	0,35	0,07	2,37	0,00
18	39,78		13,59	23,03	1,01	0,38	0,07	2,65	0,00
19	51,88		0,09	45,41	0,08	0,02	0,01	0,04	0,00
20	14,53	0,21	2,47	0,05	5,95	0,04	33,29	0,00	0,12
21	13,87	0,18	1,72	0,07	11,71	0,03	25,40	0,08	0,06
22	14,12	0,14	1,80	0,06	11,46	0,00	26,72	0,03	0,01
23	15,49	0,02	0,30	0,18	35,39	0,02	2,57	0,24	0,23
24	43,92	0,22	19,63	22,68	0,23	0,10	0,80	0,31	0,00
25	44,52	0,19	20,08	23,01	0,13	0,13	0,15	0,39	0,00
26	17,01	0,19	0,48	0,92	38,28	0,00	0,04	0,31	0,20
27	17,45	0,20	0,50	1,28	38,17	0,03	0,13	0,38	0,00
28	16,79	0,18	0,11	0,26	40,45	0,03	0,29	0,11	0,01
29	23,27	0,46	2,95	6,28	32,30	0,06	0,05	0,73	0,05
30	17,77	0,25	0,99	1,88	36,19	0,02	0,23	0,20	0,00
31	17,16	0,01	0,07	0,12	42,37	0,02	0,02	0,09	0,00
32	17,45	0,13	0,33	1,00	39,63	0,02	0,17	0,16	0,00
33	24,16	0,53	4,95	7,84	11,89	0,09	17,95	1,48	0,08
34	19,36	0,36	0,66	3,88	33,75	0,01	0,00	1,86	0,36
35	18,17	0,26	0,47	2,77	35,17	0,00	0,02	1,10	0,32
36	16,63	0,09	0,13	0,36	39,90	0,00	0,17	0,21	0,07
37	16,59	0,15	0,05	0,06	40,66	0,00	0,40	0,07	0,00
38	13,61	0,02	0,00	0,00	33,86	0,01	0,02	0,15	0,10
39	17,98	0,15	0,26	0,49	42,52	0,01	0,12	0,19	0,07
40	18,10	0,18	0,30	0,48	42,70	0,00	0,14	0,20	0,11
41	17,27	0,11	0,20	0,28	41,58	0,03	0,13	0,14	0,07
42	17,26	0,05	0,13	0,27	41,97	0,01	0,02	0,11	0,06
43	17,86	0,13	0,72	1,31	38,78	0,00	0,18	0,28	0,07
44	19,13	0,11	1,54	2,48	36,17	0,13	0,08	1,11	0,00
45	16,55	0,10	0,00	0,00	40,72	0,00	0,16	0,40	0,31
46	15,04	0,00	0,01	0,00	37,15	0,00	0,00	0,14	0,72
47	14,59	0,00	0,20	0,16	35,36	0,01	0,03	0,05	0,47
48	17,27	0,19	0,01	0,13	42,20	0,01	0,31	0,12	0,00
49	17,64	0,24	0,03	0,04	43,30	0,00	0,34	0,09	0,01
50	16,90	0,11	0,34	0,76	38,91	0,02	0,12	0,22	0,12
51	17,02	0,06	0,19	0,39	40,75	0,00	0,04	0,26	0,00
52	16,61	0,17	0,00	0,00	41,15	0,00	0,03	0,06	0,19
53	18,60	0,47	0,03	0,02	45,41	0,00	0,23	0,01	0,21
54	40,48	0,34	16,64	20,61	4,14	0,19	0,00	0,57	0,00

M	W%(O)	W%(Mg)	W%(Al)	W%(Si)	W%(Ca)	W%(Ti)	W%(Mn)	W%(Fe)	W%(Sr)
55	18,16	0,06	0,13	0,13	44,27	0,02	0,17	0,31	0,15
56	16,43	0,14	0,52	0,97	36,05	0,00	0,75	0,45	0,15
57	15,05	0,14	0,02	0,16	36,76	0,00	0,05	0,22	0,07
58	16,18	0,43	0,01	0,00	39,61	0,00	0,03	0,07	0,20
59	17,51	0,09	0,00	0,03	43,46	0,00	0,16	0,00	0,14
60	17,97	0,17	0,80	1,23	39,20	0,01	0,03	0,27	0,08
61	16,22	0,13	0,04	0,03	40,03	0,00	0,11	0,20	0,00
62	17,67	0,16	0,02	0,02	43,77	0,02	0,03	0,00	0,17
63	18,17	0,04	0,22	0,34	43,85	0,00	0,08	0,10	0,06
64	17,31	0,12	0,02	0,01	42,71	0,01	0,11	0,30	0,14
65	17,15	0,11	0,31	0,50	40,37	0,00	0,07	0,26	0,12
66	16,93	0,06	0,27	0,31	40,71	0,01	0,04	0,11	0,02
67	17,50	0,12	0,60	1,05	38,98	0,00	0,11	0,23	0,12
68	17,98	0,16	0,72	1,25	39,30	0,00	0,14	0,25	0,05
69	18,42	0,11	0,87	1,36	39,51	0,11	0,20	0,43	0,03
70	18,80	0,25	1,28	2,67	35,71	0,01	0,11	0,52	0,08
71	42,38	0,34	18,03	22,00	1,76	0,17	0,01	0,86	0,00
72	18,83	0,12	0,20	3,05	37,56	0,01	0,13	0,23	0,00
73	18,17	0,09	0,03	0,01	44,81	0,01	0,16	0,30	0,21
74	18,59	0,09	0,13	0,69	43,71	0,00	0,20	0,35	0,13
75	15,25	0,08	0,31	0,39	30,73	0,01	7,34	0,20	0,05
76	16,72	0,07	0,24	0,35	39,50	0,02	0,85	0,14	0,00
77	18,33	0,17	0,01	0,04	45,27	0,00	0,15	0,10	0,08

Anhang T-5.c: Die MS-Messungen: Dörenthe 1. Die Messung 1-19 erfolgten ohne Mg. M steht für Messung. Daten in Gewichtsprozenten (W%).

M	W% (C)	W% (O)	W% (Na)	W% (Mg)	W% (Al)	W% (Si)	W% (K)	W% (Ca)	W% (Ti)	W% (Mn)	W% (Fe)
1	8,89	30,31	0,54	0,77	2,12	5,66	0,96	49,36	0,32	0,31	0,75
2	9,28	30,61	0,00	0,36	1,87	4,36	0,80	51,22	0,22	0,41	0,87
3	9,88	30,39	0,19	0,69	2,02	3,94	0,00	51,19	0,34	0,34	1,02
4	9,44	30,14	0,88	0,49	1,43	3,03	0,81	51,30	0,29	0,76	1,43
5	8,88	31,48	0,00	0,00	1,53	3,57	0,48	52,62	0,23	0,30	0,91
6	11,06	29,61	-	0,67	2,28	3,49	0,68	50,79	-	0,39	1,02
7	10,06	29,41	-	0,73	1,60	2,36	0,67	53,71	-	0,50	0,97
8	11,03	29,50	-	0,41	1,44	2,73	0,34	53,89	-	0,00	0,65
9	-	29,07	0,71	2,13	15,96	34,22	5,41	4,87	0,98	0,33	6,31
10	7,03	27,84	S* (0,23)	0,98	3,80	9,22	0,92	1,34	46,15	0,62	1,88
11	18,71	23,90	Ba* (2,04)	1,25	13,15	30,71	4,39	1,86	-	0,26	3,75
12	-	28,90	0,23	1,49	13,92	35,91	-	4,97	3,39	1,98	6,08
13	14,15	24,73	0,63	2,00	13,28	32,16	4,75	2,20	1,01	0,23	4,85
14	6,98	30,14	0,79	-	22,13	28,65	7,77	S* (0,25)	0,38	0,44	2,47

Anhang T-5.d: Die MS-Messungen: MS-Schliffes Salder 1. Daten der Gewichtsprozent (W%).

RFA-Daten

Salder

Lithologie	Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	Sum %
Kalk	S 1	10,92	0,11	2,47	0,81	0,048	0,47	46,20	0,04	0,14	0,085	0,02	0,033	0,02	38,45	99,82
Kalk	S 2	4,78	0,04	0,86	0,32	0,053	0,35	51,57	0,06	0,01	0,063	0,02	0,051	0,11	41,6	99,89
Kalk	S 3	6,03	0,04	0,92	0,66	0,043	0,34	50,59	0,02	0,04	0,060	0,84	0,092	0,05	39,89	99,61
Kalk	S 4	6,39	0,04	0,89	0,29	0,045	0,30	50,60	0,05	0,01	0,060	0,08	0,059	0,06	40,98	99,85
Kalk	S 5	6,22	0,04	0,84	0,28	0,043	0,33	50,89	0,02	0,01	0,058	0,08	0,059	0,04	40,93	99,84
Mergel//SS	S 1.1	20,01	0,24	5,10	1,76	0,040	0,73	37,37	0,10	0,45	0,137	0,02	0,027	0,12	33,71	99,81
Mergel//SS	S 2.1	30,64	0,51	9,12	2,98	0,048	1,34	26,19	0,17	1,41	0,508	0,03	0,053	0,10	26,67	99,77
Mergel//SS	S 3.1	32,74	0,52	9,52	2,81	0,024	1,38	24,52	0,22	1,50	0,460	1,31	0,067	0,18	24,43	99,68
Mergel//SS	S 4.1	28,59	0,27	10,13	1,54	0,022	1,76	25,79	0,10	0,58	0,062	0,26	0,097	0,35	30,28	99,84
Mergel//SS	S 5.1	39,33	0,34	14,32	2,13	0,014	2,47	15,00	0,17	2,00	0,149	0,06	0,062	0,33	23,44	99,81
Mergel//SS	S 7	31,26	0,53	9,41	2,54	0,024	1,29	25,80	0,15	1,84	0,436	0,90	0,002	0,19	25,38	99,75
Mergel//SS	S 8	31,67	0,42	10,35	2,52	0,030	1,28	24,88	0,13	1,77	0,098	0,07	<0,001	0,13	26,44	99,79
Mergel//SS	S 8a	26,28	0,36	8,32	2,74	0,028	1,15	29,79	0,12	1,39	0,204	0,34	<0,001	0,18	28,88	99,78
Mergel//SS	S 9	31,65	0,51	9,19	2,07	0,024	1,28	25,86	0,13	1,62	0,443	1,01	0,003	0,20	25,80	99,79
Mergel//SS	S 10a	35,58	0,33	12,59	1,93	0,014	2,22	17,93	0,09	0,59	0,066	0,79	<0,001	0,36	26,93	99,42
Mergel//SS	S 11a	32,91	0,57	9,86	2,49	0,036	1,35	24,34	0,14	1,87	0,640	0,09	<0,001	0,28	25,27	99,85
Mergel//SF	S 6	32,14	0,48	8,82	2,00	0,029	1,26	26,36	0,13	1,59	0,405	0,10	<0,001	0,18	26,31	99,81
Mergel//SF	S 7a	26,59	0,38	9,08	2,01	0,028	1,33	29,19	0,13	1,46	0,212	0,54	<0,001	0,28	28,63	99,86
Mergel//SF	S 8c	24,94	0,35	7,94	2,68	0,026	1,09	31,06	0,13	1,30	0,160	0,75	<0,001	0,16	29,24	99,82
Mergel//SF	S 9a/1	37,96	0,61	12,99	3,00	0,019	1,74	17,63	0,13	2,45	0,354	0,61	0,010	0,24	21,89	99,63
Mergel//SF	S 10	22,98	0,35	7,80	1,77	0,028	1,09	33,01	0,12	1,30	0,153	0,11	<0,001	0,19	30,93	99,83
Mergel//SF	S 11	28,91	0,49	8,57	2,06	0,034	1,26	28,10	0,14	1,60	0,518	0,41	0,007	0,21	27,50	99,81
<b>Teil 1 + 2</b>																
Lithologie	Probe	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	
Kalk	S 1	2	72	3	21	3	17	5	25	4	5	20	14	8	4	
Kalk	S 2	2	35	6	20	3	10	5	17	3	5	20	2	2	4	
Kalk	S 3	2	2115	3	20	3	3	5	23	3	5	20	3	3	4	
Kalk	S 4	2	85	3	20	3	3	5	25	3	5	21	2	4	3	
Kalk	S 5	2	95	3	20	3	5	7	21	3	5	21	3	2	3	
Mergel//SS	S 1.1	6	140	3	35	10	30	5	33	6	5	30	18	7	25	
Mergel//SS	S 2.1	7	188	5	43	33	59	5	61	11	5	42	18	13	89	
Mergel//SS	S 3.1	7	1248	3	36	30	69	6	66	13	5	36	14	13	84	
Mergel//SS	S 4.1	14	164	3	101	18	22	5	30	23	8	70	20	39	63	
Mergel//SS	S 5.1	12	81	3	102	11	21	8	39	32	15	62	7	43	94	
Mergel//SS	S 7	8	744	3	30	22	64	6	34	11	5	44	19	13	84	
Mergel//SS	S 8	5	195	3	60	12	59	5	29	13	5	31	18	12	45	
Mergel//SS	S 8a	7	232	3	56	17	64	5	44	11	7	39	18	12	55	
Mergel//SS	S 9	9	249	7	58	16	69	5	266	13	6	28	20	14	68	
Mergel//SS	S 10a	37	3425	6	150	20	11	5	18	24	10	71	2	33	109	
Mergel//SS	S 11a	4	232	3	47	33	75	7	38	11	5	43	19	17	78	
Mergel//SF	S 6	5	349	12	49	28	61	6	36	12	5	35	16	14	62	
Mergel//SF	S 7a	6	146	3	48	12	60	5	44	12	5	35	14	7	61	
Mergel//SF	S 8c	6	184	3	32	11	45	7	27	10	5	38	17	10	42	
Mergel//SF	S 9a/1	6	1857	3	46	11	90	12	45	17	5	24	20	15	79	
Mergel//SF	S 10	3	302	3	55	8	53	5	35	13	5	41	17	24	20	
Mergel//SF	S 11	3	477	3	69	18	64	5	37	10	5	31	15	14	56	

Lithologie	Probe	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
		ppm													
Kalk	S 1	4	3	20	5	2	691	5	5	3	24	8	11	23	29
Kalk	S 2	4	2	7	4	2	577	5	5	4	5	5	7	14	14
Kalk	S 3	4	2	23	4	2	732	5	5	3	21	5	7	25	18
Kalk	S 4	4	2	10	2	3	657	5	5	3	18	5	7	8	16
Kalk	S 5	4	2	28	4	2	689	5	5	3	17	5	4	8	16
Mergel//SS	S 1.1	4	27	14	6	2	585	5	5	5	49	5	9	51	47
Mergel//SS	S 2.1	15	60	12	9	2	345	5	5	3	78	11	29	133	95
Mergel//SS	S 3.1	16	65	14	10	4	463	5	5	3	94	5	29	154	103
Mergel//SS	S 4.1	13	24	7	6	5	525	5	10	3	22	5	20	206	381
Mergel//SS	S 5.1	35	82	9	5	7	246	11	22	6	36	5	32	237	535
Mergel//SS	S 7	34	92	5	10	2	464	5	5	4	105	5	25	128	97
Mergel//SS	S 8	33	90	5	10	2	580	5	5	3	74	5	20	65	68
Mergel//SS	S 8a	16	73	5	7	2	561	5	5	3	87	5	18	80	62
Mergel//SS	S 9	5	77	5	10	2	439	5	5	3	95	12	24	120	90
Mergel//SS	S 10a	37	28	5	3	6	483	13	13	7	35	5	19	328	515
Mergel//SS	S 11a	16	98	5	10	2	335	5	5	4	99	7	33	112	103
Mergel//SF	S 6	10	77	5	10	3	438	5	5	5	83	8	22	90	86
Mergel//SF	S 7a	16	71	5	11	5	500	5	5	3	78	10	17	114	66
Mergel//SF	S 8c	7	70	5	7	4	554	5	5	4	84	10	18	70	62
Mergel//SF	S 9a/1	13	123	5	13	2	346	7	8	5	131	9	27	133	105
Mergel//SF	S 10	7	71	5	5	2	585	5	5	6	70	5	22	74	144
Mergel//SF	S 11	12	87	5	11	2	349	5	5	5	76	5	26	91	88

Teil 3

Anhang T-6.a.1: Die RFA-Rohdaten der Proben aus Salder. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Lithologie	Probe	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(SO <sub>3</sub> )	(Cl)	(F)	LOI	Sum
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kalk	S1okf	64,49	0,66	14,03	4,06	0,008	1,66	1,01	0,15	2,28	0,14	<0,01	0,002	<0,02	11,26	99,76
Kalk	S2okf	66,36	0,50	11,85	3,45	0,008	1,68	1,94	0,14	1,62	0,41	0,04	0,005	<0,02	11,77	99,77
Kalk	S3okf	70,05	0,43	10,03	3,76	0,006	1,39	1,46	0,17	1,42	0,34	1,02	0,008	<0,02	8,88	98,96
Kalk	S4okf	76,30	0,39	9,09	2,22	0,008	1,15	0,92	0,17	1,26	0,11	0,06	0,004	<0,02	8,08	99,77
Kalk	S5okf	72,63	0,39	9,20	3,22	0,010	1,25	1,92	0,19	1,30	0,61	<0,01	0,009	<0,02	9,18	99,91
Mergel//SS	S1.1okf	60,37	0,76	14,81	5,07	0,010	1,67	1,11	0,18	2,41	0,12	<0,01	0,003	<0,02	13,29	99,80
Mergel//SS	S3.1okf	56,47	0,90	16,77	4,64	0,009	2,08	1,91	0,19	2,81	0,63	0,81	0,005	<0,02	12,36	99,58
Mergel//SS	S4.1okf	51,06	0,49	18,32	2,47	0,006	2,95	2,18	0,11	0,99	0,05	0,16	0,003	0,44	20,63	99,86
Mergel//SS	S5.1okf	51,64	0,45	19,06	2,87	0,006	3,14	1,54	0,17	2,42	0,12	0,07	0,003	0,35	17,93	99,77
Mergel//SS	S7okf	56,21	0,95	16,75	4,37	0,010	2,08	2,15	0,20	3,11	0,73	0,68	0,004	0,10	12,25	99,60
Mergel//SS	S8okf	55,78	0,74	18,22	4,42	0,010	2,14	1,34	0,17	2,99	0,09	<0,01	0,002	0,03	13,76	99,69
Mergel//SS	S8aokf	54,81	0,76	17,39	5,82	0,010	2,11	1,46	0,15	2,81	0,26	0,31	0,002	0,23	13,63	99,74
Mergel//SS	S9okf	58,85	0,94	16,80	3,71	0,010	2,11	1,60	0,16	3,03	0,40	0,35	0,003	0,08	11,65	99,69
Mergel//SS	S10aokf	53,81	0,49	19,41	2,67	0,004	3,15	2,52	0,11	0,77	0,07	0,71	0,002	0,38	15,10	99,19
Mergel//SS	S11aokf	58,08	1,00	17,36	4,18	0,010	2,18	1,14	0,16	3,17	0,13	<0,01	0,004	0,04	12,22	99,67
Mergel//SF	S6okf	59,41	0,89	16,09	3,65	0,010	2,08	1,80	0,19	2,86	0,46	<0,01	0,003	0,09	12,16	99,68
Mergel//SF	S7aokf	54,73	0,78	18,12	3,93	0,011	2,42	1,84	0,17	3,07	0,36	0,39	0,004	<0,02	13,86	99,68
Mergel//SF	S8cokf	56,01	0,97	16,58	4,24	0,013	2,05	2,70	0,18	3,03	1,03	0,05	0,004	0,16	12,71	99,73
Mergel//SF	S9a/1ok	54,33	0,87	18,66	4,37	0,009	2,36	1,55	0,15	3,30	0,29	0,25	0,003	0,15	13,12	99,42
Mergel//SF	S10okf	55,11	0,83	18,58	4,11	0,013	2,20	1,73	0,19	3,12	0,33	<0,01	0,004	0,07	13,38	99,67
Mergel//SF	S11okf	55,12	0,92	16,39	5,43	0,013	2,11	2,34	0,16	2,97	0,83	0,05	0,003	0,08	13,25	99,66

Teil 1

Lithologie	Probe	(As)	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb		
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Kalk	S1okf	4	247	<3	37	<3	88	11	43	18	5	52	<2	15		
Kalk	S2okf	9	196	6	38	<3	67	<5	31	16	<5	41	<2	12		
Kalk	S3okf	6	6988	<3	26	15	53	<5	12	12	<5	27	6	14		
Kalk	S4okf	4	162	<3	23	10	50	<5	13	10	<5	40	3	7		
Kalk	S5okf	7	195	<3	64	<3	57	<5	24	13	<5	55	4	13		
Mergel//SS	S1.1okf	7	275	<3	52	<3	86	7	33	20	<5	72	4	19		
Mergel//SS	S3.1okf	12	866	<3	59	20	114	9	120	23	<5	63	4	18		
Mergel//SS	S4.1okf	11	202	<3	143	8	39	<5	<10	38	16	72	<2	38		
Mergel//SS	S5.1okf	17	97	<3	119	17	31	6	19	44	19	72	4	43		
Mergel//SS	S7okf	15	1230	<3	68	19	129	8	35	22	<5	52	4	21		
Mergel//SS	S8okf	8	291	<3	61	3	108	8	21	23	<5	59	<2	14		
Mergel//SS	S8aokf	16	332	<3	58	21	108	10	42	21	<5	57	10	19		
Mergel//SS	S9okf	7	419	<3	75	8	123	7	25	24	<5	61	4	22		
Mergel//SS	S10aokf	30	5290	<3	196	16	32	<5	16	44	15	85	<2	42		
Mergel//SS	S11aokf	8	305	<3	79	12	123	9	42	23	<5	62	3	25		
Mergel//SF	S6okf	7	393	<3	92	12	102	8	46	23	6	52	3	19		
Mergel//SF	S7aokf	11	269	<3	62	9	117	6	21	23	<5	38	<2	16		
Mergel//SF	S8cokf	12	305	<3	76	22	122	7	57	23	8	64	<2	24		
Mergel//SF	S9a/1ok	8	2750	9	62	14	124	11	45	22	<5	51	<2	18		
Mergel//SF	S10okf	5	440	4	89	7	111	8	32	26	<5	63	3	46		
Mergel//SF	S11okf	14	286	8	77	13	124	10	61	24	6	62	<2	21		
Teil 2																
Lithologie	Probe	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kalk	S1okf	61	19	117	<5	12	4	77	<5	14	<3	130	<5	19	89	116
Kalk	S2okf	83	18	71	<5	10	<2	72	<5	8	<3	105	<5	22	152	85
Kalk	S3okf	52	9	76	<5	8	<2	246	<5	6	<3	96	<5	16	101	74
Kalk	S4okf	38	31	56	<5	7	3	67	<5	9	<3	86	<5	14	69	67
Kalk	S5okf	31	22	59	<5	8	<2	111	<5	9	<3	83	<5	22	87	63
Mergel//SS	S1.1okf	61	37	133	<5	16	<2	77	<5	13	<3	129	<5	7	184	114
Mergel//SS	S3.1okf	75	40	141	<5	16	3	117	<5	18	<3	173	10	31	148	144
Mergel//SS	S4.1okf	47	24	40	<5	6	13	74	14	29	<3	56	<5	23	109	619
Mergel//SS	S5.1okf	102	36	80	<5	6	14	45	13	37	<3	42	6	35	254	650
Mergel//SS	S7okf	77	61	153	<5	17	4	147	<5	16	<3	146	<5	35	119	157
Mergel//SS	S8okf	66	28	152	<5	17	<2	87	<5	16	4	150	7	19	91	108
Mergel//SS	S8aokf	110	18	150	<5	16	<2	80	<5	16	<3	176	7	22	148	117
Mergel//SS	S9okf	66	22	154	<5	15	4	100	<5	16	<3	161	<5	33	112	157
Mergel//SS	S10aokf	100	37	36	<5	4	16	175	7	31	<3	51	7	26	224	706
Mergel//SS	S11aokf	96	25	156	<5	18	4	71	<5	17	<3	166	<5	37	134	167
Mergel//SF	S6okf	95	23	148	<5	15	4	106	<5	15	<3	167	<5	33	131	152
Mergel//SF	S7aokf	64	28	166	<5	19	4	94	<5	14	<3	176	<5	26	95	131
Mergel//SF	S8cokf	114	22	148	<5	15	5	124	7	15	<3	150	7	46	166	161
Mergel//SF	S9a/1ok	96	20	171	<5	17	<2	122	<5	11	<3	178	8	28	161	147
Mergel//SF	S10okf	43	24	154	<5	18	4	106	6	18	<3	157	9	39	112	303
Mergel//SF	S11okf	118	31	160	<5	16	5	109	<5	14	4	164	<5	45	182	160
Teil 3																

Anhang T-6.a.2: Die RFA-Rohdaten aus Salder auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labiler organischer Substanz. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

**Dörenthe**

Lithologie Probe		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(SO <sub>3</sub> )	(Cl)	(F)	LOI	Sum
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kalk	D1A	8,90	0,13	3,31	0,99	0,071	0,52	46,75	0,06	0,42	0,106	0,03	0,005	0,181	38,34	99,81
Kalk	D2A	8,70	0,14	3,24	1,04	0,066	0,56	46,30	0,07	0,43	0,078	0,04	0,005	0,241	38,56	99,47
Kalk	D3A	5,98	0,08	2,24	0,74	0,083	0,43	49,09	0,05	0,26	0,073	0,03	0,004	0,120	40,19	99,37
Kalk	D4A	6,24	0,08	2,47	0,71	0,077	0,43	48,84	0,05	0,27	0,075	0,03	0,007	0,085	39,98	99,35
Kalk	D5A	6,87	0,10	2,58	1,23	0,147	0,51	48,37	0,07	0,34	0,070	0,65	0,003	0,050	38,76	99,70
Kalk	D6A	6,07	0,10	2,32	0,73	0,145	0,44	49,55	0,05	0,24	0,069	0,04	0,003	0,142	39,87	99,76
Kalk	D7A	4,16	0,06	1,40	0,60	0,122	0,35	51,04	0,05	0,15	0,068	0,03	0,004	0,121	41,30	99,47
Kalk	D8A	5,62	0,09	2,06	0,69	0,124	0,39	49,90	0,06	0,24	0,067	0,03	0,003	0,197	40,46	99,93
Kalk	D9A	4,54	0,07	1,59	0,55	0,122	0,42	50,52	0,13	0,19	0,069	0,05	0,011	0,180	41,08	99,51
Mergel/SS	D1B	22,28	0,36	8,62	2,07	0,051	0,95	33,51	0,11	1,36	0,150	0,03	0,003	0,160	30,38	100,03
Mergel/SS	D2B	16,23	0,28	6,19	1,71	0,045	0,74	39,51	0,13	0,89	0,101	0,04	0,006	0,114	34,15	100,13
Mergel/SS	D3B	28,46	0,48	11,28	2,60	0,045	1,17	26,90	0,12	1,86	0,253	0,03	0,004	0,343	26,49	100,03
Mergel/SS	D4B	38,97	0,92	20,49	3,32	0,023	1,08	13,09	0,14	2,19	0,364	0,04	0,007	0,154	18,89	99,68
Mergel/SS	D5B	23,45	0,39	9,28	2,25	0,081	1,11	31,71	0,19	1,42	0,160	0,30	0,006	0,282	29,19	99,82
Mergel/SS	D6B	23,12	0,48	9,64	2,30	0,094	0,94	31,79	0,24	1,54	0,205	0,32	0,015	0,132	29,18	100,00
Mergel/SS	D7B	27,53	0,62	11,19	2,65	0,070	1,07	27,28	0,15	1,81	0,331	0,06	0,005	0,302	26,70	99,77
Mergel/SS	D8B	22,22	0,46	8,45	2,16	0,090	0,89	33,22	0,13	1,43	0,216	0,06	0,005	0,167	30,10	99,60
Mergel/SS	D8B1	28,41	0,61	10,99	3,16	0,072	1,08	26,81	0,15	1,95	0,313	0,03	0,006	0,187	25,99	99,76
Mergel/SS	D9B	20,52	0,42	7,81	2,04	0,085	0,90	34,87	0,16	1,21	0,205	0,10	0,003	0,140	31,37	99,83
Mergel/SF	D7C	22,18	0,53	8,50	2,62	0,091	0,89	33,02	0,14	1,44	0,238	0,12	0,007	0,184	29,85	99,82
Mergel/SF	D8C	31,69	0,86	11,42	2,81	0,069	1,14	24,48	0,18	2,21	0,363	0,06	0,007	0,303	24,32	99,90
Mergel/SF	D9C	22,78	0,55	8,37	2,15	0,075	0,96	33,12	0,14	1,53	0,253	0,19	0,004	0,209	29,68	100,01
<b>Teil 1</b>																
Lithologie Probe		(As)	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Mergel/SF	D1A	3	56	9	23	9	6	6	15	3	<5	39	<2	3	10	
Mergel/SF	D2A	2	53	6	55	8	20	<5	14	6	7	28	<2	2	6	
Kalk	D3A	2	36	5	47	5	13	<5	<10	3	<5	20	<2	2	7	
Kalk	D4A	2	33	5	30	4	7	<5	11	5	9	20	<2	4	3	
Kalk	D5A	4	46	7	33	11	11	<5	13	6	6	20	<2	3	27	
Kalk	D6A	2	43	6	20	3	5	<5	<10	3	<5	29	<2	2	7	
Kalk	D7A	2	38	<3	21	3	3	6	<10	3	<5	20	<2	4	4	
Kalk	D8A	3	39	8	44	4	14	6	<10	4	<5	20	<2	4	4	
Kalk	D9A	2	32	<3	30	4	4	<5	<10	3	<5	20	<2	2	3	
Mergel/SS	D1B	3	142	<3	55	18	40	<5	21	10	<5	40	<2	7	26	
Mergel/SS	D2B	3	104	5	41	5	54	<5	11	6	<5	20	<2	7	17	
Mergel/SS	D3B	4	190	6	59	30	68	10	38	12	<5	61	<2	10	58	
Mergel/SS	D4B	9	262	7	74	22	127	12	75	20	<5	49	<2	22	63	
Mergel/SS	D5B	6	165	4	42	28	50	6	35	11	<5	41	<2	8	62	
Mergel/SS	D6B	4	352	5	30	24	58	10	26	13	8	29	<2	11	70	
Mergel/SS	D7B	5	210	5	82	14	69	9	39	13	<5	53	<2	22	69	
Mergel/SS	D8B	3	196	8	47	11	53	<5	22	13	<5	23	<2	14	50	
Mergel/SS	D8B1	5	233	4	44	6	90	10	33	14	<5	20	<2	16	55	
Mergel/SS	D9B	5	152	5	43	25	46	<5	17	12	<5	31	3	12	36	
Mergel/SF	D7C	7	242	5	47	23	62	7	25	12	7	36	<2	18	75	
Mergel/SF	D8C	8	340	<3	53	31	103	11	32	15	<5	32	<2	22	87	
Mergel/SF	D9C	5	188	4	55	14	68	<5	21	12	<5	32	3	14	43	
<b>Teil 2</b>																

Lithologie	Probe	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kalk	D1A	<4	15	25	7	<2	1181	<5	<5	<3	46	<5	19	19	38
Kalk	D2A	<4	25	<5	4	<2	1104	<5	<5	<3	18	7	17	21	42
Kalk	D3A	<4	12	<5	2	5	1190	<5	<5	<3	27	10	16	17	35
Kalk	D4A	<4	14	11	7	<2	1160	<5	<5	<3	15	<5	18	14	38
Kalk	D5A	<4	14	<5	3	<2	1242	<5	<5	<3	28	<5	18	18	38
Kalk	D6A	<4	15	<5	7	<2	1110	<5	<5	<3	23	<5	14	13	33
Kalk	D7A	<4	6	15	2	<2	1206	<5	<5	<3	13	<5	11	13	33
Kalk	D8A	<4	19	19	2	<2	1195	<5	<5	4	24	<5	9	11	34
Kalk	D9A	<4	10	<5	3	<2	1254	<5	<5	<3	21	<5	11	10	37
Mergel//SS	D1B	12	67	7	9	<2	702	<5	7	<3	83	<5	24	49	79
Mergel//SS	D2B	10	42	7	7	<2	886	<5	<5	<3	68	<5	24	38	65
Mergel//SS	D3B	12	88	<5	13	<2	513	<5	8	6	108	<5	31	67	101
Mergel//SS	D4B	23	100	<5	20	4	335	<5	17	<3	176	8	39	82	182
Mergel//SS	D5B	14	59	<5	13	<2	805	<5	<5	5	86	<5	24	55	81
Mergel//SS	D6B	14	72	6	12	3	627	<5	<5	<3	68	<5	21	56	82
Mergel//SS	D7B	18	85	<5	11	3	611	7	9	<3	90	<5	28	72	123
Mergel//SS	D8B	15	61	<5	9	<2	714	<5	<5	<3	73	7	26	56	99
Mergel//SS	D8B1	12	95	<5	11	3	590	<5	8	4	97	<5	28	65	119
Mergel//SS	D9B	5	56	<5	8	<2	708	<5	<5	4	57	<5	19	42	80
Mergel//SF	D7C	10	67	<5	8	<2	748	<5	<5	6	74	<5	29	71	116
Mergel//SF	D8C	14	105	<5	11	<2	557	<5	16	5	95	<5	32	78	157
Mergel//SF	D9C	11	72	<5	8	<2	751	<5	7	<3	71	<5	22	41	100

Teil 3

Anhang T-6.b.1: Der RFA-Rohdaten der Proben aus Dörenthe. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Lithologie	Probe	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (SO <sub>3</sub> )	(Cl)	(F)	LOI	Sum	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Kalk	D1A okf	54,82	0,76	20,47	5,81	0,011	2,08	0,72	0,17	3,18	0,276	<0,01	0,004	0,13	11,32	99,76
Kalk	D2A okf	55,27	0,89	20,13	5,87	0,010	1,97	0,71	0,17	3,37	0,268	<0,01	0,005	0,05	11,09	99,76
Kalk	D3A okf	56,88	0,87	18,60	5,98	0,010	1,78	0,88	0,51	2,98	0,417	<0,01	0,045	0,09	10,65	99,69
Kalk	D4A okf	55,28	0,70	20,80	4,91	0,010	2,02	0,75	0,20	3,00	0,287	<0,01	0,010	0,18	11,64	99,80
Kalk	D5A okf	54,11	0,77	19,54	7,68	0,012	2,08	0,50	0,34	3,20	0,217	0,67	0,013	0,19	10,48	99,81
Kalk	D6A okf	56,48	0,91	20,07	5,18	0,010	1,86	0,75	0,32	3,12	0,304	0,03	0,014	0,05	10,63	99,67
Kalk	D7A okf	55,00	0,71	20,06	5,93	0,012	2,07	0,63	0,25	3,02	0,327	<0,01	0,015	0,05	11,73	99,75
Kalk	D8A okf	56,49	0,87	19,54	5,52	0,009	1,84	0,80	0,26	3,10	0,323	<0,01	0,018	0,15	10,85	99,77
Kalk	D9A okf	56,74	0,88	19,10	6,07	0,013	1,88	0,72	0,21	2,88	0,450	0,03	0,010	0,19	10,61	99,78
Mergel//SS	D1B okf	54,67	0,88	22,01	4,86	0,011	1,92	0,38	0,29	3,49	0,125	<0,01	0,016	0,08	10,95	99,67
Mergel//SS	D2B okf	54,90	0,93	20,71	5,70	0,011	1,97	0,58	0,26	3,48	0,136	<0,01	0,009	0,05	11,04	99,73
Mergel//SS	D3B okf	56,76	1,00	21,19	4,59	0,011	1,81	0,32	0,17	3,48	0,133	<0,01	0,007	0,05	10,15	99,62
Mergel//SS	D4B okf	51,14	1,22	27,07	4,23	0,008	1,23	0,19	0,16	2,85	0,168	<0,01	0,004	0,05	11,37	99,65
Mergel//SS	D5B okf	55,78	0,94	21,66	4,57	0,012	2,02	0,44	0,27	3,75	0,110	0,09	0,005	0,05	10,06	99,70
Mergel//SS	D6B okf	56,03	1,18	21,82	4,84	0,010	1,66	0,42	0,28	3,41	0,149	0,07	0,011	0,05	9,77	99,65
Mergel//SS	D7B okf	55,37	1,27	21,72	4,98	0,009	1,67	0,52	0,22	3,55	0,218	<0,01	0,005	0,05	10,08	99,62
Mergel//SS	D8B okf	56,03	1,16	20,67	5,25	0,011	1,85	0,53	0,22	3,60	0,131	0,03	0,005	0,05	10,23	99,72
Mergel//SS	D8B1 okf	53,54	1,14	22,08	6,16	0,010	1,79	0,37	0,20	3,79	0,135	<0,01	0,004	0,19	10,30	99,71
Mergel//SS	D9B okf	56,38	1,17	20,81	5,25	0,011	1,79	0,53	0,22	3,65	0,155	0,03	0,008	0,05	9,77	99,77
Mergel//SF	D7C okf	55,57	1,35	21,00	6,10	0,010	1,67	0,26	0,24	3,51	0,159	0,03	0,007	0,14	9,56	99,60
Mergel//SF	D9C okf	56,84	1,38	20,67	4,63	0,010	1,80	0,23	0,28	3,87	0,101	0,04	0,004	0,14	9,72	99,70
Mergel//SF	D9C okf	56,84	1,38	20,67	4,63	0,010	1,80	0,23	0,28	3,87	0,101	0,04	0,004	0,14	9,72	99,70

Teil 1

		(As)	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni
Lithologie	Probe	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kalk	D1A okf	9	280	<3	125	25	110	15	33	26	<5	64	<2	18	82
Kalk	D2A okf	7	311	<3	93	4	126	19	34	29	8	66	<2	20	67
Kalk	D3A okf	12	278	5	91	7	92	11	55	26	<5	45	3	27	122
Kalk	D4A okf	7	268	4	72	27	88	11	51	26	<5	65	<2	20	78
Kalk	D5A okf	18	304	4	79	18	97	13	12	27	6	46	<2	14	194
Kalk	D6A okf	14	313	5	83	7	99	18	24	27	<5	61	<2	21	99
Kalk	D7A okf	11	263	6	84	22	92	12	32	25	<5	61	<2	18	95
Kalk	D8A okf	6	297	4	77	5	98	14	25	26	6	57	<2	28	97
Kalk	D9A okf	9	284	<3	101	4	98	17	22	25	<5	69	<2	23	95
Mergel/SS	D1B okf	9	332	7	66	17	131	17	35	28	<5	60	<2	23	68
Mergel/SS	D2B okf	13	328	4	70	9	167	16	35	28	<5	64	<2	21	73
Mergel/SS	D3B okf	4	345	5	78	14	117	12	36	29	<5	69	<2	23	70
Mergel/SS	D4B okf	9	331	6	70	26	162	13	72	25	7	49	4	31	61
Mergel/SS	D5B okf	6	355	5	83	8	117	18	10	28	<5	51	<2	21	58
Mergel/SS	D6B okf	8	515	<3	79	9	127	13	37	29	6	63	<2	26	88
Mergel/SS	D7B okf	10	395	<3	81	9	144	19	55	28	6	76	<2	39	99
Mergel/SS	D8B okf	8	365	<3	76	6	145	20	38	26	6	65	3	27	77
Mergel/SS	D8B1 okf	11	394	4	71	3	148	14	45	31	7	73	<2	33	94
Mergel/SS	D9B okf	7	382	<3	63	4	148	16	46	32	10	74	<2	32	102
Mergel/SF	D7C okf	11	425	<3	71	12	157	13	47	30	8	75	4	48	113
Mergel/SF	D9C okf	6	424	<3	76	6	164	19	53	30	13	45	<2	31	66
Mergel/SF	D9C okf	6	424	<3	76	6	164	19	53	30	13	45	<2	31	66
Teil 2															
		Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
Lithologie	Probe	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kalk	D1A okf	55	139	<5	22	44	96	<5	15	<3	181	<5	66	108	154
Kalk	D2A okf	49	156	<5	19	39	95	<5	15	<3	183	<5	37	95	156
Kalk	D3A okf	80	134	<5	12	84	97	<5	16	4	152	<5	46	147	178
Kalk	D4A okf	57	133	<5	20	45	86	<5	13	4	181	<5	42	86	146
Kalk	D5A okf	61	140	<5	18	50	97	<5	10	<3	152	<5	39	64	131
Kalk	D6A okf	58	140	<5	16	53	98	<5	13	4	139	7	40	75	152
Kalk	D7A okf	62	138	<5	22	58	78	<5	14	<3	156	<5	50	108	143
Kalk	D8A okf	65	137	<5	15	56	89	<5	16	4	138	<5	39	103	167
Kalk	D9A okf	80	123	<5	19	67	86	<5	18	4	145	<5	41	87	158
Mergel/SS	D1B okf	42	160	<5	18	5	81	7	13	<3	201	<5	24	90	161
Mergel/SS	D2B okf	61	160	<5	19	3	92	<5	18	4	221	<5	28	100	163
Mergel/SS	D3B okf	43	148	<5	20	6	81	<5	17	6	196	<5	31	82	193
Mergel/SS	D4B okf	42	133	<5	24	9	81	<5	22	4	207	<5	33	77	233
Mergel/SS	D5B okf	52	175	<5	23	5	97	<5	16	5	178	<5	27	56	161
Mergel/SS	D6B okf	53	152	<5	20	3	95	<5	17	<3	158	6	30	70	189
Mergel/SS	D7B okf	53	160	<5	20	5	96	<5	20	<3	181	<5	44	104	240
Mergel/SS	D8B okf	56	165	<5	19	5	92	<5	17	<3	161	<5	33	78	195
Mergel/SS	D8B1 okf	63	169	<5	19	7	82	<5	18	5	175	<5	27	113	200
Mergel/SS	D9B okf	51	168	<5	19	5	91	<5	24	6	152	<5	35	94	221
Mergel/SF	D7C okf	65	138	6	18	6	84	<5	19	5	167	7	35	132	261
Mergel/SF	D9C okf	109	182	6	17	12	89	<5	24	6	168	<5	21	152	218
Mergel/SF	D9C okf	109	182	6	17	12	89	<5	24	6	168	<5	21	152	218
Teil 3															

Anhang T-6.b.2: Die RFA-Rohdaten aus Dörenthe auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labiler organischer Substanz. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

## Gordoa und Urrunaga

Lithologie	Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	Sum %
Kalk	G1-0	17,51	0,11	3,12	0,80	0,009	0,78	41,02	0,70	0,35	0,031	0,16	0,051	0,179	34,98	99,80
Kalk	G1-1	15,86	0,07	1,98	0,63	0,009	0,87	43,49	0,18	0,20	0,030	0,21	0,010	0,209	36,31	100,05
Kalk	G1-2	17,39	0,10	2,95	0,74	0,010	0,87	41,23	0,21	0,30	0,033	0,27	0,013	0,335	35,23	99,67
Kalk	G1-3	21,44	0,12	3,36	0,80	0,008	0,86	38,84	0,20	0,38	0,029	0,40	0,243	0,084	33,08	99,85
Mergel	G1-4	26,26	0,20	5,33	1,13	0,009	0,91	34,36	0,27	0,69	0,030	0,19	0,007	0,249	30,24	99,87
Kalk	G2-1	17,88	0,09	2,68	0,71	0,008	0,99	41,23	0,20	0,27	0,032	0,33	0,461	<0,02	34,94	99,82
Kalk	G3-3	18,35	0,15	4,21	1,01	0,010	0,80	39,75	0,24	0,46	0,034	0,18	0,029	0,249	34,30	99,77
Mergel	Ur2-1	18,26	0,24	7,59	2,08	0,035	0,66	37,04	0,43	0,74	0,057	0,08	0,011	0,196	32,43	99,84
Kalk	Ur2-2	17,31	0,14	3,67	1,05	0,013	0,69	41,12	0,28	0,39	0,038	0,09	0,005	0,095	34,73	99,61
Mergel	Ur2-2a	22,57	0,18	4,93	1,24	0,012	0,76	37,13	0,37	0,52	0,038	0,09	0,006	0,065	31,83	99,74
Kalk	Ur2-3	15,47	0,07	2,22	0,62	0,009	0,65	43,56	0,24	0,19	0,026	0,27	0,010	0,291	36,21	99,83
Kalk	Ur2-B	16,60	0,16	4,64	1,19	0,014	0,81	40,66	0,39	0,50	0,037	0,25	1,281	0,096	34,22	100,85
Kalk	Ur2-Ba	16,92	0,16	4,42	1,21	0,012	0,83	40,74	0,32	0,51	0,036	0,25	0,004	0,269	34,22	99,90
Lithologie	Probe	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	
Kalk	G1-0	2	58	<3	36	<3	17	<5	25	3	<5	<20	<2	2	<3	
Kalk	G1-1	<2	54	<3	23	4	11	<5	<10	<3	<5	<20	<2	<2	<3	
Kalk	G1-2	5	48	5	<20	<3	15	7	<10	<3	<5	<20	<2	3	9	
Kalk	G1-3	2	50	4	<20	8	31	<5	11	5	<5	<20	<2	3	10	
Mergel	G1-4	3	78	<3	39	4	29	<5	<10	5	<5	<20	<2	4	<3	
Kalk	G2-1	<2	48	4	<20	6	19	9	<10	6	<5	<20	<2	<2	33	
Kalk	G3-3	<2	66	4	27	7	21	8	14	7	<5	25	<2	5	7	
Mergel	Ur2-1	2	113	<3	47	4	28	<5	11	9	5	<20	<2	6	13	
Kalk	Ur2-2	<2	70	7	25	<3	23	6	<10	5	<5	<20	<2	5	<3	
Mergel	Ur2-2a	4	89	3	<20	<3	39	6	<10	7	<5	<20	<2	3	<3	
Kalk	Ur2-3	4	36	5	40	5	17	<5	<10	<3	<5	<20	<2	<2	<3	
Kalk	Ur2-B	<2	76	<3	24	10	28	<5	<10	4	<5	<20	<2	4	7	
Kalk	Ur2-Ba	<2	74	<3	31	4	27	7	<10	7	<5	<20	<2	5	4	
Lithologie	Probe	Pb ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm	
Kalk	G1-0	<4	27	8	<2	4	1228	<5	<5	<3	36	<5	7	17	43	
Kalk	G1-1	<4	19	6	3	<2	1139	<5	<5	<3	6	<5	4	9	26	
Kalk	G1-2	<4	20	<5	3	<2	1085	6	<5	3	22	<5	6	12	40	
Kalk	G1-3	<4	30	<5	5	<2	1100	<5	<5	<3	32	<5	8	14	46	
Mergel	G1-4	<4	55	<5	5	<2	1022	<5	<5	6	25	<5	8	18	54	
Kalk	G2-1	<4	26	6	<2	5	1418	6	<5	<3	12	<5	6	5	41	
Kalk	G3-3	<4	30	6	4	<2	1031	<5	<5	<3	31	<5	8	13	43	
Mergel	Ur2-1	<4	50	<5	6	<2	793	<5	<5	<3	53	<5	13	28	65	
Kalk	Ur2-2	<4	29	8	5	2	1339	<5	<5	<3	43	<5	12	10	53	
Mergel	Ur2-2a	<4	44	<5	<2	3	1009	<5	<5	4	50	<5	5	16	58	
Kalk	Ur2-3	<4	12	<5	3	<2	1354	<5	<5	<3	13	<5	8	5	41	
Kalk	Ur2-B	8	32	<5	4	2	1110	<5	<5	3	35	<5	9	16	50	
Kalk	Ur2-Ba	<4	36	<5	6	<2	1105	<5	<5	4	28	<5	6	15	50	

Anhang T-6.c.1: Die RFA-Rohdaten der Proben aus Gordoa und Urrunaga. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Lithologie Probe		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(SO <sub>3</sub> )	(Cl)	(F)	LOI	Sum
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kalk	G1-0okf	67,51	0,41	11,15	2,85	0,008	1,00	4,64	0,48	1,54	0,097	0,18	0,005	0,343	9,61	99,82
Kalk	G1-1okf	73,05	0,29	9,61	2,07	0,007	0,85	0,43	0,27	1,19	0,119	0,04	0,032	0,128	11,75	99,84
Kalk	G1-2okf	63,19	0,35	9,71	2,48	0,007	0,96	8,67	0,40	1,23	0,101	0,36	0,007	0,326	12,03	99,82
Kalk	G1-3okf	74,62	0,42	11,41	2,64	0,007	0,98	0,48	0,50	1,46	0,095	0,09	0,006	0,038	7,02	99,77
Mergel	G1-4okf	71,02	0,53	13,92	2,75	0,007	1,08	0,53	0,56	1,85	0,070	0,04	0,006	<0,02	7,40	99,76
Kalk	G2-1okf	75,47	0,38	10,96	2,69	0,007	0,97	0,46	0,46	1,35	0,118	0,09	0,008	0,066	6,80	99,82
Kalk	G3-3okf	69,73	0,55	14,78	3,10	0,005	0,99	0,41	0,62	1,94	0,072	0,02	0,004	<0,02	7,56	99,79
Mergel	Ur2-1okf	54,77	0,72	22,95	6,05	0,008	1,34	0,75	1,06	2,52	0,153	<0,01	0,007	0,029	9,29	99,64
Kalk	Ur2-2okf	68,55	0,53	15,12	4,15	0,008	1,32	0,42	0,94	1,87	0,144	0,03	0,006	<0,02	6,69	99,77
Mergel	Ur2-2aokf	70,23	0,56	14,75	3,57	0,007	1,27	0,40	1,01	1,86	0,106	0,02	0,004	<0,02	5,95	99,74
Kalk	Ur2-3okf	62,92	0,29	8,56	2,57	0,008	1,09	9,30	0,80	0,90	0,106	0,66	0,006	0,341	12,19	99,75
Kalk	Ur2-Bokf	64,33	0,61	17,39	4,41	0,007	1,70	0,45	1,01	2,29	0,134	0,10	0,007	<0,02	7,25	99,70
Kalk	Ur2-Baokf	66,82	0,64	17,17	3,68	0,006	1,71	0,30	1,12	2,35	0,090	0,11	0,006	<0,02	5,77	99,77
Lithologie Probe		(As)	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Kalk	G1-0okf	6	178	<3	27	<3	57	10	<10	16	<5	<20	3	11	16	
Kalk	G1-1okf	4	130	3	20	5	42	11	<10	13	<5	<20	<2	7	10	
Kalk	G1-2okf	6	132	4	30	3	42	9	<10	14	<5	30	<2	8	12	
Kalk	G1-3okf	6	158	<3	27	6	51	14	<10	14	<5	<20	3	10	18	
Mergel	G1-4okf	7	203	<3	61	<3	69	15	<10	19	<5	40	2	13	16	
Kalk	G2-1okf	6	152	<3	20	4	55	14	<10	15	<5	<20	4	10	13	
Kalk	G3-3okf	9	207	3	45	<3	65	18	<10	21	<5	<20	<2	11	21	
Mergel	Ur2-1okf	4	306	<3	50	<3	95	22	<10	31	<5	34	<2	18	37	
Kalk	Ur2-2okf	8	247	<3	40	<3	75	16	<10	21	<5	52	<2	13	16	
Mergel	Ur2-2aokf	10	245	<3	40	<3	78	12	<10	19	<5	23	<2	12	20	
Kalk	Ur2-3okf	9	128	10	46	3	43	9	<10	11	<5	<20	2	7	15	
Kalk	Ur2-Bokf	9	268	3	31	<3	80	16	<10	25	6	36	3	15	29	
Kalk	Ur2-Baokf	4	262	<3	34	7	79	18	<10	23	<5	35	<2	16	19	
Lithologie Probe		Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Kalk	G1-0okf	22	109	<5	8	7	213	<5	11	7	78	<5	4	46	88	
Kalk	G1-1okf	21	88	<5	4	8	63	<5	8	<3	59	<5	3	26	51	
Kalk	G1-2okf	17	89	5	6	5	288	<5	7	<3	69	<5	7	34	83	
Kalk	G1-3okf	16	120	<5	7	11	82	<5	11	<3	80	<5	<3	33	92	
Mergel	G1-4okf	19	136	<5	6	8	94	<5	9	<3	80	6	6	45	110	
Kalk	G2-1okf	18	98	<5	9	9	82	<5	7	<3	63	<5	7	30	80	
Kalk	G3-3okf	20	141	<5	7	7	91	<5	13	<3	83	<5	6	47	120	
Mergel	Ur2-1okf	30	175	<5	11	16	154	9	16	4	157	<5	17	70	153	
Kalk	Ur2-2okf	22	134	<5	8	10	99	<5	12	5	129	8	8	37	119	
Mergel	Ur2-2aokf	25	123	<5	8	7	97	<5	14	5	115	<5	8	55	141	
Kalk	Ur2-3okf	15	69	<5	6	<2	346	6	<5	<3	71	<5	13	31	71	
Kalk	Ur2-Bokf	29	154	<5	10	10	100	<5	13	3	129	<5	10	62	134	
Kalk	Ur2-Baokf	26	159	<5	8	13	99	<5	9	<3	113	<5	7	39	139	

Anhang T-6.c.2: Die RFA-Rohdaten aus Gordoia und Urrunaga auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von labilen organischer Substanz. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

**Perubecken**

Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	SUM %
6-460 <2	50,78	0,29	7,10	12,78	1,735	4,91	1,63	0,43	1,06	0,63	0,21	0,025	0,062	16,85	98,49
6-675 <2	49,60	0,26	5,56	13,92	1,423	5,76	1,52	0,41	0,89	0,54	0,33	0,027	<0,02	18,23	98,47
6-755 <2	46,74	0,20	4,75	13,42	1,907	5,45	4,34	0,30	0,67	0,57	0,49	0,015	0,160	19,35	98,37
9-921 <2	55,55	0,38	9,60	9,82	0,424	3,70	1,42	0,58	1,58	0,33	0,29	0,015	<0,02	14,61	98,29
9-1100<2	53,87	0,36	9,22	9,26	0,415	3,38	2,71	0,60	1,39	0,35	0,26	0,014	0,087	16,44	98,35
9-1414<2	52,99	0,36	8,67	11,11	0,443	3,74	1,47	0,54	1,43	0,45	0,37	0,014	<0,02	16,10	97,69
141-520 <2	48,10	0,37	9,23	12,22	1,513	4,10	2,01	0,41	1,39	0,97	0,17	0,006	<0,02	17,79	98,28
141-589 <2	47,72	0,43	10,69	12,64	1,138	3,83	1,80	0,48	1,50	0,77	0,21	0,005	<0,02	16,75	97,95
141-772 <2	44,85	0,35	8,38	13,63	2,831	4,11	2,18	0,45	1,20	1,07	0,17	0,017	<0,02	18,93	98,17
141-977<2	44,99	0,31	7,48	14,21	2,392	4,77	2,05	0,34	1,05	1,00	0,18	0,012	<0,02	19,53	98,30
141-1120<2	45,05	0,27	6,30	13,79	2,309	5,26	2,21	0,34	0,91	1,03	0,30	0,008	<0,02	20,16	97,95
141-1320<2	45,03	0,23	5,13	14,89	1,676	5,53	2,78	0,29	0,76	0,67	0,47	0,010	0,102	20,69	98,26
169-791 <2	46,37	0,31	7,76	14,05	1,939	4,59	1,79	0,39	1,19	0,80	0,24	0,010	0,124	18,88	98,45
169-850 <2	46,25	0,32	7,79	14,05	2,019	4,55	1,83	0,38	1,16	0,86	0,19	0,015	<0,02	19,03	98,44
169-900 <2	45,18	0,30	7,48	14,28	2,281	4,57	1,63	0,40	1,16	0,72	0,17	0,013	<0,02	20,46	98,65
169-1005<2	45,25	0,37	7,65	12,23	4,563	4,21	2,40	0,76	1,06	1,02	0,34	0,010	<0,02	17,78	97,64
169-1075<2	46,54	0,30	6,80	14,37	1,704	5,16	1,78	0,34	1,06	0,81	0,15	0,007	<0,02	19,38	98,40
<b>Teil 1</b>															
Probe	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	
6-460 <2	9	9117	5	32	63	32	8	973	14	<5	71	4	5	835	
6-675 <2	8	9189	6	31	41	50	11	1247	13	<5	94	2	4	879	
6-755 <2	13	10229	4	<20	66	23	8	1086	13	<5	76	2	3	771	
9-921 <2	8	11790	6	52	71	41	11	788	22	<5	77	<2	4	736	
9-1100 <2	8	10445	<3	35	40	49	11	895	22	<5	50	<2	4	567	
9-1414 <2	17	16613	<3	31	38	49	13	1090	22	<5	78	<2	5	595	
141-520 <2	15	10208	4	78	83	45	13	1054	23	<5	135	2	3	699	
141-589 <2	23	13733	6	72	66	86	14	865	23	<5	126	3	4	613	
141-772 <2	26	11829	<3	65	142	30	12	1198	16	<5	156	<2	4	912	
141-977<2	15	10179	10	67	109	28	11	1035	17	<5	126	6	6	713	
141-1120<2	18	14236	10	61	87	11	8	859	12	<5	102	4	6	655	
141-1320<2	13	11795	7	52	59	20	11	748	11	<5	82	3	4	554	
169-791 <2	20	9173	<3	60	126	42	10	924	14	<5	130	2	4	687	
169-850 <2	17	9095	7	48	115	43	8	962	15	<5	128	5	6	714	
169-900 <2	23	8695	6	52	105	38	10	870	12	<5	101	4	4	634	
169-1005<2	22	15304	<3	67	174	36	11	1213	15	<5	145	7	6	964	
169-1075<2	13	10030	6	57	67	40	10	1133	17	<5	127	5	4	803	
<b>Teil 2</b>															

Probe	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
	ppm													
6-460 <2	47	41	11	25	<2	355	<5	<5	4	105	8	138	536	179
6-675 <2	57	35	6	23	3	346	<5	<5	<3	92	<5	179	706	188
6-755 <2	37	29	11	18	2	471	<5	<5	<3	93	<5	133	544	171
9-921 <2	31	64	<5	31	<2	427	<5	<5	4	105	7	95	546	174
9-1100 <2	52	59	15	33	4	430	<5	<5	<3	115	10	87	527	161
9-1414 <2	44	54	10	31	<2	530	<5	<5	<3	113	<5	144	477	228
141-520 <2	51	54	11	34	3	404	<5	<5	3	132	12	282	454	240
141-589 <2	66	60	<5	32	<2	484	<5	<5	<3	133	13	241	414	268
141-772 <2	56	50	6	33	4	517	<5	6	4	139	17	313	497	280
141-977 <2	61	46	<5	31	<2	451	<5	<5	4	126	20	295	466	244
141-1120 <2	68	35	6	22	<2	518	<5	5	3	103	14	239	427	225
141-1320 <2	53	36	<5	18	<2	420	<5	<5	4	71	7	189	401	209
169-791 <2	60	55	<5	27	4	371	<5	<5	<3	133	11	231	454	227
169-850 <2	66	54	6	28	<2	362	<5	<5	4	132	5	240	456	231
169-900 <2	56	47	8	27	3	366	<5	<5	<3	157	11	199	436	215
169-1005 <2	71	41	11	25	3	537	<5	<5	<3	131	20	306	456	242
169-1075 <2	60	43	12	27	<2	382	<5	<5	<3	100	11	264	597	233

Teil 3

Anhang T-6.d.1.1: Die RFA-Rohdaten der <2 $\mu$ -Fraktion der Proben aus dem Perubecken (Reihe 1). Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Probe	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(SO <sub>3</sub> )	(Cl)	(F)	LOI	SUM
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
6-460	46,03	0,26	5,99	8,84	1,90	3,98	1,84	6,05	1,86	0,80	1,10	0,65	0,05	19,37	98,66
6-675	43,51	0,25	5,11	10,05	1,39	4,85	1,77	6,87	1,67	0,67	1,23	1,23	0,05	20,17	98,76
6-755	39,84	0,20	4,38	9,34	2,01	4,59	5,45	6,22	1,55	0,71	1,25	1,12	0,05	22,01	98,66
9-870	49,29	0,33	8,61	6,84	0,29	3,14	1,73	6,19	2,15	0,39	1,10	0,68	0,05	17,95	98,70
9-921	26,51	0,16	4,28	2,90	0,27	1,53	2,00	2,53	0,79	0,22	0,78	1,63	0,08	29,98	99,66
9-1100	43,30	0,24	6,20	6,50	0,27	3,15	6,46	5,92	1,86	0,50	1,28	0,80	0,05	22,12	98,60
9-1390	47,02	0,30	7,27	8,38	0,35	3,41	1,91	6,06	1,96	0,54	1,37	0,72	0,05	18,66	97,96
9-1414	46,90	0,32	7,57	7,93	0,31	3,40	1,61	6,46	2,06	0,59	1,54	1,02	0,05	18,20	97,90
141-520	38,74	0,33	7,29	9,56	3,27	3,54	2,24	6,52	1,78	0,96	1,27	1,07	0,12	21,47	98,16
141-588	40,99	0,38	8,85	9,04	0,91	3,41	2,02	6,47	1,93	0,76	1,32	0,66	0,12	21,35	98,21
141-772	40,56	0,33	7,56	8,25	1,38	3,63	2,25	7,42	1,82	0,93	1,43	1,20	0,03	21,59	98,38
141-977	38,14	0,31	6,41	10,12	3,06	4,02	2,89	6,12	1,60	1,05	1,65	0,98	0,13	21,79	98,27
141-1120	45,52	0,26	7,31	7,99	2,13	3,53	2,25	6,20	2,34	0,92	1,15	0,86	0,09	17,87	98,43
141-1320	36,66	0,23	4,65	10,91	1,78	4,91	3,85	6,35	1,44	0,79	1,37	1,48	0,03	23,93	98,38
169-791	41,67	0,31	6,90	10,22	2,28	4,12	2,09	6,66	1,85	0,89	1,23	0,73	0,05	19,18	98,18
169-850	41,22	0,31	6,80	10,49	2,18	4,20	2,04	6,91	1,80	0,82	1,25	0,69	0,11	19,37	98,19
169-900	41,04	0,31	6,86	10,89	3,11	4,30	2,07	6,31	1,80	0,87	1,28	1,32	0,05	18,34	98,49
169-1005	37,22	0,30	6,07	9,85	3,74	4,15	2,31	7,25	1,62	0,94	1,30	1,00	0,21	22,46	98,41
169-1075	38,15	0,28	5,86	9,66	1,88	4,20	2,16	7,05	1,79	0,80	1,40	0,93	<0,02	24,45	98,61

Teil 1

Probe	(As)	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
6-460	9	9410	<3	54	71	28	9	410	11	<5	83	6	8	658
6-675	9	9642	<3	56	45	50	11	509	11	<5	64	3	6	653
6-755	10	10549	<3	33	72	23	11	421	8	<5	73	3	5	614
9-870	6	10073	<3	43	23	41	9	308	15	<5	45	3	6	380
9-921	4	5541	<3	39	11	19	6	160	8	<5	30	<2	2	162
9-1100	5	11014	<3	46	26	29	9	273	12	<5	36	<2	4	336
9-1390	11	15846	<3	54	39	41	10	518	15	<5	63	3	5	458
9-1414	10	17226	<3	59	25	42	11	433	14	<5	74	<2	6	395
141-520	23	14071	9	74	159	25	7	897	11	<5	125	22	12	896
141-588	16	14234	<3	64	50	63	10	439	15	<5	105	<2	2	428
141-772	12	13208	<3	62	82	30	7	637	14	<5	98	19	9	548
141-977	21	13960	13	60	138	29	7	721	7	<5	122	23	12	745
141-1120	15	12672	4	41	77	16	12	482	7	<5	90	24	8	505
141-1320	13	14735	4	34	71	16	7	534	8	<5	100	21	7	462
169-791	17	13507	5	75	129	35	8	748	10	<5	125	23	9	665
169-850	19	14032	<3	64	102	32	11	693	7	<5	93	24	10	626
169-900	21	11894	<3	60	132	41	9	562	11	<5	104	8	7	700
169-1005	17	12905	9	61	149	15	8	850	10	<5	103	20	5	767
169-1075	11	12570	<3	56	53	23	8	562	8	<5	104	<2	16	630
Teil 2														
Probe	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
6-460	<4	12	6	18	<2	357	<5	<5	<3	96	10	156	131	147
6-675	<4	11	12	17	<2	373	<5	<5	<3	73	9	183	186	155
6-755	<4	11	<5	14	<2	526	<5	<5	<3	80	5	160	104	146
9-870	<4	23	<5	23	<2	389	<5	<5	<3	66	7	98	82	140
9-921	<4	3	<5	13	4	964	<5	<5	<3	39	7	51	133	77
9-1100	<4	17	<5	18	<2	505	<5	<5	<3	72	5	107	71	118
9-1390	<4	25	<5	19	5	524	<5	<5	<3	85	6	138	110	171
9-1414	<4	26	10	22	5	552	<5	<5	<3	84	7	146	106	178
141-520	<4	37	7	24	<2	520	<5	<5	4	153	20	239	177	206
141-588	<4	36	7	24	<2	456	<5	<5	<3	140	7	195	94	181
141-772	<4	38	<5	27	<2	432	<5	<5	4	122	12	234	115	169
141-977	<4	29	<5	23	<2	488	<5	<5	<3	124	17	258	159	188
141-1120	<4	54	<5	13	<2	472	<5	<5	5	101	16	185	127	168
141-1320	<4	22	10	16	<2	506	<5	<5	4	102	22	206	143	164
169-791	<4	43	<5	23	<2	449	<5	<5	5	128	20	222	159	185
169-850	<4	36	<5	23	4	460	<5	<5	5	149	16	209	147	178
169-900	<4	24	6	21	<2	450	<5	<5	<3	130	12	222	135	188
169-1005	<4	30	<5	25	<2	487	<5	<5	4	151	12	236	177	185
169-1075	<4	21	<5	22	<2	470	<5	<5	<3	114	30	197	181	143
Teil 3														

Anhang T-6.d.1.2: Die RFA-Rohdaten der unfraktionierten Proben aus dem Perubecken (Reihe 1). Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Reihe 2

<2µ Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	Sum %	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm
9/227	53,60	0,41	11,19	7,49	0,40	2,65	3,81	0,59	1,52	0,27	0,18	<0,001	<0,02	16,15	98,26	15	11030	4	54	78	46	6
9/617	53,02	0,31	8,00	5,92	0,37	2,26	6,02	1,84	1,45	0,34	0,45	0,010	<0,02	18,31	98,30	14	11392	6	50	28	27	10
9/732	50,30	0,36	9,88	7,07	0,34	2,76	6,20	1,77	1,81	0,27	0,31	0,010	<0,02	17,57	98,65	9	7941	<3	44	52	46	<5
9/824	42,18	0,27	7,36	5,51	0,24	1,94	15,98	0,40	1,11	0,28	0,32	<0,001	0,07	22,84	98,50	11	9701	<3	30	30	39	7
9/844	29,24	0,20	5,35	4,03	0,49	1,57	27,36	0,42	0,79	0,20	0,33	<0,001	<0,02	28,87	98,87	6	6482	<3	31	26	22	7
26-4	55,27	0,39	10,75	7,12	0,79	2,26	3,09	0,53	1,40	0,29	0,50	<0,001	<0,02	15,87	98,27	12	11154	4	21	45	60	7
26 12	51,54	0,37	9,76	6,99	0,45	2,43	5,94	0,61	1,40	0,28	0,30	0,010	0,08	18,16	98,31	10	10776	<3	45	38	52	8
26/203	42,41	0,27	7,22	5,05	0,68	2,12	15,43	1,16	1,34	0,25	0,43	0,020	<0,02	22,14	98,54	6	8413	<3	50	20	44	7
26/210	39,57	0,26	7,13	4,61	0,24	1,74	18,91	0,53	1,22	0,26	0,32	0,010	0,05	23,79	98,65	7	8508	6	29	13	47	8
26/207	46,89	0,27	6,90	7,48	0,68	2,66	6,49	0,65	1,49	0,50	0,97	0,030	<0,02	22,13	97,13	10	21762	<3	69	6	37	<5
26-322	48,54	0,26	5,20	15,33	1,80	4,51	0,90	0,24	0,62	0,17	0,34	0,010	<0,02	20,78	98,70	8	7178	<3	20	21	56	<5
26-574	49,99	0,25	5,74	9,53	0,62	4,32	1,00	4,06	1,94	0,42	1,62	0,130	0,03	18,38	98,03	9	12688	4	36	47	52	6
26/698	45,64	0,24	5,99	7,96	0,97	3,19	9,12	0,60	1,67	0,57	1,33	0,020	0,14	20,04	97,48	16	18003	<3	77	17	43	<5
26-1307	37,89	0,17	4,21	10,12	1,68	4,12	13,62	0,27	0,80	0,50	0,79	<0,001	0,12	23,97	98,26	18	11172	<3	38	70	28	8
77/45	51,69	0,31	8,02	6,58	0,90	2,73	4,05	2,32	1,47	0,27	0,23	0,010	0,05	19,60	98,22	13	11783	<3	31	74	34	9
77/565	20,26	0,15	3,90	2,42	0,43	1,32	34,29	0,94	0,34	0,19	0,51	0,350	0,08	34,08	99,26	5	4287	<3	39	19	24	<5
77-975	60,49	0,25	6,25	3,83	0,43	1,90	6,78	0,71	1,05	0,28	0,94	0,010	0,07	15,46	98,44	6	10025	<3	28	42	33	7
108-537,5	45,12	0,11	2,86	15,96	1,27	6,49	1,52	1,67	1,25	0,70	1,92	0,020	0,08	18,44	97,42	16	18752	7	20	14	27	6
108/537.5	47,24	0,11	2,98	16,58	1,28	6,81	1,47	1,00	0,97	0,68	0,39	0,010	<0,02	18,90	98,45	8	9476	5	26	18	22	6
164/454.5	46,53	0,32	7,41	12,07	1,79	3,68	2,60	0,60	1,09	0,77	0,42	<0,001	0,09	20,53	97,90	22	13925	<3	43	99	42	6
169-9	55,86	0,45	11,06	6,52	0,43	2,02	2,05	0,94	1,46	0,46	0,28	0,010	<0,02	16,14	97,67	18	17112	<3	125	6	54	8
169-378	47,59	0,26	6,94	11,62	3,07	3,76	2,72	0,48	1,23	0,85	0,55	<0,001	0,11	18,59	97,77	22	14400	8	64	115	30	6
169-1236-5	43,16	0,24	5,67	12,71	1,98	4,38	5,48	0,33	0,74	0,65	1,46	0,010	0,12	20,97	97,91	24	14379	<3	30	94	39	<5
Teil 1																						

<2μ Probe	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
9/227	732	22	<5	43	20	7	522	18	51	<5	36	4	460	<5	<5	<3	143	11	66	483	138
9/617	619	17	<5	46	<2	2	531	20	49	<5	29	3	518	<5	<5	5	86	<5	76	341	122
9/732	695	21	<5	36	19	7	499	24	56	<5	31	<2	477	<5	<5	5	105	10	68	415	124
9/824	380	11	<5	45	19	4	293	13	43	<5	23	<2	774	<5	<5	<3	82	15	63	291	108
9/844	433	11	<5	20	18	4	242	34	22	12	15	<2	1025	<5	<5	<3	61	<5	46	186	97
26-4mk,	575	21	<5	49	17	6	418	40	59	6	32	<2	378	<5	<5	4	150	13	61	487	131
26 12	538	21	<5	74	21	8	387	38	47	<5	34	<2	521	<5	<5	<3	126	13	62	427	132
26/203	583	15	<5	72	21	8	557	26	37	7	23	4	783	<5	<5	4	101	10	66	350	107
26/210	405	16	<5	52	19	6	344	6	39	<5	26	<2	860	<5	<5	<3	74	7	68	304	102
26/207	878	9	<5	234	<2	15	541	46	28	<5	25	7	780	<5	16	4	174	<5	91	624	70
26-322	1128	10	<5	125	<2	18	683	55	24	<5	23	6	191	12	10	<3	99	<5	115	808	163
26-574	908	15	<5	62	19	8	1086	4	28	<5	23	3	326	<5	<5	<3	117	7	115	551	171
26/698	1049	7	<5	105	<2	16	650	45	2	<5	23	<2	890	10	9	<3	175	<5	128	535	86
26-1307	803	3	<5	53	17	8	560	32	28	<5	16	<2	815	<5	<5	<3	135	9	127	412	143
77/45	643	17	<5	62	22	8	469	4	43	<5	31	<2	502	<5	<5	<3	129	14	54	384	116
77/565	259	7	<5	59	9	6	282	15	9	16	13	<2	1215	<5	<5	6	55	12	40	234	72
77-975	433	12	<5	54	<2	6	503	22	38	<5	20	<2	505	<5	<5	4	81	<5	65	336	100
108-537,5	844	5	<5	59	27	3	580	11	28	<5	8	<2	543	<5	<5	<3	112	11	81	536	112
08/537.5	918	6	<5	78	9	3	618	12	23	7	12	<2	338	<5	<5	<3	71	9	80	581	126
164/454.5	821	10	<5	65	18	7	610	44	33	<5	24	18	442	<5	<5	<3	133	20	148	771	187
169-9	853	15	<5	113	<2	24	290	45	61	<5	30	<2	541	<5	16	14	104	6	94	538	101
169-378	985	10	<5	104	20	8	983	46	39	8	29	4	554	<5	<5	5	188	18	181	515	206
169-1236-5	861	8	<5	95	11	8	633	66	27	13	24	3	573	<5	<5	<3	147	6	171	450	183

Teil 2

Anhang T-6.d.2.1: Die RFA-Rohdaten der karbonathaltigen, fraktionierten Proben (<2μ-Fraktion) der Reihe 2 aus dem Perubecken. Die Sedimente sind ober- und unterhalb der CCD abgelagert worden. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.



<2μ "okf" Probe	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
9-617	506	22	<5	28	<2	6	385	60	46	<5	32	5	355	<5	<5	<3	97	<5	41	348	130
9-732	639	22	<5	37	<2	4	467	105	50	<5	35	39	357	<5	6	<3	104	<5	32	510	121
9-824	398	22	<5	41	12	2	306	21	40	<5	31	3	349	<5	<5	4	100	<5	32	310	130
9-844	531	20	<5	46	17	5	321	25	48	<5	28	4	422	<5	<5	6	117	<5	19	303	128
26-4	434	21	<5	55	13	2	307	28	47	<5	33	<2	290	<5	10	<3	133	7	28	402	141
26-12	521	22	<5	26	<2	2	347	38	56	<5	38	5	309	<5	<5	<3	154	9	33	421	141
26-203	800	26	<5	41	<2	3	600	30	55	<5	36	<2	310	<5	13	<3	86	4	44	477	145
26-210	380	19	<5	26	<2	6	332	15	52	<5	29	<2	460	<5	6	<3	90	<5	39	316	128
26-227	612	26	<5	31	5	9	431	21	56	<5	35	<2	305	<5	6	<3	135	<5	38	422	136
26-574	1370	21	<5	86	<2	8	1037	39	29	<5	32	3	197	<5	14	<3	104	4	107	940	218
26-698	1228	16	<5	67	22	8	728	66	37	<5	29	3	314	<5	<5	<3	143	8	89	576	202
26-1311	1183	13	<5	68	25	11	683	53	22	9	23	3	299	<5	<5	<3	210	10	130	558	174
77-45	494	20	<5	35	<2	10	357	21	39	<5	36	<2	393	<5	<5	<3	145	24	25	420	129
77-75.5	594	19	<5	50	<2	7	312	37	36	<5	30	<2	281	<5	9	<3	97	<5	59	385	117
77-289	599	25	<5	49	<2	5	319	44	48	<5	38	<2	355	<5	13	<3	79	3	51	658	142
77-454.5	375	23	<5	31	<2	4	528	19	63	<5	32	<2	348	<5	15	<3	131	3	37	457	146
77-565	679	32	<5	20	<2	9	693	128	66	<5	40	14	341	<5	16	<3	124	6	12	861	131
77-975	459	21	<5	20	<2	2	512	11	39	<5	33	<2	289	<5	12	<3	82	<5	33	444	139
77-1142	434	24	<5	37	<2	2	444	25	62	<5	36	4	298	<5	10	<3	91	4	40	393	136
77-1329	522	19	<5	34	<2	2	318	121	47	9	30	<2	237	<5	14	<3	144	3	33	311	161
108-537.5	959	9	<5	35	8	2	477	22	27	<5	12	6	215	<5	<5	4	81	14	71	553	128
164-454.5	691	17	<5	97	6	5	398	41	42	10	28	<2	368	<5	11	<3	186	15	152	307	197
169-9	451	22	<5	54	<2	3	252	84	59	7	36	<2	344	<5	13	<3	104	8	49	307	163
169-76.5	546	23	<5	44	<2	5	274	72	61	<5	36	4	342	<5	15	<3	95	3	65	301	160
169-336.5	1058	17	<5	88	3	7	759	75	36	10	31	<2	379	<5	9	<3	135	10	158	500	226
169-1236.5	920	8	<5	97	20	9	628	73	18	<5	22	<2	580	<5	<5	<3	145	15	178	444	189
169-1136.5	1397	18	<5	123	17	10	791	71	29	<5	34	<2	195	<5	7	<3	150	11	201	615	228

Teil 2

Anhang T-6.d.2.2: Die RFA-Rohdaten der fraktionierten Proben (<2μ-Fraktion) der Reihe 2 aus dem Perubecken auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von der labilen organischen Fraktion. Die Sedimente sind ober- und unterhalb der CCD abgelagert worden. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Gesamt Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	Sum %	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm
9KL/227	50,79	0,32	8,41	5,41	0,268	2,61	1,46	6,06	2,02	0,29	1,20	0,720	0,05	18,95	98,56	5	12003	<3	39	43	26	7
9KL/301	43,60	0,31	8,11	4,68	0,217	2,30	8,82	4,88	1,61	0,29	1,20	1,484	<0,02	21,53	99,03	10	8988	<3	32	17	39	<5
9KL/617	46,72	0,23	5,84	3,96	0,255	2,09	9,32	4,53	1,44	0,33	1,14	1,226	0,18	21,83	99,09	4	8786	<3	52	19	19	<5
9/732	50,61	0,31	7,79	5,95	0,302	2,91	1,80	5,82	2,00	0,36	1,17	0,674	<0,02	18,98	98,67	6	10791	<3	43	29	28	<5
9KL/824	36,33	0,23	5,69	3,84	0,177	1,90	17,22	3,97	1,12	0,27	1,05	2,244	<0,02	25,40	99,45	6	7404	<3	31	15	22	<5
9KL/844	25,00	0,17	4,30	2,89	0,359	1,51	28,45	3,03	0,74	0,21	0,78	1,997	0,17	30,03	99,63	5	5811	<3	25	25	5	<5
26KL/4	46,36	0,30	7,75	4,82	0,545	2,21	6,31	5,04	1,62	0,34	1,23	0,830	0,05	21,38	98,78	5	10091	<3	25	34	40	<5
26KL/12	42,52	0,28	7,12	4,41	0,330	2,10	10,36	4,49	1,44	0,31	1,14	0,956	<0,02	23,48	98,94	7	8936	<3	32	21	35	<5
26KL/203	41,57	0,25	6,48	4,10	0,183	2,01	13,26	4,22	1,26	0,33	1,06	1,524	0,04	22,91	99,19	4	7413	<3	41	15	40	<5
26II/210,5	41,49	0,26	6,47	4,18	0,241	1,75	17,41	1,76	1,10	0,36	0,54	0,093	0,05	23,14	98,84	3	7819	7	37	15	32	<5
26KL/565	47,24	0,24	6,10	7,73	0,505	4,00	1,37	6,85	2,00	0,44	1,26	1,598	<0,02	19,44	98,78	5	10481	<3	46	38	34	9
26/574	44,92	0,26	5,89	8,04	0,600	4,07	1,58	7,48	2,11	0,49	1,54	1,811	0,08	20,00	98,87	7	11129	<3	51	16	37	<5
26KL/698	41,05	0,29	6,64	7,87	0,957	3,56	5,57	5,92	1,67	0,65	1,31	1,182	<0,02	21,75	98,42	10	12841	<3	57	36	58	7
26/698	42,21	0,32	6,82	8,56	1,244	3,57	3,64	5,78	1,87	0,67	1,36	0,814	0,02	21,46	98,32	9	12943	<3	100	37	63	8
26/707	35,39	0,20	4,38	8,23	2,148	3,76	11,07	5,13	1,44	0,67	1,16	1,840	0,14	23,49	99,04	12	9758	<3	25	91	18	7
26KL/1304	36,94	0,21	4,63	8,61	2,015	3,97	9,56	5,60	1,48	0,67	1,24	1,860	0,02	22,22	99,01	13	9949	<3	25	82	17	<5
26/1311	32,37	0,19	4,99	3,44	0,137	1,70	21,49	3,88	0,89	0,30	1,03	2,790	0,11	26,37	99,68	5	6562	<3	25	13	25	<5
26/1324,5	51,55	0,28	7,07	5,08	0,944	2,45	3,25	5,17	1,84	0,26	1,01	0,698	<0,02	18,85	98,45	8	12402	<3	32	71	24	<5
53KL/181	54,15	0,28	7,00	5,15	0,367	2,43	1,34	5,62	1,86	0,24	1,22	0,700	0,02	18,25	98,61	5	11354	<3	58	25	19	7
77/45	41,55	0,28	7,46	4,13	0,513	2,13	11,58	4,27	1,48	0,27	1,06	1,031	<0,02	23,12	98,88	5	8792	<3	36	37	38	<5
77/75,5	39,88	0,29	7,59	4,00	0,313	2,40	12,53	4,55	1,57	0,27	1,17	1,697	<0,02	23,04	99,30	7	7559	<3	44	40	45	<5
77KL/289	53,52	0,25	5,85	3,92	0,437	2,30	4,38	5,23	1,75	0,32	1,22	1,199	0,02	18,53	98,90	3	9637	9	25	27	23	<5
77KL/454,5	52,02	0,22	5,57	3,38	0,381	2,16	6,29	4,83	1,53	0,28	1,23	1,538	<0,02	19,59	99,02	2	8927	<3	41	23	30	<5
77KL/732	43,92	0,27	6,97	4,78	0,425	2,58	9,21	4,63	1,59	0,29	1,12	1,217	<0,02	22,05	99,05	3	8019	<3	45	51	34	<5
77/965 III	30,19	0,19	4,84	3,08	0,555	1,75	23,17	3,65	0,92	0,23	0,96	2,633	0,04	27,49	99,69	2	5826	<3	46	21	25	<5
77KL/975	46,39	0,30	7,27	5,35	0,483	3,06	4,01	6,16	2,09	0,30	1,22	1,164	0,08	20,88	98,76	4	9867	<3	46	41	28	6
77KL/1142	36,04	0,27	6,90	4,88	0,224	2,31	14,08	4,99	1,46	0,31	4,03	0,981	0,06	22,40	98,94	13	8840	<3	27	22	21	7
77KL/1298	36,58	0,13	2,66	12,51	2,214	6,03	2,00	7,65	1,33	0,85	1,91	3,266	0,05	21,74	98,91	24	13313	<3	25	50	7	9
77KL/1329	39,60	0,34	7,86	8,36	2,950	3,76	2,57	6,68	1,72	1,20	1,90	1,378	0,17	19,39	97,87	14	18291	<3	53	119	21	6
77/1329	39,34	0,30	7,05	9,85	2,573	3,86	2,34	6,92	1,69	1,01	1,62	2,028	<0,02	20,00	98,58	13	12952	<3	41	122	26	<5
108/456,5	48,29	0,37	9,28	5,76	0,878	2,43	3,67	5,13	2,12	0,38	1,04	0,246	0,03	18,76	98,39	10	11962	<3	64	64	29	7
169/VEL4	46,33	0,37	9,50	5,54	1,542	2,36	3,59	5,01	1,84	0,48	1,18	0,396	<0,02	20,30	98,44	11	11237	<3	70	66	40	7
169/VEL9	45,49	0,36	9,41	5,47	1,397	2,36	4,32	5,15	1,81	0,46	1,21	0,575	0,03	20,50	98,54	12	11159	<3	54	72	27	8
169/76,5	47,70	0,40	9,84	6,28	0,382	2,76	1,67	5,76	2,06	0,56	1,27	0,440	<0,02	19,27	98,39	11	11981	<3	63	43	40	6
169KL/336,5	41,97	0,29	7,05	8,58	2,552	3,57	2,01	6,76	2,11	0,81	1,42	1,602	<0,02	19,61	98,33	12	14162	<3	51	171	25	6
169KL/376,5	45,31	0,25	7,32	7,18	5,498	2,95	1,81	5,80	2,52	0,74	1,03	1,258	0,03	16,93	98,62	16	10289	<3	74	133	15	<5
169/378III	39,17	0,34	7,91	8,90	3,660	3,52	2,33	6,09	1,82	0,99	1,66	1,278	0,09	20,40	98,16	17	15577	<3	49	115	16	7
169KL/456,5	38,11	0,26	5,82	9,53	2,403	3,91	5,52	5,74	1,54	0,92	1,48	1,759	0,03	21,56	98,58	14	13118	<3	71	118	24	<5
169/1236,6	38,11	0,26	5,82	9,53	2,403	3,91	5,52	5,74	1,54	0,92	1,48	1,759	0,03	21,56	98,58	14	13118	<3	71	118	24	<5
169/1336,5	38,98	0,22	6,12	7,06	1,928	3,23	9,70	4,86	1,83	0,76	1,33	1,759	0,03	19,92	97,73	12	11208	<3	64	76	11	6

Teil 1

Gesamt	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	
Probe	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm						
9KL/227	364	13	<5	46	<2	8	336	<4	66	<5	25	<2	413	<5	6	<3	109	<5	67	71	101	
9KL/301	428	12	<5	37	<2	5	307	<4	64	6	24	<2	520	<5	10	5	88	13	66	125	92	
9KL/617	255	11	<5	48	<2	8	337	<4	61	<5	19	3	511	6	9	6	64	10	65	96	76	
9/732	290	10	<5	58	<2	6	388	<4	57	<5	22	<2	385	<5	7	4	87	7	80	62	91	
9KL/824	215	8	<5	35	<2	8	196	<4	48	13	15	<2	651	<5	<5	<3	62	23	54	114	76	
9KL/844	246	7	<5	40	<2	8	168	<4	43	13	11	<2	908	<5	<5	<3	51	3	43	135	64	
26KL/4	222	12	6	36	<2	4	279	<4	65	7	21	<2	450	<5	11	6	107	9	67	65	92	
26KL/12	174	12	<5	44	<2	5	223	<4	66	<5	20	<2	516	<5	8	9	90	8	59	102	83	
26KL/203	252	11	<5	40	3	8	302	<4	74	9	20	<2	549	<5	7	<3	65	10	69	123	81	
26II/210,5	217	12	<5	43	<2	<2	303	<4	32	<5	20	<2	730	<5	<5	6	65	9	83	207	92	
26KL/565	646	10	<5	81	<2	11	826	<4	61	<5	20	<2	321	<5	7	6	87	3	110	249	131	
26/574	737	12	<5	68	<2	14	754	<4	36	6	22	<2	393	<5	<5	5	96	4,9	120	234	129	
26KL/698	564	11	<5	81	<2	5	619	<4	59	<5	21	<2	509	<5	9	<3	119	17	142	87	143	
26/698	516	15	<5	88	<2	14	686	<4	38	<5	20	<2	509	<5	<5	4	118	21	144	95	142	
26/707	559	5	<5	72	6	11	535	<4	38	<5	14	<2	665	<5	<5	4	120	15	148	208	128	
26KL/1304	513	4	<5	82	<2	<2	569	<4	38	<5	16	<2	653	<5	<5	7	116	22	143	148	125	
26/1311	287	8	<5	25	<2	8	178	<4	53	8	15	<2	711	<5	<5	8	53	10	54	174	65	
26/1324,5	213	14	<5	27	<2	2	393	<4	38	<5	24	<2	485	<5	<5	<3	107	15	56	28	100	
53KL/181	422	14	<5	32	<2	7	323	<4	46	<5	24	<2	440	<5	<5	4	99	8	51	91	90	
77/45	351	12	<5	38	<2	6	325	<4	61	<5	22	<2	564	<5	7	<3	103	10	51	109	81	
77/75,5	243	14	<5	25	5	5	461	<4	57	7	20	3	589	<5	8	5	103	8	57	170	92	
77KL/289	308	11	<5	51	<2	12	478	<4	33	11	21	<2	446	<5	<5	<3	79	11	72	70	89	
77KL/454,5	285	8	<5	45	<2	7	445	<4	60	<5	21	<2	429	<5	6	5	62	<5	60	110	79	
77KL/732	211	10	<5	49	<2	8	412	<4	67	<5	21	<2	467	<5	7	6	87	11	63	115	83	
77/965 III	164	7	<5	32	<2	8	207	<4	54	10	12	<2	772	<5	<5	6	44	3	40	170	67	
77KL/975	630	12	<5	46	3	10	424	<4	58	<5	22	3	421	<5	6	6	167	10	77	55	113	
77KL/1142	185	11	<5	42	22	5	204	<4	34	6	18	<2	641	<5	<5	<3	75	8	70	120	105	
77KL/1298	648	6	<5	56	5	5	574	<4	40	11	10	<2	423	<5	8	<3	88	17	111	214	101	
77KL/1329	750	12	<5	120	25	7	906	<4	33	6	25	3	549	<5	6	4	137	26	242	117	170	
77/1329	588	8	<5	98	5	12	650	<4	63	8	20	<2	415	<5	13	8	124	22	197	105	159	
108/456,5	188	16	<5	52	4	6	321	<4	58	<5	26	<2	503	<5	6	<3	116	19	85	36	122	
169/VEL4	250	15	<5	48	10	9	483	<4	73	<5	26	<2	435	<5	12	7	129	14	94	39	108	
169/VEL9	259	14	<5	67	9	7	445	<4	80	<5	26	<2	440	<5	12	6	119	14	87	38	106	
169/76,5	244	17	<5	68	3	11	303	<4	67	<5	29	3	421	<5	12	6	104	7	132	42	134	
169KL/336,5	683	12	<5	107	6	8	913	<4	60	6	23	<2	461	<5	7	5	117	19	172	135	166	
169KL/376,5	763	14	<5	90	6	7	1231	<4	58	13	16	4	443	<5	7	5	128	21	151	203	154	
169/378III	639	13	<5	101	7	9	820	<4	57	7	26	<2	499	<5	9	4	163	29	197	131	169	
169KL/456,5	514	6	<5	104	4	12	618	<4	45	11	19	<2	558	<5	6	7	121	6	226	76	170	
169/1236,6	514	6	<5	104	4	12	618	<4	45	11	19	<2	558	<5	6	7	121	6	226	76	170	
169/1336,5	312	12	<5	75	<2	8	466	<4	45	<5	12	1	702	<5	12	<3	72	15	180	63	132	

Anhang T-6.d.2.3: Die Konzentrationen der Gesamtproben (Reihe 2) aus dem Perubecken. Die Sedimente sind ober- und unterhalb der CCD abgelagert worden. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Gesamt "okf" Probe	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	(SO <sub>3</sub> ) %	(Cl) %	(F) %	LOI %	Sum %	(As) ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm															
9KL/227a	61,84	0,39	10,03	6,34	0,256	1,80	0,65	0,88	1,24	0,22	0,60	0,007	<0,02	13,70	97,95	10	14031	<3	32	33	41	7															
9KL/301a	59,83	0,43	11,04	6,39	0,261	1,93	1,14	0,94	1,34	0,32	0,49	0,002	0,03	14,02	98,16	8	12454	6	45	31	41	7															
9KL/617a	66,09	0,33	8,07	5,51	0,298	1,64	0,91	0,83	1,03	0,29	0,52	0,003	<0,02	12,70	98,22	6	12012	5	34	26	16	9															
9KL/824a	61,71	0,39	9,71	6,66	0,213	1,93	1,38	0,81	1,21	0,32	0,52	0,003	<0,02	13,37	98,22	8	12194	<3	43	19	33	10															
9KL/844a	59,28	0,40	9,81	6,85	0,342	1,98	2,37	0,85	1,22	0,35	0,53	0,003	0,05	14,11	98,13	10	13079	<3	43	12	29	7															
26KL/4a	61,69	0,40	9,96	6,12	0,286	1,73	0,90	0,85	1,19	0,34	0,55	<0,001	<0,02	14,05	98,06	8	13201	<3	52	20	37	9															
26KL/12a	61,26	0,40	10,03	6,06	0,241	1,69	0,92	1,01	1,16	0,36	0,51	0,022	0,06	14,43	98,15	8	12813	<3	44	19	42	11															
26KL/203a	63,36	0,38	9,40	6,16	0,231	1,78	0,95	0,72	1,18	0,34	0,31	0,003	<0,02	13,51	98,33	8	11120	<3	26	11	53	7															
26KL/565a	58,03	0,30	7,52	9,48	0,524	3,16	0,68	0,92	1,29	0,28	0,51	0,006	<0,02	15,23	97,93	12	12781	<3	38	38	44	<5															
26KL/698a	54,42	0,39	8,53	10,01	0,557	3,03	1,28	0,75	1,13	0,63	0,68	0,002	0,07	16,06	97,53	16	16803	4	69	26	72	9															
26KL/1304a	52,04	0,29	6,38	11,86	1,362	3,73	1,63	0,75	1,04	0,84	0,46	0,005	<0,02	17,53	97,91	17	14029	<3	45	41	16	<5															
53KL/181a	61,27	0,36	8,98	6,49	0,212	1,80	2,17	0,75	1,09	0,43	0,42	0,005	<0,02	14,32	98,29	7	11995	<3	27	6	54	6															
77KL/289a	60,89	0,43	11,09	6,19	0,399	1,88	0,91	0,82	1,34	0,22	0,55	0,006	0,03	13,35	98,10	10	13055	<3	59	29	39	7															
77KL/454.5a	59,67	0,43	11,01	5,97	0,337	2,15	1,12	1,02	1,40	0,27	0,45	0,009	0,03	14,35	98,22	6	11151	<3	29	61	51	9															
77KL/721a	61,61	0,38	9,37	7,11	0,325	2,07	0,73	0,82	1,17	0,24	0,57	0,004	<0,02	13,70	98,09	5	11430	<3	26	27	27	<5															
77KL/975a	69,13	0,30	7,05	4,39	0,302	1,48	0,64	0,74	0,92	0,20	0,50	0,003	0,04	12,59	98,28	9	12929	<3	45	28	25	7															
77KL/1142a	61,18	0,38	9,57	6,71	0,345	2,22	0,98	0,84	1,22	0,26	0,46	0,006	<0,02	14,20	98,38	6	10915	<3	60	50	26	7															
77KL/1298a	61,51	0,39	9,58	6,47	0,316	2,02	1,96	0,80	1,22	0,29	0,43	0,010	0,03	13,32	98,34	10	11461	<3	25	30	41	6															
77KL/1329a	60,82	0,39	9,40	6,90	0,317	2,18	0,80	0,85	1,20	0,21	0,54	0,003	<0,02	14,32	97,93	7	12435	<3	39	33	36	8															
108KL/537.5a	47,13	0,17	3,47	16,44	1,388	5,33	1,34	0,51	0,77	0,80	0,86	0,003	<0,02	19,32	97,52	11	17499	6	30	33	10	<5															
164KL/456.5a	50,09	0,39	8,75	12,11	1,222	2,96	1,67	0,83	1,33	1,18	0,57	0,004	0,05	16,44	97,60	21	16470	5	66	73	28	<5															
170KG/4.5a	58,45	0,47	11,58	6,58	0,526	1,79	1,01	1,07	1,47	0,52	0,49	0,008	0,07	14,01	98,04	14	13851	<3	63	34	39	10															
170KG/9a	58,43	0,47	11,67	6,50	0,476	1,75	1,07	1,02	1,47	0,52	0,43	0,002	0,04	14,15	98,00	16	14077	<3	40	34	37	11															
169KL/76.5a	57,64	0,48	11,76	7,36	0,232	2,01	1,01	1,07	1,52	0,49	0,59	<0,001	0,09	13,66	97,91	12	14551	<3	51	21	36	7															
169KL/336.5a	53,31	0,37	8,81	10,56	0,894	2,67	1,32	1,09	1,52	0,87	0,69	0,014	<0,02	15,29	97,41	18	17683	<3	66	64	16	9															
169KL/456.5a	50,30	0,44	9,98	10,85	1,276	2,73	1,65	0,90	1,30	1,11	0,69	0,004	<0,02	15,99	97,22	22	19462	<3	83	41	23	11															
169KL/1236.5a	50,30	0,35	7,52	12,26	1,190	3,41	1,77	0,85	1,23	1,09	0,73	0,006	0,04	16,80	97,54	20	17220	<3	53	49	14	9															
Teil1																																					

Gesamt "okf" Probe	Cu ppm	Ga ppm	Hf ppm	La ppm	Mo ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
9KL/227a	552	21	<5	30	24	9	345	14	38	<5	33	<2	412	<5	<5	<3	114	9	50	354	129
9KL/301a	580	21	<5	46	15	2	373	16	62	<5	31	<2	407	<5	<5	<3	119	9	73	363	134
9KL/617a	577	17	<5	57	5	2	415	24	43	<5	26	<2	350	8	<5	<3	88	10	73	333	120
9KL/824a	403	18	<5	41	7	2	295	17	61	7	29	<2	378	<5	<5	<3	113	7	69	269	128
9KL/844a	480	18	<5	51	<2	4	332	22	76	<5	28	<2	454	<5	7	<3	113	3	60	280	123
26KL/4a	407	16	<5	40	24	6	286	18	55	<5	29	3	392	<5	7	<3	129	15	60	327	124
26KL/12a	384	18	<5	35	16	2	256	19	61	<5	29	4	393	8	<5	<3	113	20	54	319	121
26KL/203a	456	17	<5	53	10	14	383	8	62	<5	28	<2	344	<5	<5	<3	105	6	74	322	126
26KL/565a	1035	17	<5	75	23	5	948	10	61	<5	25	<2	312	<5	<5	<3	100	9	93	768	174
26KL/698a	1032	18	<5	103	28	13	652	26	48	<5	28	<2	417	<5	<5	<3	137	6	140	509	204
26KL/1304a	926	9	<5	100	11	2	564	47	45	8	20	<2	362	<5	<5	<3	138	19	173	444	186
53KL/181a	518	20	<5	55	3	2	317	14	79	<5	30	3	410	<5	<5	<3	94	11	69	303	118
77KL/289a	666	23	<5	34	2	16	394	30	77	6	36	<2	422	<5	10	<3	132	13	43	372	105
77KL/454.5a	412	22	<5	53	3	2	602	11	66	<5	32	<2	390	<5	<5	5	145	13	60	460	146
77KL/721a	400	16	<5	53	2	6	458	9	41	<5	25	<2	343	<5	6	6	94	18	50	342	109
77KL/975a	502	17	<5	46	25	8	403	16	72	<5	28	<2	378	<5	<5	4	118	11	63	323	124
77KL/1142a	406	18	<5	36	21	5	476	13	49	<5	27	<2	329	<5	<5	<3	100	11	67	370	118
77KL/1298a	333	21	<5	41	<2	10	367	13	83	<5	26	<2	388	<5	<5	5	112	15	51	323	126
77KL/1329a	616	21	<5	30	6	2	443	4	69	<5	30	<2	355	<5	<5	<3	200	13	52	383	148
108KL/537.5a	846	9	<5	75	8	6	574	23	47	12	11	<2	432	<5	<5	<3	98	24	122	517	134
164KL/456.5a	754	11	<5	121	24	9	524	45	66	6	28	<2	393	<5	<5	<3	150	11	212	343	212
170KG/4.5a	353	19	<5	37	22	2	268	25	81	<5	33	<2	415	<5	6	<3	132	24	75	256	141
170KG/9a	349	22	<5	68	26	7	266	17	74	<5	33	<2	411	<5	6	4	126	13	78	257	139
169KL/76.5a	487	23	<5	70	24	6	300	36	92	7	36	<2	441	<5	<5	4	134	10	106	264	169
169KL/336.5a	831	15	<5	97	33	12	716	43	52	11	28	6	440	<5	7	5	148	17	172	429	218
169KL/456.5a	750	16	<5	89	28	8	549	34	68	14	32	4	470	<5	<5	<3	173	19	196	342	221
169KL/1236.5a	797	9	<5	144	26	12	529	51	69	<5	25	<2	435	<5	<5	<3	132	11	239	350	231

Teil 2

Anhang T-6.d.2.4: Die Konzentrationen der Gesamtproben (Reihe 2) aus dem Perubecken auf karbonatfreier Basis. Die Proben sind frei von der labilen organischen Fraktion. Die Sedimente sind ober- und unterhalb der CCD abgelagert worden. Elemente mit dem Index „<“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

CIA- Index anhand von RFA-Daten

Salder		N-Spanien		Perubecken; <2μ-Fraktion		Perubecken; Gesamtprobe	
CIA-Index		CIA-Index		Reihe 1	CIA-Index	Reihe 1	CIA-Index
Salder1okf	80,31	G1-0okf	81,79	6-460 <2	69,52	6-460 Ges	38,06
Salder2okf	76,21	G1-1okf	83,58	6-675 <2	66,32	6-675 Ges	33,14
Salder3okf	76,68	G1-2okf	82,27	6-755 <2	47,21	6-755 Ges	31,46
Salder4okf	79,46	G1-3okf	82,37	9-921 <2	72,84	9-870 Ges	46,09
Salder5okf	72,96	G1-4okf	82,55	9-1100<2	66,26	9-1100 Ges	39,36
Sald1.1okf	80,01	G2-1okf	82,86	9-1414<2	71,62	9-1390 Ges	42,27
Sald3.1okf	77,35	G3-3okf	83,24	141-520<2	70,80	9-1414 Ges	42,77
Sald4.1okf	84,81	Ur2-1okf	84,15	141-589<2	73,90	141-520 Ges	40,89
Sald5.1okf	82,19	Ur2-2okf	82,43	141-772<2	68,64	141-588 Ges	45,93
P 7okf	75,42	Ur2-2aokf	81,85	141-977<2	68,53	141-772 Ges	39,69
P 8okf	80,19	Ur2-3okf	79,81	141-1120<2	64,50	141-977Ges	37,66
P 8aokf	79,73	Ur2-Bokf	82,23	141-1320<2	57,22	141-1120 Ges	40,39
P 9okf	77,81	Ur2-Baokf	82,02	169-791 <2	69,72	141-1320 Ges	28,55
P 10aokf	85,09			169-850 <2	69,83	169-791Ges	39,43
P 11aokf	79,52			169-900 <2	70,12	169-850 Ges	38,75
P 6okf	76,84			169-1005<2	64,47	169-900 Ges	40,26
P 7aokf	78,10			169-1075<2	68,14	169-1005 Ges	35,19
P 8cokf	73,72					169-1075 Ges	34,76
P 9a/1okf	78,87						
P 10okf	78,66						
P 11okf	74,98						
Dörenthe				Perubecken; <2μ-Fraktion		Perubecken; Gesamtprobe	
CIA-Index				Reihe 2	CIA-Index	Reihe 2	CIA-Index
D1A okf	83,40			9-617	69,90	9KL/227a	78,36
D2A okf	82,57			9-732	79,39	9KL/301a	76,35
D3A okf	80,98			9-824	78,54	9KL/617a	74,45
D4A okf	84,03			9-844	76,94	9KL/824a	74,07
D5A okf	82,85			26-4	80,98	9KL/844a	75,87
D6A okf	82,73			26-12	75,57	26KL/4a	77,21
D7A okf	83,71			26-203	76,63	26KL/12a	76,45
D8A okf	82,44			26-210	76,61	26KL/203a	76,73
D9A okf	83,37			26-227	77,56	26KL/565a	72,24
D1B okf	84,12			26-574	83,20	26KL/698a	72,97
D2B okf	82,73			26-698	72,91	26KL/1304a	65,10
D3B okf	84,22			26-1311	70,42	53KL/181a	75,65
D4B okf	89,43			77-45	76,13	77KL/289a	78,32
D5B okf	82,94			77-75.5	80,88	77KL/454.5a	75,67
D6B okf	84,16			77-289	75,40	77KL/721a	77,50
D7B okf	83,49			77-454.5	75,65	77KL/975a	75,40
D8B okf	82,61			77-565	76,25	77KL/1142a	75,89
D8B1 okf	83,50			77-975	80,49	77KL/1298a	70,65
D9B okf	82,56			77-1142	78,71	77KL/1329a	76,73
D7C okf	83,97			77-1329	80,90	108KL/537.5a	56,98
D9C okf	82,53			108-537.5	67,87	164KL/456.5a	69,55
				164-454.5	79,94	170KG/4.5a	76,54
				169-9	81,85	170KG/9a	76,63
				169-76.5	80,04	169KL/76.5a	76,56
				169-336.5	80,18	169KL/336.5a	69,15
				169-1236.5	78,12	169KL/456.5a	72,16
				169-1136.5	82,00	169KL/1236,5a	66,14

Anhang T-7: Die Liste der CIA-Indizes (Chemical Index of Alteration) nach Nesbitt & Young (1983). Die Proben wurden auf karbonatfreier Basis abzüglich des an Apatit gebundenen CaO-Anteils verglichen.

**Sr/CaCO<sub>3</sub>**

<b>Salder</b>				<b>N-Spanien: Gordoia (G); Urrunaga (U)</b>			
Probe	CaCO <sub>3</sub> (%)	Sr (ppm)	Sr/CaCO <sub>3</sub>	Probe	CaCO <sub>3</sub> (%)	Sr (ppm)	Sr/CaCO <sub>3</sub>
S 1	83,43	691	8,28	G1-0	75,75	1228	16,21
S 2	91,13	577	6,33	G1-1	74,17	1139	15,36
S 3	85,65	732	8,55	G1-2	76,25	1085	14,23
S 4	89,68	657	7,33	G1-3	72,45	1100	15,18
S 5	91,70	689	7,51	G1-4	61,05	1022	16,74
S 1.1	66,70	585	8,77	G2-1	75,45	1418	18,79
S 2.1	46,90	345	7,36	G3-3	76,85	1031	13,42
S 3.1	41,10	463	11,27	Ur2-1	66,45	793	11,93
S 4.1	43,85	525	11,97	Ur2-2	75,20	1339	17,81
S 5.1	24,10	246	10,21	Ur2-2a	67,20	1009	15,01
S 6	45,15	438	9,70	Ur2-3	78,95	1354	17,15
S 7	44,15	464	10,51	Ur2-B	72,60	1110	15,29
S 8	43,40	580	13,36	Ur2-Ba	73,05	1105	15,13
S 8a	53,70	561	10,45				
S 9	32,40	439	13,55				
S 10a	28,75	483	16,80				
S 11a	42,35	335	7,91				
S 7a	52,40	500	9,54				
S 8c	54,95	554	10,08				
S 9a/1	43,85	346	7,89				
S 10	59,35	585	9,86				
S 11	48,45	349	7,20				
<b>Dörenthe</b>				<b>Karbonathaltige Proben aus dem Perubecken (Reihe 2)</b>			
Probe	CaCO <sub>3</sub> (%)	Sr (ppm)	Sr/CaCO <sub>3</sub>	Probe	CaCO <sub>3</sub> (%)	Sr (ppm)	Sr/CaCO <sub>3</sub>
D1A	83,50	1181	14,14	9KL/227	7,48	413	55,21
D2A	84,90	1104	13,00	9KL/301	15,60	520	33,33
D3A	91,30	1190	13,03	9KL/617	11,74	511	43,53
D4A	91,00	1160	12,75	9KL/824	34,34	651	18,96
D5A	88,20	1242	14,08	9KL/844	39,42	908	23,03
D6A	90,90	1110	12,21	26KL/4	12,01	450	37,47
D7A	94,00	1206	12,83	26KL/12	6,32	516	81,65
D8A	89,05	1195	13,42	26KL/203	16,70	549	32,87
D9A	94,30	1254	13,30	26KL/210.5	47,00	730	15,53
D1B	57,00	702	12,32	26KL/565	0,62	321	517,74
D2B	68,70	886	12,90	26/574	0,21	393	1871,43
D3B	46,00	513	11,15	26KL/698	7,70	509	66,10
D4B	20,60	335	16,26	26/707	3,96	509	128,54
D5B	56,00	805	14,38	26KL/1304	12,46	665	53,37
D6B	56,40	627	11,12	26/1311	18,20	653	35,88
D7B	48,00	611	12,73	53KL/181	26,74	711	26,59
D8B	57,45	714	12,43	77/45	1,27	485	381,89
D8B1	46,35	590	12,73	77/75.5	0,40	440	1100,00
D9B	60,50	708	11,70	77KL/289	21,24	564	26,55
D7C	58,80	748	12,72	77KL/454.5	23,73	589	24,82
D8C	42,50	557	13,11	77/965 III	9,09	446	49,06
D9C	58,53	751	12,83	77KL/975	9,09	429	47,19
				77KL/1142	12,49	467	37,39
				77KL/1298	54,09	772	14,27
				77KL/1329	9,45	421	44,55
				108/456.5	22,52	641	28,46
				169VEL/4	4,40	503	114,32
				170KG/4.5	4,40	435	98,86
				170KG/9	6,92	440	63,58
				169/378III	3,48	443	127,30
				169KL/456.4	3,94	499	126,65
				169KL/1236.5	5,00	558	111,60

Anhang T-8: Vergleich der Sr/CaCO<sub>3</sub>-Verhältnisse in den verschiedenen Arbeitsgebieten. Die Daten basieren auf RFA-Messungen.

## Opalanteil

Reihe 1	Opal / SSi	Reihe 2	Opal / SSi	Reihe 2	Opal / SSi
Gesamt	in %	karbonatfrei	in %	mit Karbonat	In %
6-460 GES	60,96	9KL/227a	51,34	9KL/227	50,32
6-675 GES	64,77	9KL/301a	44,64	9KL/301	44,20
6-755 GES	67,02	9KL/617a	63,37	9KL/617	62,50
9-870 GES	47,60	9KL/824a	52,80	9KL/732	53,82
9-921 GES	51,57	9KL/844a	50,35	9KL/824	53,01
9-1100 GES	57,04	26KL/4a	51,56	9KL/844	48,40
9-1390 GES	53,62	26KL/12a	50,88	26KL/4	49,85
9-1414 GES	51,58	26KL/203a	55,49	26KL/12	49,76
141-520 GES	43,55	26KL/565a	61,12	26KL/203	53,24
141-588 GES	35,23	26KL/698a	52,98	26II/210.5	53,22
141-772 GES	44,08	26KL/1304a	63,22	26KL/565	61,26
141-977 GES	49,58	53KL/181a	56,03	26/574	60,66
141-1120 GES	51,82	77KL/289a	45,36	26KL/698	51,47
141-1320 GES	61,95	77KL/454.5a	44,65	26/707	51,53
169-791 GES	50,32	77KL/721a	54,37	26KL/1304	62,87
169-850 GES	50,51	77KL/975a	69,41	26/1311	62,40
169-900 GES	49,85	77KL/1142a	53,07	53KL/181	53,75
169-1005 GES	51,07	77KL/1298a	53,28	77/45	58,86
169-1075 GES	53,92	77KL/1329a	53,63	77/75.5	61,22
		108KL/537.5a	77,91	77KL/289	46,14
		164KL/456.5a	47,59	77KL/454.5	42,90
		170KG/4.5a	40,56	77/965 III	67,21
		170KG/9a	40,08	77KL/975	67,88
		169KL/76.5a	38,79	77KL/1142	52,39
		169KL/336.5a	50,42	77KL/1298	51,90
		169KL/456.5a	40,48	77KL/1329	52,99
		169KL/1236.5a	55,15	108/456.5	42,56
				108KL/537.5	78,18
				164/356.5	40,45
				164KL/456.5	46,24
				169VEL/4	42,35
				170KG/4.5	38,48
				170KG/9	37,94
				169KL/76.5	38,11
				169KL/336.5	49,61
				169/378III	51,53
				169KL/456.4	39,42
				169KL/1236.5	54,19
				169/1136,5	54,07
				169/1236,6	53,99
				169/1336,5	52,90
Reihe 1	Opal / SSi				
<2 $\mu$ -Fraktion	in %				
6-460 <2	58,05				
6-675 <2	66,37				
6-755 <2	69,51				
9-921 <2	48,15				
9-1100<2	48,65				
9-1414<2	50,92				
141-520<2	42,43				
141-589<2	32,80				
141-772<2	43,95				
141-977<2	50,12				
141-1120<2	58,05				
141-1320<2	65,82				
169-791 <2	49,80				
169-850 <2	49,47				
169-900 <2	50,33				
169-1005<2	49,28				
169-1075<2	56,17				

Anhang T-9: Der normativ bestimmte Anteil an Opal am Gesamtsilizium nach Boström (1973). Die Berechnung beruht auf den RFA-Rohdaten der Lockersedimente (Reihe1 und 2) aus dem Perubcken.

## Abgrenzung des hydrothermalen Einflusses

Probe	Al/ Al+Mn+Fe	Probe	Al/ Al+Mn+Fe
6-460 Ges	0,293	6-460 <2	0,328
6-675 Ges	0,250	6-675 <2	0,266
6-755 Ges	0,223	6-755 <2	0,237
9-870 Ges	0,476	9-921 <2	0,484
9-921 Ges	0,503	9-1100<2	0,488
9-1100 Ges	0,408	9-1414<2	0,429
9-1390 Ges	0,386	141-520<2	0,402
9-1414 Ges	0,409	141-589<2	0,437
141-520 Ges	0,295	141-772<2	0,337
141-588 Ges	0,400	141-977<2	0,311
141-772 Ges	0,369	141-1120<2	0,281
141-977 Ges	0,264	141-1320<2	0,236
141-1120 Ges	0,348	169-791 <2	0,327
141-1320 Ges	0,215	169-850 <2	0,327
169-791 Ges	0,291	169-900 <2	0,311
169-850 Ges	0,285	169-1005<2	0,313
169-900 Ges	0,266	169-1075<2	0,297
169-1005 Ges	0,247		
169-1075 Ges	0,274		

Anhang T-10: Abgrenzung des hydrothermalen Einflußfaktors der untersuchten Sedimente der Reihe 1 aus dem Perubecken. Ges= Gesamtproben; <2= <2 $\mu$ -Fraktion der Probe.

## Fraktionierungen der Festgesteinsproben

	Originalproben			Residualproben		
	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>
<b>Schichtparallele</b> <b>Mergel</b> //SS Salder	1,06	0,56	1,69	0,63	0,51	1,52
„Diagenetische“ <b>Mergel</b> //SF Salder	0,96	0,53	1,66	0,51	0,47	1,62
<b>Schichtparallele</b> <b>Mergel</b> //SS Dörenthe	0,75	0,50	1,94	0,61	0,58	1,35
„Diagenetische“ <b>Mergel</b> //SF Dörenthe	0,76	0,55	1,83	0,66	0,56	1,43
<b>Kalk</b> Gordoia	0,17	0,28	1,71	0,73	0,81	5,19
<b>Mergel</b> Gordoia	0,15	0,31	1,58	0,79	0,90	4,03
<b>Kalk</b> Urrunaga	0,16	0,27	1,72	0,79	0,81	5,49
<b>Mergel</b> Urrunaga	0,17	0,30	1,59	0,88	0,93	5,23

Anhang T-11: Die Liste der gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Festgesteinsproben zu Lösungsweg 1 und 2. Die Daten basieren auf ICP-MS-Messungen an den Originalproben sowie an den karbonat- und organikfreien Proben aus der Salder, Dörenthe, Gordoia und Urrunaga.

	Originalproben			Residualproben		
	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>
<b>Gordoia</b>	0,95	0,81	1,33	1,08	1,39	0,89
<b>Urrunaga</b>	0,95	0,81	1,33	1,19	1,38	0,98
	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>
<b>Gordoia</b>	0,15	0,28	1,69	0,79	0,83	5,02
<b>Urrunaga</b>	0,16	0,28	1,68	0,84	0,84	5,40

Anhang T-12: Die Liste der gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten (Taylor & McLennan, 1981) Festgesteinsproben zu Lösungsweg 2 für den Vergleich der spanischen Arbeitsgebiete Gordoia und Urrunaga. Die Daten basieren auf ICP-MS-Messungen an den Originalproben und an den karbonat- und organikfreien Residuen.

		Originalproben							
		SREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	
Nord	<2μ	6KL	47,12	0,32	0,26	1,07	0,40	0,90	0,74
		9KL	42,51	0,39	0,27	1,25	0,42	0,72	0,86
Süd	<2μ	141KL	84,72	0,33	0,26	1,09	0,40	1,39	0,75
		169KL	81,77	0,33	0,26	1,10	0,40	1,36	0,77
Nord	GESSF	6KL	30,53	0,39	0,33	1,07	0,51	1,13	0,73
		9KL	19,50	0,52	0,35	1,26	0,56	0,93	0,80
Süd	GESSF	141KL	35,79	0,39	0,33	1,05	0,48	1,08	0,70
		169KL	36,69	0,41	0,33	1,11	0,52	1,08	0,75
Nord	GES	6KL	56,06	0,31	0,27	1,06	0,41	0,92	0,78
		9KL	43,32	0,35	0,28	1,15	0,41	0,76	0,84
Süd	GES	141KL	80,19	0,32	0,27	1,07	0,41	0,88	0,79
		169KL	73,77	0,31	0,27	1,08	0,40	0,84	0,79
Nord	GAD	6KL	243,62	0,26	0,22	1,02	0,33	0,84	0,45
		9KL	202,56	0,29	0,23	1,10	0,30	0,62	0,38
Süd	GAD	141KL	358,93	0,26	0,21	1,01	0,29	0,72	0,40
		169KL	338,70	0,25	0,21	1,03	0,31	0,74	0,41

Anhang T-13: Die gemittelten REE-Fraktionierungen der „UC“-normierten“ (Taylor & McLennan, 1981) Lockersedimentdaten (Reihe 1) zu Lösungsweg 2. Die Proben sind unterhalb der CCD abgelagert worden. Die Probensätze <2μ-Fraktion und GESSF (salzfreie Gesamtproben) sind salzfrei und die Probensätze GES (Gesamtproben) und GAD (Eluate der adsorptiv gebundenen Ionen) sind salzhaltig. Die Daten basieren auf ICP-MS-Messungen.

### Die REE-Verhältnisse der Festgesteinsproben

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
S7	12,37	5,15	7,22	0,71	1,10	0,87	1,51	0,54	1,79	0,70	0,94
S8	11,60	5,06	6,54	0,77	1,12	0,95	1,27	0,62	1,65	0,84	1,01
S8a	9,59	3,98	5,60	0,71	1,02	0,89	1,28	0,57	1,62	0,72	0,97
S9a/1	12,84	5,27	7,56	0,70	1,00	0,87	1,32	0,56	1,63	0,74	0,93
S10a	21,87	11,63	10,24	1,14	2,16	0,73	2,67	0,79	2,89	1,06	0,51
S11a	13,79	5,64	8,15	0,69	1,04	0,82	1,48	0,51	1,78	0,72	1,01
S7a	9,99	4,14	5,85	0,71	0,96	0,81	1,33	0,55	1,65	0,73	0,96
S8c	8,89	3,66	5,22	0,70	0,98	0,91	1,17	0,58	1,52	0,72	0,96
S9	11,42	4,70	6,71	0,70	0,99	0,77	1,47	0,51	1,80	0,72	0,96
S10	12,30	4,60	7,69	0,60	0,86	0,80	1,28	0,51	1,56	0,78	0,77
S11	11,29	4,59	6,70	0,68	1,00	0,81	1,47	0,51	1,77	0,72	0,98

Anhang T-14: Die REE-Daten der Mergelproben<sub>//SS</sub> und Mergelproben<sub>//SF</sub> aus Salder. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
S7okf	16,56	6,42	10,15	0,63	0,84	0,71	1,37	0,46	1,70	0,61	0,94
S8okf	12,40	5,04	7,36	0,69	0,85	0,87	1,02	0,58	1,44	0,81	1,00
S8a okf	12,40	4,86	7,55	0,64	0,80	0,81	1,08	0,52	1,47	0,70	1,01
S9a/1 okf	12,29	4,36	7,92	0,55	0,75	0,74	1,11	0,52	1,37	0,61	0,52
S10a okf	22,47	11,45	11,02	1,04	2,04	0,71	2,70	0,73	2,84	0,81	0,43
S11a okf	15,76	6,09	9,67	0,63	0,87	0,79	1,29	0,48	1,62	0,58	1,01
S7a okf	13,23	5,21	8,02	0,65	0,80	0,71	1,21	0,49	1,58	0,63	1,00
S8c okf	19,28	7,34	11,94	0,61	0,84	0,71	1,44	0,44	1,73	0,61	0,96
S9 okf	16,39	6,46	9,93	0,65	0,86	0,73	1,30	0,48	1,68	0,64	0,96
S10 okf	17,81	6,02	11,78	0,51	0,62	0,70	1,04	0,44	1,40	0,65	0,82
S11okf	18,44	7,14	11,29	0,63	0,89	0,73	1,43	0,46	1,74	0,64	0,99

Anhang T-15: Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Mergelproben<sub>//SS</sub> und Mergelproben<sub>//SF</sub> aus Salder. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
D7B	14,69	7,08	9,49	0,75	0,97	0,68	1,56	0,50	1,95	0,72	1,04
D8B	11,39	5,50	7,38	0,74	0,98	0,75	1,46	0,51	1,91	0,72	1,06
D9B	9,34	4,57	5,98	0,76	1,03	0,72	1,58	0,51	1,97	0,67	1,06
D7C	11,53	5,68	7,50	0,76	1,12	0,87	1,49	0,57	1,80	0,76	1,03
D8C	14,87	7,16	9,71	0,74	1,03	0,80	1,42	0,54	1,77	0,74	1,04
D9C	9,94	4,97	6,33	0,79	1,09	0,78	1,52	0,54	1,92	0,70	1,04

Anhang T-16: Die REE-Daten der Mergelproben<sub>//SS</sub> und Mergelproben<sub>//SF</sub> aus Dörenthe. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
D7B okf	16,92	6,27	10,66	0,59	0,53	0,52	1,11	0,56	1,29	0,72	1,07
D8B okf	12,58	4,94	7,64	0,65	0,62	0,56	1,14	0,55	1,49	0,72	1,06
D9B okf	12,73	4,71	8,01	0,59	0,56	0,58	1,07	0,63	1,27	0,73	1,07
D7C okf	12,82	4,73	8,09	0,58	0,57	0,62	0,98	0,64	1,30	0,66	1,03
D8C okf	17,09	7,30	9,79	0,75	1,00	0,79	1,41	0,71	1,34	0,74	1,04
D9C okf	10,53	4,14	6,39	0,65	0,64	0,70	0,94	0,63	1,63	0,79	1,05

Anhang T-17: Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Mergelproben<sub>//SS</sub> und Mergelproben<sub>//SF</sub> aus Dörenthe. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
G1-0	3,06	1,23	8,20	0,15	0,89	0,79	1,27	0,28	1,65	0,89	0,94
G1-1	2,50	1,01	6,99	0,14	0,95	0,81	1,42	0,27	1,77	0,85	0,91
G1-2	2,89	1,15	7,81	0,15	0,93	0,79	1,40	0,27	1,72	0,87	0,92
G1-3	3,25	1,30	8,59	0,15	0,89	0,79	1,27	0,28	1,66	0,89	0,94
G1-4	4,18	1,75	10,51	0,17	1,05	0,95	1,19	0,31	1,58	0,88	0,96
G2-1	2,53	1,03	7,10	0,14	0,99	0,78	1,44	0,27	1,75	0,89	0,94
G3-3	3,82	1,56	9,79	0,16	0,96	0,77	1,33	0,28	1,71	0,89	0,97

Anhang T-18: Die REE-Daten der Mergelproben<sub>//SS</sub> und Mergelproben<sub>//SF</sub> aus Gordoia. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
G1-0 okf	6,73	2,82	3,91	0,72	1,09	1,18	0,92	0,70	5,32	0,87	0,91
G1-1 okf	3,78	1,75	2,03	0,86	1,47	1,50	0,98	0,92	5,11	0,90	0,79
G1-2 okf	7,15	3,04	4,11	0,74	1,08	1,06	1,02	0,68	5,73	0,90	0,88
G1-3 okf	6,03	2,59	3,44	0,75	1,10	1,27	0,87	0,77	4,98	0,87	0,93
G1-4 okf	4,46	1,88	2,58	0,73	1,11	1,73	0,64	0,90	4,03	0,82	0,89
G2-1 okf	6,14	2,74	3,39	0,81	1,20	1,19	1,01	0,76	5,56	0,91	0,94
G3-3 okf	5,53	2,59	2,93	0,88	1,42	1,79	0,79	1,05	4,42	0,91	0,87

Anhang T-19: Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Proben aus Goroda. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
Ur2-1	6,25	2,46	14,78	0,17	0,93	0,90	1,22	0,28	1,56	0,84	0,92
Ur2-2	4,29	1,77	10,70	0,17	1,01	0,80	1,46	0,28	1,80	0,84	0,93
Ur2-2a	4,40	1,88	10,96	0,17	1,09	0,95	1,23	0,32	1,62	0,88	0,97
Ur2-3	2,52	1,02	7,08	0,14	0,98	0,73	1,50	0,27	1,75	0,89	0,95
Ur2-Ba	4,13	1,67	10,32	0,16	0,88	0,79	1,26	0,27	1,70	0,82	0,94
Ur2-B	3,99	1,57	9,96	0,16	0,83	0,72	1,29	0,26	1,64	0,76	0,95

Anhang T-20: REE-Daten der Proben aus Urrunaga. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
Ur2-1 okf	8,63	3,79	4,83	0,78	1,25	1,40	0,89	0,83	5,05	0,83	0,88
Ur2-2 okf	7,93	3,76	4,17	0,90	1,46	1,44	1,01	0,90	5,48	0,92	0,91
Ur2-2a okf	7,56	3,75	3,81	0,98	1,70	1,74	0,98	1,03	5,41	0,92	0,90
Ur2-3 okf	8,51	3,67	4,84	0,76	1,09	0,88	1,24	0,62	6,65	0,96	0,87
Ur2-Ba okf	8,27	3,82	4,45	0,86	1,37	1,45	0,95	0,89	5,12	0,89	0,89
Ur2-B okf	5,73	2,42	3,31	0,73	1,06	1,35	0,79	0,78	4,69	0,75	0,92

Anhang T-21: Die REE-Daten der kalkfreien Residuale der Proben aus Urrunaga. Die Proben sind frei von der labilen organischen Substanz. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“- Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

### Die REE-Verhältnisse der Lockersedimentproben

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*	
6-460	<2μ	46,04	11,40	34,64	0,33	0,38	0,82	0,75	0,26	0,90	0,27	1,34
6-675	<2μ	52,87	12,41	40,46	0,31	0,40	0,90	0,74	0,26	0,85	0,23	1,26
6-755	<2μ	42,46	10,40	32,07	0,32	0,42	0,98	0,74	0,26	0,87	0,23	1,46
9-921	<2μ	38,89	11,46	27,43	0,42	0,44	0,71	0,89	0,28	1,05	0,39	1,53
9-1100	<2μ	32,84	9,30	23,55	0,39	0,42	0,70	0,86	0,29	1,01	0,42	1,33
9-1414	<2μ	55,81	14,49	41,31	0,35	0,41	0,75	0,82	0,19	1,01	0,33	1,71
141-520	<2μ	97,09	23,88	73,22	0,33	0,38	0,80	0,77	0,28	0,85	0,27	1,29
141-589	<2μ	86,01	22,79	63,22	0,36	0,39	0,76	0,79	0,28	0,90	0,31	1,49
141-772	<2μ	105,42	25,97	79,45	0,33	0,37	0,80	0,75	0,27	0,84	0,26	1,36
141-977	<2μ	96,75	23,15	73,60	0,31	0,39	0,86	0,76	0,27	0,84	0,24	1,32
141-1120	<2μ	72,59	17,32	55,28	0,31	0,39	0,97	0,68	0,26	0,81	0,26	1,54
141-1320	<2μ	59,69	14,92	44,77	0,33	0,45	1,02	0,76	0,27	0,88	0,23	1,48
169-791	<2μ	77,43	19,14	58,28	0,33	0,40	0,85	0,78	0,27	0,87	0,26	1,30
169-850	<2μ	80,35	19,77	60,58	0,33	0,40	0,85	0,77	0,27	0,86	0,26	1,31
169-900	<2μ	70,37	17,48	52,90	0,33	0,41	0,87	0,78	0,27	0,87	0,26	1,31
169-1005	<2μ	103,67	25,63	78,05	0,33	0,39	0,85	0,77	0,26	0,86	0,25	1,46
169-1075	<2μ	84,10	20,67	63,43	0,33	0,42	0,89	0,78	0,27	0,87	0,24	1,32

Anhang T-22: Die salzfreie <2μ-Fraktion der Reihe 1 aus dem Perubecken. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“-Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

GESSF	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
6-460GESSF	29,22	8,28	20,94	0,40	0,50	1,04	0,74	0,33	1,08	0,33	1,52
6-675GESSF	36,17	9,59	26,58	0,36	0,50	1,14	0,74	0,32	1,05	0,28	1,46
6-755GESSF	26,20	7,56	18,65	0,41	0,54	1,22	0,71	0,33	1,07	0,32	1,81
9-870GESSF	15,00	5,42	9,58	0,57	0,65	0,97	0,86	0,38	1,33	0,50	1,95
9-870GESSF	40,44	11,37	29,08	0,39	0,45	0,74	0,90	0,30	1,24	0,38	1,20
9-921GESSF	6,24	2,52	3,72	0,68	0,65	0,97	0,75	0,44	1,33	0,76	2,45
9-1100GESSF	13,92	4,87	9,05	0,54	0,55	0,97	0,78	0,34	1,27	0,45	2,34
9-1390GESSF	21,07	6,77	14,3	0,47	0,53	0,97	0,77	0,34	1,20	0,41	1,91
9-1414GESSF	20,32	6,70	13,62	0,49	0,52	0,95	0,76	0,33	1,21	0,41	2,13
141-520GESSF	35,28	10,07	25,22	0,40	0,46	1,01	0,69	0,33	1,06	0,38	1,65
141-589GESSF	31,57	9,03	22,54	0,40	0,44	0,93	0,70	0,31	1,08	0,34	1,69
141-772GESSF	35,62	10,03	25,60	0,39	0,46	0,99	0,70	0,32	1,06	0,34	1,63
141-977GESSF	44,58	12,17	32,41	0,38	0,49	1,08	0,74	0,32	1,05	0,32	1,50
141-1120GESSF	31,84	9,17	22,67	0,40	0,52	1,29	0,66	0,35	1,01	0,41	1,82
141-1320GESSF	35,84	9,85	25,99	0,38	0,52	1,21	0,72	0,32	1,05	0,27	1,67
169-791GESSF	32,96	9,56	23,40	0,41	0,48	1,03	0,71	0,33	1,08	0,35	1,70
169-850GESSF	35,55	10,40	25,15	0,41	0,52	1,04	0,77	0,33	1,12	0,34	1,64
169-900GESSF	36,64	10,76	25,87	0,42	0,54	1,09	0,76	0,33	1,12	0,33	1,67
169-1005GESSF	38,04	11,10	26,94	0,41	0,54	1,13	0,76	0,33	1,11	0,34	1,74
169-1075GESSF	40,29	11,68	28,61	0,41	0,54	1,10	0,77	0,33	1,12	0,31	1,65

Anhang T-23: Die salzfreien Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“-Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
6-460GES	53,80	12,97	40,83	0,32	0,40	0,83	0,81	0,27	1,09	0,26	1,17
6-675GES	60,73	14,19	46,54	0,30	0,40	0,93	0,77	0,26	1,06	0,22	1,19
6-755GES	53,66	12,69	40,97	0,31	0,43	1,01	0,76	0,27	1,04	0,23	1,24
9-921GES	19,47	5,09	14,38	0,35	0,42	0,75	0,84	0,31	1,13	0,39	0,99
9-1100GES	41,23	10,62	30,62	0,35	0,38	0,74	0,82	0,27	1,14	0,31	1,31
9-1390GES	55,39	14,45	40,93	0,35	0,41	0,77	0,85	0,28	1,16	0,33	1,23
9-1414GES	57,18	14,75	42,43	0,35	0,41	0,77	0,86	0,28	1,16	0,33	1,15
141-520GES	94,11	22,73	71,38	0,32	0,40	0,83	0,79	0,27	1,08	0,27	1,16
141-589GES	83,62	21,49	62,12	0,35	0,41	0,80	0,83	0,27	1,14	0,31	1,27
141-772GES	90,51	22,56	67,95	0,33	0,42	0,87	0,82	0,27	1,11	0,27	1,24
141-977GES	87,65	20,41	67,24	0,30	0,37	0,82	0,77	0,26	1,05	0,24	1,19
141-1120GES	60,18	14,35	45,83	0,31	0,42	1,01	0,71	0,29	0,99	0,32	1,25
141-1320GES	65,05	15,20	49,85	0,30	0,44	1,01	0,77	0,27	1,04	0,22	1,17
169-791GES	73,73	17,61	56,12	0,31	0,39	0,83	0,78	0,27	1,07	0,26	1,13
169-850GES	70,94	17,12	53,82	0,32	0,40	0,81	0,80	0,27	1,09	0,25	1,13
169-900GES	72,92	17,58	55,34	0,32	0,40	0,84	0,79	0,27	1,09	0,25	1,14
169-1005GES	78,98	18,77	60,20	0,31	0,39	0,84	0,78	0,26	1,08	0,24	1,20
169-1075GES	72,30	17,19	55,11	0,31	0,41	0,88	0,79	0,27	1,08	0,24	1,12

Anhang T-24: Die unaufbereiteten Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“-Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

Probe	S REE <sub>N</sub>	LREE <sub>N</sub>	HREE <sub>N</sub>	(LREE/HREE) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	(LREE/MREE) <sub>N</sub>	(MREE/HREE) <sub>N</sub>	Ce/Ce*	Eu/Eu*
6-460GAD	235,62	48,62	187,00	0,26	0,28	0,65	0,36	0,20	1,05	0,20	1,13
6-675GAD	250,54	50,52	200,02	0,25	0,30	0,73	0,39	0,21	1,03	0,19	1,11
6-755GAD	244,70	50,88	193,82	0,26	0,42	1,08	0,58	0,24	0,98	0,14	1,09
9-870GAD	183,27	42,70	140,57	0,30	0,30	0,55	0,34	0,22	1,17	0,30	1,11
9-921GAD	116,54	27,56	88,98	0,31	0,32	0,63	0,41	0,25	1,10	0,30	1,12
9-1100GAD	208,94	45,49	163,44	0,28	0,28	0,59	0,36	0,22	1,07	0,25	1,12
9-1390GAD	244,79	52,76	192,04	0,27	0,27	0,58	0,34	0,21	1,08	0,26	1,13
9-1414GAD	259,26	57,56	201,70	0,29	0,35	0,76	0,46	0,23	1,07	0,21	1,12
141-520GAD	430,78	87,80	342,97	0,26	0,28	0,67	0,39	0,21	1,01	0,18	1,12
141-589GAD	349,98	73,29	276,69	0,26	0,29	0,65	0,38	0,21	1,05	0,20	1,13
141-772GAD	438,97	90,72	348,25	0,26	0,25	0,58	0,34	0,20	1,04	0,21	1,12
141-977GAD	408,46	81,93	326,53	0,25	0,29	0,72	0,39	0,20	1,02	0,17	1,13
141-1120GAD	253,16	48,07	205,09	0,23	0,29	0,84	0,44	0,21	0,93	0,19	1,11
141-1320GAD	272,24	54,45	217,78	0,25	0,33	0,85	0,45	0,22	1,01	0,17	1,09
169-791GAD	336,57	68,66	267,91	0,26	0,29	0,71	0,40	0,21	1,02	0,18	1,12
169-850GAD	324,62	67,41	257,21	0,26	0,31	0,73	0,41	0,21	1,05	0,17	1,13
169-900GAD	322,56	66,48	256,08	0,26	0,31	0,73	0,41	0,21	1,04	0,17	1,13
169-1005GAD	372,37	75,52	296,86	0,25	0,31	0,76	0,42	0,21	1,02	0,16	1,12
169-1075GAD	337,35	69,03	268,33	0,26	0,33	0,79	0,43	0,21	1,04	0,17	1,12

Anhang T-25: Die salzhaltigen Eluate der Proben der Reihe 1 aus dem Perubecken. Die Daten beruhen auf ICP-MS-Messungen und sind auf die „UC“-Daten von Taylor & McLennan (1981) normiert worden.

### ICP-Messung der Neben- und Spurenelemente

Probe	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	(Hf)	In	Li	(Mn)	Mo	Nb
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>S7</b>	0,26	8,84	743,00	1,71	0,31	0,46	23,70	71,60	7,94	37,90	13,30	2,80	0,06	47,20	145,00	1,61	14,00
<b>S8</b>	0,06	4,02	186,00	1,46	0,18	0,10	15,00	63,40	7,59	17,30	12,90	2,02	0,05	50,00	178,00	0,28	9,40
<b>S8a</b>	0,12	7,29	228,00	1,36	0,22	0,20	13,80	58,40	6,60	27,20	10,80	1,88	0,04	41,30	160,00	0,66	9,15
<b>S9a/1</b>	0,25	4,93	1640,00	2,01	0,35	0,22	13,20	82,70	10,00	47,50	15,90	3,05	0,07	61,80	109,00	1,17	14,80
<b>S10a</b>	0,009	33,90	3270,00	0,85	0,51	0,97	30,30	18,40	1,84	17,20	27,10	23,00	0,23	63,20	72,40	0,34	36,30
<b>S11a</b>	0,19	6,52	226,00	1,72	0,28	0,08	34,70	71,20	8,51	38,70	13,30	2,96	0,06	46,10	221,00	0,64	15,40
<b>S7a</b>	0,12	4,63	144,00	1,42	0,23	0,45	16,10	57,50	6,80	26,00	11,30	1,99	0,05	47,20	162,00	0,85	9,16
<b>S8c</b>	0,09	6,54	183,00	1,24	0,21	0,17	11,60	53,30	6,31	25,50	10,10	1,78	0,04	36,70	150,00	0,50	8,27
<b>S9</b>	0,19	5,38	236,00	1,64	0,31	0,32	19,20	62,40	6,80	31,40	11,80	2,65	0,05	45,10	152,00	1,09	12,70
<b>S10</b>	0,14	2,32	274,00	1,16	0,28	0,28	8,44	48,00	5,70	26,10	10,70	3,31	0,05	30,70	179,00	0,22	23,00
<b>S11</b>	0,15	4,03	196,00	1,41	0,44	0,07	22,80	80,30	6,95	45,20	11,50	2,61	0,05	38,30	227,00	0,68	13,00
<b>S7okf</b>	0,44	14,00	981,00	2,36	0,60	0,13	19,30	115,00	11,00	39,30	20,20	5,02	0,07	67,90	53,40	2,50	24,30
<b>S8okf</b>	0,10	7,78	222,00	2,13	0,35	0,04	8,85	104,00	10,70	27,60	20,70	3,50	0,06	76,20	59,40	0,51	16,90
<b>S8a okf</b>	0,18	13,20	256,00	2,28	0,50	0,09	18,70	118,00	11,00	51,60	21,50	3,91	0,06	73,20	60,90	1,19	19,00
<b>S9a/1 okf</b>	0,68	6,55	2480,00	2,75	0,54	0,07	13,80	117,00	12,10	52,60	21,60	4,59	0,08	78,70	57,40	1,55	22,60
<b>S10a okf</b>	0,26	11,90	225,00	2,53	0,52	0,07	22,80	118,00	11,30	66,40	21,30	5,25	0,09	68,00	73,10	1,16	27,50
<b>S11a okf</b>	0,26	7,48	215,00	2,34	0,52	0,07	14,00	125,00	12,40	53,60	22,40	5,36	0,07	74,90	58,80	1,02	28,20
<b>S7a okf</b>	0,28	9,33	180,00	2,33	0,49	0,13	13,50	118,00	11,00	42,00	22,50	3,98	0,06	83,50	60,60	1,51	19,80
<b>S8c okf</b>	0,01	26,70	4750,00	0,72	0,76	0,42	19,80	32,30	1,71	19,40	41,30	35,40	0,23	80,20	18,30	0,55	57,80
<b>S9 okf</b>	0,40	7,12	324,00	2,77	0,60	0,10	15,80	127,00	11,50	41,10	23,40	5,15	0,06	82,60	52,30	1,96	25,20
<b>S10 okf</b>	0,21	5,03	267,00	2,41	0,65	0,11	12,00	109,00	11,10	41,60	24,30	7,92	0,07	65,60	65,10	0,39	57,60
<b>S11okf</b>	0,24	13,60	225,00	2,35	0,52	0,14	20,30	120,00	11,90	72,40	22,50	4,86	0,07	72,20	74,70	1,06	25,40

Teil 1

<b>Probe</b>	<b>Ni</b> mg/kg	<b>Pb</b> mg/kg	<b>Rb</b> mg/kg	<b>Sb</b> mg/kg	<b>Sc</b> mg/kg	<b>(Se)</b> mg/kg	<b>Sn</b> mg/kg	<b>Ta</b> Mg/kg	<b>Te</b> mg/kg	<b>Th</b> mg/kg	<b>Tl</b> mg/kg	<b>U</b> mg/kg	<b>V</b> mg/kg	<b>W</b> mg/kg	<b>Zn</b> mg/kg	<b>(Zr)</b> mg/kg
<b>S7</b>	88,20	35,50	109,00	1,33	8,93	1,49	2,50	1,29	0,20	8,44	0,57	1,77	98,00	2,53	128,00	106,00
<b>S8</b>	46,00	18,40	106,00	0,55	9,84	0,59	2,12	0,88	0,09	7,04	0,47	1,07	91,20	1,86	61,30	75,20
<b>S8a</b>	60,00	12,30	91,10	0,80	7,68	0,95	1,83	0,85	0,15	6,31	0,60	1,16	87,30	1,61	79,30	71,20
<b>S9a/1</b>	73,60	16,10	130,00	1,02	11,20	1,60	2,80	1,41	0,21	9,87	0,59	1,90	126,00	2,65	137,00	113,00
<b>S10a</b>	115,00	37,80	28,20	1,94	3,12	1,08	10,10	11,90	0,07	23,40	0,25	2,52	28,30	0,67	344,00	589,00
<b>S11a</b>	74,70	13,80	111,00	0,94	8,73	0,88	2,66	1,50	0,14	9,19	0,52	1,92	99,10	2,28	107,00	109,00
<b>S7a</b>	65,60	14,10	94,70	0,80	9,11	1,01	1,83	0,88	0,16	6,58	0,40	1,33	90,80	1,79	101,00	72,80
<b>S8c</b>	50,10	11,70	85,30	0,73	6,73	1,09	1,79	0,79	0,17	5,99	0,67	1,05	79,70	1,58	68,20	65,40
<b>S9</b>	62,90	14,30	92,80	0,87	7,58	1,16	2,27	1,20	0,13	8,32	0,52	1,89	87,10	2,24	109,00	91,90
<b>S10</b>	25,70	13,30	78,40	0,63	5,91	0,43	2,25	1,33	0,18	7,49	0,34	1,22	65,00	1,15	85,30	153,00
<b>S11</b>	68,00	17,00	90,00	0,67	7,44	0,63	2,25	0,97	0,14	8,25	0,44	1,79	80,90	1,93	86,80	93,90
<b>S7okf</b>	81,00	54,30	67,90	2,09	7,89	1,13	4,30	1,76	0,24	13,10	1,08	2,04	164,00	4,41	118	183
<b>S8okf</b>	70,60	30,20	72,10	0,85	9,52	0,52	3,44	1,19	0,21	10,70	0,89	1,29	155,00	3,37	88,4	131
<b>S8a okf</b>	113,00	25,90	76,10	1,49	9,31	0,82	3,76	1,32	0,33	10,90	1,47	1,64	173,00	3,43	133	142
<b>S9a/1 okf</b>	97,00	22,70	65,50	1,40	8,71	1,25	4,11	1,53	0,26	10,40	0,94	1,53	187,00	3,93	152	171
<b>S10a okf</b>	117,00	27,10	65,60	1,58	8,29	1,15	4,44	1,90	0,32	13,20	0,93	2,23	172,00	3,90	167	199
<b>S11a okf</b>	106,00	23,20	82,10	1,33	9,02	0,99	4,59	1,92	0,27	11,40	0,95	1,74	173,00	4,34	133	199
<b>S7a okf</b>	68,80	36,40	56,80	1,34	9,96	0,98	3,84	1,37	0,15	10,50	0,86	1,56	184,00	3,58	104	150
<b>S8c okf</b>	103,00	34,30	4,90	2,63	3,15	0,81	14,50	12,40	0,10	26,60	0,35	2,29	44,50	0,99	196	1140
<b>S9 okf</b>	71,10	22,40	67,90	1,57	10,00	1,06	4,41	1,83	0,21	12,50	0,97	2,19	174,00	4,22	116	191
<b>S10 okf</b>	51,00	22,30	54,80	1,34	7,00	0,81	5,73	2,87	0,22	12,50	0,83	1,45	164,00	2,68	110	388
<b>S11okf</b>	126,00	29,40	72,60	1,82	10,30	1,21	4,22	1,77	0,37	13,40	1,01	2,30	171,00	3,60	184	186

Teil 2

Probe	La mg/kg	Ce mg/kg	Pr mg/kg	Nd mg/kg	Sm mg/kg	Eu mg/kg	Gd mg/kg	Tb Mg/kg	Dy mg/kg	Ho mg/kg	Er mg/kg	Tm mg/kg	Yb mg/kg	Lu mg/kg	S REE mg/kg	Y mg/kg
S7	25,40	39,20	5,90	23,10	4,37	0,88	4,41	0,59	3,44	0,69	1,98	0,27	1,69	0,27	<b>112,19</b>	25,50
S8	25,40	45,80	5,87	22,00	4,02	0,82	3,65	0,52	3,02	0,60	1,76	0,25	1,66	0,28	<b>115,65</b>	18,20
S8a	19,80	31,00	4,63	17,80	3,33	0,67	3,15	0,44	2,53	0,52	1,50	0,22	1,42	0,24	<b>87,25</b>	17,50
S9a/1	25,80	42,20	6,14	23,80	4,44	0,87	4,31	0,59	3,46	0,71	2,05	0,29	1,89	0,32	<b>116,87</b>	24,10
S10a	52,90	128,00	15,40	55,30	10,80	1,03	8,29	1,14	5,66	0,89	2,25	0,29	1,80	0,28	<b>284,03</b>	21,10
S11a	26,70	42,60	6,22	24,60	4,88	1,04	4,83	0,66	3,88	0,79	2,26	0,30	1,89	0,32	<b>120,97</b>	30,50
S7a	19,30	31,40	4,83	18,80	3,59	0,71	3,39	0,46	2,66	0,53	1,53	0,22	1,48	0,26	<b>89,16</b>	17,20
S8c	18,60	29,10	4,28	16,30	3,05	0,60	2,81	0,40	2,32	0,47	1,43	0,20	1,39	0,24	<b>81,19</b>	15,80
S9	21,40	34,90	5,38	20,90	4,18	0,84	4,03	0,55	3,19	0,65	1,86	0,26	1,59	0,24	<b>99,97</b>	22,40
S10	22,10	38,70	5,38	20,90	4,16	0,68	4,17	0,62	3,66	0,73	2,16	0,31	1,88	0,30	<b>105,75</b>	21,60
S11	21,30	34,30	5,20	20,50	3,96	0,83	3,97	0,56	3,13	0,65	1,91	0,25	1,56	0,25	<b>98,37</b>	24,30
S7okf	28,40	40,10	7,42	29,40	5,97	1,18	5,83	0,81	4,87	0,97	2,81	0,4	2,47	0,38	<b>131,01</b>	32,30
S8okf	24,10	43,10	6,02	22,10	4,16	0,83	3,64	0,54	3,26	0,67	2,01	0,31	2,07	0,33	<b>113,14</b>	17,60
S8a okf	22,60	35,50	5,78	21,50	4,19	0,86	3,85	0,56	3,38	0,69	2,04	0,32	2,07	0,33	<b>103,67</b>	20,50
S9a/1 okf	21,90	30,30	5,63	22,10	4,43	0,47	4,10	0,59	3,53	0,74	2,20	0,33	2,13	0,34	<b>98,79</b>	22,90
S10a okf	32,50	45,60	8,12	32,30	6,89	1,43	7,06	0,96	5,61	1,16	3,32	0,47	2,83	0,44	<b>148,69</b>	44,30
S11a okf	28,50	37,30	7,03	27,60	5,39	1,15	5,32	0,76	4,40	0,94	2,75	0,39	2,39	0,38	<b>124,30</b>	30,90
S7a okf	22,60	32,70	6,06	24,20	4,77	0,97	4,32	0,63	3,59	0,74	2,26	0,33	2,06	0,33	<b>105,56</b>	22,40
S8c okf	53,50	100,00	16,20	58,80	11,3	0,92	8,95	1,22	6,22	0,95	2,41	0,32	1,92	0,29	<b>263,00</b>	22,50
S9 okf	29,10	42,40	7,36	29,20	5,99	1,18	5,59	0,79	4,64	0,95	2,72	0,39	2,48	0,39	<b>133,18</b>	32,40
S10 okf	26,90	40,50	7,10	27,90	5,78	1,00	5,71	0,91	5,41	1,11	3,37	0,50	3,18	0,48	<b>129,85</b>	32,30
S11okf	31,70	46,10	8,14	31,70	6,49	1,37	6,47	0,91	5,41	1,12	3,19	0,44	2,62	0,42	<b>146,08</b>	41,40

Teil 3

Anhang T-26.a: Die Rohdaten der Proben aus Salder. Proben mit dem Index „okf“ sind auf karbonatfreier Basis und ohne die labile organische Fraktion mit der ICP-MS gemessen worden.

Probe	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	(Hf)	In	Li	(Mn)	Mo	Nb
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
D7C	0,22	5,42	214,00	1,23	0,27	0,13	25,00	55,50	4,26	34,20	9,39	2,99	0,05	93,50	654,00	0,66	18,90
D8C	0,21	7,41	307,00	1,70	0,40	0,29	26,80	95,00	6,44	36,30	15,10	4,25	0,07	136,00	468,00	0,65	22,00
D9C	0,14	4,09	162,00	1,18	0,27	0,18	17,80	62,50	4,26	26,00	10,10	2,63	0,05	103,00	513,00	0,40	12,40
D7B	0,24	6,45	192,00	1,44	0,39	0,14	13,40	73,00	5,38	42,90	14,00	3,54	0,07	119,00	467,00	0,50	20,10
D8B	0,17	4,50	186,00	1,43	0,25	0,10	13,60	63,80	4,71	29,50	12,00	2,78	0,05	99,60	549,00	0,33	14,50
D9B	0,12	3,64	131,00	1,06	0,21	0,17	18,70	51,50	3,93	22,80	9,39	2,02	0,04	88,50	578,00	0,36	9,36
D7b okf	0,41	10,60	282,00	2,75	0,71	0,06	8,23	134,00	9,14	63,70	23,80	7,23	0,09	218,00	44,40	0,89	37,90
D8b okf	0,26	9,07	266,00	2,81	0,63	0,06	10,30	130,00	9,25	46,90	23,30	5,44	0,06	241,00	49,20	0,88	25,30
D9B okf	0,27	8,81	288,00	3,04	0,61	0,07	9,52	131,00	9,22	53,60	24,20	6,09	0,07	231,00	52,80	0,71	32,40
D7C okf	0,53	11,40	251,00	2,78	0,69	0,08	10,30	134,00	9,46	59,90	21,90	7,61	0,06	234,00	38,00	1,38	43,60
D8C okf	0,22	7,34	309,60	1,69	0,45	0,29	26,94	94,43	6,59	35,91	15,23	4,21	0,07	137,62	467,50	0,68	21,98
D9C okf	0,32	7,64	299,00	2,62	0,66	8,99	8,31	147,00	9,92	66,70	24,00	6,36	0,06	242,00	46,20	0,70	31,40
Teil 1																	
Probe	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	(Se)	Sn	Ta	Te	Th	Tl	U	V	W	Zn	(Zr)	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
D7C	75,70	16,60	72,80	0,78	8,43	1,38	2,65	1,58	0,10	9,05	0,45	1,68	68,80	1,50	68,90	103,00	
D8C	84,20	19,10	105,00	1,00	10,60	0,84	3,41	1,74	0,11	13,50	0,71	2,90	94,00	2,56	73,60	154,00	
D9C	46,70	14,50	72,60	0,55	7,50	1,35	2,23	0,98	0,08	8,86	0,37	1,96	65,90	1,67	38,90	90,50	
D7B	70,20	18,70	87,70	0,84	11,00	0,92	2,84	1,58	0,13	11,40	0,47	2,11	88,70	1,88	72,60	121,00	
D8B	52,00	13,50	78,00	0,63	9,05	0,58	2,42	1,13	0,09	9,08	0,44	1,75	71,70	1,56	51,20	97,00	
D9B	39,90	12,20	61,40	0,48	7,65	0,88	1,87	0,76	0,08	7,19	0,31	1,52	56,90	1,32	39,10	68,70	
D7b okf	98,90	51,10	75,20	1,59	12,90	0,77	5,54	2,84	0,26	14,10	0,94	2,79	165,00	3,71	94,50	237,00	
D8b okf	78,40	52,80	71,80	1,24	12,10	0,93	4,85	1,95	0,19	12,00	0,85	2,73	155,00	3,45	72,80	183,00	
D9B okf	96,90	49,40	75,40	1,38	11,30	0,97	5,42	2,48	0,25	11,10	1,11	2,34	164,00	3,41	82,80	197,00	
D7C okf	111,00	62,00	75,40	1,74	7,01	1,04	6,18	3,59	0,27	13,00	1,23	1,96	167,00	3,68	116,00	244,00	
D8C okf	86,38	19,50	105,57	1,05	10,54	0,90	3,56	1,67	0,12	13,99	0,70	2,96	93,96	2,57	79,10	154,18	
D9C okf	62,40	92,60	85,50	1,29	9,94	0,46	5,88	2,34	0,19	12,40	1,03	2,53	165,00	4,10	135,00	224,00	
Teil 2																	

Probe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	S REE	Y
	mg/kg	mg/kg														
<b>D7C</b>	27,20	45,50	6,60	25,30	4,69	0,98	4,58	0,63	3,48	0,69	1,97	0,29	1,78	0,29	<b>123,98</b>	20,70
<b>D8C</b>	32,60	53,80	8,22	32,20	6,10	1,30	5,70	0,81	4,51	0,90	2,61	0,38	2,33	0,38	<b>151,84</b>	26,80
<b>D9C</b>	22,40	35,30	5,74	22,70	4,31	0,91	3,97	0,54	3,02	0,58	1,66	0,23	1,51	0,24	<b>103,11</b>	16,80
<b>D7B</b>	29,30	49,20	7,92	31,90	6,47	1,37	5,97	0,82	4,56	0,88	2,47	0,35	2,21	0,35	<b>143,77</b>	24,90
<b>D8B</b>	23,80	38,80	6,27	24,60	4,78	1,06	4,49	0,64	3,52	0,70	1,95	0,27	1,78	0,27	<b>112,93</b>	20,20
<b>D9B</b>	19,60	30,30	5,24	20,60	4,06	0,89	3,80	0,51	2,90	0,56	1,54	0,22	1,39	0,22	<b>91,83</b>	15,70
<b>D7b okf</b>	21,00	38,00	7,13	29,00	6,04	1,33	5,60	0,80	4,87	0,96	2,86	0,44	2,92	0,46	<b>121,41</b>	19,30
<b>D8b okf</b>	17,60	31,30	5,76	22,90	4,70	0,99	4,12	0,59	3,35	0,69	1,98	0,31	2,09	0,34	<b>96,72</b>	13,50
<b>D9b okf</b>	17,10	30,60	5,31	21,50	4,45	0,97	4,09	0,59	3,63	0,72	2,17	0,34	2,22	0,35	<b>94,04</b>	14,40
<b>D7C okf</b>	18,10	28,70	5,62	22,80	4,39	0,91	3,92	0,58	3,47	0,73	2,24	0,34	2,32	0,38	<b>94,50</b>	14,40
<b>D8C okf</b>	32,97	54,80	8,36	32,20	6,30	1,35	5,88	0,80	4,57	0,90	2,59	0,37	2,41	0,39	<b>153,89</b>	26,94
<b>D9C okf</b>	16,80	30,90	4,95	19,30	3,62	0,75	3,12	0,42	2,57	0,54	1,73	0,28	1,92	0,33	<b>87,23</b>	10,70

Teil 3

Anhang T-26.b : Die Rohdaten der Proben aus Dörenthe. Proben mit dem Index „okf“ sind auf karbonatfreier Basis und ohne die labile organische Fraktion mit der ICP-MS gemessen worden.

Probe	Ag mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Bi mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cs mg/kg	Cu mg/kg	Ga mg/kg	(Hf) mg/kg	In mg/kg	Li mg/kg	(Mn) mg/kg	Mo mg/kg	Nb mg/kg
G1-0	0,02	2,52	57,20	0,89	0,09	0,11	1,55	21,10	2,86	2,20	4,13	0,66	0,01	19,70	39,00	0,28	2,79
G1-1	0,02	1,71	57,10	0,65	0,06	0,05	1,36	14,30	1,75	1,87	2,67	0,45	0,01	13,80	42,90	0,17	1,75
G1-2	0,02	2,36	44,10	0,83	0,09	0,07	1,90	19,50	2,63	2,36	3,66	0,63	0,01	17,90	36,80	0,25	2,59
G1-3	0,02	2,45	49,40	0,99	0,10	0,08	2,26	19,90	3,38	2,27	4,71	0,79	0,02	19,10	33,40	0,36	3,22
G1-4	0,04	3,17	79,00	1,37	0,16	0,09	2,92	29,80	5,44	4,18	7,27	1,22	0,02	28,30	33,00	0,53	5,27
G2-1	0,03	1,46	48,80	0,77	0,09	0,05	1,77	18,90	2,57	11,70	3,63	0,58	0,01	16,00	33,00	0,50	2,39
G3-3	0,03	3,36	60,90	1,07	0,13	0,07	1,91	24,50	4,11	2,91	5,55	0,99	0,02	25,30	45,10	0,45	4,00
G1-0 okf	0,03	7,36	202,00	2,43	0,39	0,06	4,07	74,60	12,90	10,60	17,80	2,74	0,06	78,20	74,20	1,02	11,90
G1-1 okf	0,02	6,85	141,00	1,72	0,34	0,03	3,89	50,80	10,50	8,75	15,10	2,09	0,03	68,80	65,50	0,85	9,20
G1-2 okf	0,03	8,55	166,00	2,53	0,38	0,07	5,19	93,70	12,60	13,20	17,80	2,65	0,06	73,90	77,30	0,99	11,60
G1-3 okf	0,02	7,13	165,00	2,39	0,38	0,06	4,18	72,10	13,30	9,46	18,40	3,01	0,05	69,80	58,00	1,20	12,50
G1-4 okf	0,03	7,38	166,00	2,91	0,45	0,06	4,13	75,50	14,40	10,80	19,10	3,82	0,05	72,00	60,10	1,38	15,50
G2-1 okf	0,07	7,20	170,00	2,32	0,37	0,29	5,19	72,90	13,10	27,90	18,20	2,64	0,05	72,40	61,00	1,60	11,60
G3-3 okf	0,06	11,80	204,00	3,12	0,55	0,15	4,83	85,40	18,10	11,60	22,80	3,61	0,06	99,90	43,40	1,70	16,60
Teil 1+ 2																	
Probe	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Rb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	(Se) mg/kg	Sn mg/kg	Ta mg/kg	Te mg/kg	Th mg/kg	Tl mg/kg	U mg/kg	V mg/kg	W mg/kg	Zn mg/kg	(Zr) mg/kg	
G1-0	6,60	3,51	32,00	0,19	2,97	0,24	1,90	0,34	<0.005	2,22	0,14	0,82	21,90	0,68	17,60	23,60	
G1-1	5,41	2,44	20,30	0,14	2,24	0,38	1,35	0,22	<0.005	1,46	0,10	0,74	14,20	0,45	22,50	16,60	
G1-2	6,54	3,52	29,40	0,16	2,72	0,38	1,72	0,32	<0.005	2,08	0,13	0,80	17,90	0,72	15,80	22,90	
G1-3	7,63	3,89	35,70	0,19	3,02	0,31	2,10	0,39	<0.005	2,61	0,21	0,88	20,60	0,79	18,00	28,60	
G1-4	9,98	6,40	58,00	0,29	4,13	0,59	3,10	0,67	0,02	4,21	0,27	1,35	33,10	1,30	22,40	43,90	
G2-1	6,59	3,17	27,90	0,19	2,55	0,46	2,00	0,30	0,00	1,97	0,14	0,80	16,50	0,62	13,90	20,70	
G3-3	7,99	5,41	43,10	0,24	3,40	0,24	2,84	0,49	0,01	3,18	0,20	1,05	28,00	0,94	18,50	35,20	
G1-0 okf	26,00	26,20	132,00	0,66	8,84	0,71	7,16	1,43	0,04	9,06	0,56	1,85	103,00	2,75	64,40	99,40	
G1-1 okf	18,80	24,30	107,00	0,51	5,07	0,72	6,76	1,10	0,02	6,85	0,54	1,15	72,20	2,29	40,60	77,80	
G1-2 okf	36,60	25,40	114,00	0,58	8,42	0,82	8,69	1,32	0,02	8,75	0,54	1,89	92,20	2,70	77,90	100,00	
G1-3 okf	23,30	22,10	125,00	0,65	7,96	1,07	7,98	1,41	0,03	8,58	0,70	1,63	93,00	2,87	44,00	113,00	
G1-4 okf	25,30	22,60	91,80	0,75	4,83	0,74	9,10	1,74	0,01	6,74	0,77	1,51	101,00	3,50	54,40	141,00	
G2-1 okf	23,90	25,30	124,00	0,71	8,11	0,76	8,42	1,29	0,04	8,36	0,61	1,78	87,70	2,76	64,30	97,30	
G3-3 okf	30,30	22,40	146,00	0,91	6,35	0,82	10,40	1,71	0,08	8,08	0,97	1,55	120,00	3,68	61,50	135,00	

Probe	La mg/kg	Ce mg/kg	Pr mg/kg	Nd mg/kg	Sm mg/kg	Eu mg/kg	Gd mg/kg	Tb mg/kg	Dy mg/kg	Ho mg/kg	Er mg/kg	Tm mg/kg	Yb mg/kg	Lu mg/kg	S REE mg/kg	Y mg/kg
G1-0	5,68	11,4	1,42	5,28	1,08	0,19	1,03	0,15	0,88	0,17	0,48	0,073	0,47	0,070	<b>28,37</b>	5,56
G1-1	4,67	8,91	1,21	4,34	0,87	0,16	0,88	0,13	0,74	0,14	0,40	0,056	0,36	0,054	<b>22,92</b>	4,75
G1-2	5,21	10,2	1,33	5,03	0,99	0,19	0,99	0,15	0,87	0,16	0,47	0,067	0,41	0,066	<b>26,13</b>	5,22
G1-3	6,05	12,1	1,51	5,68	1,15	0,20	1,10	0,16	0,95	0,18	0,50	0,076	0,50	0,076	<b>30,23</b>	5,54
G1-4	9,00	17,1	2,04	7,35	1,42	0,26	1,30	0,20	1,14	0,22	0,65	0,10	0,63	0,099	<b>41,51</b>	6,48
G2-1	4,73	9,45	1,18	4,49	0,91	0,16	0,87	0,13	0,74	0,14	0,40	0,060	0,35	0,055	<b>23,67</b>	4,49
G3-3	7,20	14,5	1,76	6,75	1,40	0,24	1,26	0,19	1,12	0,21	0,60	0,084	0,55	0,091	<b>35,96</b>	6,44
G1-0 okf	16,6	29,9	3,30	11,3	2,11	0,38	1,81	0,29	1,72	0,34	1,10	0,17	1,12	0,18	<b>70,32</b>	8,97
G1-1 okf	11,8	21,2	2,10	6,80	1,18	0,18	0,97	0,14	0,82	0,18	0,57	0,088	0,59	0,10	<b>46,72</b>	4,84
G1-2 okf	17,0	32,2	3,50	12,4	2,40	0,41	2,02	0,31	1,85	0,37	1,15	0,17	1,15	0,18	<b>75,11</b>	9,90
G1-3 okf	15,8	28,1	3,05	10,5	1,87	0,33	1,50	0,24	1,44	0,30	0,97	0,15	1,05	0,17	<b>65,47</b>	7,56
G1-4 okf	13,3	21,4	2,33	7,46	1,15	0,20	0,97	0,16	0,97	0,22	0,75	0,12	0,88	0,14	<b>50,05</b>	5,13
G2-1 okf	16,1	30,4	3,22	10,9	2,03	0,36	1,61	0,25	1,48	0,30	0,94	0,14	0,98	0,16	<b>68,87</b>	7,64
G3-3 okf	18,4	32,5	3,25	10,1	1,54	0,25	1,19	0,18	1,17	0,25	0,84	0,13	0,95	0,16	<b>70,91</b>	6,33

Teil 3

Anhang T-26.c.1: Die Rohdaten der Proben aus Gordoa. Proben mit dem Index „okf“ sind auf karbonatfreier Basis und ohne die labile organische Fraktion mit der ICP-MS gemessen worden.

Probe	Ag mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Bi mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr Mg/kg	Cs mg/kg	Cu mg/kg	Ga mg/kg	(Hf) mg/kg	In mg/kg	Li mg/kg	(Mn) mg/kg	Mo mg/kg	Nb mg/kg
Ur-2-1	0,10	2,12	109,00	1,91	0,26	0,05	4,34	34,20	7,42	5,77	10,20	1,52	0,04	47,80	208,00	0,16	6,77
Ur2-2	0,03	2,67	69,60	1,11	0,12	0,07	2,49	22,30	2,85	3,32	4,99	0,96	0,02	11,80	71,90	0,26	3,76
Ur2-2a	0,04	3,58	88,40	1,15	0,16	0,10	3,36	28,40	4,10	3,56	6,73	1,34	0,02	15,00	55,70	0,47	4,88
Ur2-3	0,02	2,07	36,30	0,59	0,07	0,09	1,40	13,40	1,64	2,01	2,93	0,52	0,01	6,78	36,80	0,39	2,03
Ur2-Ba	0,03	2,46	70,80	1,00	0,13	0,07	2,93	24,00	3,93	3,41	5,56	1,04	0,02	21,50	78,90	0,42	4,58
Ur-2 B	0,03	1,47	67,10	0,90	0,14	0,05	2,53	22,50	3,63	3,26	5,07	1,10	0,02	19,90	70,90	0,38	3,97
Ur2-1 okf	0,25	7,10	274,00	5,26	0,83	0,04	5,91	121,00	26,40	21,70	31,10	4,52	0,09	160,00	76,50	0,45	22,40
Ur2-2 okf	0,02	8,29	252,00	2,91	0,60	0,08	4,64	152,00	12,60	29,90	20,40	4,69	0,06	40,70	75,20	1,69	16,90
Ur2-2a okf	0,03	11,90	270,00	2,83	0,53	0,07	5,01	99,20	15,20	23,60	22,20	4,11	0,05	43,80	71,40	1,60	17,50
Ur2-3 okf	0,06	8,29	133,00	2,19	0,30	0,29	4,81	60,30	7,14	12,10	13,40	2,13	0,05	27,20	84,00	1,35	9,45
Ur2-Ba okf	0,13	11,90	284,00	3,17	0,58	0,29	9,44	192,00	20,10	28,30	28,60	4,00	0,07	112,00	79,30	2,43	19,90
Ur2-B okf	0,12	9,30	176,00	2,61	0,50	0,50	5,86	87,50	14,50	13,10	22,40	3,61	0,06	92,80	26,60	1,34	15,80
Teil 1																	
Probe	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Rb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	(Se) mg/kg	Sn mg/kg	Ta mg/kg	Te mg/kg	Th mg/kg	Tl mg/kg	U mg/kg	V mg/kg	W mg/kg	Zn mg/kg	(Zr) mg/kg	
Ur-2-1	14,10	7,68	68,80	0,42	5,62	0,35	5,06	0,86	0,05	5,22	0,35	1,18	52,00	1,84	30,30	53,50	
Ur2-2	7,72	4,50	35,00	0,43	3,26	0,24	2,17	0,44	0,02	3,05	0,17	0,90	30,90	0,86	13,60	34,30	
Ur2-2a	9,42	5,96	47,10	0,28	4,01	0,40	2,99	0,58	0,02	4,25	0,25	1,45	41,00	1,15	21,20	47,80	
Ur2-3	5,96	3,06	18,90	0,17	2,27	0,37	1,63	0,26	0,01	1,72	0,12	0,94	16,40	0,53	12,10	19,40	
Ur2-Ba	8,66	6,16	42,30	0,26	3,33	0,39	2,47	0,64	0,02	3,66	0,22	1,24	29,10	1,03	19,40	35,20	
Ur-2 B	8,16	5,87	38,10	0,25	2,87	0,22	2,22	0,57	0,03	3,63	0,20	1,43	26,90	0,99	17,90	34,00	
Ur2-1 okf	55,20	30,70	182,00	1,31	6,68	0,49	16,50	2,47	0,15	11,60	1,20	1,98	211,00	5,77	87,00	170,00	
Ur2-2 okf	62,80	29,40	147,00	0,93	7,09	0,88	9,41	1,71	0,09	10,60	0,64	2,47	146,00	3,58	67,10	182,00	
Ur2-2a okf	35,20	28,90	164,00	0,96	7,11	1,65	10,30	1,73	0,06	10,80	0,71	2,70	167,00	3,73	86,70	163,00	
Ur2-3 okf	24,30	21,30	84,30	0,60	7,37	1,03	5,77	0,97	0,04	6,35	0,43	2,51	86,40	1,98	40,60	90,60	
Ur2-Ba okf	102,00	34,70	174,00	1,19	10,20	0,94	11,80	1,94	0,09	10,30	0,88	2,26	177,00	4,16	87,10	161,00	
Ur2-B okf	32,70	30,60	99,40	1,03	5,67	0,76	9,97	1,90	0,04	6,85	0,77	1,49	125,00	3,80	63,50	128,00	
Teil 2																	

Probe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	S REE	Y
	mg/kg	mg/kg														
Ur-2-1	12,20	22,40	2,82	10,60	2,04	0,39	2,03	0,30	1,84	0,35	1,01	0,15	0,96	0,16	<b>57,25</b>	11,10
Ur2-2	8,27	15,50	2,04	7,87	1,56	0,28	1,51	0,22	1,24	0,23	0,69	0,09	0,60	0,09	<b>40,19</b>	7,46
Ur2-2a	9,70	18,30	2,25	8,03	1,53	0,27	1,38	0,21	1,20	0,22	0,69	0,10	0,65	0,10	<b>44,63</b>	6,80
Ur2-3	4,55	9,28	1,17	4,45	0,94	0,16	0,88	0,13	0,71	0,14	0,39	0,06	0,34	0,06	<b>23,26</b>	4,33
Ur2-Ba	7,67	14,20	1,91	7,24	1,46	0,28	1,39	0,20	1,21	0,23	0,65	0,09	0,64	0,10	<b>37,27</b>	6,41
Ur-2 B	6,88	12,10	1,83	6,95	1,44	0,27	1,36	0,19	1,18	0,22	0,66	0,10	0,61	0,10	<b>33,88</b>	5,94
Ur2-1 okf	23,90	39,80	4,84	16,20	2,56	0,44	2,17	0,34	2,05	0,43	1,42	0,21	1,40	0,23	<b>95,99</b>	10,80
Ur2-2 okf	24,10	44,30	4,49	15,10	2,51	0,43	1,96	0,30	1,79	0,38	1,18	0,18	1,21	0,19	<b>98,12</b>	9,68
Ur2-2a okf	26,00	46,70	4,65	14,50	2,24	0,39	1,86	0,28	1,62	0,32	1,06	0,16	1,12	0,18	<b>101,08</b>	8,69
Ur2-3 okf	18,20	38,30	4,14	15,40	3,11	0,53	2,63	0,40	2,29	0,45	1,32	0,19	1,23	0,19	<b>88,38</b>	13,70
Ur2-Ba okf	24,70	44,00	4,68	15,30	2,56	0,43	2,00	0,31	1,93	0,38	1,27	0,19	1,32	0,22	<b>99,29</b>	9,59
Ur2-B okf	15,10	22,90	3,15	10,40	1,68	0,30	1,41	0,22	1,34	0,29	0,91	0,15	1,04	0,17	<b>59,06</b>	6,55
Teil 3																

Anhang T-26.c.2: Die Rohdaten der Proben aus Urrunaga. Proben mit dem Index „okf“ sind auf karbonatfreier Basis und ohne die labile organische Fraktion mit der ICP-MS gemessen worden.

Probe		(As)	(B)	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	(Ge)	Hf	(Hg)	In	Li
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
6-460	<2μ	3,39	44,00	>2000	1,69	0,73	0,19	65,90	55,80	2,72	850,00	15,80	0,18	3,01	0,01	0,14	45,10
6-675	<2μ	2,14	34,00	>2000	1,74	0,76	0,24	46,00	73,30	1,86	1090,00	14,70	0,19	2,74	0,11	0,15	48,10
6-755	<2μ	4,83	46,00	>2000	1,65	0,72	0,18	66,90	34,10	1,63	969,00	13,00	0,24	2,51	0,04	0,14	44,80
9-921	<2μ	5,77	76,00	>2000	2,25	0,82	0,20	76,70	51,50	5,38	772,00	24,50	0,09	3,32	0,03	0,12	42,20
9-1100	<2μ	5,25	68,00	>2000	2,17	0,86	0,28	41,90	56,90	5,91	886,00	27,80	0,09	3,40	0,05	0,11	44,80
9-1414	<2μ	9,92	69,00	>2000	2,23	1,17	0,28	49,30	56,20	4,71	1090,00	26,70	0,17	4,11	0,19	0,14	43,70
141-520	<2μ	12,50	67,00	>2000	2,09	1,13	0,28	96,10	52,10	5,25	1130,00	26,00	0,22	4,46	0,10	0,17	54,90
141-589	<2μ	19,10	85,00	>2000	2,27	1,33	0,32	74,40	101,00	6,20	941,00	26,70	0,22	4,83	0,46	0,18	55,20
141-772	<2μ	20,60	71,00	>2000	2,19	1,18	0,42	151,00	48,60	4,52	1200,00	24,30	0,29	4,70	0,08	0,19	48,60
141-977	<2μ	16,50	54,00	>2000	2,17	1,07	0,31	116,00	45,80	3,27	1070,00	21,60	0,26	4,00	0,04	0,18	55,50
141-1120	<2μ	12,20	45,00	>2000	1,87	1,06	0,28	94,50	32,20	2,43	890,00	17,20	0,18	3,62	0,01	0,17	58,30
141-1320	<2μ	9,62	45,00	>2000	1,97	1,07	0,34	65,70	32,10	1,89	775,00	14,60	0,21	3,27	0,05	0,16	54,20
169-791	<2μ	14,00	59,00	>2000	2,00	1,05	0,27	122,00	53,90	3,43	985,00	19,80	0,28	3,85	<0,01	0,17	53,60
169-850	<2μ	15,60	60,00	>2000	2,05	1,05	0,41	129,00	53,80	3,39	1010,00	20,00	0,26	03,81	0,03	0,17	53,30
169-900	<2μ	19,40	60,00	>2000	2,05	1,00	0,25	123,00	47,50	3,38	906,00	19,20	0,24	3,90	0,05	0,18	53,60
169-1005	<2μ	17,30	57,00	>2000	2,03	1,19	0,43	189,00	45,20	2,98	1270,00	20,80	0,38	4,06	0,02	0,16	44,30
169-1075	<2μ	11,40	59,00	>2000	2,19	1,07	0,24	85,80	49,80	2,75	1160,00	20,30	0,27	3,73	0,09	0,19	58,60
<u>Teil 1</u>																	
Probe		Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	(Se)	Sn	(Sr)	Ta	(Te)	Th	(Ti)	Tl
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
6-460	<2μ	13600,00	1,37	5,17	718,00	54,40	35,70	2,66	22,90	1,13	1,68	328,00	0,37	0,47	3,51	2310,00	0,36
6-675	<2μ	11400,00	0,94	4,82	762,00	60,80	27,50	2,57	20,70	1,68	1,78	305,00	0,25	0,44	2,75	2010,00	0,24
6-755	<2μ	15500,00	0,80	4,20	685,00	47,70	25,50	3,44	18,20	1,04	1,48	461,00	0,22	0,40	2,35	1620,00	0,27
9-921	<2μ	3980,00	0,61	6,47	699,00	34,00	54,50	2,74	30,60	1,15	1,92	434,00	0,39	0,16	5,68	3390,00	0,43
9-1100	<2μ	3990,00	0,67	6,39	579,00	59,30	53,10	1,77	36,40	0,94	1,97	362,00	0,39	0,26	5,69	3530,00	0,41
9-1414	<2μ	4250,00	0,89	7,72	587,00	63,40	50,50	3,53	33,20	1,78	2,29	567,00	0,37	0,49	5,84	3470,00	0,40
141-520	<2μ	14100,00	1,64	8,04	714,00	66,80	53,10	3,37	35,50	2,87	2,41	423,00	0,43	0,53	7,06	3530,00	0,47
141-589	<2μ	10700,00	1,77	9,50	620,00	81,90	61,40	4,04	34,40	2,88	2,82	554,00	0,51	0,68	8,01	4200,00	0,56
141-772	<2μ	30900,00	2,50	8,86	900,00	79,00	48,80	5,53	36,10	3,47	2,45	588,00	0,43	0,78	7,25	3500,00	0,53
141-977	<2μ	30800,00	1,81	7,66	716,00	73,50	41,30	4,47	32,80	3,14	2,31	498,00	0,36	0,59	5,11	3060,00	0,38
141-1120	<2μ	30800,00	1,36	7,32	673,00	89,00	33,90	3,82	23,90	2,16	2,16	554,00	0,42	0,54	5,96	2660,00	0,36

Probe	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Nb mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Rb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	(Se) mg/kg	Sn mg/kg	(Sr) mg/kg	Ta mg/kg	(Te) mg/kg	Th mg/kg	(Ti) mg/kg	Tl mg/kg
141-1320 <2μ	15900,00	0,87	5,95	556,00	67,30	30,90	2,99	19,80	1,58	1,99	456,00	0,30	0,46	3,53	2160,00	0,22
169-791 <2μ	18800,00	2,09	7,67	686,00	77,60	44,90	3,80	30,40	2,74	2,17	405,00	0,37	0,69	5,14	3060,00	0,37
169-850 <2μ	19300,00	2,14	7,66	701,00	84,50	44,40	3,65	30,30	2,98	2,19	410,00	0,37	0,73	5,29	3180,00	0,37
169-900 <2μ	30700,00	2,67	7,27	649,00	69,60	44,20	4,24	28,80	2,39	2,14	401,00	0,36	0,64	4,66	3080,00	0,38
169-1005 <2μ	30600,00	4,24	8,46	992,00	93,70	39,70	5,55	28,00	3,48	2,28	586,00	0,41	0,83	5,96	3810,00	0,55
169-1075 <2μ	16900,00	1,55	7,48	819,00	77,20	40,20	3,18	29,80	2,87	2,15	413,00	0,33	0,51	4,46	3030,00	0,31
Teil 2																
Probe	U mg/kg	V mg/kg	W mg/kg	Zn mg/kg	(Zr) mg/kg											
6-460 <2μ	1,23	95,20	2,99	436,00	154,00											
6-675 <2μ	0,77	78,60	1,63	605,00	158,00											
6-755 <2μ	0,80	85,70	2,39	472,00	150,00											
9-921 <2μ	1,20	101,00	1,78	518,00	166,00											
9-1100 <2μ	1,15	125,00	3,30	514,00	167,00											
9-1414 <2μ	1,26	111,00	3,06	464,00	223,00											
141-520 <2μ	1,55	129,00	3,40	454,00	226,00											
141-589 <2μ	1,68	150,00	3,00	423,00	256,00											
141-772 <2μ	1,82	161,00	5,96	483,00	260,00											
141-977 <2μ	1,62	139,00	5,48	457,00	226,00											
141-1120 <2μ	1,47	105,00	3,77	423,00	212,00											
141-1320 <2μ	0,96	80,40	2,05	400,00	200,00											
169-791 <2μ	1,29	148,00	3,42	446,00	213,00											
169-850 <2μ	1,30	146,00	4,00	440,00	215,00											
169-900 <2μ	1,36	168,00	4,58	425,00	214,00											
169-1005 <2μ	1,96	151,00	8,66	445,00	223,00											
169-1075 <2μ	1,10	127,00	2,91	584,00	213,00											
Teil 3																

Probe		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	S REE	Y
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
6-460	<2μ	53,40	32,10	10,30	47,40	9,74	3,24	13,30	2,12	14,80	3,44	10,70	1,54	10,20	1,71	<b>213,99</b>	113,00
6-675	<2μ	63,80	31,70	11,30	52,00	10,60	3,38	15,00	2,38	17,10	4,07	12,80	1,82	11,80	2,04	<b>239,79</b>	143,00
6-755	<2μ	53,50	26,60	9,03	41,60	8,22	3,08	12,00	1,87	13,40	3,24	10,10	1,45	9,37	1,62	<b>195,08</b>	117,00
9-921	<2μ	45,80	41,10	10,30	45,20	9,66	3,48	11,80	1,86	12,10	2,68	8,04	1,16	7,64	1,32	<b>202,14</b>	85,20
9-1100	<2μ	38,40	37,80	8,70	37,90	8,25	2,56	9,99	1,57	10,30	2,27	6,91	1,00	6,72	1,15	<b>173,52</b>	72,60
9-1414	<2μ	66,20	50,10	14,00	62,10	13,20	5,44	16,90	2,65	17,80	4,04	12,30	1,77	11,90	2,07	<b>280,47</b>	136,00
141-520	<2μ	111,00	66,60	22,10	99,40	20,90	6,65	28,20	4,46	31,10	7,32	22,70	3,26	21,20	3,65	<b>448,54</b>	262,00
141-589	<2μ	97,40	69,30	20,20	90,70	19,10	6,94	25,00	3,92	27,10	6,25	19,40	2,78	18,30	3,13	<b>409,52</b>	219,00
141-772	<2μ	119,00	69,70	23,30	106,00	22,40	7,55	30,40	4,77	33,30	7,92	24,50	3,54	23,40	4,02	<b>479,80</b>	282,00
141-977	<2μ	113,00	58,80	20,80	95,60	19,70	6,58	28,00	4,39	31,00	7,45	23,10	3,31	21,40	3,65	<b>436,78</b>	272,00
141-1120	<2μ	87,50	49,70	14,60	66,80	13,50	5,28	19,30	3,06	22,40	5,60	17,70	2,56	16,50	2,90	<b>327,40</b>	218,00
141-1320	<2μ	78,70	38,90	13,00	59,10	11,60	4,41	16,80	2,64	18,80	4,63	14,30	2,01	12,80	2,22	<b>279,91</b>	182,00
169-791	<2μ	93,10	52,70	17,40	79,40	16,40	5,34	22,70	3,57	24,80	5,87	18,10	2,59	16,90	2,85	<b>361,72</b>	208,00
169-850	<2μ	96,30	54,90	17,90	81,40	16,90	5,54	23,30	3,66	25,60	6,10	18,80	2,71	17,60	3,01	<b>373,72</b>	220,00
169-900	<2μ	85,60	49,20	16,00	72,50	14,80	4,86	20,50	3,24	22,50	5,33	16,30	2,36	15,30	2,61	<b>331,10</b>	190,00
169-1005	<2μ	120,00	66,20	22,20	102,00	21,10	7,79	29,90	4,68	32,90	7,91	24,50	3,49	22,50	3,88	<b>469,05</b>	287,00
169-1075	<2μ	103,00	55,10	18,60	85,20	17,40	5,82	24,60	3,85	27,20	6,47	19,80	2,81	18,20	3,10	<b>391,15</b>	235,00
Teil 4																	

Anhang T-26.d.1: Die ICP-MS-Daten der fraktionierten Proben (<2μ-Fraktion) der Reihe 1 aus dem Perubecken. Elemente mit dem Index „>“ haben Konzentrationen, die oberhalb des Messbereiches liegen, und Elemente mit dem Index „<“ haben Konzentrationen, die unterhalb des Messbereiches liegen.

Probe	Ag*	As	(Ba)	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	(Li)	Mo	Nb
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
6-460GESSF	0,01	6,96	12500,00	1,00	0,67	0,41	43,90	40,00	3,12	656,00	16,80	3,24	37,00	2,78	7,24
6-675GESSF	0,01	6,27	12700,00	0,89	0,85	0,48	44,90	64,70	2,32	972,00	16,60	3,08	40,50	1,69	7,22
6-755GESSF	0,01	7,56	15000,00	0,89	0,85	0,39	56,50	26,20	2,25	870,00	15,30	3,10	39,30	1,71	7,30
9-870GESSF	0,01	4,48	12900,00	1,16	0,38	0,39	19,00	44,70	5,77	443,00	22,70	3,75	35,60	0,90	7,75
9-870GESSF	0,01	4,51	9370,00	1,70	0,56	0,10	28,50	39,30	4,45	587,00	19,20	2,88	33,20	0,66	5,92
9-921GESSF	0,11	4,49	10800,00	1,15	1,10	0,42	20,40	94,60	5,44	453,00	22,50	3,32	33,60	1,38	6,98
9-1100GESSF	0,01	4,63	14800,00	0,95	0,49	0,42	26,90	37,40	3,97	545,00	21,40	3,08	30,90	0,74	6,47
9-1390GESSF	0,01	7,86	14600,00	1,02	0,73	0,38	35,40	42,20	4,07	773,00	22,10	3,72	33,60	0,97	7,96
9-1414GESSF	0,01	7,70	16300,00	1,07	0,76	0,34	28,20	40,60	4,06	628,00	22,80	3,96	31,30	1,06	8,13
141-520GESSF	0,01	21,30	16000,00	1,26	1,19	0,49	99,10	36,80	4,29	573,00	21,80	4,91	35,10	4,57	11,30
141-589GESSF	0,01	14,70	15600,00	1,42	1,12	0,41	44,80	61,20	5,15	534,00	23,50	4,85	39,20	2,23	10,40
141-772GESSF	0,01	9,56	15200,00	1,20	1,11	0,42	50,60	42,90	4,59	621,00	22,70	4,46	39,10	2,33	9,65
141-977GESSF	0,01	15,50	15000,00	1,13	1,17	0,41	66,40	37,30	3,45	657,00	20,00	4,33	40,80	3,51	9,90
141-1120GESSF	0,01	9,98	16300,00	1,27	0,95	0,35	33,90	22,10	4,24	478,00	16,90	3,89	35,60	4,06	11,70
141-1320GESSF	0,01	8,80	15700,00	0,83	0,92	0,39	19,60	26,40	2,10	586,00	21,30	3,32	41,90	1,99	7,23
169-791GESSF	0,01	12,10	15600,00	1,19	0,87	0,37	48,20	39,70	3,68	535,00	26,40	4,15	36,70	3,36	9,40
169-850GESSF	0,01	15,00	15100,00	1,26	0,99	0,39	50,80	43,60	4,02	616,00	19,70	4,20	43,00	3,26	10,10
169-900GESSF	0,01	17,70	15700,00	1,24	0,94	0,45	45,60	40,70	3,81	596,00	19,60	4,29	43,10	5,62	10,20
169-1005GESSF	0,01	17,50	16200,00	1,16	1,13	0,47	59,40	39,90	3,51	677,00	21,10	4,37	44,10	4,64	10,30
169-1075GESSF	0,01	10,90	16200,00	1,23	0,98	0,34	47,90	41,00	3,21	792,00	19,80	4,10	43,10	2,62	10,00

Teil 1

Probe	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Rb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	(Se) mg/kg	Sn mg/kg	Ta mg/kg	Th mg/kg	Tl mg/kg	U mg/kg	V mg/kg	W mg/kg	Zn mg/kg	(Zr) mg/kg
6-460GESSF	531,00	48,30	45,20	3,85	22,90	1,09	1,94	0,42	4,68	0,30	0,73	92,40	4,56	483,00	187,00
6-675GESSF	679,00	52,40	37,30	3,63	22,20	1,30	1,90	0,48	3,81	0,27	0,55	87,20	2,39	639,00	197,00
6-755GESSF	617,00	54,10	37,70	4,53	19,20	1,07	2,67	0,43	4,07	0,27	0,66	84,80	3,74	545,00	202,00
9-870GESSF	337,00	16,20	54,00	2,19	27,90	0,95	2,44	0,59	5,67	0,41	0,92	90,60	1,78	375,00	198,00
9-870GESSF	397,00	25,40	49,20	1,75	25,30	1,86	1,54	0,45	5,64	0,31	1,07	72,90	1,45	296,00	148,00
9-921GESSF	331,00	40,10	34,30	1,73	25,10	0,49	2,65	0,56	4,50	0,45	0,93	83,40	1,56	443,00	164,00
9-1100GESSF	357,00	26,00	37,00	1,95	26,00	0,71	4,11	0,42	4,24	0,35	0,68	97,70	1,35	453,00	169,00
9-1390GESSF	457,00	31,60	36,30	3,31	25,50	1,17	2,53	0,49	4,86	0,37	0,74	100,00	2,91	457,00	216,00
9-1414GESSF	384,00	30,50	32,30	3,34	25,40	1,05	2,35	0,49	4,97	0,38	0,75	93,90	2,57	419,00	223,00
141-520GESSF	475,00	65,10	39,00	7,00	27,60	1,32	2,94	0,64	7,31	0,50	1,07	137,00	9,13	416,00	289,00
141-589GESSF	347,00	55,20	35,20	4,08	23,90	1,06	2,82	0,72	6,40	0,55	1,12	121,00	3,34	351,00	259,00
141-772GESSF	374,00	52,10	34,80	3,59	27,00	1,26	2,66	0,63	6,20	0,45	0,94	102,00	4,04	400,00	231,00
141-977GESSF	449,00	69,40	45,10	5,75	27,10	1,83	2,66	0,54	5,83	0,37	0,77	116,00	7,73	407,00	258,00
141-1120GESSF	361,00	53,20	64,70	4,34	15,90	1,13	2,53	1,03	12,50	0,52	2,83	67,50	4,87	372,00	217,00
141-1320GESSF	395,00	42,00	33,10	3,74	17,60	1,41	2,63	0,40	3,87	0,26	0,42	75,10	2,93	389,00	215,00
169-791GESSF	364,00	53,00	44,50	4,38	23,30	1,12	3,44	0,60	6,25	0,42	1,08	113,00	4,58	355,00	225,00
169-850GESSF	413,00	55,40	52,10	4,90	26,80	1,44	2,69	0,60	5,71	0,41	0,87	124,00	4,91	380,00	251,00
169-900GESSF	423,00	53,70	52,60	6,34	26,10	1,63	2,81	0,60	5,67	0,38	0,84	136,00	7,70	387,00	259,00
169-1005GESSF	456,00	67,20	47,50	6,80	29,50	1,76	9,64	0,56	5,47	0,37	0,77	134,00	9,64	422,00	279,00
169-1075GESSF	563,00	58,00	49,80	4,50	26,90	1,69	3,55	0,57	5,20	0,31	0,76	107,00	5,79	498,00	253,00

Teil 2

Probe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	S REE	Y
	mg/kg	mg/kg														
6-460GESSF	43,30	30,30	7,74	33,50	6,23	2,29	8,07	1,21	8,44	2,04	6,46	0,95	6,32	1,09	<b>157,94</b>	77,70
6-675GESSF	53,90	31,00	8,81	39,20	7,09	2,63	10,10	1,50	10,60	2,67	8,38	1,20	7,96	1,38	<b>186,42</b>	107,00
6-755GESSF	41,40	26,90	6,52	28,30	5,11	2,30	6,97	1,03	7,29	1,82	5,82	0,85	5,68	1,01	<b>141,00</b>	74,80
9-870GESSF	24,70	26,30	4,94	20,00	3,81	1,65	4,14	0,61	3,97	0,90	2,78	0,40	2,78	0,51	<b>97,49</b>	31,40
9-870GESSF	50,50	44,40	11,00	47,70	10,30	2,92	12,70	1,96	12,80	2,82	8,52	1,23	8,17	1,39	<b>216,41</b>	97,90
9-921GESSF	10,30	16,80	2,20	8,53	1,60	0,81	1,51	0,23	1,45	0,32	1,02	0,16	1,17	0,22	<b>46,32</b>	10,30
9-1100GESSF	20,60	19,90	4,06	16,80	3,20	1,71	3,68	0,55	3,59	0,84	2,65	0,39	2,75	0,50	<b>81,22</b>	30,60
9-1390GESSF	31,00	27,20	6,08	25,30	4,79	2,13	5,75	0,86	5,76	1,36	4,19	0,63	4,31	0,77	<b>120,13</b>	47,90
9-1414GESSF	29,20	25,90	5,72	24,20	4,59	2,26	5,40	0,82	5,46	1,27	4,01	0,60	4,10	0,75	<b>114,28</b>	45,60
141-520GESSF	49,70	40,30	9,07	39,30	7,42	2,94	9,44	1,42	9,86	2,42	7,66	1,15	7,87	1,37	<b>189,92</b>	89,20
141-589GESSF	42,30	31,00	8,29	35,10	6,82	2,73	8,49	1,29	8,90	2,13	6,83	1,03	7,00	1,22	<b>163,13</b>	77,80
141-772GESSF	49,40	36,30	9,23	39,70	7,46	2,93	9,53	1,44	10,10	2,48	7,88	1,17	7,85	1,38	<b>186,85</b>	94,20
141-977GESSF	65,00	43,60	11,20	48,90	9,04	3,39	12,40	1,82	13,00	3,16	10,10	1,48	9,73	1,71	<b>234,53</b>	124,00
141-1120GESSF	50,90	42,40	8,04	33,60	5,94	2,70	8,15	1,19	8,56	2,18	7,14	1,05	7,12	1,27	<b>180,24</b>	91,00
141-1320GESSF	55,40	31,10	8,76	38,20	6,87	2,89	9,68	1,43	10,20	2,59	8,23	1,19	7,84	1,38	<b>185,76</b>	110,00
169-791GESSF	47,80	35,60	8,60	37,00	6,95	2,84	8,88	1,33	9,26	2,26	7,15	1,07	7,24	1,24	<b>177,22</b>	84,60
169-850GESSF	52,80	37,50	9,48	41,10	7,62	3,03	9,87	1,46	10,20	2,47	7,72	1,14	7,40	1,31	<b>193,10</b>	96,30
169-900GESSF	56,10	39,40	9,73	41,80	7,74	3,15	10,10	1,49	10,50	2,53	7,93	1,17	7,66	1,36	<b>200,66</b>	98,70
169-1005GESSF	58,40	41,00	9,77	42,40	7,76	3,33	10,40	1,53	10,90	2,66	8,38	1,22	7,98	1,41	<b>207,14</b>	107,00
169-1075GESSF	61,80	40,00	10,50	45,60	8,43	3,42	11,20	1,65	11,60	2,83	8,92	1,29	8,40	1,48	<b>217,12</b>	115,00

Teil 3

Anhang T-26.d.2: Die ICP-MS-Rohdaten der salzfreien Gesamtproben der Reihe 1 aus dem Perubecken. \* Werte liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Probe	Ag	As	B	Ba	(Be)	Bi	(Br)	Cd	Co	Ga	(Ge)	Hf	In	(Li)	Mn	Mo	Nb
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
6-460GAD	1,81	41,04	318,00	329,52	6,92	0,75	77,11	0,72	226,91	9,99	0,75	0,51	0,06	42,30	37499,91	2,75	0,05
6-675GAD	6,57	34,24	317,00	202,52	7,96	0,53	113,91	0,57	108,91	7,98	0,65	0,54	0,07	50,70	24099,91	1,35	0,03
6-755GAD	0,16	49,34	311,00	2016,52	7,09	0,78	80,01	0,78	209,91	8,28	0,72	0,54	0,10	37,70	34299,91	1,77	0,04
9-870GAD	0,15	16,34	212,00	142,52	5,43	2,76	63,61	0,24	61,11	10,59	0,60	0,43	0,04	27,60	2339,91	0,26	0,02
9-921GAD	2,27	7,25	198,00	620,52	2,20	0,83	36,91	2,62	26,01	3,89	0,20	0,36	0,03	9,48	5669,91	0,31	0,04
9-1100GAD	1,45	16,44	250,00	137,52	6,21	2,42	74,41	0,50	45,71	9,76	0,57	0,52	0,05	27,70	1799,91	0,21	0,02
9-1390GAD	0,31	31,94	295,00	141,52	7,57	2,03	65,11	0,35	61,61	11,09	0,72	0,55	0,06	31,80	2619,91	0,26	0,03
9-1414GAD	0,19	29,84	266,00	120,52	6,90	1,89	69,31	0,42	55,11	11,59	0,76	0,58	0,07	31,40	2269,91	0,21	0,02
141-520GAD	0,33	85,34	366,00	430,52	6,71	0,42	67,31	1,15	528,91	21,09	1,22	1,00	0,16	35,40	>50000	4,30	0,07
141-589GAD	0,65	60,24	277,00	231,52	6,29	0,70	64,91	0,64	161,91	12,89	1,04	0,76	0,12	42,30	20699,91	1,42	0,03
141-772GAD	0,19	54,94	277,00	1146,52	6,04	0,71	95,71	0,92	283,91	15,59	1,08	1,00	0,11	52,90	39899,91	2,48	0,05
141-977GAD	1,18	95,94	316,00	390,52	6,82	0,80	67,91	1,09	463,91	18,49	1,13	0,93	0,15	39,90	>50000	4,46	0,04
141-1120GAD	0,22	69,54	235,00	294,52	5,36	1,04	53,11	0,64	272,91	10,89	0,73	0,57	0,09	33,10	43599,91	3,02	0,06
141-1300GAD	1,04	55,24	222,00	1126,52	6,70	2,08	67,41	0,45	267,91	9,23	0,71	0,63	0,09	45,50	34699,91	2,42	0,04
169-791GAD	0,64	70,74	294,00	1146,52	5,65	1,23	71,71	0,72	458,91	14,39	0,93	0,77	0,11	44,50	49899,91	3,65	0,04
169-850GAD	0,48	73,24	286,00	270,52	5,81	1,20	72,41	0,64	339,91	12,39	0,91	0,74	0,11	45,20	43899,91	3,28	0,04
169-900GAD	0,43	94,24	266,00	385,52	5,85	1,25	63,11	0,80	589,91	15,19	0,89	0,75	0,12	42,40	>50000	5,82	0,05
169-1005GAD	0,15	105,84	267,00	432,52	6,08	1,33	59,41	1,20	589,91	20,29	1,05	0,91	0,15	38,40	>50000	5,89	0,08
169-1075GAD	0,41	55,14	263,00	240,52	5,91	1,76	70,61	0,59	207,91	13,19	0,89	0,79	0,23	50,80	38799,91	2,75	0,04
Teil 1																	
Probe	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	(Se)	(Sr)	Ta	(Te)	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Zr
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
6-460GAD	1498,67	27,84	6,58	1,96	12,46	20,21	649,73	0,16	7,52	2,85	206,15	0,63	7,58	108,91	1,85	707,94	0,75
6-675GAD	960,67	38,94	5,88	1,25	12,36	21,81	781,73	0,15	5,77	2,68	175,15	0,30	4,73	91,91	1,06	703,94	0,90
6-755GAD	1088,67	33,64	5,08	2,06	9,76	19,61	1469,73	0,15	7,15	2,18	213,15	0,56	5,65	113,91	1,50	544,94	0,99
9-870GAD	708,67	116,84	11,04	0,61	9,86	15,61	426,73	0,10	1,80	8,09	107,15	0,07	3,30	25,41	0,80	548,94	1,45
9-921GAD	293,67	78,44	6,94	0,68	5,16	8,63	505,73	0,07	1,73	5,92	73,25	0,03	1,83	7,31	0,46	224,94	4,43
9-1100GAD	496,67	121,84	10,34	0,60	10,16	17,81	1149,73	0,11	1,29	4,69	83,55	0,08	3,82	25,71	0,71	415,94	2,47
9-1390GAD	538,67	126,84	9,59	0,98	12,96	19,71	507,73	0,13	3,43	5,59	149,15	0,07	4,43	39,11	1,20	465,94	1,56
9-1414GAD	492,67	102,84	10,34	0,87	13,56	20,81	442,73	0,14	2,23	5,55	138,15	0,09	4,69	34,11	1,03	435,94	1,33

Probe	Ni µg/L	Pb µg/L	Rb µg/L	Sb µg/L	Sc µg/L	(Se) µg/L	(Sr) µg/L	Ta µg/L	(Te) µg/L	Th µg/L	Ti µg/L	Tl µg/L	U µg/L	V µg/L	W µg/L	Zn µg/L	Zr µg/L
141-520GAD	2638,67	14,84	7,11	2,30	19,46	28,51	1069,73	0,26	9,68	4,07	274,15	1,11	9,60	153,91	2,88	929,94	1,11
141-589GAD	1278,67	47,54	7,90	1,08	18,56	24,81	683,73	0,19	5,38	6,41	184,15	0,30	6,41	90,51	1,31	581,94	0,71
141-772GAD	2348,67	47,64	9,62	1,23	19,96	30,31	981,73	0,26	6,72	4,98	263,15	0,57	7,27	95,81	1,97	699,94	1,21
141-977GAD	2638,67	45,44	5,93	2,09	17,96	27,21	981,73	0,25	10,99	3,81	322,15	1,28	10,29	150,91	2,90	784,94	0,31
141-1120GAD	1228,67	55,84	4,10	1,68	11,16	18,11	672,73	0,17	6,73	4,73	262,15	0,81	8,14	95,11	1,98	492,94	0,64
141-1300GAD	940,67	126,84	3,96	1,48	11,36	20,41	986,73	0,19	7,86	4,39	220,15	0,21	7,00	86,61	1,51	440,94	0,45
169-791GAD	1748,67	71,04	6,82	1,37	16,86	23,81	725,73	0,20	10,59	5,10	197,15	0,45	6,54	136,91	1,94	654,94	0,47
169-850GAD	1598,67	80,34	6,65	1,31	16,46	23,51	667,73	0,20	9,58	5,05	178,15	0,36	6,50	135,91	1,80	610,94	0,52
169-900GAD	2348,67	80,24	6,31	2,03	16,86	21,51	752,73	0,21	10,89	5,06	207,15	0,90	8,35	177,91	2,64	670,94	0,51
169-1005GAD	2638,67	59,14	5,74	2,33	17,16	23,61	935,73	0,24	10,59	4,02	293,15	1,35	9,50	183,91	3,88	780,94	0,82
169-1075GAD	1448,67	79,14	5,72	1,13	12,46	23,41	568,73	0,21	7,04	4,31	179,15	0,60	5,50	104,91	1,84	665,94	0,48
Teil 2																	
Probe	La µg/L	Ce µg/L	Pr µg/L	Nd µg/L	Sm µg/L	Eu µg/L	Gd µg/L	Tb µg/L	Dy µg/L	Ho µg/L	Er µg/L	Tm µg/L	Yb µg/L	Lu µg/L	S REE µg/L	Y µg/L	
6-460GAD	202,90	94,90	43,20	209,00	47,10	13,90	70,70	11,20	80,90	19,00	58,20	8,30	53,60	9,30	<b>922,20</b>	632,00	
6-675GAD	231,90	99,50	45,00	216,00	47,60	14,10	74,40	11,70	86,00	20,70	63,40	9,00	57,00	9,90	<b>986,20</b>	678,00	
6-755GAD	318,90	96,20	43,60	210,00	44,50	12,90	69,60	11,00	82,10	19,90	62,00	8,80	56,00	9,90	<b>1045,40</b>	723,00	
9-870GAD	157,90	116,80	38,70	184,00	43,10	11,90	58,60	9,20	63,10	13,90	41,60	6,00	39,20	6,80	<b>790,80</b>	452,00	
9-921GAD	112,90	81,60	26,00	120,00	26,70	7,30	35,20	5,50	38,50	8,70	26,50	3,90	25,70	4,60	<b>523,10</b>	293,00	
9-1100GAD	177,90	108,80	41,20	197,00	45,30	12,70	63,00	10,00	70,60	16,30	49,40	7,20	47,20	8,40	<b>855,00</b>	534,00	
9-1390GAD	201,90	129,80	47,40	226,00	52,20	15,00	74,60	11,80	83,70	19,10	58,30	8,40	54,80	9,70	<b>992,70</b>	634,00	
9-1414GAD	279,90	134,80	49,80	238,00	55,10	15,60	77,60	12,40	87,70	20,10	60,90	8,80	58,00	10,30	<b>1109,00</b>	671,00	
141-520GAD	383,28	160,80	77,70	375,00	85,40	24,80	126,00	20,10	146,00	34,40	106,00	15,40	99,90	17,80	<b>1672,58</b>	1210,00	
141-589GAD	311,28	149,80	64,50	309,00	71,90	20,80	104,00	16,60	119,00	27,80	85,50	12,40	79,70	14,00	<b>1386,28</b>	966,00	
141-772GAD	347,28	175,80	83,10	397,00	90,00	25,90	131,00	20,80	149,00	35,30	108,00	15,70	100,00	17,50	<b>1696,38</b>	1090,00	
141-977GAD	372,48	143,80	71,40	348,00	78,10	23,30	120,00	19,10	140,00	33,30	102,00	14,80	94,20	16,50	<b>1576,98</b>	1180,00	
141-1120GAD	244,68	104,80	41,70	202,00	43,90	13,10	70,10	11,20	83,90	20,90	65,80	9,50	60,90	10,90	<b>983,38</b>	803,00	
141-1320GAD	282,48	107,80	48,00	232,00	49,90	14,60	79,70	12,50	93,20	22,70	69,70	9,80	62,00	10,90	<b>1095,28</b>	872,00	
169-791GAD	312,18	129,80	60,10	291,00	65,90	19,30	98,90	15,70	114,00	27,20	83,70	12,10	77,70	13,60	<b>1321,18</b>	969,00	
169-850GAD	312,18	119,80	58,80	285,00	64,40	19,00	97,20	15,30	111,00	26,20	79,90	11,50	73,60	12,90	<b>1286,78</b>	940,00	

Probe	La µg/L	Ce µg/L	Pr µg/L	Nd µg/L	Sm µg/L	Eu µg/L	Gd µg/L	Tb µg/L	Dy µg/L	Ho µg/L	Er µg/L	Tm µg/L	Yb µg/L	Lu µg/L	S REE µg/L	Y µg/L
169-900GAD	308,58	117,80	57,90	282,00	63,50	18,70	95,80	15,20	111,00	26,00	79,40	11,50	73,30	12,90	<b>1273,58</b>	937,00
169-1005GAD	361,68	134,80	65,30	318,00	71,30	21,20	110,00	17,30	127,00	30,40	93,50	13,40	85,50	14,90	<b>1464,28</b>	1140,00
169-1075GAD	341,88	128,80	59,20	289,00	64,60	19,20	100,00	15,90	116,00	27,60	84,20	12,00	76,50	13,40	<b>1348,28</b>	1050,00
Teil 3																

Anhang T-26.d.3: Die ICP-MS-Rohdaten der salzhaltigen Eluate (GAD) der Reihe 1 aus dem Perubecken.

Probe	La µg/L	Ce µg/L	Pr µg/L	Nd µg/L	Sm µg/L	(Eu) µg/L	Gd µg/L	Tb µg/L	Dy µg/L	Ho µg/L	Er µg/L	Tm µg/L	Yb µg/L	Lu µg/L
9-227 III	2,25	1,96	0,53	2,39	0,54	0,24	0,63	0,10	0,68	0,14	0,45	0,06	0,40	0,07
9-617	2,94	2,20	0,64	2,92	0,64	0,27	0,78	0,13	0,86	0,19	0,57	0,09	0,55	0,09
9-824	0,98	0,76	0,22	0,97	0,22	0,07	0,27	0,04	0,29	0,07	0,19	0,03	0,17	0,03
9-844	0,65	0,88	0,27	1,20	0,28	0,09	0,33	0,05	0,35	0,08	0,24	0,03	0,22	0,04
26-4	1,26	1,23	0,38	1,75	0,41	0,14	0,47	0,08	0,51	0,11	0,33	0,05	0,32	0,05
26-12	1,45	1,55	0,50	2,29	0,49	0,23	0,63	0,10	0,69	0,16	0,46	0,07	0,44	0,07
26-574	3,30	1,24	0,39	1,81	0,38	0,22	0,50	0,08	0,58	0,13	0,41	0,06	0,38	0,06
26/698	1,30	1,04	0,35	1,56	0,32	0,11	0,43	0,07	0,49	0,11	0,36	0,05	0,33	0,05
26/707	1,86	0,54	0,20	0,90	0,19	0,08	0,24	0,04	0,29	0,07	0,22	0,03	0,19	0,03
26/1307	1,08	1,64	0,60	2,74	0,54	0,18	0,76	0,12	0,87	0,22	0,67	0,10	0,60	0,10
26/1322	3,57	0,77	0,23	1,00	0,23	0,07	0,27	0,04	0,29	0,06	0,18	0,02	0,17	0,03
77/1329	1,25	4,64	1,81	8,38	1,73	0,52	2,27	0,38	2,67	0,63	1,94	0,27	1,79	0,31
164/354,5	10,58	1,45	0,50	2,33	0,51	0,16	0,64	0,11	0,72	0,17	0,51	0,07	0,48	0,08
164/454,5 c	18,29	8,77	3,52	16,00	3,37	0,97	4,42	0,75	5,26	1,26	3,88	0,56	3,42	0,60
169/vel4	1,22	1,07	0,35	1,64	0,38	0,11	0,44	0,07	0,47	0,11	0,31	0,04	0,30	0,05
169/vel9	1,54	1,10	0,42	1,93	0,40	0,23	0,53	0,08	0,61	0,14	0,44	0,06	0,41	0,06
169/378	2,12	0,93	0,41	1,85	0,39	0,12	0,51	0,08	0,61	0,14	0,45	0,06	0,42	0,06
169/1136,5	3,30	1,44	0,57	2,63	0,54	0,18	0,75	0,11	0,87	0,21	0,67	0,09	0,58	0,10
169/1236,5	1,01	0,43	0,17	0,78	0,16	0,06	0,22	0,03	0,25	0,06	0,20	0,03	0,18	0,03

Anhang T-27: Die ICP-MS-Rohdaten der salzhaltigen Eluate der Reihe 2 aus dem Perubecken.

# Tafel 1



Abb. 1 a 14,5 cm



Abb. 1 b 6 cm



Abb. 2 a 6 cm

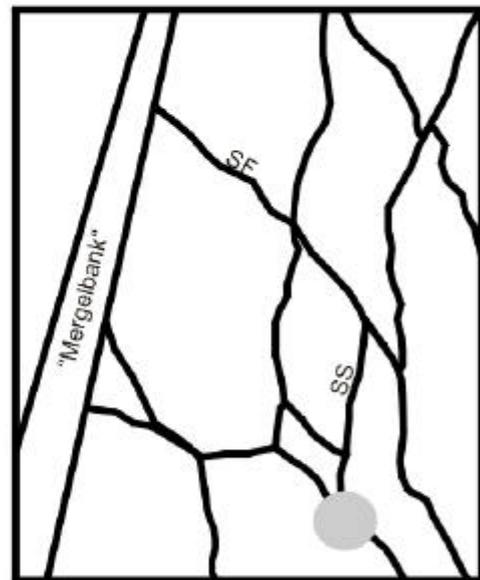


Abb. 2 b 6 cm

**Abb. 1 a:** Aufschluß Salder (Niedersachsen). Ausschnitt aus einer Kalk-Mergel-Wechselfolge des Oberen Turons.

**Abb. 1 b:** Vergrößerter Ausschnitt aus der Abbildung 1 a. Der rote Pfeil weist auf primäre, schichtparallele Mergellagen. Die grünen Pfeile weisen auf Bereiche, an denen makroskopisch erkennbare Drucklösungen stattgefunden haben.

**Abb. 2 a:** Aufschluß Salder (Niedersachsen). Abbildung einer Mergelbank in einer Kalkstein-dominierten Abfolge des oberen Mittleren Turons.

**Abb. 2 b:** Schematische Darstellung der Abbildung 2 a.

## Tafel 2



Abb. 1 a

24 cm



Abb. 1 b

24 cm



Abb. 2 a



Abb. 2 b

10 cm

**Abb. 1 a:** Aufschluß Dörenthe (Nordrhein-Westfalen). Ausschnitt der Kalk-Mergel-Wechselfolge des oberen Ober-Cenomans. Die schichtparallelen Mergel sind in diesem Abschnitt stark reduziert.

**Abb. 1 b:** Vergrößerter Ausschnitt aus der Abbildung 1 a. Der Pfeil weist auf eine Mergellage, die ein neues Bankpaar einleitet.

**Abb. 2 a:** Aufschluß Dörenthe (Nordrhein-Westfalen). Abbildung einer Kalk-Mergel-Wechselfolge des Oberen Cenomans.

**Abb. 2 b:** Vergrößerter Ausschnitt aus der Abbildung 2 a. Die cenomanen Mergellagen werden in diesem Profilabschnitt von blättrigen Kalksteinlagen durchsetzt (Pfeil).

## Tafel 3



Abb. 1 16,5 cm



Abb. 2 12 cm



Abb. 3 12 cm

**Abb. 1:** Aufschluß Gordoia (Provinz Álava, Spanien). Abbildung einer dünnplattigen Mergelbank des Mittleren Cenomans.

**Abb. 2:** Aufschluß Gordoia (Provinz Álava, Spanien). Abbildung einer dünnplattigen Mergelbank des Mittleren Cenomans.

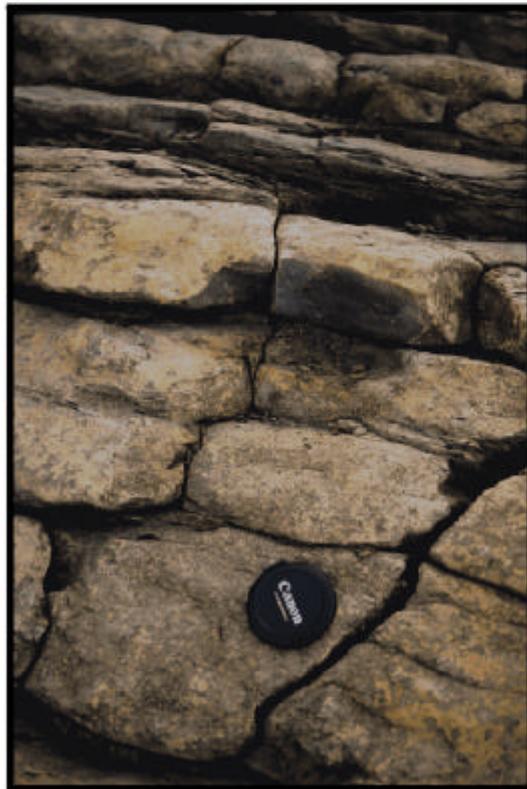
**Abb.3:** Aufschluß Gordoia (Provinz Álava, Spanien). Abbildung einer plattigen, feinlaminierten Kalkmergelbank des höheren Santons.

## Tafel 4



14 cm

Abb. 1



6 cm

Abb. 2

**Abb. 1:** Urrunaga in der Provinz Álava, Spanien. Aufschluß an der Südseite des Urrunaga-Stausees mit gebankten Kalkmergeln aus dem Turon.

**Abb. 2:** Urrunaga in der Provinz Álava, Spanien. Aufschluß an der Südseite des Urrunaga-Stausees mit gebankten Kalkmergeln aus dem Grenzbereich Cenoman/Turon.