

**Geologische und geochemische  
Landschaftsrekonstruktion  
im Siedlungsgebiet von  
Troia (NW-Türkei)**

**Dissertation**

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften**

**der Geowissenschaftlichen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen**

**vorgelegt von**

**Dipl.-Geol. Jana Göbel**

**aus Weißwasser/Oberlausitz**

**2003**



“DON'T BE AFRAID ... YOU CAN DO ANYTHING YOU WANT TO  
DO – IF YOU BELIEVE YOU CAN DO IT!”

J. Irving





*gewidmet*

*Tobias Besier*

*für sein Vertrauen, seine Freundschaft und Liebe, und für seinen Optimismus*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Arbeitsgebiet.....</b>	<b>3</b>
2.1	Geographische Lage und Topographie – Biga-Halbinsel.....	3
2.1.1	Lage und Grenzen .....	3
2.1.2	Relief.....	3
2.1.3	Hydrographie .....	5
2.1.4	Nähere Umgebung von Troia.....	5
2.2	Klima und Vegetation .....	6
2.2.1	Klimatische Verhältnisse.....	6
2.2.2	Vegetation .....	7
2.3	Archäologisch-geschichtlicher Abriß.....	7
2.4	Forschungsgeschichte und Forschungsstand .....	9
2.4.1	Geographie und Topographie .....	9
2.4.2	Archäologische Erforschung.....	9
2.4.3	Geowissenschaftliche Forschungen .....	11
2.4.4	Thermolumineszenz (TL)/Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL).....	12
<b>3</b>	<b>Geologische Verhältnisse .....</b>	<b>13</b>
3.1	Einleitung .....	13
3.2	Regionalgeologische Situation .....	13
3.2.1	Anatolien .....	13
3.2.2	Biga-Halbinsel .....	18
3.2.3	Umfeldgeologie Troia .....	19
<b>4</b>	<b>Methodik und Material .....</b>	<b>21</b>
4.1	Allgemeines.....	21
4.2	Probennahme.....	21
4.3	Sedimentologische Untersuchungen .....	23
4.3.1	Beschreibung .....	23
4.3.2	Korngrößenanalyse .....	23
4.3.3	Wassergehaltsbestimmung .....	24
4.3.4	Mineralbestand .....	24
4.4	Geochemische Untersuchungsmethoden .....	24
4.4.1	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).....	24
4.4.2	Stabile Isotope (Sauerstoff, Kohlenstoff) .....	26
4.5	Altersdatierung – Optisch Stimulierte Lumineszenz.....	31
4.5.1	Allgemeines.....	31
4.5.2	Phänomen der Lumineszenz und physikalische Grundlagen .....	31
4.5.3	Prinzip der Datierung .....	33
4.5.4	Bleichbarkeit des IRSL-Signals.....	35
4.5.5	Stabilität des Lumineszenzsignals.....	36
4.5.6	Altersgleichung.....	37
4.5.7	Probenaufbereitung und -bearbeitung .....	43

4.5.8	Messung und Auswertung.....	50
4.6	Material.....	51
4.6.1	Allgemeines.....	51
4.6.2	Proben.....	51
<b>5</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>53</b>
5.1	Allgemeines .....	53
5.2	Sedimentologie.....	53
5.2.1	Statistische Auswertung der Korngrößenanalysen.....	53
5.2.2	Beschreibung der Bohrkern.....	56
5.3	Geochemie .....	64
5.3.1	Röntgenfluoreszenzanalyse .....	64
5.3.2	Stabile Isotope .....	79
5.4	Datierung .....	82
5.4.1	Allgemeines.....	82
5.4.2	Bohrung Dümrek.....	82
5.4.3	Bohrung Theater.....	82
5.4.4	Bohrung Höhle .....	84
5.4.5	Bohrung Çıplak .....	84
<b>6</b>	<b>Auswertung und Interpretation .....</b>	<b>86</b>
6.1	Sedimentologie.....	86
6.1.1	Einleitung.....	86
6.1.2	Korngrößenanalysen .....	87
6.1.3	Fazielle Ausbildung der Sedimente der Bohrkern.....	90
6.2	Geochemie .....	109
6.2.1	Röntgenfluoreszenzanalyse .....	109
6.2.2	Stabile Isotope .....	119
6.3	Datierung .....	124
6.3.1	Allgemeines.....	124
6.3.2	Bohrung Dümrek.....	125
6.3.3	Bohrung Theater.....	125
6.3.4	Bohrung Höhle .....	126
6.3.5	Bohrung Çıplak .....	127
6.3.6	Zusammenfassung .....	128
6.3.7	Sedimentationsraten.....	130
<b>7</b>	<b>Schlußfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>132</b>
7.1	Zusammenfassende Diskussion – Schlußfolgerungen .....	132
7.2	Ausblick.....	135
7.2.1	Sedimentologie und Fazies.....	135
7.2.2	Geochemie .....	135
7.2.3	Datierung.....	135
7.2.4	Resümee.....	136
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>138</b>

<b>9</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>148</b>
9.1	Abkürzungsverzeichnis.....	148
9.2	Abbildungsverzeichnis.....	149
9.3	Tabellenverzeichnis .....	154
9.4	Anhangsverzeichnis.....	157



## Danksagung

Ohne die Mithilfe und Unterstützung einer Vielzahl von Personen ist die Durchführung einer Arbeit wie der vorliegenden nicht möglich. Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. M. Satir (Tübingen), der diese Arbeit betreut hat, mir immer für Diskussionen bereit stand und durch zahlreiche Denkanstöße die Arbeit förderte. Herrn Prof. Dr. G. A. Wagner (Heidelberg) danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats. Er ermöglichte mir die Durchführung der Datierungsarbeiten an der Forschungsstelle für Archäometrie in Heidelberg und unterstützte die Arbeit durch zahlreiche fachliche Anregungen.

Für die Möglichkeit Probenmaterial aus der Troas bearbeiten zu können und die freundliche Aufnahme in Troia möchte ich mich bei Herrn Prof. M. Korfmann (Tübingen) und dem gesamten Troia-Team herzlich bedanken. Einen wesentlichen Anteil an meinem Verständnis der troianischen Geschichte hat R. Becks, MA, der jederzeit ein offenes Ohr für mich hatte und dessen kritische Anmerkungen sehr fruchtbar waren. Auch Dr. P. Jablonka war immer bereit, mir archäologische Fragen zu beantworten.

Prof. Kayan (Izmir) und seinen Mitarbeitern möchte ich für die Durchführung der Bohrungen und die Bereitstellung der Proben danken. Darüber hinaus stand Prof. Kayan immer für Diskussionen zur Verfügung.

Bei der Durchführung der Laborarbeiten waren G. Bartholomä, M. Schumann, B. Steinhilber und G. Stoschek vom Institut für Geochemie in Tübingen eine sehr große Hilfe. Für ihre vielfältige Unterstützung möchte ich Dr. H. Taubald und Dr. T. Vennemann (jetzt Lausanne) danken. Sie haben mich in die Thematik der Isotopengeochemie eingeführt und standen mir bei der Auswertung der Ergebnisse hilfreich zur Seite. Viele Anregungen habe ich auch in Diskussionen mit Prof. E. Hegner (jetzt München), Dr. H. Janz und Dr. E. Stephan erhalten.

Eine erste Einführung in die Datierungsmethode der OSL gaben mir Prof. A. Lang (jetzt Leuven) und Dr. B. Mauz (jetzt Bonn). BSc (Hon Open) S. Lindauer war eine sehr große Hilfe bei der Durchführung sämtlicher Laborarbeiten. Ihre Anwesenheit ließen die vielen Stunden im Dunkellabor wie im Fluge vergehen. Außerdem übernahm sie die Durchführung und Auswertung der Gammaskpektrometrie. Dr. A. Kadereit war bei der Auswertung der Ergebnisse behilflich und stand für die Diskussion bodenkundlicher Fragestellungen zur Verfügung. Weitere Anregungen habe ich von Dr. R. Kuhn, Dipl.-Phys. S. Greilich, Dr. U. Glasmacher und Dr. R. Jonkheere (jetzt Freiberg) erhalten. Letzterer half mir auch in so manch dunkler Nacht in der Forschungsstelle Geister zu vertreiben. Außerdem möchte ich allen Mitarbeitern der Forschungsstelle Archäometrie dafür danken, daß sie mir bereitwillig an unzähligen Wochenenden das gesamte Labor zur alleinigen Verfügung stellten und auch während meiner längeren Aufenthalte in Heidelberg immer bereit waren, mir einen Vorzug bei der Benutzung der Labore und Messgeräte einzuräumen.

Dr. B. Kromer (Heidelberg) führte freundlicherweise die Datierung der  $^{14}\text{C}$ -Proben durch. Prof. Nickel und Dr. Ch. Berthold (Tübingen) ermöglichten die Durchführung der Korngrößenanalysen am Mastersizer, in dessen Funktionsweise mich Dipl.-Min. R. Klein einwies.

Eine sehr große Hilfe sowohl bei fachlichen Fragen als auch bei sonstigen Problemen aller Art war Dr. Ch. Wolkersdorfer (Freiberg). Prof. J. W. Schneider (Freiberg) hatte immer ein offenes Ohr für mich und verhalf mir durch sein stetiges Interesse und seine Begeisterungsfähigkeit immer wieder zu neuer Energie.

Allen denen ich meine Arbeit ganz oder in Teilen zur Korrektur aufgenötigt habe, möchte ich herzlich für die schnelle Durchsicht und die kritischen Anmerkungen danken, die erheblich dazu beigetragen haben, diese Arbeit zu verbessern.

Für die nötige moralische Unterstützung in Form von Abwechslung, Aufmunterungen, Zuspruch und Ansporn sorgten neben meiner Familie Dr. T. Besier, A. und S. Lindauer, S. Müller, Dr. M. Niedermayer und Dr. Ch. Wolkersdorfer.

Weiterhin möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken, die zum Gelingen meiner Arbeit einen mehr oder weniger großen Beitrag geleistet haben: U. Gabriel (MA), E. Kirsten, H. Mozer, Prof. L. Zöller, Prof. C. J. Booth, Dr. C. Woda, Dr. J. Habermann, Dipl.-Geol. J. Zöldföldi, Dr. S. Angloher-Reichelt, E. Reitter, Dr. I. Wagner, C. Eichstädter, M. Holder.

Finanziell unterstützt wurde die Arbeit durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Graduiertenkollegs „Anatolien und seine Nachbarn“ an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, dem Institut für Geochemie der Universität Tübingen sowie der Forschungsstelle Archäometrie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Das Max-Planck-Institut für Kernphysik Heidelberg ermöglichte die Nutzung der Institutseinrichtungen.

Ihnen allen sei herzlich für die freundliche Unterstützung gedankt.



## Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Anwendbarkeit geologischer, geochemischer und geochronologischer Methoden zur Rekonstruktion einer anthropogen beeinflussten Landschaft im Westen Anatoliens. Neben Aussagen zur Herkunft der Sedimente, ihrem Transportweg, der Sedimentationsrate und dem Ablagerungsmilieu wurden diese Prozesse quantifiziert und mit Hilfe der vorhandenen archäologischen Chronologie in einen historischen Rahmen gebracht. Dazu wurden in der unmittelbaren Umgebung des Burgbergs von Troia drei Bohrungen mit Endteufen zwischen 7,3 m und 12,0 m abgeteuft (Bohrung Theater, Bohrung Höhle, Bohrung Çıplak). Eine vierte Bohrung (Bohrung Dümrek) wurde ca. 1,5 km nördlich des Burgbergs bis in eine Teufe von 23,0 m niedergebracht. Insgesamt wurden aus den vier Bohrkernen 42 Proben zur weiteren Analyse entnommen. Zur Untersuchung der Sedimente kamen die folgenden Methoden zur Anwendung:

- sedimentologische und stratigraphische Beschreibung,
- Mineralbestandsanalyse,
- Korngrößenanalyse,
- geochemische Untersuchung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA),
- Ermittlung von Klimaindikatoren mittels Untersuchung der stabilen Isotope von Kalkkonkretionen ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) und organischem Material ( $\delta^{13}\text{C}$ ),
- Datierung mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL).

Bei den erbohrten Sedimenten handelt es sich um tonig-schluffige bis feinsandige Ablagerungen in die nur gelegentlich Grobklastika eingeschaltet sind. Die Sedimentation erfolgte vorwiegend unter ruhigen Bedingungen in einem flachmarinen und fluviatilen Ablagerungsraum. Es überwiegen Ablagerungen der Überflutungsebene (overbank deposit). Neben gröberklastischen Uferwallbildungen (levée/bank deposit/point bar) sind Ablagerungen der Alluvialebene (alluvial plain/flood plain) und solche in sumpfigen Gebieten (swamp) vorherrschend. Gelegentlich wurde anthropogener Eintrag nachgewiesen. Eine der Bohrungen (Höhle) hat in etwa 5,5 m Teufe einen ca. 25 cm mächtigen „anthropogenen Horizont“ aufgeschlossen.

Aus den Ergebnissen der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) konnten eindeutig zwei verschiedene Liefergebiete für die Sedimente abgeleitet werden. Zum einen handelt es sich um basische Gesteine, die vorwiegend im Liefergebiet des Flusses Dümrek zu finden sind und zum anderen um saure bis intermediäre Gesteine aus dem Einzugsgebiet des Flusses Karamenderes. Während das Profil der Bohrung Dümrek von den Abtragungsprodukten der Peridotite der Denizgören Ophiolithe im Einzugsgebiet des Dümreks nordöstlich von Troia und das der Bohrung Höhle von denen der kontinentalen Sedimente und Sedimentgesteine des Miozäns und Pliozäns im Einzugsgebiet des Karamenderes südöstlich von Troia gebildet werden, wird das Profil der Bohrung Theater von beiden Liefergebieten beeinflusst. Als Liefergebiet der Sedimente der Bohrung Çıplak werden die neogenen Ablagerungen im Einzugsgebiet des Flusses Çıplak östlich von Troia angesehen, bei deren Ursprungsgesteinen es sich um die selben Gesteinseinheiten handelt, wie bei den Miozänen und Pliozänen Sedimenten sowie Sedimentgesteinen im Einzugsgebiet des Karamenderes.

Mittels der Untersuchung stabiler Isotope an Kalkkonkretionen konnte belegt werden, daß es während der Besiedlung von Troia keine bedeutenden Klima- bzw. Temperaturschwankungen gegeben hat. Tendenziell scheinen die Temperaturen im Vergleich zu heute um 2—4 K geringer gewesen zu sein. Sowohl die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen an den Kalkkonkretionen als auch die an dem organischen Material durchgeführten, haben die sedimentologischen und geochemischen Ergebnisse hinsichtlich der Ablagerungsräume (flachmarin/fluviatil) und der Liefergebiete (Einzugsgebiet Dümrek/Einzugsgebiet Karamenderes) bestätigt.

Von den insgesamt 42 entnommenen Proben konnten 32 datiert werden. Von diesen 32 Altern sind 13 als zu hoch und 19 als realistisch einzuschätzen. Die erhaltenen Alter liegen in dem Zeitraum vom Pleistozän bis kurz nach der Zeitenwende, wobei der Großteil in den historischen Zeitraum von der Späten Bronzezeit bis zur Römischen Kaiserzeit fällt (Troia VI bis Troia IX). Wie weiterhin gezeigt werden konnte, sind sowohl flachmarine Ablagerungen im Deltabereich als auch fluviatile Ablagerungen prinzipiell für eine Datierung mittels der Optisch Stimulierten Lumineszenz (OSL) geeignet. Maßgeblich für eine Datierbarkeit mittels OSL sind die sedimentologischen Eigenschaften: Sedimente, die eine sehr gute bis mittelmäßige Sortierung bei sehr hoher bis hoher Gleichförmigkeit aufweisen und aus einem Transportmilieu mit geringer Sedimentfracht abgelagert wurden, sind für eine Datierung geeignet. Im fluviatilen Ablagerungsraum handelt es sich bei solchen um flußbettnahe Ablagerungen der Überflutungsebene (floodplain, interchannel area) sowie um Sandbänke (sand bar, point bar, channel bar) und Uferwallbildungen (levée).

Mit Hilfe der erhaltenen Alter konnten Sedimentationsraten zwischen 10 cm und 10 m in 1000 Jahren errechnet werden. Diese Sedimentationsrate entspricht in etwa dem empirisch ermittelten Wert von 1–10 m in 1000 Jahren, der aus Angaben älterer sedimentologischer Untersuchungen errechnet wurde. Damit wird die relativ hohe Genauigkeit der ermittelten OSL-Alter bestätigt.

## Summary

The changes in an anthropogenically influenced landscape in the vicinity of the archaeological site of Troy, Turkey, were investigated by the use of sedimentological, geochemical, and geochronological techniques. The origin, transport route, accumulation rate, and depositional environment of the sediments were evaluated and quantified, and, in conjunction with dating the sediments, were interpreted in the context of the available archaeological chronology. Three drill holes close to the castle hill were sunk, reaching depths between 7.30 m and 12.00 m below surface (Cores Theater, Höhle, Çıplak). A fourth hole (Core Dümrek), situated about 2 km north of the castle hill, was drilled to a depth of 23.00 m below surface. Altogether, 42 samples were taken from the four drill holes for further analysis. In order to examine the sediments, the following methods were used:

- sedimentological and stratigraphical description,
- mineral stock analysis,
- grain size analysis,
- geochemical examination by means of X-ray analysis,
- determination of climate indicators by examination of the stable isotopes of carbonate concretions ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) and organic material ( $\delta^{13}\text{C}$ ),
- dating by means of optical stimulated luminescence (OSL).

Most of the sediments are clayey silt to fine sand deposits. Coarser material occurs only occasionally. The sedimentation was characterized by quiet conditions in a shallow marine and fluvial system with overbank deposits dominating. Besides coarser (levée/bank) and more channel-related (point bar) sediments, deposits are mostly of the alluvial plain (flood plain) and its prevailing swampy environment. Some layers consisted partly of anthropogenic material. In one of the drillings (Core Höhle), an approximately 25 cm thick “anthropogenic layer” was found at a depth of around 5.50 m below surface.

From the results of the X-ray analysis of the sediments, two different provenance areas could clearly be determined. These are the basaltic rocks, which are predominant in the catchment area of the river Dümrek, and the acidic to intermediate rocks, from the catchment area of

the river Karamenderes. Whilst the sediments of Core Dümrek originate from peridotite erosion products of the Denizgören Ophiolite outcropping in the catchment area of the river Dümrek northeast of Troy, those of Core Höhle derive from the continental sediments and sedimentary rocks of Miocene and Pliocene age in the catchment area of the river Karamenderes southeast of Troy. The sediments of Core Theater were influenced from both catchment areas. The Neogene deposits east of Troy in the catchment area of the river Çıplak are considered to be the provenance for the sediments of Core Çıplak. These deposits are erosion products of the Miocene and Pliocene sediments and sedimentary rocks in the catchment area of the river Karamenderes.

As the results of the stable isotope investigations from the carbonate concretions prove, there were no significant climate or temperature fluctuations during the settlement of Troy. The archaeological temperatures were 2—4 K lower than temperatures of today. Both the results of the stable isotope analysis of the carbonate concretions, and those of the organic material, have confirmed the sedimentological and geochemical results with regard to the depositional environment (shallow marine/fluvial) and the provenance areas (catchment areas Dümrek and Karamenderes).

Altogether, 32 out of the 42 samples taken could be dated. From these 32 ages, 13 are assessed as too high and 19 as realistic. The ages calculated fall into the period from Pleistocene to about 100 A.D. Most ages represent the historical period from the Late Bronze Age to the Roman Empire (Troia VI to Troia IX). Furthermore, it could be shown that both shallow marine deposits in a deltaic environment and fluvial deposits are, in principle, suitable for dating by means of optical stimulated luminescence (OSL). The sedimentological parameters are important for the dating of sediments dating by means of OSL. Sediments with a very good to moderate sorting and a very high uniformity, deposited at times of low sediment load, are well suitable for dating. These are overbank deposits laid down close to a river channel in the flood plain and in the interchannel area, as well as channel bars, sand bars, point bars, and levées.

Based on the deposition dates of the sediments, their accumulation rates could be calculated, ranging between 10 cm and 10 m in 1000 years. These rates correspond well with the range 1 m to 10 m in 1000 years, empirically calculated from older sedimentological investigations. Thus, the relatively high precision of the determined ages is confirmed.



## 1 Einleitung

Auf Generationen von Menschen übte und übt der Ort Troia eine große Faszination aus, die vor allem durch die Überlieferungen in der Ilias begründet sind. Seit dem Beginn der Ausgrabungen des heute als Troia bekannten Siedlungsplatzes haben unzählige Menschen diesen Ort besucht und auf Grund der über 50-jährigen Grabungsgeschichte zählt Troia zu einem der am besten erforschten (prä-)historischen Orte. Durch die umfangreichen und detaillierten archäologischen Forschungen ist es gelungen, die Besiedlungsgeschichte Troias über nahezu 4000 Jahre hinweg (ca. 3000 v. Chr.—480 n. Chr.) zu rekonstruieren. Da Troia über diesen Zeitraum fast kontinuierlich besiedelt war, stellt dieser Ort einen wichtigen Bezugspunkt für die Chronologie der Alten Welt von der Frühen Bronzezeit bis zur Römische Kaiserzeit dar.

Naturwissenschaftliche Methoden sind in der Archäologie seit etwa 100 Jahren ein wichtiges Hilfsmittel zur Beantwortung historischer Fragestellungen. Während die Naturwissenschaften anfänglich vor allem als Hilfsmittel zur Beantwortung archäologischer Fragestellungen betrachtet wurden (Datierung mittels  $^{14}\text{C}$ - und U/Th-Methode, geophysikalische Prospektion, Bestimmung von Pflanzen und Knochen, Erhalt und Restaurierung von Fundstücken) werden seit etwa zwei Jahrzehnten interdisziplinäre Forschungen durchgeführt, in deren Rahmen umfassende Probleme sowohl unter archäologischen als auch unter naturwissenschaftlichen Aspekten betrachtet und bearbeitet werden. Einen wichtigen Bestandteil dabei stellen Untersuchungen dar, die anthropogen beeinflusste Veränderungen der Landschafts- und Umweltbedingungen rekonstruieren, da auch die Erforschung des Lebensraumes von Bedeutung für historische Aspekte ist.

Ehemalige Landschaften stellen den ökologisch bestimmenden Lebensraum vergangener Kulturen dar und ihre biotischen und abiotischen Faktoren bildeten die tragende wirtschaftliche Basis des menschlichen Handelns. Aufgrund anthropogener Beeinflussungen, wie z.B. Nutzbarmachung von Boden, wandelten sich Naturlandschaften in Kulturlandschaften um. Diese Nutzbarmachung von Naturressourcen löst ökologische Veränderungen aus, die sich wiederum ökonomisch auf den Menschen auswirken. Zur Ausbildung einer Kulturlandschaft führen viele ineinandergreifende Prozesse, die vor allem in den biogenen und klastischen Sedimenten dokumentiert sind und die in dieser Arbeit untersucht wurden.

Neben einer Unmenge von archäologischen Funden und Erkenntnissen liegen für Troia und seine Umgebung auch viele naturwissenschaftliche Daten vor. Schon C. W. BLEGEN bediente sich im Rahmen seiner Forschungen naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden, die seit dem Beginn der Grabungsaktivitäten des Tübinger Forscherteams einen integralen Bestandteil der Untersuchungen in Troia darstellen.

Auf Grund der umfangreichen archäologischen Erforschung und der daraus resultierenden geschichtlichen Chronologie sowie der umfangreichen naturwissenschaftlichen Datenbasis ist das Siedlungsgebiet von Troia besonders gut für die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Mensch und Umwelt geeignet. In den Sedimenten sind sowohl die geschichtlichen Geschehnisse als auch die geologischen Prozesse gespeichert. Mit Hilfe geowissenschaftlicher Methoden ist es somit möglich, diese Prozesse zu ermitteln und zu quantifizieren. Des Weiteren ist die archäologische Chronologie ein wichtiges Hilfsmittel zur Kontrolle der mit Hilfe der durch die Optisch Stimulierten Lumineszenz (OSL) ermittelten Alter. Für die Erprobung dieser Datierungsmethode an verschiedenen fluviatilen Sedimenten steht somit in Troia eine verlässliche Chronologie zur Verfügung, um die OSL-Alter auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen.

Die vorliegende Arbeit untersucht einen Teilaspekt der oben genannten Vorgänge und Zusammenhänge. Dazu bedient sie sich folgender geowissenschaftlicher Methoden:

- Sedimentologie und Fazieskunde,
- Stratigraphie,
- Geochemie (Röntgenfluoreszenzanalyse),
- Untersuchung der stabilen Isotope  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ ,
- Datierung (Optisch Stimulierte Lumineszenz: OSL).

Ziel der Untersuchungen ist es, ein ausgewähltes Gebiet in unmittelbarer Nähe zum Burgberg von Troia mit den oben angeführten Methoden näher zu erforschen, um die dortigen geologisch-archäologischen Zusammenhänge exemplarisch darzulegen.

Eine genaue sedimentologische Untersuchung der Ablagerungen und ihrer faziellen Ausbildung soll Aufschluß über die genauen Umstände der Ablagerung sowie über das Milieu bzw. die ökologischen Bedingungen des Ablagerungsraumes geben. Des weiteren soll untersucht werden, wie sich die unmittelbare Nähe einer menschlichen Siedlung qualitativ und quantitativ auf die sedimentologischen Vorgänge ausgewirkt hat und ob anthropogenes Material in den Sedimenten Aussagen über die Siedlungsaktivität zuläßt.

Mit Hilfe der geochemischen Analyse der Sedimente soll ermittelt werden, welche Gebiete im Hinterland von Troia bzw. welche Gesteine im Einzugsbereich der sedimentliefernden Flüsse als Liefergebiete und Ausgangsgesteine der Sedimente in der Ebene von Troia in Frage kommen. Daneben soll geklärt werden, ob sich auch geochemisch eine anthropogene Komponente in den Sedimenten nachweisen läßt.

Mögliche klimatische und daraus resultierende ökologische Veränderungen während des untersuchten Zeitraums (Pleistozän bis rezent) sollen über die Untersuchung der stabilen Isotope an karbonatischen und organischen Materialien vorgenommen werden. Dabei soll geklärt werden, ob die Methode trotz der zu erwartenden Schwierigkeiten (z.B. kein geschlossenes System) auswertbare und aussagekräftige Ergebnisse liefert.

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist der Frage gewidmet, ob die Methode der Optisch Stimulierten Lumineszenz (OSL) geeignet ist, um die verschiedenen fluviatilen Sedimente in der troianischen Ebene zu datieren. Damit wäre es zum einen möglich die archäologische Chronologie zu untermauern und zum anderen könnten über die Quantifizierung des Sedimenteintrags die bisherigen geologisch-geomorphologischen Arbeiten im Umfeld von Troia unterstützt und verifiziert werden.

## 2 Arbeitsgebiet

### 2.1 Geographische Lage und Topographie – Biga-Halbinsel

#### 2.1.1 Lage und Grenzen

Das Arbeitsgebiet befindet sich im Nordwesten der Türkei auf der Biga-Halbinsel, die den äußersten Nordwesten der Kleinasiatischen Halbinsel Anatolien bildet (Abb. 1). Zwischen dem 26. und 28. nördlichen Breitengrad und dem 39. und 41. nördlichen Längengrad gelegen, stellt diese Region die Nahtstelle zwischen Europa und Asien, der Ägäis und dem Schwarzmeerraum dar. Entsprechend der naturräumlichen Gliederung der Türkei von EROL (1983) wird die Biga-Halbinsel zur Nordanatolischen Berg- und Beckenlandschaft gezählt und innerhalb dieses Gebietes zum südlichen Marmara Berg- und Beckenland der Marmara Berg- und Beckenregion. Nördlich begrenzt wird die Biga-Halbinsel vom Marmarameer und den Dardanellen (Abb. 2). Westlich grenzt die Ägäis an, südlich ein schmaler Küstensaum nördlich des Golfs von Edremit. Parallel zum Tal des Kocaavşar Cayi am Fuße des angrenzenden Hügellandes verläuft die Ostgrenze der Biga-Halbinsel.

#### 2.1.2 Relief

Nach der geomorphologischen Großgliederung der Türkei von GÜLDALİ (1979) gehört die Biga-Halbinsel zum Rumpfschollen- und Grabensystem der Westtürkei, das durch tiefe Gräben und eingerumpfte Gebirgshorste charakterisiert ist. Im westlichsten Bereich dieses Gebietes, der Biga-Halbinsel, wird das Relief vorwiegend von den NE—SW verlaufenden geologischen Strukturen bestimmt.



Abb. 1: Vereinfachte geographische Übersichtskarte der Türkei (Kartengrundlage verändert aus EROL 1983).

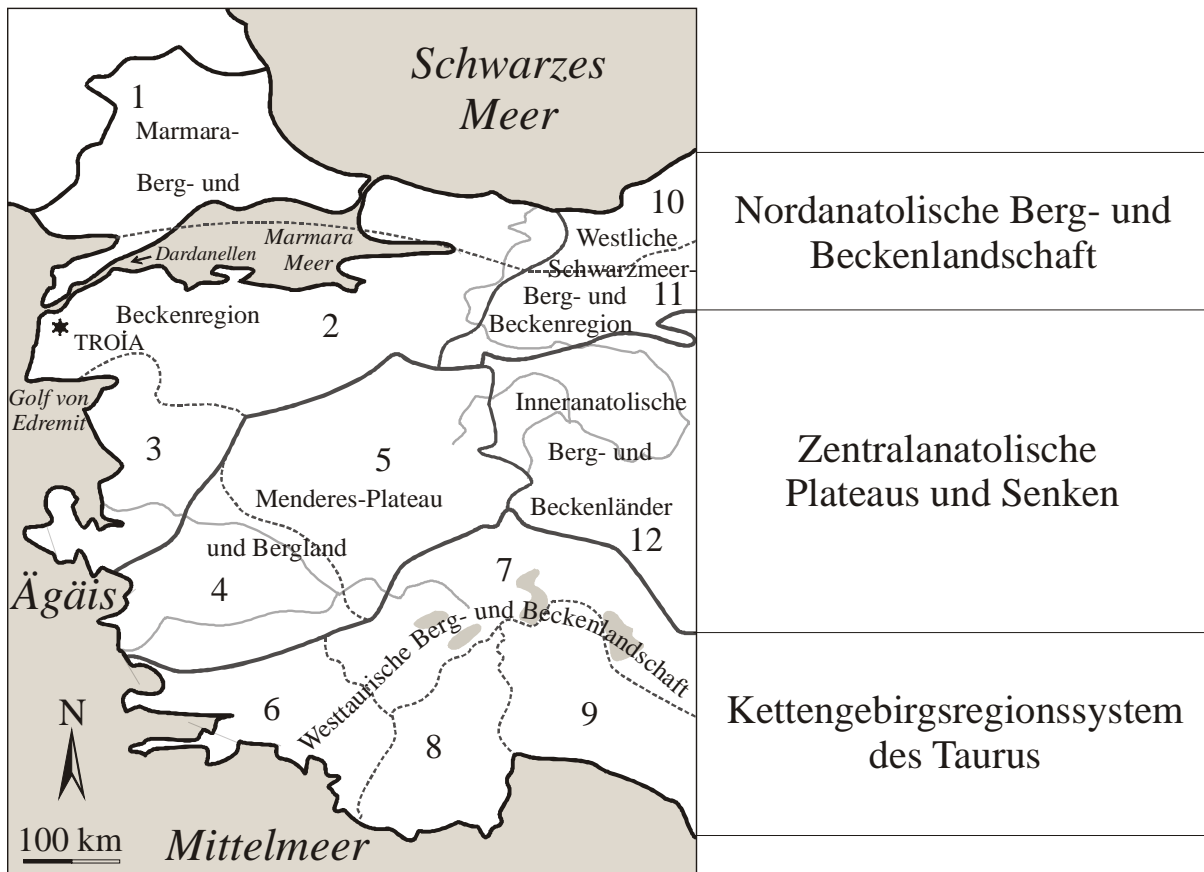


Abb. 2: Naturräumliche Gliederung der Türkei nach EROL 1983 (1: Nördliche Marmara-Plateaus und Beckengebiete, 2: Südliches Marmara-Berg- und Beckenland, 3: Nordägäisches Berg- und Beckenland, 4: Ägäische Bruchsenkenzone, 5: Innere Westanatolische Schwelle, 6: Menteşe Berg- und Beckenlandschaft, 7: Beckengebiet der Westtaurischen Seen, 8: Bergland um Teke, 9: Berg- und Beckenlandschaft um Antalya und Akseki, 10: Küstengebirge zwischen Akçakoca und Küre, 11: Koroğlu-Berge, 12: Oberes Sakarya-Plateau und Bergland, verändert aus EROL 1983).

Die Landschaft der Biga-Halbinsel, die Troas, untergliedert EROL (1983) in sieben Teillandschaften (Abb. 3):

- die Gebirgskette des Kazdağ (Ida-Gebirge) im Süden,
- das Geyikli-Gülpınar Bergland parallel zur Küste der Ägäis,
- das Bergland von Kayacıdağ im Norden,
- die Plateaus und Becken von Bayramiç-Ezine im zentralen Teil der Biga-Halbinsel,
- der Biga-Çan-Senke, im Nordosten sowie
- die Dardanellen und die Halbinsel Gelibolu.

Mit 1774 m über dem Meer (GÜLDALİ 1979; 1767 m: Geologische Karte Blatt Izmir, ALPAN et al. 1964) stellt der Babadağ im Kazdağ-Gebirge die höchste Erhebung der Biga-Halbinsel dar. Eine durchschnittliche Höhe von 500 m über dem Meer erreichen das Bergland von Geyikli-Gülpınar und Kayacıdağ. BİLGİN (1969, zitiert in GÜLDALİ 1979) gibt für die Plateaus und Beckenregionen im zentralen Teil der Biga-Halbinsel Höhen von 100 m im Norden und Süden des Beckens von Bayramiç-Ezine an, sowie 80—100 m für die östlich und 40—60 m für die Gebiete westlich der Deltaebene des Karamenderes.



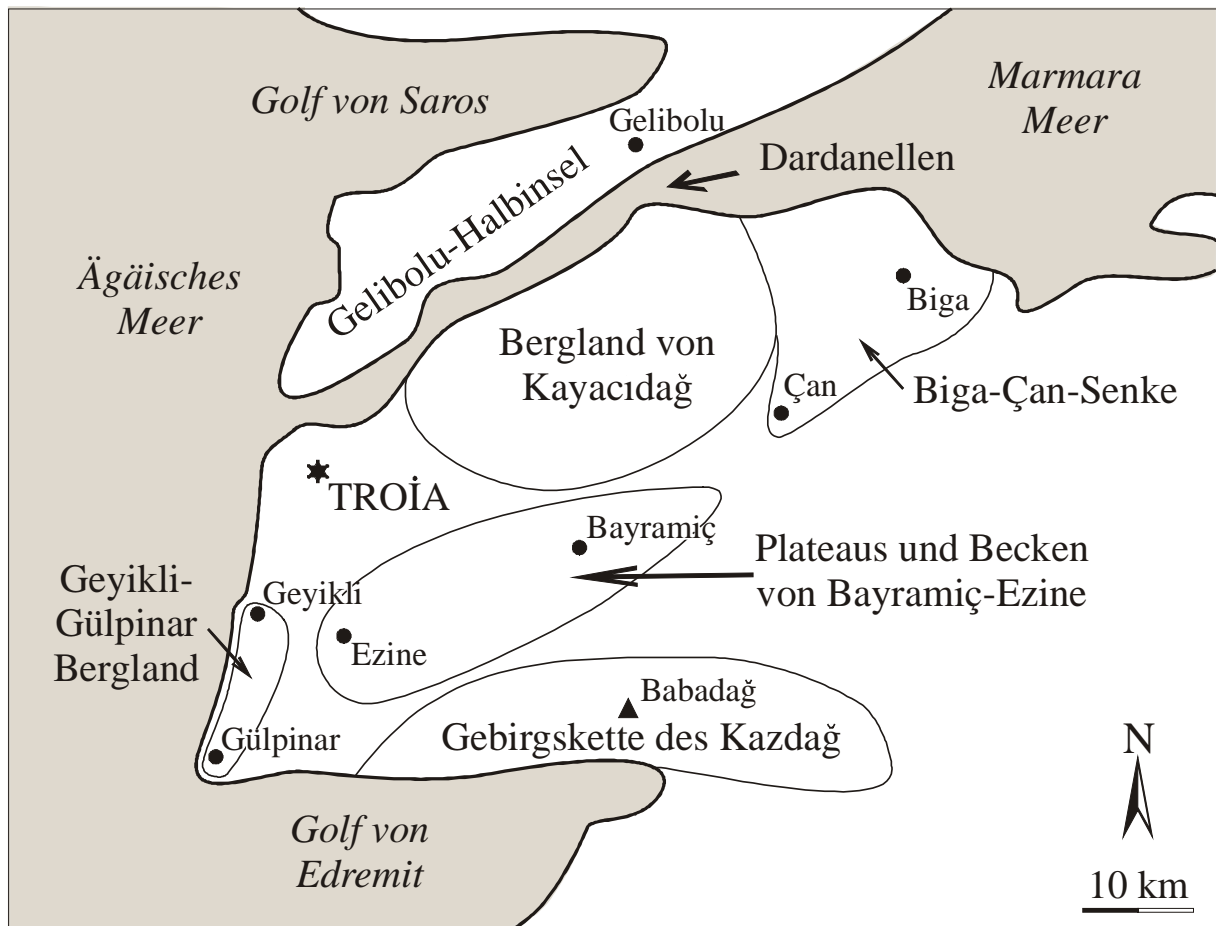


Abb. 3: Schematische Darstellung der Teillandschaften der Biga-Halbinsel nach EROL (1983, graphische Umsetzung nach den Angaben aus der Literatur).

### 2.1.3 Hydrographie

Aufgrund der geographischen Lage und topographischen Gegebenheiten wird das Flußsystem der Biga-Halbinsel zum mediterranen Flußregime gezählt. Gekennzeichnet ist dieses Flußregime von einer in sehr kurzem Zeitabstand parallel zur Niederschlagskurve verlaufenden Abflußkurve mit großer Differenz zwischen den minimalen und maximalen Abflußmengen (GÜLDALİ 1979).

Bedeutendster Fluß der Biga-Halbinsel ist der zunächst Ost—West, dann Süd—Nord entwässernde Karamenderes (Küçük Menderes, Scamander). Er entspringt im nördlichen Kazdağ-Gebirge, durchfließt in östlicher Richtung das Becken von Bayramiç-Ezine und mündet danach im Norden am Ausgang der Dardanellen in das Ägäische Meer. Aus archäologischer und morphologischer Sicht ist für Troia auch der Dümrek (Simoeis) von Bedeutung. Er entspringt im Salihler-Plateau nördlich des Ezine-Bayramiç-Beckens, entwässert in westlicher Richtung und mündet auf der Höhe von Yenikumkale in das Karamenderes-Delta.

### 2.1.4 Nähere Umgebung von Troia

Troia selbst liegt auf einem West—Ost verlaufenden Höhenrücken etwa 7 km südöstlich der Einfahrt der Dardanellen und etwa 7 km östlich der Küste des Ägäischen Meeres. Im Norden wird der sogenannte Troia-Rücken von der Schwemmlandebene des Flusses Dümrek und im Süden von der des Flusses Karamenderes begrenzt. Nördlich des Dümrek-Tals schließt sich ein weiterer West—Ost verlaufender Höhenrücken an: der Yenikumkale-Rücken, der die Trennung zu den Dardanellen darstellt. Im Westen wird die Schwemmlandebene des Kara-

menderes durch den Nord—Süd verlaufenden Yeniköy-Rücken vom Ägäischen Meer getrennt. Nördlich und südlich des Troia-Rückens befinden sich die Schwemmlandebenen des Karamenderes und Dümreks etwa 2—4 m über dem heutigen Meeresspiegel. Der Troia-Rücken selbst erreicht eine Höhe von ca. 40 m über dem Meeresspiegel. Im kartesischen Koordinatensystem findet sich Troia bei 26°14'22" (Rechtswert) und 39°56'48" (Hochwert, Rampe Troia II im Bereich der Zitadelle, Hisarlık).

## **2.2 Klima und Vegetation**

### **2.2.1 Klimatische Verhältnisse**

Klimatisch gesehen steht die Marmara-Region mit der Biga-Halbinsel zwischen den extremen ägäischen und den eher gemäßigten Einflüssen aus dem Schwarzmeerraum. Aufgrund der geographischen Lage in subtropischen Breitengraden herrscht ein typisch subtropisch mediterranes Klima mit warmen, trockenen Sommern und milden, feuchten Wintern (HÖHFELD 1995). Gesteuert und beeinflusst wird das Klima von verschiedenen jahreszeitlich quasistationären Druckgebieten. Nach HÜTTEROTH (1982) handelt es sich dabei um:

- das sommerliche mittelatlantische Roßbreitenhoch (Azorenhoch),
- das sommerliche vorderindisch-südiranische Monsumtief als Teil der Innertropikkonvergenz,
- das winterliche kontinentale Hoch über Zentralasien mit Kern über Sibirien und
- die osteuropäisch-westsibirische Südausbuchtung der planetarischen Frontalzone (Uraltrog).

Bei den von diesen Druckgebieten transportierten Luftmassen handelt es sich nach GÜLDALI (1979) um:

- kontinentale Polarluft aus dem nördlichen Asien,
- kontinentale Tropikluft aus dem nordafrikanischen Sahararaum und um
- maritime Polarluft aus dem Nordatlantik bzw. aus Nordeuropa.

Im Sommer herrschen aufgrund des wetterbestimmenden Azorenhochs kontinental-tropische Verhältnisse. Infolge des Luftaustausches des Azorenhochs mit dem vorderindisch-südiranischen Monsumtief kommt es im Bereich Anatoliens zu einem von Nord nach Süd gerichteten Luftmassenaustausch. Diese sommerlichen Nordwinde, die Etesien, transportieren vor allem trockene Luftmassen heran (LOUIS 1985), die in den Sommermonaten Mai bis September auf der Biga-Halbinsel Spitzenwerte von 35—40 °C hervorrufen können.

Im Winter, von November bis April, wird das Klima von wandernden Zyklonen bestimmt, die einerseits kontinentale warme, über dem Mittelmeer mit Feuchtigkeit angereicherte Luftmassen aus Nordafrika, andererseits aus Mittel- und Osteuropa stammende kontinentale Polarluft heran transportieren (GÜLDALI 1979, HÜTTEROTH 1982).

Innerhalb der Einteilung in Makroklimaregionen der Türkei nach ERINÇ (1969, zitiert aus EROL 1983) zählen die klimatischen Bedingungen der Biga-Halbinsel zum Marmaratyp des Mittelmeerklimas; innerhalb der Unterteilung in einzelne Niederschlagsregionen zum Mittelmeertyp.

Im jährlichen Mittel fallen auf der Biga-Halbinsel 500—800 mm Niederschlag, wobei ein Wintermaximum im Dezember und Januar und ein Sommerminimum von Juli bis September zu verzeichnen ist (HÖHFELD 1995, HÜTTEROTH 1982). In den gebirgigen Teilen der Biga-Halbinsel kann der Niederschlag im Winter auch als Schnee fallen (EROL 1983). Während der Sommermonate betragen die Temperaturen durchschnittlich 20—25 °C, während des Winters

im Mittel 0—5 °C, in den küstennahen Regionen 5—10 °C (Klimadaten für Çanakkale aus EROL 1983).

## 2.2.2 Vegetation

Vor der anthropogenen Beeinflussung bestand die natürliche Vegetation Anatoliens zu 70 % aus dichten Wäldern, zu 25 % aus Steppengebieten und zu 5 % aus Seen, Flüssen und Gletschern. Mit der Besiedlung des Landes durch den Menschen und der damit einsetzenden agrarischen Nutzbarmachung und Nutzung wurden ausgedehntere Waldgebiete allmählich in die hohen Bergregionen zurückgedrängt (GÜLDALİ 1979, ATALAY 1992, KUZUCUOĞLU & ROBERTS 1998, ÖZDOĞAN 1998).

Innerhalb des Subtropengürtels gelegen, ist die Vegetation allgemein durch immergrüne Hartlaubgehölze charakterisiert. Im Bereich des subtropisch-mediterranen Raumes, der die Biga-Halbinsel mit einschließt, herrschen heute die typischen mediterranen Vegetationsbedingungen. In nicht kultivierten Gebieten im Bereich der Küstenzone dehnen sich Vertreter der Macchie aus. Bei den als Sträucher und kleinen Bäumen vorkommenden Arten handelt es sich vor allem um Kermeseiche (*Quercus coccifera*), Erdbeerbaum (*Arbutus andrachne*), Terebinthe (*Pistacia terebinthus*), Baumheide (*Erica arborea*), Johannisbrotbaum (*Ceratonia siliqua*), Myrthe (*Myrtus communis*) und Ölbaum (*Olea olester*). Mit zunehmender Höhenlage kommen Kiefernwälder (*Pinus halepensis* var. *brutia*) in Vergesellschaftung mit Macchie und auch Mischwälder mit Pinien (*Pinus pinea*) und Buchen (*Fagus orientalis*) vor. Auf den Schwemmlandebenen sind vereinzelt kleine Auenwälder mit Ulmen (*Ulmus campestris*), Platanen (*Platanus orientalis*) und Oleandergebüsch (*Nerium oleander*) anzutreffen (HÜTTEROTH 1982, GÜLDALİ 1979). Heute wird die Schwemmlandebene des Karamenderes landwirtschaftlich genutzt. Es werden vor allem Sonnenblumen, Tomaten, Baumwolle und Melonen angebaut.

Untersuchungen von KRÖNNECK (1996) und RIEHL (1999, 2000) zu den Umweltbedingungen in der Troas während der Besiedlung in historischen Zeiten ergaben ein ähnliches Bild, wie es heute noch vorhanden ist. Während der Besiedlung Troias waren in der näheren Umgebung (Tiefplateau) des Ortes vorwiegend Eichen mit dichtem Unterwuchs und wildwachsende Olivenbäume angesiedelt. Ab der Mittleren Bronzezeit konnte eine auffällige Zunahme von Kulturpflanzen in der Schwemmlandebene des Karamenderes nachgewiesen werden. Dabei handelte es sich vorwiegend um Nacktweizen, Gartenerbse, Lein und Feige die als Nahrungsmittel angebaut wurden. Später erfolgte ebenfalls Weinanbau und der Getreideanbaus mit Gewicht auf Emmer nahm zu. In Verbindung mit der Kultivierung weiter Flächen der Schwemmlandebene erhöhte sich auch der Anteil der Unkrautgewächse.

## 2.3 Archäologisch-geschichtlicher Abriß

Im folgenden soll auf der Grundlage der Veröffentlichung von KORFMANN & MANNSPERGER (1998) und HERTEL (2001) ein kurzer Abriß der Besiedlungsgeschichte Troias gegeben werden, um einen Eindruck des damaligen Lebens und der Entwicklung der Stadt zu liefern. Für ausführliche Informationen der Grabungsbefunde sei auf deren Literaturverzeichnis sowie auf die zwölf bisher erschienenen Ausgaben der „Studia Troica“ verwiesen. Alle im nachfolgenden Kapitel gemachten Altersangaben beziehen sich auf die bei KORFMANN & MANNSPERGER (1998) veröffentlichte Chronologie, die im wesentlichen auf einer relativen Datierung über die Stratigraphie des Grabungsortes, der Typologie der Fundstücke und <sup>14</sup>C-Daten beruht (Abb. 4).

Einige wenige Siedlungsreste deuten auf eine erste Besiedlung in der Zeit um 3600 v. Chr. hin; vor der eigentlichen Errichtung des Ortes Troia. Mehrere Langhäuser, die von einer star-

ken Umfassungsmauer eingesäumt waren und in die Frühe Bronzezeit (ca. 2920—2450 v. Chr.) datieren, stellen die älteste Siedlung Troias, Troia I, dar. Troia II (2600—2450 v. Chr.) bestand bereits aus einem Fürstensitz, der eine Fläche von ca. 9000 m<sup>2</sup> einnahm und dessen Megara und Paläste von einer Verteidigungsmauer umschlossen waren. Es gibt Hinweise, daß sich unterhalb dieser Burganlage bereits eine Untersiedlung befand. In den Resten der Siedlung, die durch zwei Brandkatastrophen zerstört wurde, fanden sich mehrere Schatzfunde, unter anderem Schliemanns „Schatz des Priamos“ sowie Keramik, die bereits auf den Gebrauch einer Töpferscheibe schließen läßt. Bis zum Ende der Mittleren Bronzezeit, Troia III—V (2450—1700 v. Chr.), wuchs die Größe der Stadt stetig an und erreichte am Ende von Troia V eine Fläche von ca. 18 000 m<sup>2</sup>. Auf Grund der geringen Grabungsbefunde werden diese Siedlungen als ärmliche Ansiedlungen mit kleinen Häusern und engen Gassen angesehen, deren letzte Siedlung wiederum von einem Feuer zerstört wurde. Nach einem Hiatus wurde die Stadt am Ende der Mittleren Bronzezeit neu erbaut. Mit einer Fläche von etwa 20 000 m<sup>2</sup> ohne Unterstadt erreichte allein die Burganlage von Troia VI (ca. 1700—ca. 1250 v. Chr.) eine weitaus größere flächenmäßige Ausdehnung als zuvor. Auch die Fläche der Unterstadt dehnte sich weiter aus, so daß die gesamte Besiedlungsfläche annähernd 200 000 m<sup>2</sup> erreichte. Bereits zu dieser Zeit bestehen in der Unterstadt verschiedene handwerkliche Zentren, wie z.B. metallverarbeitende Werkstätten.

Auch Troia VII (ca. 1250—ca. 1040 v. Chr.) wurde von einer Brandkatastrophe zerstört. Eine deutlich dichtere Bebauung sowie eine Zunahme der gefundenen Vorratsbehälter lassen auf eine Zunahme der Bevölkerungszahl während dieser Periode schließen. Für die folgenden etwa 250 Jahre sind nur spärliche archäologische Befunde vorhanden; offenbar war der Ort nur teilweise bewohnt. Etwa um 700 v. Chr., mit Beginn der Eisenzeit, wurde Troia durch kleinasiatische Griechen wieder besiedelt. Troia VIII, das griechische Ilion (ca. 700—85 v. Chr.) wurde unter Einbeziehung älterer Siedlungsreste, allerdings in kleinerem Umfang, wieder aufgebaut. Bedeutende Bauwerke waren ein großes Theater und ein Heiligtum außerhalb und der Tempel der Athena innerhalb des Burgbereichs. 85 v. Chr. wurde diese Siedlung vom römischen Feldherrn Fimbria zerstört. Auf Grund der Annahme troianische Wurzeln zu besitzen, bauten die Römer in der Folgezeit den Ort wieder auf. Neben Resten des Athena-Tempels und den Umfassungsmauern des Tempelbezirks sind vom römischen Ilion (Ilium; 85 v. Chr.—ca. 400 n. Chr.) ein kleines Theater, ein Versammlungsbau sowie als Sport- und Badeanlagen gedeutete Baureste erhalten. Mit dem Einsetzen einer neuen religiösen Richtung wurde Troia immer unbedeutender und zunehmend verlassen. Letzte Kunde stammt aus byzantinischen Listen, in denen Troia /Ilion bis etwa 900 n. Chr. als byzantinischer Bischofssitz geführt wird.

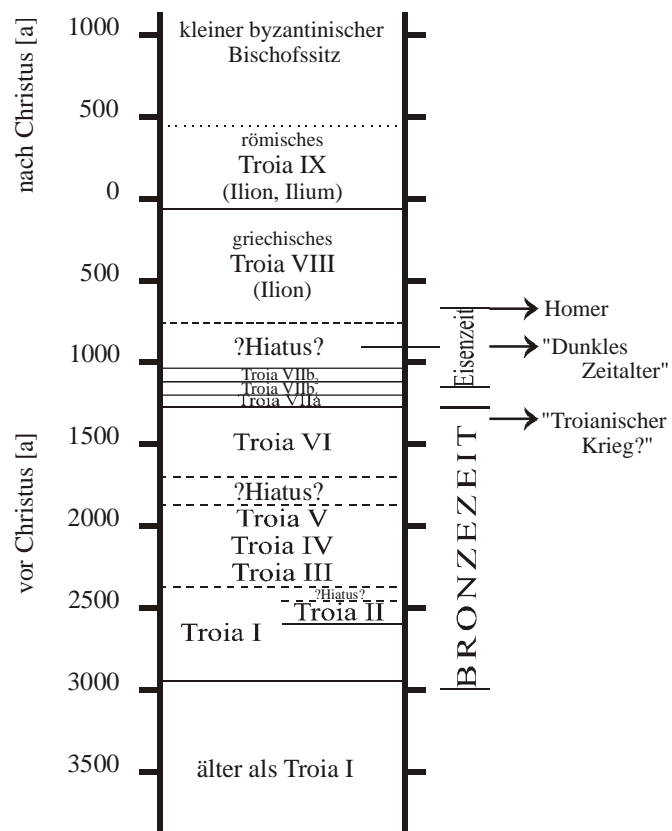


Abb. 4: Chronologie Troias (nach KORFMANN & MANNSPERGER 1998).

## 2.4 Forschungsgeschichte und Forschungsstand

### 2.4.1 Geographie und Topographie

Begründet durch die Überlieferungen der homerischen Epen Ilias und Odyssee besteht seit langem ein besonderes Interesse an dem prähistorischen Ort Troia. Einige Jahrhunderte in Vergessenheit geraten, wurde Troia mit Beginn der Renaissance zu einem Magneten für das Bürgertum Europas, das sich auf seine Wurzeln und Traditionen besann. Unzählige Reisende besuchten die Troas und hinterließen etwa 200 gedruckte Reisebeschreibungen. Erste Beschreibungen der geographischen Gegebenheiten sind im 13. Band von STRABOS (kurz nach der Zeitwende) 17teiliger „Geographica“ zu finden. In der Neuzeit lieferte G. SANDYS (1615) eine erste detaillierte Beschreibung der Ebene von Troia mit einer topographischen Karte. Mit J. B. LECHEVALIER (auch LE CHEVALIER und Pseudonym C. KOLIADES) begann die systematische topographische Erforschung der Troas. Seine 1791 erstmals veröffentlichte topographische Karte diente lange Zeit als Grundlage für alle weiteren Arbeiten. LECHEVALIERS Überzeugung, daß die Troas mit der von Homer in der Ilias beschriebenen Landschaft übereinstimmt, führte zur verstärkten Suche nach dem Ort Troia. Aus der Unmenge der Veröffentlichungen sind die Arbeiten von T. A. B. SPRATT und P. W. FORCHHAMMER (1850) sowie R. VIRCHOW (1879) zu nennen. Erste enthält eine weitere detaillierte topographische Karte und Darstellung der Landschaft Troas (Abb. 5), letztere eine umfassende Beschreibung der topographischen und botanischen Verhältnisse. Eine ausführliche Zusammenfassung aller bekannten veröffentlichten Reisebeschreibungen und Arbeiten über die Troas sowie eigene Untersuchungen zur Archäologie und Topographie finden sich bei J. M. C. COOK (1973).

### 2.4.2 Archäologische Erforschung

Den die Troas besuchenden Reisenden galten die Ruinen von Alexandreia Troas oder Sigeon an der Küste der Ägäis lange Zeit als das homerische Troia. Nachdem LECHEVALIERS Lokalisierung Troias bei Pınarbaşı etwa 20 Jahre lang in der Fachwelt anerkannt wurde, machte E. D. CLARKE 1801 auf dem Hisarlık erste archäologische Funde, die auf eine Lokalisierung Troias auf dem Hisarlık hinwiesen.

Eine erste Grabung an diesem Ort wurde 1865 von F. CALVERT unternommen, der 1868 H. SCHLIEMANN auf den Hisarlık aufmerksam machte. Mit den Ausgrabungen von SCHLIEMANN begann 1870/71 die systematische Untersuchung und Erforschung der heute mit dem homerischen Troia gleichgesetzten Ruinenstätte auf dem Hisarlık. SCHLIEMANN selbst grub bis zu seinem Tod 1890 auf dem Hisarlık, seit 1882 hatte der deutsche Architekt W. DÖRPFELD an den Grabungen teilgenommen, der sie nach SCHLIEMANNs Tod 1893 und 1894 fortsetzte. Ergebnis dieser ersten Untersuchungen war die Unterscheidung von neun Besiedlungsschichten oder Städten. Von 1932 bis 1938 wurden die Ausgrabungen von dem amerikanischen Archäologen C. W. BLEGEN fortgesetzt, der DÖRPFELDS Stratigraphie im wesentlichen bestätigte, aber die einzelnen Schichten weiter in insgesamt 46 Besiedlungsphasen differenzierte. Seit 1988 werden die Grabungen von einem internationalen Forscherteam um M. KORFMANN (Universität Tübingen) und Ch. B. ROSE (Universität von Cincinnati) fortgesetzt.

Neben der weiteren Erforschung des Hisarlıks wurde von Letzteren erstmals der Nachweis einer Unterstadt für das Troia des 2. Jhts. und nachfolgende Besiedlungsphasen erbracht. Wichtigstes Ergebnis aller bisherigen Arbeiten ist die Erkenntnis, daß dieser Ort über nahezu 4000 Jahre hinweg (ca. 3000 v. Chr.—480 n. Chr.) fast kontinuierlich besiedelt war und damit ein wichtiger chronologischer Bezugspunkt für die Alte Welt von der Frühen Bronzezeit bis zum Römischen Imperium darstellt.

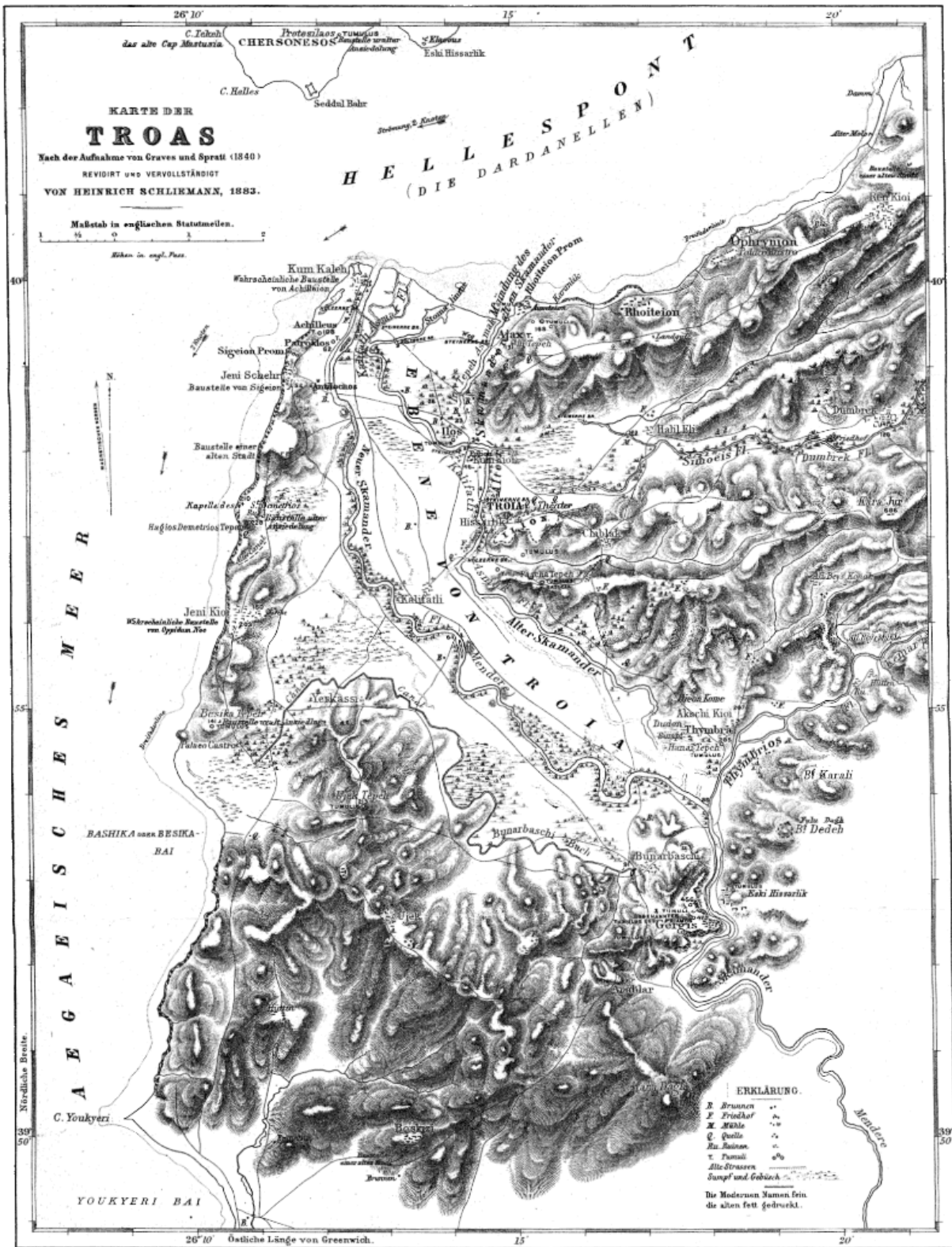


Abb. 5: Topographische Karte der Troas aufgenommen von GRAVES & SPRATT im Jahr 1840 (verändert von SCHLIEMANN 1883, aus SCHLIEMANN 1884).

### 2.4.3 Geowissenschaftliche Forschungen

Erstes Interesse an den botanischen und geologischen Verhältnissen in der Troas zeigte WEBB, der 1822 seine Beobachtungen veröffentlichte. Mit DE TSCHIHATSCHEFF (1867, 1867—1869, auch: VON TSCHIHATSCHEFF und CICHACEV), PHILIPPSON (1910—1915, zitiert in BRINKMANN 1976) und PENCK (z.B. 1918) begann die methodische Untersuchung geologischer, tektonischer und geomorphologischer Verhältnisse Kleinasiens. Ein erstes umfassendes Werk zu den geologischen Verhältnissen Zentral- und Westanatoliens lieferte PHILIPPSON im Jahr 1918. In Ostanatolien führte OSWALD (1912) erste systematische geologische Arbeiten durch. Auf dem Gebiet der geomorphologischen Forschung hat unter anderem FREY (1937) den Grundstein zu systematischen Untersuchungen gelegt. Aus neuerer Zeit liegt eine Vielzahl von Veröffentlichungen einzelner Teilgebiete Anatoliens vor. Ein zusammenfassendes Werke zu den geologischen Verhältnissen verfaßte BRINKMANN 1976. Neuere Untersuchungen zur Geologie im Bereich der Biga-Halbinsel wurden in den letzten Jahren vor allem von OKAY et al. (z.B. 1991, 1996) vorgenommen. In Verbindung mit der Erstellung des Tübinger Atlas des Vorderen Orients (TAVO) sind in den Beiheften von GÜLDALİ (1979) und EROL (1983) die bisherigen Kenntnisse zur Geomorphologie und Landeskunde der Türkei zusammengefaßt. Mit Beginn der neueren archäologischen Forschung wuchs auch das Interesse an Informationen, die mit Hilfe naturwissenschaftlicher Untersuchungen Ergebnisse zu historischen Prozessen liefern können. Neben dem verstärkten Einsatz geophysikalischer Prospektion zur Lokalisierung von Siedlungsresten (Troia: JANSEN 1992, BECKER et al. 1993, BECKER & JANSEN 1994) und der Anwendung der  $^{14}\text{C}$ -Methode zu Datierungszwecken (Troia: KORFMANN & KROMER 1993, WENINGER 1995) war Anfangs das Interesse an der Herkunftsbestimmung von Rohstoffen zur Metall- und Keramikverarbeitung und von Baumaterialien besonders groß. Erste wegweisende Arbeiten für Anatolien auf dem Gebiet der Archäometallurgie lieferten HENNICKE (1977), PERNICKA (1987), PERNICKA et al. (1990), WAGNER et al. (1984, 1989) und BEGEMANN et al. (1992, 1995). Herkunftsbestimmungen an Keramik und Baumaterial aus Troia nahmen KNACKE-LOY (1994), KNACKE-LOY et al. (1995), BIRKLE (1992), BIRKLE & SATIR (1992, 1994) und in neuester Zeit GUZOWSKA et al. (2003), SATIR & ZÖLDFÖLDI (2003) und ZÖLDFÖLDI & SATIR (2003) vor. Zunehmend wuchs auch das Interesse an der Entwicklung und Veränderung des Lebens- bzw. Naturraumes und dem daran beteiligten anthropogenen Einfluß. Im Vordergrund standen zunächst Untersuchungen zur Holozänen Stratigraphie und zum Küstenlinienverlauf in der Nähe historischer Siedlungen (z.B. KRAFT et al. 1979, 1982; MASTERS 1983). Unter Einbeziehung archäologischer Daten aus den früheren Grabungen wurden bereits vor der Wiederaufnahme der Grabungen 1988 in Troia Untersuchungen zur Landschaftsrekonstruktion der Troas vorgenommen. Es wurden unter anderem sedimentologische (GIFFORD et al. 1982), geologische, geomorphologische, paläogeographische (KRAFT et al. 1982) und paläobotanische (MULHOLLAND et al. 1982) Arbeiten durchgeführt. Alle Ergebnisse sind in der Monographie „Troy – the archaological geology“ (RAPP & GIFFORD 1982) zusammengefaßt. Erste hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet des „Historischen Nationalparks Troia“ führten WOLKERSDORFER et al. (2003) durch.

Seit etwa 20 Jahren befaßt sich İ. KAYAN von der Ege-Universität İzmir intensiv mit der geomorphologischen Rekonstruktion der Troas. Mit Hilfe von derzeit (August 2003) 304 Bohrungen in der Ebene von Troia und angrenzenden Gebieten rekonstruierte er die ehemaligen Küstenlinienverläufe, die zeitliche Entwicklung der Schwemmlandebenen des Karamenderes und Dümreks und lieferte damit einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis der Entwicklung der geomorphologischen Gegebenheiten (z.B. KAYAN 1991, 1995, 1996, 1997). In Verbindung mit neueren Grabungsbefunden in Troia wurden auch archäobotanische (FABIS 1996, 1997; RIEHL 1999, 2000) und archäozoologische (UERPMANN et al. 1992, KRÖNNECK 1996) Arbeiten durchgeführt.

#### **2.4.4 Thermolumineszenz (TL)/Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL)**

Obwohl das Phänomen der Lumineszenz bereits seit dem Mittelalter bekannt ist, wurde erst im 17. Jhd. begonnen, Untersuchungen zur Lumineszenz verschiedener Materialien durchzuführen (MARFUNIN 1979). Erste Entwicklungen zur Anwendung der Lumineszenz als Datierungsmethode fanden in den 60er Jahren des 20. Jhts. statt. Zunächst erfolgte für die Archäologie die Entwicklung der Thermolumineszenz (TL) als Datierungsmethode gebrannter Objekte, die den Zeitpunkt des letzten Erhitzens erfaßt (z.B. AITKEN et al. 1964). In den nachfolgenden Jahren konnte die TL-Datierung auch auf Sedimente ausgedehnt werden. WINTLE & HUNTLEY (1980) datierten erstmals erfolgreich die letzte Belichtung bzw. die letzte Umlagerung mariner Sedimente. Auf Grund fehlender Datierungsmöglichkeiten für jüngere Ablagerungen, die im wesentlichen von organischen Funden für eine Radiokarbondatierung abhängig sind, war die Entwicklung der Optisch Stimulierten Lumineszenz (OSL) für die Quartärforschung von besonderer Bedeutung. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Untersuchungen vorgenommen, um diese Methode zu optimieren. Erste Untersuchungen wurden von HUNTLEY et al. (1985) an Quarzen äolischer Sedimente durchgeführt. Mit der Entdeckung Feldspäte durch Licht im Infrarotbereich zu stimulieren, wurde von HÜTT et al. (1988) eine weitere Methode (Infrarot Stimulierte Lumineszenz – IRSL) und damit die Grundlage einer noch breiteren Anwendung der OSL geschaffen. Da eine erfolgreiche Datierung von einer vollständigen Belichtung (Nullstellung der „geologischen Uhr“) der zu datierenden Sedimentkörner abhängt, wurden erste Untersuchungen an äolischen Sedimenten durchgeführt. Ausgehend von diesen Untersuchungen und der erfolgreichen Datierung äolischer Sedimente (z.B. DULLER 1992, HUNTLEY et al. 1993, WIGGENHORN 1995) wurden die Datierungsmethoden der Lumineszenz auch auf andere Sedimente ausgeweitet. Erfolgreiche Datierungen von Hangschuttsedimenten, in der Literatur oftmals mit der mehrdeutigen Bezeichnung „Kolluvium“ zu finden, nahmen unter anderem AITKEN & XIE (1992), LANG (1994, 1996) und PORAT et al. (1996) vor.

Fluviatile Sedimente wurden bisher nur spärlich untersucht, da sie größtenteils nur schlecht gebleicht sind. Experimente von DIFLEFSEN (1992) und RENDELL et al. (1994) belegen, daß die Belichtung fluviatil transportierter Sedimente von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Erste vielversprechenden Ergebnisse lieferten z.B. MURRAY (1996), HARDY & LAMOTHE (1997), HANSEN et al. (1999) und GEMMELL (1999).

In Verbindung mit archäologischen Fragestellungen wurden unter anderem von REES-JONES & TITE (1997) Sedimente mittels der OSL datiert. Einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten der Lumineszenzdatierung in der Archäologie gibt ROBERTS (1997).

Physikalische, technische und grundsätzliche methodische Erläuterungen sind bei AITKEN (1985, 1998) und WAGNER (1995, 1998), eine Zusammenfassung der verschiedenen Anwendungen im Bereich der Sedimentdatierung bei PRESCOTT & ROBERTSON (1997) zu finden.



### 3 Geologische Verhältnisse

#### 3.1 Einleitung

Im nachfolgenden Kapitel soll ein allgemeiner Überblick über die geologischen Verhältnisse gegeben werden. Bei der Beschreibung der geologischen Gegebenheiten vom Paläozoikum bis zum Neozoikum (Kapitel 3.2.1.2) wurde vorwiegend folgende Literatur herangezogen: OKAY et al. 1991 und 1996 und ŞENGÖR & YILMAZ 1981. Dort sind auch detaillierte Beschreibungen und weiterführende Literatur zu finden.

#### 3.2 Regionalgeologische Situation

##### 3.2.1 Anatolien

##### 3.2.1.1 Geotektonische Gliederung

Die geologischen Verhältnisse der Westtürkei sind sehr komplex (Abb. 6). Dieser Bereich Anatoliens besteht aus verschiedenen kontinentalen Fragmenten, die während des Paläozoikums und Mesozoikums eine unabhängige geologische Entwicklung erfahren haben und erst im Laufe der alpidischen Orogenese im frühen Tertiär infolge der endgültigen Schließung der Tethys durch die Kollision Gondwanas mit Laurasia zusammengeführt worden sind (OKAY et al. 1996). Nach ŞENGÖR & YILMAZ (1981) handelt es sich bei diesen kontinentalen Fragmenten von Norden nach Süden um das Rhodopen-Pontiden-Fragment, den Sakarya-Kontinent, die Anatoliden-Tauriden-Plattform und das Bitlis-Massiv.

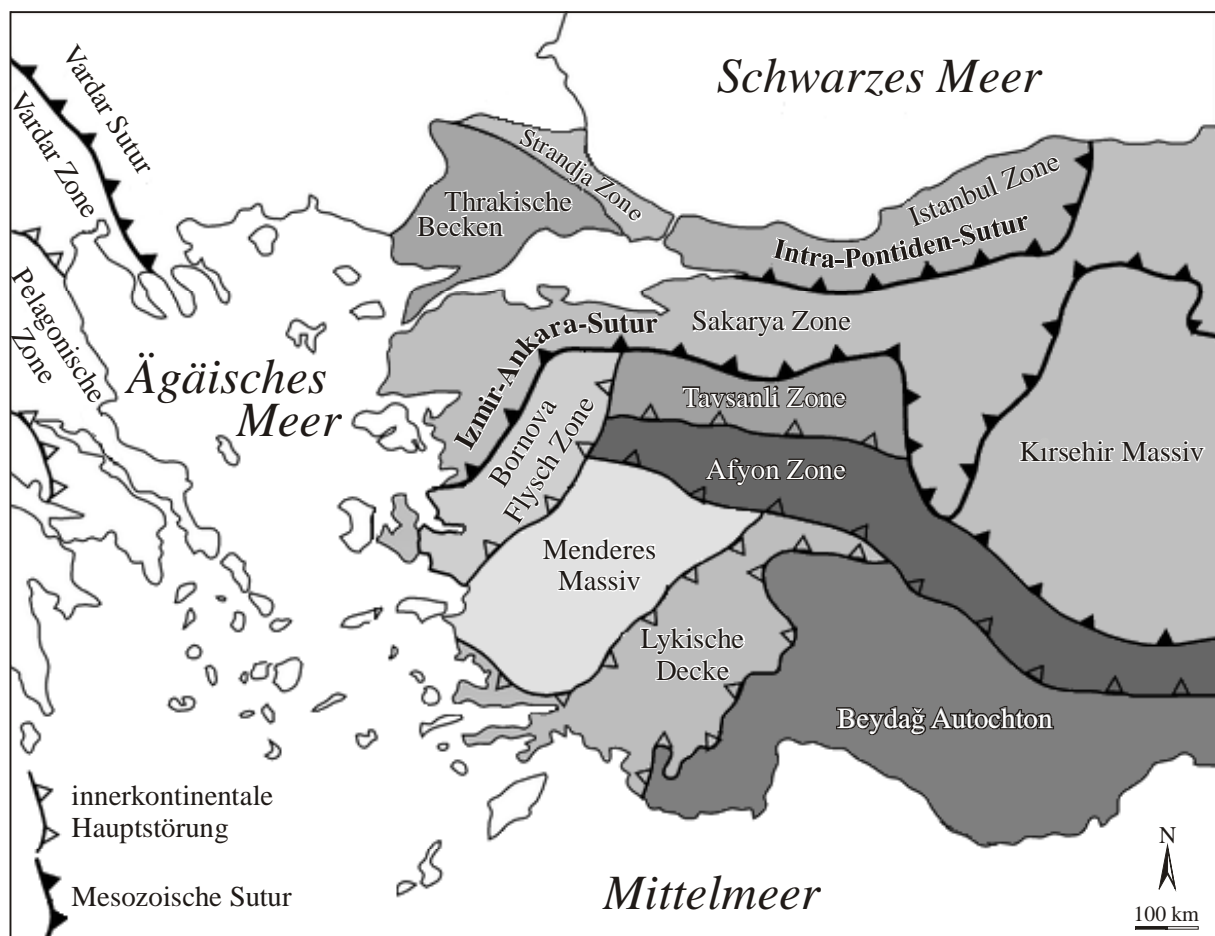


Abb. 6: Überblick der tektonischen Verhältnisse Westanatoliens (nach OKAY et al. 1996, OKAY et al. 2001).

Bereits zur Zeit der variscischen Gebirgsbildung lassen sich im Raum des heutigen Zentralanatoliens zwei durch einen schmalen Meeresarm voneinander getrennte kristalline Festlandsblöcke erkennen: der Schwarzmeerkraton im Norden und die inneranatolische Masse im Süden. Während des Paläozoikums bildete sich südlich des Schwarzmeerkratons ein Becken, das die Abtragungsprodukte des sich hebenden Festlandblocks im Norden aufnahm. Im Laufe der variscischen Orogenese wurden diese Sedimente zu einem Gebirgssystem gefaltet, das aus einem kristallinen Innenbereich und nichtmetamorphen Außenzonen bestand (BRINKMANN 1976).

EROL (1991) gliedert Anatolien in vier tektonische Großeinheiten, die während der paläotektonischen Phasen im Mesozoikum und mittlerem Miozän von Norden nach Süden aufgebaut wurden: die Pontiden, Anatoliden, Tauriden und die Grenzfalten.

Heute teilen zwei Hauptsuturzonen den Nordwesten der Türkei in drei kontinentale Blöcke. Die Istanbul-Strandja-Zone im Norden, die als ehemaliger aktiver Kontinentalrand Laurasiens angesehen wird, wird durch die Intra-Pontiden-Sutur von der Sakarya-Zone getrennt. Diese wiederum, die nach OKAY et al. (1991) den östlichsten Teil der Pontiden ausmacht, wird durch die sich im Süden anschließende Izmir-Ankara-Sutur vom Anatoliden-Tauriden-Block getrennt.

### **3.2.1.2      *Kristallines Grundgebirge***

#### **Einleitung**

Relikte der alten Kristallinmassive sind heute hauptsächlich in vier Regionen der Türkei erhalten. Dabei handelt es sich um das Istranca-Massiv in Thrakien, das Menderes-Massiv in Südwestanatolien, das Kirsehir-Massiv in Zentralanatolien und das Bitlis-Massiv in Südostanatolien. Diese alten Massive bestehen hauptsächlich aus metamorphen Gesteinen: Phylliten, Gneisen, Glimmerschiefern und Marmoren sowie aus Graniten unterschiedlichen Alters (BRINKMANN 1976, GÜLDALİ 1979). Lediglich für die Gesteine des Bitlis-Massivs werden Paläozoische Alter angegeben (Rb/Sr, Gesamtgestein, YILMAZ 1971 zitiert in BRINKMANN 1976). Untersuchungen der Gneise des Südrandes und kleiner intrudierter Granitkörper vom Nordrand des Menderes-Massivs von SATIR & FRIEDRICHSEN (1986) ergaben ein Rb/Sr Gesamtgesteinsalter der Gneise von  $502 \pm 10$  Ma, woraus ein Sedimentationsalter der Ausgangsgesteine im Präkambrium abgeleitet wurde. Als Intrusionsalter der Granitkörper wird dort ein Rb/Sr Gesamtgesteinsalter von  $471 \pm 9$  Ma angegeben. CHEN et al. (2002) nahmen Untersuchungen an verschiedenen Metagesteinen der Istanbul-Zone (Einzelzircondatierung) vor. Für die Sedimentgesteine ergaben sich Spätproterozoische Alter, woraus auf ein Sedimentliefergebiet von der afroarabischen oder der östlichen afrikanischen Platte geschlossen wurde. Die Metagranite erbrachten Spätproterozisch-Frühkambrische Alter mit einem als Abkühlungsalter interpretiertem Frühkambrischen Alter (Rb/Sr, Biotit).

#### **Paläozoikum**

Kambrische Gesteine konnten in der Türkei nur vereinzelt im Süd- und Nordwesten nachgewiesen werden. Die roten kontinentalen Sandsteine, Quarzite und Arkosen werden als Beckenrandfazies angesehen. Vereinzelt angetroffene Kalksteine zeigen zeitweise flachmarine Verhältnisse an.

Im Ordovizium können zwei Faziestypen unterschieden werden. Während im Nordwesten eine kontinentale Fazies aus bunten, gröberklastischen Sandsteinen und Quarziten anzutreffen ist, die die Abtragungsprodukte des sich hebenden pontischen Festlandes darstellen, ist im Süden Anatoliens eine litorale bis marine miogeosynklinale Fazies mit feinkörnigen Sandsteinen und Kalksteinen zu finden.

Silurische Ablagerungen konnten ebenfalls nur im Norden und Süden Anatoliens nachgewiesen werden. Die ruhige Beckenentwicklung, belegt durch neritische Sedimente und Graptolithenschiefer, dauerte an. Das Profil beginnt mit Grauwackensedimenten die an der Wende zum Llandovery durch karbonatische Ablagerungen mit Crinoiden- und Knollenkalken und Korallen abgelöst werden. Bathyale Kalksteine schließen das Profil ab.

Die kaledonische Orogenese scheint ohne regionale Bedeutung zu sein, lediglich im Nordwesten Anatoliens konnten tektogenetische Bewegungen nachgewiesen werden. An der Wende Silur/Devon kam es im Gebiet der Türkei in Folge der kaledonischen Orogenese zu einer kurzzeitigen Regression.

Im Norden sowie im Antitaurus blieben im Devon die vollmarinen, durch mächtige Karbonatserien dokumentierte Ablagerungsbedingungen erhalten, während in den übrigen Gebieten der Türkei Mergel- und Grauwackenserien in die Kalksteine eingeschaltet sind.

Das Karbon ist in verschiedenen Fazien entwickelt. Im Unterkarbon herrschten marine Sedimentationsbedingungen, im Oberkarbon kontinentale. In Zentralanatolien ist das Unterkarbon marin und teilweise als Kohlenkalk und Kulm entwickelt. Im Süden des pontischen Festlandes dehnte sich der tethische Meerestrog aus und entwickelte sich in zwei, durch einen schmalen Festlandsblock getrennte Armen. In beiden blieben die marinen Sedimentationsbedingungen erhalten und es erfolgte eine kontinuierliche Bildung von Korallen- und Riffkalken am Übergang vom Devon zum Karbon. Vom Unterkarbon bis zum Mittelkarbon wurden in einem flachmarinen Milieu in diesem Gebiet dunkle dolomitische Korallen-Brachiopoden-Kalke abgelagert. Der Süden der Türkei befand sich im Unterkarbon im Bereich des afroarabischen Kratons und ist ebenfalls durch flachmarine Ablagerungen gekennzeichnet. Im Oberkarbon kam es zu epirogenetischen Bewegungen, die eine Umstellung der Sedimentationsbedingungen zur Folge hatten. Währenddessen nahm der nördliche Tethysarm mächtige kontinentale Abtragungsprodukte der ihn umgebenden Festlandsblöcke auf und entwickelte den Charakter einer Saumsenke, in der sich in Folge eine bis 1500 m mächtige flözführende Serie herausbildete. Der südliche Tethysarm sank im Oberkarbon ab und wurde mit einer mächtigen Flyschfolge gefüllt. Im südlichen Sedimentationsraum herrschten weiterhin flachmarine Sedimentationsbedingungen.

Während des Perms zeigen die nördlichen Gebiete der Türkei weiterhin eine kontinentale Fazies. Aus den grauen, kohleführenden Sedimenten des Oberkarbons entwickelten sich rote Schluff- und Sandsteine mit vereinzelt zwischengeschalteten Quarzkonglomeratserien. Im Süden der Türkei erfolgte die Sedimentation unter flachmarinen Bedingungen. Vom südlich angrenzenden Festland wurden in die marinen Kalksteine kontinentale Sedimente geschüttet.

### Variscische Orogenese

Im Nordwesten Anatoliens belegen die Paläozoischen Gesteine im Allgemeinen eine spätvariscische Faltungs- und Metamorphoseära. In Zentralanatolien zeigen die Paläozoischen Gesteine sowohl eine tektogenetische Beeinflussung durch früh-, als auch durch spätvariscische Bewegungen, wohingegen im Süden Anatoliens kein Einfluß der variscischen Orogenese nachweisbar ist.

#### 3.2.1.3 Mesozoische Gesteine

Das Mesozoikum beginnt in der Türkei mit einer stratigraphischen Lücke. Während in Nord- und Westanatolien zu Beginn der Trias noch rote kontinentale Sedimente abgelagert wurden, sorgte eine aus Südosten kommende Transgression für flachmarine Ablagerungsbedingungen im Skyth Zentral- und Südanatoliens. Zur Zeit des Anis und Ladin schreitete die Transgression immer weiter nach Norden fort und auf die kontinentalen roten basalen Konglomerate

und Sandsteine griffen graue Dolomite und Kalksteine über. In den zentralen Teilen der Becken entwickelten sich Korallen- und Riffkalke. Im Nor wurden in Nordanatolien noch vereinzelt graue Konglomerate, Sand- und Schluffsteine abgelagert. Am Ende der Trias herrschten in der gesamten Türkei marinen Ablagerungsbedingungen.

Zu Beginn des Jura erfolgte eine Regression, während des Lias und Dogger herrschten in einem großen Teil der Türkei kontinentale Ablagerungsbedingungen. Im Norden Anatoliens wurde das Pontische Festland während des frühen Jura stark gehoben und erodiert wobei die Abtragungsprodukte sowohl in die nördlich als auch in das südlich angrenzende Becken geschüttet wurden. Die Ablagerungen des Lias und Dogger bestehen aus Sedimentgesteinen und Vulkaniten. Bei ersteren handelt es sich meist um dunkle, graugrüne Grauwacken, Sandsteine, Tone und Mergel, bei letzteren um Basalte, Andesite, Keratophyre und Tuffe. Der Malm griff transgressiv auf diese Ablagerungen über. Neben mächtigen Kalksteinen treten auch Sandsteine und Konglomerate auf. In Zentralanatolien sind Lias und Dogger meist klastisch entwickelt. Im Malm herrschten aufgrund einer Transgression im Bathon wieder marine Ablagerungsbedingungen und in tiefen Trögen wurden mächtige Ophiolithsequenzen gebildet.

Die Ablagerungen der unteren Kreide stellen die Fortsetzung der Ablagerungen des Malms dar. Auch die paläogeographischen und damit verbunden die sedimentologischen Bedingungen hatten sich kaum geändert. Nach einer kurzzeitigen Regression am Ende der frühen Kreide, die durch Bauxitlagerstätten belegt ist, erfolgte am Beginn der Oberen Kreide eine erneute Transgression, die bis zum Santon andauerte. Sie beeinflusste die Gebiete von Nordwestanatolien bis nach Südostanatolien, wo mächtige Kalksteinserien gebildet wurden. Im Gebiet Nordostanatoliens entwickelte sich eine Senke, in der Flysch abgelagert wurde. Die größte Ausdehnung erreichte das Kreidemeer während des späten Campan und Maastricht. Zentralanatolien stellte in der Kreide eine breite Schwellenregion mit schmalen und tiefen Trögen dar, in denen sich eine mächtige Ophiolithfolge und eine litorale Fazies entwickelten. In Südanatolien blieben die Jurassischen Verhältnisse während der Kreide weiterhin erhalten und die Bildung der Ophiolithe wurde fortgesetzt.

#### **3.2.1.4      *Neozoische Ablagerungen***

Von der Kreide bis zum Tertiär erfolgte eine Zunahme der tektonischen Aktivitäten. Während des Neozoikums entwickelten sich die geologischen Bedingungen rapide zu den heutigen Gegebenheiten.

Im Norden Anatoliens wurden im frühen Tertiär die feinen, kalkigen Flyschablagerungen durch eine Schluff- und Sandsteinabfolge ersetzt. Während des Eozäns wurde der submarine Vulkanismus erneut aktiv: Andesite und vereinzelt Dazite und Basalte wurden gebildet. Am Ende des Eozäns begann die Heraushebung des Ablagerungsraumes. Nördlich entwickelte sich ein ausgedehnter flachmariner Bereich, südlich davon, im Zentralanatolischen Bereich befand sich eine Schwellenregion mit kontinentalen Ablagerungsbedingungen. In Südanatolien blieb der Ophiolithrog erhalten.

Das Oligozän Anatoliens war hauptsächlich kontinental entwickelt. Es wurden bunte Konglomerate und Sandsteine und sandige Tone abgelagert. In lakustrinen Bereichen kam es zur Bildung limnischer Kalksteine und bituminöser Schiefer. Lediglich in Nordanatolien im Bereich der heutigen südlichen Schwarzmeerküste waren marine Ablagerungsbedingungen im Oligozän anzutreffen.

Die epirogenetischen Bewegungen der Pontiden hielten im späten Tertiär weiter an. In die nördlich und südlich angrenzenden Vorsenken und die intramontanen Becken wurden Sedimente geschüttet. Die Sedimentation der nördlichen Vorsenke wurde immer wieder von Transgressionen des Schwarzen Meeres beeinflusst. In Verbindung mit der Orogenese der

Pontiden kam es zu vulkanischen Aktivitäten. Dabei wurden Andesite, Basalte und Tuffe abgelagert. In Zentralanatolien ist sowohl eine kontinentale, als auch eine marine Fazies vorhanden. Während der östliche Bereich kontinuierlich absank, wurde der westliche gehoben. Die kontinentalen Sedimente bestehen aus Konglomeraten, Fanglomeraten und Sandsteinen, in die vereinzelt Braunkohlen und lakustrine Kalksteine und Mergel eingeschaltet sind. Bei den marinen Ablagerungen handelt es sich um kalkige Sandsteine, Oolithe und Korallenkalke, und in tieferen Meeresbereichen vorwiegend um Mergel.

Mit Beginn des Miozäns nahm der Vulkanismus zu und weite Teile Anatoliens wurden mit Laven und Tuffen bedeckt. Im östlichen Teil Zentralanatoliens erfolgte während des Miozäns eine ausgedehnte Transgression, die auch noch während des Pliozäns eine Ablagerung von Flysch zur Folge hatte. Der Regression im späten Helvetikum folgte eine Periode der Hebung und Abtragung. In Südanatolien entwickelte sich im Vorland der Ophiolithzone eine Senke, in die mächtige Lagen von Mergeln, Sandsteinen und Konglomeraten geschüttet wurden.

Zu Beginn des Quartärs herrschten kontinentale Ablagerungsbedingungen. Eine weite Ebene mit einigen isolierten Gebirgszügen wurde im Pleistozän von Flüssen erodiert und zergliedert und die vereinzelt flachen Depressionen mit dem Abtragungsschutt gefüllt. In Zentralanatolien wurde die vulkanische Tätigkeit fortgesetzt, es wurden überwiegend Basalte und Obsidiane gefördert. Während der Eiszeit im mittleren und späten Pleistozän kamen die während des frühen Pleistozäns stattfindenden epirogenetischen Bewegungen zum Stillstand.

Im Holozän, am Ende der letzten Eiszeit vor etwa 10000 Jahren kam es zu einem rapiden Temperaturanstieg bis zum heutigen Niveau. Der Grundwasserspiegel sank und die Evaporation nahm zu. Viele Seen entwickelten sich zu Salzseen oder trockneten völlig aus.

### Alpidische Orogenese

Anders als die kaledonische und variscische Orogenese beeinflusste die alpidische Gebirgsbildung das Gebiet der gesamten Türkei und dauert heute noch an. Es werden vier tektonogenetische Phasen unterschieden. Während des Mesozoikums entwickelten sich nach OKAY et al. (1996) zwischen den beiden Megakontinenten Gondwana und Laurasia drei tethische Ozeanbecken, die durch kontinentale Blöcke voneinander getrennt waren. In Folge der alpidischen Orogenese, ausgelöst durch die mittelatlantische Expansion, näherten sich die beiden Megakontinente immer weiter aneinander an und subduzierten dabei im Laufe der Zeit die zwischen ihnen liegende Tethys.

Nach BRINKMANN (1976) werden vier tektonogenetische Phasen unterschieden. Beginnend mit der frühalpidischen kimmerischen Phase in der mittleren Trias, wurde im Norden der Intra-Pontiden-Ozean und im Süden das Karakaya-Randmeer geschlossen (OKAY et al. 1991, OKAY & TÜYSÜZ 1999, ELMAS & YIGITBAS 2001). Während der mittelalpidischen almarischen Faltungsphase erfolgte hauptsächlich die Faltung der Gesteine des Zentralanatolischen Troges. In der jungalpidischen Phase (pyrenäische Phase) kollidierte das Rhodopen-Pontiden-Fragment mit dem Sakarya-Kontinent. Damit verbunden war die Faltung der äußeren Pontiden und die Hebung des Sakarya-Kontinents. Im Süden erfolgte die Faltung der Tauriden (BRINKMANN 1976, ELMAS & YIGITBAS 2001). Mit der Kollision der Anatoliden-Tauriden-Plattform mit den Pontiden während der spätalpidischen Phase im Eozän begann die letzte Faltungsphase, die mit einer bis zum mittleren Miozän andauernden Hebung und weitverbreitetem Magmatismus einher ging. In Folge wurde Anatolien entlang des sich entwickelnden Ost—West verlaufenden Störungssystems in Horste und Gräben zerbrochen (ŞENGÖR & YILMAZ 1981, OKAY et al. 1991).

### 3.2.2 Biga-Halbinsel

Innerhalb des alpidischen Gebirgsgürtels gehört die Biga-Halbinsel zu den Pontiden. Auf Grund widersprüchlicher Angaben in der Literatur ist eine exakte Angabe zur geotektonischen Position der Biga-Halbinsel innerhalb der Pontiden nicht möglich. Nach ŞENGÖR & YILMAZ (1981), OKAY et al. (1996) und OKAY & TÜYSÜZ (1999), gehört die gesamte Biga-Halbinsel zur Sakarya-Zone, nach OKAY et al. (1991) und OKAY et al. (2001) gehört lediglich der Süd-östliche Teil der Biga-Halbinsel zur Sakarya-Zone. Nach OKAY et al. (1991) werden vier NE—SW verlaufende tektonische Zonen ausgehalten: die Gelibolu-, Ezine-, Ayvacık-Karabiga- und die Sakarya-Zone.

Im Bereich der Biga-Halbinsel (Abb. 7) sind die derzeit ältesten bekannten Gesteine im Kazdağ-Massiv im Süden der Halbinsel zu finden (BRINKMANN 1976). Es handelt sich dabei um die Spätpaläozoischen Ablagerungen der Kazdağ-Gruppe, die den südöstlichsten Teil des kristallinen Grundgebirges der Sakarya-Zone bilden (YILMAZ 1997). Bei den hochmetamorphen Gesteinen handelt es sich um Gneise, Amphibolithe und Marmore, die eine Gesamtmächtigkeit von über 10 km erreichen (OKAY et al. 1991). Aus dem nordwestlichen Gebiet des Kazdağ-Gebirges wurden zwei Gneisproben mittels Einzel-Zirkon-Datierung datiert. Die Mittelkarbonen Alter (durchschnittliches Alter von vier Datierungen  $308 \pm 16$  Ma) werden als erster Beweis einer variscischen Metamorphose des kontinentalen Grundgebirges interpretiert (METZGER 1994, OKAY et al. 1996). Bei den beiden nördlich des Kazdağ-Gebirges liegenden Grundgebirgseinheiten der Sakarya-Zone handelt es sich zum einen um die Metasedimente der Kalabak-Formation und die Çamlıca-Granodiorite, und zum anderen um die Gesteine des Karakaya-Komplexes. Die Çamlıca-Granodiorite wurden ebenfalls datiert (Einzel-Zirkon-Datierung, durchschnittliches Alter von fünf Datierungen  $399 \pm 13$  Ma) und das Frühdevonische Alter als Kristallisationsalter interpretiert (OKAY & SATIR 2000a, OKAY et al. 1996).

Der Karakaya-Komplex überlagert diskordant die Karbonen Gneise der Kazdağ-Gruppe und wird von klastischen Sedimentgesteinen und metamorphen Gesteinen dominiert. Innerhalb des Karakaya-Komplexes werden vier tektonostratigraphische Einheiten unterschieden. Die über 3 km mächtigen pyroklastischen Gesteine, mafischen Tuffe und Pillowlaven mit zwischengelagerten Karbonaten der Nilüfer-Einheit repräsentieren nach OKAY et al. (1996) die Ablagerungen eines Sedimentationsbeckens, das einem aktiven Inselbogen vorgelagert war. Mit der Hodul-Einheit und der Orhanlar-Grauwackeneinheit sind zwei rein klastische Sequenzen vertreten. Die Hodul-Einheit besteht aus kontinentalen Sandsteinen, Arkosen und vereinzelt eingeschalteten Schluffsteinhorizonten und Konglomeraten der Kalabak-Formation und des Çamlık-Granodiorits. Proximale bis distale Turbidite mit großen exotischen Blöcken Oberpermischer Kalksteine repräsentieren die Orhanlar-Grauwackeneinheit. Basische Vulkanite und pyroklastische Gesteine mit mächtigen Schlammstromablagerungen, die Oberpermische pelagische Kalksteine und Mitteltriassische Flachwasserkalke enthalten, bilden die Çal-Einheit (OKAY et al. 1991, 1996).

Diskordant über dem Karakaya-Komplex lagern kontinentale, flachmarine und pelagische Mesozoische Einheiten des Jura bis zur mittleren Kreide der Sakarya-Zone. Kontinentale Klastika werden von neritischen und später von pelagischen Kalksteinen abgelöst. Ablagerungen von der späten Kreide bis zum Eozän fehlen auf der Biga-Halbinsel. Belegt sind erst wieder Mitteleozäne neritische Kalke, die diskordant von Obereozänen Turbiditen mit Andesiten und andesitischen Tuffen überlagert werden. Infolge der beginnenden Hebung der Biga-Halbinsel am Ende des Oligozäns kam es zu erhöhter Erosion, die von einem weitverbreiteten kalkalkalischen Magmatismus gefolgt wurde. Während des Miozäns wurde ein Großteil der Biga-Halbinsel von andesitischen, rhyolithischen und dazitischen Vulkaniten und Tuffen bedeckt. Am Ende des Miozäns herrschten fluviatile bis flachmarine Ablagerungsbedingungen, die bis zum frühen Quartär anhielten. Im Pleistozän setzte vereinzelt ein alkalibasaltischer Vulkanismus ein (OKAY et al. 1991, 1996).

Nordwestlich der Sakarya-Zone befindet sich die Ayvacık-Karabiga-Zone, deren Gesteine zwischen den Metamorphiten der Kazdağ-Gruppe und der Çetmi-Ophiolith-Melange liegen. Die Serpentinite und mylonitisierten Gneise der Alakeçi-Mylonit-Zone erreichen eine Mächtigkeit von 2 km. Die zweite große Einheit der Ayvacık-Karabiga-Zone, die westlich der Kazdağ-Gruppe ausstreicht, ist die Çetmi-Ophiolith-Melange. Über 90 % dieser Melange bestehen aus basischen Vulkaniten, pyroklastischen Gesteinen und Obertriassischen bis Oberkretazischen Kalk- und Tonsteinen und Grauwacken. Untergeordnet treten Serpentinite und Radiolarite auf. Vereinzelt sind Eklogite und Granatglimmerschiefer zwischengelagert (OKAY et al. 1991, 1996, SENGÖR & YILMAZ 1991).

Die Ezine-Zone im Nordwesten der Biga-Halbinsel besteht aus drei NE—SW streichenden lithologischen Einheiten. Schwach metamorphe epikontinentale Sandsteine, Quarzite, und mächtige rekristallisierte Kalksteine bilden die Karadağ-Einheit. OKAY et al. (1991) nehmen für diese Einheit ein Alter vom obersten Perm bis zur frühesten Trias an. Über der Karadağ-Einheit folgen die Denizgören Ophiolithe, die hauptsächlich aus serpentinierten Harzburgiten bestehen. Die dritte Einheit der Ezine-Zone bilden die Permotriassischen Çamlıca-Glimmerschiefer.

Die nördlichste der vier tektonischen Zonen der Biga-Halbinsel, die Gelibolu-Zone, wird von den Spätkretazischen/Frühpaläozänen Serpentiniten, Radiolariten, pelagischen Kalken und basischen Magmatiten, die z.T. metamorph beeinflusst sind, und der Çetmi-Ophiolith Melange gebildet. Im Bereich der Biga-Halbinsel kam es während des Tertiärs zu einem weitverbreiteten Vulkanismus. Beginnend im mittleren Eozän wurden andesitische Tuffe abgelagert. Am Ende des Oligozäns erfolgte eine anhaltende Hebung der Biga-Halbinsel verbunden mit der Erosion Eozäner und Oligozäner Ablagerungen, die von intensiven magmatischen Tätigkeiten gefolgt wurden. Vom späten Oligozän bis zum mittleren Miozän intrudierten mehrere kalkalkalische Magmenkörper, wie z.B. der Eybek-Granodiorit und der Kestanbol-Syenit (BIRKLE 1992, BIRKLE & SATIR 1992, 1994). OKAY & SATIR (2000b) wiesen für die Gneise des Kazdağ-Massivs eine Hochtemperaturmetamorphose während des späten Oligozäns (Rb/Sr-Alter von Muskoviten und Biotiten) nach. Während des Quartärs erfolgte hauptsächlich die Erosion der Ablagerungen und eine limnische und fluviatile Sedimentation. Vereinzelt kam es zu einem basischen Vulkanismus (OKAY et al. 1991, OKAY & SATIR 2000b).

### 3.2.3 Umfeldgeologie Troia

Nach der geotektonischen Gliederung der Biga-Halbinsel von OKAY et al. (1991) zählt die nähere Umgebung von Troia zur Ezine-Zone; die in unmittelbarer Nähe von Troia aufgeschlossenen Gesteine gehören innerhalb dieser zur Karadağ-Einheit. Etwa 15 km südöstlich von Troia sind die Çamlıca-Glimmerschiefer aufgeschlossen. Bei den metamorphen Gesteinen dieser Folge handelt es sich vorwiegend um graue bis grünbraune glimmerige Quarz-Glimmerschiefer. Daneben kommen weiße, gelbe und schwarze Marmore sowie weiße Metaquarzite vor. Im Westen werden diese Gesteine tektonisch durch die Ovacık-Störung von den ultramafischen Gesteinen der Denizgören-Ophiolithe (überwiegend teilweise serpentinierte Harzburgite) überlagert, die in einem ca. 2 km mächtigen SSW—NNE verlaufenden Streifen ausstreichen. Auch bei deren westlicher Begrenzung handelt es sich um eine Störung, die Camköy-Störung, die diese Gesteine von den Ablagerungen der Karadağ-Einheit trennt. Diese wird gebildet von schwach metamorphen epikontinentalen Sandsteinen, Quarziten, und mächtigen rekristallisierten Kalksteinen. Nördlich an die Karadağ-Einheit und die Denizgören-Ophiolithe sowie nordwestlich an die Çamlıca-Glimmerschiefer grenzen basaltische Vulkanite an. Sowohl diese Basalte als auch die ultramafischen Gesteine der Denizgören-Ophiolithe streichen auch nordöstlich Troias unmittelbar östlich der Ortschaft Dümrek aus (OKAY et al. 1991, Abb. 7).



Troia selbst liegt auf dem Nordwestsporn einer neogenen Erosionshochfläche oberhalb der quartären Schwemmlandebenen der Flüsse Karamenderes im Westen und Dümrek im Norden, die aus den ältesten Ablagerungen in der unmittelbaren Umgebung von Troia besteht. Dabei handelt es sich um tonig-sandige Kalke, die ehemals zu einer Karbonatplattform gehörten, die während des Eozäns in einer breiten, sich bis zum Schwarzen Meer erstreckenden flachmarinen Golfregion gebildet wurde. Auf Grund der tektonischen Hebungen im Oligozän und Miozän ist diese Karbonatplattform in einzelne Blöcke zerbrochen, die in Folge unterschiedlichen Hebungs- und Erosionsraten unterlagen (KAYAN 1996, OKAY et al. 1991). Eine genauere stratigraphische Einordnung der neogenen Ablagerungen befindet sich zur Zeit noch in Diskussion (YALTIRAK et al. 1998, SAKINÇ et al. 1999). Nach YALTIRAK et al. (2000) wird der Troia-Rücken zur Unterpliozänen, lakustrinen und fluviatilen Conkbayırı-Formation gezählt, die von YALTIRAK & ALPAR (2002) in zwei Formationen unterteilt wird. Danach gehört der Troia-Rücken zur Truva-Formation, für die bislang noch keine publizierte Beschreibung der faziellen Ausbildung vorliegt.

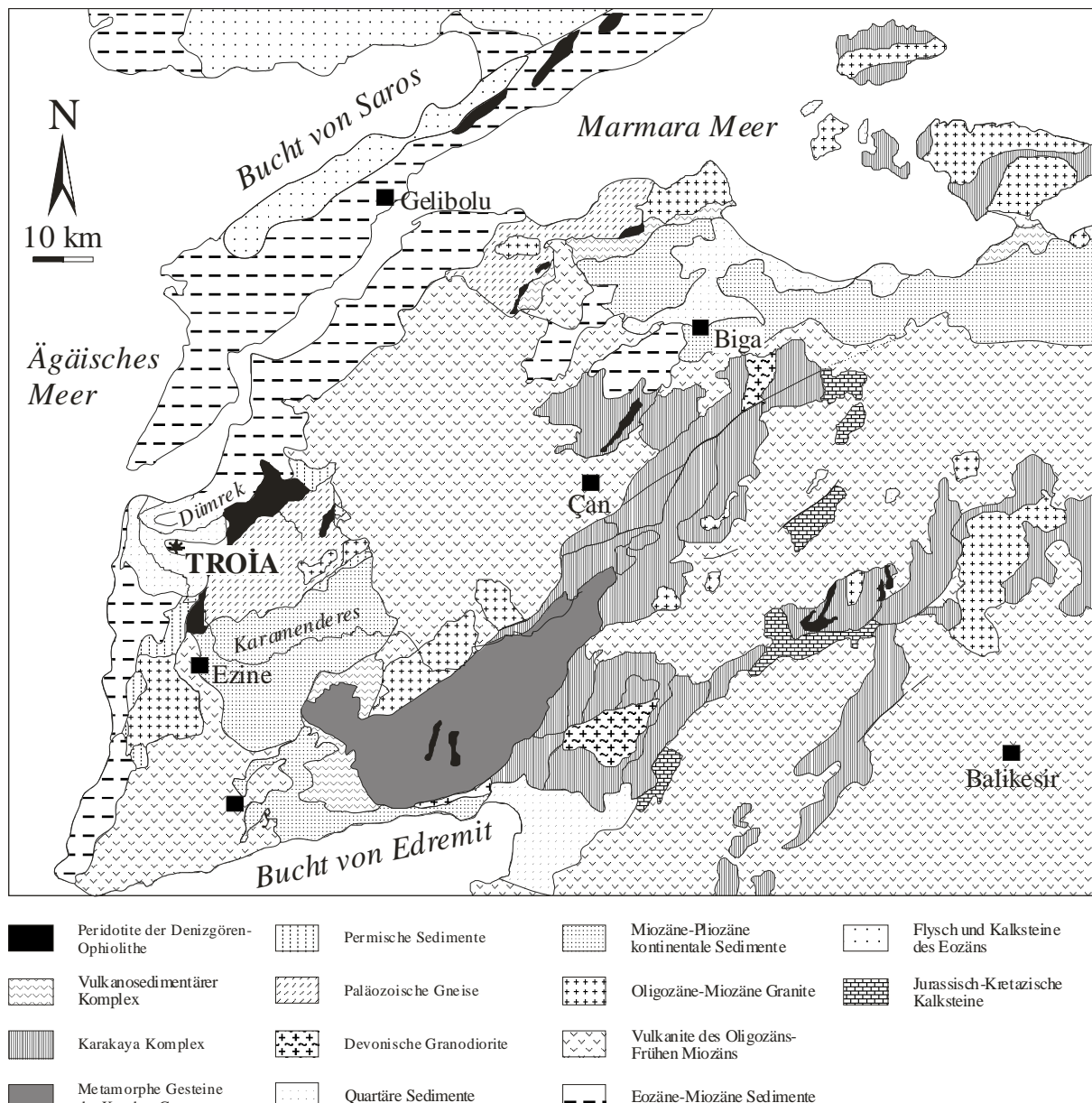


Abb. 7: Geologische Verhältnisse der Biga-Halbinsel (nach OKAY et al. 1991, 1996, verändert aus SATIR & ZÖLDFÖLDI 2003; Kartengrundlage gezeichnet von F. Chen, J. Zöldföldi).



## 4 Methodik und Material

### 4.1 Allgemeines

In den folgenden Kapiteln werden die Methoden vorgestellt, die an dem um Troia beprobtem geologischen Material angewandt wurden, um die sedimentologischen und geochemischen Untersuchungen durchzuführen und die Proben zu datieren. Zunächst erfolgt die Beschreibung der Probennahmetechniken. Danach werden die einzelnen Untersuchungsmethoden gesondert beschrieben.

### 4.2 Probennahme

Da keine vorhandenen Aufschlüsse zur Probennahme zur Verfügung standen, wurden pro Probennahmepunkt je zwei gekernte Bohrungen mit Hilfe einer offenen Rammkernsonde abgeteuft (Kerndurchmesser 5 cm, Kernstücklänge 1 m, Bohrhammer Cobra). Um den Transport- und Kernungsaufwand zu minimieren, wurden nur Profilabschnitte doppelt gekernt, die für eine weitere Untersuchung vorgesehenen waren. An Hand des jeweils ersten Kerns wurde nach der Profilaufnahme (siehe Kapitel 4.3.1) entschieden, welche Horizonte beprobt werden sollten. Um die Datierung der Proben mittels OSL möglich zu machen, wurden für die zweiten Bohrungen lichtundurchlässige PVC-Rohre („Inliner“) in die Rammkernsonde eingeführt, deren Enden nach dem Bergen der Kerne lichtdicht verschlossen wurden. Im Dunkellabor (indirektes, gedämpftes rotes Diodenlicht ohne Infrarotanteil, Wellenlänge  $\lambda > 630$  nm) erfolgte zunächst die Entnahme der Proben für die Datierung. Aus den in Längsrichtung aufgesägten Bohrkernen wurden in Abhängigkeit von der Horizontmächtigkeit 5–10 cm mächtige Kernstücke entnommen. Von deren Anfang und Ende sowie ihrer äußeren Rinde wurde etwa 1 cm Material zur Bestimmung der Dosisleistung abgetrennt, wohingegen der verbleibende Innenkern zur Datierung verwendet wurde. Während A. KADEREIT zur Beprobung der Bohrungen 144 – Dümrek und 145 – Çıplak das Material aus beiden Hälften der aufgesägten Bohrkern entnahm, wurde aus den Bohrungen 157 – Theater und 158 – Höhle bei ausreichender Horizontmächtigkeit nur jeweils eine der beiden Bohrkernhälften für eine Datierung beprobt.

Die zweiten Hälften der Bohrkern aus den Bohrungen 157 und 158 wurde danach, äquivalent zu den entnommenen Proben für die Datierung, zur Entnahme der Proben für die geochemischen Untersuchungen und die Korngrößenanalysen verwendet. Zuvor erfolgte bei Tageslicht an der zweiten Bohrkernhälfte eine detaillierte Profilaufnahme. In diesen Fällen stimmen die Probenentnahmeteufen für OSL/Geochemie und Korngrößenanalyse überein (siehe Tab. 1). Bei sehr mächtigen Horizonten wurde das Material für die Datierung aus dem inneren Horizontbereich entnommen, das Material für die Korngrößenanalysen oberhalb und/oder unterhalb dieses Teufenbereichs (z.B. HDS 914). Im Fall der Bohrungen 144 und 145 erfolgte die Probennahme für die geochemischen Untersuchungen und die Korngrößenanalyse über oder unter dem für die Datierung beprobten Horizontabschnitt, wobei Reste des Probenmaterials, die bei der Erstbeprobung im Bohrkern zurückblieben, ebenfalls entnommen wurden. Daher enthalten die in Tab. 1 angegebenen Teufenabschnitte bisweilen Überschneidungen (z.B. HDS 757). Teilweise war für die geochemischen Untersuchungen und die Korngrößenanalyse nur Restmaterial der Erstbeprobung vorhanden (z.B. HDS 756). Vom Horizont, dem die Probe HDS 755 entstammt, war eine weitere Beprobung für diese Analysen gar nicht möglich. Für die Korngrößenanalyse (HDS 755) wurde der zum Liegenden anschließende Horizont beprobt, dessen Korngrößenzusammensetzung nach der sedimentologisch-geologischen Ansprache der des Horizontes der Probe HDS 755 entspricht. Insgesamt wurden 42 Proben aus vier Bohrungen entnommen und bearbeitet (Tab. 1).

Tab. 1: Gekerkte Bohrkernabschnitte und daraus entnommene Proben für die Datierung (OSL), die geochemischen Analysen und die Korngrößenanalysen mit den dazugehörigen Probennummern in der Reihenfolge der geographischen Lage der Bohrungen geordnet von Nord nach Süd (HDS steht für Heidelberg Sediment. Bei den Probennummern handelt es sich um Labornummern, die in der Reihenfolge des Einganges der Proben nummeriert wurden).

Bohrung	gekernte Bohr- abschnitte	Proben		Korngröße	Proben- nummer
		OSL/Geochemie			
144 Dümrek	2,30—2,90 m	2,42—2,49 m	2,38—2,42 m	2,49—2,65 m	HDS 754
		2,72—2,80 m		2,72—2,80 m	HDS 756
		2,80—2,87 m	–	2,82—2,90 m	HDS 755
	3,70—4,35 m	3,88—4,03 m	3,80—4,03 m	4,03—4,12 m	HDS 757
	4,35—5,00 m	4,65—4,75 m	4,55—4,65 m	4,43—4,55 m	HDS 758
	7,40—7,90 m	7,50—7,60 m	7,40—7,50 m	7,40—7,63 m	HDS 759
		7,71—7,78 m	7,63—7,71 m	7,78—7,84 m	HDS 760
157 Theater	0,35—0,86 m	0,54—0,67 m		0,40—0,45 m	HDS 909
	1,35—1,87 m	1,54—1,66 m		1,50—1,57 m	HDS 910
	2,11—2,74 m	2,35—2,46 m		2,54—2,60 m	HDS 911
	2,97—3,47 m	3,20—3,33 m		3,06—3,10 m	HDS 912
	3,55—4,17 m	3,83—3,87 m		3,67—3,71 m	HDS 913
	4,25—5,00 m	4,70—4,83 m		4,55—4,60 m	HDS 914
	5,00—5,75 m	5,48—5,60 m		5,48—5,52 m	HDS 915
	5,75—6,45 m	5,93—6,05 m		6,02—6,08 m	HDS 916
		6,20—6,32m		6,10—6,14 m	HDS 917
	6,45—7,20 m	6,63—6,77 m		6,45—6,50 m	HDS 918
		6,93—7,05 m		6,85—6,90 m	HDS 919
	7,23—7,97 m	7,52—7,65 m		7,75—7,80 m	HDS 920
	8,10—8,71 m	8,25—8,45 m		8,58—8,63 m	HDS 921
	8,86—9,46 m	8,94—9,03 m		9,01—9,04 m	HDS 922
		9,25—9,38 m		9,38—9,42 m	HDS 923
	9,65—10,20 m	9,97—10,10 m		10,15—10,20 m	HDS 924
	10,60—11,20 m	10,75—10,90 m		11,00—11,06 m	HDS 938
158 Höhle	1,51—2,00 m	1,63—1,75 m		1,84—1,89 m	HDS 925
	2,10—2,90 m	2,10—2,25 m		2,10—2,25 m	HDS 937
		2,28—2,35 m		2,35—2,40 m	HDS 926
	3,47—4,00 m	3,50—3,67 m		3,50—3,60 m	HDS 927
		3,70—3,79 m		3,70—3,79 m	HDS 928
	4,26—4,75 m	4,50—4,63 m		4,40—4,49 m	HDS 929
	5,20—5,90 m	5,45—5,55 m		5,55—5,65 m	HDS 930
		5,73—5,80 m		5,80—5,90 m	HDS 931
	6,35—6,83 m	6,53—6,65 m		6,65—6,70 m	HDS 932
	7,27—7,90 m	7,62—7,70 m		7,70—7,80 m	HDS 933
	8,50—9,00 m	8,75—8,87 m		–	HDS 934
	9,15—9,75 m	9,45—9,60 m		9,60—9,75 m	HDS 935
	10,40—10,90 m	10,45—10,60 m		10,42—10,45 m	HDS 936
	145 Çıplak	1,70—2,30 m	1,90—2,00 m	1,82—1,90 m	2,00—2,08 m
2,50—3,10 m		2,80—2,90 m	2,60—2,70 m	2,70—2,90 m	HDS 750
3,50—4,00 m		3,63—3,72 m	3,50—3,63 m	3,55—3,70 m	HDS 751
5,50—6,00 m		5,60—5,68 m	5,50—5,68 m	5,68—5,82 m	HDS 752
6,30—6,40 m		6,31—6,39 m		6,31—6,39 m	HDS 753

### 4.3 Sedimentologische Untersuchungen

#### 4.3.1 Beschreibung

Bereits im Gelände wurde eine erste sedimentologische Aufnahme der Bohrkernproben vorgenommen, die im Labor weiter spezifiziert wurde. Neben einer Ansprache und Klassifizierung der angetroffenen Sedimentabfolgen auf Grund ihrer Korngröße wurden folgende weitere Merkmale beachtet und dokumentiert: Horizontmächtigkeit, Farbe, Geruch, Verfestigungsgrad, Schichtmerkmale, Strukturen, Textur, Fossilführung, Karbonatgehalt, Xenolithführung und Feuchte.

#### 4.3.2 Korngrößenanalyse

Zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung wurde im wesentlichen gemäß DIN 18123 vorgegangen. Da nur eine sehr begrenzte Menge an Probenmaterial zur Verfügung stand, konnten die in DIN 18123 angegebenen Mindestprobenmengen nicht immer eingehalten werden. Die entnommenen Proben wurden eingewogen (20...160 g) und bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Massenkonstanz getrocknet. Nach der Abkühlung im Exikator wurde ihr Trockengewicht bestimmt und die Proben über Nacht in destilliertem Wasser, dessen Leitfähigkeit vorher gemessen wurde, eingeweicht. Vor Beginn des Siebvorganges ist die Leitfähigkeit der sich in Suspension befindlichen Proben bestimmt worden, um gegebenenfalls den Anteil wasserlöslicher Salze bestimmen zu können. Im Anschluß daran wurde die Kornfraktion kleiner 0,063 mm abgeschlämmt und für die Bestimmung der Kornzusammensetzung dieser Feinstkornfraktion aufgefangen. Nach dem Trocknen des Siebrückstands erfolgte die Trockensiebung mit folgendem Siebsatz: 16 mm – 8 mm – 5 mm – 2 mm – 1 mm – 500 µm – 250 µm – 125 µm. Danach sind die einzelnen Kornfraktionen erneut bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrocknet, im Exikator abgekühlt, und zurück gewogen worden. Von der Feinstkornfraktion (< 0,063 mm) wurden für deren weitere Analyse pro Probe ein repräsentativer Teil entnommen und in Suspension gebracht. Diese Suspension wurde auf ihre Korngrößenzusammensetzung in einem Laserbeugungsgerät der Firma Malvern (Mastersizer) untersucht.

Bei der Methode der Laserbeugung wird die Streuung des Lichtes an einem Kornpartikel zur Bestimmung von dessen Größe verwendet. Je nach Form und Größe entstehen dabei für jedes im Meßvolumen enthaltene Kornpartikel charakteristische Streumuster, die auf Grundlage der FRAUNHOFER-Theorie ausgewertet werden und damit einen Rückschluß auf die Korngröße zulassen (BERTHOLD et al. 2000).

Im Bereich der Troasebene ist auf Grund der klimatischen Bedingungen damit zu rechnen, daß sich in den Sedimenten Salze abgelagert oder durch Evapotranspiration anreichern. Um den Anteil eliminierbarer Salze in den Proben zu erfassen, erfolgte an allen Siebproben eine Messung der Leitfähigkeit des Wassers vor und nach deren Einweichen (Tab. 16 in Anhang B). Aus der Differenz dieser beiden Werte läßt sich dann der Salzanteil berechnen. Dieser Anteil wurde vor der weiteren Auswertung der Korngrößenzusammensetzung von den anfänglichen Trockenmassen abgezogen. Zur weiteren Bearbeitung wurden die Ergebnisse der Siebung und Laserbeugungsmethode zusammen gefaßt und in Form einer Summenkurve und Häufigkeitskurve nach DIN 18123 (Abb. 59 bis Abb. 105 in Anhang B, Kapitel 5.2.1) ausgewertet.

Da bei den ersten Siebungen der Siebverlust über 5 % lag, wurden diese wiederholt. Für die Proben HDS 753 und HDS 937 stand für eine zweite Siebung nicht mehr ausreichend Material zur Verfügung. Daher beruhen die Ergebnisse der Korngrößenanalyse für diese beiden Proben auf der ersten Siebung. Erfahrungsgemäß ist der Siebverlust den Kornfraktionen unter 125 µm zuzurechnen.

### 4.3.3 Wassergehaltsbestimmung

An allen Proben wurde eine Wassergehaltsbestimmung in Anlehnung an DIN 18121 Teil 1 durchgeführt. Nach der Einwaage der Feuchtmassen [g] wurden die Proben bei 105 °C im Trockenschrank bis zu ihrer Massenkonstanz getrocknet, im Exikator abgekühlt und ihre Trockenmasse [g] bestimmt. Mit Hilfe der Formel 1 wurde ihr Wassergehalt  $w$  [%] berechnet.

$$w = \left( \frac{m_f - m_{tr}}{m_{tr}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

$w$ : Wassergehalt [%]

$m_f$ : Masse der feuchten Probe [g]

$m_{tr}$ : Masse der trockenen Probe [g]

In der Lumineszenzdatierung wird im Gegensatz zu den Geowissenschaften häufig mit dem Feuchtefaktor  $d$  [1] gearbeitet. Zwischen  $w$  und  $d$  besteht folgender mathematischer Zusammenhang:

$$d = \frac{w}{100} + 1 \quad (2)$$

Für die Proben der Bohrungen Theater und Höhle wurden jeweils Doppelbestimmungen des Wassergehalts durchgeführt. Eine Bestimmung erfolgte an dem für die Datierung vorgesehen Material, eine zweite am Material für die Korngrößenanalysen. In die Berechnung der Dosisleistung (siehe Kapitel 4.5.6.3) ging für diese Proben der gemittelte Feuchtefaktor  $d$  aus den zwei Wassergehaltsbestimmungen ein (siehe Tab. 45 bis Tab. 48 in Anhang D).

### 4.3.4 Mineralbestand

Im Anschluß an die Korngrößenbestimmung erfolgte an den Fraktionen  $\geq 1$  mm unter dem Binokular eine qualitative Mineralbestandsbestimmung. Deren Ergebnisse finden sich in den sedimentologischen Beschreibungen der Bohrkerne.

## 4.4 Geochemische Untersuchungsmethoden

### 4.4.1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

#### 4.4.1.1 Prinzip der RFA

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen hoher Frequenz und kurzer Wellenlänge, die wie folgt entstehen: Eine Strahlung sehr hoher Energie ( $h\nu$ : 0,1—100 keV) kann beim Auftreffen auf Atome höherer Kernladungszahl Elektronen aus den inneren kernnahen Schalen K oder L auf ein energetisch höheres Niveau (z.B. Schale M, N) heben oder ganz aus dem Atom heraus schleudern. Dabei entstehen Lücken, die innerhalb kürzester Zeit (Größenordnung  $10^{-8}$  s) von Elektronen weiter außen liegender Schalen wieder gefüllt werden. Infolge dieses Vorgangs wird Energie in Form eines Röntgenquants frei, die als Röntgenstrahl bezeichnet wird und sich als elementcharakteristische Spektrallinien darstellen läßt.

Wird ein Elektron der K-Schale in einen energetisch höheren Zustand versetzt und durch ein Elektron der L-Schale ersetzt, spricht man von einem Quant der  $K_\alpha$ -Linie des entstehenden Spektrums, wird es dagegen von einem Elektron aus der M-Schale ersetzt, von einem Quant der  $K_\beta$ -Linie. Dementsprechend gehören beispielsweise die emittierten Röntgenquanten, die beim Wiederbesetzen einer Lücke in der L-Schale entstehen, zur L-Serie (Abb. 8). In Abhängigkeit des jeweiligen Elektronenüberganges werden Röntgenquanten einer bestimmten Wellenlänge frei. Außerdem ist die nötige Energie für die entsprechenden Elektronenüber-

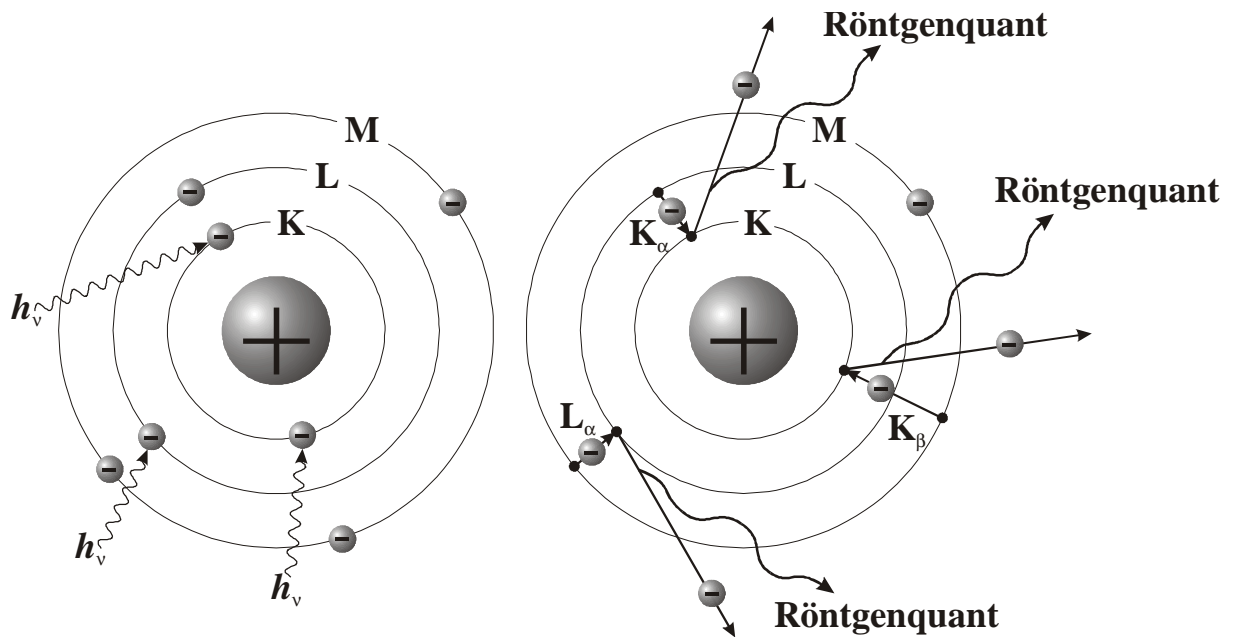


Abb. 8: Prinzip der Anregung von Röntgenfluoreszenzstrahlung (nach SCHWEDT 1996).

gänge zwischen den einzelnen Schalen von Element zu Element verschieden. Folglich ergibt sich für jedes Element ein spezifisches Röntgenspektrum (z.B. SCHWEDT 1996, GILL 1993).

Als energiereiche Strahlung können verschiedene Strahlungen verwendet werden. Bei dem im Labor des Lehrstuhls für Geochemie an der Universität Tübingen verwendeten wellenlängen-dispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometer SRS 300 der Firma Siemens, wo alle Analysen durchgeführt wurden, wird mit einem Röntgenstrahl aus einer Rhodiumröhre stimuliert.

Gemessen wird gegen eine Eichkurve, die auf Grund regelmäßiger Messungen internationaler Standards aufgestellt wird (siehe Tab. 18 in Anhang C I). Bei normalem Betrieb wird alle drei bis vier Monate eine neue Eichung des Röntgenfluoreszenzspektrometers vorgenommen. Für alle in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse von Röntgenfluoreszenzanalysen sind die entsprechenden Standardabweichungen und Nachweisgrenzen in Tab. 19 bis Tab. 22 in Anhang C I zu finden.

#### 4.4.1.2 Probenaufbereitung

Aus den zu bearbeitenden Bohrungen wurden von insgesamt 40 Proben mittels RFA die in Tab. 23 bis Tab. 26 in Anhang C I dargestellten Haupt- und Nebenelemente bestimmt. Um die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse mit den aus der Literatur bekannten Daten von BIRKLE (1992), KNACKE-LOY (1994) und ADIS (1995) vergleichen zu können, wurden die Gesamtfractionen der Proben verwendet. Nach der Grobzerkleinerung im Backenbrecher erfolgte die Zermahlung der Proben bis zur geforderten Analysenfeinheit in einer Planetenkugelmühle und einem Mörser. Von dem erhaltenen Probenpulver wurden jeweils zweimal pro Probe 1,5 g Probenmaterial eingewogen und mit 7,5 g des Flußmittels di-Lithiumtetraborat (66%) – Lithiummetaborat (34%, Firma Merck) vermischt und davon zwei Schmelztabletten hergestellt. Dazu wurde das Proben-Flußmittel-Gemisch in Platintiegeln langsam auf eine Temperatur von 1150 °C gebracht und dabei geschmolzen. Um die Schmelze restlos zu entgasen und eine Homogenisierung zu erreichen, wurde der Platintiegel beim Aufheizen langsam geschwenkt. Nach vollständigem Aufschmelzen wurde die Schmelze in eine vorher erwärmte Kokille geschüttet und über einem Gebläse langsam abgekühlt.

#### 4.4.1.3 Glühverlust

Für eine Standardelementanalyse muß zusätzlich zur RFA der Glühverlust der Proben bestimmt werden. Dazu wurde jeweils etwa 1 g des zerkleinerten getrockneten Probenmaterials eingewogen und im Ofen bei 1000 °C bis zur Massenkonzanz geglüht (Tab. 27). Nach vollständigem Abkühlen im Exikator wurden die Proben zurück gewogen und deren Glühverlust nach Formel 3 berechnet:

$$GV = \left( \frac{m_{tr} - m_{Gl}}{m_{tr}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

GV: Glühverlust [%]

$m_{tr}$ : Einwaage trockene Probe [g]

$m_{Gl}$ : Masse geglühte Probe [g]

#### 4.4.2 Stabile Isotope (Sauerstoff, Kohlenstoff)

##### 4.4.2.1 Prinzip

Isotope sind einzelne Nuklide eines Elementes mit gleicher Ordnungszahl  $Z$  (Protonenzahl, Kernladungszahl) aber verschiedener Neutronenzahl  $N$  und damit verschiedener Massenzahl  $A = N + Z$ ; ein Element kann folglich verschiedene Isotope mit verschiedenen Massenzahlen und daraus resultierend mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften besitzen. Als stabile Isotope werden diejenigen bezeichnet, die nicht einem radioaktiven Zerfall unterliegen und deren Verhältnisse im Laufe der Erdgeschichte bei stofflich abgeschlossener Einheit der Gesamterde gleich bleiben (SEIM & TISCHENDORF 1990).

Für die Isotopengeochemie spielen die Häufigkeiten der einzelnen Isotope eine entscheidende Rolle; von besonderem Interesse sind jedoch meist die Massenverhältnisse zweier Isotope eines Elements:

$$R = \frac{h_1}{h_2} \quad (4)$$

$R$ : Massenverhältnis zweier Isotope eines Elementes [1]

$h_1$ : Masse Isotop 1 [g]

$h_2$ : Masse Isotop 2 [g]

Da bei stabilen Isotopen die Variationen dieser Isotopenverhältnisse meist sehr klein sind, wird als Maß für die Häufigkeit der  $\delta$ -Wert angegeben. Mit dem  $\delta$ -Wert wird die relative Differenz eines Isotopenverhältnisses eines Elementes gegenüber einem Standard (siehe Tab. 2) ausgedrückt. Auf Grund der geringen Unterschiede der Massenverhältnisse  $R$  wird der  $\delta$ -Wert für die Isotope in ‰ angegeben:

$$\delta = \left( \frac{R_{Pr} - R_{St}}{R_{St}} \right) \cdot 1000 = \left( \frac{R_{Pr}}{R_{St}} - 1 \right) \cdot 1000 \quad (5)$$

$R_{Pr}$ : Massenverhältnis der Isotope der Probe [1]

$R_{St}$ : Massenverhältnis der Isotope des Standards

Ist ein Isotop gegenüber dem Standard angereichert, ist der  $\delta$ -Wert positiv, ist der  $\delta$ -Wert negativ, ist das Isotop gegenüber dem Standard abgereichert. In Tab. 2 sind die in dieser Arbeit verwendeten internationalen Standards für stabile Isotope aufgelistet.

Beruhend auf den verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften der einzelnen Isotope kommt es zu Isotopieeffekten. Dabei wird unterschieden in transkinetische Effekte,

Tab. 2: Internationale Standards für die stabilen Isotope Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Kohlenstoff (C); aus SEIM & TISCHENDORF (1990), (\*): Umrechnung von FRIEDMAN & O'NEIL (1977) zitiert in FAURE (1986).

Element	Standard	‰
H	VSMOW (Vienna Standard of Mean Ocean Water)	0
O	VSMOW	0
	VPDB ( <i>Belemnitella americana</i> , Kreide, PeeDe-Fm. Südkarolina, USA)	+0,22
	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1,036086 \cdot \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 30,86^{(*)}$	
	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} = 0,97006 \cdot \delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} - 29,94^{(*)}$	
C	PDB	0

beispielsweise Diffusionsvorgänge, in reaktionskinetische Effekte, die auf der Einstellung eines chemischen Gleichgewichts beruhen und in thermodynamische Effekte, bei denen sich beispielsweise Gleichgewichte zwischen fest und flüssig eingestellt haben.

Diese Isotopieeffekte bewirken eine Fraktionierung: eine Anreicherung eines Isotops gegenüber einem anderen, deren quantitatives Ausmaß durch den Fraktionierungsfaktor  $\alpha$  ausgedrückt wird.

$$\alpha_{A-B} = \frac{R_A}{R_B} \quad (6)$$

in  $\delta$ -Werten ausgedrückt ergibt sich daraus:

$$\alpha_{A-B} = \frac{\left(\frac{\delta_A}{1000} + 1\right)}{\left(\frac{\delta_B}{1000} + 1\right)} = \frac{\delta_A + 1000}{\delta_B + 1000} \quad (7)$$

als  $\Delta$ -Wert ausgedrückt:

$$\Delta_{A-B} = \left(\frac{R_A}{R_B} - 1\right) \cdot 1000 = (\alpha - 1) \cdot 1000 \quad (8)$$

es gilt dabei:

$$\delta_A - \delta_B \cong \Delta_{A-B} \cong 1000 \ln \alpha_{A-B} \quad (9)$$

Stellt sich für Isotopenaustauschprozesse ein Gleichgewicht ein, wird das durch die Gleichgewichtskonstante  $K$  bestimmt:

$$K = \frac{\left(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}\right)_{\text{CaCO}_3}}{\left(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}\right)_{\text{H}_2\text{O}}} = 1,031 \text{ bei } 25^\circ\text{C} \quad (10)$$

$K$  ist temperaturabhängig. Wenn  $n$  Atome ausgetauscht werden, ist  $\alpha = K^{\frac{1}{n}}$ , wird nur eins ausgetauscht ist  $\alpha = K$  [FAURE (1986), SEIM & TISCHENDORF (1990), HOEFS (1997)].

### Isotopieeffekte/Isotopenfraktionierungsprozesse

Isotopieeffekte beruhen auf den Massenunterschieden, die im Molekül der Atome unterschiedliche Schwingungsfrequenzen und damit unterschiedliche Energiebeträge bewirken (MASON & MOORE 1985). Diese Energiebeträge sind temperaturabhängig. Mit steigender

Temperatur steigt die Energie der einzelnen Moleküle im Atom und damit auch deren Schwingungsfrequenz. Auf Grund der schwächeren Bindungsenergien leichter Isotope können diese schneller aufgebrochen werden als schwere. Leichte Isotope reagieren deshalb schneller als schwere. Auf Grund der Temperaturabhängigkeit der Isotopieffekte ist auch die Isotopenfraktionierung immer temperaturabhängig (FAURE 1986, HOEFS 1997).

### *Stabile Sauerstoff- und Wasserstoffisotope*

Sauerstoff besitzt in der Natur drei stabile Isotope, die in folgenden Häufigkeiten auftreten:

- $^{16}\text{O}$ =99,763 %
- $^{17}\text{O}$ =3,0375 %
- $^{18}\text{O}$ =0,1995 %

Gemessen wird das Verhältnis  $R=^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  bezogen auf den Standard VSMOW bzw. gegen den Standard VPDB, wenn das Verhältnis  $R$  in Karbonaten bestimmt wird.

Wasserstoff besitzt in der Natur neben dem radiogenen Isotop Tritium ( $^3\text{H}$ ) zwei stabile Isotope mit folgenden Häufigkeiten:

- $^1\text{H}$  (Protonium)=99,9844 %
- $^2\text{H}$  (D, Deuterium)= 0,0156 %

(SEIM & TISCHENDORF 1990).

Auf Grund der Gesetzmäßigkeiten der Isotopenfraktionierung besteht zwischen der Fraktionierung von Sauerstoff- und Wasserstoffisotopen für meteorische Wässer folgender als Niederschlagsgerade oder „meteoric water line“ (MWL) bezeichneter linearer Zusammenhang:

$$\delta\text{D} = s\delta^{18}\text{O} + d \quad (11)$$

wobei im kontinentalen Bereich die Steigung  $s$  den Wert 8 und der Deuterium-Exzeß  $d$  den Wert +10 ‰ besitzt. Meerwasser hat weltweit einen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von  $\pm 0$  ‰ (HOEFS 1997).

Abb. 9 illustriert die Fraktionierung der stabilen Isotope von Sauerstoff innerhalb des Wasserkreislaufs (RAYLEIGH-Fraktionierung). Dabei treten drei eine Fraktionierung bewirkende Isotopieffekte auf:

- Kontinentaleffekt: Abnahme der  $\delta$ -Werte in den Niederschlägen entlang einer von der Küste ins Landesinnere verlaufenden Linie
- Höheneffekt: Abnahme der  $\delta$ -Werte in den Niederschlägen, da mit zunehmender Höhe die Lufttemperatur und damit die Fraktionierung abnimmt
- Temperatureffekt: jahreszeitlich bedingte Schwankung der  $\delta$ -Werte auf Grund der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen.

Da leichte Isotope auf Grund ihrer geringeren Bindungsenergie einen höheren Dampfdruck besitzen als schwere Isotope, werden sie bei der Verdunstung von Wasser schneller und überwiegend in der leichteren, flüchtigeren Phase (Wolken) angereichert. Mit zunehmender Entfernung vom Meer befinden sich in der flüchtigen Phase im Verhältnis immer mehr leichte Isotope, da die schweren auf Grund ihrer höheren Masse und ihres geringeren Dampfdruckes eher abgerechnet werden. Mit zunehmender Höhe nimmt auf Grund der abnehmenden Temperatur auch die Fraktionierung ab, d.h. in höheren Lagen nimmt für schwere Isotope zum einen die Anreicherung bei Verdunstungsprozessen weiter ab und zum anderen die Abreicherung in den Niederschlägen weiter zu. Da die Isotopenfraktionierung temperaturabhängig ist, variiert sie in Abhängigkeit von der geographischen Breite. Je niedriger die Temperatur, desto



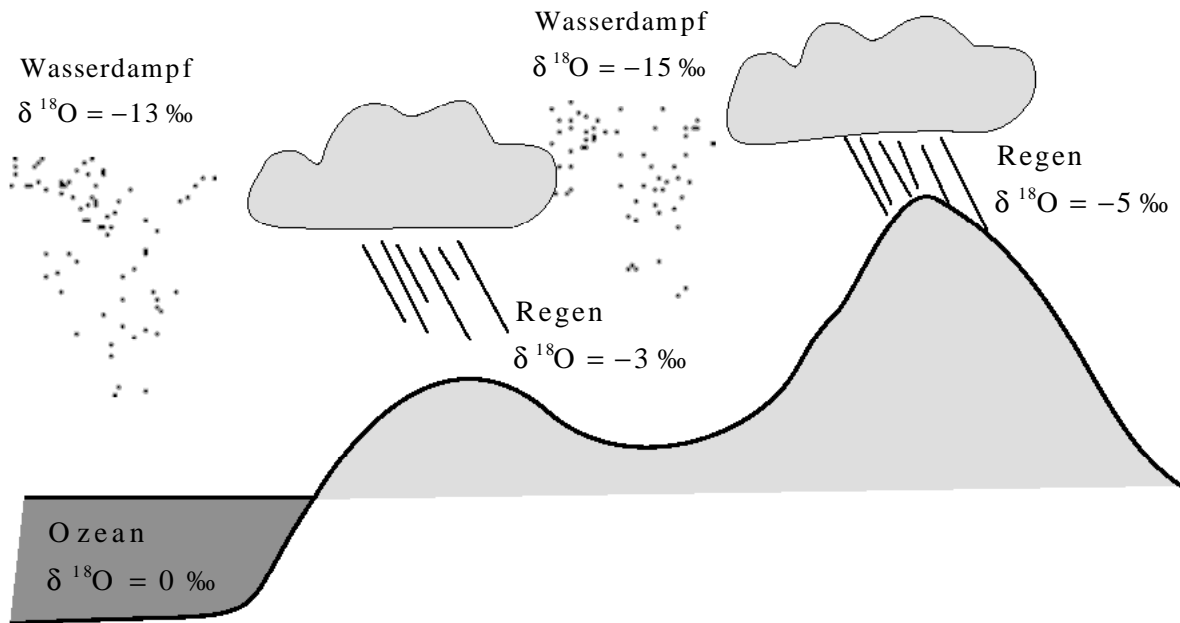


Abb. 9: Schematische Darstellung des RAYLEIGH-Fraktionierung (nach WHITE 1998).

isotopisch leichter wird das Niederschlagswasser; die schweren Isotope werden abgereichert (HOEFS 1997, WHITE 1998, Abb. 9).

### Paläotemperaturbestimmung

Auf Grund der Temperaturabhängigkeit der Fraktionierung können Sauerstoffisotope zur Paläotemperaturbestimmung herangezogen werden. Im Niedertemperaturbereich werden zur Temperaturbestimmung mit dem Ziel einer Klimarekonstruktion Sauerstoffisotope von Karbonaten benutzt. Voraussetzung ist, daß während der Ausfällung der Karbonate zwischen diesen und dem Wasser, in dem sie sich befanden ein Sauerstoff-Isotopenaustauschgleichgewicht geherrscht hat. Des weiteren muß die isotopische Zusammensetzung dieses Wassers bekannt sein, und das sich bei der Ausfällung eingestellte Isotopengleichgewicht muß über den gesamten Zeitraum konstant geblieben sein. Unter diesen Voraussetzungen kann die Bildungstemperatur mit folgender Formel nach EPSTEIN et al. (1953) und CRAIG (1965) berechnet werden:

$$T[^\circ\text{C}] = 16,9 - 4,2 \cdot (\delta_c - \delta_w) + 0,13 \cdot (\delta_c - \delta_w)^2 \quad (12)$$

- $\delta_c$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des  $\text{CO}_2$ , das aus der  $\text{CaCO}_3$ -Probe durch Reaktion mit 100 %er  $\text{H}_3\text{PO}_4$  bei 25 °C gewonnen wird  
 $\delta_w$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des  $\text{CO}_2$ , das bei 25 °C mit dem Wasser in dem das  $\text{CaCO}_3$  ausgefällt wurde im Gleichgewicht steht.

### Kohlenstoffisotopie

Kohlenstoff besitzt neben dem radiogenen Isotop  $^{14}\text{C}$  zwei natürlich vorkommende stabile Isotope mit folgenden Häufigkeiten:

- $^{12}\text{C} = 98,89 \%$
- $^{13}\text{C} = 1,11 \%$ .

Da Kohlenstoff sowohl in organischen als auch in anorganischen Verbindungen in unterschiedlichen Wertigkeiten vorkommt, kommt es zu beträchtlichen Fraktionierungen. Isoto-

penfraktionierungen anorganischer Kohlenstoffverbindungen beruhen meist auf Gleichgewichtseffekten zwischen dem Kohlendioxid der Luft und dem Hydrogenkarbonat des Wassers, die im Isotopenaustauschgleichgewicht stehen (MASON & MOORE 1985, SEIM & TISCHENDORF 1990).

In organischen Kohlenstoffverbindungen vollziehen sich Fraktionierungen vorwiegend durch die bei der Photosynthese stattfindenden Prozesse des Kohlenstoffeinbaus in die Pflanzen. Landpflanzen entnehmen dabei den Kohlenstoff aus dem Kohlendioxid der Luft, Wasserpflanzen aus dem gelösten Hydrogenkarbonat des Wassers. Pflanzen spiegeln daher die isotopische Zusammensetzung ihres „Bildungsortes“ wider. Während der Photosynthese wird auf Grund kinetischer Effekte das leichte Isotop ( $^{12}\text{C}$ ) in den Pflanzen angereichert. Demgegenüber wird auf Grund der temperaturabhängigen Isotopenaustauschreaktionen zwischen dem Kohlendioxid der Luft und dem Hydrogenkarbonat des Wasser eine Anreicherung des schweren Isotops ( $^{13}\text{C}$ ) in Wasserpflanzen und Karbonaten erreicht (FAURE 1986, HOEFS 1997).

Verschiedene Autoren postulieren verschiedene Anwendungsmöglichkeiten der Kohlenstoffisotopie. Zum einen kann demnach die Herkunft des analysierten Kohlenstoffs dem organischen ( $\delta^{13}\text{C} < -15\text{‰}$ ) oder dem anorganischen Bereich ( $\delta^{13}\text{C} > -10\text{‰}$ ) zugeordnet werden (SEIM & TISCHENDORF 1990), zum anderen können Aussagen zum Klima während der Bildung (Einbau des Kohlenstoffs in Pflanzen oder Karbonaten) gemacht werden. Nach NAKAI (1972, zitiert in BUCHARDT & FRITZ 1980) ist der Gehalt an  $^{13}\text{C}$  ein Maß für die Bildungstemperatur, da mit steigender Temperatur auch die schwereren Isotope angereichert werden. Außerdem nimmt im Vergleich zu Kaltphasen in wärmeren Perioden die Biomasseproduktion und damit auch der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert zu. Da seit der Bildung und Ablagerung der mittels Kohlenstoffisotopie untersuchten Materialien weitere Veränderungen stattgefunden haben (vor allem durch die Zerstörung der in den organischen Verbindungen den Kohlenstoff enthaltenen Proteine und Kohlenwasserstoffe), können die vorher genannten Kriterien nur als Anhaltspunkte verwendet werden (FAURE 1986, HOEFS 1997).

#### **4.4.2.2 Probenaufbereitung**

##### **Karbonatisotopie**

Für die Karbonatisotopie wurde das getrocknete, in einem Mörser und einer Planetenkugelmühle analysenfein gemahlene Probenmaterial mit 2,5 %er NaOCl versetzt, um den ebenfalls in der Probe befindlichen organischen Kohlenstoff zu eliminieren. Nach 24 Stunden wurden die einzelnen Proben mehrmals mit destilliertem Wasser gewaschen und anschließend bei 50 °C im Trockenschrank getrocknet. Für die Analyse wurden 0,10—0,13 mg des Probenmaterials eingewogen.

##### **Kohlenstoffisotopie**

Um bei der Bestimmung der Isotopie des organischen Kohlenstoffs nicht ebenfalls den Gehalt des im Kalziumkarbonat befindlichen Kohlenstoffs mit zu messen, wurde das zuvor in einem Mörser und einer Planetenkugelmühle analysenfein gemahlene Probenmaterial mit 10 %er HCl versetzt und 24 Stunden auf einer Rüttelmaschine zur Reaktion gebracht. Im Anschluß daran wurden die Proben mehrfach mit destilliertem Wasser gewaschen und bei 50 °C im Trockenschrank getrocknet. Eingewogen wurden von dem so vorbereiteten Probenmaterial soviel, daß sich 0,03—0,06 mg Kohlenstoff in der Probe befanden, wobei die Abschätzung des Kohlenstoffgehaltes der Proben auf Grundlage der Ergebnisse der Glühverlustbestimmung beruhten. Zusätzlich wurden aus Proben, die einen hohen Anteil an Holzkohlepartikeln enthielten, diese unter dem Mikroskop ausgelesen und ebenfalls auf ihre Isotopie hin untersucht.

## Massenspektrometer

Mit Hilfe des Gasmassenspektrometers Finnigan MAT 252 wurde die Analyse der stabilen Isotope vorgenommen. Im vorgeschalteten Elemental Analyser Finnigan MAT TC/EA erfolgte der Aufschluß des Probenmaterials.

Für die Bestimmung der Kohlenstoffisotope wird die Probe in ein Zinnschiffchen eingewogen und im Elemental Analyser mittels eines automatischen Probengebers in eine mit Chromoxid gefüllte Quarzröhre gegeben. Dort erfolgt der quantitative Aufschluß durch Oxidation mit reinem Sauerstoff bei einer Temperatur von etwa 1000 °C. Als Katalysator und Sauerstoffspender dient dabei das Chromoxid. Schwer aufschließbare Substanzen werden durch die Erhöhung der Umgebungstemperatur auf 1600–1800 °C durch das Verbrennen des Zinnschiffchens aufgeschlossen. Neben dem für die Analyse benötigten Kohlendioxid entstehen Stickstoff, Stickoxide und Wasser, die im folgenden abgetrennt werden {Stickoxide: Reduktion zu Stickstoff an Kupferkontakt, überschüssiger Sauerstoff an Kupfer gebunden, Wasser an Wasserfalle  $[\text{Mg}_4(\text{ClO}_4)_2]$  gebunden}. Als Trägergas dient ein konstant fließender Heliumstrom. In der nachfolgenden gaschromatischen Säule werden die verbleibenden Gase Stickstoff und Kohlendioxid voneinander getrennt und einzeln in das Massenspektrometer eingebracht, wo die Messung der Isotopenverhältnisse erfolgt.

Karbonate werden in heliumgespülten Gefäßen mit hochprozentiger Phosphorsäure eine Stunde lang zur Reaktion gebracht. Neben dem zur Analyse nötigen Kohlendioxid entsteht ebenfalls Wasser, das in einer Wasserfalle entfernt wird. Im Gaschromatograph erfolgt die Abtrennung des Kohlendioxids zum Massenspektrometer, wo die Isotopenverhältnisse bestimmt werden (Beschreibung nach Laboranleitung Institut für Geochemie, Universität Tübingen).

## 4.5 Altersdatierung – Optisch Stimulierte Lumineszenz

### 4.5.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf grundlegende Fragen und Probleme in Zusammenhang mit der Infrarot Stimulierten Lumineszenz (IRSL) eingegangen, die im Rahmen vorliegender Arbeit zur Datierung der Proben verwendet wurde. Eine umfangreiche Zusammenstellung der Entwicklungen einzelner Methoden der Lumineszenzdatierungen einschließlich technischer Aspekte sind beispielsweise bei AITKEN (1985, 1998), WINTLE (1997), BØTTER-JENSEN (1997) und BØTTER-JENSEN et al. (1999) zu finden. Weitere Details zu den an der Forschungsstelle für Archäometrie in Heidelberg gebräuchlichen Methoden geben LANG (1996), LANG et al. (1996), KUHN (2000) oder KADEREIT (2000).

### 4.5.2 Phänomen der Lumineszenz und physikalische Grundlagen

Lumineszenz ist die zusammenfassende Bezeichnung aller Vorgänge, die auf eine Lichtausendung zurückzuführen sind, die nicht auf dem Wärmehaushalt des leuchtenden Körpers beruhen. Elektrisch nicht leitende Festkörper sind in der Lage, einen Teil der Anregungsenergie ionisierender Strahlung im Kristallgitter zu speichern. Bei ausreichender externer Zufuhr von Stimulationsenergie kann ein Teil dieser Energie mittels Emission von Photonen (Lumineszenz) wieder freigesetzt werden (RIEHL 1971).

Voraussetzung für das Speichern von Energie im Kristallgitter ist das Vorhandensein dortiger Fehlstellen, die durch Wachstumsfehler der Kristalle oder Fremdatome verursacht werden. Bei diesen Fehlstellen handelt es sich um chemische Verunreinigungen durch den Einbau von Fremdatomen, die je nach ihrer Ladung positive oder negative Zustände erzeugen, um Leerstellen oder Löcher durch das Wandern von Elektronen an die Kristalloberfläche (SCHOTTKY-Effekt), und um Elektronen-Loch-Paare (FRENKEL-Defekt), die durch das Verschieben von

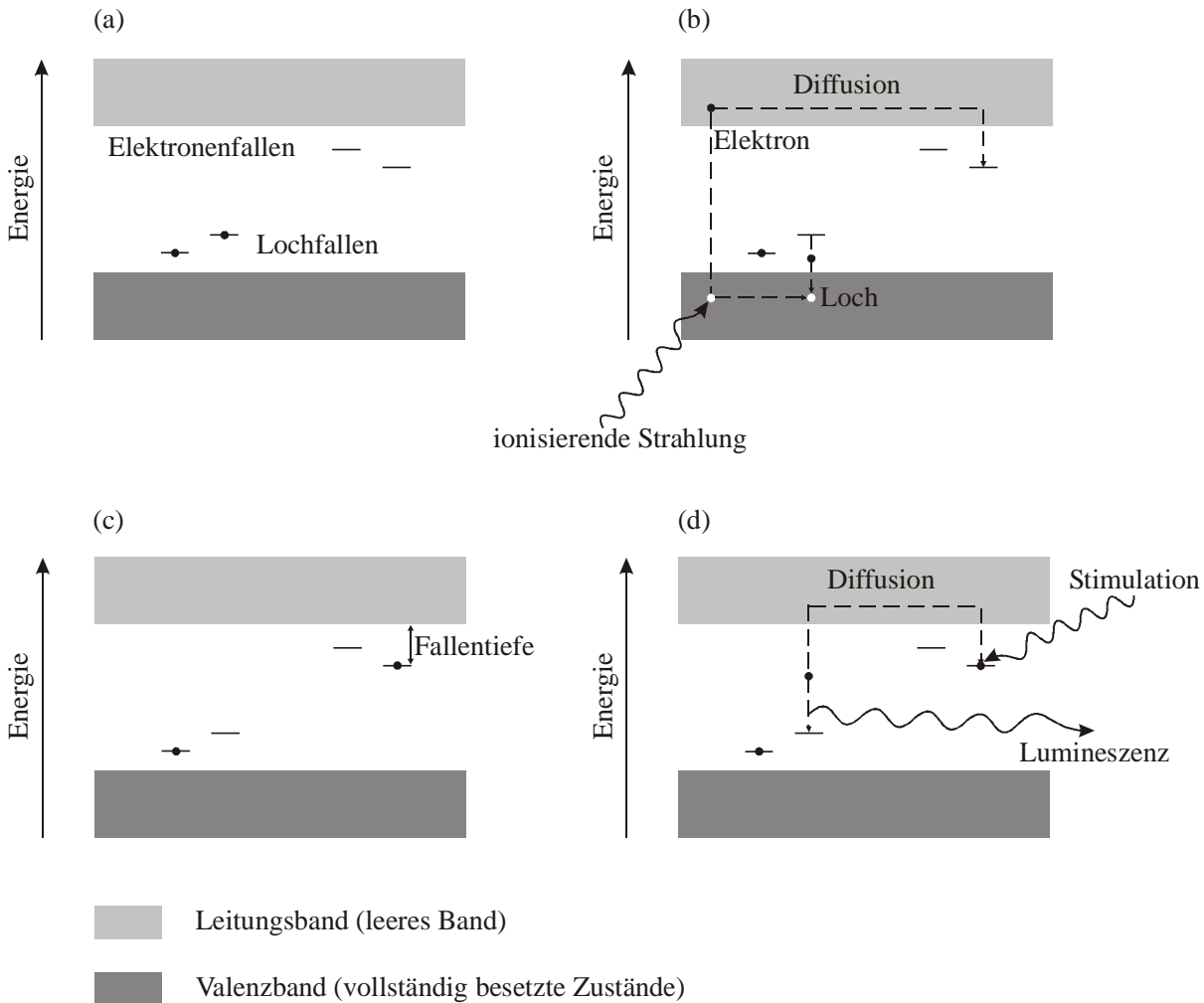


Abb. 10: Vereinfachtes Energiebändermodell der Lumineszenzphysik (nach WAGNER 1980, verändert aus KUHN 2000).

- (a): Defektstellen im Kristall.  
(b): Anregung eines Elektronenüberganges vom Valenzband in das Leitungsband und nachfolgender Elektroneneinfang in Fallen.  
(c): Speicherung der angeregten Energie in metastabilen Zuständen.  
(d): Stimulation des Elektronenfallen-Leitungsband-Überganges der gefangenen Elektronen und Rekombination an Lumineszenzzentren unter Photonenemission.

Atomen auf Zwischengitterplätze entstehen. Ein Loch stellt dabei einen unbesetzten Zustand im Kristallgitter dar und verhält sich wie ein Teilchen positiver Ladung (WEBERRUSS 1998). Üblicherweise werden die bei der Lumineszenz ablaufenden Prozesse mit dem Energiebändermodell erklärt (Abb. 10).

In einem Nichtleiter (Isolator) bestehen in der das vollständig besetzte Valenzband vom leeren Leitungsband trennenden „verbotenen Zone“ lokale Aufenthaltsmöglichkeiten für Elektronen, die diskrete Energiezustände kennzeichnen (KITTEL 1999). Je nach ihrer Position werden sie als Elektronenfallen (unterhalb des Leitungsbandes) bzw. als Lochfallen (oberhalb des Valenzbandes) bezeichnet (Abb. 10 a). Als Lumineszenzzentren gelten Lochfallen, bei denen bei einer Rekombination mit einem Elektron eine Photonenemission auftritt. Im Grundzustand sind die höheren Energiezustände nicht besetzt. Wird aber Energie in Form von ionisierender Strahlung zugeführt, können Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband angehoben werden. Durch Diffusion im Leitungsband können diese Elektronen, als auch die von ihnen im Valenzband erzeugten Löcher von den Fehlstellen der verbotenen Zone einfangen und als metastabile Zustände gespeichert werden (Abb. 10 b, c). In Abhängigkeit der energetischen

Niveaus der Fallen (Falltiefe) wird die Verweildauer der eingefangenen Elektronen und Löcher bestimmt. Bei Zufuhr ausreichender Stimulationsenergie können die Elektronen aus ihren Fallen befreit und unter Emission von Photonen in Lumineszenzzentren rekombiniert werden, wobei die Intensität der dabei entstehenden Lumineszenz ein Maß für die Anzahl der eingefangenen Elektronen ist (Abb. 10 d; AITKEN 1998).

Je nach zugeführter Stimulationsenergie (Wärme, Licht) wird die entstehende Lumineszenz als Thermolumineszenz (TL) oder Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL) bezeichnet. Im Fall der OSL kann abhängig von den Eigenschaften der Lumineszenzzentren mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen stimuliert werden. Datierungen an Feldspäten, wie in der hier vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 4.5.7), werden üblicherweise mittels der Infrarot Stimulierten Lumineszenz (IRSL) durchgeführt. Untersuchungen von HÜTT et al. (1988) haben nachgewiesen, daß Feldspäte bei einer Stimulationswellenlänge im nahen Infrarotbereich (etwa 900 nm, 1,4 eV) besonders hohe und damit gut meßbare Lumineszenzsignale aufweisen.

### 4.5.3 Prinzip der Datierung

#### 4.5.3.1 Lumineszenz bei Mineralen

Bereits mit dem Beginn der Mineralbildung zum Zeitpunkt  $t_0$  setzen die in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Prozesse der Elektronenübergänge ein. Auf Grund der natürlichen radioaktiven Strahlung der Mineralkörner, sowie der auf sie wirkenden kosmischen Strahlung, werden Elektronen angeregt und besetzen die metastabilen Zustände, wo sie gespeichert werden. Bleiben diese Elektronen infolge fehlender Stimulationsenergie in diesen Zuständen gefangen, erfolgt eine Akkumulation der gespeicherten Energie mit der Zeit bis entweder alle Fehlstellen besetzt sind (Sättigung) oder wieder entleert werden ( $t_1$ ). Erfolgt im Anschluß an eine Entleerung der Fallen und dem Löschen des latenten Lumineszenzsignals („Nullstellung“, „Bleichen“) ein erneuter Entzug der Stimulationsenergie, findet abermals ein Anwachsen eines latenten Lumineszenzsignals statt. Da die Zunahme der gespeicherten ionisierenden Strahlung und damit das Anwachsen des latenten Lumineszenzsignals zeitabhängig ist, kann durch die Messung dieses Signals zu einem Zeitpunkt  $t_2$  auf den Zeitpunkt der letzten Nullstellung geschlossen werden (Abb. 11).

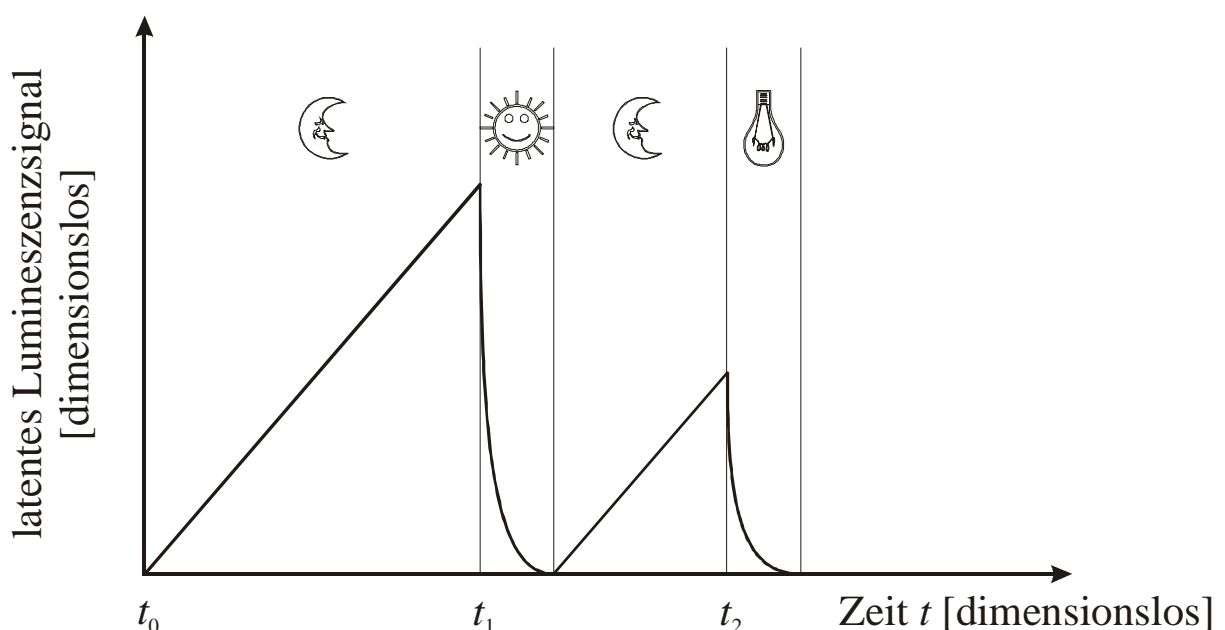


Abb. 11: Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des latenten Lumineszenzsignals von der Mineralbildung ( $t_0$ ) über eine Nullstellung z.B. durch Belichtung durch Sonnenlicht ( $t_1$ ) bis zur Messung ( $t_2$ ), Sonne: Belichtung, Mond: Dunkelheit; Lampe: Belichtung durch Messung).

Datiert wird der Zeitpunkt der letzten Rückstellung des Lumineszenzsignals auf Null. Im Fall der Datierung von Sedimenten mittels OSL wird die letzte Belichtung des Sediments ermittelt, die während des Transportes bzw. der Ablagerung und somit vor der erneuten Abdeckung durch andere Sedimentschichten erfolgte. Voraussetzung für eine sinnvolle und erfolgreiche Datierung ist, daß:

- es an dem zu datierenden Zeitpunkt zu einer vollständigen Nullstellung des bis dahin angewachsenen Lumineszenzsignals gekommen ist,
- die Zufuhr der ionisierenden Strahlung über den zu datierenden Zeitraum konstant war und
- das dadurch gespeicherte Lumineszenzsignal eine zeitliche Stabilität über geologische Zeiträume aufweist (AITKEN 1998, WAGNER 1998).

#### 4.5.3.2 Stimulationsspektrum

Verschiedene Stimulationswellenlängen bedingen bei Mineralen verschiedene Detektionswellenlängen und Lumineszenzintensitäten in Abhängigkeit ihrer Sensitivität gegenüber der jeweiligen Wellenlänge. Deutlich beschrieben wird dies durch ein Stimulationsspektrum. Bereits HÜTT et al. (1988) erkannten die Bedeutung der Stimulationswellenlänge für die Intensität des Lumineszenzsignals bei Feldspäten. Sie erzeugten eine Lumineszenz durch Stimulationen im Wellenlängenbereich von etwa 550–1050 nm, wobei im infraroten Wellenlängenbereich von etwa 850–950 nm ein Intensitätsmaximum des Lumineszenzsignals auftrat. Außerdem wurde eine Abhängigkeit der Intensität des Lumineszenzsignals von der Stimationsleistung festgestellt. Mit zunehmender Stimationsleistung nimmt auch die anfängliche Intensität des Lumineszenzsignals zu, wobei ein schnelleres Abfallen des Signals auf ein schwer bleichbares Restsignal erfolgt (z.B. DULLER & BØTTER-JENSEN 1993).

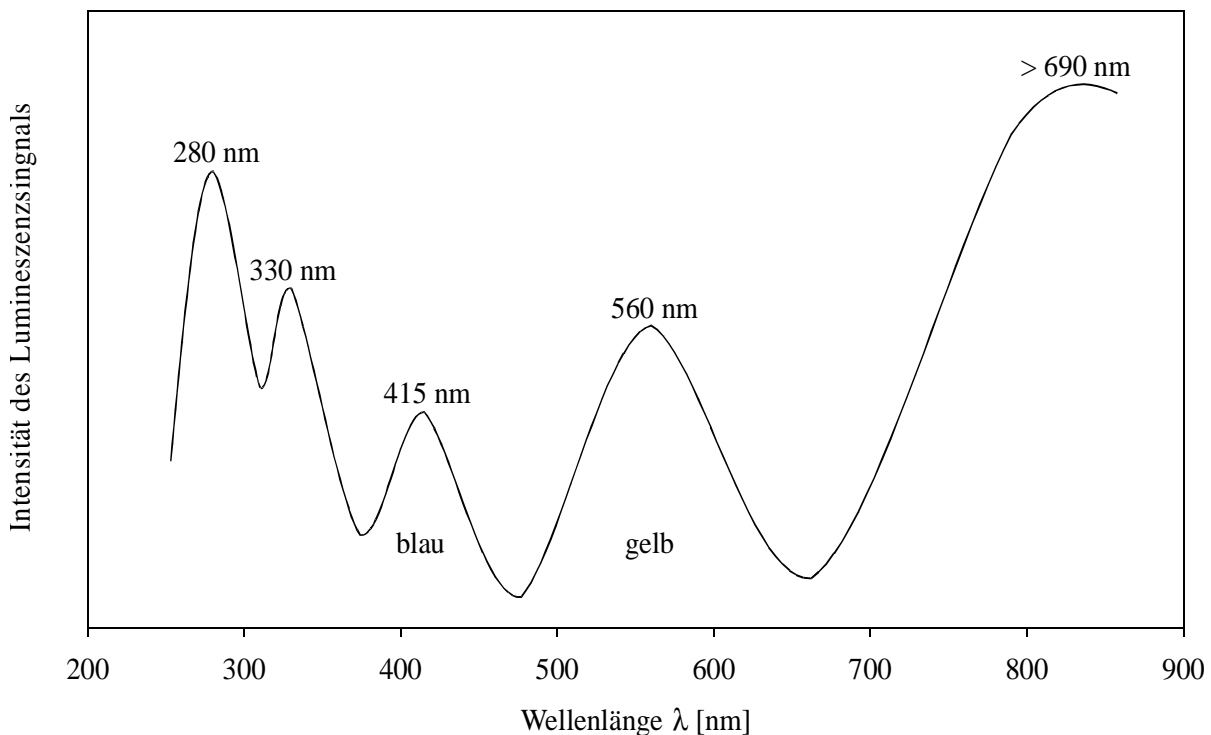


Abb. 12: Emissionsspektrum von Feldspäten bei Infrarot Stimulierter Lumineszenz (nach KADEREIT 2000).

#### 4.5.3.3 Emissionsspektrum

Emissionsspektren von Feldspäten wurden erstmals von HUNTLEY et al. (1989) untersucht, die bei einem Plagioklas ein Emissionsmaximum bei einer Wellenlänge von etwa 570 nm (gelb) feststellten. Durch nachfolgende Untersuchungen wurden weitere Emissionsmaxima erkannt. HUNTLEY et al. (1991) und BAILIFF & POOLTON (1991) beschrieben Emissionsmaxima bei Wellenlängen von 330 nm (UV), 410 nm (blau) und 560 nm (gelb-grün). Untersuchungen von KRBETSCHEK et al. (1996) ergaben zwei weitere Maxima bei Wellenlängen von 280 nm (UV) und im nahen Infrarotbereich bei >700 nm. Feldspäte können also über nahezu den gesamten Spektralbereich emittieren und weisen darüber hinaus fünf verschiedene Emissionsmaxima auf (Abb. 12). Jedoch sind Auftreten und Intensität der einzelnen Maxima feldspatspezifisch (SPOONER 1992, KRBETSCHEK et al. 1996). Nach WIGGENHORN (1995) und LANG (1996) treten bei infrarot stimulierten Feldspäten vorwiegend zwei Emissionsmaxima auf: im blauen Spektralbereich bei einer Wellenlänge von 415 nm und im gelben Spektralbereich bei einer Wellenlänge von 560 nm wobei die gelbe Emission sowohl eine geringere Intensität als auch eine geringe zeitliche Stabilität aufweist. WIGGENHORN (1995) schlägt daher eine Detektion im blauen Spektralbereich vor.

#### 4.5.4 Bleichbarkeit des IRSL-Signals

Für eine korrekte Datierung ist die vollständige Bleichung aller bis zu dem zu datierenden Zeitpunkt akkumulierten Signale Voraussetzung. Bei unvollständiger Bleichung, d.h. beim Bestehenbleiben von Resten älterer Signale, kann nur ein Maximalalter angegeben werden. Sedimente werden während des Transports, der Ablagerung oder einer Umlagerung dem Licht ausgesetzt und gespeicherte Lumineszenzsignale damit gebleicht. Eine vollständige Signalreduktion im Fall der OSL/IRSL ist abhängig von der Wellenlänge, Intensität und der Dauer des einwirkenden Lichtes (AITKEN 1985, WAGNER 1998).

GODFREY-SMITH et al. (1988) haben festgestellt, daß die Reduktion eines OSL/IRSL-Signals wesentlich schneller und effektiver erfolgt, als die eines TL-Signals. Sie registrierten bei Feldspäten, die dem Sonnenlicht ausgesetzt wurden bereits nach 9 min einen Signalverlust auf etwa 1 % des ursprünglichen IRSL-Signals. Untersuchungen von DULLER & BØTTER-JENSEN (1993) ergaben für die Bleichbarkeit des IRSL-Signals eines Feldspats gegenüber anderen OSL-Signalen eine fast vollständige Reduktion bis zum Meßuntergrund. In der Folge wurden eine Reihe weiterer Versuche zur Reduktion von Lumineszenzsignalen durchgeführt.

DITLEFSEN (1992) und RENDELL et al. (1994) untersuchten die Bleichbarkeit von im Wasser abgelagerten Sedimenten. DITLEFSEN (1992) stellte fest, daß bei einer Ablagerung in einer Suspension mit einer Schwebfracht von 0,02 g/L nach 20 Stunden Lichteinwirkung das IRSL-Signal bis auf den Meßuntergrund reduziert ist. Enthält die Suspension dagegen 0,1 g/L Schwebfracht, erfolgt im gleichen Zeitraum lediglich eine Reduktion des IRSL-Signals um 5 % des ursprünglichen Signals. RENDELL et al. (1994) untersuchten die Bleichbarkeit von Lumineszenzsignalen in Abhängigkeit von der Wassertiefe. Verschiedene Proben wurden im Meer bei ruhigen Bedingungen in einer Wassertiefe von 4–14 m in 2-m-Intervallen drei Stunden lang dem Tageslicht ausgesetzt. Bis zu einer Wassertiefe von 10 m zeigten die Feldspäte lediglich ein Signal im Bereich des Meßuntergrundes, in einer Tiefe von 14 m war das IRSL-Signal bis auf etwa 12 % des ursprünglichen Signals reduziert.

Untersuchungen zur Bleichbarkeit von Hangablagerungen („Kolluvien“) nahm unter anderem LANG (1996) vor. Bei vollständiger Wolkenbedeckung und Nieselregen setze er Löss zwischen 30 s und einer Stunde dem Tageslicht aus. Ergebnis dieses Tests war eine Bleichung des IRSL-Signals bis auf den Meßuntergrund nach 30 min.

## 4.5.5 Stabilität des Lumineszenzsignals

### 4.5.5.1 Allgemeines

Wie oben angedeutet, handelt es sich bei den gespeicherten Energiezuständen um metastabile Zustände. Alle eingefangenen Elektronen haben nur eine begrenzte Lebensdauer  $\tau$ , die zwischen einigen Minuten und  $10^9$  Jahren liegen kann. Deshalb sollte der zu datierende Zeitraum etwa  $1/10$  kleiner sein als die mittlere Lebensdauer  $\tau$  der eingefangenen Elektronen, da in diesem Fall von einem quasi stabilen Zustand ausgegangen werden kann. Um eine sinnvolle Datierung vornehmen zu können, ist es nötig, hinsichtlich der Lebensdauer der eingefangenen, signalliefernden Elektronen in deren zeitlich stabilen Rahmen zu bleiben (AITKEN 1985, WAGNER 1995, 1998). In Abhängigkeit der Potentialdifferenz zwischen den jeweiligen Fallen und dem Leitungsband wird die Aufenthaltsdauer eines eingefangenen Elektrons bestimmt, da die nötige Stimulationsenergie um so niedriger ist, je geringer die Potentialdifferenz zwischen Falle und Leitungsband ist. „Flache“ Fallen direkt unter dem Leitungsband werden daher als instabil angesehen. HÜTT et al. (1988) und HÜTT & JAEK (1989) vermuteten eine thermische Unterstützung des IRSL-Signals; nachfolgende Untersuchungen (z.B. DULLER & WINTLE 1991, WIGGENHORN 1995, DULLER 1997) zeigten aber, daß generell bei höheren Meßtemperaturen auch höhere Signalintensitäten der Lumineszenz auftreten.

Nach WIGGENHORN (1995) und AITKEN (1998) gibt es bisher keine Möglichkeit, aus dem IRSL-Signal genaue Informationen über die Stabilität der eingefangenen Elektronen zu erhalten. Allgemein gilt für die Lebensdauer  $\tau$  der eingefangenen Elektronen die BOLTZMANN-Statistik:

$$\tau = e^{-\frac{W_k}{k \cdot T}} \cdot \frac{1}{s} \quad (13)$$

- $\tau$ : Lebensdauer der eingefangenen Elektronen [s]  
 $W_k$ : energetische Differenz zwischen Falle und Leitungsband [eV]  
 $k$ : BOLTZMANN-Konstante  $1,38066244 \times 10^{-23}$  [JK<sup>-1</sup>]  
 $T$ : Temperatur [K]  
 $s$ : zustandsspezifischer Frequenzfaktor [s<sup>-1</sup>]

Aus der Temperaturabhängigkeit des Lumineszenzsignals ergibt sich gleichzeitig eine zeitliche Abhängigkeit des Lumineszenzsignals, da nicht nur mit absoluter Zunahme, sondern auch mit zunehmender Dauer der Temperatureinwirkung ein Entleeren der Fallen erfolgt („Ausheilen“). Durch ionisierende Strahlung können diese Fallen erneut besetzt werden, wobei zwischen beiden Prozessen ein Gleichgewicht besteht. Über geologische Zeiträume betrachtet, sind flache Fallen nicht besetzt, da der Vorgang des thermischen Entleerens wesentlich schneller auftritt, als der des Wiederbefüllens. Aus diesem Grund tragen diese Fallen bei einer Datierung nicht zum natürlichen Lumineszenzsignal bei. Bei der Bestimmung der Paläodosis bzw. deren Äquivalenzdosis durch künstliche Bestrahlung im Labor werden diese instabilen Fallen wieder besetzt womit ein zusätzliches, die Datierung verfälschendes Signal gemessen würde. Daher werden diese Fallen vor der Messung durch das mindestens einmonatige Lagern der Proben bei Zimmertemperatur und durch Vorheizen vor der Messung wieder entleert. Aus verschiedenen Untersuchungen geht hervor, daß bei hohen Temperaturen nur noch Fallen mit einer hohen mittleren Lebensdauer als stabil zu betrachten sind (z.B. DULLER & BØTTER-JENSEN 1997).

### 4.5.5.2 Anomales Ausheilen

Beim anomalen Ausheilen („anomalous fading“) handelt es sich um einen Signalverlust aus Fallen, die auf Grund ihrer mittleren Lebensdauer als stabil zu betrachteten sind. Bisher



konnte nicht abschließend geklärt werden, worauf dieser Signalverlust zurückzuführen ist. In der Literatur sind mehrere Untersuchungen zu finden, die unterschiedliche Erklärungsmodelle dieses Vorgangs beschreiben sowie verschiedenen Lösungsvorschläge des dadurch verursachten Problems aufzeigen (z.B. VISOCEKAS 1985, TEMPLER 1986, CLARK & TEMPLER 1988, SPOONER 1992). Aus der Erscheinung des anomalen Ausheilens resultiert für eine Datierung ein nicht zu bestimmender Anteil „verlorengegangener“ Elektronen, der zu einer Unterschätzung der Äquivalenzdosis und damit auch zu einer Unterschätzung des Alters führt. Daher kann für Proben, die ein anomales Ausheilen zeigen, nur ein Minimalalter angegeben werden (AITKEN 1998).

#### 4.5.5.3 Ausleuchtkurve

Als Ausleuchtkurve wird die bei konstanter Temperatur stattfindende Abnahme der Lumineszenzintensität mit zunehmender Stimulationszeit bezeichnet (HUNTLEY et al. 1985). Nach 60 s ist im allgemeinen die Intensität des Lumineszenzsignals bei einer Stimulationsintensität von wenigen mW auf etwa 95 % der Anfangsintensität abgesunken. Mathematisch beschreibt die Ausleuchtkurve keinen einfachen exponentiellen Verlauf (WIGGENHORN 1995). Zurückgeführt wird das auf verschiedene während des Ausleuchtens ablaufende Prozesse, die sich im IRSL-Signal überlagern. Zum einen wird angenommen, daß eingefangene Elektronen nach unterschiedlich langen Stimulationszeiten aus ihren Fallen ausgelöst werden können, d.h. das es schwer und leicht bleichbare Fallen gibt, die nacheinander entleert werden (AITKEN & XIE 1992) und zum anderen können bereits freigelassene Elektronen erneut eingefangen und im Anschluß daran wiederum stimuliert und freigelassen werden (WIGGENHORN 1995, LANG 1996).

#### 4.5.6 Altersgleichung

##### 4.5.6.1 Benötigte Größen

Zur Bestimmung des vergangenen Zeitraumes seit der letzten Belichtung des Sediments benötigt man zwei Größen:

- die seit der letzten Belichtung im Sediment auf Grund ionisierender Strahlung akkumulierte Energiedosis (Paläodosis  $P$ ) sowie
- die Gesamtdosisleistung  $D_{\text{eff}}$  der auf das Sediment einwirkenden ionisierenden Strahlung.

Sind diese beiden Größen bekannt und war die Gesamtdosisleistung über den zu datierenden Zeitpunkt konstant, errechnet sich das Alter  $A$  nach folgender Gleichung:

$$A = \frac{P}{D_{\text{eff}}} \quad (14)$$

Ein so ermitteltes Alter bezieht sich immer auf den Meßzeitpunkt (AITKEN 1998).

##### 4.5.6.2 Paläodosis/Äquivalenzdosis

Bei der Paläodosis  $P$  handelt es sich um die Energiedosis, die das Sediment seit der letzten Belichtung im Kristallgitter der Minerale angesammelt hat. Im Labor wird die Paläodosis nicht direkt bestimmt, sondern deren Äquivalenzdosis (ED). Dies geschieht, indem im Labor durch künstliche Bestrahlung eine Dosis ED erzeugt wird, die einer der natürlichen Dosis  $P$  äquivalentes Lumineszenzsignal erzeugt.

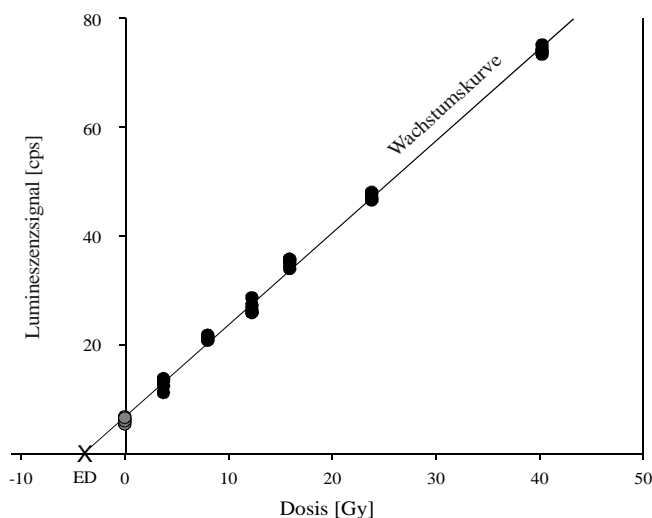


Abb. 13: Ermittlung der Äquivalenzdosis (ED) mittels der Additiven Methode durch zehn bzw. jeweils fünf Einzelmessungen je Strahlendosis (graue Dosispunkte: natürliche Dosis, schwarze Dosispunkte: additive Dosen).

Mit Hilfe einer Wachstumskurve wird dann die Äquivalenzdosis ermittelt, indem die Intensität des erzeugten Lumineszenzsignals gegen die Labordosis aufgetragen und der Schnittpunkt (ED) der Wachstumskurve mit der Dosisachse errechnet wird (AITKEN 1998, Abb. 13).

### Äquivalenzdosis-Plateau

Werden die Ausleuchtzeiten, sowie die für diese Zeiten bestimmten Äquivalenzdosen gegeneinander abgetragen und weichen die Äquivalenzdosiswerte innerhalb ihrer Fehlergrenzen nicht signifikant voneinander ab, liegt ein Äquivalenzdosis-Plateau vor (HUNTLEY et al. 1985). Ist ein solches Plateau vorhanden, dann ist davon auszugehen, daß die Probe vollständig gebleicht wurde. Steigt dagegen das Plateau vom frühen zum späten Leuchten hin an, liegt eine partielle Bleichung vor, d.h. die Sedimentkörner sind bei der Ablagerung nicht vollständig belichtet worden (REES-JONES & TITE 1997). Da in diesem Fall auch ältere Signale zum Lumineszenzsignal beitragen, kann für solche Proben nur ein Maximalalter angegeben werden. Bei der Feinkorndatierung kann eine partielle Bleichung mit Hilfe des Plateautests allein nicht sicher erkannt werden, da sich in einem polymineralischen Korngemisch unterschiedlich gebleichte Einzelkörner befinden, deren Äquivalenzdosen auf Grund von Überlagerungseffekten ein Plateau bilden können (LANG 1996).

Tab. 3: Untergrund- und Integralbereiche für die Kontrolle vollständiger Bleichung zur Äquivalenzdosisberechnung (nach KADEREIT 2000).

Untergrund	Integral
	0—40 s
	0—30 s
50—60 s	0—20 s
	0—10 s
	0—1 s
20—30 s	0—15 s
5—6 s	0—4 s

Zur Ermittlung der Äquivalenzdosis sind verschiedene Verfahren möglich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde in allen Fällen die Additive Methode verwendet. Diese von AITKEN et al. (1964) für die TL-Datierung von Keramik entwickelte Methode wurde erstmals von HUNTLEY et al. (1985) zur Datierung von Sedimenten mittels OSL angewendet. Beruhend auf der Annahme, daß durch zusätzliche künstlich hervorgerufene Akkumulation von Energiedosen auf das Anwachsen des Signals seit der letzten Nullstellung geschlossen werden kann, werden im Labor einzelne die natürliche Dosis enthaltende Teilproben zusätzlich mit wachsenden Labordosen bestrahlt und deren Lumineszenzsignal gemessen.

Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit die von KADEREIT (2000) vorgeschlagene Methode zur Erkennung partieller Bleichung angewendet. Ausgehend von der Überlegung, daß bei einer vollständig gebleichten Probe bei der Auswertung der vorderen Integralbereiche, d.h. der leicht bleichbaren Komponente, innerhalb der Fehler das selbe Ergebnis herauskommen muß, wie bei der Auswertung des gesamten Integralbereichs, wurden verschiedene Integralbereiche als Untergrund abgezogen und deren initiale Integrale berechnet (Tab. 3).

#### 4.5.6.3 Dosisleistung

Die Dosisleistung (DL) wird als die Dosis ionisierender Strahlung definiert, der das Sediment seit dem zu datierenden Zeitpunkt, also seit der Ablagerung, ausgesetzt war. Ionisierende Strahlung, bewirkt Elektronenübergänge auf Grund derer die Energie dieser Strahlung im Laufe der Zeit in Fehlstellen im Kristallgitter gespeichert werden kann (Kapitel 4.5.2, Abb. 10).

Bei der zugeführten Energie handelt es sich um  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung, die bei natürlichen radioaktiven Zerfällen im Sediment selbst und in seiner Umgebung frei wird, sowie die auf das Sediment einwirkende kosmische Strahlung. In der Natur kommen drei verschiedene radioaktive Zerfallsreihen vor, deren Mutternuklide auf Grund ihrer großen Halbwertszeit noch heute vorhanden sind. Neben diesen Zerfallsreihen sind auch die radioaktiven Zerfälle der natürlich vorkommenden Nuklide  $^{40}\text{K}$  und  $^{87}\text{Rb}$  für die Lumineszenzdatierung von Bedeutung (Tab. 4, AITKEN 1998).

Entsprechend der unterschiedlichen Eigenschaften von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen ist ihre Wirkung auf das Sediment unterschiedlich. Als  $\alpha$ -Strahlung wird aus zweifach positiven  $^4\text{He}$ -Kernen bestehende Teilchenstrahlung mit einer Energie bis etwa 5 MeV bezeichnet, deren Reichweite in Sedimenten etwa 20  $\mu\text{m}$  beträgt. Auf Grund der wesentlich höheren Ionisationsdichte entlang einer  $\alpha$ -Spur kommt es schnell zur Sättigung der Fallen, da mehr freie Ladungsträger erzeugt werden, als Fallen für deren Aufnahme zur Verfügung stehen. Daher können nicht alle Elektronen zum Lumineszenzsignal beitragen, weswegen die Intensität der durch  $\alpha$ -Strahlen erzeugten Lumineszenz nur einen Teil der Intensität der mit vergleichbarer Dosis von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen erzeugten Lumineszenz ausmacht. Aus diesem Grund muß die Effektivität der  $\alpha$ -Strahlen ermittelt werden: der  $a$ -Wert, (AITKEN & BOWMAN 1975).

Unter  $\beta$ -Strahlung versteht man aus Elektronen  $^0_{-1}e$  ( $\beta^-$ ) oder Positronen  $^0_{+1}e$  ( $\beta^+$ ) bestehende Teilchenstrahlung, die anders als bei der  $\alpha$ -Strahlung, mit nahezu kontinuierlich verteilter Energie bis 2 MeV austritt und in Sedimenten eine Reichweite von etwa 2 mm erreicht. Anders als  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen sind  $\gamma$ -Strahlen elektromagnetische Strahlen hoher Energie und einer mittleren Reichweite in Sedimenten von etwa 30 cm.  $\gamma$ -Strahlen werden zum einen bei einem  $\beta^+$ -Zerfall (Elektronenaufnahme aus der K-Schale) und zum anderen bei Elektronenübergängen vom energiereicheren angeregten Zustand in den energieärmeren Grundzustand frei und sind somit Begleiterscheinung natürlicher radioaktiver Zerfälle (DICKIN 1995).

Den hauptsächlichen Anteil der auf ein Sediment einwirkenden Dosisleistung liefern die Uran- und Thoriumzerfallsreihen. Der Zerfall von Rubidium im Sediment selbst liefert nur einen sehr geringen, meist vernachlässigbar kleinen Anteil an der Dosisleistung. Ein Einfluß des Zerfalls von Kalium ist ebenfalls nur bei hohem Kaliumgehalt des Sediments signifikant (AITKEN 1998, WAGNER 1998).

Tab. 4: Natürliche Zerfallsreihen, während des Zerfalls frei werdende Strahlungsarten, sowie ihre Halbwertszeiten (nach SEIM & TISCHENDORF 1990).

	Mutternuklid $\rightarrow$ stabiles Endglied	frei werdende Strahlungsarten	Halbwertszeit $T_{1/2}$ [a]
Uran-Radium-Reihe	$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$\alpha$ , $\beta^-$ , $\gamma$	$4,47 \cdot 10^9$
Actiniumreihe	$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$	$\alpha$ , $\beta^-$ , ( $\gamma$ )	$7,04 \cdot 10^8$
Thoriumreihe	$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$	$\alpha$ , $\beta^-$ , ( $\gamma$ )	$1,39 \cdot 10^{10}$
Kalium	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca}$	$\beta^-$ , ( $\gamma$ )	$1,4 \cdot 10^9$
	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$	$\beta^+$ , $\gamma$	$1,27 \cdot 10^9$
Rubidium	$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$\beta^-$ , ( $\gamma$ )	$4,89 \cdot 10^{10}$

Auch der Einfluß der kosmischen Strahlung ist meist eher gering. Aus dem Weltraum wird die Primärstrahlung eingestrahlt, die vorwiegend aus  $\alpha$ -Teilchen und Protonen besteht. Beim Eintritt in das Magnetfeld der Erde entsteht durch das Zusammentreffen mit Luftmolekülen eine Sekundärstrahlung, die aus einer „weichen“ Komponente (Elektronen und Photonen) und einer „harten“ Komponente (etwa  $\frac{3}{4}$  aus Myonen,  $\frac{1}{4}$  Elektronen und Photonen) besteht. Ein Großteil der Sekundärstrahlung, die gesamte „weiche“ Komponente sowie ein Teil der „harten“ Komponente, wird noch innerhalb der Atmosphäre absorbiert; nur ein Bruchteil (vorwiegend Myonen) erreicht auf Grund seiner hohen Geschwindigkeit die Erdoberfläche (GAISSER 1992).

Im Magnetfeld der Erde wird kosmische Strahlung auf Grund ihrer elektrischen Ladung zu den Polen hin abgelenkt. Es besteht damit eine Abhängigkeit der Intensität der Strahlung von der geographischen Breite: am Äquator ist die Intensität am geringsten, bis in 35—45° Breite nimmt die Intensität um 7 % zu. Daneben ist eine Abhängigkeit von der topographischen Höhe vorhanden. Mit zunehmender Höhe steigt die Intensität der kosmischen Strahlung an, mit zunehmender Eindringtiefe ins Sediment nimmt sie dagegen ab (PRESCOTT & STEPHAN 1982, AITKEN 1985).

### Gleichgewicht/Ungleichgewicht

Voraussetzung für eine erfolgreiche Datierung ist ein radioaktives Gleichgewicht über den zu datierenden Zeitraum: die radioaktiven Zerfallsprozesse müssen in einem geschlossenen System vonstatten gehen. Es dürfen dem System von außen weder radioaktive Nuklide zugeführt, noch aus dem System abgeführt werden. So ist gewährleistet, daß die auf das Sediment einwirkende Dosisleistung seit dem zu datierenden Ereignis konstant war. Ein radioaktives Gleichgewicht liegt vor, wenn das Verhältnis jedes beliebigen Tochternuklids der Zerfallskette zu seinem jeweiligen Mutternuklid konstant bleibt (AITKEN 1998, WAGNER 1995, 1998).

Unterschiedliche physikalische Eigenschaften der entstehenden Nuklide bedingen unter anderem ein unterschiedliches Mobilitätsverhalten. Besonders das als Zwischenglied der  $^{238}\text{U}$ -Reihe gebildete  $^{222}\text{Rn}$  ist leicht flüchtig und neigt daher dazu, das System bei vorhandenen Diffusionsmöglichkeiten zu verlassen. Bei vollständigem Radonverlust fehlen der Zerfallsreihe damit alle weiteren Glieder. Obwohl Radon ein Zwischenglied jeder der drei Zerfallsreihen ist, ist lediglich bei der Uranreihe mit einem Radonverlust zu rechnen ( $^{222}\text{Rn}$ :  $T_{1/2} = 3,8$  d) da die Halbwertszeiten der in den anderen beiden Zerfallsreihen vorkommenden Radonisotope viel zu gering ist (Actiniumreihe:  $^{219}\text{Rn}$ ,  $T_{1/2} = 3,9$  s; Thoriumreihe:  $^{220}\text{Rn}$ ,  $T_{1/2} = 55,6$  s, AITKEN 1998, KADEREIT 2000).

Im Bereich der Verwitterungszone ist neben dem Verlust von Radon auch mit einem Radium ( $^{226}\text{Ra}$ )- und Uranverlust ( $^{234}\text{U}$ ) in der wässrigen Phase zu rechnen. Während  $^{226}\text{Ra}$  bereits gut wasserlöslich ist, kann  $^{234}\text{U}$ , das durch einen  $\alpha$ -Rückstoß bei seiner Entstehung an einen weniger stabilen Zwischengitterplatz im Kristall gedrängt wird, in Folge von Oxidation in das wasserlösliche Uranyl umgewandelt und damit abtransportiert werden (FAURE 1986).

### Wassergehalt

Ein weiterer Einflußfaktor auf die Dosisleistung ist der Wassergehalt des Sediments. Wasser absorbiert radioaktive Strahlung. Im Vergleich mit Silikaten ist die Absorption von Strahlung in Wasser für  $\alpha$ -Teilchen um 50 %, für  $\beta$ -Teilchen um 25 % und für  $\gamma$ -Strahlung um 14 % erhöht. Da die Dosisleistung an getrocknetem Probenmaterial ermittelt wird, muß sie danach entsprechend des Wassergehalts der Proben korrigiert werden (AITKEN 1998). Oftmals entspricht der im Labor ermittelte Wassergehalt nur den momentanen Verhältnissen zum Zeitpunkt der Probennahme und ist deshalb als nicht repräsentativ für den gesamten zu datieren

<sup>232</sup> Thorium								<sup>228</sup> Ra 5,7 a	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>232</sup> Th 1,4*10 <sup>10</sup> a		
									$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>228</sup> Ac 6,3 h		
		<sup>212</sup> Pb 10,6 h	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>216</sup> Po 0,15 s	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>220</sup> Rn 55,6 s	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>224</sup> Ra 3,64 d	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>228</sup> Th 1,9 a		
	<sup>208</sup> Ti 3,1 min	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>212</sup> Bi 60,6 min									
		$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>208</sup> Pb stabil	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>212</sup> Po 0,3 ps							

<sup>235</sup> Uran										<sup>231</sup> Th 25,6 h	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>235</sup> U 7*10 <sup>8</sup> a
			<sup>215</sup> Bi 7,4 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 97%	<sup>219</sup> At 0,9 min 3%	$\xleftarrow{\alpha}$ 4*10 <sup>-3</sup> %	<sup>223</sup> Fr 22 min ~100%	$\xleftarrow{\alpha}$ 1,2%	<sup>227</sup> Ac 22 a 99,8%	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>231</sup> Pa 3,3*10 <sup>4</sup> a	
		<sup>211</sup> Pb 36,1 min	$\xleftarrow{\alpha}$ ~100%	<sup>215</sup> Po 1,8 ms 5*10 <sup>-4</sup> %	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>219</sup> Rn 3,9 s	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>223</sup> Ra 11,4 d	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>227</sup> Th 18,7 d		
	<sup>207</sup> Ti 4,8 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 99,68%	<sup>211</sup> Bi 2,15 min 0,32%	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>215</sup> At ~100 $\mu$ s							
		$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>207</sup> Pb stabil	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>211</sup> Po 0,52 s							

<sup>238</sup> Uran										<sup>234</sup> Th 24,1 d	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>238</sup> U 4,5*10 <sup>9</sup> a
											$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>234</sup> Pa 1,2 min/6,7 h 99,85% $\beta^-$ 0,15% $\gamma$
		<sup>214</sup> Pb 26,8 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 99,98%	<sup>218</sup> Po 3,05 min 0,02%	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>222</sup> Rn 3,8 d	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>226</sup> Ra 1600 a	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>230</sup> Th 8,7*10 <sup>4</sup> a	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>234</sup> U 2,5*10 <sup>5</sup> a
	<sup>210</sup> Ti 1,3 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 0,04%	<sup>214</sup> Bi 19,8 min 99,96%	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>218</sup> At ~2 s	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>227</sup> Ac 22 a	$  \begin{array}{c}  1,4*10^9 \text{ a} \xrightarrow{\beta^-} {}^{40}_{19}\text{K} \xrightarrow{89\%} {}^{40}_{20}\text{Ca} \\  1,2*10^{10} \text{ a} \xrightarrow{\beta^-} {}^{40}_{19}\text{K} \xrightarrow{11\%} {}^{40}_{18}\text{Ar} \\  \\  {}^{87}_{37}\text{Rb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{87}_{38}\text{Sr} \\  4,8*10^{10} \text{ a}  \end{array}  $				
<sup>206</sup> Hg 8,1 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 7,5*10 <sup>-5</sup> %	<sup>210</sup> Pb 22 a ~100%	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>214</sup> Po 162 $\mu$ s								
	$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>206</sup> Ti 4,3 min	$\xleftarrow{\alpha}$ 5*10 <sup>-5</sup> %	<sup>210</sup> Bi 5,0 d ~100%								
		$\xrightarrow{\beta^-}$	<sup>206</sup> Pb stabil	$\xleftarrow{\alpha}$	<sup>210</sup> Po 138,4 d							

Abb. 14: Natürliche Radionuklide und ihre Halbwertszeiten (verändert aus KUHN 1993).

den Zeitraum anzusehen. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser Fakt einerseits in der Fehlerberechnung berücksichtigt, andererseits wurden auf Grund der ermittelten Korngrößenzusammensetzung und repräsentativen Porenvolumenwerten aus der Literatur der mittlere Wassergehalt für den gesamten zu datierenden Zeitraum errechnet.

### Berechnung der Dosisleistung

Sind die Gehalte von Uran, Thorium und Kalium einer Probe bekannt, können die Dosisleistungen der zerfallsbedingten  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung dieser Elemente errechnet werden, indem die Elementgehalte (U, Th, K) mit einem strahlungsspezifischen Umrechnungsfaktor multipliziert werden (Tab. 5). Ist im Sediment auch Kalium enthalten, muß zur  $\beta$ -Dosisleistung je Prozent Kalium 0,021 Gy/ka als Beitrag von  $^{87}\text{Rb}$  hinzugerechnet werden, wenn ein Kalium/Rubidium-Verhältnis von 200/1 angenommen wird. Nach folgenden Formeln errechnen sich die einzelnen Dosisleistungen:

$$D_{\alpha} = [\text{U}] \cdot 2,18 + [\text{Th}] \cdot 0,611 \quad (15)$$

$$D_{\beta} = [\text{U}] \cdot 0,146 + [\text{Th}] \cdot 0,0273 + [\text{K}] \cdot 0,801 \quad (16)$$

$$D_{\gamma} = [\text{U}] \cdot 0,113 + [\text{Th}] \cdot 0,0476 + [\text{K}] \cdot 0,243 \quad (17)$$

[U]: Urangehalt [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ]

[Th]: Thoriumgehalt [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ]

[K]: Kaliumgehalt  $10^{-2} \text{ g g}^{-1}$  einschließlich  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  Rubidium

Da ein Teil der Dosisleistung vom Wasser im Sediment absorbiert wird, die Bestimmung der Radionuklidgehalte aber an trockenem Probenmaterial erfolgt, müssen die daraus errechneten Dosisleistungen mit dem Wassergehalt korrigiert werden. Je nach Abhängigkeit des Absorptionsvermögens von Wasser für die jeweilige Strahlungsart wird die um den Wassergehalt  $w$  (vgl. Formeln 1, 2) korrigierte Dosisleistung  $D$  wie folgt bestimmt (nach AITKEN 1985):

$$D_{\alpha, \text{feucht}} = \frac{D_{\alpha, \text{trocken}}}{1 + 1,5 \cdot w} \quad (18)$$

$$D_{\beta, \text{feucht}} = \frac{D_{\beta, \text{trocken}}}{1 + 1,25 \cdot w} \quad (19)$$

$$D_{\gamma, \text{feucht}} = \frac{D_{\gamma, \text{trocken}}}{1 + 1,14 \cdot w} \quad (20)$$

Wurden die einzelnen Dosisleistungen derart bestimmt, kann die Gesamtdosisleistung nach folgender Formel berechnet werden:

$$D_{\text{eff}} = a \cdot D_{\alpha, \text{feucht}} + D_{\beta, \text{feucht}} + D_{\gamma, \text{feucht}} + D_{\text{kosm}} \quad (21)$$

$a$ -Wert:  $\alpha$ -Effektivitätsfaktor

Tab. 5: Umrechnungsfaktoren für die strahlungsspezifische Dosisleistung [ $\text{mGy a}^{-1}$ ] bei bekannter Elementkonzentration nach ADAMIEC & AITKEN 1998, angegeben sind die zur Auswertung der Meßdaten verwendeten Umrechnungsfaktoren.

Element	Elementkonzentration			
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Uran (ohne Radonverlust)	$1 \mu\text{g g}^{-1}$	2,18	0,146	0,113
Thorium	$1 \mu\text{g g}^{-1}$	0,611	0,0273	0,0476
Kalium (+ Rubidium)	$10^{-2} \text{ g g}^{-1}$ ( $+50 \mu\text{g g}^{-1}$ )		0,801	0,243

## 4.5.7 Probenaufbereitung und -bearbeitung

### 4.5.7.1 Gewinnung der Feinkornfraktion

Da es sich bei den zu datierenden Proben fast ausschließlich um sehr feinkörnige Sedimente handelt, wurde zur Datierung die polymineralische Feinkornfraktion im Korngrößenbereich 4–11  $\mu\text{m}$  gewählt. Wie Untersuchungen von SCHEFFER et al. (2002) gezeigt haben, besteht diese Kornfraktion zu einem großen Teil aus Feldspäten (Abb. 15), auf Grund dessen zur Datierung die Methode der IRSL gewählt wurde. Um eine ungewollte Bleichung des Lumineszenzsignals zu verhindern, wurde die Aufbereitung der Proben im Labor nur bei indirektem, gedämpften grün-gelbem Licht einer Wellenlänge  $\lambda$  zwischen 500 und 600 nm vorgenommen. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß Feldspäte in diesem Wellenlängenbereich den geringsten Signalverlust zeigen, wobei die Sensibilität des Auges bei Adaption an die Dunkelheit am höchsten ist (WIGGENHORN 1995, LANG 1996). Zur Extraktion der polymineralischen Feinkornfraktion im Korngrößenbereich von 4–11  $\mu\text{m}$  wurden folgende Aufbereitungsschritte durchgeführt:

- 1) Absieben der Kornfraktion größer 63  $\mu\text{m}$
- 2) Zerstören der organischen Bestandteile durch Zugabe von 10 %er bzw. 30 %er  $\text{H}_2\text{O}_2$
- 3) Abtrennen der Kornfraktion kleiner 4  $\mu\text{m}$  mittels Fliehkraftsedimentation in der Zentrifuge nach der bei TRIBUTH & LAGALY (1986) beschriebenen Methode
- 4) Entfernen des Karbonatgehalts durch Zugabe von 20 %er  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- 5) Zugabe von 0,01 N Na-Oxalat als Dispergierungsmittel
- 6) Trocknen der Probe bei 50 °C im Trockenschrank
- 7) Abtrennen der Kornfraktion 4–11  $\mu\text{m}$  durch Dispersion in Aceton
- 8) Trocknen der gewonnen Kornfraktion bei 50 °C im Trockenschrank.

Getrennt wurden die Aufbereitungsschritte (2) und (3) sowie (4) und (5) jeweils durch mehrmaliges Waschen der Proben in destilliertem Wasser, welches auch für alle anderen wasserbenötigende Arbeitsschritte verwendet wurde.

### Pipettieren

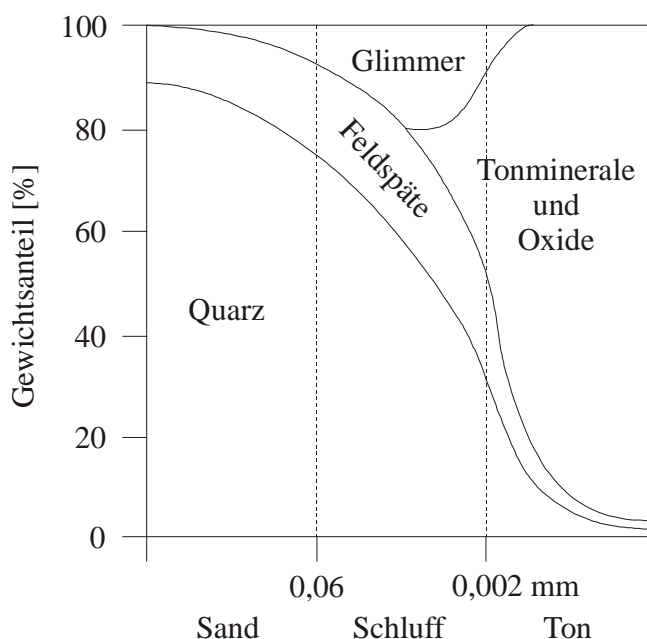


Abb. 15: Mineralbestand in den Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton (nach SCHEFFER et al. 2002).

Um die Feinkornfraktion auf die zur Messung genutzten Probenscheibchen zu bringen, wurden zwei verschiedene Verfahren angewandt: Sedimentation in Aceton und Direktaufbringung in Wassersuspension. Im Verlauf der vorliegenden Arbeit wurde das Verfahren aus Zeit- und Gesundheitsgründen von Aceton auf Wasser umgestellt.

Bei den verwendeten Scheibchen handelt es sich um Aluminiumscheibchen (Durchmesser 9,8 mm) auf denen das Probenmaterial durch Adhäsionskraft haften bleibt. Bei der ersten Methode, angewandt bei den Proben HDS 749 bis HDS 752, HDS 754, HDS 758, HDS 759, wurden 180–220 mg des eingewogenen Probenmaterials in 100 ml Aceton durch Schütteln in Sus-

pension gebracht. Von dieser Suspension wurden jeweils 200 µl auf die Aluminiumscheibchen pipettiert, die sich in einem Röhrchen von etwa 1 cm Durchmesser unter einer ca. 2—3 cm hohen Acetonsäule befanden. Durch das Sedimentieren in Aceton wurde eine ausreichende Homogenität der einzelnen Probenscheibchen gewährleistet. Um das Trocknen zu beschleunigen, wurden die Reagenzgläser bei 50 °C in den Trockenschrank gestellt.

Bei der zweiten Methode, verwendet für die Proben HDS 909 bis HDS 937, HDS 753, HDS 755, HDS 757 und HDS 760, wurden 180—220 mg des Probenmaterials eingewogen und in 180—220 ml destilliertem Wasser durch Schütteln in Suspension gebracht. Von dieser Suspension wurden danach jeweils 0,2 ml direkt auf die Aluminiumscheibchen pipettiert. Getrocknet wurden die Scheibchen an der Luft. Auf Grund der hohen Oberflächenspannung von Wasser erfolgte im Gegensatz zur erst genannten Methode eine gleichmäßigere und gezieltere Sedimentation des Probenmaterials. Es wurden pro Probe mindestens 59 in den meisten Fällen jedoch 80—100 Scheibchen pipettiert.

#### 4.5.7.2 Bestimmung der Äquivalenzdosis

Zur Bestimmung der Äquivalenzdosis wurde das von LANG (1996) entwickelte Protokoll der Multiple-Aliquots-Methode verwendet. Diese Methode ist geeignet, um eine additive Wachstumskurve für die IRSL von Feldspäten zu erstellen.

##### $\beta$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\beta$ )

Insgesamt wurden zur Bestimmung der  $\beta$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\beta$ ) sieben Dosisgruppen gebildet. Zehn Scheibchen (Aliquots) behielten ihre natürliche Dosis, die restlichen sechs Dosisgruppen von jeweils fünf Scheibchen wurden mit anwachsenden Dosen in einer  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Beta-Quelle bei Zimmertemperatur bestrahlt. Die zu erwartende Äquivalenzdosis (ED) wurde zuvor an Hand einer Testmessung des IRSL-Signals an vier Scheibchen bestimmt, von denen zwei mit einer Testdosis von etwa 90 Gy bestrahlt wurden. Auf der Grundlage der so erhaltenen Dosis wurden die additiven Dosen festgelegt, mit denen die verschiedenen Dosisgruppen bestrahlt werden sollten. Dabei erhielten die einzelnen Dosisgruppen folgende additiven Dosen:

- Dosisgruppe 1: N
- Dosisgruppe 2:  $N+\beta_1 \rightarrow \frac{1}{2} \text{ ED}$
- Dosisgruppe 3:  $N+\beta_2 \rightarrow 1 \text{ ED}$
- Dosisgruppe 4:  $N+\beta_3 \rightarrow 1\frac{1}{2} \text{ ED}$
- Dosisgruppe 5:  $N+\beta_4 \rightarrow 2 \text{ ED}$
- Dosisgruppe 6:  $N+\beta_5 \rightarrow 3 \text{ ED}$
- Dosisgruppe 7:  $N+\beta_6 \rightarrow 4 \text{ ED}$

Je nach Wert der zu erwarteten Äquivalenzdosis wurden die Proben entweder mit einer Quellenstärke von  $\approx 9 \text{ Gy/min}$  (Karussell 1 Typ 9022, Firma ELSEC) oder  $\approx 0,7 \text{ Gy/min}$  (Karussell 3 Typ 9022, Firma ELSEC) bestrahlt.

##### $\alpha$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\alpha$ )

Parallel zur  $\beta$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\beta$ ) wurde die  $\alpha$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\alpha$ ) bestimmt. Dafür wurden drei weitere Dosisgruppen mit je 3 Scheibchen in einer  $^{241}\text{Am}$ -Quelle (Typ 721, Firma ELSEC) mit einer Quellenstärke von 4,383 Gy/min bei Zimmertemperatur im Vakuum bestrahlt. Folgende additive, ebenfalls auf der Grundlage der zu erwartenden Äquivalenzdosis (ED) festgelegte Dosen, wurden den Dosisgruppen verabreicht:



- Dosisgruppe 1:  $N+\alpha_1 \rightarrow 1$  ED
- Dosisgruppe 2:  $N+\alpha_2 \rightarrow 2$  ED
- Dosisgruppe 3:  $N+\alpha_3 \rightarrow 3$  ED

Im Anschluß an die Bestrahlungen wurden die Proben bei Zimmertemperatur mindestens einen Monat gelagert, um die bei der künstlichen Bestrahlung gefüllten instabilen Zustände zu löschen.

### Messung

Folgende Schritte wurden während eines Meßzykluses für jedes Scheibchen im Risø-Reader (Modell TL/OSL DA-12, genaue Beschreibung bei BØTTER-JENSEN et al. 1991, BØTTER-JENSEN 1997) durchgeführt:

- Vorheizen der Probenscheibchen bei 220 °C für 120 s
- IR-Stimulation bei Zimmertemperatur für 60 s bei gleichzeitiger
- Detektion des Lumineszenzsignals durch einen Photomultiplier.

Verschiedene dem Photomultiplier vorgeschaltete Filter bedingen den Detektionsbereich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die IRSL im Bereich der Blauemission (390—450 nm) bei einer Wellenlänge um 410 nm aufgezeichnet. Dazu wurde folgende Filterkombination verwendet: BG39/BG3/GG400/BG3 (Firma Schott, alle Filter mit einer Dicke von 3 mm und einem Durchmesser von 44 mm).

### Bestimmung des $a$ -Werts

Nach der Ermittlung der  $\beta$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\beta$ ) und der  $\alpha$ -Äquivalenzdosis ( $ED_\alpha$ ) erfolgte die Errechnung des  $a$ -Wertes nach folgender Formel:

$$a = \frac{ED_\beta}{ED_\alpha} \quad (22)$$

#### 4.5.7.3 Bestimmung der Dosisleistung

Folgende radiometrische Methoden wurden zur Bestimmung der Dosisleistung benutzt:

- Alphazählung,
- Betazählung und
- Gammaspektrometrie.

#### Alphazählung

Die Ermittlung der  $\alpha$ -Dosisleistung (Low-Level-Alphazähler der Firma ELSEC vom Typ 7286) erfolgte mittels der Alphazählung, die auf dem Prinzip der Szintillationszählung beruht. Auf eine Zinksulfidfolie auftreffende ionisierende Strahlung in Form von  $\alpha$ -Teilchen erzeugt Lichtblitze, die in einem Photomultiplier in Stromimpulse umgewandelt und aufgezeichnet werden. Da die von  $\alpha$ -Teilchen hervorgerufene Szintillation wesentlich stärker ist, als die von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen hervorgerufene, werden nur Stromimpulse einer Mindeststromstärke gezählt. Aus den Ergebnissen der Alphazählung läßt sich der Uran- und Thoriumgehalt einer Probe bestimmen, wobei im Vergleich zur Low-Level-Gammaspektrometrie (siehe unten) geringere Genauigkeiten erzielt werden. Getrocknetes, pulverisiertes und homogenisiertes Probenmaterial wurde über einer Zinksulfidfolie in luftdichte Probenbehälter gefüllt. Da es

bei der Aufbereitung der Proben zu einer Radonaufnahme aus der Luft kommen kann, wurden die Proben nach dem Abfüllen bis zur Messung mindesten vier Wochen gelagert, um den Zerfall der Radonnuclide sowie seiner Tochternuclide zu gewährleisten (ZÖLLER & PERNICKA 1989).

### Betazählung

BØTTER-JENSEN & MEJDAHL (1988) beschreiben die Methode, auf deren Grundlage in vorliegender Arbeit die Betazählung erfolgte. Als Gasflußzähler wurde ein GEIGER-MÜLLER-Zähler mit Argon-Zählgas verwendet (Multicounter System Typ GM-25-2 der Firma Risø). Auf das Zählgas ionisierend wirkende  $\beta$ -Strahlung setzt Elektronen frei, die nach Verstärkung als Spannungsänderungen gemessen werden. Damit die  $\alpha$ -Strahlung der Probe nicht zum Signal beitragen kann, werden die Probenbehälter mit Aluminiumfolie überdeckt, um die  $\alpha$ -Strahlung zu absorbieren. Ein Einfluß umgebender Strahlungen wird durch eine Bleiburg unterbunden. Mit Hilfe von Kalibrierungsfaktoren von Standards [TONY (Ton aus Nähe Heidelberg): 5,8  $\mu\text{g/g}$  U, 17,2  $\mu\text{g/g}$  Th, 1,8 % K; NUSSI (Löß vom Weißen Hohl in Nußloch/Baden-Württemberg): 2,8  $\mu\text{g/g}$  U, 7,8  $\mu\text{g/g}$  Th, 1,1 % K] erfolgt die Umrechnung der Betazählrate in  $\beta$ -Dosisleistungen. Wie bei der  $\alpha$ -Zählung wird Radonverunreinigungen durch luftdichte Probenbehälter und vor Meßbeginn einer mindestens vierwöchigen Lagerung vorgebeugt.

### Gammaspektrometrie

Mit Hilfe der Low-Level-Gammaspektrometrie besteht die Möglichkeit, eine genaue Bestimmung mehrerer Isotope der Zerfallsreihen vorzunehmen und damit auch den Nachweis radioaktiver Gleichgewichte bzw. Ungleichgewichte zu erbringen. Über die Messung des Energiespektrums der natürlichen  $\gamma$ -Strahlung werden die Häufigkeiten der in Tab. 5 aufgelisteten Nuclide bestimmt und unter Annahme eines radioaktiven Gleichgewichts auf den Gehalt ihrer Mutternuclide ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) geschlossen, aus denen die Dosisleistung errechnet wird.

Ein mit flüssigem Stickstoff gekühlter Reinstgermaniumkristall dient als Detektor für die  $\gamma$ -Strahlung. Trifft ionisierende Strahlung auf den Germaniumkristall werden entlang der Eindringspur der Photonen Elektronen-Loch-Paare erzeugt, die auf Grund einer Hochspannung, die an den Kristall angelegt ist, entsprechend ihrer Ladung von den Elektroden angezogen werden und dort als Spannungsimpulse aufgezeichnet werden (RIESER 1991).

Die Meßanordnung wird durch einen Blei-, Kupfer und Plexiglas-mantel von der Umgebungsstrahlung abgeschirmt. Vor der Messung erfolgte wie bei der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zählung eine mindestens vierwöchige Lagerung im geschlossenen Probenbehälter.

### Gleichgewichte/Ungleichgewichte

Zur Kontrolle der radioaktiven Gleichgewichte wurden die Äquivalenturangehalte nach RIESER (1991) berechnet. Da eine Störung des radioaktiven Gleichgewichtes nur in der Uranreihe zu erwarten war (siehe Kapitel 4.5.6.3) wurde diese Reihe folgendermaßen auf Ungleichgewichte hin überprüft:

- Ermittlung des Urangehalts von  $^{226}\text{Ra}$  aus dem Äquivalenturangehalt von  $^{234}\text{Th}$ ,
- Urangehalt der Radongruppe als fehlergewichteter Mittelwert der Äquivalenturangehalte von  $^{214}\text{Pb}$  und  $^{214}\text{Bi}$ ,
- Urangehalt nach  $^{222}\text{Rn}$  aus  $^{210}\text{Pb}$ .

Ein Ungleichgewicht liegt vor, wenn diese Werte signifikant voneinander abweichen. In diesem Fall ist es außerdem möglich festzustellen, an welcher Stelle der Zerfallsreihe es zu einer Gleichgewichtsstörung kam (LANG 1996). KADEREIT (2000) beschreibt die dabei auftretenden

Möglichkeiten und Ursachen für radioaktive Ungleichgewichte und die sich daraus für eine Datierung ergebenden Konsequenzen, die in Tab. 44 und Abb. 125 in Anhang D zusammengefaßt sind. Im Fall von Ungleichgewichten wurde jeweils ein Minimal- und ein Maximalalter errechnet.

### Kosmische Dosisleistung

Zur Ermittlung der kosmischen Dosisleistung wurde das an der Forschungsstelle für Archäometrie in Heidelberg zur Verfügung stehende Programm „KOSM“ (KARELIN 2000) verwendet. Dieses berechnet die kosmische Dosisleistung nach den Vorgaben von PRESCOTT & STEPHAN (1982) unter Berücksichtigung der geographischen Breite, der Höhe des Probenahmeortes über dem Meeresspiegel und der Tiefe der entnommenen Probe unter Geländeoberkante.

### Fading

Um festzustellen, ob eine Probe einen anomalen Signalverlust (fading) zeigt, wurden zusätzlich zu den sieben Dosisgruppen für die Bestimmung der Äquivalenzdosen zwei weitere Dosisgruppen mit jeweils fünf Scheibchen gebildet, von denen eine ihr natürliches Signal behielt während die andere mit derselben Dosis wie Dosisgruppe 6 oder 7 der jeweiligen Probe in einer der beiden Betaquellen bestrahlt wurde. Gemeinsam mit den restlichen Scheibchen wurden auch diese einen Monat gelagert und zum Zeitpunkt der Messung der anderen Scheibchen lediglich 120 s bei 220 °C vorgeheizt. Danach wurden sie mindestens drei weitere Monate gelagert und im Anschluß daran nach einer IR-Stimulation über 60 s ihr Lumineszenzsignal gemessen. Über einen Vergleich der Signalintensitäten der nicht zusätzlich gelagerten Scheibchen derselben Dosisgruppen mit denen der gelagerten Scheibchen erfolgte die Auswertung.

#### 4.5.7.4 Korrektur des Wassergehalts

Da die Dosisleistung im Labor an trockenem Probenmaterial bestimmt wird, der Wassergehalt aber einen entscheidenden Einfluß auf die Dosisleistung hat, muß eine Korrektur des Wassergehalts durchgeführt werden. Folgende Faktoren beeinflussen den Wassergehalt der Proben:

- Korngrößenzusammensetzung,
- Kornform,
- Lagerungsdichte,
- Porenvolumen,
- jahreszeitlich bedingte Schwankungen des Grundwasserspiegels,
- landwirtschaftlichen Nutzung,
- Be- oder Entwässerung.

Ein Großteil der untersuchten Proben stammt aus der phreatischen Zone. In den Sommermonaten befindet sich der anthropogen bedingte Grundwasserspiegel etwa 2 m unter Geländeoberkante. Seit etwa 50 Jahren (pers. Mitteilung İ. KAYAN) wird in der Schwemmlandebene des Karamenderes intensiv Landwirtschaft betrieben, weswegen der natürliche Grundwasserspiegel während der Anbauperiode durch Grundwasserentnahme (Bewässerungsmaßnahmen) um 2—9 m abgesenkt wird (pers. Mitt. Ch. WOLKERSDORFER). In den Wintermonaten (etwa von Oktober bis März) steigt der Grundwasserspiegel langsam wieder bis auf wenige Zentimeter unter Geländeoberkante an, stellenweise bilden sich auch Naßstellen. Für die Bestimmung der Dosisleistung können die Änderungen der Bodenfeuchte infolge landwirtschaftlicher Nutzung vernachlässigt werden, weil der dadurch bedingte Fehler selbst unter konservativer Annahme bei der Altersbestimmung deutlich unter 5 % läge. Da der im Labor ermit-

telte Wassergehalt dem Wassergehalt während der Sommermonate entspricht (Probennahme im Juli/August) wurde für die oberhalb des Grundwasserspiegels entnommenen Proben der bei vollständiger Sättigung zu erwartende Wassergehalt rechnerisch ermittelt. Bei allen anderen Proben wurde auf Grund der stratigraphischen Situation davon ausgegangen, daß während des zu datierenden Zeitraumes eine vollständige Wassersättigung aller Horizonte vorlag und der Wassergehalt dem im Labor ermittelten entspricht.

### Errechnung des Wassergehalts

Von den insgesamt 32 datierbaren Proben lagen bei der Probennahme vier über dem Grundwasserspiegel. Um die im Labor ermittelten Wassergehalte der anderen Proben auf ihre Zuverlässigkeit hin zu überprüfen, wurden für alle Proben die theoretischen Wassergehalte ermittelt. Diese rechnerisch ermittelten Wassergehalte liegen regelmäßig über denen der laborativ ermittelten (Abb. 16). Grund dafür ist die Tatsache, daß bei natürlichen Wasserproben stets nur ein Teil des nutzbaren Porenraumes vollständig wassererfüllt ist (SCHEFFER et al. 2002).

Zur Errechnung des repräsentativen Wassergehalts für den zu datierend Zeitraum wurde von den bei DAVIS & DEWIEST (1966, zitiert in HÖLTING 1996) angegebenen Porenvolumina für hydrogeologische Systeme ausgegangen. In Tab. 6 sind die aus Abb. 17 für die Gesamtporosität abgelesenen Werte und die daraus nach folgender Formel berechneten Bodendichten zusammengetragen:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ mit } \rho = 2,65 \text{ g cm}^{-3} \quad (23)$$

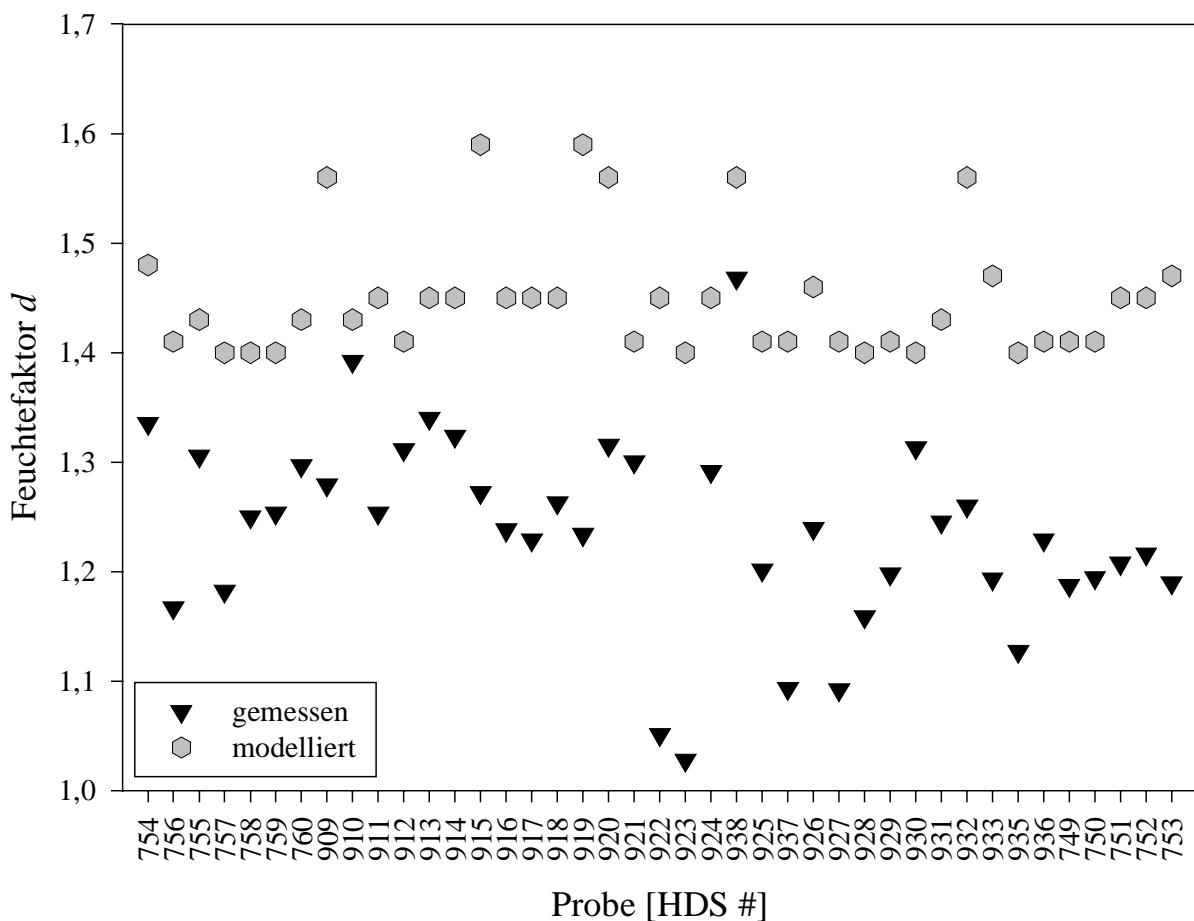


Abb. 16: Darstellung der direkt an den entnommenen Proben ermittelten und der auf der Grundlage der sedimentologischen Untersuchungen modellierten Wassergehalte für diese Proben.

Tab. 6: Aus DAVIS & DEWIEST (1966) abgelesene Porenvolumina und die daraus berechneten Bodendichten und Wassergehalte.

	Gesamtporenvolumen $PV$ [1]	Bodendichte $\rho$ [g cm <sup>-3</sup> ]	Wassergehalt $w$ [1]
Feinschluff (FU)	0,62—0,63	0,981—1,007	$0,63 \pm 0,02$
Mittelschluff (MU)	0,60—0,62	1,060—1,007	$0,59 \pm 0,02$
Grobschluff (GU)	0,59—0,60	1,060—1,087	$0,56 \pm 0,02$
Feinsand (FS)	0,46—0,59	1,087—1,431	$0,43 \pm 0,11$
Mittelsand (MS)	0,43—0,46	1,431—1,511	$0,31 \pm 0,02$
Grobsand (GS)	0,40—0,43	1,511—1,590	$0,27 \pm 0,02$
Feinkies (FG)	0,37—0,40	1,590—1,670	$0,24 \pm 0,02$

An Hand dieser Werte erfolgte die Berechnung des maximalen und minimalen Wassergehaltes, wobei Zwischenwerte der Bodendichte linear eingeschaltet wurden (z.B. feinsandiger Grobschluff:  $\rho = 1,060—1,431$  g cm<sup>-3</sup>).

Auf Abschwächungseffekte der Dosisleistung im Bereich der wasserungesättigten Zone braucht hier nicht eingegangen zu werden, da der Grundwasserspiegel im Untersuchungsgebiet vor der landwirtschaftlichen Nutzung bis zur Geländeoberkante reichte (belegt durch Versumpfungen).

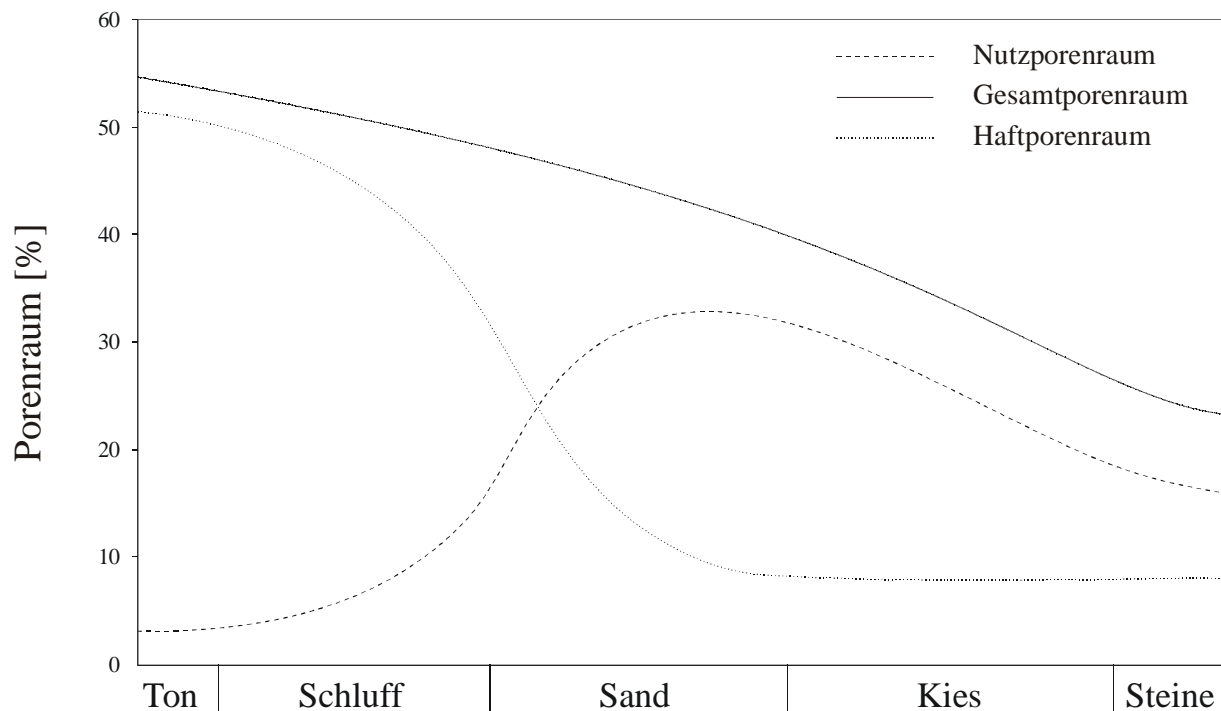


Abb. 17: Beziehung zwischen Gesamtporen-, Nutzporen- und Haftwasserraum in Abhängigkeit von der Korngröße klastischer Sedimente (verändert aus HÖLTING 1996, nach DAVIS & DEWIEST 1966).

#### 4.5.8 Messung und Auswertung

Für die Messungen stand der in Abb. 18 schematisch dargestellte und bei BØTTER-JENSEN (1997) und BØTTER-JENSEN et al. (1999) ausführlich beschriebene Risø-Reader TL/OSL DA-12 der Firma Risø National Laboratory (Dänemark) einschließlich der dazugehörigen Steuerungssoftware TL (Version 4.60, 1994) zur Verfügung. Auf einem drehbaren Probenhalter können jeweils 24 Scheibchen aufgelegt werden. In einem ersten Durchlauf werden die Scheibchen bei 200 °C 120 s lang vorgeheizt. Im zweiten Durchlauf erfolgt die Stimulation im Infrarotbereich bei einer Wellenlänge  $\lambda = 880 \pm 80$  nm mittels einer Infrarotleuchtdiode (Typ TEMPT 484) mit einer Leistung von 40 mW und die Aufzeichnung der Lumineszenz.

Liegen alle zur Altersberechnung notwendigen Rohdaten vor, werden diese mit Hilfe verschiedener Computerprogramme ausgewertet, um die für die Altersgleichung benötigten Parameter ermitteln zu können. Sowohl die Erstellung der  $\beta$ - als auch die der  $\alpha$ -Äquivalenzdosis erfolgte mit den Programmen Analyse (Version 5.22, DULLER 1994) und Simplex (Version 31. 08. 1993, GRÜN 1993). In Analyse wurden die vom Risø-Reader ausgegebenen Daten eingelesen und zur Weiterbearbeitung nach Simplex exportiert. Mit diesem Programm erfolgte dann die Berechnung der Regression der Wachstumskurve.

Nach Abzug des Untergrundsignals, das die letzten 10 Meßsekunden ausmacht, wurde der Q-Plateautest (siehe Kapitel 4.5.6.2) durchgeführt und der Auswertbereich festgelegt, der im Allgemeinen von 0 bis 40 s reichte.

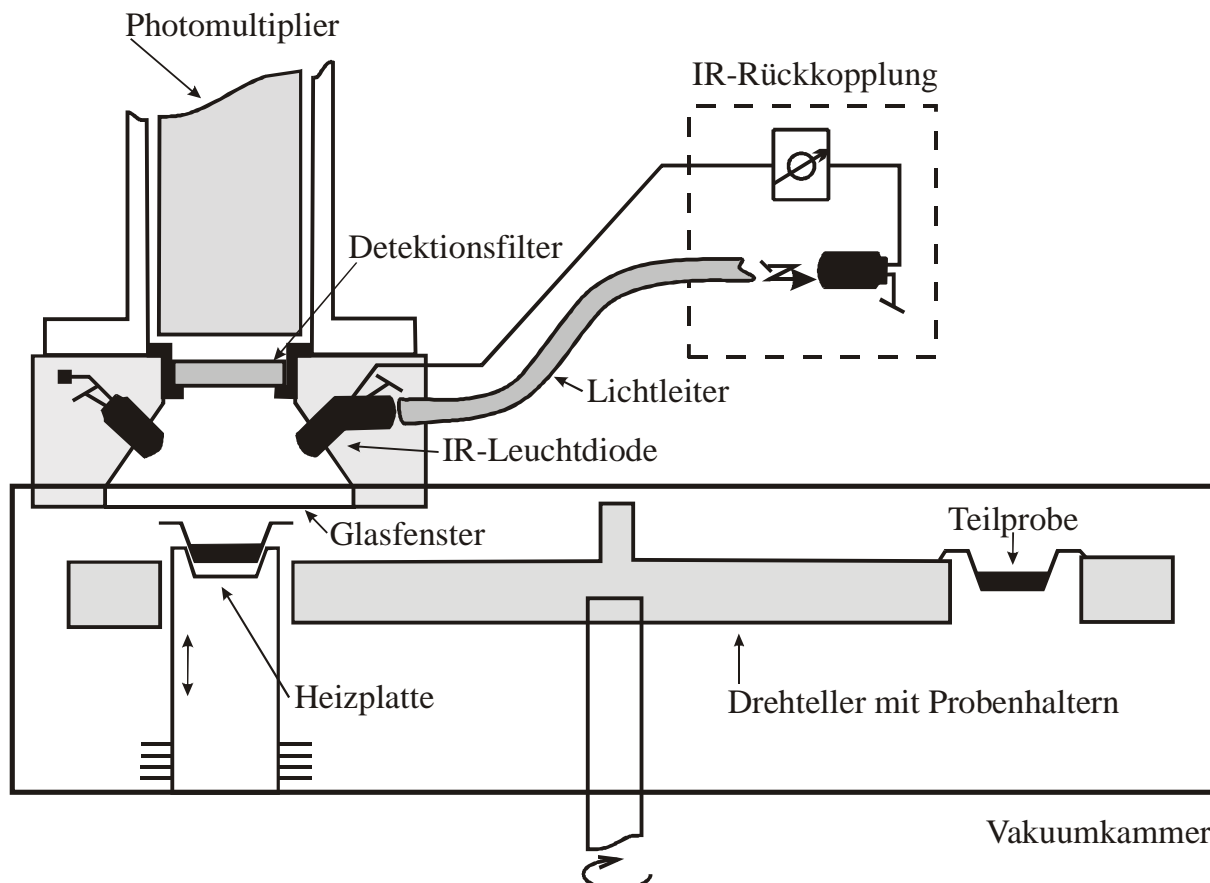


Abb. 18: Schematische Darstellung des Risø-Readers (nach WIGGENHORN 1995).

## 4.6 Material

### 4.6.1 Allgemeines

Bei den analysierten Proben handelt es sich um Sedimente aus vier Bohrungen, die in der unmittelbaren Umgebung des Burgberges von Troia abgeteuft wurden (Abb. 19). Alle Probenahmen im Gelände erfolgten in Zusammenarbeit mit İ. KAYAN (Ege Üniversitesi İzmir) und seinem Bohrteam im Sommer 1998 und 1999. A. LANG und A. KADEREIT (FS Archäometrie Heidelberg) beprobten 1998 die Bohrkern 144 – Dümrek und 145 – Çıplak. Da diese Probennahme lediglich unter den Gesichtspunkten der möglichen Datierung stattfand, wurden nur einige wenige Bohrkernabschnitte doppelt gekernt und im Vergleich zu den beiden anderen Bohrkernen wesentlich weniger Proben entnommen. Folglich beruhen die sedimentologischen Beschreibungen (Kapitel 5.2.2) der nicht doppelt gekernt Bohrkernabschnitte aus den Bohrungen 144 und 145 auf den Geländeaufnahmen von A. KADEREIT und İ. KAYAN und entsprechen nicht vollständig den in Kapitel 4.3.1 gemachten Angaben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden alle gekernt vorliegenden Bohrkernabschnitte wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben im Labor ein weiteres Mal sedimentologisch-geologisch aufgenommen. Im Sommer 1999 erfolgte die zweite Probennahme im Gelände wobei die Bohrungen 157 – Theater und 158 – Höhle abgeteuft wurden. Bei dieser Probennahme wurde darauf geachtet, daß jeder erbohrte Horizont zumindest teilweise doppelt gekernt wurde und somit für die Laboruntersuchungen dieser Arbeit das vollständige Profil vorlag.

In vielen Fällen stimmen die Geländeansprachen der Bohrprofile von KAYAN oder KADEREIT nicht mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen oder der sedimentologisch-geologischen Nomenklatur überein. Bei Unstimmigkeiten wurde daher in der Regel auf die laborgestützten, sedimentologischen Ergebnisse vorliegender Arbeit zurückgegriffen.

### 4.6.2 Proben

Drei der vier Bohrkern (Bohrkern 145 – Çıplak, 157 – Theater, 158 – Höhle) wurden in der unmittelbaren Umgebung des Troia-Rückens abgeteuft. Bohrung vier (144 – Dümrek) stammt aus der Schwemmlandebene des Dümreks etwa 1,5 km nördlich von Troia. Diese Bohrung hat eine Endteufe von 23,00 m; es wurden ihr sieben Proben entnommen. Bohrung 157 – Theater, die eine Endteufe von 12,00 m erreichte, befindet sich etwa 500 m nordöstlich des Großen Theaters von Troia [erbaut im späten 4. Jhd. v. Chr. (ROSE 1991, 1993, 1994)] und etwa 100 m entfernt vom Hangfuß des Troia-Rückens. Insgesamt wurden dieser Bohrung 17 Proben entnommen. Etwa 100 m entfernt von der Quellschale, im Westen des Troia-Rückens, befindet sich Bohrung 158 – Höhle, die eine Endteufe von 11,2 m hat und der 13 Proben entnommen wurden. Bohrung 145 – Çıplak wurde etwa 250 m südlich der ehemaligen Stadtmauer der Unterstadt von Troia bis auf eine Tiefe von 7,3 m abgeteuft. Dieser Bohrung entstammen fünf Proben. Eine Auflistung aller doppelt gekernt Bohrkernabschnitte, den daraus entnommenen Proben und den Probennummern ist in Tab. 1 zu finden.



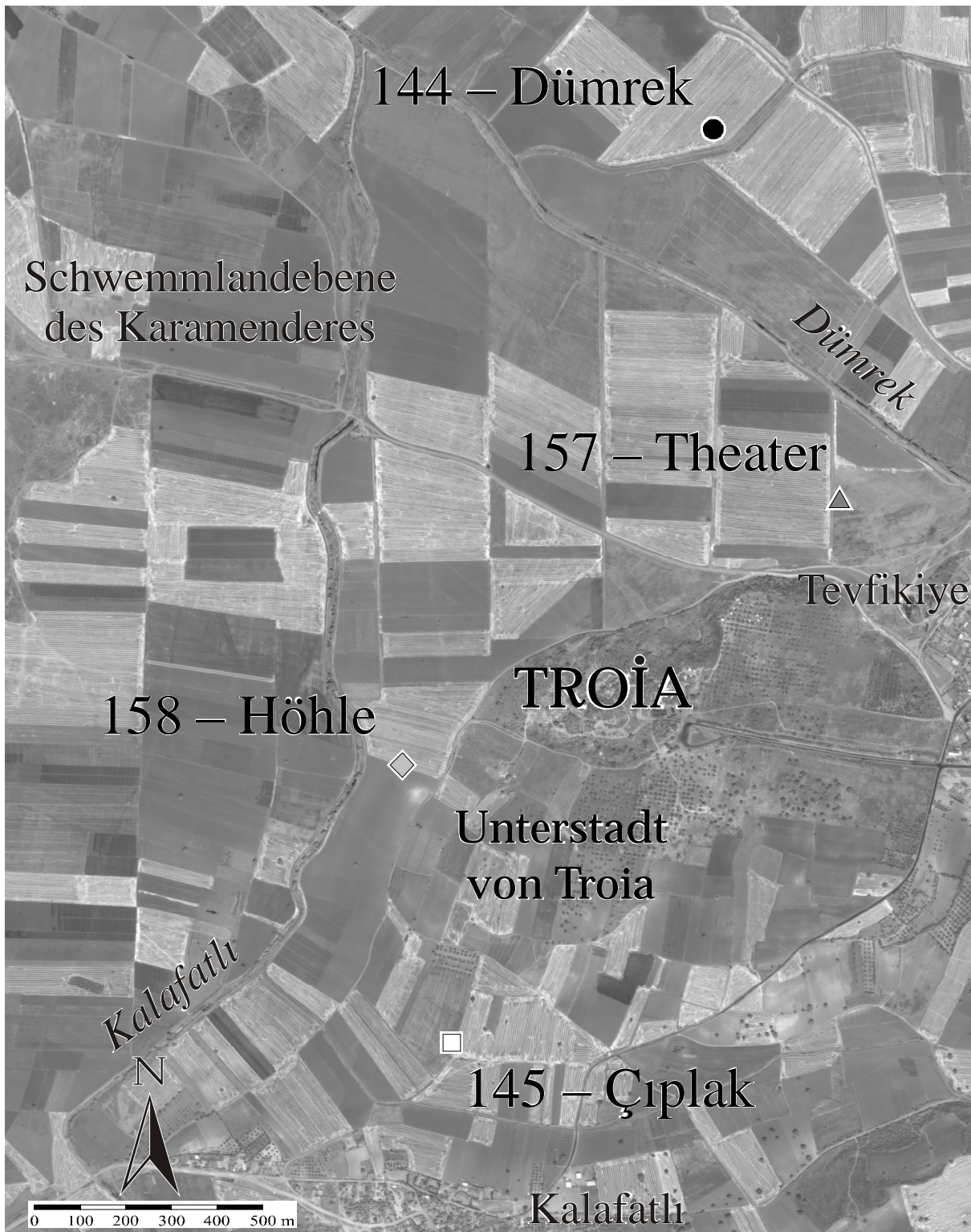


Abb. 19: Lage der abgeteufen Bohrungen (*kursiv*: Flüsse, normal: Siedlungen, Kartengrundlage Aufnahme Nr. 42589 von IKONOS II, Aufnahmedatum: 24.06.2000, mit freundlicher Genehmigung des Troia-Teams, Symbole siehe Abb. 20b).



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Allgemeines

In den folgenden Kapiteln sollen zunächst sämtliche Ergebnisse aller durchgeführten Untersuchungen einzeln dargestellt werden, um die nachfolgende Interpretation von nicht signifikanten Ergebnissen zu entlasten. Dabei wird auf die Ergebnisse der sedimentologischen und geochemischen Analysen und die Ergebnisse der Datierung jeweils gesondert eingegangen, wobei die einzelnen Werte beschrieben und miteinander verglichen werden. Mit einbezogen wird die Erklärung der zur statistischen Auswertung verwendeten Methoden. Eine Interpretation dieser Ergebnisse erfolgt getrennt davon in Kapitel 6. Die statistische Auswertung der Ergebnisse der geochemischen Analysen erfolgte mit dem Programm SPSS for Windows Release 11.0.0 Standard Version der Firma SPSS Inc. Um das Lesen zu erleichtern, werden die Namen der Bohrungen im Folgenden nur noch verkürzt geschrieben (z.B. Bohrung 144 – Dümrek: Bohrung Dümrek). Bei Probe HDS 934 handelte es sich um eine Doppelbeprobung eines Horizontes. Daher wurde an dieser Probe keine Korngrößenanalyse durchgeführt. Da die Probe HDS 934 auch nicht für eine Datierung mittels IRSL in Frage kam, wurde sie auch nicht geochemisch untersucht. Probe HDS 755 wurde ebenfalls keiner geochemischen Analyse unterzogen, da nach der Datierung und Siebung kein Probenmaterial mehr vorhanden war. Sämtliche Analysenergebnisse sind als Anlage in Anhang B – Sedimentologie, Anhang C – Geochemie und Anhang D – Datierung zu finden. Sämtlichen Bohrungen sind in den folgenden Kapiteln einheitliche Symbole zugeordnet (siehe Legende Abb. 20b).

### 5.2 Sedimentologie

#### 5.2.1 Statistische Auswertung der Korngrößenanalysen

An dieser Stelle soll nur ein allgemeiner, zusammenfassender Überblick über die Ergebnisse der Siebungen gegeben werden. Alle Summenkurven der Korngrößenanalysen sind im Anhang B als Abb. 59 bis Abb. 99 zu finden. Wichtig für die Interpretation von Korngrößenanalysen sind neben der eindeutigen Ansprache der Sedimente bezüglich der Korngröße die statistischen Korngrößenparameter wie die Ungleichförmigkeit  $U$ , der Median  $M_d$  (bzw.  $d_{50}$ ), die graphische Schiefe  $SK_1$ , die Kurtosis oder Gipfeligkeit  $K_G$ , der Grad der Sortierung  $S_o$  (nach TRASK 1932) bzw. der Sortierungskoeffizient  $\sigma_1$  (nach FOLK & WARD 1957) und die Sortierung  $\sigma\phi$  (nach INMAN 1952). Einen Überblick über die Aussagen der einzelnen Korngrößenparameter gibt Tab. 17 in Anhang B.

Standardmäßig wurden die Ergebnisse der Korngrößenanalyse in ein Dreiecksdiagramm eingetragen. Da auf Grund des geringen Tongehaltes in den Proben die übliche Darstellung Schluffgehalt – Sand- und Kiesgehalt – Tongehalt kaum aussagekräftig ist (Abb. 20 a), wurden die Ergebnisse in einem weiteren Diagramm mit den Eckpunkten Sandgehalt – Ton- und Schluffgehalt eingetragen (Abb. 20 b). Wie aus dieser Abbildung sichtbar wird, handelt es sich bei dem Großteil der Proben um Sedimente im Korngrößenbereich von Sand. Auffallend ist, daß es sich bei den Proben im (tonig-) schluffigen Bereich fast ausschließlich um Proben der Bohrung Theater handelt. Grob lassen sich die untersuchten Proben in vier Korngrößengruppen einordnen (siehe auch Tab. 7):

- Gruppe A: sandiger Schluff
- Gruppe B: Schluff bis Sand
- Gruppe C: schluffiger Sand
- Gruppe D: kiesiger Sand

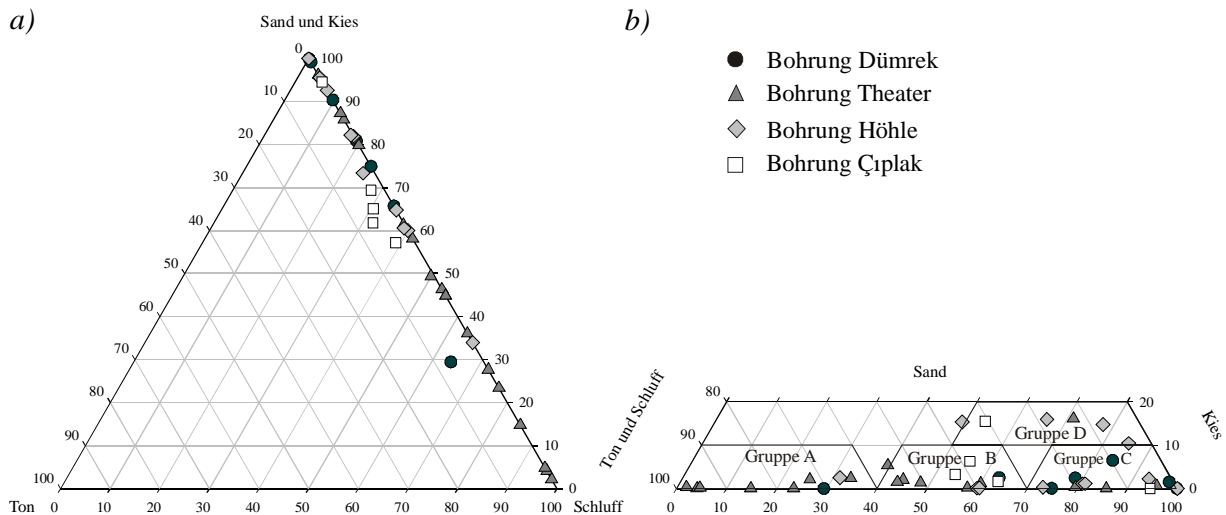


Abb. 20: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse im Dreiecksdiagramm (a) Standarddarstellung mit den Eckpunkten Schluff – Sand und Kies – Ton, b) angepasste Darstellung mit den Eckpunkten Sand – Kies – Ton und Schluff).

Um die Ergebnisse besser beschreiben zu können und anschaulicher darzustellen, wurden für alle Proben die Ungleichförmigkeit geben die Sortierung nach TRASK (1932, zitiert in FÜCHTBAUER et al. 1988 und TUCKER 1996), gegeneinander aufgetragen (Abb. 21). Aus dieser Abbildung wird deutlich, daß sich die untersuchten Sedimente bezüglich ihrer ähnlichen genetischen Eigenschaften von Sortierung und Ungleichförmigkeit grob in fünf Gruppen einteilen lassen (siehe auch Tab. 8).

Auffallend ist, daß ein Teil der Proben sehr ähnliche sedimentologische Eigenschaften besitzt, die Proben der Gruppe 1 liegen sehr eng beieinander. Bei den zu dieser Gruppe gehörenden Proben handelt es sich fast ausschließlich um Proben der Bohrung Theater. Lediglich zwei Proben (HDS 922, HDS 923) dieser Bohrung liegen außerhalb der ersten Gruppe.

Ein weiterer Großteil der Proben ist sehr schlecht sortiert und ungleichförmig (Gruppe 4). Dieser Gruppe gehören vorwiegend Proben der Bohrung Höhle an. Die Proben der Sedimente der Gruppen 2 und 3 nehmen eine Zwischenposition zwischen denen der Gruppen 1 und 4 ein. Eine Sonderstellung haben die Proben der Gruppe 5, die mit Ungleichförmigkeitswerten zwischen 15,5 und 133,5 extrem ungleichförmig sind.

Tab. 7: Auflistung der zu der jeweiligen Korngrößengruppe gehörenden Proben nach Abb. 20b.

Kornanteil		Proben (HDS #) aus Bohrung			
		Dümrek	Theater	Höhle	Çıplak
Gruppe A	60—100 % T + U		909, 915,		
	0—40 % S	754	917, 919,	932	
	0—10 % G		920, 938, 924		
Gruppe B	30—60 % T + U		911, 913,		
	40—70 % S	758	914, 916,	926, 933	750, 751,
	0—10 % G		918, 922		752
Gruppe C	0—30 % T + U	756, 755,		925, 937,	
	70—100 % S	757, 759,	910, 912, 921	927, 928,	753
	0—10 % G	760		936	
Gruppe D	0—30 % T + U				
	50—100 % S		923	929, 930,	749
	10—20 % G			931, 935	

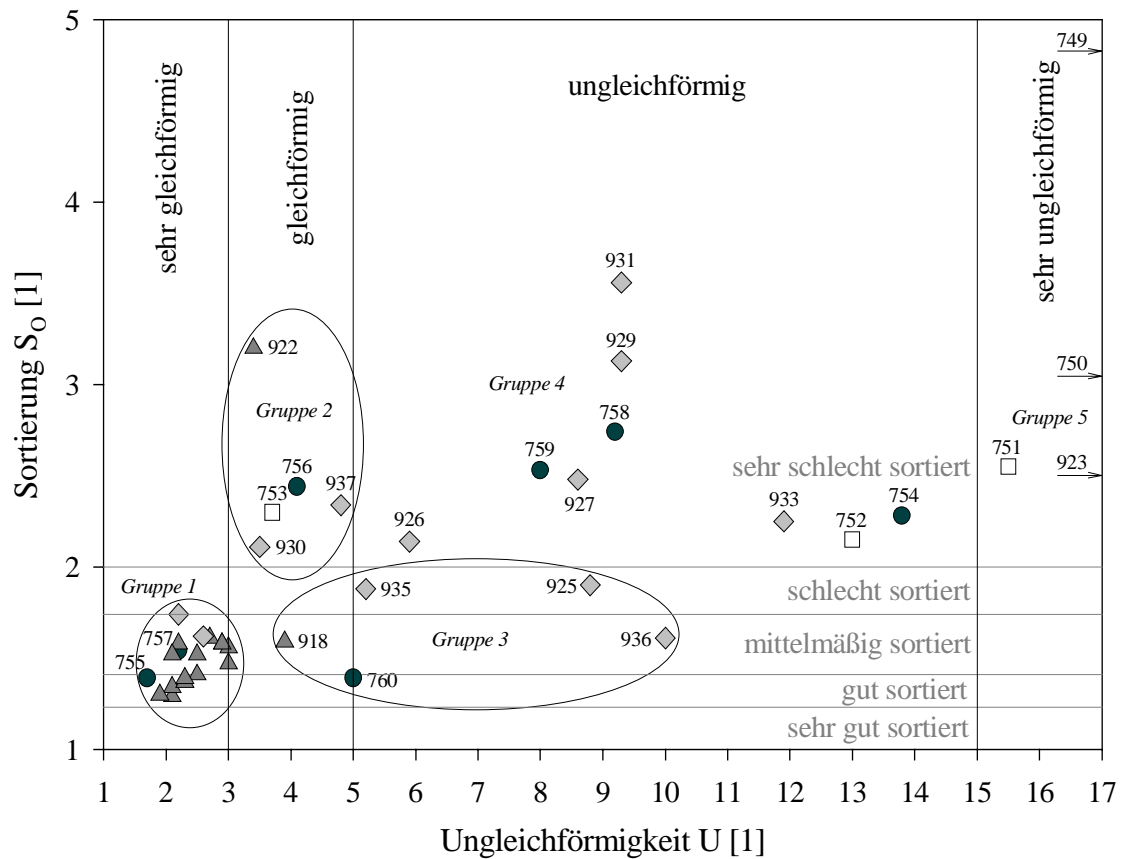


Abb. 21: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels der Ungleichförmigkeit und Sortierung nach TRASK (1932). Die Gruppierung erfolgte auf Grund gemeinsamer bzw. ähnlicher genetischer Eigenschaften bezüglich Ungleichförmigkeit und Sortierung. (Symbole wie in Abb. 20b).

Tab. 8: Gruppierung der untersuchten Proben mit Hilfe ihrer sedimentologischen Eigenschaften Sortierung und Ungleichförmigkeit nach Abb. 21.

	Eigenschaften		Proben (HDS #) aus Bohrung			
	Sortierung	Ungleichförmigkeit	Dümrek	Theater	Höhle	Çıplak
Gruppe 1	gut bis mittelmäßig	sehr gleichförmig	755, 757	909-917, 919-921, 924, 938	928, 932	
Gruppe 2	sehr schlecht	gleichförmig	756	922	937, 930	753
Gruppe 3	gut bis schlecht	gleichförmig bis ungleichförmig	760	918	925, 935, 936	
Gruppe 4	sehr schlecht	ungleichförmig	754, 758, 759	926, 927, 929, 931, 933		752
Gruppe 5	sehr schlecht	sehr ungleichförmig		923		749, 750, 751

## **5.2.2 Beschreibung der Bohrkern**

### **5.2.2.1 Allgemeines**

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Korngrößen- und der Mineralbestandsanalyse bei der sedimentologischen Beschreibung der Bohrkern mit einbezogen. Die Höhe des Grundwasserspiegel wurde nicht wie in der Geologie/Sedimentologie üblich bei Antreffen des ersten feuchten Horizontes gemessen, sondern nur nach Abschluß der Bohrung. Auf diese Vorgehensweise hatte die Verfasserin vorliegender Arbeit keinen Einfluß, da sämtliche Bohrungen in der Verantwortung von Prof. I. KAYAN lagen.

In den Sedimenten wurden kleine, 2 mm bis 1,5 cm große, rote Fragmente anthropogenen Eintrags angetroffen, die nicht näher identifiziert werden können. Diese Fragmente wurden in der Beschreibung als „Ziegelbröckchen“ benannt. Auf Grund der geringen Größe der „Ziegelbröckchen“ ist es auch nicht möglich zwischen gebrannten Ziegeln und verbrannten Lehmziegeln zu unterscheiden. Daher konnte keine solche Unterscheidung vorgenommen werden. Mitunter wurden auch größere Fragmente (bis 3 cm) anthropogenen Materials angetroffen, die eindeutig als Keramikbruchstücke angesprochen werden konnten. War eine Deutung sowohl als Ziegel-, als auch als Keramikbruchstück denkbar, wurde bei der Beschreibung beides genannt (Ziegel/Keramikbruchstück). Eine graphische Umsetzung der Profilaufnahmen ist in Kapitel 6.1.3 als Abb. 40 bis Abb. 43 zu finden.

### **5.2.2.2 Bohrung Dümrek**

Koordinaten (UTM WGS 84): 35 435238 E  
4424565 N

Endteufe: 23,0 m

Nach den Geländeaufnahmen von KAYAN und KADEREIT (unpublizierte Feldbucheintragen) ergibt sich folgender Profilaufbau: im Basisbereich der Bohrung Dümrek befindet sich bis zu einer Teufe von 9,80 m ein schwarzer Schlamm weicher Konsistenz und einem hohen Anteil an organischem Material. Im Teufenbereich von 10,25—10,75 m ist ein sandiger Horizont eingeschaltet. Die unteren 20 cm dieses Horizontes (10,55—10,75 m) werden von einem schwarzgrauen laminierten Feinsand gebildet. Im oberen Bereich (10,25—10,55 m) wurde ein dunkelgrauer homogener Fein- bis Mittelsand angetroffen. Zwischen einer Teufe von 9,40—9,80 m steht ein grauer bis dunkelgrauer laminierter Feinsand an, der Schalen von Herzmuscheln enthält.

Mit dem folgenden 1,90 m mächtigen Horizont (7,50—9,40 m) beginnt ein allmählicher Farbwechsel von grau zu oliv. Dieser Horizont besteht an seiner Basis aus einem grauen schluffigen Fein- bis Mittelsand (8,80—9,40 m), der in einen dunkelgrauen undeutlich laminierten Fein- bis Mittelsand übergeht (7,80—8,80 m). Im unteren Bereich dieses Profilabschnittes (8,30—8,80 m) sind Pflanzenreste enthalten; im oberen Bereich (7,80—8,20 m) wechselt die Farbe zu oliv. Zwischen 8,15—8,20 m ist ein laminierter Grobsand eingeschaltet.

Ab einer Teufe von 7,80 m steht bis zur Teufe von 7,50 m ein grauer Feinsand an. Darüber folgt ein 3,20 m mächtiger sehr feinklastischer Profilabschnitt, der überwiegend aus Schluffhorizonten besteht. Beginnend mit einem dunkelgrauen Schluff im Teufenbereich zwischen 7,00 m und 7,50 m folgt zwischen 6,50—7,00 m ein grauer Schluff in den vereinzelt grün-graue gefleckte feinsandige Lagen eingeschaltet sind.

Zwischen 5,60—6,50 m wurde ein grauer, oliv-braun gefleckter Schluff aufgeschlossen, der durch eine scharfe Grenze bei 5,60 m von einem olivfarbenen, gefleckten, glimmerhaltigen Schluff bis Feinsand getrennt wird. Ab einer Teufe von 5,30 m folgt ein 65 cm mächtiger grau

gefleckter, oliv-brauner Schluff bis Feinsand (4,65—5,30 m). Gefolgt wird dieser Horizont von einem olivfarbenen Schluff, der durch eine scharfe Grenze bei 4,30 m vom nächsten Horizont getrennt wird. Eingeschaltet in den Schluff ist zwischen 4,50 m und 4,60 m ein olivfarbener Mittelsand. Der gesamte Profilabschnitt in der Teufe von 4,30—7,50 m ist stark verfestigt und im unteren Abschnitt sind bis zu einer Teufe von 5,60 m kalkige Konkretionen enthalten.

Markiert durch eine scharfe Grenze bei 4,30 m folgt ein 95 cm mächtiger fein-aufwärts-Zyklus, der mit einem olivfarbenen kiesigen Grobsand beginnt, der Schalenreste enthält und über einen Mittel- und einen Feinsand in einen gelblichbraunen Schluff übergeht (3,35—4,30 m). Über einem gelblichbraunen weichen Schluff im Teufenbereich zwischen 3,10—3,35 m folgt ein hellbrauner, gelblich gefleckter Schluff bis Feinsand, der laminiert ist (2,60—3,10 m).

Im Teufenbereich von 2,45—2,60 m wurde ein Mittel- bis Grobsand aufgeschlossen, über dem bis zur Teufe von 2,25 m ein dunkelbraun gefleckter, gelblichhellbrauner weicher Schluff ansteht. In den folgenden 50 cm (1,75—2,25 m) erfolgt ein Farbwechsel von gelblichbraun zu olivfarben sowie eine geringe Korngrößenzunahme zu Feinsand. Die oberen 25 cm dieses Profilabschnitts (1,75—2,00 m) sind stark verfestigt, der mittlere Bereich (2,00—2,25 m) ist verfestigt. Bis zur Geländeoberkante wird das Profil von einem hellbraunen, olivfarben gefleckten harten Schluff vervollständigt (0,00—1,75 m), der organisches Material enthält und an seiner Basis geringmächtige feinsandige Lagen, sowie im oberen Bereich kalkige Konkretionen aufweist.

Aus den sedimentologischen Untersuchungen und den Bohrkernansprachen im Labor ergab sich für die in Tab. 1 aufgezählten, doppelt gekernten Bohrkernabschnitte folgende Profilbeschreibung:

Profilabschnitt 7,40—7,90 m: Über 5 cm eines bräunlichgrauen homogenen Mittelsandes (7,85—7,90 m) folgen 22 cm eines glimmerhaltigen, schluffigen Feinsandes (7,63—7,85 m, HDS 760) von gleicher Farbe. Neben bis 2 mm großen Kalkbröckchen sind in diesem Horizont auch Holzkohlestückchen enthalten. Die einzelnen Mineralkörner sind kantengerundet bis gerundet. Hauptbestandteile sind Quarz, Feldspat und Muskovit, untergeordnet treten granitoide Fragmente auf. Dieser Horizont läßt keine internen Strukturen erkennen. Die letzten 23 cm dieses Bohrkernabschnittes bestehen aus einem braunen schluffigen Sand (7,40—7,63 m, HDS 759), der selben mineralischen Zusammensetzung wie der vorherige Horizont, dessen Bestandteile ebenfalls kantengerundet bis gerundet sind. Neben einem geringen Anteil an Holzkohleresten kommen 2—3 mm große Fragmente von Schneckenschalen vor. Auch dieser Horizont läßt keine internen Strukturen erkennen.

Profilabschnitt 3,70—5,00 m: Im unteren Bereich dieses Profilabschnittes sind 45 cm eines strukturlosen, schluffigen Sandes (4,55—5,00 m, HDS 758) aufgeschlossen, der eine hellbräunlichgraue Farbe besitzt und von orangebraunen Schlieren durchzogen wird. Neben den kantengerundeten bis gerundeten Hauptbestandteilen Quarz, Feldspat und granitoiden Fragmenten ist ein hoher Glimmeranteil, bestehend aus Muskovit und Biotit, auffallend. Der folgende 12 cm mächtige Horizont besteht ebenfalls aus einem strukturlosen hellbräunlichgrauen glimmerhaltigen Sand, der bis 2 mm große Schneckenschalenbruchstücke aufweist (4,43—4,55 m). Darüber folgt ein 31 cm mächtiger glimmerhaltiger schluffiger Feinsand von hellbräunlichgrauer Farbe mit orangefarbenen Schlieren und Flecken (4,12—4,43 m). Bis zu einer Teufe von 3,80 m ist ein reiner Sand von hellbräunlichgrauer Farbe aufgeschlossen (HDS 757). Neben Quarzen, die den Hauptmineralbestand bilden, treten untergeordnet Muskovit, Feldspat, Serpentin- und granitoide Fragmente auf. Alle Mineralkörner sind kantengerundet, Quarze sind vereinzelt auch gerundet. Sporadisch sind bis 2 mm große Kalkbröckchen und Schalenreste von Schnecken vorhanden. Außerdem wurden Pflanzenwurzeln angetroffen.

Eine Struktur ist nicht erkennbar. Die letzten 10 cm dieses Bohrkernabschnittes (3,70—3,80 m) gehören zu einem hellbräunlichgrauen glimmerhaltigen kiesigen Sand, dessen granitoide Gerölle eine Größe bis 7 mm erreichen. Auch dieser Horizont ist strukturlos.

Profilabschnitt 2,30—2,90 m: Dieser Profilabschnitt beginnt mit den oberen 8 cm eines hellbraunen Feinsandes (2,82—2,90 m, HDS 755). Den Hauptbestandteil bilden Quarz, Feldspäte und granitoide Bestandteile, die kantengerundet bis gerundet sind. Vereinzelt sind Glimmer und Schalenbruchstückchen von Schnecken vorhanden. Auffallend sind bis 5 mm große Holzkohlereste. Eine Struktur ist nicht erkennbar. Über diesem Horizont folgen 27 cm eines ebenfalls strukturlosen hellbräunlichoranen schluffigen Sandes, der z.T. orangefarbene Flecken aufweist (2,55—2,82 m, HDS 756). Mineralbestand und Rundungsgrad entsprechen dem vorherigen Horizont. Lediglich Holzkohlereste sind nicht erkennbar. Bis zu einer Teufe von 2,38 m ist ein strukturloser hellbräunlichoraner sehr ungleichförmiger feinsandiger Schluff aufgeschlossen, der teilweise orange gefleckt ist (HDS 754). Als lediglich kantengerundete Bestandteile treten neben Quarzen untergeordnet Feldspäte und Glimmer auf. Außerdem sind bis 3 mm große Holzkohlereste und vereinzelt Kalkbröckchen erkennbar. Die letzten 8 cm dieses Profilabschnitts (2,30—2,38 m) gehören zu einem bräunlichgrünen tonig-schluffigen Feinsand, der teilweise orange gefleckt ist. Es sind Holzkohlereste, aber keine Strukturen erkennbar.

Bei der sedimentologischen Beschreibung der doppelt gekernten Bohrkernabschnitte waren alle Horizonte leicht feucht. Der Grundwasserspiegel befand sich nach Abschluß der Bohrung bei 1,80 m unter der Geländeoberkante.

### **5.2.2.3 Bohrung Theater**

Koordinaten (UTM WGS 84): 35 435489 E  
4423686 N

Endteufe: 12,0 m

An der Basis von Bohrkern Theater befindet sich ein mindestens 80 cm mächtiger dunkelbrauner bis schwarzer homogener Schluff, der neben Muschelschalenresten auch Pflanzenreste enthält (11,20—12,00 m). Darüber folgt in einer Teufe von 10,60—11,20 m ein dunkelbrauner Grobschluff, der einige bis 1 cm mächtige feinsandige Partien aufweist (HDS 938). Neben einem hohen Glimmergehalt ist auch ein hoher Anteil an organischem Material in Form von kleinen Holzkohle- und Muschelschalenresten vorhanden. Im Teufenbereich von 10,20—10,60 m konnte wegen Kernverlusts bei beiden Bohrungen keine Profilaufnahme vorgenommen werden. Darüber folgt eine mindestens 35 cm mächtige Wechsellagerung von Grobschluffen und Feinsanden graublaugrünlcher Farbe und plastischer Konsistenz (9,85—10,20 m). Neben meist mit einer schluffigen Matrix fest verbackenen kantengerundeten Quarzen und Feldspäten sowie Glimmern kommen auch Ziegelbröckchen und organisches Material vor (HDS 924). Innerhalb der einzelnen Lagen ist eine horizontale Stratifizierung vorhanden.

Von 9,65—9,85 m wurde ein kiesiger Sand angetroffen, dessen Gerölle eine Größe bis 7 mm erreichen und der ebenfalls von dunkelblaugrünlcher Farbe ist. Innerhalb des Horizontes erfolgt ein allmählicher Übergang von Feinsand zu Grobsand. Hauptbestandteil sind Quarz und Feldspat sowie granitoide Fragmente, die alle gerundet sind. Im Teufenbereich von 9,50—9,65 m lag Kernverlust vor. Darüber wurde ein mindestens 30 cm mächtiger schluffig kiesiger Sand blaugrauer Farbe aufgeschlossen (9,20—9,50 m, HDS 923). In den unteren 6 cm ist dieser Horizont schwach geneigt stratifiziert. Hauptbestandteil sind Quarze, granitoide Fragmente und Serpentinbröckchen; als Nebenbestandteile treten Feldspäte und Glimmer auf. Die einzelnen Körner sind kantengerundet bis gerundet.

Im Teufenbereich von 9,01—9,20 m liegt ein homogener blaugrüner Schluff bis Sand plastischer Konsistenz vor (HDS 922). Neben Quarz und Feldspat sind granitoide Fragmente und vereinzelt Kalkbröckchen, die meist mit einer kalkigen Matrix verbacken sind, und Pflanzenreste vorhanden. Die einzelnen Körner sind kantengerundet bis gerundet. Darüber folgen etwa 15 cm eines Mittel- bis Grobsandes. Mit diesem Horizont beginnt ein allmählicher Farbwechsel von blaugrün zu braun. Die Grenze zum nächsten Horizont wurde durch die Zweitbohrung nicht aufgeschlossen. Es wurde bis in eine Teufe von 8,10 m ein braungrüner schluffiger Fein- bis Mittelsand angetroffen (HDS 921). Hauptbestandteile sind Quarz und Feldspat, untergeordnet kommen Glimmer, Kalkbröckchen und Serpentinfragmente vor. Meist liegen die einzelnen Körner als in kalkiger Matrix verbackende Bröckchen vor. Alle Bestandteile sind kantengerundet bis gerundet.

Über diesem Horizont ist ein 66 cm mächtiger plastischer braungrüner Grobschluff aufgeschlossen (7,44—8,10 m, HDS 920). Hauptsächlich besteht dieser Schluff aus gerundeten Quarzen, Feldspäten und Glimmern. Außerdem sind vereinzelt Kalkbröckchen und Bruchstücke von Schneckenschalen enthalten. Eine interne Struktur ist nicht erkennbar. Zum folgenden Horizont besteht bei einer Teufe von 7,44 m eine scharfe Grenze.

Innerhalb der folgenden 57 cm (6,87—7,44 m) ist ein fein-aufwärts-Zyklus von graubrauner Farbe aufgeschlossen. An seiner Basis befindet sich ein reiner Grobsand, der über einen schluffigen Fein- bis Mittelsand in einen plastischen, sandigen Schluff (HDS 919) übergeht. Hauptbestandteile des Schluffs sind kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und Serpentinbröckchen, die in einer kalkigen Matrix verbacken sind. Außerdem ist ein geringer Anteil an Schneckenschalenresten und Holzkohlepartikeln vorhanden.

In der Teufe von 6,49—6,87 m folgt ein dunkelgraubrauner schluffiger Feinsand, der keine internen Strukturen erkennen läßt (HDS 918). Neben Quarz und Feldspat sind Serpentinbröckchen vorhanden, die ebenfalls größtenteils in einer kalkigen Matrix verbacken sind. Außerdem ist dieser Horizont schwach glimmerhaltig und enthält einen kleinen Teil von Holzkohleresten. Zum Hangenden hin geht der schluffige Feinsand in einen feinsandigen Schluff von hellgraubrauner Farbe über, der eine plastische Konsistenz hat und keinerlei interne Strukturen aufweist (6,09—6,49 m, HDS 917). Neben Quarz und Feldspäten treten auch untergeordnet Serpentinfragmente und Glimmer auf. Ein geringer Anteil von Holzkohlepartikeln ist ebenfalls vorhanden. Die einzelnen Bestandteile sind kantengerundet bis gerundet. Ab einer Teufe von 6,09 m ist ein 17 cm mächtiger strukturloser graubrauner sandiger Schluff vorhanden (5,92—6,09 m, HDS 916). Hauptbestandteil bilden in einer kalkigen Matrix verbackene kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und Serpentinbröckchen. Daneben treten untergeordnet Glimmer und Holzkohlepartikel auf.

Mit einer Mächtigkeit von 39 cm folgt im Teufenbereich von 5,53—5,92 m ein hellbraungrauer feinsandiger Schluff plastischer Konsistenz ohne interne Strukturen (HDS 915). Seine Hauptbestandteile sind in einer kalkigen Matrix verbackene gerundete Quarze und Feldspäte. Untergeordnet treten Glimmer und Serpentinbröckchen auf. Ein geringer Anteil an Holzkohlepartikel ist ebenfalls vorhanden. In Richtung des Hangenden folgt in einer Teufe von 5,00—5,53 m ein stark kompaktierter, braungrauer völlig homogener, schwach glimmerhaltiger Schluffhorizont.

Darüber folgen 70 cm eines mittelbraunen schluffigen Feinsandes, dessen gerundete, meist in kalkiger Matrix verbackene Hauptbestandteile Quarze, Glimmer, Feldspäte und vereinzelt Kalkbröckchen sind (4,30—5,00 m, HD 914). Eine interne Struktur ist nicht erkennbar. Nach einem fließenden Übergang folgt bis zu einer Teufe von 3,55 m ein ebenfalls strukturloser mittelbrauner feinsandiger Schluff plastischer Konsistenz, der einen hohen Anteil von Kalkbröckchen enthält (3,55—4,30 m, HDS 913). Daneben treten mit einer kalkigen Matrix verbackene Quarze und Feldspäte auf, die kantengerundet sind. Außerdem enthält dieser Hori-

zont vollständig erhaltene unbestimmte Schneckenschalen. Der Übergang zum nächsten Horizont erfolgt ebenfalls allmählich und ist zum einen durch eine graduelle Korngrößenzunahme und zum anderen durch eine Farbänderung von mittelbraun zu rotbraun gekennzeichnet.

Im Teufenbereich von 2,75—3,47 m folgt dann ein rotbrauner Fein- bis Mittelsand, dessen Hauptbestandteile gerundete Quarze, Feldspäte und Glimmer sind (HDS 912). Daneben treten Kalkbröckchen und Eisenoolithe auf. Eine interne Struktur ist nicht erkennbar. Über diesem Horizont ist bis in eine Teufe von 2,00 m ein mittelbrauner Schluff bis Feinsand plastischer Konsistenz aufgeschlossen (HDS 911). Neben meist in kalkiger Matrix verbackenen gerundeten Quarzen und Feldspäten treten auch Glimmer und vereinzelt Kalkbröckchen, kleine Holzkohlpartikel und Fragmente von Schneckenschalen auf. Außerdem sind in diesem Horizont bis 2 mm große Ziegelbröckchen enthalten. Eine interne Struktur ist nicht erkennbar.

Im Teufenbereich von 1,35—2,00 m ist ein strukturloser, dunkelbrauner, schluffiger Feinsand aufgeschlossen, dessen meist mit einer kalkigen Matrix verbackenen Bestandteile Quarz und Feldspat kantengerundet bis gerundet sind (HDS 910). Untergeordnet treten Glimmer und Holzkohlepartikel auf. Neben Schalenresten sind auch ganze Schalen von Schnecken vorhanden. Außerdem enthält auch dieser Horizont kleine bis 2 mm große Ziegelbröckchen. In den folgenden 50 cm (0,85—1,35 m) erfolgt ein allmählicher Übergang zu einem dunkelbraunen feinsandigen Schluff, der bis zu einer Teufe von 0,35 m ansteht (0,35—0,85 m, HDS 909). Hauptbestandteil sind kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und Glimmer, die in einer kalkigen Matrix verbacken sind. Vereinzelt sind kleine bis 2 mm große Ziegelbröckchen sowie Pflanzenreste und Kalkbröckchen vorhanden. Eine interne Struktur ist in diesem Horizont nicht erkennbar. Bis zur Geländeoberkante steht schließlich dunkelbraune, schluffig bis feinsandige Bodenkrume an.

Bereits ab einer Teufe von etwa 50 cm waren die Sedimente leicht feucht, ab der Teufe von etwa 2 m feucht. Der Grundwasserspiegel befand sich nach Abschluß der Bohrung bei 1,50 m unter der Geländeoberkante.

#### **5.2.2.4 Bohrung Höhle**

Koordinaten (UTM WGS 84): 35 434505 E  
4423152 N

Endteufe: 11,2 m

An der Basis des Bohrkerns Höhle befindet sich ein mindestens 10 cm mächtiger blaugrauer Fein- bis Mittelsand (11,10—11,20 m), der neben Resten von Muschelschalen auch Pflanzenreste enthält. Darüber wurde ein 23 cm mächtiger gelbbrauner Mittelsand (10,87—11,10 m) ohne interne Strukturen angetroffen, dessen Hauptbestandteile kantengerundete bis gerundete Quarz- und Feldspatkörner sind. Ab einer Teufe von 10,87 m folgt eine 9 cm mächtige Lage von Muschelschill in einer dunkelblaugrauen schluffig bis feinsandigen Matrix (10,78—10,87 m). Die einzelnen Schalenbruchstücke erreichen eine Größe bis 3 cm und sind horizontal gelagert. In den oberen 4 cm dieses Horizontes nimmt der Gehalt der Matrix zu. Darüber folgt bis zur Teufe von 10,42 m ein schluffiger Feinsand, dessen Farbe im 3 cm Bereich von braungrün zu braunorange wechselt (HDS 936). Hauptbestandteil bilden gerundete Quarze und Feldspäte. Außerdem ist organisches Material in Form von kleinen Holzkohlepartikeln und Schillbruch von Muschelschalen vorhanden. Ab einer Teufe von 10,71 m nimmt der Anteil an Schill zu, dessen Bruchstücke eine Größe bis 1 cm erreichen. Abgesehen von der farblichen Stratifizierung ist keine andere interne Struktur erkennbar.

Bei 10,42 m markiert eine scharfe Grenze den Beginn des nächsten Horizontes, eines mindestens 2 cm mächtigen schwarzbraunen Schluffes plastischer Konsistenz, der schwach horizontal stratifiziert ist. Seine Obergrenze wurde durch die zweite Kernung nicht mit aufge-



schlossen, da der Bohrkernabschnitt von 9,75—10,40 m nicht doppelt gekernt wurde. Im ersten Bohrkern wurde dieser Horizont nicht angetroffen, weswegen seine Mächtigkeit die angetroffenen 2 cm nicht weit überschreiten wird.

Über diesem Schluff folgt ein etwa 3 m mächtiger sandiger Profilabschnitt, der durch eine kontinuierliche Korngrößenabnahme gekennzeichnet ist, wobei die einzelnen Übergänge fließend sind. Im unteren Bereich ist in einer Teufe von etwa 8,72—10,40 m ein bunter schluffig, kiesiger Sand vorhanden (HDS 935, HDS 934). Bei den kantengerundeten bis gerundeten Bestandteilen handelt es sich um Quarze, Feldspäte und granitoide Fragmente. Vereinzelt sind in den basalen Bereichen kleine Schillbruchstücke anzutreffen. Eine Stratifizierung ist nicht erkennbar. Die Gerölle erreichen eine Größe bis 5 mm. Im Teufenbereich von 9,15—9,24 m sind außerdem bis 2 mm große Ziegelbruchstücke vorhanden.

Von 8,68—8,72 m ist ein bunter Feinsand mit bis zu 2 mm großen Ziegelbröckchen eingeschaltet. Darüber folgen etwa 80 cm (7,88—8,86 m) eines bunten Mittelsandes der vorwiegend aus gerundeten bis kantengerundeten Quarzen und Feldspäten besteht. Vereinzelt sind Gerölle bis zu einer Größe von 5 mm vorhanden. Im Bereich zwischen 8,50—8,68 m sind wiederum Ziegelbruchstücke anzutreffen. Außerdem war ein Ziegel/Keramikbruchstück von etwa 2 cm Größe vorhanden. Zwischen 8,00—8,50 m lag Kernverlust vor. Da bei der ersten Bohrung im Teufenbereich von 7,80—8,00 m ein bunter Mittelsand angetroffen wurde, kann für den Profilbereich des Kernverlustes ein Mittelsand angenommen werden.

Ab einer Teufe von 7,90 m wurde ein 30 cm mächtiger hellorangebrauner, plastischer, schluffiger Feinsand angetroffen, der ebenfalls keine Stratifizierung aufweist (7,60—7,90 m, HDS 933). Neben z.T. mit kalkiger Matrix verbackenen kantengerundeten bis gerundeten Quarzen und Feldspäten kommen auch Glimmer und Holzkohlepartikel vor. Über diesem Feinsand beginnt erneut ein fein-aufwärts-Zyklus, der mit einem 5 cm mächtigen hellbraunen kiesigen Mittelsand beginnt (7,55—7,60 m) und über einen Feinsand, der Muschelschalen enthält, allmählich in einen dunkelbraunen sandigen Schluff plastischer Konsistenz übergeht (5,80—7,55 m, HDS 932). Interne Strukturen sind nicht erkennbar. Hauptbestandteile sind kantige bis kantengerundete Quarze, Feldspäte und Kalkbröckchen. Außerdem sind kleine fragliche Knochensplitter sowie Muschel- und Schneckenschalenreste vorhanden. Zwischen 5,73—5,80 m steht ein brauner, sandig-kiesiger Schluff bis Feinsand an, der neben kantengerundeten bis gerundeten Quarzen, Feldspäten und Serpentinbröckchen auch einen hohen Anteil an kantengerundeten Ziegel/Keramikfragmenten und Holzkohleresten enthält (HDS 931). Außerdem sind Schalenbruchstücke von Muscheln und Schnecken vorhanden.

Über diesem Horizont folgt bis zu einer Teufe von 5,41 m ein strukturloser schwarzbrauner kiesiger Schluff bis Sand (HDS 930). Der kiesige Anteil besteht aus einem hohen Anteil an Ziegel/Keramikbruchstücken, Holzkohleresten und Knochensplittern bis zu einer Größe von 2 cm. Den Hauptmineralbestand bilden kantengerundete bis gerundete Quarze und Feldspäte. Außerdem sind vollständig erhaltene Schneckenschalen sowie Schalenbruchstücke vorhanden. Während die Grenze zum liegenden Horizont durch einen allmählichen Farbwechsel zwischen 5,70 m und 5,80 m von schwarzbraun zu gelblichbraun gekennzeichnet ist, wird die Begrenzung zum hangenden Horizont von einer scharfen Grenze bei 5,41 m markiert.

Im Teufenbereich von 5,10—5,41 m befindet sich ein hellbrauner kiesiger Sand, der ebenfalls einen hohen Anteil an Ziegel/Keramikfragmenten im Größenbereich von mm bis zu 1 cm enthält, deren Anteil in den letzten 5 cm des Horizontes zunimmt. Über diesem Horizont folgt von 4,26—5,10 m ein schluffig kiesiger Sand braungrünlicher Farbe (HDS 929). Hauptbestandteile sind kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und granitoide Fragmente. Untergeordnet treten Serpentin- und Kalkbröckchen auf. Den kiesigen Anteil bilden vor allem Ziegel/Keramikbruchstücke, die kantengerundet sind. Ab einer Teufe von 4,50 m sind

Schalenbruchstücke von Schnecken anzutreffen. Eine interne Struktur ist im Horizont nicht zu erkennen.

Es folgt im Teufenbereich von 3,92—4,26 m ein strukturloser dunkelbrauner Schluff bis Feinsand, der einen hohen Anteil an kantengerundeten Ziegel/Keramikbruchstücken bis zu einer Größe von 1,5 cm sowie Holzkohlereste enthält. Vereinzelt sind auch bis 5 mm große Kalkbröckchen vorhanden. In den folgenden 26 cm ist ein hellbrauner reiner Sand aufgeschlossen, dessen Hauptbestandteile kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und Kalkbröckchen sind (3,66—3,92 m, HDS 928). Daneben treten kantengerundete Ziegel/Keramikbröckchen, Holzkohlepartikel und Knochensplitter auf. Außerdem wurden bis 2 mm große Quarzkristalle angetroffen. Eine interne Struktur des Horizontes ist nicht erkennbar. Über diesem Horizont folgt in einer Teufe von 3,49—3,66 m ein strukturloser hellbrauner Grobschluff bis Grobsand (HDS 927). Neben kantengerundeten bis gerundeten Quarzen, Feldspäten und granitoiden Fragmenten sind untergeordnet Kalkbröckchen vorhanden. Die folgenden 39 cm (3,27—3,49 m) werden von einem homogenen hellbraunen Schluff plastischer Konsistenz gebildet, der einen geringen Anteil an organischem Material in Form von kleinen Holzkohlepartikeln enthält. Der folgende bis in eine Teufe von 2,16 m reichende Horizont ist ein rötlichbrauner Schluff bis Mittelsand (HDS 926). Seine Hauptbestandteile sind kantig bis kantengerundet und bestehen aus Quarz, Feldspat und granitoiden Fragmenten. Daneben treten Muskovit, Kalkbröckchen, Ziegelbröckchen und Holzkohlereste auf. In den oberen 7 cm wechselt die Farbe zu dunkelbraun und der Anteil an Holzkohlepartikeln nimmt zu. Eine interne Struktur ist nicht zu erkennen. Durch eine Korngrößenzunahme wird die obere Grenze des Horizontes bei 2,16 m markiert.

In den folgenden 56 cm ist ein strukturloser hellbrauner tonig-schluffiger Fein- bis Mittelsand aufgeschlossen, der durchwurzelt ist (1,60—2,16 m, HDS 925, HDS 937). Hauptbestandteile sind kantengerundete bis gerundete Quarze, Feldspäte und granitoide Fragmente, die teilweise mit kalkigem Material verbacken sind. Untergeordnet treten Glimmer und Holzkohlereste auf. Bis in eine Teufe von etwa 1 m steht ein hellbrauner feinsandiger Schluff, plastischer Konsistenz an. Neben den kantengerundeten bis gerundeten Hauptbestandteilen Quarz und Feldspat sind Glimmer und Holzkohlereste vorhanden. Darüber folgt bis zur Geländeoberkante dunkelbraungraue, schluffig bis feinsandige Bodenkrume.

Ab einer Teufe von etwa 1,50 m waren die Sedimente feucht, im Teufenbereich zwischen 8,50—10,40 m naß. Der Grundwasserspiegel stand nach dem Bohren bei 2,9 m unter der Geländeoberkante.

#### **5.2.2.5 Bohrung Çıplak**

Koordinaten (UTM WGS 84): 35 434640 E  
4422573 N

Endteufe: 7,3 m

Nach den Geländeaufnahmen von KAYAN und KADEREIT (unpublizierte Feldbucheintragen) ergibt sich folgender Profilaufbau: An der Basis (6,75—7,30 m) bestehen die Sedimente dieses Bohrkerns aus einem braunen, weiß-gelb-grau gefleckten Schluff, der einige Gerölle bis zu einer Größe von 1 cm enthält. Bis zu einer Teufe von 5,90 m erfolgt ein allmählicher Farbübergang zu hellbraun. Ein Fein- bis Mittelsand geht in einen Schluff steifer Konsistenz über.

Die Teufe 5,90 m ist durch eine scharfe Grenze gekennzeichnet, markiert durch einen abrupten Farbwechsel zu rostbraun. Zum Hangenden hin erfolgt innerhalb des nächsten 90 cm mächtigen Horizontes (5,00—5,90 m) erneut ein kontinuierlicher Farbwechsel zu dunkel-

braun. Abgelagert ist ein Schluff halbfester Konsistenz. Darüber folgen 1 m eines homogenen braunen harten Schluffs (4,00—5,00 m).

Eine klare Grenze bei einer Teufe von 4,00 m markiert den Beginn eines neuen Horizontes (3,30—4,00 m). Dieser Horizont besteht aus einer Wechsellagerung hell- und dunkelbrauner Schluffe. Die Schlufflagen an der Basis enthalten eine sandige Komponente und wurden kompaktiert. In einer Teufe von 2,40—3,30 m wurde ein dunkel gefärbter sandiger Schluff, weicher Konsistenz, der Holzkohlestücke und Keramikbruchstücke enthält, aufgeschlossen. Nach einer deutlichen Grenze bei 2,40 m folgt ein hellolivfarbener mittelsandiger Schluff, der an seiner Basis laminierte sandigere Lagen aufweist und ebenfalls kleine Keramikbruchstücke enthält (1,70—2,40 m). Zum Hangenden hin geht dieser Schluff über einen hellbraunen Mittelsand zu einem dunkelbraunen Fein- bis Mittelsand über (1,00—1,70 m).

Bei einer Teufe von etwa 0,60—1,00 m ist ein dunkelbrauner feinsandiger Horizont eingeschaltet, der Keramikfragmente und Holzkohlestückchen enthält. Bis zur Geländeoberkante wurde brauner trockener Boden angetroffen.

Eine Beschreibung und die sedimentologischen Untersuchungen im Labor ergaben für die in Tab. 1 aufgezählten doppelt gekernten Bohrkernabschnitte folgende Profilbeschreibung:

Profilabschnitt 6,30—6,40 m: Dieser Profilabschnitt beinhaltet 10 cm eines hellorangebraunen strukturlosen schluffigen Feinsandes (HDS 753). Bei den kantengerundeten bis gerundeten Hauptbestandteilen handelt es sich um Quarz, Feldspat und granitoide Fragmente. Daneben treten vereinzelt Holzkohlereste und bis 2 mm große Kalkbröckchen auf.

Profilabschnitt 5,50—6,00 m: Im liegenden Bereich dieses Bohrkernabschnitts sind bis zu einer Teufe von 5,82 cm 18 cm eines hellorangebraunen feinsandigen Kiesel aufgeschlossen, der bis 1,50 cm große Gerölle eines granitoiden Materials enthält. Auffallend ist auch ein hoher Anteil an bis zu 3 mm großen Kalkbröckchen. Eine Struktur ist nicht erkennbar, die vorwiegend aus Quarz und Feldspat bestehenden Bestandteile sowie die Gerölle sind kantengerundet bis gerundet. Über diesem Horizont sind 32 cm (5,50—5,82 m) eines hellorangebraunen Schluffs bis Feinsandes aufgeschlossen (HDS 752), der keinerlei interne Strukturen erkennen lässt. Hauptbestandteil ist Quarz, untergeordnet treten Feldspat und granitoide Fragmente sowie vereinzelt Kalkbröckchen auf, deren Anteil in den unteren 14 cm des Horizontes leicht zunimmt. Alle Bestandteile sind kantengerundet.

Profilabschnitt 3,50—4,00 m: Dieser Profilabschnitt schließt im unteren Bereich 16 cm eines graubraunen Schluffs bis Feinsandes auf, der einen geringen Anteil an organischem Material und Kalkbröckchen enthält (3,84—4,00 m). Darüber folgt ein 7 cm mächtiger graubrauner Fein- bis Mittelsand (3,77—3,84 m) mit vereinzelt kleinen bis 3 mm großen Kalkbröckchen, der wie der vorhergehende Horizont ebenfalls keine internen Strukturen erkennen lässt. Im oberen Bereich dieses Bohrkernabschnitts sind 27 cm eines strukturlosen graubraunen Schluffs bis Feinsandes aufgeschlossen (3,50—3,77 m, HDS 751). Neben Quarz und Feldspat ist ein hoher Anteil an Kalkbröckchen vorhanden. Meist sind die Bestandteile lediglich kantengerundet. Erst in der Kornfraktion > 1 mm treten auch gerundete Körner auf. Einige wenige Schalenbruchstücke von Muscheln und Schnecken wurden ebenfalls angetroffen.

Profilabschnitt 2,50—3,10 m: Im unteren Bereich dieses Bohrkernabschnitts sind 20 cm eines graubraunen schluffigen Sandes aufgeschlossen (2,90—3,10 m), der bis 5 mm große Holzkohlereste enthält und keine internen Strukturen erkennen lässt. Darüber folgen mindestens 40 cm eines dunkelgraubraunen schluffigen, kiesigen Sandes (2,50—2,90 m, HDS 750). Bei der kiesigen Komponente handelt es sich um kantengerundete Ziegelbröckchen. Auch in den anderen Kornfraktionen ist ein hoher Anteil an Ziegelbröckchen vorhanden. Hauptbestandteil dieses Sediments bilden kantengerundete bis gerundete Quarze und Feldspäte. Untergeordnet treten Kalkbröckchen auf. Daneben ist in diesem Horizont ein vergleichsweise hoher Anteil

an Bruchstücken von nicht näher bestimmten Schneckenschalen vorhanden. Eine interne Struktur ist in diesem Horizont nicht zu erkennen.

Profilabschnitt 1,70—2,30 m: Dieser Bohrkernabschnitt schließt im unteren Bereich 8 cm eines dunkelbraunen Horizontes auf (2,22—2,30 m), der im wesentlichen aus bis 7 mm großen Ziegelbruchstücken und bis 1 cm großen Kalkbröckchen in einer schluffig bis feinsandigen Matrix besteht. Bis in eine Teufe von 2,15 m ist ein hellbrauner Schluff bis Feinsand aufgeschlossen, der organisches Material enthält. Die folgenden 6 cm bilden einen Übergangsbereich (2,09—2,15 m). Es erfolgt ein kontinuierlicher Farbwechsel zu hellgraubraun und eine allmähliche Korngrößenzunahme. Zwischen 1,82 m und 2,09 m ist ein schluffig kiesiger Sand aufgeschlossen (HDS 749). Hauptbestandteile sind Quarz und Feldspat sowie untergeordnet Kalkbröckchen und granitoide Fragmente. Alle kiesigen Bestandteile sind scharfkantig und nur z.T. kantengerundet. Erst unterhalb einer Korngröße von 2 mm treten neben kantengerundeten auch gerundete Körner auf. Vereinzelt sind Schalenreste vorhanden. Eine interne Struktur des Horizontes ist nicht erkennbar. Darüber folgt eine 2 cm mächtige hellgraubraune Schlufflage, die in Richtung des Hangenden mit einem dunkelbraunen Mittel- bis Grobsand verzahnt ist (1,80—1,82 m). Dieser Horizont hat eine Mächtigkeit von mindestens 10 cm (1,70—1,80 m) und läßt wie der vorhergehende keine internen Strukturen erkennen.

Alle Horizonte der doppelt gekernten Bohrkernabschnitte waren zum Zeitpunkt der sedimentologischen Beschreibung im Labor leicht feucht. Der Grundwasserspiegel stand nach Abschluß der Bohrung bei 2,40 m unter der Geländeoberkante.

### **5.3 Geochemie**

#### **5.3.1 Röntgenfluoreszenzanalyse**

##### **5.3.1.1 Statistische Auswertung**

###### **Einleitung**

Um zum einen die Signifikanz der Werte aus der Röntgenfluoreszenzanalyse zu überprüfen, und zum anderen Abhängigkeiten, Korrelationen und Verteilungen und damit Ähnlichkeiten, Unterschiede, Schwankungen und Trends in der geochemischen Zusammensetzung der Sedimente zu erkennen, wurden verschiedene statistische Verfahren angewandt, deren Ergebnisse in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Zunächst wird dabei ein allgemeiner Überblick und Vergleich der Massengehalte der analysierten Elemente vorgenommen sowie ein Vergleich der jeweiligen Massengehalten in den Bohrungen. Dabei wird auf die statistischen Parameter Maximal-, Minimal-, Mittelwert und die einfache Standardabweichung eingegangen. Im Anschluß daran erfolgt die Beschreibung der Ergebnisse der Korrelations-, der hierarchischen Cluster- und der Hauptfaktorenanalyse.

###### **Hauptelemente**

Abb. 22 und Tab. 9 geben einen Überblick über die gemessenen Massengehalte (im Weiteren: Gehalte) der Hauptelemente in den vier Bohrungen. Alle Elemente lassen sich in drei Häufigkeitsgruppen unterteilen:

- Massengehalte über 5 %: →  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{CaO}$ ,
- Massengehalte von 1 % —5 %: →  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ ,
- Massengehalte unter 1 %: →  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Wie aus der statistischen Auswertung aller Meßwerte (Tab. 9, statistische Auswertung für jede Bohrung einzeln siehe Tab. 28 bis Tab. 31 in Anhang C I) ersichtlich wird, zeigen die Gehalte an  $\text{SiO}_2$ , die zwischen 43—76 % schwanken, die Gehalte an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , die zwischen 4—

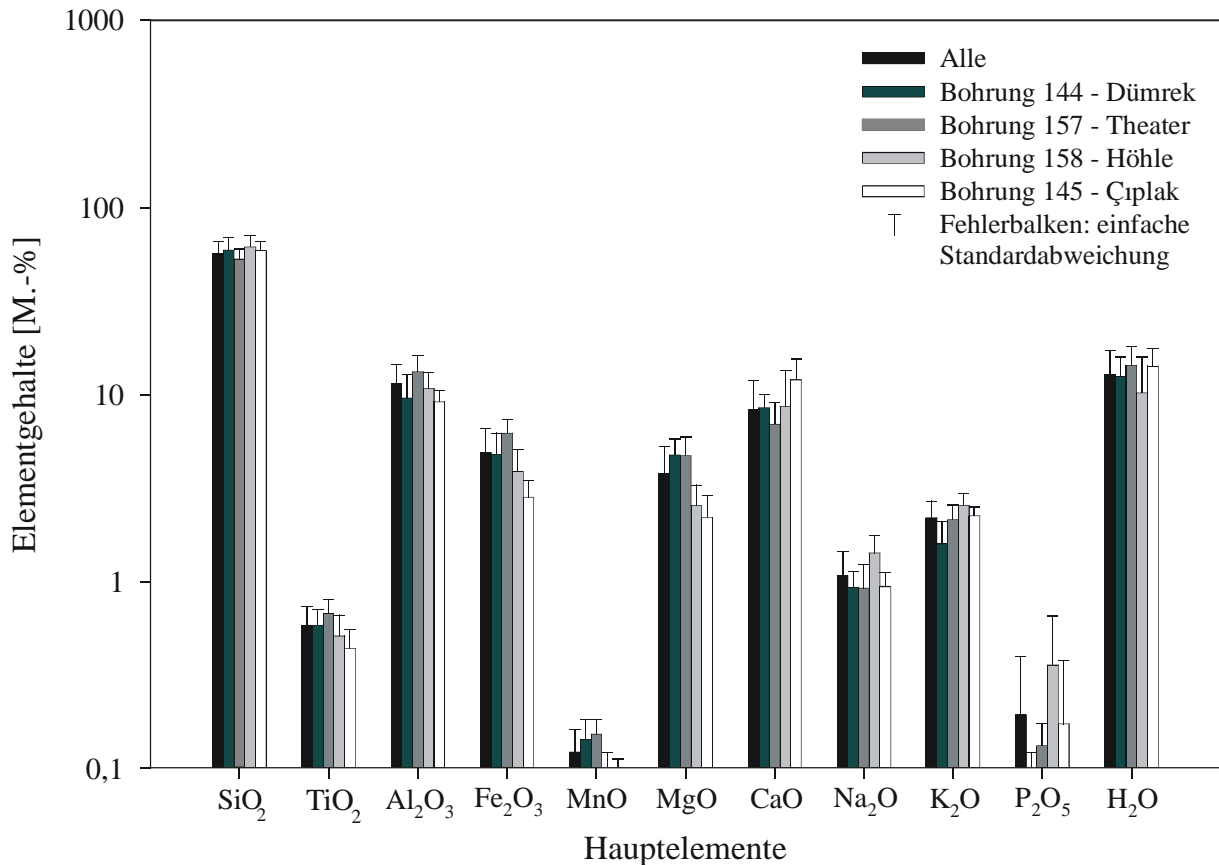


Abb. 22: Mittlere Hauptelementgehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen nach Tab. 9.

17 % liegen und die Gehalte an CaO, die Werte zwischen 3—16 % besitzen, nennenswerte Abweichungen vom angegebenen Mittelwert. Eine geringe Abweichung vom Mittelwert besteht bei den Gehalten von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und MgO. Trotz der vergleichsweise geringen Standardabweichung fällt auf, daß die Gehalte von P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in den Sedimenten der vier Bohrungen extrem schwanken. In den Sedimenten der Bohrung Höhle ist signifikant mehr P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> enthalten als in denen der anderen drei Bohrungen, wobei der Gehalt in Bohrung Çıplak ebenfalls erhöht ist. Alle anderen Hauptelementgehalte schwanken nur geringfügig.

Tab. 9: Statistische Auswertung der Hauptelementgehalte aller vier Bohrungen (*n*: Anzahl der Proben, Min: Miniamlwert, Max: Maximalwert, *s*: Standardabweichung).

Element	<i>n</i>	Alle Bohrungen				
		Mittelwert [M.-%]	Median [M.-%]	Min [M.-%]	Max [M.-%]	<i>s</i>
Ba	40	55,57	53,91	43,17	76,35	8,57
Cr	40	0,57	0,61	0,26	0,82	0,15
Nb	40	11,14	11,65	3,76	16,88	3,00
Ni	40	4,77	4,91	1,80	7,75	1,65
Rb	40	0,12	0,12	0,06	0,22	0,04
Sr	40	3,67	3,53	1,34	6,88	1,47
V	40	8,12	7,76	2,65	15,61	3,45
Y	40	1,05	1,01	0,47	1,96	0,36
Zn	40	2,14	2,20	0,60	3,88	0,50
Zr	40	0,19	0,13	0,04	0,90	0,20

## Nebenelemente

Abb. 23 und Tab. 10 zeigen einen Überblick über die Massengehalte der analysierten Nebenelemente in den vier Bohrungen. Ausgehend von den Durchschnittsgehalten der Elemente aller vier Bohrungen lassen sich diese wiederum in drei Häufigkeitsgruppen einteilen:

- Massengehalte über 500  $\mu\text{g/g}$ :  $\rightarrow$  Ba,
- Massengehalte von 150  $\mu\text{g/g}$  bis 300  $\mu\text{g/g}$ :  $\rightarrow$  Cr, Ni, Sr und Zr,
- Massengehalte unter 100  $\mu\text{g/g}$ :  $\rightarrow$  Nb, Rb, V, Y und Zn.

Werden die Durchschnittsgehalten der Elemente in den einzelnen Bohrungen betrachtet (siehe Tab. 28 bis Tab. 31 in Anhang C I), fällt die extreme Schwankungsbreite der Analysenwerte aller Bohrungen auf. Deutlich wird dies durch die hohen Standardabweichungen (Tab. 10).

Abgesehen von den Elementen Nb und Y liegen signifikante Abweichungen der Elementgehalte vom angegebenen Mittelwert vor. Besonders groß sind die Schwankungen der Gehalte von Ba, Cr, Ni und Sr, die im Fall von Ba und Cr etwa 700  $\mu\text{g/g}$  und im Fall von Ni und Sr etwa 400  $\mu\text{g/g}$  betragen.

## Vergleich der Elementgehalte in den Bohrungen

Um die Gruppierung der Proben innerhalb der Bohrungen besser zu veranschaulichen, wurden die Ergebnisse der RFA normiert und die Elemente in Spiderdiagrammen dargestellt (Abb. 24 und Abb. 25). Zur Normierung wurde Probe R6 aus der Arbeit von KNACKE-LOY (1994) verwendet, da es sich bei dieser Probe um einen neogenen Tonmergel (bei Akköy) handelt, der keine Ähnlichkeiten mit den in dieser Arbeit untersuchten Proben aufweist. Die Analysenergebnisse der Probe R6 sind in Tab. 24 und Tab. 26 in Anhang C I zu finden. Vergleicht man die Elementgehalte in den Sedimenten der Bohrungen untereinander, fallen signifikante Unterschiede auf. Dabei ist zunächst augenfällig, daß jeweils die Bohrungen

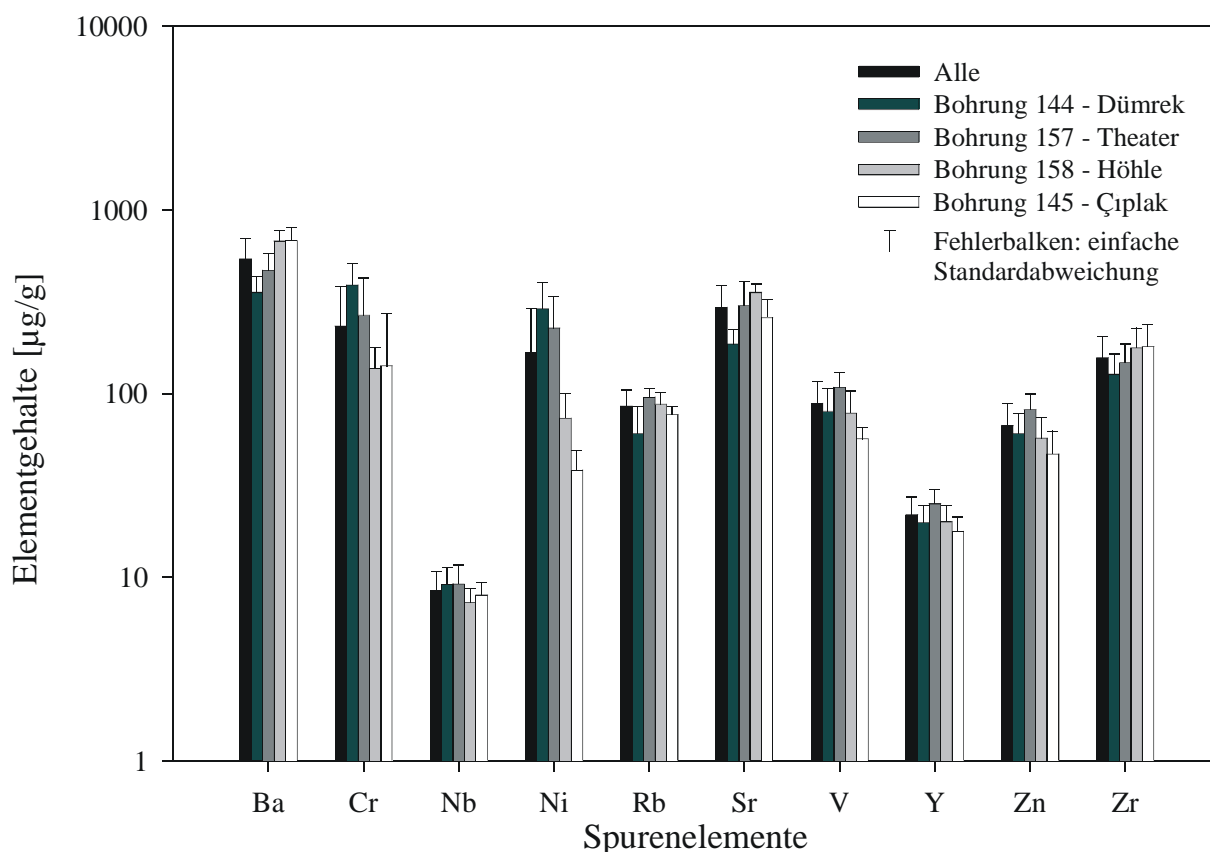


Abb. 23: Mittlere Nebenelementgehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen nach Tab. 10.

Tab. 10: Statistische Auswertung der Nebenelementgehalte aller vier Bohrungen (*n*: Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, *s*: Standardabweichung).

Element	<i>n</i>	Alle Bohrungen				<i>s</i>
		Mittelwert [µg/g]	Median [µg/g]	Min [µg/g]	Max [µg/g]	
Ba	40	541,5	537	162	870	159,90
Cr	40	233,4	181	67	758	150,11
Nb	40	8,5	8	5	14	2,18
Ni	40	167,1	128	22	472	125,54
Rb	40	85,4	88	35	114	18,88
Sr	40	295,5	298	103	475	95,20
V	40	88,6	89	43	143	28,72
Y	40	22,0	22	10	30	5,30
Zn	40	67,0	69	26	105	21,51
Zr	40	157,7	146	57	263	47,70

Dümrek und Theater sowie Höhle und Çıplak sich ähnlicher in ihrer Elementverteilung sind. Besonders deutlich wird das bei den Gehalten von MgO, Ba, Cr, Ni und Zr. Deutlich ist auch die generelle Sonderstellung der Probe HDS 923 aus Bohrung Theater.

Einen guten Überblick gibt Abb. 27, die zunächst nur auf einen Blick die Gehalte und die teufenabhängige Verteilung aller Elemente und Bohrungen darstellen soll, ohne das die Skalierung eine Rolle spielt. Auch diese Abbildung verdeutlicht, daß Bohrung Dümrek und Theater und Bohrung Höhle und Çıplak jeweils ähnlichere Elementgehalte besitzen. Ebenfalls sehr deutlich wird, daß es keinen generellen Zusammenhang zwischen den Elementgehalten und der Teufe gibt. In allen vier Bohrungen fällt die hohe Schwankungsbreite der Gehalte der einzelnen Elemente über den untersuchten Teufenbereich auf, die bei den Nebenelementen in Bohrung Theater besonders hoch ist (siehe auch Abb. 113 bis Abb. 121 in Anhang C I). Auch in diesen Abbildungen fällt die Sonderstellung der Probe HDS 923 auf.

Vergleicht man die Hauptelementgehalte in den einzelnen Bohrungen untereinander, zeigt sich, daß Bohrung Çıplak meist die geringsten mittleren Gehalte hat. Wesentlich höhere mittlere Gehalte an den Hauptelementen besitzt im allgemeinen Bohrung Theater. SiO<sub>2</sub> weist von den Hauptelementen sowohl die größte Variationsbreite innerhalb der jeweiligen Bohrungen als auch zwischen den Bohrungen auf. Besonders deutlich unterscheiden sich die mittleren Gehalte an P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (alle mittleren Gehalte unter 1 %). In Bohrung Höhle ist der mittlere P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt fast dreimal höher als in den anderen drei Bohrungen, wo er jeweils etwa den selben Wert hat (siehe auch Abb. 22). Besonders deutlich wird der signifikant unterschiedliche P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt in Abb. 24 und Abb. 27. Fünf Proben aus Bohrung Höhle (HDS 928, HDS 929, HDS 930, HDS 931, HDS 932) und eine Probe aus Bohrung Çıplak (HDS 750) enthalten wesentlich mehr P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> als alle anderen Proben. Bemerkenswert ist auch der wesentlich geringere Gehalt an MgO in den Bohrungen Höhle und Çıplak, in denen über 50 % weniger MgO nachgewiesen wurde (Abb. 24, Abb. 27).

Im Gegensatz zu den Hauptelementen sind die Unterschiede in den mittleren Gehalten der Nebenelemente deutlich größer (siehe Tab. 28 bis Tab. 31 in Anhang C I). Besonders Ba, Cr, Ni und Sr zeigen in den mittleren Gehalten eine große Variationsbreite wohingegen Rb, V, Zn und Zr kleinere Variationen aufweisen (Abb. 25, Abb. 27).

Bei Ba betragen die mittleren Gehalte in den Bohrungen Höhle und Çıplak um 690 µg/g, während in Bohrung Dümrek nur ein mittlerer Gehalt von 356 µg/g und in Bohrung Theater von 470 µg/g erreicht wird.

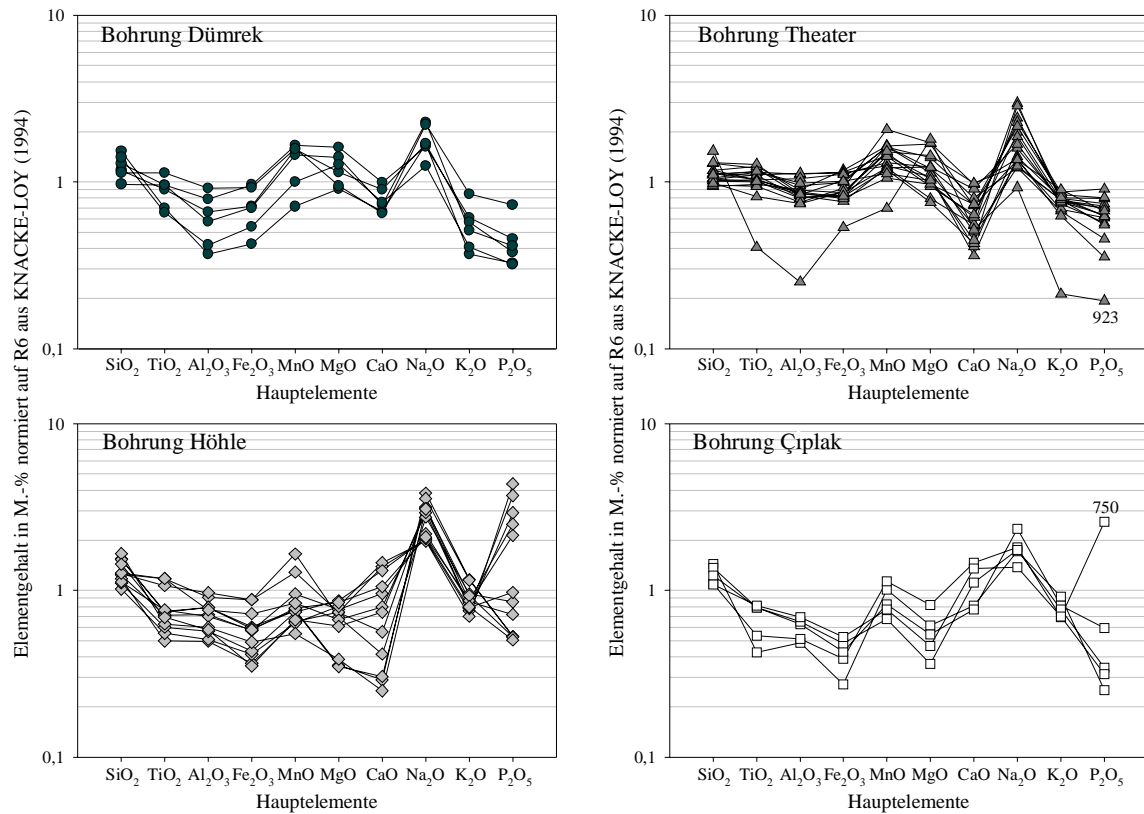


Abb. 24: Spiderdiagramm zur Darstellung der Hauptelementgehalte, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).

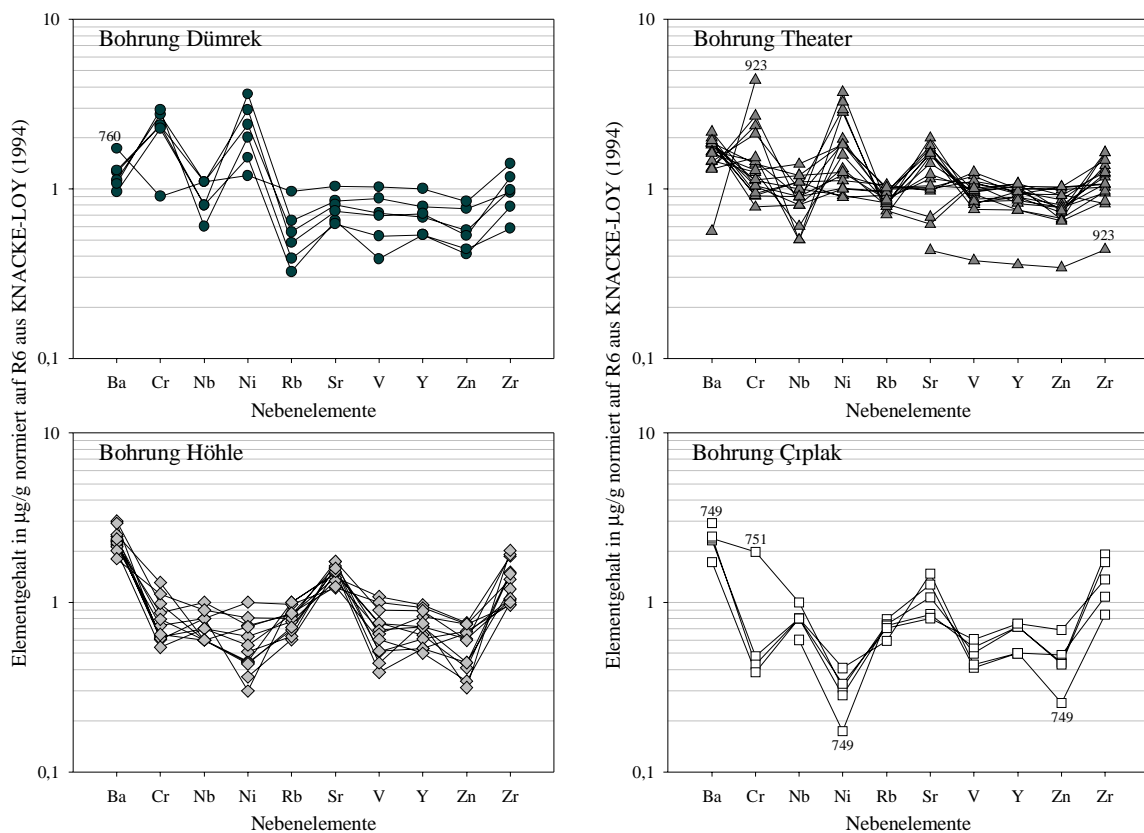


Abb. 25: Verkürztes Spiderdiagramm zur Darstellung der Nebenelementgehalte, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).



Die Cr- und Ni-Gehalte zeigen dagegen ein umgekehrtes Verhalten. Während in Bohrung Dümrek am meisten Cr und Ni enthalten ist (mittlerer Gehalt 391  $\mu\text{g/g}$  Cr, 290  $\mu\text{g/g}$  Ni), ist in den Bohrungen Höhle und Çıplak am wenigsten vorhanden (mittlere Gehalte an Cr um 140  $\mu\text{g/g}$ , Ni: Çıplak 38  $\mu\text{g/g}$ , Höhle 74  $\mu\text{g/g}$ ). Bohrung Theater hat einen mittleren Cr-Gehalt von 268  $\mu\text{g/g}$  und einen mittleren Ni-Gehalt von 228  $\mu\text{g/g}$ . Bei Sr zeigt Bohrung Dümrek den geringsten mittleren Gehalt (186  $\mu\text{g/g}$ ) und Bohrung Höhle den höchsten (357  $\mu\text{g/g}$ ). Bohrung Theater hat einen mittleren Sr-Gehalt von 301  $\mu\text{g/g}$  und Bohrung Çıplak von 260  $\mu\text{g/g}$ . Nb zeigt von allen analysierten Nebenelementen die geringste Variationsbreite. Bohrung Höhle enthält mit 7,3  $\mu\text{g/g}$  den geringsten mittleren Gehalt an Nb, die Werte der anderen drei Bohrungen liegen mit 8,0  $\mu\text{g/g}$  (Bohrung Çıplak) und 9,2  $\mu\text{g/g}$  (Bohrung Dümrek, Theater) nur geringfügig darüber.

Wie Probe HDS 923 scheint Probe HDS 760 aus Bohrung Dümrek ebenfalls eine andere geochemische Zusammensetzung zu besitzen als die restlichen Proben. Abgesehen von Ba sind in Probe HDS 760 die Nebenelemente nur geringfügig mehr angereichert als in der Normierungsprobe R6 (siehe Abb. 25).

Bei genauerer Betrachtung des Spiderdiagramms der Nebenelementgehalte für Bohrung Theater fällt auf, daß sich die Proben in drei Gruppen einteilen lassen, wobei Probe HDS 923 auf Grund ihrer Sonderstellung nicht mit einbezogen wird (Abb. 25, Abb. 26). Kennzeichnend für die Proben der Gruppe 1 sind ein hoher Cr- und Ni-Gehalt und ein geringerer Ba-Gehalt als in den anderen Proben dieser Bohrung. In den Proben der Gruppe 2 sind mit Ausnahme der Cr- und Ni-Gehalte der Proben HDS 911 und HDS 914 und der Ba-Gehalte aller Proben die Elemente bezogen auf die Normierungsprobe jeweils nur geringfügig an- bzw. abgereichert. Besonders auffällig bei den Proben der Gruppe 3 ist die höhere Anreicherung von Sr.

Eine generelle Aussage zu der Höhe der Nebenelemente im Vergleich der einzelnen Bohrungen untereinander ist etwas schwieriger als bei den Hauptelementen. Im allgemeinen enthalten die Sedimente der Bohrungen Dümrek und Çıplak etwas geringere Gehalte an Nebenelementen. Ausnahmen bilden dabei die Cr- und Ni-Gehalte in Bohrung Dümrek und die Ba- und Zr-Gehalte in Bohrung Çıplak, die in diesen Bohrungen am meisten enthalten sind. Bohrung Theater zeigt dagegen die maximalen mittleren Gehalte an Rb, V, Y, und Zn sowie für alle anderen analysierten Nebenelemente erhöhte mittlere Gehalte.

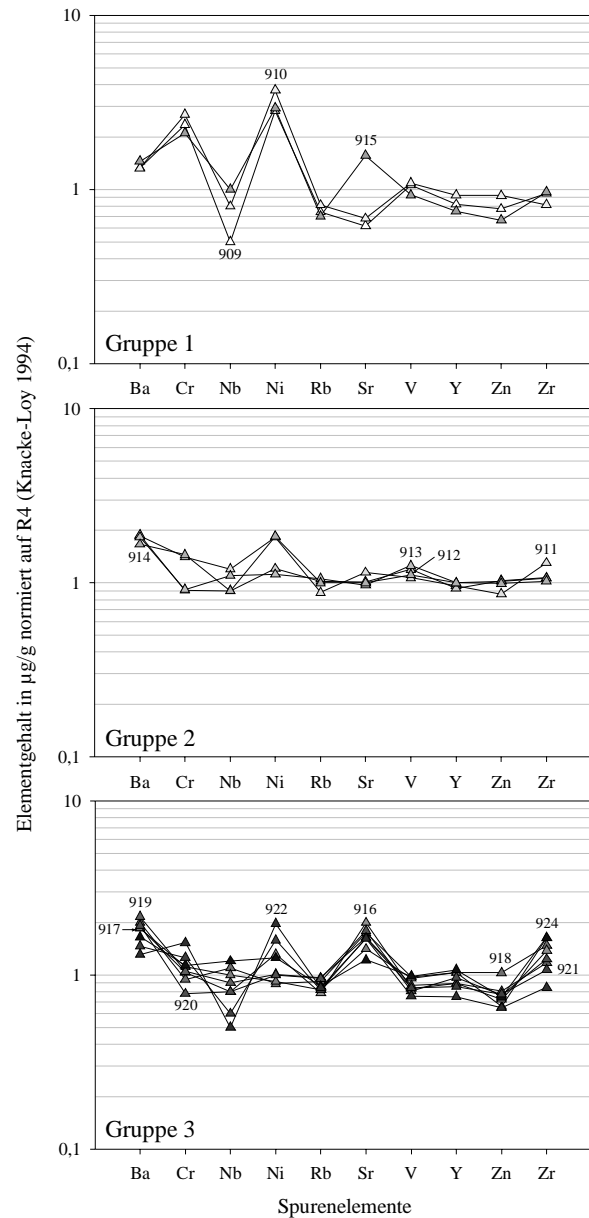


Abb. 26: Verkürzte Spiderdiagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte in den Proben der Bohrung Theater, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).

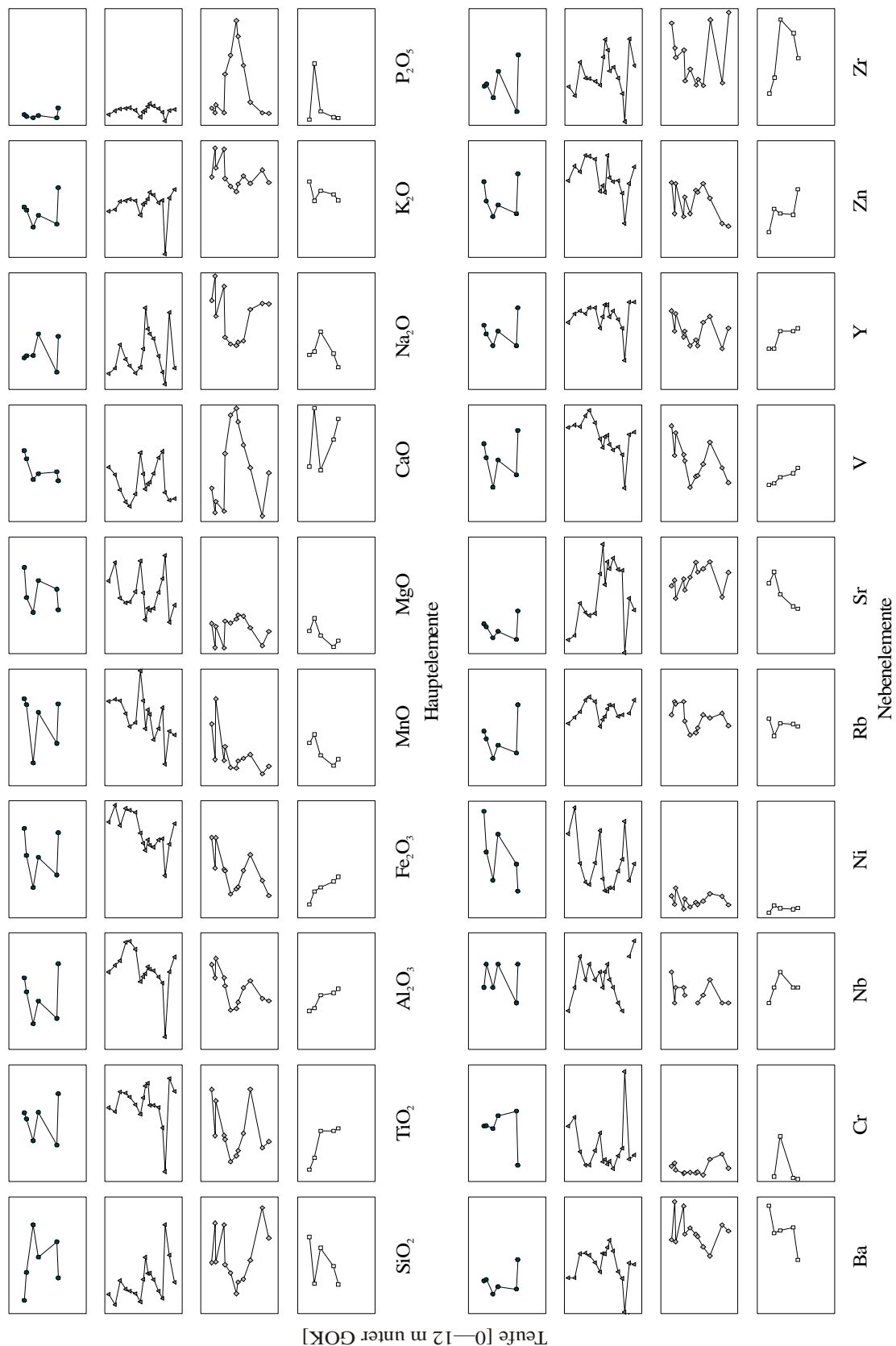


Abb. 27: Darstellung aller analysierten Elementgehalte gegen die Teufe jeweils von Geländeoberkante bis 12 m Tiefe, getrennt nach Bohrungen (erste und fünfte Reihe: Bohrung Dümrek, zweite und sechste Reihe: Bohrung Theater, dritte und siebte Reihe: Bohrung Höhle, vierte und achte Reihe: Bohrung Çıplak, es wurde für ein Element jeweils die gleich Skalierung für die jeweiligen Abbildungen gewählt. Alle Diagramme dieser Abbildung sind mit Skalierung in Abb. 108 bis Abb. 112 in Anhang C I zu finden.).

## Korrelationsanalyse

In die Korrelationsanalyse wurden lediglich die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse und die Ergebnisse der Untersuchung der stabilen Isotope mit einbezogen. Die Ergebnisse der Gammapektrometrie (U, Th) wurden nicht berücksichtigt. Die Korrelation der Elemente zueinander wurde sowohl für eine Analyse innerhalb der einzelnen Bohrungen als auch für eine Analyse zwischen den Bohrungen vorgenommen. Durchgeführt wurde eine lineare Korrelation (Pearson Correlation). Sämtliche Ergebnisse sind in Tab. 33 bis Tab. 37 in Anhang C I zu finden. Die Ergebnissbeschreibung der Korrelationen der stabilen Isotope erfolgt in Kapitel 5.3.2.1.

### $\text{SiO}_2$

Hinsichtlich der Korrelationen von  $\text{SiO}_2$  mit anderen Elementen besteht zwischen den Bohrungen Dümrek und Theater sowie Höhle und Çıplak ein Zusammenhang.  $\text{SiO}_2$  korreliert in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater negativ mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{MnO}$ , während in den Sedimenten der Bohrung Höhle keine derartigen Korrelationen bestehen, weisen die Sedimente der Bohrung Çıplak lediglich eine geringe negative Abhängigkeit von  $\text{SiO}_2$  zu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  auf. Auffallend sind die hochsignifikanten Korrelationen von  $\text{SiO}_2$  mit  $\text{MgO}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$  die nur in den Sedimenten der Bohrung Höhle vorhanden sind. Es besteht weder eine teufenabhängige Korrelation des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes in den einzelnen Bohrungen noch eine Korrelation zwischen den Bohrungen.

### $\text{TiO}_2$

Auch die Korrelationen von  $\text{TiO}_2$  mit den anderen Elementen lassen einen Zusammenhang zwischen den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater erkennen (Tab. 15). Während bei diesen beiden Bohrungen zwischen  $\text{TiO}_2$  und fast allen anderen Elementen Korrelationen oder Abhängigkeiten bestehen, korreliert  $\text{TiO}_2$  in den Sedimenten der Bohrung Çıplak nur mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , V und Y. In den Sedimenten der Bohrung Höhle besteht zusätzlich zu den eben genannten eine Korrelation zu  $\text{MnO}$ , Nb, Ni und Zr. In den Sedimenten aller vier Bohrungen ist eine positive signifikante bzw. hochsignifikante Korrelation zwischen  $\text{TiO}_2$  und V und Y vorhanden, abgesehen von der schwach signifikanten Korrelation von  $\text{TiO}_2$  zu V in Bohrung Çıplak. Eine teufenabhängige Korrelation besteht nicht.

### $\text{Al}_2\text{O}_3$

Wiederum zeigen die Sedimente der Bohrungen Dümrek und Theater ein ähnliches Verhalten. Mit Ausnahme von  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ , Sr und Zr, die ein geringfügig anderes Verhalten zeigen, korreliert Cr negativ und alle anderen Elemente positiv mit den  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalten. Wie bei  $\text{TiO}_2$  besteht zwischen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und V sowie Y in den Sedimenten aller Bohrungen eine positiv signifikante bzw. hochsignifikante Korrelation. Lediglich in den Sedimenten der Bohrung Höhle besteht eine negative schwach signifikante Korrelation mit der Teufe.

### $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Neben den Korrelation zu den Hauptelementen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  besteht lediglich in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Höhle eine weitere Korrelation: positiv signifikante bzw. hochsignifikante Korrelationen zu  $\text{MnO}$ . Interessant ist die fehlende Korrelation zu Cr und die nur in Bohrung Höhle vorhandene Korrelation zu Ni. Wie vorher korrelieren die Gehalte von V und Y in den Sedimenten aller Bohrungen mit denen von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Eine Korrelation einzelner Horizonte der vier Bohrungen über den  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt in Abhängigkeit von der Teufe ist nicht möglich, es besteht aber in den Sedimenten der Bohrung Theater eine positive

signifikante Korrelation und in den der Bohrung Çıplak eine negative schwach signifikante Korrelation zwischen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und der Teufe.

### MnO

Abgesehen von den Korrelationen mit  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gibt es in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Höhle keine weiteren Korrelationen mit Hauptelementen. Die MnO-Gehalte in den Sedimenten der Bohrung Theater korrelieren positiv schwach signifikant mit den CaO-Gehalten und in Bohrung Çıplak positiv signifikant mit den MgO-Gehalten. In den Sedimenten aller Bohrungen bestehen mit einigen wenigen Ausnahmen keine Korrelationen bzw. nur Abhängigkeiten zu den MnO-Gehalten. Eine negative schwach signifikante teufenabhängige Korrelation von MnO besteht nur in den Sedimenten der Bohrung Höhle.

### MgO

Auffällig ist, daß MgO in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Çıplak lediglich zwei signifikante Korrelationen mit anderen Elementen aufweist (Bohrung Dümrek: Ni, Bohrung Çıplak: MnO), während in den Sedimenten der Bohrungen Theater und Höhle zu mehreren anderen Elementen (Bohrung Theater:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba, Cr, Ni, Y, Zr; Bohrung Höhle:  $\text{SiO}_2$ , CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba, Zn) fast ausschließlich signifikante bzw. hochsignifikante Korrelationen bestehen. Auch über den MgO-Gehalt läßt sich keine teufenabhängige Korrelation einzelner Horizonte der vier Bohrungen durchführen.

### CaO

Höher signifikante Korrelationen von CaO sind mit wenigen Ausnahmen ( $\text{SiO}_2$  in Bohrung Çıplak, Nb und Rb in Bohrung Theater) lediglich in den Sedimenten der Bohrung Höhle mit MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  vorhanden. Eine teufenabhängige Korrelation über den CaO-Gehalt ist zwischen den Bohrungen nicht möglich.

### $\text{Na}_2\text{O}$

Neben den bereits besprochenen Korrelationen von  $\text{Na}_2\text{O}$  sind weitere hochsignifikante Korrelationen von  $\text{Na}_2\text{O}$  in den Sedimenten der Bohrung Theater mit Zr und Höhle mit  $\text{P}_2\text{O}_5$  zu verzeichnen. In den Sedimenten der Bohrung Çıplak sind lediglich positive Abhängigkeiten des  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehaltes mit den Gehalten von Cr und Nb vorhanden. Auch die Sedimente der Bohrung Dümrek zeigen abgesehen von einer positiven schwach signifikanten Korrelation von  $\text{Na}_2\text{O}$  zu Nb und Zr nur positive Abhängigkeiten ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Y). Auch über die Verteilung von  $\text{Na}_2\text{O}$  in den Sedimenten ist keine teufenabhängige Korrelation zwischen den Bohrungen möglich.

### $\text{K}_2\text{O}$

Die Korrelationen von  $\text{K}_2\text{O}$  verdeutlichen wieder einen Zusammenhang zwischen den Sedimenten der Bohrung Dümrek und der Bohrung Theater. Abgesehen von der hochsignifikanten Korrelation von  $\text{K}_2\text{O}$  mit MgO und der signifikanten mit Ni in den Sedimenten der Bohrung Theater im Gegensatz zu keiner Korrelation in den Sedimenten der Bohrung Dümrek zeigen die Korrelationen eine Übereinstimmung bzw. die selbe Tendenz. In den Sedimenten der Bohrung Çıplak sind fast nur schwach signifikante Korrelationen bzw. Abhängigkeiten von  $\text{K}_2\text{O}$  mit anderen Elementen vorhanden. Eine teufenabhängige Korrelation zwischen den Bohrungen auf Grund des  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehaltes ist nicht erkennbar.

*P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*

Neben den bereits erwähnten Korrelationen zu den Hauptelementen bestehen zu den Nebenelementen hochsignifikante Korrelationen der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalte nur in den Sedimenten der Bohrung Theater mit Ba, Cr, Ni und Y. Auffallend ist, daß in den Sedimenten der Bohrung Çıplak, neben wenigen Abhängigkeiten, lediglich eine negative schwach signifikante Korrelation zu Rb besteht. Eine teufenabhängige Korrelation zwischen den einzelnen Horizonten der Bohrungen ist nicht möglich.

*Ba*

Abgesehen von der negativen hochsignifikanten Korrelation von Ba zu Zn in den Sedimenten der Bohrung Çıplak und einer negativen schwach signifikanten Korrelation von Ba zu Ni und Zn in den Sedimenten der Bohrung Höhle bestehen in den Sedimenten dieser Bohrungen keine weiteren Korrelationen zu Nebenelementen. In den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater lassen die Korrelationen von Ba mit den Nebenelementen wieder einen Zusammenhang erkennen. Abgesehen von Ni, zeigen diese Korrelationen die selben Tendenzen. Eine Korrelation zwischen den Horizonten der einzelnen Bohrungen auf Grund der Verteilung der Ba-Gehalte mit zunehmender Teufe ist nicht möglich.

*Cr*

In den Sedimenten der Bohrung Dümrek korreliert Cr ausschließlich negativ schwach signifikant. Hochsignifikante Korrelationen von Cr sind nur in den Sedimenten der Bohrung Theater vorhanden. Auch diese Korrelationen sind fast ausschließlich negativ. In den Sedimenten der Bohrung Höhle korreliert der Cr-Gehalt lediglich mit dem SiO<sub>2</sub>-Gehalt. Auch in den Sedimenten der Bohrung Çıplak sind abgesehen von der positiven signifikanten Korrelation von Cr mit Rb keine weiteren vorhanden. Eine Korrelation zwischen den Bohrungen mit Hilfe der Cr-Gehalte ist nicht möglich. Auch eine teufenabhängige Verteilung der Cr-Gehalte ist nicht erkennbar.

*Nb*

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Korrelationen von Nb besteht in den Sedimenten der Bohrungen Theater und Höhle eine zu V und Y, sowie in den Bohrungen Dümrek und Theater eine zu Zr. Teufenabhängige Korrelationen sind weder innerhalb einer Bohrung noch zwischen den einzelnen Bohrungen zu erkennen.

*Ni*

Ni korreliert vor allem in den Sedimenten der Bohrung Theater mit anderen Elementen. Mit einer Ausnahme (MgO) sind alle diese Korrelationen negativ und meist signifikant bzw. hochsignifikant. Abgesehen von den bereits beschriebenen Korrelationen sind in den Sedimenten der anderen drei Bohrungen nur sehr wenig schwach signifikante Korrelationen mit anderen Elementen vorhanden. Teufenabhängige Korrelationen bestehen nicht.

*Rb*

Neben den bereits genannten bestehen die folgenden Korrelationen von Rb: in den Sedimenten der Bohrung Dümrek korreliert Rb mit Sr, V, Y, Zn und Zr immer positiv und vorwiegend signifikant bzw. hochsignifikant. Höher signifikante Korrelationen bestehen in den Sedimenten der anderen Bohrungen nur mit einigen Hauptelementen. Lediglich in Bohrung Theater korreliert Rb positiv schwach signifikant bzw. signifikant mit Y und Zn. Eine Korrelation mit der Teufe ist nicht vorhanden.

### Sr

Sr korreliert vorwiegend in den Sedimenten der Bohrung Dümrek mit anderen Elementen. Während in den Sedimenten den Bohrungen Theater und Çıplak deutlich weniger Elemente mit geringerer Signifikanz mit Sr korrelieren, besteht in den Sedimenten der Bohrung Höhle interessanter Weise lediglich eine Korrelation von Sr zu CaO. Mit Ausnahme der Sedimente der Bohrung Çıplak, deren Sr-Gehalte schwach negativ mit der Teufe korrelieren, gibt es keine weiteren Teufenkorrelationen.

### V

Neben den bereits erwähnten meist hochsignifikanten Korrelationen von V mit den Hauptelementen bestehen mit einer Ausnahme (keine Korrelation von V mit Zn in Bohrung Höhle) in den Sedimenten aller Bohrungen eine positiv korrelierende Verbindung der V- mit den Y- und Zn-Gehalten. Abgesehen von den Sedimenten der Bohrung Çıplak, in denen nur eine Abhängigkeit besteht, korrelieren die V-Gehalte mit Y und Zn signifikant bzw. hochsignifikant. In den Sedimenten der Bohrungen Theater und Çıplak besteht jeweils eine negative schwach signifikante bzw. eine signifikante Korrelation mit der Teufe.

### Y

Weitere Korrelationen neben den bereits beschriebenen bestehen zwischen Y und Zn und Zr. Besonders in den Sedimenten der Bohrung Theater korreliert Y mit anderen Elementen vorwiegend hochsignifikant. Meist höher signifikante Korrelationen bestehen auch in den Sedimenten der Bohrung Dümrek. In den Sedimenten der Bohrungen Höhle und Çıplak sind zum einen weniger Korrelationen von Y vorhanden, zu anderen bestehen meist nur weniger signifikante Korrelationen. Es gibt keine teufenabhängige Korrelationen.

### Zn

Die Korrelationen von Zn mit anderen Elementen zeigen wieder einen Zusammenhang der Sedimente der Bohrungen Dümrek und Theater. Sowohl die Signifikanz der Korrelationen als auch die Korrelationskoeffizienten zeigen die selbe Tendenz. In den Sedimenten der Bohrungen Höhle und Çıplak bestehen nur wenige Korrelationen zwischen Zn und anderen Elementen. Eine Korrelation mit der Teufe ist nicht vorhanden.

### Zr

Zr korreliert vorwiegend in den Sedimenten der Bohrung Theater. Fast alle dieser Korrelationen sind hochsignifikant. In den Sedimenten der anderen Bohrungen bestehen dagegen nur wenige schwach signifikante Korrelationen von Zr und anderen Elementen. Auch eine teufenabhängige Korrelation ist nicht vorhanden.

### U und Th

Im Rahmen der Sedimentdatierung war die Bestimmung von U- und Th-Gehalten notwendig. Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Elementen wurde die Gehalte an U und Th mittels der in Kapitel 4.5.6.3 beschriebenen Low-Level-Gammaspektrometrie und nicht mittels RFA bestimmt. An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die ermittelten U- und Th-Gehalte gegeben werden.

U ist in den Proben der Bohrung Dümrek zwischen 1 µg/g (HDS 757) und knapp 6 µg/g (HDS 755/756) enthalten. Während in den Proben HDS 755/756 und HDS 760 im Durchschnitt 5 µg/g U enthalten sind, ist in den anderen Proben mit durchschnittlich knapp 2 µg/g U

weniger enthalten. Dementsprechend verhält sich auch die Verteilung der Th-Gehalte. In den Proben HDS 755/756 und HDS 760 ist mit 7 µg/g bzw. 17 µg/g am meisten Th enthalten. In den Sedimenten der Bohrung Theater ist im Durchschnitt 3,30 µg/g U und 14 µg/g Th enthalten. Auffallend ist, daß in den Proben HDS 909, 910, 915 und 923 deutliche weniger U, und damit auch deutlich weniger Th enthalten ist. Einen leicht höheren mittleren U- und Th-Gehalt weisen die Sedimente der Bohrung Höhle auf (3,77 µg/g). Lediglich Probe HDS 935 hat im Vergleich etwas geringere Gehalte an U und Th. Mit einem durchschnittlichen U-Gehalt von 2,58 µg/g ist in den Sedimenten der Bohrung Çıplak am wenigsten U enthalten.

### Zusammenfassung

Wie bereits aus Abb. 27 ersichtlich wird, bestehen mit Ausnahme von wenigen meist nur schwach signifikanten Korrelationen (Bohrung Theater: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V; Bohrung Höhle, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO; Bohrung Çıplak: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sr, V) keinerlei Teufenkorrelationen (siehe auch Tab. 33 bis Tab. 37 in Anhang C I). Des weiteren wird deutlich, daß jeweils die Elementgehalte in den Bohrungen Dümrek und Theater und die in den Bohrungen Höhle und Çıplak ein sehr ähnliches Korrelationsverhalten aufweisen. Fast ausschließlich hochsignifikante Elementkorrelationen bestehen in der Bohrung Theater. Augenfällig ist auch, daß es in den Sedimenten der Bohrung Çıplak so gut wie keine signifikanten Korrelationen zwischen den Elementen gibt.

### Hierarchische Clusteranalyse

Um geochemische Ähnlichkeiten der einzelnen Proben zu erkennen, wurde eine hierarchische Clusteranalyse, deren Ergebnis in Abb. 28 und Abb. 29 dargestellt ist, durchgeführt. Um auch Proben mit einbeziehen zu können, bei denen einige Elemente nicht nachweisbar waren, wurde in einem solchen Fall der halbe Werte der Nachweisgrenze für das entsprechende Element verwendet. Dies betrifft folgende Proben und Elemente:

- HDS 749 (Bohrung Çıplak): Cr, halber Wert der Nachweisgrenze 24 µg/g (Kalibrierung vom 26.05.1999)
- HDS 923 (Bohrung Theater): Nb, halber Wert der Nachweisgrenze 2 µg/g (Kalibrierung vom 01.02.2000)  
Rb, halber Wert der Nachweisgrenze 13 µg/g (Kalibrierung vom 01.02.2000)
- HDS 929 (Bohrung Höhle): Nb, halber Wert der Nachweisgrenze 2,5 µg/g (Kalibrierung vom 11.12.2000)
- HDS 930 (Bohrung Höhle): Nb, halber Wert der Nachweisgrenze 4 µg/g (Kalibrierung vom 01.02.2000).

Wie aus dem Dendrogramm (Abb. 28) und der Darstellung in Abb. 29 ersichtlich ist, lassen sich die Proben grob in vier Gruppen einteilen, wobei die Probe HDS 923 (Bohrung Theater) als eigene „fünfte Gruppe“ betrachtet wird. Diese Probe zeigt keine großen Ähnlichkeiten mit anderen Proben wie schon aus Abb. 24 und 25 ersichtlich ist. Deutlich wird, daß die Proben der Bohrung Theater drei Gruppen bilden, die sich nicht sehr ähnlich sind. Während die erste Gruppe mit einigen Proben aus der Bohrung Höhle Ähnlichkeiten aufweist, steht die zweite Gruppe den Proben der Bohrung Dümrek näher. Geochemisch sehr nahe stehen sich die Sedimente der Bohrung Höhle, wobei einige Proben neben der bereits erwähnten Ähnlichkeit zu solchen der Bohrung Theater überwiegend mit denen der Bohrung Çıplak eine Ähnlichkeit aufweisen (siehe Abb. 29).

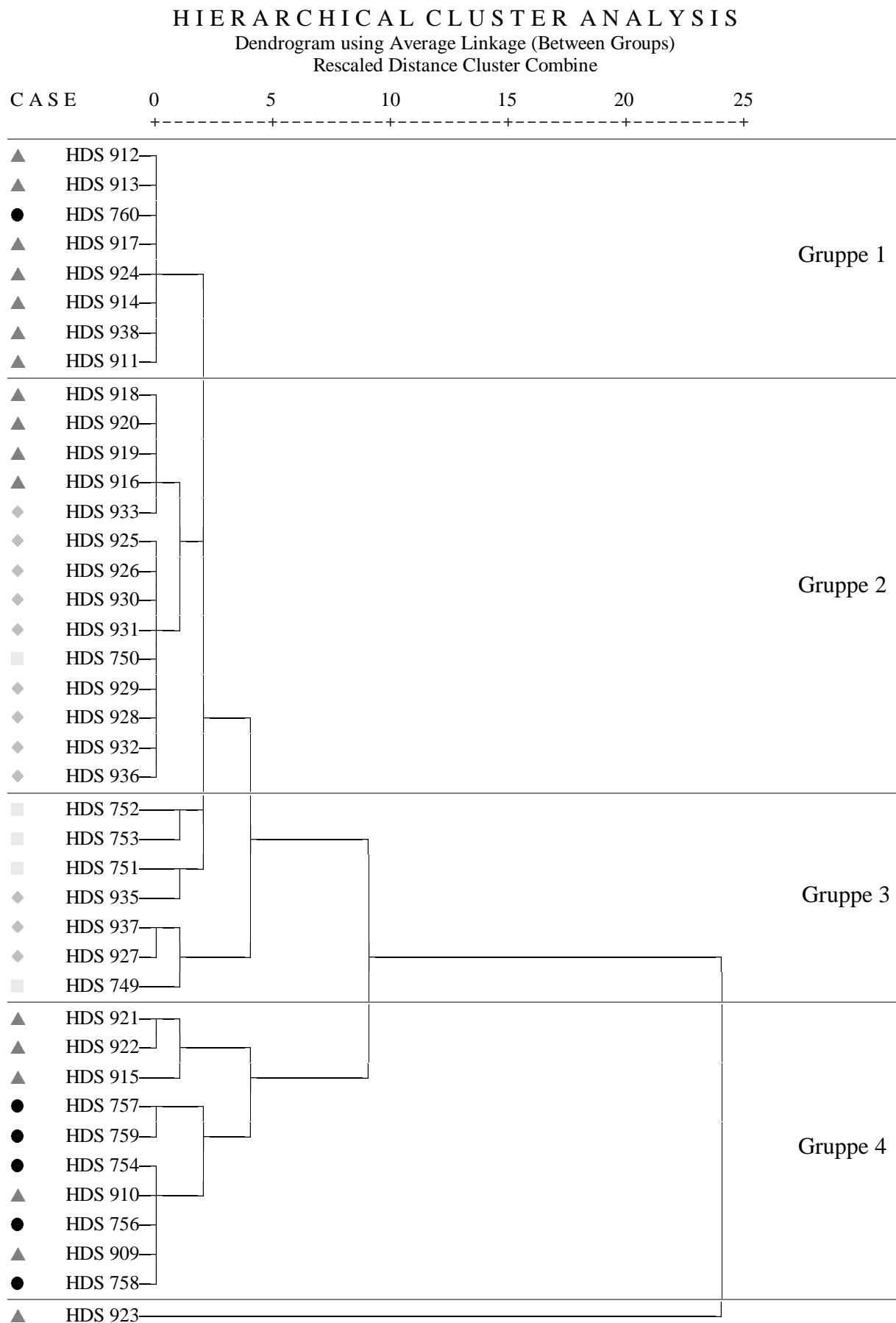


Abb. 28: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse zur Darstellung geochemischer Ähnlichkeiten der Proben (●: Proben Bohrung Dümrek, ▲: Proben Bohrung Theater, ◆: Proben Bohrung Höhle, ■: Proben Bohrung Çıplak).



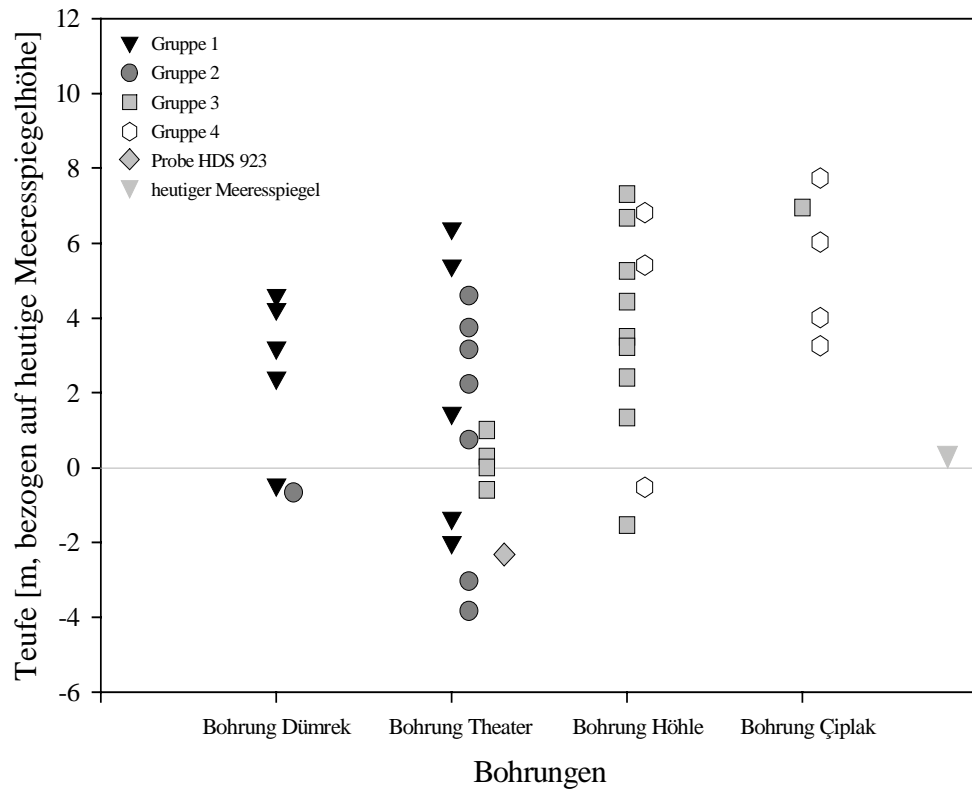


Abb. 29: Graphische Darstellung der Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse nach Bohrungen gruppiert. Deutlich werden die Ähnlichkeiten der Sedimente zwischen den Bohrungen.

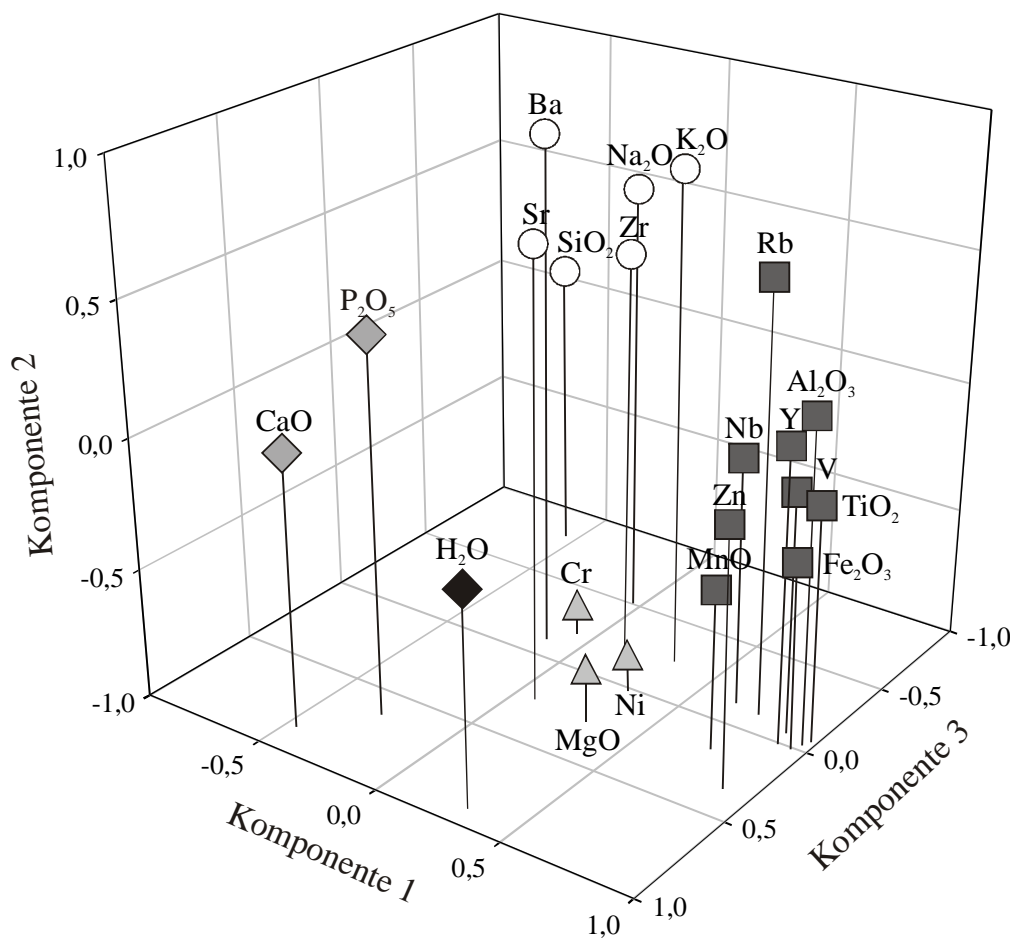


Abb. 30: Graphische Darstellung der Hauptfaktorenanalyse. Elemente, die sich ähnlich verhalten, haben die selben Symbole und Farben erhalten (Erklärung im Text).

### Hauptfaktorenanalyse (PCA)

Neben der Korrelationsanalyse und der hierarchischen Clusteranalyse wurde auch eine Hauptfaktorenanalyse durchgeführt. Um alle Proben miteinander zu vergleichen, wurde für die oben aufgelisteten Proben und Elemente wiederum der halbe Wert der Nachweisgrenze dieser Elemente eingesetzt.

In Abb. 30 ist das Ergebnis der Hauptfaktorenanalyse graphisch dargestellt und in Tab. 32 in Anhang C I tabellarisch beigelegt. Wie deutlich zu erkennen ist, lassen sich die Elemente in vier Gruppen ähnlichen Verhaltens klassieren:

- erste Gruppe:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ba, Sr,
- zweite Gruppe:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , Nb, Rb, V, Y, Zn,
- dritte Gruppe: MgO, Cr, Ni und
- vierte Gruppe: CaO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Basierend auf diesem Ergebnis wurde empirisch ermittelt, welche Kombination von Elementen am besten geeignet ist, um geochemische Unterschiede der Proben darzustellen. Wie Abb. 31 zeigt, sind V, Ba, CaO, sowie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Sr,  $\text{K}_2\text{O}$ , Zn und  $\text{P}_2\text{O}_5$  optimal geeignet, um eine Gruppierung der Proben vorzunehmen.

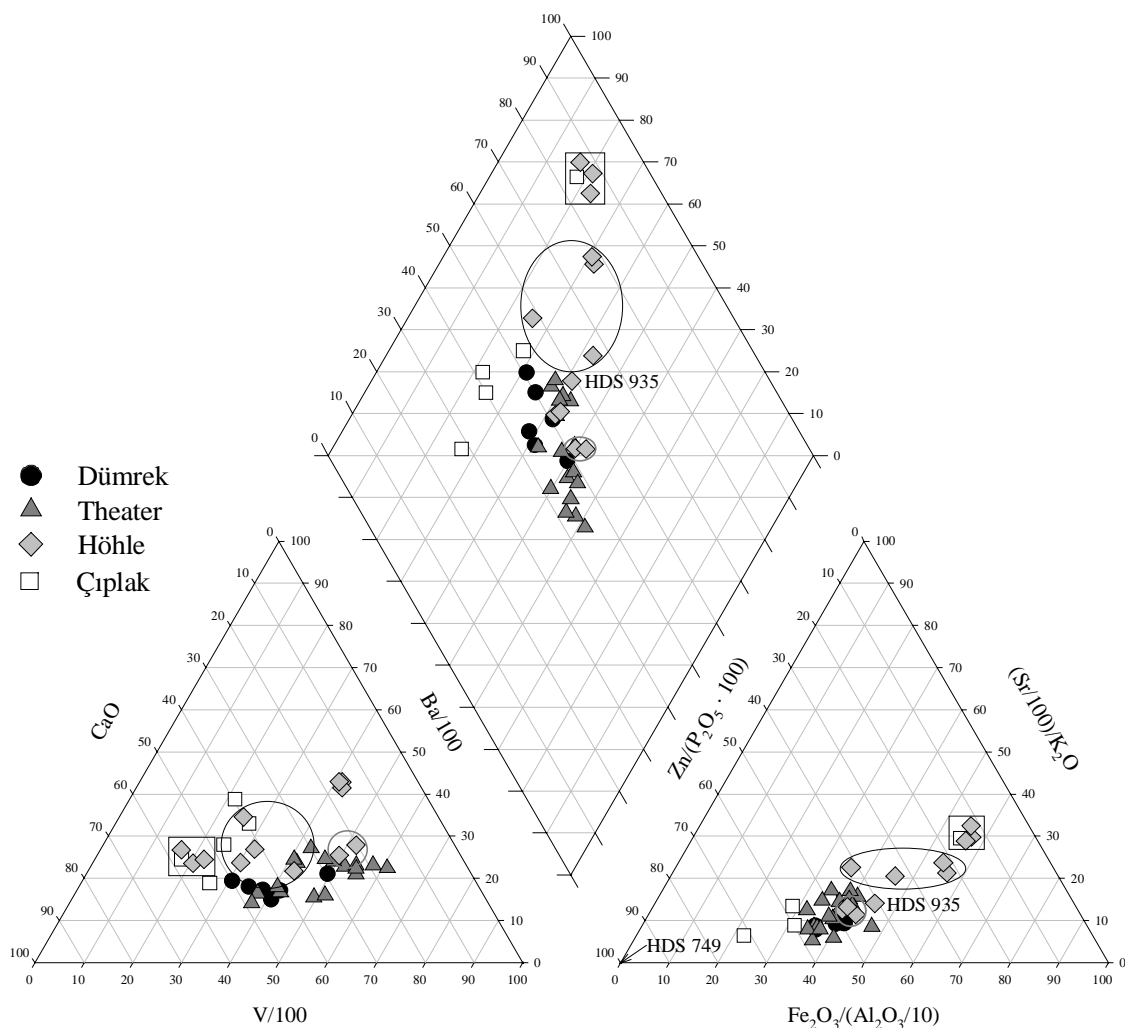


Abb. 31: Empirisches Mehrfachelementendiagramm zur Darstellung der Ähnlichkeiten der geochemischen Zusammensetzung der Sedimente [innerhalb der Rechtecke liegen die Proben: HDS 750 (Bohrung Çıplak), 929, 930, 931 (alle Bohrung Hölle); innerhalb der schwarzen Ovale liegen die Proben: HDS 928, 932, 933, 936 (alle Bohrung Hölle); innerhalb der grauen Ovale liegen die Proben: HDS 925, 926 (beide Bohrung Hölle); Symbole wie in Abb. 20b].

Aus allen drei Teilabbildungen der Abb. 31 wird deutlich, daß sich die Sedimente der Bohrungen Dümrek und Theater geochemisch ähnlich sind. Vier Proben, HDS 750 (Bohrung Çıplak), HDS 929, 930, 931 (alle Bohrung Höhle), liegen in allen drei Diagrammen dicht beieinander und abseits der anderen Proben. Auch die Proben HDS 928, 932, 933, (935), 936 (alle Bohrung Höhle) liegen jeweils abseits der von den anderen Proben gebildeten Cluster. Es fällt ebenfalls auf, daß einige Proben der Bohrung Höhle (HDS 925, 926, 933, 935, 936) einigen Proben der Bohrung Theater (HDS 916 bis HDS 920) ähnlich sind. Des weiteren fällt auf, daß mit Ausnahme der Probe HDS 750 alle anderen Proben der Bohrung Çıplak mehr oder weniger ein eigenes Cluster bilden bzw. weniger Ähnlichkeiten mit anderen Proben aufweisen.

### 5.3.2 Stabile Isotope

#### 5.3.2.1 Statistische Auswertung

Eine statistische Auswertung der stabilen Isotope  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  brachte keine aussagekräftigen Ergebnisse. Auf die Gründe dafür wird in Kapitel 6.2.2 eingegangen. Nur wenige Korrelationskoeffizienten besitzen einen Wert über 0,5. Wie zu erwarten war, korrelieren die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ -Werte vorwiegend mit  $\text{MgO}$  und  $\text{CaO}$ . Daneben bestehen negative schwache bzw. negative signifikante Korrelation von  $\delta^{18}\text{O}$  zu  $\text{K}_2\text{O}$  bzw.  $\text{Na}_2\text{O}$ , sowie zu einigen Nebenelementen und eine positiv hochsignifikante Korrelation zu  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ . Alle weiteren Korrelationen sind Tab. 33 bis Tab. 37 und Abb. 122 in Anhang C I zu entnehmen. Auffallend ist, daß in den Sedimenten der Bohrungen Theater und Höhle mehr oder weniger keine Korrelationen bestehen, während in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Çıplak vor allem mit den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten Korrelationen zu anderen Elementen bestehen. Keine relevanten Ergebnisse hat die Hauptfaktorenanalyse (rotierte Matrix mit Kaiser Normierung) erbracht.

#### 5.3.2.2 Sauerstoff

Bezogen auf den Standard VPDB schwanken die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Calciumkarbonats aller Bohrungen zwischen  $-8\text{‰}$  und  $-4\text{‰}$  bei einem Mittelwert von  $-5\text{‰}$  (Abb. 32, siehe auch Tab. 39 in Anhang C II). Mit Werten zwischen  $-8\text{‰}$  und  $-4\text{‰}$  weisen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in den Karbonaten der Bohrung Höhle den größten Schwankungsbereich auf. Der Maximalwert wird in Probe HDS 937 erreicht, der Minimalwert in Probe HDS 935. Die Proben HDS 926 bis HDS 933 haben einen durchschnittlichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von  $-5\text{‰}$ . In den beiden oberen beprobten Horizonten (HDS 937, HDS 925) ist der  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert mit  $-7\text{‰}$  wieder etwas geringer. Mit Werten zwischen  $-6\text{‰}$  und  $-5\text{‰}$  schwanken die  $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in den beprobten Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Çıplak am geringsten.

In den Karbonaten der Sedimente der Bohrung Dümrek wurde der Minimalgehalt in Probe HDS 760 analysiert. Den höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert enthält Probe HDS 757, wobei Probe HDS 758 nur einen geringfügig niedrigeren Wert besitzt. Bohrung Çıplak enthält in den höheren Profilabschnitten die höheren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. In Probe HDS 749 wurde der Maximalwert und in Probe HDS 752 der Minimalwert bestimmt. In den beprobten Sedimenten der Bohrung Theater schwanken die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Karbonate zwischen  $-7\text{‰}$  und  $-5\text{‰}$ . Beide Maximalwerte wurden im Profilabschnitt zwischen 6,00 m und 7,00 m nachgewiesen. Probe HDS 917 weist den geringsten und Probe HDS 919 den höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert auf. Alle anderen Proben haben einen mittleren  $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt von  $-5\text{‰}$ . Probe HDS 924 hat einen leicht geringeren Gehalt als der Durchschnitt.

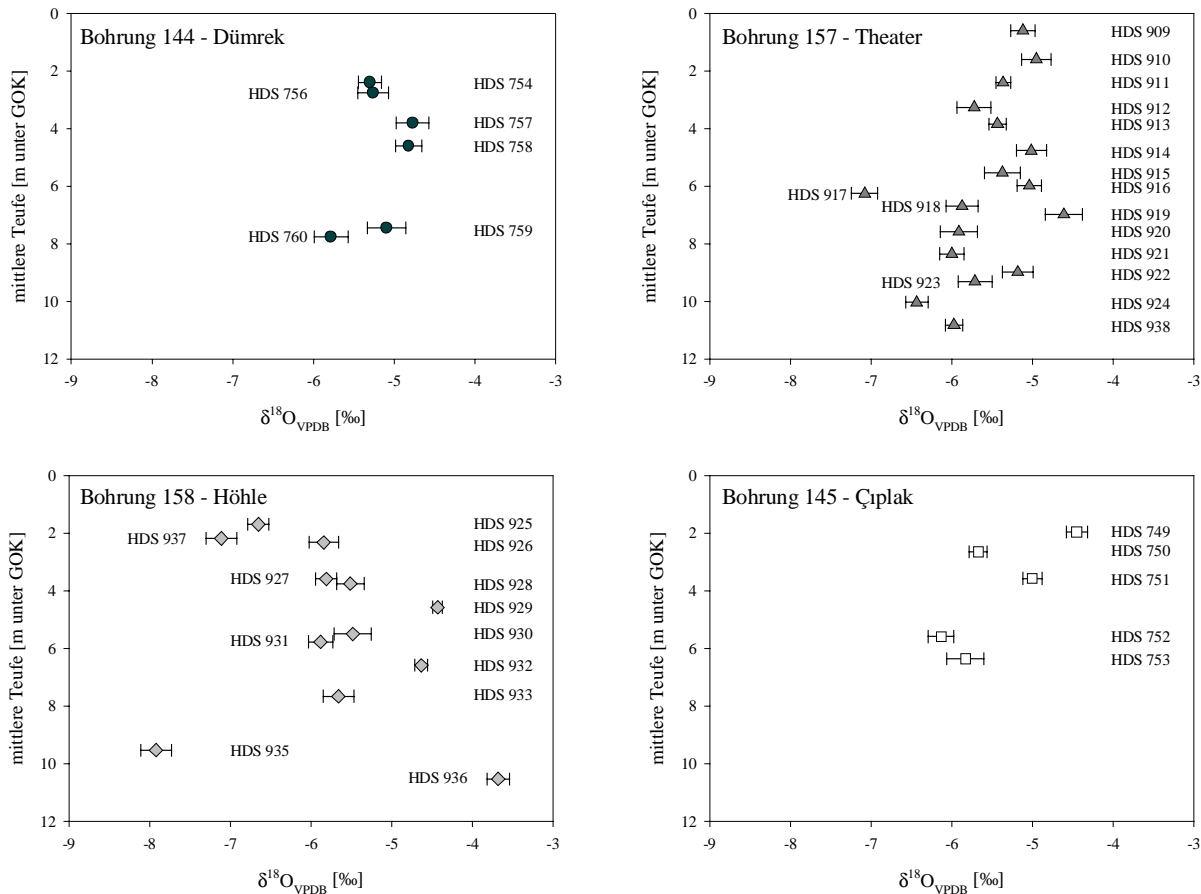


Abb. 32:  $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen bezogen auf den Standard VPDB.

### 5.3.2.3 Kohlenstoff

#### Anorganischer Kohlenstoff

Neben den stabilen Sauerstoffisotopen wurde auch der im Calciumkarbonat gebundene anorganische Kohlenstoff auf seine isotopische Zusammensetzung hin untersucht. Bezogen auf den Standard VPDB schwanken die analysierten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Karbonaten zwischen  $-9 \text{ ‰}$  und  $-2 \text{ ‰}$ , bei einem mittleren  $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalt von  $-6 \text{ ‰}$ . Am höchsten sind die Schwankungen in Bohrung Höhle, wo die ermittelten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen  $-8 \text{ ‰}$  und  $-2 \text{ ‰}$  liegen. Den geringsten  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert enthält Probe HDS 925, den höchsten Wert Probe HDS 936. In den oberen vier beprobten Horizonten (HDS 925 bis HDS 927) ist mit durchschnittlich  $-7 \text{ ‰}$  der geringste  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert vorhanden. In den nachfolgenden Horizonten wurde ein Durchschnittsgehalt von  $-4 \text{ ‰}$  nachgewiesen. Die Proben HDS 931 und HDS 933 besitzen mit durchschnittlich  $-7 \text{ ‰}$  wieder einen geringeren  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert.

Die geringsten Schwankungen der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen die Proben der Bohrung Dümrek, wo  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen  $-7 \text{ ‰}$  und  $-5 \text{ ‰}$  bei einem Durchschnittswert von  $-6 \text{ ‰}$  nachgewiesen wurden. In den Karbonaten der Bohrung Theater schwanken die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen  $-8 \text{ ‰}$  und  $-5 \text{ ‰}$ . Die beiden Maximalwerte wurden in Probe HDS 919 ( $-8 \text{ ‰}$ ) und in Probe HDS 923 ( $-5 \text{ ‰}$ ) nachgewiesen. Der Durchschnittswert liegt bei  $-7 \text{ ‰}$ . Bei einem durchschnittlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-8 \text{ ‰}$  schwanken die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Bohrung Çıplak zwischen  $-9 \text{ ‰}$  und  $-6 \text{ ‰}$   $\delta^{13}\text{C}$ . Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-9 \text{ ‰}$  wurde in Probe HDS 952, der Wert von  $-6 \text{ ‰}$  in Probe HDS 750 nachgewiesen (Tab. 39 in Anhang C II).

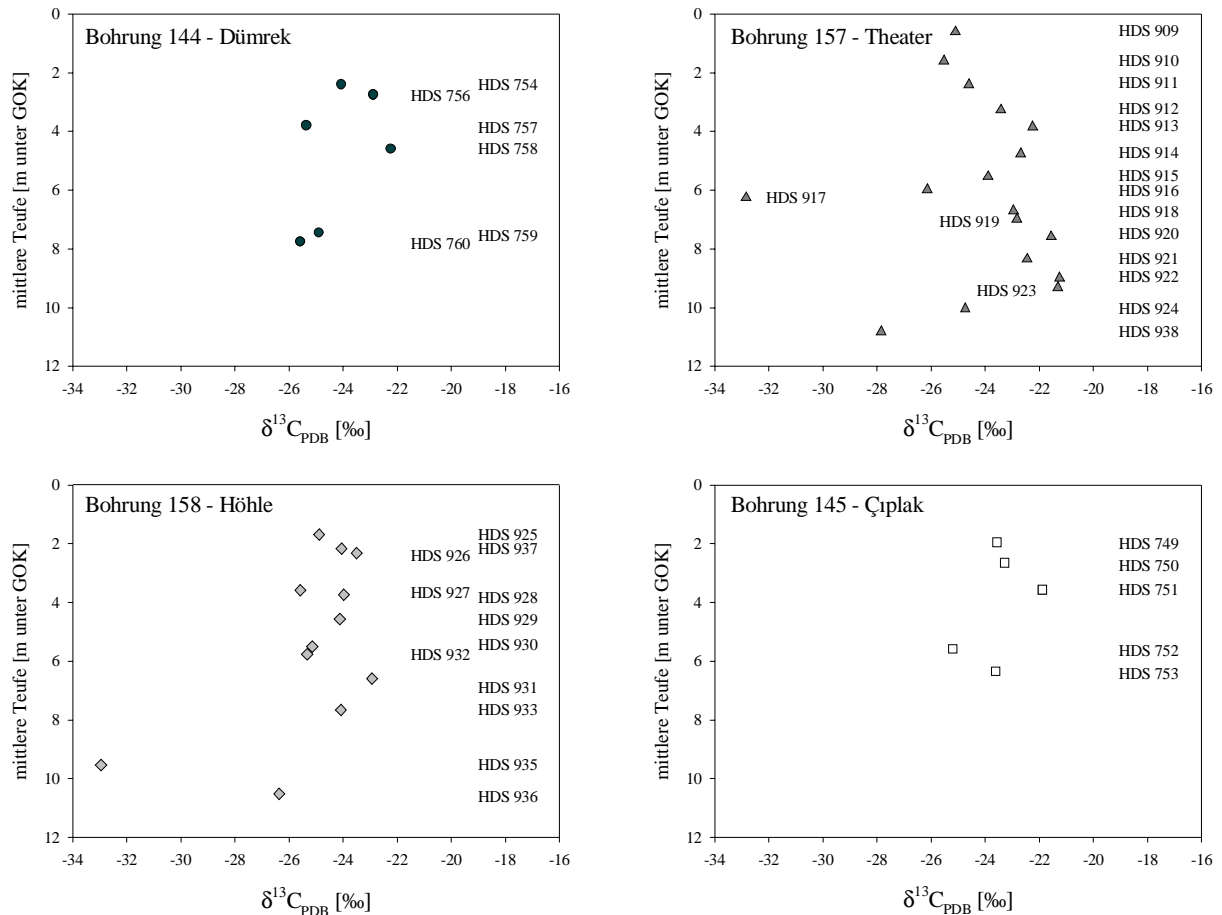


Abb. 33:  $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte der organischen Reste aus den Sedimenten der vier Bohrungen.

### Organischer Kohlenstoff

Im Durchschnitt beträgt der auf den Standard PDB bezogene  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des in den Sedimenten enthaltenen organischen Kohlenstoffs  $-24\text{‰}$ . Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte schwanken in den Proben zwischen  $-33\text{‰}$  und  $-18\text{‰}$ . Während diese Schwankungen in den Proben der Bohrungen Dümrek und Çıplak eher gering sind ( $3\text{‰}$  bzw.  $2\text{‰}$ ) und um  $-24\text{‰}$  liegen (Abb. 33, siehe auch Tab. 43 in Anhang C II), schwanken die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Proben der Bohrungen Theater und Höhle, die ebenfalls einen Durchschnittswert von  $-24\text{‰}$  besitzen, um  $15\text{‰}$  bzw.  $12\text{‰}$ .

In den Proben der Bohrung Theater nimmt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert in den ersten Horizonten (HDS 909 bis HDS 913) langsam bis auf  $-22\text{‰}$  zu und fällt dann auf den Wert von  $-33\text{‰}$  ab (HDS 917), wobei zwischen den Proben HDS 916 und HDS 917 eine Differenz von  $7\text{‰}$  besteht. In Probe HDS 918 wurde wieder ein  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-23\text{‰}$  nachgewiesen. In den Proben der Horizonte HDS 918 bis HDS 923 wurde ein Durchschnittswert von  $-22\text{‰}$  ermittelt. In den Proben HDS 924 und HDS 938 liegt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wieder bei den geringen Werten von  $-25\text{‰}$  bzw.  $-28\text{‰}$ .

In den oberen beprobten Horizonten (HDS 925 bis HDS 927) der Bohrung Höhle schwankt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert um  $-24\text{‰}$ , wobei der Wert von Probe HDS 927 etwas geringer ausfällt. Probe HDS 929 hat mit  $-18\text{‰}$  einen erhöhten  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert. Mit einem durchschnittlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-24\text{‰}$  in den beiden folgenden Proben HDS 930 und HDS 931 wurde wieder ein geringerer Wert ermittelt, der in den Proben HDS 932 und HDS 933 wieder leicht bis auf  $-22\text{‰}$  erhöht ist. In Probe HDS 935 wurde mit  $-33\text{‰}$  der geringste  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert nachgewiesen. Probe HDS 936 liegt mit einem Wert von  $-25\text{‰}$  wieder nahe dem Durchschnittswert.

## **5.4 Datierung**

### **5.4.1 Allgemeines**

Insgesamt wurden 42 Proben für eine Datierung mittels der Infrarot Stimulierten Lumineszenz (IRSL) aus den Bohrkernen entnommen. Im Zuge der Aufbereitung zeigte sich jedoch, daß nicht in allen Proben genügend Material im Korngrößenbereich 4—11 µm vorhanden war, um an dieser Fraktion eine Datierung vornehmen zu können. Bei diesen Proben handelt es sich um die Proben HDS 922, HDS 923 (Bohrung Theater), HDS 937, HDS 927, HDS 935 (Bohrung Höhle).

Probe HDS 934 (Bohrung Höhle) wurde ebenfalls nicht datiert. Diese Probe entstammt einem Horizont, dem zwei Proben entnommen wurden. Da die Aufbereitung der Doppelprobe (HDS 935) kein Material zur Datierung erbrachte, wurde auf die Aufbereitung der Probe HDS 934 verzichtet. Für Probe HDS 755 kann ebenfalls kein Alter angegeben werden. Obwohl für diese Probe die Messungen mehrfach wiederholt wurden, war es weder möglich eine lineare noch eine exponentiellen Regression zur Ermittlung der  $\beta$ -Äquivalenzdosis durchzuführen. Für einige der ermittelten Alter müssen sehr hohe Fehlergrenzen angegeben werden. Bedingt sind diese Fehlergrenzen durch hohe Standardabweichungen bei der Ermittlung der  $\alpha$ - und/oder  $\beta$ -Äquivalenzdosen. Diese resultierten daraus, daß zum einen nicht alle Scheibchen ein Signal lieferten und damit nicht zur Ermittlung der Äquivalenzdosen beitragen konnten, und zum anderen lieferten die Scheibchen einer Dosisgruppe z.T. sehr unterschiedlich hohe Signale. Wie sich im Laufe der Auswertung herausstellte, handelte es sich bei den Proben mit hoher Standardabweichung der Äquivalenzdosen um solche, die sich sehr schlecht pipettieren ließen, d.h. das Probenmaterial ließ sich nicht gleichmäßig oder gleichmäßig dick auf den Scheibchen verteilen. Auch ein nochmaliges Pipettieren, Bestrahlen und Messen erbrachte keine besseren Ergebnisse.

Alle für die Datierung nötigen Rohdaten sind in Anhang D zu finden. Für die Feuchtekorrektur wurden die in Tab. 45 bis Tab. 48 in Anhang D aufgelisteten am Probenmaterial bestimmten Wassergehalte veranschlagt, wobei im Fall einer Doppelbestimmung der Durchschnittswert der beiden Messungen verwendet wurde. Für die Proben HDS 749 (Bohrung Çıplak) und HDS 926 (Bohrung Höhle) wurden die empirisch ermittelten Wassergehalte für die Feuchtekorrektur zu Grunde gelegt (Kapitel 4.5.7.4).

### **5.4.2 Bohrung Dümrek**

Für die beprobten Sedimente der Bohrung Dümrek wurden Alter zwischen  $4,0 \pm 1,1$  ka ( $ka = 1000$  Jahre) und  $11,5 \pm 2,5$  ka ermittelt. Probe HDS 760, die innerhalb des Profils die unterste Probe darstellt, hat mit  $4,0 \pm 1,1$  ka das geringste Alter. Probe HDS 759, die im Mittel nur 15 cm über Probe HDS 760 liegt, hat ein Alter von  $6,0 \pm 3,1$  ka. Probe HDS 758 besitzt ein Alter von  $5,5 \pm 0,7$  ka. Probe HDS 757 hat mit  $11,4 \pm 1,5$  ka das höchste Alter innerhalb dieses Profils. In den oberen beprobten Horizonten wird das Alter wieder geringer. Probe HDS 754 hat neben Probe HDS 760 mit  $4,8 \pm 1,9$  ka das jüngste Alter (Tab. 11, Abb. 34, Abb. 40). Alle Proben befinden sich im radioaktiven Gleichgewicht und bei keiner der Proben wurde ein anomaler Signalverlust (fading) festgestellt.

### **5.4.3 Bohrung Theater**

Die Alter der beprobten Horizonte in Bohrung Theater reichen von  $1,9 \pm 0,5$  ka bis  $6,6 \pm 2,0$  ka. Nicht möglich war die Datierung der Proben HDS 909 und 910, da diese Proben kein meßbares Signal aufwiesen. Abgesehen von diesen beiden Proben haben die meisten Proben ein mittleres Alter von  $2,8 \pm 0,7$  ka.

Ein höheres Alter wurde für Proben HDS 914, HDS 915 und HDS 938 ermittelt, deren mittleres Alter bei  $5,6 \pm 1,9$  ka liegt (Tab. 12, Abb. 34, Abb. 41). Da für die Sedimente der Proben HDS 914 und HDS 915 ein radioaktives Ungleichgewicht festgestellt wurde, kann für diese Proben jeweils nur ein Minimal- und ein Maximalalter angegeben werden. Selbes gilt für Probe HDS 912, die ebenfalls ein radioaktives Ungleichgewicht aufweist. Da die Probe HDS 919 einen anomalen Signalverlust (fading) zeigte, ist deren Alter als Minimalalter anzusehen. Außerdem befindet sich diese Probe in einem radioaktiven Ungleichgewicht, sodaß deren Alter als zu gering einzuschätzen ist. Trotz der hohen Fehlergrenzen der Proben HDS 914 und HDS 915 fällt auf, das die Alter der Sedimente im Teufenbereich von etwa 11 m bis 6 m kontinuierlich jünger werden um ab der Teufe von etwa 6 m wieder das hohe Alter der Untersten Horizonte des Profils zu erreichen und erneut in Richtung des Hangenden jünger werden.

Tab. 11: Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Dümrek.

Probe	Teufenbereich [m]	Alter $\pm 1\sigma$ [a]	Datum $\pm 1\sigma$
HDS 754	2,42—2,49	$4780 \pm 1910$	$2780 \pm 1910$ v. Chr.
HDS 756	2,72—2,80	$6340 \pm 1990$	$4340 \pm 1990$ v. Chr.
HDS 755	2,80—2,87	Ermittlung $\beta$ -Äquivalenzdosis nicht möglich	
HDS 757	3,88—4,03	$11350 \pm 1450$	-
HDS 758	4,65—4,75	$5460 \pm 660$	$3460 \pm 660$ v. Chr.
HDS 759	7,50—7,60	$5950 \pm 3070$	$3950 \pm 3070$ v. Chr.
HDS 760	7,71—7,78	$3960 \pm 1060$	$1960 \pm 1060$ v. Chr.

Tab. 12: Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Theater (*Kursiv: Minimal- Maximalalter*, fad.: fading und Minimalalter).

Probe	Teufenbereich [m]	Alter $\pm 1\sigma$ [a]	Datum $\pm 1$
HDS 909	0,54—0,66	kein Signal	-
HDS 910	1,54—1,66	kein Signal	-
HDS 911	2,35—2,45	$1930 \pm 500$	$70 \pm 500$ n. Chr.
HDS 912	3,20—3,30	<i><math>3130 \pm 750</math></i>	<i><math>1130 \pm 750</math> v. Chr.</i>
		<i><math>3230 \pm 780</math></i>	<i><math>1240 \pm 780</math> v. Chr.</i>
HDS 913	2,88—4,00	$3420 \pm 270$	$1420 \pm 270$ v. Chr.
HDS 914	4,70—4,83	<i><math>4480 \pm 2420</math></i>	<i><math>2480 \pm 2420</math> v. Chr.</i>
		<i><math>4910 \pm 2560</math></i>	<i><math>2910 \pm 2560</math> v. Chr.</i>
		<i><math>6010 \pm 1820</math></i>	<i><math>4010 \pm 1820</math> v. Chr.</i>
HDS 915	5,50—5,60	<i><math>6560 \pm 1970</math></i>	<i><math>4560 \pm 1970</math> v. Chr.</i>
HDS 916	5,93—6,05	$2450 \pm 530$	$450 \pm 530$ v. Chr.
HDS 917	6,20—6,30	$2760 \pm 550$	$760 \pm 550$ v. Chr.
HDS 918	6,65—6,75	$2660 \pm 730$	$660 \pm 730$ v. Chr.
HDS 919	6,94—7,05	<i><math>2540 \pm 580</math> (fad.)</i>	<i><math>540 \pm 580</math> v. Chr.</i>
		<i><math>2650 \pm 600</math> (fad.)</i>	<i><math>650 \pm 600</math> v. Chr.</i>
HDS 920	7,53—7,62	$3520 \pm 1100$	$1520 \pm 1100$ v. Chr.
HDS 921	8,30—8,45	$3040 \pm 300$	$1040 \pm 300$ v. Chr.
HDS 924	10,00—10,10	$3060 \pm 2130$	$1060 \pm 2130$ v. Chr.
HDS 938	10,75—10,85	$5900 \pm 650$	$3900 \pm 650$ v. Chr.

#### 5.4.4 Bohrung Höhle

Für die meisten Proben aus Bohrung Höhle können nur Minimal- und Maximalalter angegeben werden, da für diese ein radioaktives Ungleichgewicht festgestellt wurde (HDS 929, 930, 931, 933, 936). Wie in Bohrung Theater rangieren die Alter der einzelnen Proben in einem engen Bereich. Das mittlere Alter für die Sedimente dieser Bohrung wurde mit  $2,5 \pm 0,5$  ka ermittelt. Während das Alter der Proben HDS 930 bis HDS 932 und HDS 928 mit durchschnittlich  $2,0 \pm 0,4$  ka etwas geringer ist, haben die diese Proben umgebenden Horizonte ein höheres Alter ergeben. Mit  $3,1 \pm 0,4$  ka ist die Probe HDS 926 im oberen Profilabschnitt eine der ältesten. Lediglich Probe HDS 933 hat ein höheres Alter (Minimalalter  $3,7 \pm 0,9$  ka, Maximalalter  $4,0 \pm 0,9$  ka). Allerdings ist Probe HDS 936, die unterhalb Probe HDS 933 genommen wurde mit einem Minimalalter von  $2,3 \pm 0,4$  ka und einem Maximalalter von  $2,5 \pm 0,5$  ka wieder jünger (Tab. 13, Abb. 34, Abb. 42). Probe HDS 932 hat einen anomalen Signalverlust (fading) gezeigt, weswegen deren Alter als Minimalalter anzusehen ist.

#### 5.4.5 Bohrung Çıplak

Im Vergleich zu den Altern der anderen drei Bohrungen wurden für die Sedimente der Bohrung Çıplak generell höhere Alter bestimmt. Lediglich die Proben HDS 750 und HDS 751 lieferten Alter im Rahmen historischer Zeiträume. Für diese beiden Proben wurde ein Alter von  $2,0 \pm 0,3$  ka (HDS 750) und  $3,3 \pm 0,6$  ka (HDS 751) ermittelt. Probe HDS 749 hat mit  $8,4 \pm 1,4$  ka ein höheres Alter. Auch für die beiden Proben aus dem unteren Profilabschnitt wurden hohe Alter ( $94,9 \pm 20,5$  ka HDS 752; Minimalalter  $227,0 \pm 57,2$  ka, Maximalalter  $246,0 \pm 61,3$  ka HDS 753) ermittelt (Tab. 14, Abb. 34, Abb. 43). Da für die Probe HDS 753 ein radioaktives Ungleichgewicht festgestellt wurde, kann nur ein Minimal-/Maximalalter angegeben werden. Einen anomalen Signalverlust (fading) zeigte keine der Proben der Bohrung Çıplak.

Tab. 13: Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Höhle (*Kursiv: Minimal- Maximalalter*, fad.: fading und Minimalalter).

Probe	Teufenbereich [m]	Alter $\pm 1\sigma$ [a]	Datum $\pm 1\sigma$
HDS 925	1,65—1,75	kein Signal	-
HDS 926	2,28—2,33	$3050 \pm 390$	$1050 \pm 390$ v. Chr.
HDS 928	3,70—3,77	$1230 \pm 190$	$770 \pm 190$ n. Chr.
HDS 929	4,50—4,60	$2640 \pm 520$	$640 \pm 520$ v. Chr.
		$2850 \pm 550$	$850 \pm 550$ v. Chr.
HDS 930	5,45—5,55	$2080 \pm 360$	$80 \pm 360$ v. Chr.
		$2250 \pm 380$	$250 \pm 380$ v. Chr.
HDS 931	5,73—5,80	$2060 \pm 270$	$60 \pm 270$ v. Chr.
		$2600 \pm 300$	$600 \pm 300$ v. Chr.
HDS 932	6,55—6,65	$1810 \pm 670$ (fad.)	$190 \pm 670$ n. Chr.
HDS 933	7,62—7,70	$3710 \pm 850$	$1710 \pm 850$ v. Chr.
		$4020 \pm 900$	$2020 \pm 900$ v. Chr.
HDS 936	10,50—10,60	$2250 \pm 390$	$250 \pm 390$ v. Chr.
		$2480 \pm 450$	$480 \pm 450$ v. Chr.



Tab. 14: Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Çıplak (*Kursiv: Minimal- Maximalalter*).

Probe	Teufenbereich [m]	Alter $\pm 1\sigma$ [a]	Datum $\pm 1\sigma$
HDS 749	1,90—2,00	$8430 \pm 1410$	$6043 \pm 1410$ v. Chr.
HDS 750	2,80—2,90	$2040 \pm 300$	$40 \pm 300$ v. Chr.
HDS 751	3,63—3,72	$3290 \pm 570$	$1290 \pm 570$ v. Chr.
HDS 752	5,60—5,67	$94920 \pm 20480$	-
HDS 753	6,315—6,395	$226990 \pm 57230$ $246000 \pm 61280$	-

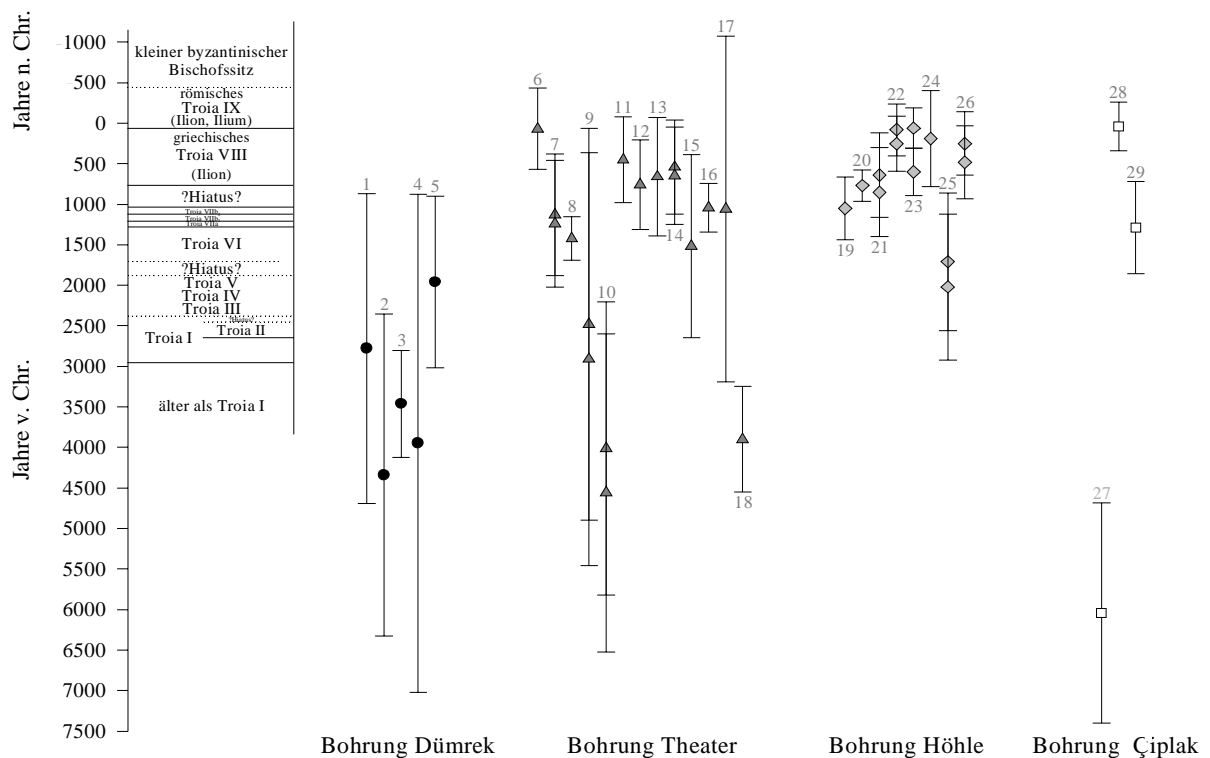


Abb. 34: Einordnung der ermittelten Alter mit ihren Fehlergrenzen in die (prä)-historische Chronologie von Troia. Um einen weitestgehend guten Überblick zu ermöglichen wurden die hohen Alter der Proben HDS 752, HDS 753 (Bohrung Çıplak) und HDS 757 (Bohrung Dümrek) nicht eingetragen.

Legende: 1: HDS 754; 2: HDS 756; 3: HDS 758; 4: HDS 759; 5: HDS 760; 6: HDS 911; 7: HDS 912 (Minimal- und Maximalalter); 8: HDS 913; 9: HDS 914 (Minimal- und Maximalalter); 10: HDS 915 (Minimal- und Maximalalter); 11: HDS 916; 12: HDS 917; 13: HDS 918 (Minimalalter); 14: HDS 919 (Minimal- und Maximalalter); 15: HDS 920; 16: HDS 921; 17: HDS 924; 18: HDS 938; 19: HDS 926; 20: HDS 928; 21: HDS 929 (Minimal- und Maximalalter); 22: HDS 930 (Minimal- und Maximalalter); 23: HDS 931 (Minimal- und Maximalalter); 24: HDS 932 (Minimalalter); 25: HDS 933 (Minimal- und Maximalalter); 26: HDS 936; 27: HDS 749; 28: HDS 750; 29: HDS 751.

## 6 Auswertung und Interpretation

### 6.1 Sedimentologie

#### 6.1.1 Einleitung

Sedimentologische Klassifizierungen von Deltas beruhen auf ihrer Gestalt, die sich aus den gegenseitig beeinflussenden marinen und fluviatilen Prozessen im Bereich der Deltafront ergeben. Entsprechend dieser Klassifikation handelt es sich bei dem Delta des Karamenderes, das durch kontinuierlich aus nördlicher und nordöstlicher Richtung wehende Winde geprägt ist, um ein wellendominiertes Delta des destruktiven Typs. Dieser Deltatyp ist charakterisiert durch eine hohe Wellenenergie, einen nur geringen fluviatilen Sedimenteintrag sowie parallel zur Deltafront abgelagerte meist eher feinkörnige Strandsedimente (DAVIS 1992, READING & COLLINSON 1996).

Alle in vorliegender Arbeit untersuchten Proben stammen aus dem Bereich der Deltaebene des Karamenderes und Dümreks bzw. deren unterer Flußregime, die sich mit zunehmendem Deltavorbau auf der „alten“ Deltaebene entwickelt haben. Im unteren Bereich eines Flusses herrschen auf Grund des geringen Gefällegradienten nur geringe Fließgeschwindigkeiten, wodurch der Transport der Sedimente überwiegend als Suspensionsfracht erfolgt (COLLINSON 1996, DAVIS 1992, SELLEY 2000). Nach der Klassifikation von Flußsystemen gehört der Unterlauf des Karamenderes zu den leicht mäandrierenden Flüssen, deren Sedimente sehr feinklastisch sind und überwiegend im Bereich von Überflutungsebenen (flood plain/overbank deposit) abgelagert werden.

Innerhalb eines fluviatilen Systems werden verschiedene Ablagerungsräume unterteilt (Abb. 35 und Abb. 36). Diesen Ablagerungsräumen sollen die untersuchten Proben in der folgenden Interpretation zugeordnet werden.

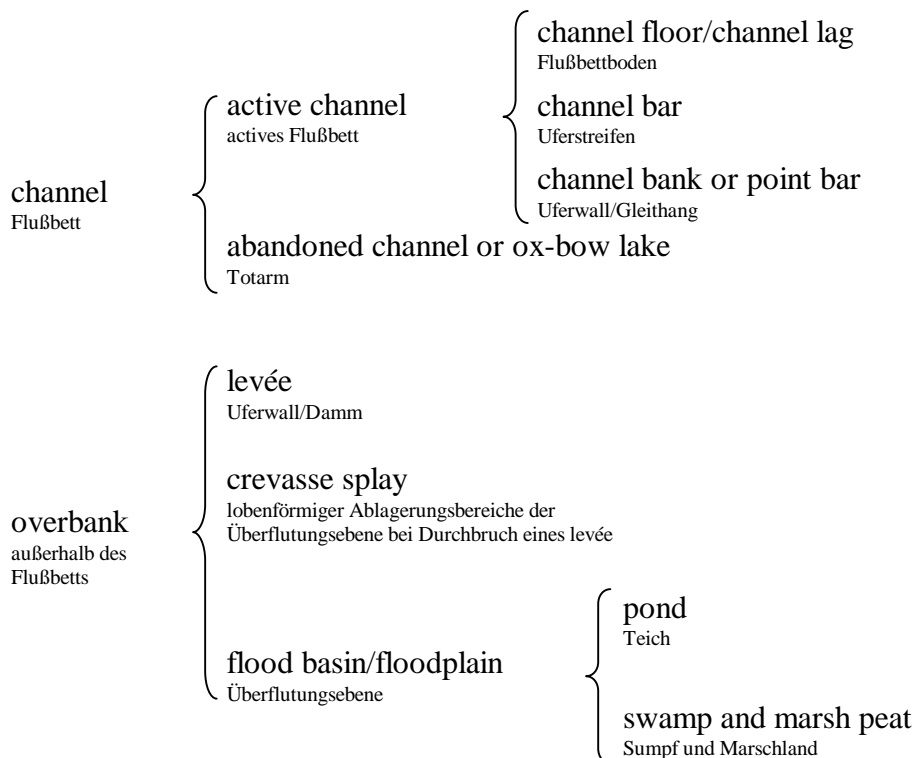


Abb. 35: Hierarchische Klassifikation fluviatiler Ablagerungsräume basierend auf SHANTZER (1951) und ALLEN (1965) nach COLLINSON (1996) und SELLEY (2000).

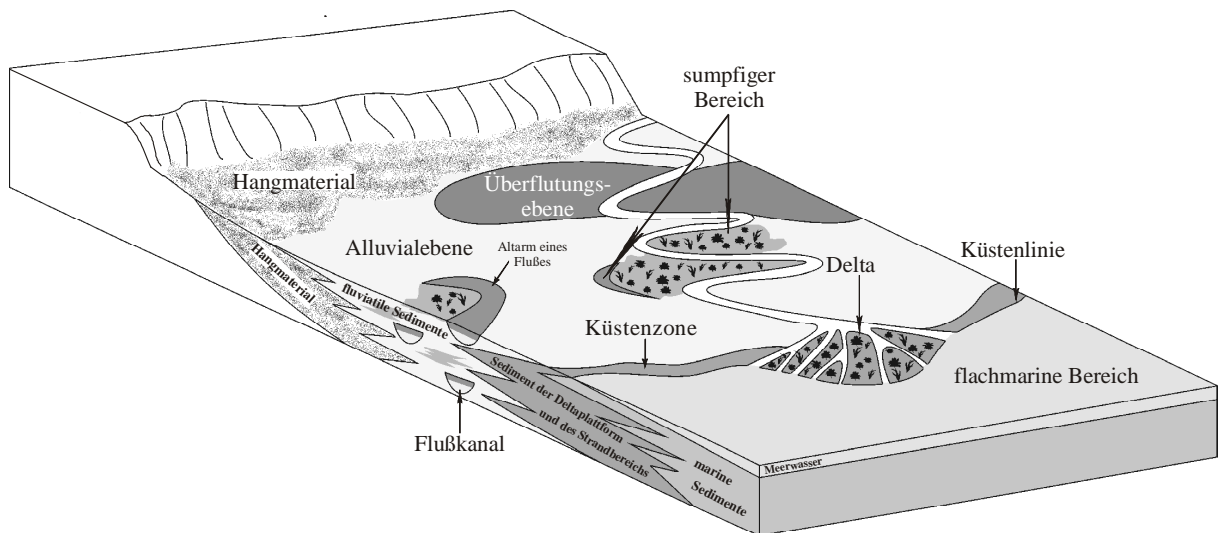


Abb. 36: Vereinfachte Darstellung verschiedener fluviatiler und flachmariner Ablagerungsräume (Quellen siehe Text).

### 6.1.2 Korngößenanalysen

Bislang existieren für eine Interpretation der Ablagerungsbedingungen von Sedimenten mittels Korngrößenanalysen und den daraus berechenbaren statistischen Parametern keine befriedigenden Methoden. Von verschiedenen Autoren vorgeschlagene Kombinationsmöglichkeiten einzelner Parameter zu Milieustudien sind nur bedingt anwendbar. Eine Möglichkeit ist die von STEWART (1958) vorgeschlagene Darstellung der Mediandurchmesser gegen die Schiefe

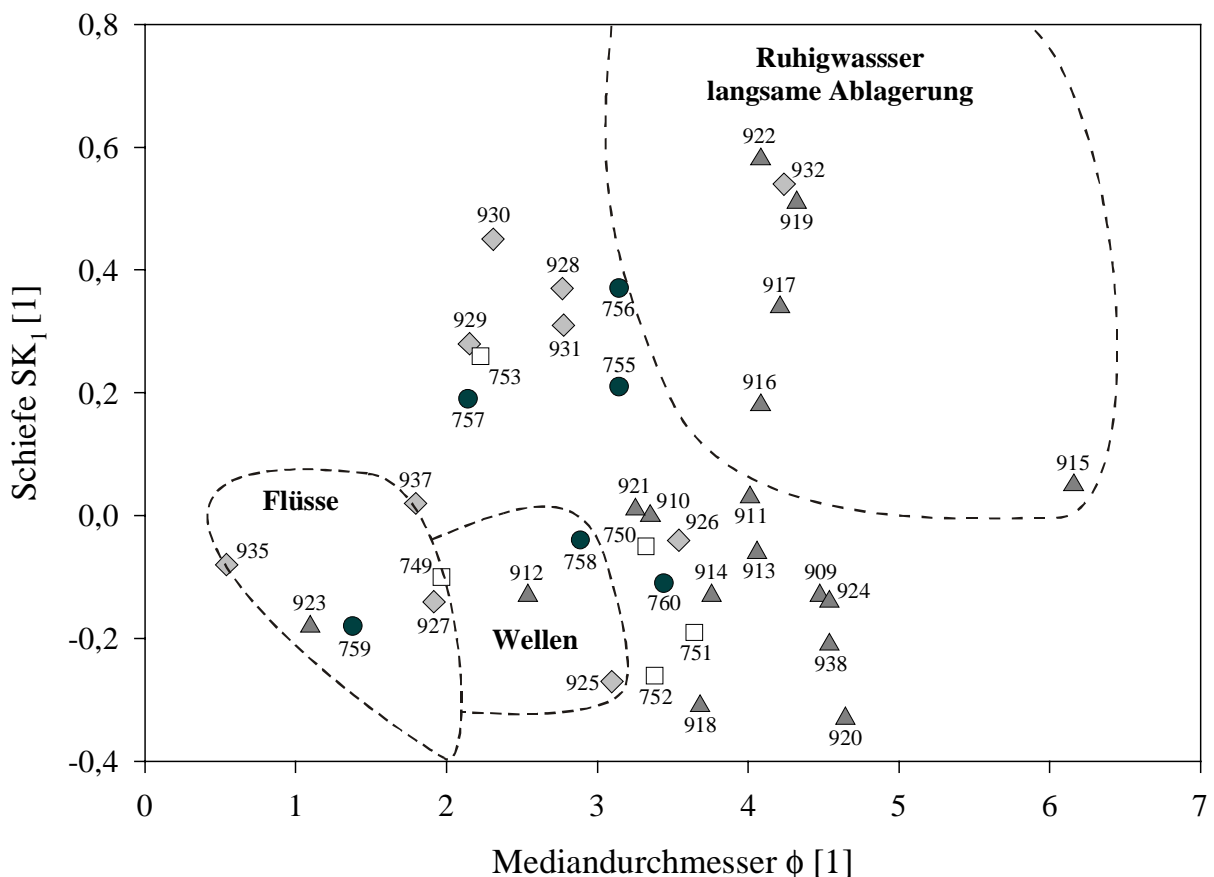


Abb. 37: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels des Mediandurchmessers  $\phi$  und der Schiefe  $SK_1$  (nach STEWART 1958, Symbole wie in Abb. 20b).

bzw. die Phi-Abweichung (Abb. 37 und Abb. 38) oder das C-M-Diagramm nach PASSEGA (1964), welches ebenfalls den Mediandurchmesser verwendet und diesen gegen das größte Perzentil der Probe aufträgt (Abb. 39).

Wie aus diesen drei Abbildungen ersichtlich wird, ist keines der Diagramme geeignet, um die in dieser Arbeit untersuchten Proben zu interpretieren. Nur ein geringer Teil der Proben fällt in eines der Felder. Auffallend ist, daß die Proben, die in das Diagramm der Abb. 37 plotten, nicht auch in den entsprechenden Feldern des Diagrammes der Abb. 38 liegen. Obwohl auf Grund der geographisch-geomorphologischen Lage der abgeteuften Bohrungen mit einem hohen Anteil an fluviatil abgelagerten Sedimenten zu rechnen ist, fallen nur sehr wenig Proben in die entsprechenden Diagrammfelder. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus allen sedimentologischen Untersuchungen lassen sich dennoch Tendenzen beobachten. Generell kann für alle Proben, die gemeinsam in ein Feld plotten, ein ähnliches Ablagerungsmilieu angenommen werden. Für diejenigen Proben, die in das Feld „Ruhigwasser, langsame Ablagerung“ der Abb. 37 und Abb. 38 fallen, ist eine Sedimentation in einem besonders energiearmen Ablagerungsraum aus einer Suspension anzunehmen. Solcherart abgelagerte Sedimente sind sehr feinkörnig und meist nur sehr schlecht sortiert (REINECK & SINGH 1986). Mit Ausnahme der Probe HDS 915, die eine gute Sortierung aufweist, entsprechen alle anderen Proben, die in dieses Feld fallen, den beschriebenen Eigenschaften. Des weiteren wird aus Abb. 37 und Abb. 38 bereits deutlich, daß die Proben der Bohrung Theater mit wenigen Ausnahmen sehr ähnliche Sedimenteigenschaften besitzen und im Vergleich zu den Proben der anderen Bohrungen in ihrer Gesamtheit eine Sonderstellung einnehmen.

Auffallend ist, daß alle Proben, die im C-M-Diagramm nach PASSEGA (Abb. 39) in das „Strand“-Feld fallen, fast ausschließlich sehr schlecht sortiert sind. Das gleiche gilt für die Proben, die in den Diagrammen nach STEWART (Abb. 37 und Abb. 38) in das Feld „Wellen“ plotten. Strandsedimente werden im Allgemeinen als sehr gut sortiert beschrieben (z.B. EINSELE 2000, READING & COLLINSON 1996). Ebenfalls gemeinsam ist all diesen Proben eine Korngrößenzusammensetzung im oberen Korngrößensbereich. Da beide Felder jedoch einen Ablagerungsraum höherer Energien repräsentieren, die schlechte Sortierung der Sedimente und ihre Position innerhalb des jeweiligen Profils eine Ablagerung im Küstengebiet jedoch ausschließt, wird für die Sedimente dieser Proben eine Ablagerung im fluviatilen Bereich in Gerinnenähe angenommen.

Um eine allgemeine Gruppierung der Proben auf Grund der Korngrößenparameter treffen zu können, wurden verschiedene Parameter gegeneinander aufgetragen (Abb. 21 sowie Abb. 106 und Abb. 107 in Anhang B). Besonders deutlich wird aus allen drei Abbildungen, daß die Proben der Bohrung Theater jeweils sehr ähnliche Korneigenschaften besitzen. Mit Ausnahme der Proben HDS 912, 913, 922 und 923 bilden alle anderen Proben dieser Bohrung ein Cluster. Sie sind sehr gut bis mittelmäßig sortiert, sehr gleichförmig bis gleichförmig und haben einen geringen Mediandurchmesser. Daraus läßt sich auf sehr ähnliche Ablagerungsbedingungen in ähnlichen Milieus schließen. Da die beiden Proben HDS 912 und 913 nur in je einem Diagramm jeweils nicht weit außerhalb des Clusters liegen, wird auch für diese beiden Proben keine signifikante Änderung der Sedimentationsbedingungen bzw. des Ablagerungsraumes angenommen. Probe HDS 923 besitzt dagegen deutlich andere Korneigenschaften. Neben einem wesentlich höheren Mediandurchmesser weist diese Probe auch einen sehr schlechten Sortierungsgrad auf und ist damit sehr ungleichförmig, woraus auf eine plötzliche kurzzeitige Änderung der Sedimentationsbedingungen geschlossen werden kann. Für eine vorübergehende Änderung sprechen ebenfalls die Korneigenschaften der Probe HDS 922, die sich in Richtung des Hangenden an Probe HDS 923 anschließt. Der Mediandurchmesser des Sediments, dem Probe HDS 922 entstammt, entspricht dem aller anderen beprobten Horizonte dieser Bohrung, lediglich der Grad der Sortierung und die Ungleichförmigkeit ähneln denen der Probe HDS 923.

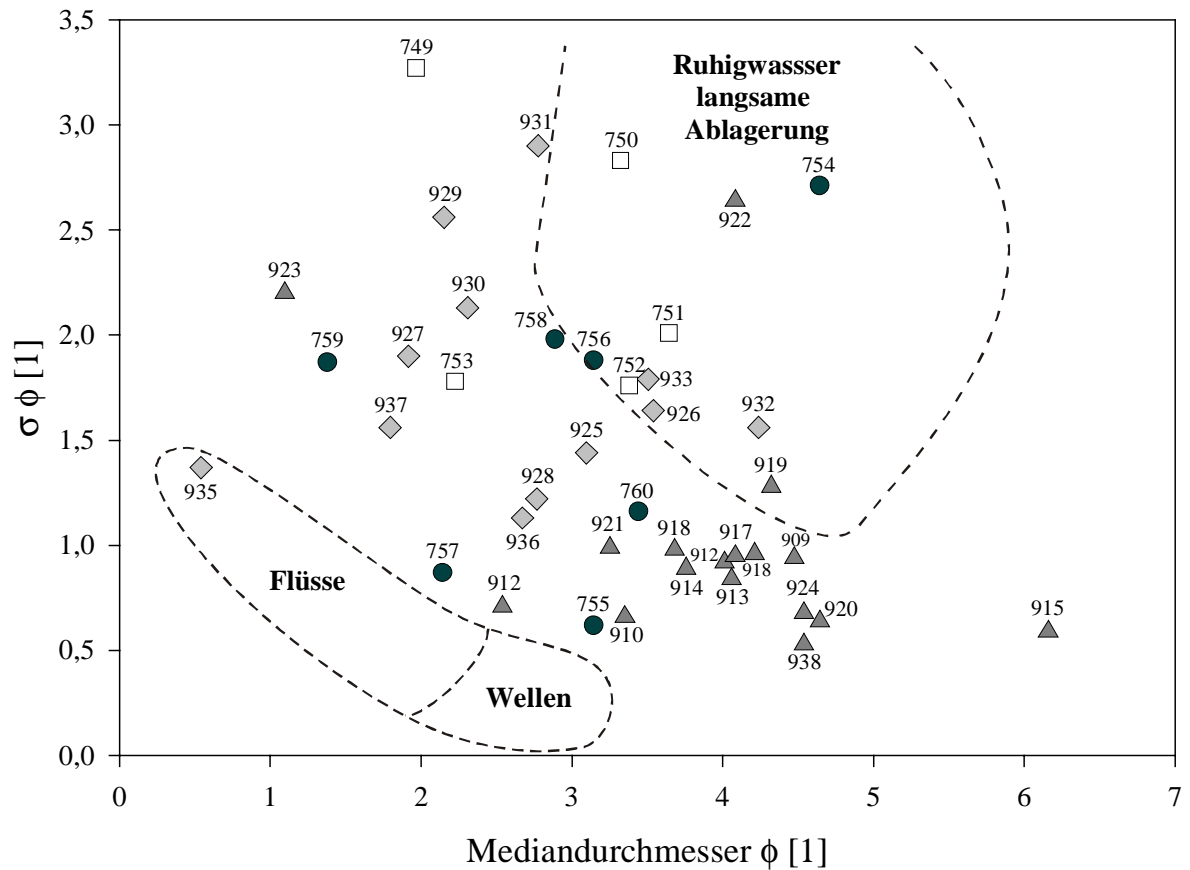


Abb. 38: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels des Mediandurchmessers  $\phi$  und der Phi-Abweichung  $\sigma\phi$  (nach STEWART 1958).

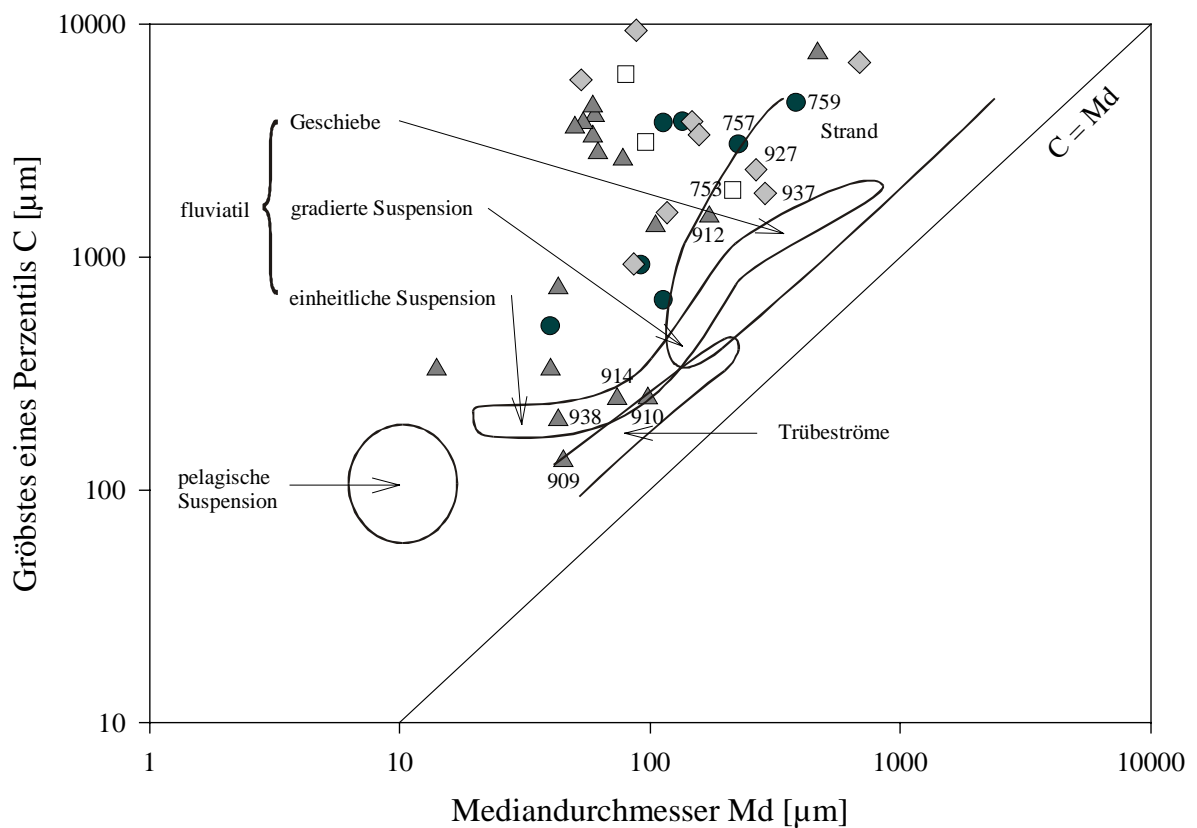


Abb. 39: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenuntersuchungen im C-M-Diagramm nach PASSEGA (1964, Symbole wie in Abb. 20b).

Auffallend ist ebenfalls, daß alle Proben der Bohrung Çıplak sehr schlecht sortiert und damit auch sehr ungleichförmig sind. Sedimente dieser Eigenschaften werden typischerweise in Folge eines Flutereignisses abgelagert (SELLEY 2000, DAVIS 1992).

Für die Proben der Bohrungen Dümrek und Höhle lassen sich keine Gruppierungen erkennen. Sowohl die Mediandurchmesser schwanken erheblich, als auch die Bereiche des Sortierungs- bzw. Ungleichförmigkeitsgrades. Aus diesem Grund werden für die Sedimente dieser beiden Bohrungen wechselnde Sedimentationsbedingungen und Ablagerungsräume angenommen.

### **6.1.3 Fazielle Ausbildung der Sedimente der Bohrkerne**

#### **6.1.3.1 Allgemeines**

In der hier vorliegenden geologisch orientierten Arbeit werden die in archäologischen, bodenkundlichen und physiogeographischen/geomorphologischen Arbeiten verbreiteten Termini „Kolluvium“ („Colluvium“, „Kolluvisol“) und „Alluvium“ vermieden. Sie sind im heutigen deutschen geologischen Sprachgebrauch nicht mehr gebräuchlich bzw. werden oft unkorrekt verwendet und können folglich zu Mißverständnissen führen. Um solchen Mißverständnissen vorzubeugen sollen die jeweiligen Bedeutungen in den weiteren Absätzen beschrieben werden.

Weder in bodenkundlichen noch in physiogeographisch/geomorphologischen Arbeiten ist für den Begriff „Kolluvium“ eine einheitliche Definition vorhanden. In physiogeographischen/geomorphologischen Arbeiten findet der Begriff z.T. gar keine Verwendung, z.T. gibt es Widersprüche bei der Definition von „Kolluvium“ und den zur Ablagerung dieser Sedimente führenden Prozessen.

Nach bodenkundlicher Definition handelt es sich bei Kolluvien zum einen um humoses Bodenmaterial, welches von Wasser abgeschwemmt, durch Wind ausgetragen, durch Rutschungen oder anthropogen bedingte Prozesse bergab transportiert und am Fuß von Berghängen abgelagert wurde, und zum anderen um Auelehme, die fluviatile Sedimente darstellen, welche in Folge eines Flutereignisses aus einer Suspension in Nähe des Flußbettes in der „Talaue“ abgelagert wurden (SCHEFFER et al. 2002, FINNERN 1996, CATT 1992, SCHROEDER & BLUM 1992). Im Allgemeinen stellen diese Sedimente tonig-schluffige bis feinsandige Ablagerungen dar. Im geologischen Sinne, kann das Wort „Kolluvium“ folglich zwei völlig verschiedene Transportmedien und Ablagerungsräume bezeichnen.

In den Definitionen quartärer Lockergesteine für die Geologische Karte (GK 25) ist der Begriff „Kolluvium“ nicht enthalten. Der Begriff „kolluviale Ablagerungen“ wird als nicht mehr zu verwendendes Synonym für Ablagerungen in Talsohlen und Talkerben aufgeführt (HINZE et al. 1989).

In der Physiogeographie/Geomorphologie wird der Begriff „Kolluvium“, wenn überhaupt, dann uneinheitlich gebraucht. DALRYMPLE et al. (1968) verwenden Kolluvium als geomorphologischen Begriff für Ablagerungen am unteren Hangfuß, die in Folge von Massenbewegungen, deren Ergebnis im geologischen Sinne Hangschutt ist, oder oberflächenhaften Abspülprozessen entstehen. Diese Kolluvien können Bodenbildungen und organisches Material enthalten. SELBY (2000), der sich im wesentlichen auf die Arbeit von DALRYMPLE et al. (1968) bezieht, nimmt entsprechend der Korngrößenzusammensetzung eine Unterteilung in Kolluvien (feinklastisch) und Taluvien (grobklastisch) vor. TIETZE (1969) bezeichnet als Kolluvium lediglich den feinklastischen Anteil von Hangschuttmassen. Nach GOUDIE (2002, 2001) und STRAHLER & STRAHLER (1999), die den Begriff „Kolluvium“ nicht verwenden, werden die Hangfuß-Ablagerungen, die am ehesten einem Kolluvium nach bodenkundlicher Definition entsprechen, in Folge von Starkregenfällen gebildet; durch die Wirkung von Regentropfen (raindrop impact) und/oder einer oberflächenhaften Abspülung (surface flow,

Flächenspülung) von verwittertem Material von Hängen. STRAHLER & STRAHLER (2000) bezeichnen diese Ablagerungen, die im unteren Hangbereich und am Hangfuß sedimentiert werden, als Regolith. LESER (2001, 1995) zählt den Prozeß des aquatischen Hangabtrags durch Spülung in Folge von Niederschlägen zu den hangfluvialen Prozessen, die je nach Niederschlagsintensität, -dauer und beeinflusster Fläche weiter unterteilt werden. Nach dem Internationalen Geographischen Glossarium (INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL UNION 1985), ist Kolluvium ein bodenkundlicher Begriff, der in eine Vielzahl von Ablagerungen unterschiedlicher Entstehungsart unterteilt wird (z.B. Hangkolluvium, fluviale Kolluvien, Auenlehme). Unklarheit besteht somit also auch bezüglich der Prozesse, die zur Bildung und Ablagerung von Kolluvien bzw. entsprechenden Sedimenten führen.

Daher werden in vorliegender Arbeit von Hängen abgeschwemmte Sedimente, als „Hangmaterial“ bezeichnet. Bei allen durch einen Fluß abgelagerten Sedimente werden die in der Sedimentologie gebräuchlichen Bezeichnungen verwendet.

Während im englischen Sprachgebrauch der Begriff „alluvium“ bzw. „alluvial“ als zusammenfassende Bezeichnung aller fluvial abgelagerten Sedimente gebräuchlich ist (CATT 1992), bezeichnet er im deutschen geologischen und bodenkundlichen Sprachgebrauch zum einen den jüngsten geologischen Zeitraum (Holozän) und zum anderen wird er als allgemeine Bezeichnung für junge Sedimente verwendet. Neben fluvialen Ablagerungen zählen zu alluvialen Ablagerungen auch Küstensedimente und geologisch junge Abschwemmprodukte. Letztere wiederum sind per bodenkundlicher Definition als „Kolluvium“ bzw. „Kolluvisol“ anzusprechen (siehe oben, SCHEFFER et al. 2002, FINNERN 1996). Unter der Annahme der korrekten Datierung der untersuchten Sedimente stellen somit fast alle Horizonte der vier Bohrungen alluviale Ablagerungen dar.

Auf Grund des geringen Kerndurchmessers der abgeteuften Bohrungen und dem Fehlen von Großaufschlüssen ist die Interpretation der angetroffenen Sedimente nicht einfach, da z.B. größerdimensionale Schichtungsmuster und Strukturen nicht erkannt werden können. Besonders schwierig ist die Unterscheidung von abgeschwämmtem Hangmaterial und fluvial abgelagerten Feinstdimenten, da diese Ablagerungen sehr ähnliche sedimentologische Eigenschaften besitzen können. In vorliegender Arbeit wurde zur Unterscheidung dieser beiden Ablagerungsformen daher die folgenden beiden Hauptkriterien verwendet: das Vorhandensein bzw. die Menge von anthropogenem Eintrag, sowie die in der Ingenieurgeologie definierten Charakteristika für Hangmaterialien. Demnach sind Hangablagerungen im Hangfußbereich durch eine hohe Ungleichförmigkeit der Korngrößenzusammensetzung und einer allgemein schlechteren Sortierung gekennzeichnet (FECKER & REIK 1996, REUTER et al. 1992). Zusätzlich gehen alle aus den Korngrößenuntersuchungen bezogenen Erkenntnisse in die Interpretation der jeweiligen Horizonte ein.

Im Vergleich zur Veröffentlichung von GÖBEL et al. (2003) weichen die Interpretationen der Ablagerungen von denen in der hier vorliegenden Arbeit ab. Dies hat zwei Gründe: zum einen erfolgte die Interpretation in GÖBEL et al. (2003) vorwiegend unter geomorphologischen und nicht unter geologisch-sedimentologischen Gesichtspunkten und basiert im wesentlichen auf den Felduntersuchungen, und zum zweiten konnten die Untersuchungen zum Mineralbestand, die auch mikropaläontologische Ergebnisse lieferten sowie die Korngrößenanalysen, die eine essentielle Grundlage für die fazielle Interpretation darstellen, erst nach der Veröffentlichung vollständig abgeschlossen werden. Während die sedimentologischen Interpretationen in GÖBEL et al. (2003) einen allgemeinen Charakter besitzen, gehen die der vorliegenden Arbeit weiter ins Detail und sind differenzierter dargestellt. Somit sind die Angaben in GÖBEL et al. (2003) als vorläufige Interpretationen zu verstehen, die mit dieser Arbeit präzisiert und aktualisiert werden.

Generell weisen die angetroffenen Sedimente in allen vier Bohrungen ein nur geringes Korngrößenspektrum im unteren Korngrößenbereich auf. Im wesentlichen handelt es sich um Psammite. Es herrschen sandige Horizonte vor, in die gelegentlich gröber- und feinklastische Partien eingeschaltet sind (siehe Abb. 40 bis Abb. 43 und Abb. 59 bis Abb. 105 in Anhang B). In den meisten Fällen sind die untersuchten Sedimente mittelmäßig gut sortiert und gleichförmiger Zusammensetzung. Diese Sedimenteigenschaften spiegeln die geographisch-geomorphologische Position des Ablagerungsraumes im morphologisch unteren Bereich eines fluviatilen Systems wider, der durch ein flaches Relief und dadurch bedingt durch ein energiearmes Ablagerungsmilieu gekennzeichnet ist. Der Rundungsgrad der einzelnen Mineralkörner läßt auf einen Transport in Suspensionsfracht schließen. Eine ebene Horizontalschichtung ist typisch für ein höheres Strömungsregime und damit kennzeichnend für plötzlich auftretende Flutereignisse und für die Ablagerung von Sedimenten in einem Flußbett, im Bereich von Küsten und einer Deltafront (SELLEY 2000).

Zur Interpretation der sedimentologischen Ergebnisse wurden die folgenden Werke als Referenzen benutzt: DAVIS 1983, 1992; EINSELE 2000, MIALL 1996, 1997, 2000; READING (ed.) 1996, REINECK & SINGH 1986, SELLEY 2000. In der graphischen Umsetzung der Bohrkernbeschreibungen (Abb. 40 bis Abb. 43) sind neben den Faziesbereichen der Vollständigkeit halber bereits die für die jeweiligen Horizonte ermittelten Alter der Ablagerung angegeben. Eine Diskussion der Alter erfolgt getrennt von der Interpretation der sedimentologischen Ergebnisse in Kapitel 6.3.

#### **6.1.3.2 Bohrung Dümrek (Abb. 40)**

Homogene feinklastische Ablagerungen dunkler Farbe mit einem hohen Anteil an Pflanzendetritus, wie sie an der Basis (9,80—23,00 m) der Bohrung Dümrek angetroffen wurden, sind kennzeichnend für flachmarine Prodeltasedimente, die bei geringer Strömungsenergie aus einer Suspension abgelagert werden. Mit den fein- bis mittelsandigen Ablagerungen im Teufenbereich zwischen 10,25—10,75 m macht sich kontinentaler Einfluß bemerkbar. Diese Einschaltung wird als kurzzeitiger Eintrag kontinentalen Materials auf Grund eines Flutereignisses gedeutet. Bei der Teufe von 9,80 m beginnt eine allgemeine Korngrößenzunahme, die in Verbindung mit der Lamination der Sedimente und dem Vorhandensein von Herzmuscheln für eine Verlagerung des Sedimentationsraumes in kontinentale Richtung spricht. Neben den Herzmuscheln, die einen Lebensraum in einem flachmarinen, schluffig-sandigen Umfeld bevorzugen, spricht auch die dunkle Farbe für eine subaquatische Ablagerung im Bereich der Deltaplattform. Belegt durch die allgemeine Korngrößenzunahme in der Teufe von 9,40 m wird eine Änderung der Sedimentationsbedingung angezeigt. Dunkle, unsortierte Ablagerungen, die Pflanzenreste enthalten, sind typisch für plötzlich einsetzende Flutereignisse, die zur Ablagerung von Sandbänken führen. Während die Ablagerungen im Teufenbereich von 8,20—9,40 m als küstennah abgelagerte Sandbank (sand bar) im Bereich der Flußmündung anzusehen sind, werden auf Grund der ermittelten Kornparameter die Ablagerungen des folgenden Meters nicht mehr wie in GÖBEL et al. (2003) zum Übergangsbereich der Küstenzone gezählt, sondern bereits als rein fluviatile Sedimente angesehen, die direkt in oder in unmittelbarer Nähe eines Flußlaufes abgelagert wurden. Der in einer Teufe von 8,15—8,20 m eingeschaltete laminierte reine Grobsand wird als Ablagerung einer Flußrinne (channel floor deposit) gedeutet. Gut sortierte Ablagerungen im Korngrößenbereich von Schluff bis Feinsand (HDS 760), wie sie im weiteren Profilverlauf angetroffen wurden, sind typisch für fluviatile Sande und werden als am Flußbettrand abgelagerte Sandbank (channel bar) interpretiert. Gefolgt wird dieser feinkörnige Horizont von einem schlecht sortierten Sand (HDS 759), der als Uferwallbildung (overbank deposit/levée), abgelagert in Folge einer Überflutung, angesehen wird.



Abb. 40: Profil der Bohrung 144 – Dümrek mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern (*Altersangaben kursiv*: Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).



Durch den knapp 2 m mächtigen Schluffhorizont, der im Teufenbereich von 5,60—7,50 m aufgeschlossen wurde, wird ein energiearmer Ablagerungsraum dokumentiert. Sowohl die harte Konsistenz als auch der hohe Gehalt an Kalkkonkretionen dieses Profilabschnitts sind kennzeichnend für Kompaktionen. Somit kann von einer ursprünglich wesentlich höheren Mächtigkeit ausgegangen werden. Dies und die Homogenität der Sedimente spricht für länger andauernde, gleichbleibend ruhige Ablagerungsbedingungen. Die gelegentlich eingeschalteten sandigen Linsen dokumentieren einen sporadisch auftretenden Eintrag gröberen Materials auf Grund einer kurzzeitigen geringfügigen Erhöhung der Transportenergie. Obwohl keine Pflanzenreste vorhanden sind (KAYAN & KADEREIT unpublizierte Feldbucheintragungen), wird nunmehr auf Grund der sedimentologischen Untersuchungsergebnisse von einer Ablagerung in einem sumpfigen Bereich der Überflutungsebene zwischen aktiven Flußkanälen (overbank deposit/floodplain/interchannel area/swamp) ausgegangen. Sowohl die Monotonie der Ablagerungen als auch die relativ hohe Mächtigkeit sprechen für eine Ablagerung in einem fluviatilen Milieu und nicht wie ursprünglich in GÖBEL et al. (2003) angenommen für eine Ablagerung im Küstenlinienbereich.

Durch die scharfe Grenze in der Teufe von 5,60 m wird eine plötzliche Änderung der Sedimentationsbedingungen angezeigt. Innerhalb der folgenden 4 m nimmt die Korngröße der abgelagerten Sedimente zu, was auf eine Erhöhung der Transportenergie schließen läßt. Die generelle Korngrößenzunahme und die immer wieder eingeschalteten grobklastischen Horizonte sprechen für eine Verlagerung des Ablagerungsraumes in Gerinnenähe.

Sowohl die scharfe Grenze als auch die hohe Korngrößenvarianz und schlechte Sortierung der innerhalb des folgenden Meters abgelagerten Sedimente (HDS 758) sprechen für eine Ablagerungen in Folge einer plötzlich einsetzenden Überflutung (overbank deposit/crevasse splay deposit), wobei die Abnahme der Korngröße im Teufenbereich 4,30—4,50 m das Nachlassen der Transportenergie und Ende des Flutereignisses dokumentiert.

KAYAN & KADEREIT (unpublizierte Feldbucheintragungen) haben im Teufenbereich von 3,30—4,30 m einen durch eine scharfe Grenze zum liegenden Horizont abgegrenzten feinaufwärts-Zyklus beschrieben, wie er typisch ist für die Ablagerungen von Sandbänken (point bar), die sich im Bereich des Gleithanges von Flußkrümmungen ablagern. In der Parallelbohrung dieses Teufenbereichs konnte dieser Profilabschnitt nicht dokumentiert werden. Allerdings sprechen die allgemeine Korngrößenzunahme und die mittelmäßige Sortierung (HDS 757) der Sedimente, die auch in der Parallelbohrung angetroffen wurde, sowie das Vorhandensein von Schneckenschalen- und Holzresten ebenfalls für eine Ablagerung der Sedimente dieses Profilabschnitts in unmittelbarer Nähe des Flußbettes als Sandbank bzw. Uferwallbildung (overbank deposit/bank deposit/levée). Im Hangenden folgt ein gut sortierter Feinsand (HDS 755) der als am Flußbettrand abgelagerte Sandbank (channel bar) interpretiert wird. Die Korngrößenzunahme sowie die schlechte Sortierung des im Profil folgenden schluffigen Sandes (HDS 756) spricht wiederum für eine kurzzeitige Erhöhung der Transportenergie und eine Ablagerung als Uferwallbildung (overbank deposit/levée). Im Anschluß an diesen Horizont erfolgte die Sedimentation bis zur Geländeoberkante in einem sehr energiearmen Ablagerungsmilieu. Gekennzeichnet wird dies durch die geringe Korngröße und das Fehlen jeglicher Strukturen (HDS 754). Das Vorhandensein von Kalkkonkretionen und die harte Konsistenz des unteren Bereiches dieses Profilabschnitts sprechen für eine ursprünglich höhere Mächtigkeit und eine Sedimentation in einem gleichbleibend ruhigen Ablagerungsraum sowie dem Eintrag Ca-hydrogenkarbonatreichen Grundwassers. Kennzeichnend sind diese Bedingungen für den sumpfigen Bereich der Überflutungsebene zwischen aktiven Flußkanälen (overbank deposit/floodplain/interchannel area/swamp).

### 6.1.3.3 Bohrung Theater (Abb. 41)

Ebenso wie in Bohrung Dümrek stellen die dunklen, homogenen Sedimente an der Basis der Bohrung Theater flachmarine Ablagerungen des Prodeltabereichs dar. Im weiteren Profilverlauf erfolgt eine Korngrößenzunahme. Der folgende sandige Schluff, der Muschelschalen und Holzreste enthält (HDS 938) wird als Ablagerung im Bereich des unteren Deltaabhangs interpretiert. Für diesen Sedimentationsbereich sind die zuvor beschriebenen Ablagerungen typisch. Es folgt im Teufenbereich um 10 m eine Wechsellagerung von horizontal geschichteten Schluffen und Feinsanden (HDS 924), die einen zunehmenden kontinentalen Einfluß widerspiegeln, der durch das enthaltene organische Material (Pflanzenreste?) und den anthropogenen Eintrag in Form von Ziegelbröckchen dokumentiert wird. Als Sedimentationsraum wird der schwach gezeitenbeeinflusste Bereich der Deltaplattform angenommen, für den Schluff/Feinsand Wechsellagerungen mit interner Horizontalschichtung charakteristisch sind. Die Feinsandlagen dokumentieren den höheren terrigenen Eintrag während Zeiten der Ebbe. Ein zunehmendes breites Korngrößenspektrum mit Grobklasten, dokumentiert in der hohen Ungleichförmigkeit der Probe HDS 923, wie es die folgenden Horizonte des Profils zeigen, ist bezeichnend für fluviatile Sedimente, die bedingt durch ein Flutereignis im Bereich der Flußmündung und Deltafront abgelagert wurden. Diese als Sandbänke (mouth bar sands/coastal barrier sands) bezeichneten Sedimentpakete zeigen eine Schrägschichtung und innerhalb des Horizontes eine normale Gradierung (Teufenbereich 9,01—9,85 m). Für eine Ablagerung der Sedimente dieses Profilabschnitts im flachmarinen Bereich spricht zum einen die Gradierung und zum anderen die kontinuierliche Farbpräsenz. Eine allmähliche Farbänderung von dunkelgraublau zu braun tritt erst im Teufenbereich zwischen 8,86—9,01 m auf, was als allmähliche Änderung der Sedimentationsbedingungen, bzw. eine Verlagerung des Ablagerungsraumes gewertet wird. Auch das plötzliche Auftreten von Kalkkonkretionen und einer kalkigen Matrix belegt eine solche Änderung.

Bis in eine Teufe von etwa 2,50 m wird das Profil von Sedimenten gebildet, die als unterschiedliche Ablagerungen eines fluviatilen Systems im Bereich der Deltaebene interpretiert werden. Abgesehen von einem gelegentlichen Vorkommen von Holzresten wurden im Profil keine weiteren Pflanzenreste angetroffen. Dagegen sind im Profilverlauf immer wieder gröberklastische Horizonte eingeschaltet, die Schneckenschalen enthalten. Somit wird von einer mehr oder weniger kontinuierlichen Sedimentation in Nähe von Flußkanälen ausgegangen, die nur hin und wieder von kurzen Phasen geringer oder keiner Sedimentation unterbrochen wurden. Diese Stagnationen werden dokumentiert durch ein erhöhtes Vorkommen von Kalkkonkretionen. Für eine kontinuierliche Sedimentation und nur geringe Veränderungen der Sedimentationsbedingungen spricht auch das weitgehende Fehlen scharfer Grenzen zwischen den einzelnen Horizonten. Oft sind die Grenzen nur undeutlich oder auf Grund einer geringen Farbänderung auszumachen. In den meisten Fällen erfolgt ein allmählicher Übergang. Lediglich in der Teufe von 7,44 m wurde eine scharfe Grenze angetroffen.

An der Basis des fluviatilen Sedimentpakets in der Teufe von etwa 9 m wurde ein Mittel- bis Grobsand angetroffen, der als basale Ablagerung eines Flußkanals (channel floor deposit) angesehen wird. Gefolgt wird dieser Horizont von einem schluffigen Fein- bis Mittelsand (HDS 921), der in einen Grobschluff (HDS 920) übergeht. Der Trend der Korngrößenabnahme indiziert eine Ablagerung in einem energieärmeren Milieu abseits des Flußbetts. Obwohl keinerlei interne Strukturen erkennbar sind, im Schluff aber Reste von Schneckenschalen angetroffen wurden, werden die Sedimente dieses Profilabschnitts als Überflutungssedimente (overbank deposit), abgelagert in der näheren Umgebung des Flußbettes, interpretiert, wobei der sandige Horizontbereich als Uferwallbildung (overbank deposit/levée) und der schluffige Bereich als Ablagerung der näheren Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain) angesehen wird.

Abb. 41: Profil der Bohrung 157 – Theater mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern (*Altersangaben kursiv*: Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).



Auf Grund der nur undeutlichen Gradierung dieses Profilabschnittes und der unmittelbaren Nähe zur Küstenlinie erscheint eine Deutung als eine an einem Gleithang abgelagerte Sandbank (point bar) eher unwahrscheinlich.

Durch die scharfe Grenze bei 7,44 m und dem darüber folgenden fein-aufwärts-Zyklus wird eine kurzzeitige Verlagerung des Ablagerungsraumes in Richtung eines energiereicheren Milieus angezeigt. Interpretiert wird der Profilabschnitt bis zur Teufe von 6,87 m als Sandbank abgelagert im Bereich des Gleithanges eines Flußkanals (point bar). Bis in eine Teufe von 3,55 m werden durch die angetroffenen Sedimente nur geringfügig wechselnde Ablagerungsbedingungen dokumentiert. Auf Grund der sedimentologischen Untersuchungen werden die bis zur Geländeoberkante angetroffenen Sedimente als fluviatile Ablagerungen und nicht wie in GÖBEL et al (2003) als abgespültes Hangmaterial interpretiert. Zum einen ist bis in eine Teufe von 2,75 m kein anthropogener Eintrag enthalten, und zum anderen besitzen die Ablagerungen nicht die für Hangmaterial typischen sedimentologischen Charakteristika. Außerdem wurden Schneckenschalen/-reste angetroffen, die ebenfalls einen fluviatilen Ablagerungsraum anzeigen. Sowohl das geringe Korngrößenspektrum (Schluff bis Feinsand), die hohe Gleichförmigkeit, als auch die gute bis mittelmäßige Sortierung der Sedimente (HDS 918 bis HDS 912) sprechen für eine mehr oder weniger ungestörte Ablagerung im Bereich der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain). Auf Grund des immer wieder vorhandenen feinsandigen Eintrags und der enthaltenen Holzreste wird als Ablagerungsraum ein sumpfiges Gebiet zwischen Flußkanälen (interchannel area/swamp) im näheren Einflußbereich eines Flußkanals angenommen. Diese unmittelbare Nähe wird durch die angetroffenen Schneckenschalen/-reste belegt. Auf Grund der im Teufenbereich zwischen 3,55–4,30 m gehäuft auftretenden Kalkkonkretionen (HDS 913) wird von einer vorübergehenden Stagnation der Sedimentation ausgegangen, auf die ein Eintrag etwas gröberklastischen Materials folgte (HDS 912), was wiederum auf eine Erhöhung der Transportenergie schließen läßt. Ab einer Teufe von 2,75 m ist in den Sedimenten anthropogener Eintrag zu beobachten. Im Vergleich zum vorhergehenden Profilabschnitt sind bezüglich der Sedimenteigenschaften nur geringfügige Änderungen vorhanden. In den Ablagerungen bis zur Geländeoberkante ist lediglich ein geringfügig höherer Feinsandeintrag zu verzeichnen (HDS 909 bis HDS 911). Auf Grund der Homogenität der Sedimente wird von einem ruhigen Ablagerungsraum im Bereich der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain/swamp) ausgegangen. Da der obere Profilabschnitt einen deutlichen anthropogenen Eintrag enthält und sich das Profil in unmittelbarer Nähe zum Siedlungsbereich Troias befindet, wird davon ausgegangen, daß dieser Profilabschnitt fluviatil umgelagertes Hangmaterial enthält.

#### **6.1.3.4 Bohrung Höhle (Abb. 42)**

Auch das Profil der Bohrung Höhle beginnt im marinen Bereich. Der an der Basis aufgeschlossene, Muschelschalen und Pflanzenreste enthaltende, dunkelblaugraue Fein- bis Mittelsand wird als Ablagerung des unteren Deltaabhangs angesehen. Mit dem sich anschließenden gelbbraunen Mittelsand und der auf diesen folgenden Muschelschillschicht macht sich eine kontinentale Komponente bemerkbar. Sowohl die Farbänderung zu gelbbraun als auch die relative Korngrößenzunahme sprechen für einen kurzzeitigen kontinentalen Eintrag bedingt durch eine Zunahme der Transportenergie in Folge eines Flutereignisses, das neben den fluviatilen Ablagerungen aus dem Hinterland auch die Muschelschalen aus dem Küstenlinien- bzw. Strandbereich in den Deltabereich verlagert hat. Auf Grund der einheitlichen Korngröße des Mittelsandes und der relativen Größe der Schillbruchstücke wird eine Ablagerung im gezeitenbeeinflussten Bereich der Deltaplattform angenommen, der eine Auswaschung feineren Materials bedingt.

Durch den folgenden schluffigen Feinsand (HDS 936) und die darin enthaltenen Muschelschalen und Pflanzenreste wird eine weitere Verlagerung des Sedimentationsraumes in kontinentale Richtung angezeigt. Gemeinsam mit dem nachfolgenden ca. 2 cm mächtigen Schluffhorizont handelt es sich wahrscheinlich um den Rest einer im schwach gezeitenbeeinflussten Bereich abgelagerten Schluff-Feinsand-Sequenz, deren oberer Bereich von den Sanden erodiert wurde, die sich im weiteren Profilverlauf anschließen.

Auf Grund ihrer Eigenschaften (Korngrößenzusammensetzung, Sortierung, Ungleichförmigkeit, Farbe) sind alle im weiteren Profilverlauf ab der Teufe von 10,40 m bis zur Geländeoberkante angetroffenen Sedimente fluviatile Ablagerungen. Anthropogenes Material läßt darauf schließen, daß ein gelegentlicher Eintrag von Hangmaterial stattgefunden hat, der in Folge fluviatil umgelagert wurde. „Reine“ Hangmaterialablagerungen, wie sie für die vom Troia-Rücken stammenden Hangmassen typisch sind (fein- bis feinstklastische dunkle Sedimente) wurden in diesem Profil nicht angetroffen.

Der fluviatile Profilabschnitt beginnt mit einem etwa 3 m mächtigen fein-aufwärts-Zyklus. Auf Grund der generellen Korngrößenabnahme von einem schluffig kiesigen Sand (HDS 935) über einen Mittelsand zu einem schluffigen Feinsand (HDS 933) und der schlechten Sortierung dieser Sedimente wird von einer Ablagerung der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain) in Flußbettnähe in Folge eines Flutereignisses ausgegangen, wobei die abnehmende Korngröße eine weitere Entfernung vom Flußbett nahe legt. Aus dem Vorhandensein von anthropogenem Eintrag (Ziegelbröckchen, Keramikbruchstücke) läßt sich auf eine nur geringe Entfernung zum Siedlungsort, bzw. vom Hangfuß des Troia-Rückens schließen.

Sowohl die kalkige Matrix als auch die Holzreste in Probe HDS 933 legen eine kurzzeitige Stagnation der Sedimentation in diesem Ablagerungsraum nahe. Im Folgenden (Teufenbereich 5,80—7,55 m) erfolgte erneut ein Eintrag gröberen Materials, der in Richtung des Hangenden wiederum kontinuierlich abnimmt und feinklastischen Sedimenten Platz macht (HDS 932). Wie vorher werden diese Sedimente als Ablagerungen der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain) angesehen. Auf Grund der vergleichsweise geringen Mächtigkeit der basalen Grobklastika (7,55—7,60 m) wird aber von einer weiteren Entfernung vom Flußbett ausgegangen.

Ab einer Teufe von 5,80 m ist in den folgenden 2 Metern des Profils eine allgemeine Korngrößenzunahme zu beobachten, die im wesentlichen durch den zunehmenden Eintrag von anthropogenem Material bedingt ist (HDS 928 bis HDS 931). Neben kleinen Ziegel- bzw. Keramikfragmenten wurden in der schluffig bis feinsandigen Sedimentmatrix Keramikscherben und Knochenfragmente bis 2 cm Größe angetroffen. Im hohen Anteil an Holzresten ist die schwarze Farbe des Profilbereiches von 5,41—5,73 m bedingt (HDS 930). Dieser Abschnitt wird wegen seiner hohen Menge an anthropogenem Material als „anthropogener Horizont“ bezeichnet. Für die Ablagerungen des Profilabschnitts von 3,66—5,80 m sind vier verschiedene Sedimentationsvarianten möglich, die im folgenden Abschnitt diskutiert werden sollen.

#### Variante 1: Direkte Ablagerung in Folge einer Katastrophe im Siedlungsbereich (Stadtbrand oder kriegerische Auseinandersetzung)

Da die Siedlung Troia im Laufe ihrer Geschichte mehrfach teilweise oder völlig zerstört und bis auf die Grundmauern niederbrannte (KORFMANN & MANNSPERGER 1998), ist der Transport von Material eines daraus resultierenden Zerstörungshorizontes vom Troia-Rücken in die Schwemmlandebene des Karamenderes denkbar. In diesem Fall wäre allerdings mit einer plötzlichen Änderung der Sedimenteigenschaften und keinem allmählichen Wechsel zu rechnen. Da eine Brandkatastrophe im Bereich der Siedlung ein im geologischen Sinne kurzzeitiges, schlagartig einsetzendes Ereignis darstellt, müsste dies in den Sedimenten durch eine scharfe Grenze zum liegenden Horizont dokumentiert sein. Im Profil zeigt sich aber ein ganz



Abb. 42: Profil der Bohrung 158 – Höhle mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern (*Altersangaben kursiv*: Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).



allmählicher Übergang, erste Knochensplitter sind bereits im Teufenbereich um 6,80 m anzutreffen, Fragmente weiteren anthropogenen Eintrags (Keramikscherben, Knochen) werden mit abnehmender Teufe allmählich größer; sie erscheinen ebenfalls nicht plötzlich, so daß eine scheinbare Sortierung des Materials von fein zu grob vorhanden ist. Bei einem abrupt einsetzenden Materialeintrag vom Troia-Rücken aus wäre in der geringen Entfernung zu diesem und dem Siedlungsareal mit sehr schlecht sortiertem, ungleichförmigem Material zu rechnen. Unter der Annahme der Auswaschung des Zerstörungshorizontes vom Siedlungsareal in die Ebene müßte das Material dagegen gut sortiert sein; mit zunehmender Entfernung wäre mit einer Abnahme der „Korn“-größen zu rechnen, was zu einer besser sortierten, gleichförmigeren Ablagerung führen würde.

Ebenfalls denkbar ist eine nachträgliche anthropogene Umlagerung und ein Transport des Materials des Zerstörungshorizontes in die Ebene im Zuge von Aufräumarbeiten vor einem Wiederaufbau der Siedlung bzw. die Umlagerung des Brandhorizontes aus einem südlicher gelegenen Ort der Ebene von Troia (siehe Variante 2). Aus archäologischer Sicht ist das Herausbringen von Schuttmaterial aus dem Bereich der Siedlung in ein außerhalb gelegenes Gebiet eher unwahrscheinlich. Sowohl in Troia als auch anderen Orts belegen Grabungsbefunde meist die Planierung von Schutt zerstörter Siedlungsstrukturen an Ort und Stelle und einen Neuaufbau auf der Planierungsschicht (pers. Mitt. R. BECKS).

#### Variante 2: Umgelagerter Bestattungs- oder Zerstörungshorizont

Alle angetroffenen Sedimenteigenschaften entsprechen denen eines umgelagerten Horizontes. In diesem Fall ist nicht unbedingt mit einer scharfen Liegendgrenze zu rechnen. In Folge einer Flußbettverlagerung schneidet ein Flußlauf einen Bestattungs- bzw. Zerstörungshorizont (B/Z-Horizont) an, nimmt etwas Material desselben auf und lagert es an anderer Stelle wieder ab. Auf Grund der topographischen Lage des Gebietes im Bereich des Unterlaufes mit einem flachen Relief und einem daraus resultierenden nur sehr schwachen Gefälle ist nicht mit einem weiten Transportweg zu rechnen. Während des Transportes und der Ablagerung kommt es zu einer Mischung mit dem „normalen“ transportierten Sedimentmaterial. Später schneidet sich der Flußlauf immer weiter in den B/Z-Horizont ein. Damit ändert sich zum einen die Menge des aufgenommenen Materials als auch dessen Größe. Mit zunehmender Einschnitttiefe des Flußbettes gelangt dieser, bei Umlagerung eines Bestattungshorizontes, immer näher in den Bereich der eigentlichen Bestattung mit Knochen bzw. Knochenfragmenten und Beigaben, deren Erhaltungszustand sich praktisch mit zunehmender Einschnitttiefe verbessert; bei Umlagerung eines Zerstörungshorizontes ist damit zu rechnen, daß nach Auswaschung und Abtragung des feinen Materials zunehmend auch gröberes abgetragen und an anderer Stelle wieder abgelagert wird. Die Sedimentfracht besteht nunmehr vor allem aus Material des eigentlichen B/Z-Horizonts. Somit würde sich zum einen die zunehmende „Korn“-größe des angetroffenen Horizontes erklären als auch die zunehmend dunkler werdende Farbe auf Grund der Zunahme organischen Materials. Der allgemeine schlechte Rundungsgrad des anthropogenen Eintrags (Knochen, Keramikfragmente) spricht für einen nur sehr kurzen Transportweg, eine Mischung und vermehrte Aufnahme „normalen“ Sedimentmaterials erfolgte auf der zu erwartenden kurzen Distanz von Nekropole bzw. Zerstörungsort zum Ablagerungsort nur untergeordnet. Neben diesen Argumenten spricht auch das Vorhandensein von Muschel- und Schneckenschalen im B/Z-Horizont für eine fluviatile Ablagerung bzw. Umlagerung eines anthropogenen Horizontes.

#### Variante 3: Nekropole in situ

Erste Hinweise auf eine Nekropole westlich des Siedlungsareals außerhalb der Stadtmauern im Bereich der Ebene des Karamenderes finden sich bei BLEGEN (1932). Neue geophysikali

sche Untersuchungen in diesem Gebiet lassen ebenfalls eine Interpretation dieses Gebietes als Nekropole zu. Des weiteren unterstützen in diesem Gebiet gemachte Lesefunde (Münzen, Ziegel, Sarkophagteile) eine solche Annahme (pers. Mitt. R. BECKS ). In der unmittelbaren Umgebung des Siedlungsareals wurden bisher mehrere Nekropolen nachgewiesen. So wurden beispielsweise etwa 500 m östlich der Position der Bohrung Höhle Gräber mit Körperbestattungen entdeckt (z.B. BLEGEN 1963, KORFMANN 2001, 2002, BECKS 2002). Auf Grund der geographischen Position der Bohrung Höhle ist das Antreffen eines „Bestattungshorizont“ also durchaus möglich. Auch die Sedimenteigenschaften des eigentlichen „anthropogenen Horizontes“ würden eine solche Deutung zulassen. Sowohl die archäologischen Befunde als auch die Datierung der Sedimente in dem betreffenden Bohrkernabschnitt implizieren eine römisch-hellenistische Nekropole bzw. ein römisch-hellenistisches Alter (siehe Kapitel 6.3.4). Die fehlende scharfe Liegendgrenze kann mit vermehrten Bioaktivitäten im Bereich einer Bestattung und einer damit verbunden Umlagerung erklärt werden. Auf Grund der topographischen Lage im Bereich der Schwemmlandebene und deren fluviatilen Ablagerungen ist das Vorhandensein der Muschel- und Schneckenschalen in diesem Horizont nicht verwunderlich.

Eine weitere Möglichkeit für die schlechte Sortierung und die damit verbundene hohe Ungleichförmigkeit der Ablagerungen, sowie das Vorhandensein der Muschel- und Schneckenschalen ließen sich durch mehrmalige Benutzung einer Grabstätte oder dem zufälligen Anschneiden einer solchen erklären. Ein Aushub oder Anschnitt eines Grabes würde zum einem zu einer Vermischung des Materials führen, welches im Anschluß sicher wieder als Füllmaterial verwendet wurde, und zum anderen auch das Vorhandensein der Muschel- und Schneckenschalen erklären, die ebenfalls in Folge einer Vermischung mit dem Aushub in diesen Horizont gelangt sein können. Eine genaue Unterscheidung dieser beiden besprochenen Möglichkeiten ist auf Grund des geringen Durchmessers des Bohrkerns allein aus den Sedimenteigenschaften nicht möglich. Dies ließe sich nur in einem größeren Profilschnitt unterscheiden, da größerräumige Strukturen im Bohrprofil nicht sichtbar sind.

Voraussetzung für die Nutzung dieses Bereiches der Karamenderes-Schwemmlandebene als Nekropole wäre eine zumindest saisonale Trockenheit. Da kein Profilschnitt untersucht werden konnte, ist es nicht möglich Aussagen zu dem Horizont zu machen, in den die Bestattung eingetieft wurde, sofern der angetroffenen „anthropogene Horizont“ einer Nekropole entspricht.

#### Variante 4: Natürlicher Brandherd oder anthropogener Verbrennungsort

Möglich wäre auch ein lokaler natürlicher Brandherd oder anthropogener Verbrennungsort. BLEGEN et al. (1953, siehe auch BECKS 2002), haben nordwestlich der Zitadelle, unweit der Position der Bohrung Höhle, einen möglichen Verbrennungsort („Place of Burning“) beschrieben. Allerdings befindet sich dieser Platz noch im Hangbereich des Troia-Rückens etwas oberhalb der Ebene des Karamenderes und dürfte somit nicht unmittelbar von anhaltender Feuchtigkeit bedroht gewesen sein.

Im Fall eines Verbrennungsortes wäre in den Sedimenten mit einer scharfen Grenze zum liegenden Horizont zu rechnen. Des weiteren zeigen die Sedimente der liegenden Horizonte keine Anzeichen einer längeren trockenen Periode. Es gibt keine Anzeichen von Bodenbildung oder einer Stagnation der Sedimentation in Form von Kalkkonkretionen oder einem erhöhtem Anteil an organischem Material, welches einen Bewuchs und damit eine für gewisse Zeit stabile Oberfläche anzeigen würde. Zum einen ist auf Grund des fehlenden Bewuchses und der zu erwartenden hohen Feuchtigkeit ein lokaler natürlicher Brandherd auszuschließen, zum anderen ist es auch nicht sehr wahrscheinlich, daß ein solcher Platz in der nassen Ebene des Karamenderes von Menschen als Verbrennungsort genutzt worden ist.

Auf Grund der zuvor diskutierten Interpretationsmöglichkeiten werden die Varianten 2, umgelagerter Bestattungs- oder Zerstörungshorizont, und 3, Nekropole in situ als die am wahrscheinlichsten zutreffenden angesehen.

Sowohl die zwischen dem „anthropogenen“ und dem darüber liegenden Horizont bestehende scharfe Grenze, als auch die höhere Korngröße der Sedimente des Horizontes über dem „anthropogenen Horizont“ deuten auf ein plötzlich einsetzendes Ereignis hin, in Folge dessen ein Teil des „anthropogenen Horizontes“ erodiert wurde, wofür auch der hohe Anteil an Ziegel- bzw. Keramikfragmenten im Korngrößenbereich von Kies im folgenden Horizont spricht (HDS 929). Somit kann von einer ursprünglich höheren Mächtigkeit des „anthropogenen Horizontes“ ausgegangen werden. Bis in eine Teufe von 3,49 m folgen vorwiegend schlecht sortierte, ungleichförmige Ablagerungen höherer Korngröße mit hohem Anteil an anthropogenem Material (HDS 927, HDS 928), die als fluviatile Sedimente, abgelagert im gerinnenahe Bereich der Überflutungsebene als Sandbank bzw. Uferwallbildung (overbank deposit/bank deposit/levée) angesehen werden.

Der relativ hohe Anteil an anthropogenem Material und das erneute Vorhandensein von Knochensplittern im Teufenbereich von 3,66—3,92 m (HDS 928) spricht für eine Umlagerung von Material des „anthropogenen Horizontes“. Bis zur Geländeoberkante folgen im weiteren Profilverlauf eher feinklastische Sedimente (HDS 937, HDS 926), die alle als Ablagerungen der Überflutungsebene angesehen werden (overbank deposit/floodplain). Auf Grund der scharfen Grenze bei der Teufe von 2,16 m und dem nachfolgenden gröberklastischen Horizont wird von einer plötzlichen Zunahme der Transportenergie ausgegangen. Im folgenden stellen sich wieder ruhige Sedimentationsbedingungen ein, wie die feinklastischen Ablagerungen zeigen (HDS 925). Sowohl die Durchwurzelung im Teufenbereich von 1,60—2,16 m, als auch die kalkige Matrix dieses Abschnitts weisen auf eine zeitweilige Stagnation der Sedimentation hin. Bis zur Geländeoberkante steht eine rezente Bodenbildung an.

#### **6.1.3.5 Bohrung Çıplak (Abb. 43)**

Da die Profilbeschreibungen von KAYAN und KADEREIT auf einfachen Felduntersuchungen beruhen und das Abteufen der Zweitbohrung nur unter den Gesichtspunkten einer möglichen Datierung erfolgte, stand für die sedimentologischen (und geochemischen) Laboruntersuchungen dieses Bohrkerns nur ein sehr geringer Teil des Gesamtprofils zur Verfügung. Daher wird in der folgenden Interpretation vorwiegend auf die Horizonte eingegangen, die im Labor ein weiteres Mal untersucht und in das Feldprofil eingehängt werden konnten.

Nach der Beschreibung von KAYAN und KADEREIT (unpublizierte Feldbucheintragungen) schließt das Profil der Bohrung Çıplak ausschließlich „Kolluvium“ auf. Marine Sedimente bzw. Deltaablagerungen fehlen. Die ersten beiden doppelt gekernten Bohrkernabschnitte stammen aus dem Profilbereich für deren unteren Abschnitt KAYAN ein Pleistozänes Alter vermutet. Sowohl die Profilbeschreibung als auch die Laboruntersuchungen schließen eine Interpretation als Hangmaterial („Kolluvium“) nicht vollständig aus. Auf Grund der topographischen Lage dieses Profils im Çıplak-Tal ist jedoch eher davon auszugehen, daß es sich bei den Ablagerungen dieses Profilabschnitts (ca. 4,00—7,30 m, HDS 752, HDS 753) um Pleistozäne Flußablagerungen handelt, da sie sedimentologisch denen ähneln, die heute noch im Dümrek-Tal westlich der Ortschaft Dümrek aufgeschlossen sind (pers. Mitt. CH. WOLKERSDORFER). Ab der Teufe von 4,00 m ändern sich die Sedimenteigenschaften. Bis zur Geländeoberkante stehen vorwiegend gröberklastische Ablagerungen an, was auf eine Änderung der Ablagerungsbedingungen hindeutet. Ein weiterer Hinweis dafür ist die von KAYAN und KADEREIT beschriebene scharfe Grenze zum liegenden Profilabschnitt. Da es sich im Profilbereich von etwa 3,00—4,00 m vorwiegend um fein- bis mittelsandige Sedimente handelt, die z.T. Pflanzenreste, Muschel- und Schneckenschalen und Kalkbröckchen enthalten (HDS 751),

wird von einer fluviatilen Ablagerung im ruhigen Sedimentationsbereich der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain/swamp) ausgegangen. Die gelegentliche geringe Zunahme der Korngröße wird als kurzzeitige Änderung der Sedimentationsbedingungen in Folge eines höheren Wasserangebots gesehen. Im Teufenbereich zwischen 2,22—2,90 m ist ein hoher anthropogener Eintrag in Form von Ziegel- bzw. Keramikbröckchen vorhanden (HDS 750). Da in diesem Horizont ebenfalls ein hoher Anteil an Schneckenschalenresten enthalten ist und der anthropogene Eintrag kantengerundet ist, wird ebenfalls von einer fluviatilen Ab- bzw. Umlagerung ausgegangen. Obwohl die hohe Ungleichförmigkeit und die schlechte Sortierung der Ablagerungen dieses Profilabschnittes z.T. aus den vorhandenen Schneckenschalen und dem anthropogenen Eintrag resultieren, wird davon ausgegangen, daß es sich bei den Sedimenten um fluviatil im Bereich der Überflutungsebene (overbank deposit/floodplain) umgelagertes Hangmaterial handelt. Im folgenden kommt es zu einer Korngrößenzunahme der Sedimente, was für Änderung der Ablagerungsbedingungen spricht. Typisch für sich plötzlich ändernde Verhältnisse ist eine scharfe Grenze, wie sie von KAYAN und KADEREIT in der Teufe von 2,40 m beschrieben wurde. In der Zweitbohrung wurde diese Grenze nicht aufgeschlossen. Da die Ablagerungen im Teufenbereich zwischen 1,82 und 2,09 m (HDS 749) eine sehr hohe Ungleichförmigkeit und sehr schlechte Sortierung aufweisen und in ihrem liegenden Bereich anthropogenes Material angetroffen wurde, werden diese Ablagerungen als Hangmaterial interpretiert. Des weiteren sind die groben Bestandteile dieses Horizontes nicht gerundet sondern scharfkantig, was für einen nur sehr kurzen Transportweg oder einen Transport im Verband spricht. Auf Grund der scharfen Liegendgrenze wird davon ausgegangen, daß diese Ablagerungen nicht durch Abspülprozesse vom Hang abgelagert wurden, sondern in Folge einer Rutschung hangabwärts transportiert wurden, und in Folge dessen einen Teil des oberen Bereiches des liegenden Horizontes erodiert wurde und als scharfe Grenze sichtbar ist. Nach dem Verlassen Troias begann der Zerfall der Bauten, z.T. wurde das Siedlungsareal auch als „Steinbruch“ genutzt. Folglich sind im Zuge dieser „Abbrucharbeiten“ Rutschungen aus dem ehemaligen Siedlungsbereich in das Çıplak-Tal durchaus denkbar (pers. Mitt. M. KORFMANN).

Die grobklastischen Ablagerungen, die im Hangenden bis in eine Teufe von mindestens 1,70 m anstehen, werden auf Grund ihrer sedimentologischen Charakteristika wieder als fluviatile Sedimente angesehen und als ufernahe Ablagerungen der Überflutungsebene (overbank deposit/?bank deposit/?levée) interpretiert. Nach den Beschreibungen von KAYAN und KADEREIT werden die Sedimente bis zur Geländeoberkante wieder feinklastischer, was wiederum einen Ablagerungsraum in weiterer Entfernung vom Flußlauf (overbank deposit/floodplain) impliziert. Da in diesem Profilabschnitt anthropogenes Material dokumentiert wurde, wird von einem gelegentlichen Eintrag von Hangmaterial ausgegangen, das fluviatil umgelagert wurde. Die oberen 60 cm bis zur Geländeoberkante beschreiben KAYAN und KADEREIT als rezente Bodenbildung.

### **6.1.3.6 Zusammenfassung**

Von den untersuchten Sedimenten aus den vier Bohrungen wurden knapp 30 % im flachmarinen Deltabereich und annähernd 70 % in einem ruhigen, energiearmen Milieu im Bereich der Überflutungsebene sowie deren dazugehörigen Sedimentationsräumen abgelagert. Vereinzelt kam es zu einem kurzzeitigen Anstieg der Transportenergie und einer Ablagerung in Gerinnnähe. Sämtliche sedimentologische Eigenschaften der untersuchten Proben weisen auf einen langen Zeitraum mit gleichbleibenden, eher ruhigen Sedimentationsbedingungen hin. Etwa 3 % der untersuchten Profilabschnitte stellen rezente Bodenbildungen dar.

In den näher zur Siedlung von Troia gelegenen Bohrungen Theater und Çıplak konnten in oberen Profilabschnitten auch geringe Mengen von Hangmaterial nachgewiesen werden, welches im Bereich der Überflutungsebene ab- bzw. umgelagert wurde.

Abb. 43: Profil der Bohrung 145 – Çıplak mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern (*Altersangaben kursiv*: Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).





Ein Vergleich der vier Bohrungen untereinander ergibt nur geringe Unterschiede: Bohrung Höhle besteht zum überwiegenden Teil aus gröberklastischem Material, das in näherer Entfernung bzw. unmittelbarer Nähe zu einem Flußkanal abgelagert wurde, wohingegen die Profile der Bohrungen Dümrek, Theater und Çıplak nur gelegentliche Einschaltungen von Grobklastika enthalten und vorwiegend die verschiedenen Ablagerungen der Überflutungsebene darstellen. Alle vier Bohrungen belegen die zunehmende Verlandung der Ebene von Troia durch flachmarine und fluviatile Sedimente.

## **6.2 Geochemie**

### **6.2.1 Röntgenfluoreszenzanalyse**

#### **6.2.1.1 Einleitung**

Auf Grund der komplexen Bildungsbedingungen von Sedimenten, die von ihrem Liefergebiet, ihren Transport- und Ablagerungsbedingungen sowie diagenetischen Vorgängen nach der Ablagerung bestimmt werden, variiert ihre geochemische Zusammensetzung stärker als die anderer Gesteine. Obwohl Sedimente bedeutende Rohstoffvorkommen darstellen, sind ihre geochemischen Charakteristika bisher weitgehend unerforscht. Daher sind Vergleiche und Klassifikationen von Sedimenten auf geochemischer Grundlage, wie sie z.B. zur näheren Charakterisierung magmatischer Gesteine üblich sind, nicht oder nur eingeschränkt möglich. Ein wichtiges Merkmal klastischer Sedimente ist ihr hoher Anteil an Si und Al, da diese Elemente vorwiegend in den verwitterungsbeständigen Mineralen Quarz, in Feldspäten und Glimmern enthalten sind. Das Verhältnis von  $\text{SiO}_2$  zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ist dabei im wesentlichen abhängig von der mittleren Korngröße der Sedimente. Des weiteren ist die Vorrangstellung von K gegenüber Na charakteristisch, da Na trotz seiner etwas geringeren Löslichkeit als K länger in Lösung verbleibt und somit meist weiter transportiert wird. Ein weiteres allgemeines Merkmal klastischer Sedimente ist ein Molekularverhältnis von Al zu Na, K und Ca  $> 1:1$  (SEIM & TISCHENDORF 1990, MASON & MOORE 1985).

Generell sind die Alkalien und Erdalkalien auf Grund ihrer guten Löslichkeit zu Vergleichszwecken der Sedimente untereinander nur bedingt geeignet, da sie bei Metamorphose- und Verwitterungsprozessen mobil sind. Für vergleichende Betrachtungen stark verwitterter oder alterierter magmatischer Gesteine eignen sich Nebenelemente von hoher Immobilität wie Cr, Nb, Ni, V, Y, Zr, Co und die Seltenerdelemente (SEIM & TISCHENDORF 1990, FISCHER 1991). Unter der Annahme, daß bei der Verwitterung der Ursprungsgesteine die immobilen Elemente in den Verwitterungsrückständen und somit den abgelagerten Sedimenten enthalten geblieben sind, wird in dieser Arbeit ein Vergleich der Sedimente mit Hilfe dieser Elemente, sofern sie bestimmt wurden, vorgenommen.

#### **6.2.1.2 Allgemeines**

Wie aus den statistisch bearbeiteten Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ersichtlich ist, bestehen hohe Standardabweichungen des Mittelwerts zum einen bei den Hauptelementen Si, Al und Ca und zum anderen bei fast allen Nebenelementen, wobei die Abweichungen bei den Elementen Ba, Cr, Ni und Sr am höchsten sind (siehe Kapitel 5.3 und Tab. 28 bis Tab. 31 in Anhang C I). Dies erklärt sich daraus, daß es sich bei den untersuchten Proben um umgelagerte Sedimente handelt und jede einzelne Probe eine Mischprobe darstellt. Autigene Mineralbildungen spielen, wie die sedimentologischen Untersuchungen gezeigt haben, wenn überhaupt dann nur eine untergeordnete Rolle. Daher werden die hohen Standardabweichungen von Si und Al als Ausdruck der unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen der einzelnen Proben angesehen. In den Sedimenten der Bohrung Theater ist die Standardabweichung von Si und Al vergleichsweise gering und aus den Korngrößenunter-

suchungen geht hervor, daß die Sedimente dieser Bohrung eine sehr ähnliche Korngrößenzusammensetzung besitzen. Die hohen Standardabweichungen von Ca in den Sedimente der Bohrungen Höhle und Çıplak werden in Kapitel 6.2.1.3 interpretiert. Auch die hohen Standardabweichungen der Nebenelemente werden darauf zurückgeführt, daß es sich um Mischproben aus Abtragungs- und Verwitterungsprodukten verschiedener Ursprungsgesteine handelt, die über einen längeren Zeitraum hinweg akkumulierten. Eine Ausnahme ist der Cr-Gehalt der Probe HDS 751 (Bohrung Çıplak). Obwohl er mit 342 µg/g gegenüber dem Mittelwert aller Proben nur leicht erhöht ist, wird er als Ausreißer angesehen. Zum einen ist der Wert von 342 µg/g etwa 6 mal höher als der durchschnittliche Cr-Gehalt der Sedimente der Bohrung Çıplak und zum anderen ist das Cr/Ni-Verhältnis dieser Probe mit knapp 9 etwa 6 mal höher als das durchschnittliche Verhältnis aller Proben, welches bei 1,5 liegt.

Um einen Überblick über die Ergebnisse der RFA zu erhalten, wurden alle analysierten Haupt- und Nebenelemente gegeneinander, sowie alle Hauptelemente gegen alle Nebenelemente aufgetragen (Abb. 44 bis Abb. 46, siehe auch Abb. 113 bis Abb. 121 in Anhang C I). Aus diesen Abbildungen wird deutlich, daß es zwischen den Sedimenten der vier Bohrungen signifikante Unterschiede gibt. Geochemisch sind sich jeweils die Sedimente der Bohrungen Dümrek und Theater sowie die der Bohrungen Höhle und Çıplak ähnlich. Besonders deutlich wird das in den TiO<sub>2</sub>-Diagrammen sowie den Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MnO- und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO-Diagrammen der Hauptelemente, sowie den Cr- und Ni-Diagrammen der Nebenelemente. Auf den ersten Blick wird ebenfalls deutlich, daß sechs der Proben aus der Bohrung Höhle und eine Probe aus der Bohrung Çıplak einen deutlich höheren P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt aufweisen (Abb. 44, Abb. 46).

Neben der groben Einteilung der Proben in zwei Gruppen (Dümrek und Theater; Höhle und Çıplak) fällt auf, daß die Proben der Bohrungen Dümrek und Çıplak jeweils meist dicht beieinander liegen, während die Proben der Bohrung Theater zwei Gruppen bilden und die der Bohrung Höhle deutlich streuen. Obwohl die Bohrungen Dümrek und Çıplak eine geringe Probendichte ausweisen, wird dies als erster Hinweis auf wenigstens zwei Liefergebiete der Sedimente angesehen.

Für einen weiteren Überblick wurden teufenabhängige Diagramme erstellt (Abb. 27 und Anlage 9). Diese Art der Darstellung veranschaulicht, daß es keine signifikanten Korrelationen mit der Teufe gibt. Lediglich Ti, Al, Fe und V zeigen in den Sedimenten der Bohrung Çıplak einen leichten Anstieg bzw. Abfall mit zunehmender Teufe. Dieses Bild kann wiederum auf die geringe Probendichte zurückzuführen sein. Da es sich bei den Proben fast ausschließlich um fluviatil abgelagerte Sedimente handelt, die in unterschiedlichen Ablagerungsmilieus und unter verschiedenen Bedingungen sedimentiert wurden (siehe Kapitel 6.1.3), ist die fehlende Teufenkorrelation nicht verwunderlich. In Abhängigkeit vom Wasserdargebot und den auch damit verbundenen Verwitterungsbedingungen werden zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche Mengen an Sediment völlig anderer Zusammensetzung in die Ebene von Troia transportiert und dort abgelagert. Wie viel und wie weit verwittertes Material einer bestimmten Größe aus dem Hinterland in die Ebene von Troia transportiert wird, ist zu einem großen Teil abhängig von der Menge des zum Transport zur Verfügung stehenden Wassers. Somit kommt es je nach Wasserdargebot im Laufe des Transportes zu einer Selektion des transportierten Materials und damit zu einer Veränderung der geochemischen Zusammensetzung des abgelagerten Sediments auf Grund der transportbedingten Anreicherungs- bzw. Abreicherungsprozesse. Die fehlenden Teufenkorrelationen sind ein Hinweis darauf, daß in der Ebene von Troia wechselnde Sedimentationsbedingungen vorlagen. Die hohen Schwankungen der Elementgehalte über die Teufe in Bohrung Theater (siehe Abb. 27) deuten darauf hin, daß deren Sedimente möglicherweise von mehreren Liefergebieten beeinflusst wurden.

Zusammenfassend ist feststellbar, daß für vergleichende Betrachtungen der hier untersuchten Proben neben Si und Al sowie den bereits erwähnten Nebenelementen auch die Elemente Fe, Mn und Mg geeignet sind. Aus allen bisher diskutierten Abbildungen wird deutlich, daß sich

in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater vor allem die Konzentrationen an Ba, Cr, Ni, Mn und Mg signifikant von denen der Sedimente der Bohrung Höhle und Çıplak unterscheiden.

Besonders hohe Konzentrationen von Cr und Ni treten regelmäßig in basischen und ultrabasischen Magmatiten auf. Gemeinsam mit Mg sind Cr und Ni an folgende mafische und magmatische Frühdifferentiate gebunden: Olivin, Amphibole und Pyroxene. Mg kommt außerdem gemeinsam mit Ca als Dolomit und häufig in Tonmineralen vor (WEDEPOHL 1978). Da in den untersuchten Sedimenten keine Korrelation zwischen Ca und Mg besteht (siehe Tab. 33 bis Tab. 37 in Anhang C I) und der Anteil an vorhandenen Tonmineralen verschwindend gering ist (siehe Korngrößenanalyse in Anhang B), dagegen aber zwischen Mg, Cr und Ni hochsignifikant positive Korrelationen bestehen, wird davon ausgegangen, daß Mg einen Bestandteil der Mafite darstellt. Dies wird durch die Hauptfaktorenanalyse bestätigt (Abb. 30).

Mn ist sowohl Bestandteil in magmatischen Gesteinen als auch in Karbonaten. Sowohl die Korrelations- als auch die Hauptkomponentenanalyse ergeben zu Ca und Si keine bzw. hochsignifikante negative Korrelationen, wohingegen zu Ti, Fe, Ni, V, Y und Zn, die ebenfalls Bestandteile mafischer Gesteine sind, hochsignifikante positive Korrelationen bestehen. Gleichzeitig weisen die letztgenannten Elemente keine bzw. eine negative Korrelation mit Si auf. Es ist folglich davon auszugehen, daß auch Mn basischen Gesteinen entstammt.

Ba ist zum einen in K-Feldspäten und zum anderen in Plagioklasen und damit sowohl in sauren, als auch in basischen Gesteinen vorhanden. Des weiteren ist Ba oft ein Bestandteil von Karbonaten (WEDEPOHL 1978). Da die Korrelations- und Hauptkomponentenanalyse keine Korrelation mit Ca, hochsignifikante negative Korrelationen zu Cr und Ni sowie zu Mn und Mg ergeben haben, wird davon ausgegangen, daß das Ba aus Feldspäten saurer Gesteine entstammt. Daraus ergibt sich ein weiterer Hinweis auf mindestens zwei Liefergebiete für die untersuchten Sedimente.

Aus den Ergebnissen der Hauptfaktorenanalyse und der hierarchischen Clusteranalyse läßt sich ebenfalls auf mindestens zwei verschiedene Herkunftsgebiete schließen. Auffallend dabei ist, daß die Proben der Bohrung Çıplak mehr oder weniger eine eigene Gruppe bilden (siehe Abb. 28, Abb. 29). Die große Ähnlichkeit der Probe HDS 750 mit den Proben HDS 928 bis HDS 932 aus der Bohrung Höhle wird auf die hohen Phosphorgehalte all dieser Proben zurückgeführt. Auch in den Diagrammen der Interkorrelationsmatritzen liegen die Proben der Bohrung Çıplak meist dicht beieinander und außerhalb der Bereiche, in denen die anderen Proben liegen. Gelegentlich fallen die Proben der Bohrung Çıplak mit denen der Bohrung Höhle zusammen. Jedoch ergeben die Hauptfaktoren- und Clusteranalyse, daß Bohrung Çıplak eine eigene Gruppe bildet, die der Bohrung Höhle ähnelt. Daher ist die Annahme berechtigt, daß unter Berücksichtigung der untersuchten Probenanzahl neben den beiden Hauptliefergebieten ein drittes Liefergebiet für die Sedimente der Ebene von Troia existiert. Aus der Bohrung Çıplak konnten nur fünf Proben geochemisch analysiert werden, wodurch mögliche Streuungen der Ergebnisse nicht erkannt wurden und die Ergebnisse weniger repräsentativ sind, als die der Bohrungen Theater und Höhle.

Während die Proben der Bohrung Höhle bei der hierarchischen Clusteranalyse eine große Ähnlichkeit zueinander zeigen, streuen sie in den Darstellungen der Abb. 44 bis Abb. 46, und Abb. 31 oft erheblich. Besonders deutlich sind diese Streuungen in den Abbildungen der Hauptelemente. Diese Auffälligkeit wird mit der ständig wechselnden Korngrößenzusammensetzung in Zusammenhang gebracht (siehe Kapitel Hauptelemente). Ein Beleg für diese Annahme ist die auffallende Gruppierung der Proben HDS 927, 937, 935. Bei allen drei Proben handelt es sich um gröberklastische Ablagerungen. Auch die Sonderstellung der Proben HDS 928 bis HDS 932 ist auf Grund ihres wesentlich höheren  $P_2O_5$ -Gehaltes nicht verwunderlich.

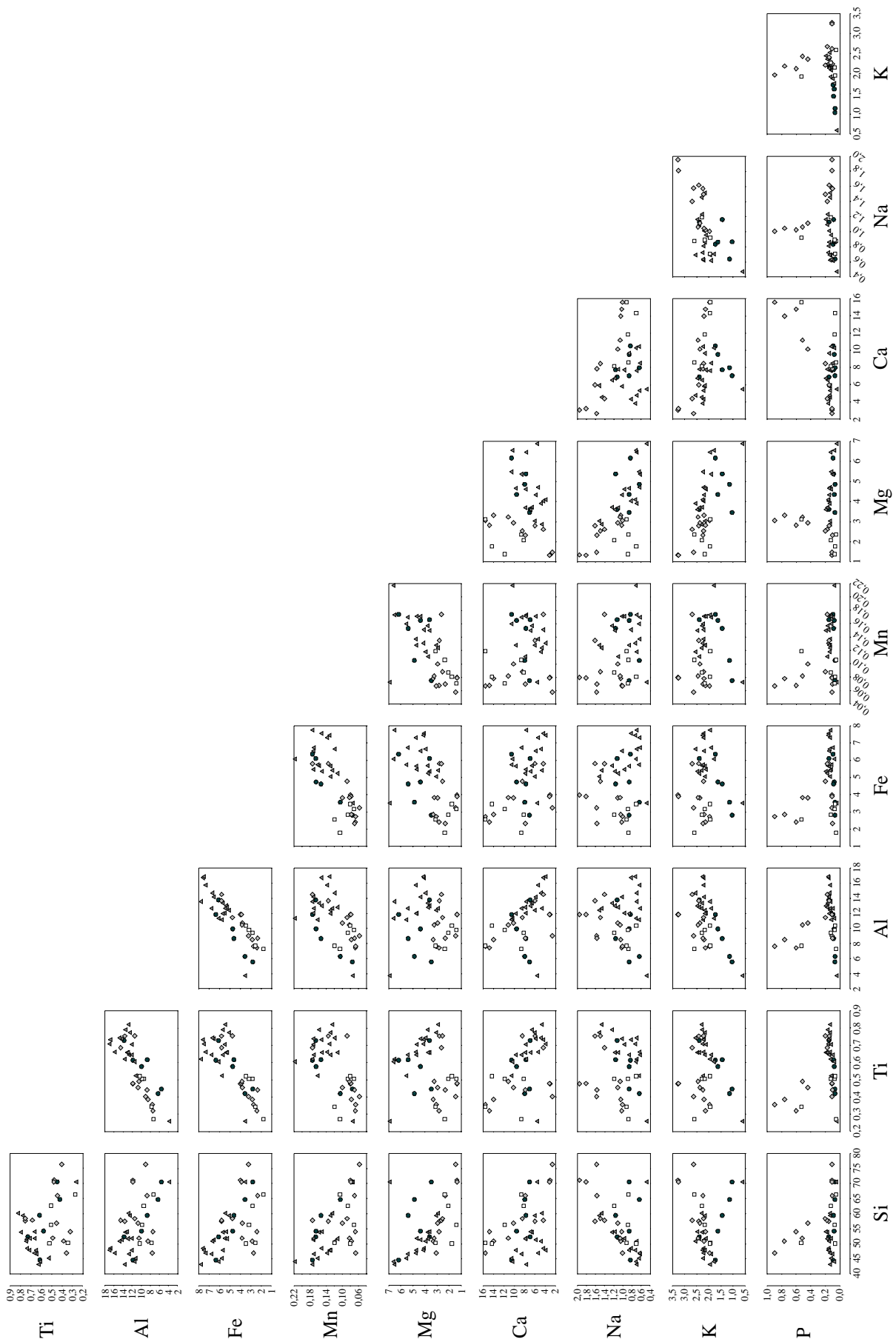


Abb. 44: Interkorrelationsmatrix der Hauptelemente (angegeben sind jeweils die Oxide, Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 113 und Abb. 114 in Anhang C I).

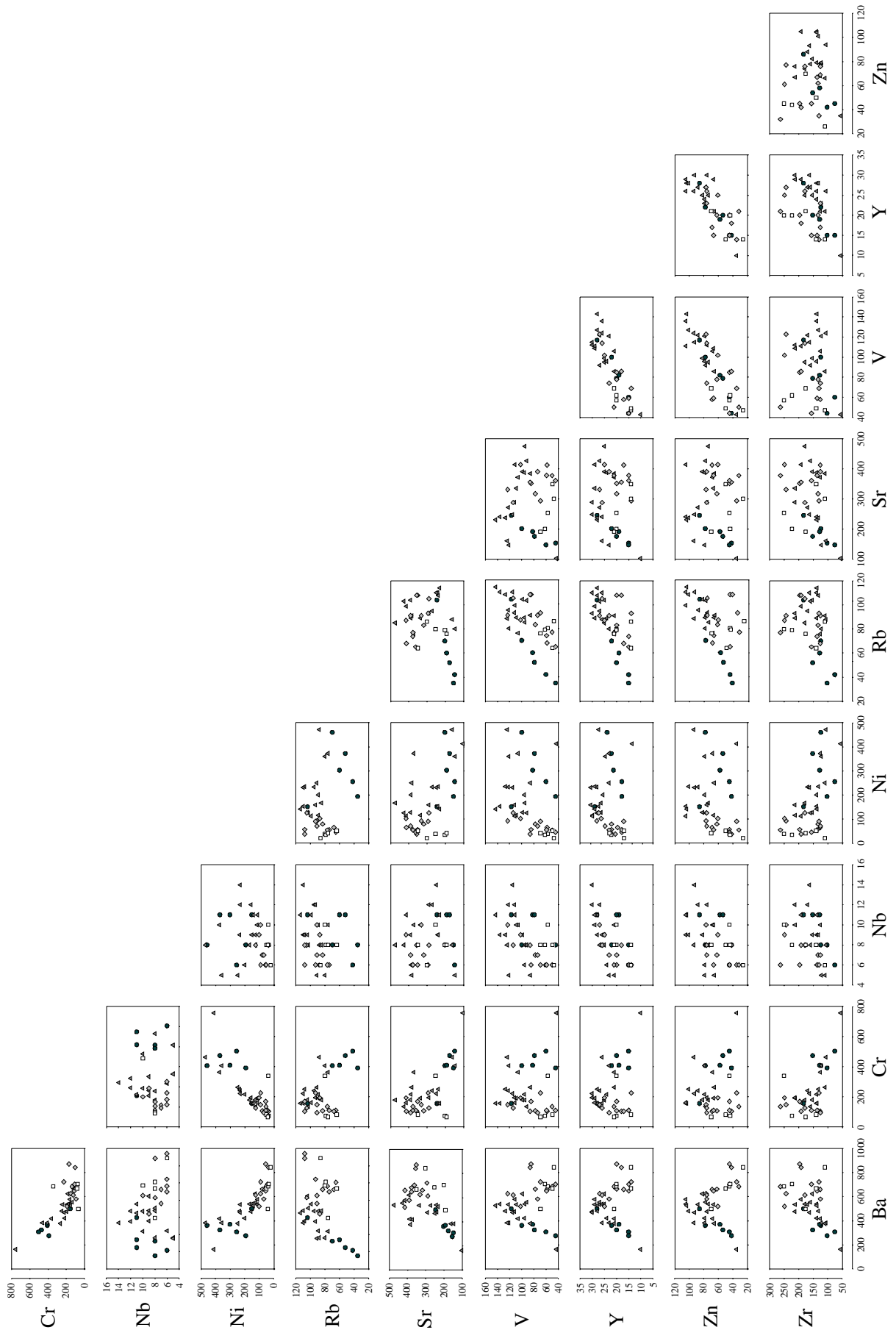


Abb. 45: Interkorrelationsmatrix der Nebenelemente (Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 115 bis Abb. 117 in Anhang C I).



Abb. 46: Interkorrelationsmatrix der Haupt- und Nebenelemente (Hauptelemente als Oxide, Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 118 bis Abb. 121 in Anhang C I).

Ein sehr einheitliches Bild zeigen die Proben der Bohrung Dümrek, lediglich Probe HDS 760 liegt auch bei anderen Darstellungen meist außerhalb des von den anderen Proben gebildeten Clusters. Diese Sonderstellung der Probe HDS 760 und die Ähnlichkeit dieser Probe mit den Proben HDS 924 und 938 wird auf die Tatsache zurückgeführt, daß es sich bei diesen drei Proben um Ablagerungen aus dem flachmarinen Deltabereich handelt.

Wie bereits aus anderen Diagrammen deutlich wurde, lassen sich die Sedimente der Bohrung Theater in zwei Gruppen einteilen. In Verbindung mit den Ergebnisse der Hauptfaktoren- und Clusteranalyse wird nunmehr davon ausgegangen, daß die Sedimente dieser Bohrung nicht wie bisher angenommen von nur einem Liefergebiet im Einzugsbereich des Karamenderes stammen (GÖBEL et al. 2003), sondern von zwei verschiedenen. Auf Grund ihrer Lage im Grenzbereich des Einflußgebietes von Karamenderes und Dümrek ist folglich davon auszugehen, daß im Sedimentationsraum der Bohrung Theater sowohl Sedimente des Karamenderes als auch solche des Dümreks wechselseitig abgelagert wurden. Aus den Ergebnissen der statistischen Untersuchungen läßt sich ableiten, daß der Ursprung der Sedimente mit mafischen Komponenten aus dem Einzugsbereich des Dümreks und nicht des Karamenderes stammt.

Besonders aus den Nebenelementdiagrammen der normierte Spiderdiagramme (Abb. 25 und Abb. 26) werden die oben geschilderten Unterschiede deutlich. Gut erkennbar ist die verschiedene geochemische Zusammensetzung der Proben der Bohrung Theater. Auf die Zusammengehörigkeit der Proben HDS 938 und HDS 924 wurde bereits eingegangen. Auffallend ist die Sonderstellung der Probe HDS 923. Diese Probe entstammt aus einem grobklastischen Horizont und unterscheidet sich auch sedimentologisch von den anderen Proben dieser Bohrung. Hervorzuheben ist, daß in dieser Probe abgesehen von Si, Mg, Cr und Ni andere Elemente nicht nachweisbar waren (Nb, Rb) oder gegenüber der Normierungsprobe abgereichert sind. Offenbar sind in dieser Probe neben Quarz ausschließlich basaltische Bestandteile enthalten.

Zu einer eigenen Gruppe innerhalb der Bohrung Theater lassen sich die Proben HDS 916 bis HDS 920 zusammenfassen, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung ähneln und auch alle als Ablagerungen der Überflutungsebene angesehen werden. Auf Grund der chemischen Zusammensetzung handelt es sich um Sedimente des Karamenderes. Ebenfalls eine Gruppe bilden die Proben HDS 921, 922 und HDS 915, wobei die Probe HDS 915 im Vergleich zu den anderen beiden Proben mehr Cr und Ni gegenüber der Normierungsprobe aufweist. Auf Grund der ähnlich hohen Anreicherung der Elemente Sr, V, Y, Zn und Zr wie bei der Gruppe von HDS 916 bis 920 wird davon ausgegangen, daß es sich bei diesen um Mischproben von Sedimenten des Dümreks und Karamenderes handelt. Eine weitere Gruppe wird von den Proben HDS 911 bis 914 gebildet, wobei die Proben HDS 911 und HDS 914 etwas mehr Cr und Ni angereichert haben, was auf die höheren Cr-, Ni-Gehalte der angrenzenden Proben zurückgeführt wird. Auch diese Proben zeigen somit einen deutlichen Einfluß mafischer Ursprungsgesteine und werden ebenfalls als Mischsedimente aus Abtragungen des Dümreks und Karamenderes angesehen. Noch ähnlicher den Ablagerungen des Dümreks sind die Sedimente der Proben HDS 909 und HDS 910.

### **6.2.1.3      *Hauptelemente***

Bei den im Gelände und Labor untersuchten Sedimenten handelte es sich im wesentlichen um Psammite. Diese bestehen hauptsächlich aus Quarz, Feldspäten und Hellglimmern. Da die RFA an der gesamten Kornfraktion durchgeführt wurde, spiegelt der erwartungsgemäß hohe Gehalt der Hauptelemente Si und Al den Korngrößenbereich und die Kornzusammensetzung der Psammite und damit auch die Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen wider. Auch das  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis belegt die Resultate der sedimentologischen Arbeiten. In den Proben HDS 757, 759 und 923, die aus fast reinen Sanden bestehen (siehe Kornsummenkur-

ven in Anhang B), besteht erwartungsgemäß ein wesentlich höheres  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis als in allen anderen Proben. Außerdem wird deutlich, daß die Sedimente der Bohrung Theater jeweils eine sehr ähnliche Korngrößenzusammensetzung besitzen und generell etwas feinkörniger sind als die der anderen Bohrungen, was wiederum auf ruhigere Sedimentationsbedingungen schließen läßt.

Auffallend ist in der Bohrung Höhle der hohe  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt zwischen 4 m und 8 m Teufe (Proben HDS 928 bis HDS 933), der 2 bis 9 mal höher ist, als der durchschnittliche  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt der restlichen Proben. Diese hohen Werte resultieren vermutlich aus Knochenfragmenten, die bei den sedimentologischen Untersuchungen aufgefunden wurden. Neben 30–40 % organischen Bestandteilen (vorwiegend Kollagenfasern), die nur unter bestimmten Voraussetzungen über längere Zeit erhalten bleiben, bestehen Knochen zu 60–70 % aus anorganischen Bestandteilen die vorwiegend von Hydroxylapatit ( $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3[\text{OH}]$ ) gebildet werden und weitestgehend verwitterungsresistent sind (KRÜCK 1988). Daher ist der hohe  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt in den Sedimenten nicht verwunderlich. Aus Tab. 33 bis Tab. 37 in Anhang C I wird ersichtlich, daß zwischen dem  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt und CaO sowie MgO eine positive hochsignifikante bis signifikante Korrelation besteht. Da Ca ebenfalls ein Hauptbestandteil des Hydroxylapatits ist, ist eine solche Korrelation mit  $\text{P}_2\text{O}_5$  zu erwarten. Knochen enthalten neben Hydroxylapatit noch weitere anorganische Bestandteile, die aber nur in Spuren eingebaut werden. Zu diesen Nebenelementen gehört auch Mg (KRÜCK 1988), wodurch die signifikante positive Korrelation mit  $\text{P}_2\text{O}_5$  erklärt wird.

Einen ebenfalls wesentlich höheren  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt enthält Probe HDS 750. Anders als in den entsprechenden Proben der Bohrung Höhle konnten bei den sedimentologischen Arbeiten in dieser Probe keine Knochenfragmente nachgewiesen werden. Auffallend in dieser Probe ist jedoch ein hoher Anteil an kleinen Keramikfragmenten. Aus den Untersuchungen von

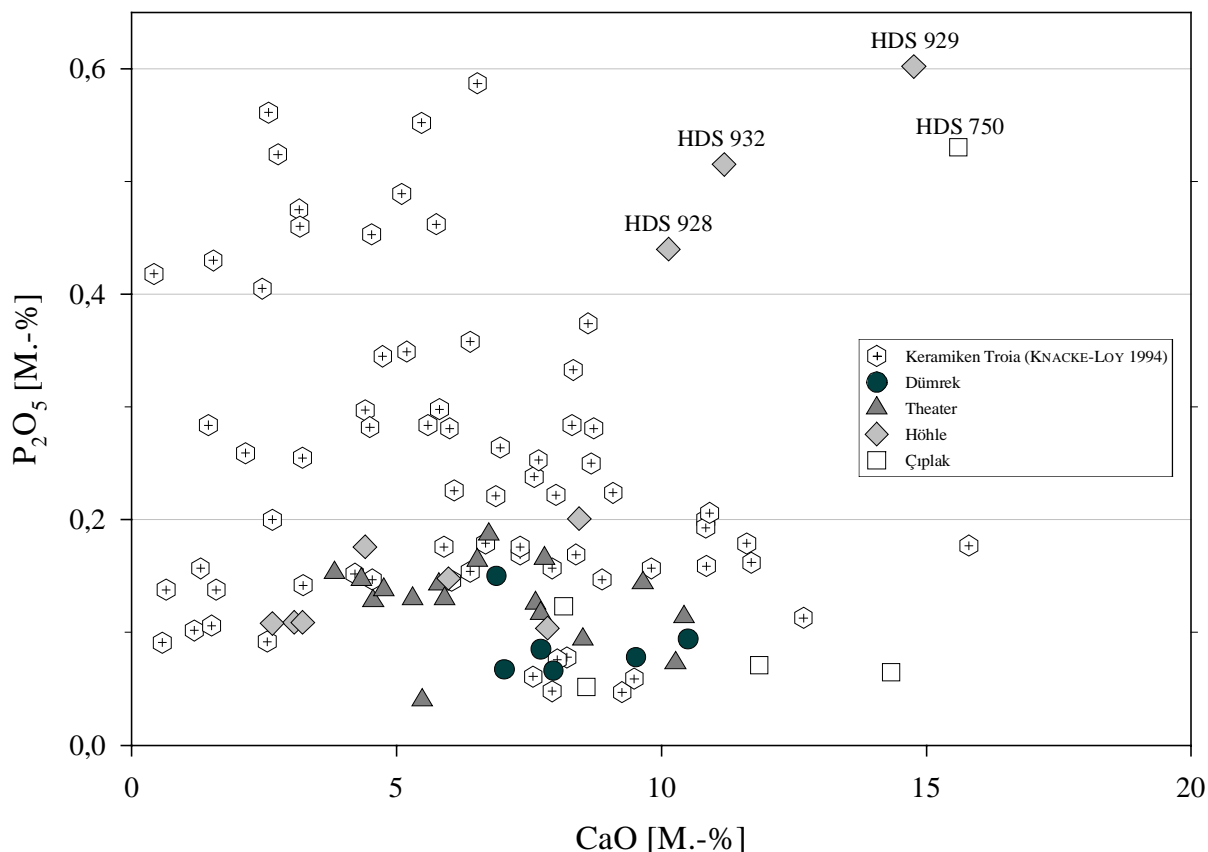


Abb. 47:  $\text{P}_2\text{O}_5$ - und CaO-Gehalt in den Bohrungen Dümrek, Theater, Höhle und Çıplak und in den von KNACKE-LOY (1994) bearbeiteten Keramik aus Troia ( $\text{P}_2\text{O}_5$ - und CaO-Gehalte der Keramikproben sind Tab. 38 in Anhang C I zu entnehmen).



KNACKE-LOY (1994), der knapp 70 troianische Keramiken mittels RFA untersuchte, wird deutlich, daß diese Keramiken teilweise einen  $P_2O_5$ -Gehalt aufweisen, der dem in der Sedimentprobe HDS 750 größenordnungsmäßig entspricht (Abb. 47). Mit Ausnahme der Proben W616/2 (Gruppe Troia C) und W 130/1 (Importware) konnte KNACKE-LOY (1994) keine der anderen Keramikproben mit hohen P-Gehalten einer bestimmten Keramikgruppe zuordnen; eine nähere Betrachtung widmete KNACKE-LOY (1994) nur den eindeutig zuordenbaren Proben. KNACKE-LOY (1994) konnte bei den dünnschliffmikroskopischen Untersuchungen der Keramiken keine Knochenfragmente in der Magerung ausmachen. Auch die archäologischen Bearbeiter der in Troia gefundenen Keramiken erwähnen in ihren Beschreibungen keine auf die Anwesenheit von Knochenmaterial schließende Merkmale. Da der Schwerpunkt archäologischer Keramikbeschreibungen auf Form- und Stilelementen liegt (siehe z.B. FRIRDICH 1997, MOUNTJOY 1997) und aus der Arbeit von KNACKE-LOY (1994) nicht genau ersichtlich ist, wie die mikroskopischen Arbeiten durchgeführt wurden (keine Angaben zu Mikroskop, ungenaue Maßstabsangaben der Dünnschliffabbildungen) kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Verwendung von Knochenmaterial bei der Keramikherstellung bisher übersehen wurde. Es bietet sich für die hohen  $P_2O_5$ -Gehalte in den Sedimenten mit Keramikfragmenten jedoch noch eine andere Erklärung an.

Bereits seit der Eisenzeit ist Knochenasche bekannt, die aus ca. 55 % CaO, 40 %  $P_2O_5$  und 5 % anderen Oxiden besteht (HAMER & HAMER 1990, zitiert in KELLER et al. 1999). Bei neueren Untersuchungen mittelalterlicher Keramik wurde in verschiedenen Gefäßen mittels chemischer und mikroskopischer Methoden (RFA, Rasterelektronenmikroskopie) Knochenasche nachgewiesen (KELLER et al. 1999). Schon 1966 wurde in hallstattzeitlicher Keramik (Funde aus dem Gräberfeld Burgstall bei Ödenburg, Ungarn) die Verwendung von Knochenasche chemisch nachgewiesen (SAUTER & ROSSMANITH 1966). Auch von anderen Orten ist der Gebrauch von Knochenasche für die Keramikherstellung belegt (KELLER et al. 1999). Folglich kann der hohe  $P_2O_5$ -Gehalt der Proben HDS 750 auf Resten von Knochenasche beruhen, die den Keramikfragmenten anhaften.

Da P ein wichtiger Bestandteil vieler organischer Verbindungen ist und somit im menschlichen und tierischen Körpern zu einem hohen Prozentsatz enthalten ist, ist ein erhöhter P-Gehalt generell ein Hinweis auf anthropogene Beeinflussung. Ein Eintrag von P durch Düngemittel der neuzeitlichen landwirtschaftlichen Nutzung wird ausgeschlossen, da in diesem Fall alle Proben ähnlich hohe P-Gehalte aufweisen müßten. Dies ist jedoch nicht der Fall, obwohl alle vier Bohrungen im Gebiet landwirtschaftlicher Bewirtschaftung abgeteuft wurden.

#### 6.2.1.4 Nebenelemente

Für einen allgemeinen Überblick der Nebenelemente wurde auf das Diskriminierungsdiagramm Fig. 6 von WINCHESTER & FLOYD (1977) zurückgegriffen, welches das Verhältnis Nb/Y gegen das Zr/ $TiO_2$ -Verhältnis aufträgt (Abb. 48). Dieses Diagramm wurde ursprünglich für die Diskriminierung von Vulkaniten entwickelt. Folglich ist das Ergebnis im vorliegenden Fall lediglich als prinzipielles Unterscheidungskriterium zu verstehen. Es wird deutlich, daß im wesentlichen zwei sich geochemisch ähnelnde Sedimentgruppen existieren. Während die Proben der Bohrungen Dümrek und Theater in das Feld der Andesite fallen, plotten die Proben der Bohrungen Höhle und Çıplak in das Rhyodacit/Dacit-Feld. Die untersuchten Sedimente sind nicht direkt rhyodacitischen/dacitischen bzw. andesitischen Ursprungsgesteinen zuzuordnen, da es sich um allochtone Sedimente handelt. Möglich ist jedoch die Aussage, daß es sich bei den untersuchten Sedimenten offenbar um Sedimente zweier Herkunftsgebiete unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung handelt. Obwohl die analysierten Proben Mischproben sind, läßt sich folgendes zu den Ursprungsgesteinen der Sedimente feststellen: basaltischer Charakter für Dümrek und Theater sowie intermediärer bis saurer Charakter bei Höhle und Çıplak.

### 6.2.1.5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Aus den Ergebnissen der RFA lassen sich zwei wesentliche Punkte ableiten: Bestätigung der sedimentologischen Untersuchungsergebnisse, sowie zwei eindeutig voneinander unterscheidbare Liefergebiete für die untersuchten Sedimente. Zum einen handelt es sich um basische Gesteine, die vorwiegend im Einzugsgebiet des Dümreks zu finden sind, und zum anderen um saure bis intermediäre Gesteine aus dem Einzugsgebiet des Karamenderes (Abb. 7). Obwohl auch der Karamenderes die Peridotite der Denizgören Ophiolithe anschneidet, wird davon ausgegangen, daß deren basisches Signal von den sauren bis intermediären Signalen der Metamorphite und vor allem dem der Miozänen-Pliozänen kontinentalen Sedimente, die den Hauptgesteinsanteil im Einzugsgebiet des Karamenderes ausmachen, überdeckt wird. Bislang wurden geochemische Analysen meist nur an den Magmatiten und Metamorphiten der Biga-Halbinsel durchgeführt (z.B. ADIS 1995, BIRKLE 1992, BIRKLE & SATIR 1994, METZGER 1994), die Sedimentgesteine wurden bisher vernachlässigt. Daher ist es nicht möglich, genaue Angaben darüber zu machen, welche geologische Formation im Einzugsgebiet des Karamenderes den überwiegenden Anteil an Sedimenten liefert. Es ist anzunehmen, daß das hauptsächlichste geochemische Signal von den kontinentalen Sedimenten des Miozäns und Pliozäns stammt, bei denen es sich nach OKAY et al. (1991) um die Verwitterungs- und Abtragungsprodukte der rhyolithischen, dazitischen und andesitischen Gesteine im Hinterland handelt. Somit lassen sich als Hauptliefergebiete für die in der Ebene von Troia abgelagerten Sedimente die Peridotite der Denizgören Ophiolithe im Einzugsgebiet des Dümreks und die kontinentalen Sedimente und Sedimentgesteine im Einzugsgebiet des Karamenderes aushalten.

Während das Profil der Bohrung Dümrek von den Abtragungsprodukten der Peridotite der Denizgören Ophiolithe, und das der Bohrung Höhle von denen der kontinentalen Sedimente und Sedimentgesteine des Miozäns und Pliozäns gebildet werden, wird das Profil der Boh-

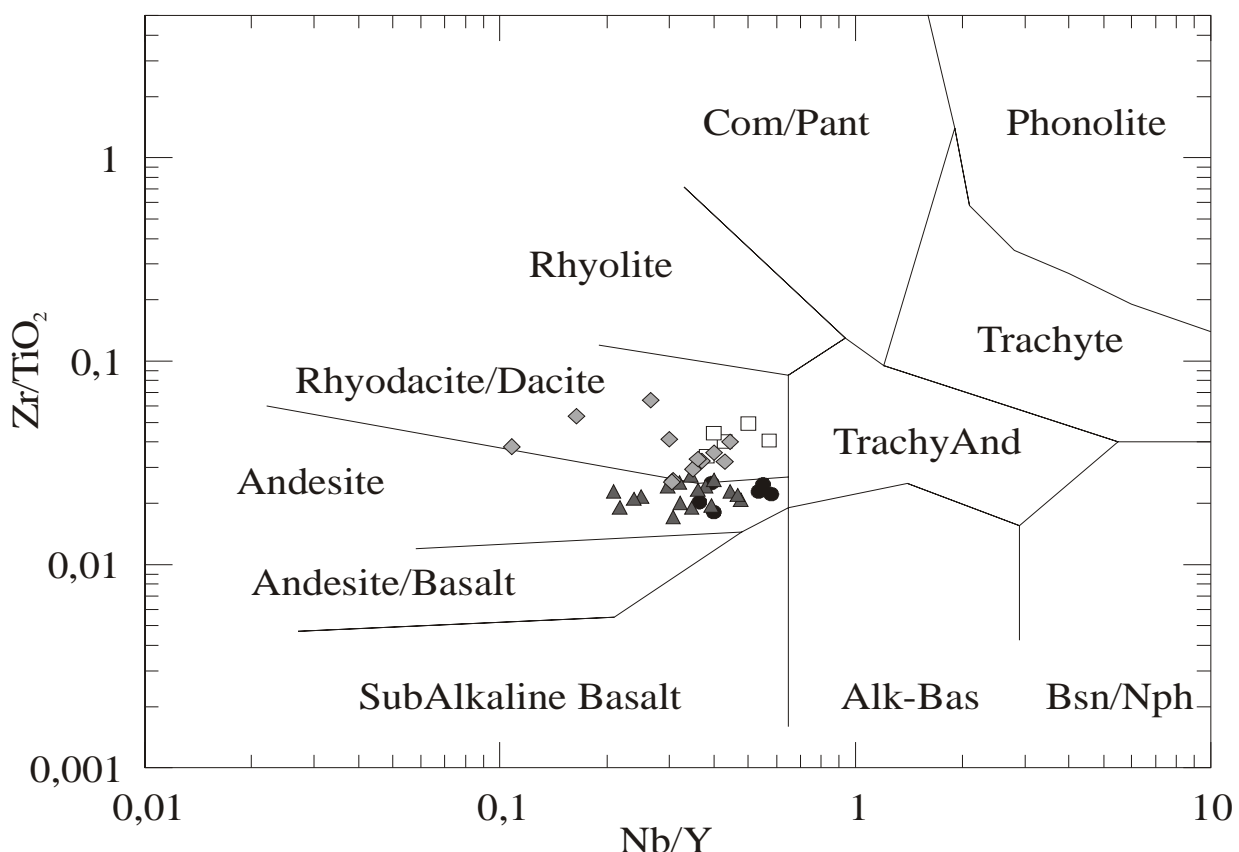


Abb. 48: Darstellung der Ergebnisse der RFA in Fig. 6 von WINCHESTER & FLOYD 1977 (Alk-Bas: Alkalibasalt, Bsn/Nph: Basanite/Nephelinite, Com/Pant: Comendite/Pantellerite, TrachyAnd: Trachyandesite, Symbole wie in Abb. 20b).

rung Theater von beiden Liefergebieten beeinflusst und aufgebaut. Da die Proben der Bohrung Çıplak geochemisch geringfügig von denen der Bohrung Höhle abweichen, wird für die Sedimente der Bohrung Çıplak ein drittes Liefergebiet angenommen. Als Liefergebiet werden die neogenen Ablagerungen im Einzugsgebiet des Çıplak angesehen, wobei die ähnliche chemische Zusammensetzung der Sedimente aus Bohrung Çıplak und der aus Bohrung Höhle darauf zurückgeführt wird, daß es sich bei den ursprünglichen Ausgangsgesteinen der das Sediment liefernden Gesteine um die selben Gesteinseinheiten handelt.

## 6.2.2 Stabile Isotope

### 6.2.2.1 Sauerstoff

Wie bereits in Kapitel 4.5.7.4 ausgeführt, muß die Ebene von Troia entwässert werden, um Landwirtschaft betreiben zu können. In Perioden landwirtschaftlicher Brache befindet sich der Grundwasserspiegel kurz unterhalb, stellenweise kurz über der Erdoberfläche. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Sedimente der untersuchten Bohrprofile während der gesamten Sedimentationszeit wassergesättigt waren. Daraus ergibt sich, daß eine der grundlegenden Voraussetzungen für eine Paläotemperaturbestimmung, ein geschlossenes System, wahrscheinlich zu keiner Zeit bzw. nur über einen sehr kurzen Zeitraum hinweg gegeben war. Folglich handelt es sich bei den gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten um Mischwerte, welche mehrere unbekannte Einzelwerte über den Zeitraum der Sedimentation hinweg beinhalten. Des weiteren wird davon ausgegangen, daß die untersuchten Kalkkonkretionen aus anorganisch ausgefällttem Karbonat bestehen, welches auf Grund von möglichen Rekristallisationen für Paläotemperaturbestimmungen nur bedingt geeignet ist. Ein weiteres Problem der Paläotemperaturbestimmung besteht darin, daß sich an der zerklüfteten Küste der Ägäis verschiedene Kleinklimazonen ausbilden. Dadurch bedingt schwankt die isotopische Zusammensetzung des meteorischen Wassers im Küstenbereich der Ägäis erheblich. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß sich die klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet seit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 10 000 Jahren nur geringfügig verändert haben. Es ist also nur mit kleinen Schwankungen der Temperatur zu rechnen. Um diese geringen Änderungen feststellen zu können, müßte die isotopische Zusammensetzung des meteorischen Wassers über den zu bestimmenden Zeitraum (ca. 5000 Jahre) in unmittelbarer Umgebung von Troia bekannt sein. Zur Verdeutlichung der gravierenden Unterschiede wurden für die analysierten Proben die Bildungstemperaturen unter der Annahme eines geschlossenen Systems und unter Verwendung verschiedener meteorischer Wässer, veröffentlicht von der IAEA (International Atomic Energy Agency), in unterschiedlichen Gegenden der Ägäisküste und der anatolischen Mittelmeerküste errechnet (siehe Tab. 40 und Tab. 41 sowie Abb. 123 und Abb. 124 in Anhang C II). In Abhängigkeit von der isotopischen Zusammensetzung des meteorischen Wassers wurden die berechneten Temperaturen für drei solcher Wässer in einer Boxplot-Darstellung abgebildet (Abb. 49). Verwendet wurden die Temperaturen, die aus den Werten der Troia am nächstgelegenen Meßstationen errechneten wurden, da davon ausgegangen wird, daß die gemessene isotopische Zusammensetzung der dortigen meteorischen Wässer auf Grund der geographischen Lage dieser Meßstationen am ehesten der der meteorischen Wässer in der Troas entsprechen. Bei den drei vorangenannten Meßstationen handelt es sich um:

- Station Nr. 1662700 Alexandropolis (Griechenland, 40°85' nördlicher Breite, 25°88' östlicher Länge)
- Station Nr. 1665100 Limnos (Griechenland, 39°88' nördlicher Breite, 25°07' östlicher Länge)
- Station Nr. 1729201 Kozağaç (Aydin, Türkei, 37°03' nördlicher Breite, 29°39' östlicher Länge)

Werden lediglich die für diese drei Wässer berechneten Temperaturen betrachtet, ist die Schwankung der Werte nicht so gravierend. Wie aus Abb. 49 zu entnehmen ist, schwanken die für eine Probe berechneten Temperaturen um etwa ein Kelvin. Zu beachten ist allerdings, daß für die Meßstation Alexandropolis nur zwei  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (für Dezember 1967 und Januar 1968) und für die Meßstation auf Limnos nur ein einziger  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert (für Januar 1968) zur Verfügung stehen. Daher gehen die jahreszeitlichen Schwankungen der isotopischen Zusammensetzung des meteorischen Wassers in die Berechnungen nicht mit ein. Aus den angegebenen Klimadaten der IAEA geht hervor, daß die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des meteorischen Wassers zwischen Sommer und Winter z.B. in Athen um ca. 1,21 ‰ und in Kozağaç (Aydin) um 0,61 ‰ schwanken (Für diese Übersichtsrechnung wurden alle Monate in denen die durchschnittliche Monatstemperatur über 15 °C lag als Sommermonate und alle Monate, deren durchschnittliche Temperatur unter 15 °C lag als Wintermonate definiert). Damit ergeben sich bei einer nach Sommer und Winter getrennten Temperaturberechnung mit diesen Werten für die nordwestliche Troas Temperaturunterschiede zwischen 2,5 °K [Werte von Kozağaç (Aydin)] und 5 °K (Werte von Athen).

Für eine Paläotemperaturbestimmung nicht verwendbar sind die Meßergebnisse der isotopischen Zusammensetzung von Wässern im Bereich der Biga-Halbinsel von IMBACH (1992, Gebiet um Bursa) und MÜTZENBERG (1991, Kestanbol). In diesen Arbeiten wurden Grund- und Thermalwässer untersucht. Zum einen spiegeln Thermalwässer nicht die isotopische Zusammensetzung des meteorischen Wassers wieder und zum anderen hat IMBACH (1992) nachgewiesen, daß die von ihm untersuchten Grundwässer in Folge von verschiedenen Fraktionierungsprozessen nur bedingt die isotopische Zusammensetzung des meteorischen Wassers wiedergeben.

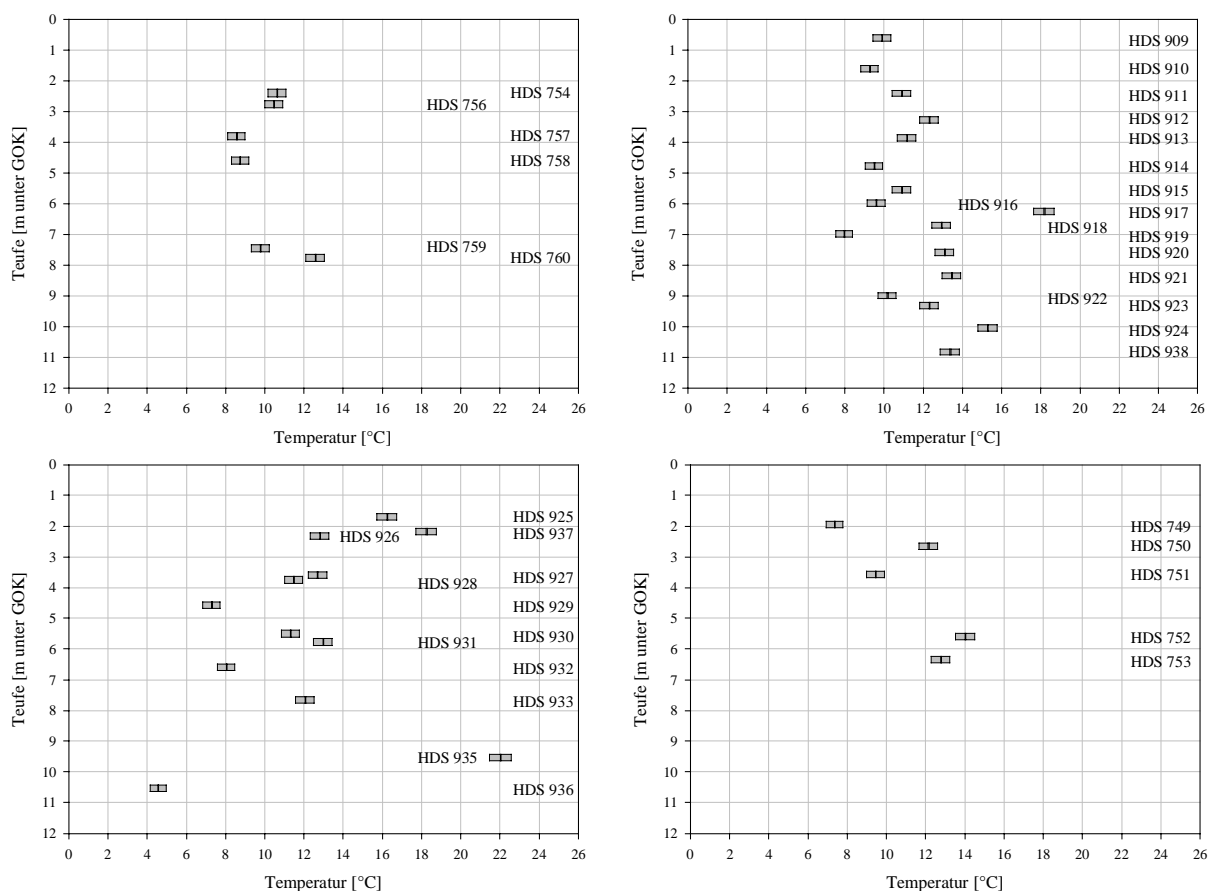


Abb. 49: Vereinfachte teufenabhängige Boxplot-Darstellung der errechneten Temperaturen mit den meteorischen Daten der Stationen Alexandropolis, Limnos und Kozağaç (Aydin), dargestellt sind im Boxplot die Minimal-, die Maximaltemperaturen sowie der Mittelwert und der Median).

Da es keine Korrelationen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit der Tiefe gibt und die Werte nur geringfügig schwanken (Abb. 32), werden die Ergebnisse dahingehend interpretiert, daß es im betrachteten Zeitraum, während der Besiedlung Troias, keine bedeutenden Klima- bzw. Temperaturschwankungen gegeben hat. Tendenziell scheinen die Temperaturen im Vergleich zu heute um 2–4 K geringer gewesen zu sein. EROL (1983) gibt für Çanakkale eine durchschnittliche Temperatur im Sommer von 20–25 °C und im Winter von 0–5 °C an (keine genauen Zeitangaben). Zwischen 1999 und 2002 lag die Jahresmitteltemperatur bei 16,1 °C mit einem maximalen Wert von 36,7 °C und einem minimalen von –6,7 °C (pers. Mitt. J. MASTERS, The Weather Underground Inc.).

Auf Grund der unterschiedlichen isotopischen Zusammensetzung verschiedener Wasser- und Gesteinsreservoirs ist es möglich, mit Hilfe der gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte Aussagen über das Bildungsmilieu zu treffen. In Abb. 50 und Abb. 51 sind die typischen  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte verschiedener natürlicher Reservoirs nach HOEFS (1997) dargestellt. Relativ zu VSMOW haben die untersuchten Kalkkonkretionen einen durchschnittlichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von 25,12 ‰. Dieser Wert entspricht in etwa dem bei SEIM & TISCHENDORF (1990) für marine Karbonate angegebenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von nahe 30 ‰, den auch *Belemnitella americana* des VPDB-Standards aufweist (30,86‰). Daher kann davon ausgegangen werden, daß die Quelle der ausgefallten Kalkkonkretionen die Ablagerungen der Eozänen Karbonatplattform darstellt.

Aus der Korrelationsanalyse ergeben sich Abhängigkeiten zwischen den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten und anderen Elementgehalten (MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) in den Proben der Bohrungen Dümrek und Çıplak. Dabei handelt es sich offenbar um keine Abhängigkeiten, die mit dem Ca-Gehalt der Proben in Zusammenhang stehen, da dieser völlig andere Abhängigkeiten bzw. Korrelationen

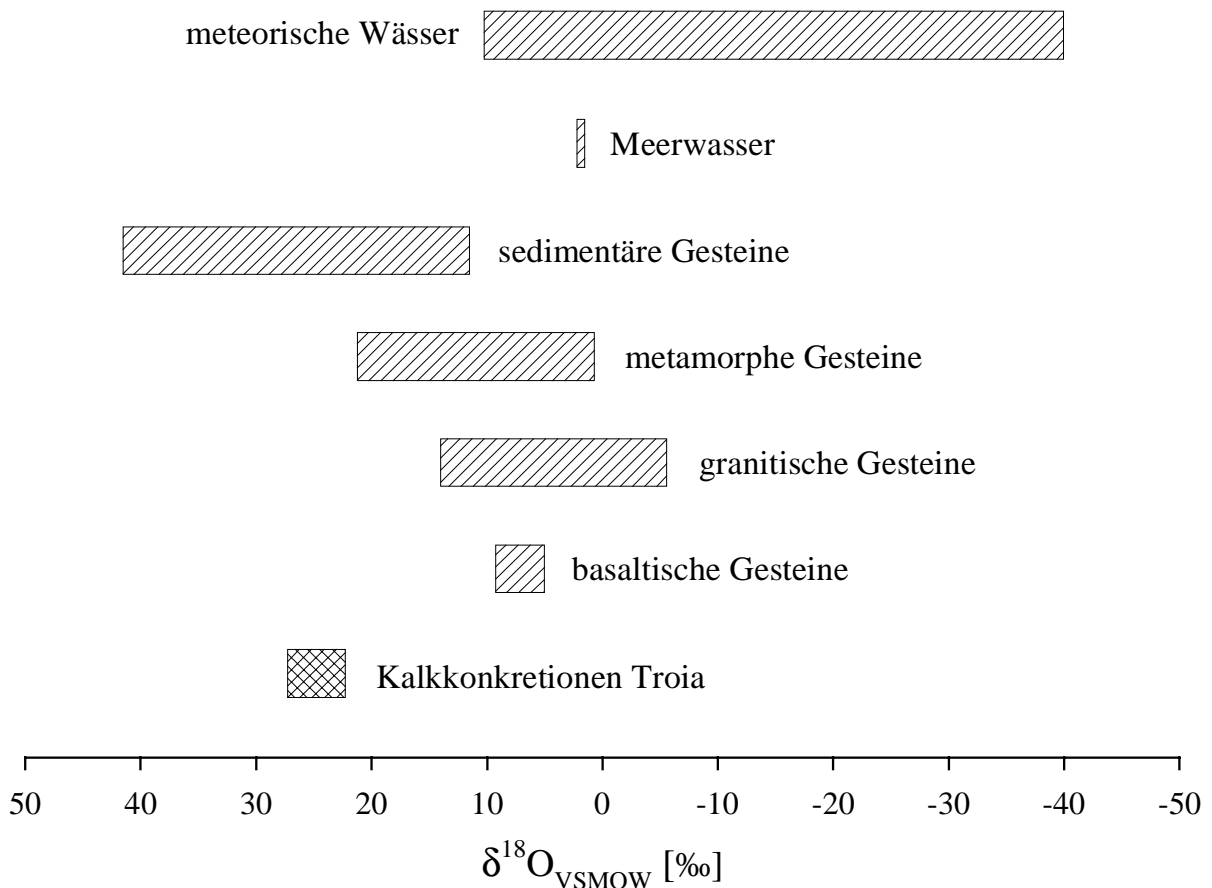


Abb. 50: Typische  $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in verschiedenen natürlichen Reservoiren (ergänzt nach HOEFS 1997).

aufweist (siehe Tab. 33 bis Tab. 37 in Anhang C I). Möglicherweise stehen die Abhängigkeiten der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit diesen Elementgehalten im Zusammenhang mit einer erhöhten Grundwasserzirkulation bzw. höher mineralisierten Wässern, die aus jeweils anderen Grundwassereinzugsbereichen stammen und deren Einfluß im Bereich des Schwemmlandes des Karamenderes durch dessen Grundwässer „verdünnt“ werden. Die generell fehlenden Korrelationen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ist nicht verwunderlich, da die Ausfällung der Karbonatkongregationen erst nach Ablagerung der Sedimente stattgefunden hat.

### 6.2.2.2 Kohlenstoff

#### Anorganischer Kohlenstoff

Mit einem Wert von  $-6,17\text{ ‰}$  relativ zu PDB fällt der durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalt der untersuchten Kalkkongregationen in das Feld der Frischwasserkarbonate (Abb. 51). In Verbindung mit den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten wird von einer Wiederausfällung eines ursprünglich marinen Karbonates in einem kontinentalen Ablagerungsraum ausgegangen, bei dem es auf Grund von Wechselwirkungsprozessen mit meteorischen Wässern zu einer Änderung des ursprünglichen Isotopensignals gekommen ist.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von marinen und Süßwasserkarbonaten ist die von KEITH & WEBER (1964) vorgestellte Methode, nach der die beste Diskriminierung zwischen diesen Karbonaten durch folgende Gleichung beschrieben wird:

$$Z = 2,048 \cdot (\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} + 50) + 0,498 \cdot (\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 50) \quad (24)$$

Bei einem Wert von  $Z > 120$  wird das Karbonat als marin, bei einem Wert von  $Z < 120$  als Frischwasserkarbonat klassifiziert. Wie aus Tab. 42 in Anhang C II ersichtlich ist, haben mit einer Ausnahme alle in dieser Arbeit untersuchten Proben einen Wert von  $Z < 120$  und stellen demnach Frischwasserkarbonate dar. Bei der als marin zu klassifizierenden Probe handelt es sich um die Probe HDS 936. Da der Wert von  $Z$  nur geringfügig größer als der Grenzwert von 120 ist, wird dieses Ergebnis dahingehend interpretiert, daß es sich bei dieser Probe um eine Probe handelt, die aus dem Übergangsbereich vom terrestrischen zum marinen Sedimentationsraum stammt, also von beiden beeinflusst wird. Somit bestätigen die Ergebnisse der isotopegeochemischen Analysen der Kalkkongregationen die Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen.

#### Organischer Kohlenstoff

Bei den untersuchten Proben handelt es sich lediglich um feine Rückstände organischen Materials im Sediment (Pflanzenreste, fragliche Holzkohle). Ob es sich dabei um kurz nach dem Absterben abgelagertes Material oder um solches handelt, das eine zeitlang im Bereich der Siedlung von Troia in Gebrauch war (z.B. Werkzeuge, Baumaterial), läßt sich nicht feststellen. Daher sind, ähnlich wie bei den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, nur allgemeine Aussagen unter Annahme bestimmter Bedingungen möglich. Unter der Voraussetzung, daß die untersuchten organischen Bestandteile lokales, mehr oder weniger kurz nach dem Absterben abgelagertes Material darstellen, lassen sich mit Hilfe der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte Aussagen über die Vegetation in der Umgebung Troias und damit indirekt zu den klimatischen Verhältnissen machen.

Durch die Photosynthese von Pflanzen erfolgt die Fixierung und Umwandlung des atmosphärisch aufgenommenen  $\text{CO}_2$  mit Hilfe eines Enzyms. Auf Grund zweier Enzyme und dadurch bedingter verschiedener Abläufe der Photosynthese werden Pflanzen in  $\text{C}_3$ -,  $\text{C}_4$ - und CAM- (Crassulacean Acid Metabolism) Pflanzen unterschieden. Diese verschiedenen Photosyntheseabläufe führen zu einer unterschiedlichen Fraktionierung des Kohlenstoffs und damit zu unterschiedlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalten in den Pflanzen (SEIM & TISCHENDORF 1990, HOEFS 1997).

Nach SCHIDLOWSKI et al. (1983) haben  $C_3$ -Pflanzen relativ zu PDB einen durchschnittlichen  $\delta^{13}C$ -Gehalt von  $-27\text{‰}$  und  $C_4$ -Pflanzen einen von  $-13\text{‰}$ . Da der  $C_4$ - und CAM-Ablauf der Photosynthese bei Pflanzen erfolgt, die in tropischen und subtropischen Gegenden beheimatet sind (WHITE 1998), ist im hier untersuchten Fall mit  $C_3$ -Pflanzen zu rechnen, was durch die Messungen bestätigt wurde (siehe Tab. 43 in Anhang C II und Abb. 33). Zu diesen gehören auch alle marinen Pflanzen. In Folge dessen, daß marine Pflanzen ihren  $CO_2$ -Bedarf aus dem im Meerwasser gelösten Hydrogenkarbonat beziehen und Landpflanzen aus dem  $CO_2$  der Luft, ist es möglich, aus den daraus resultierenden unterschiedlichen  $\delta^{13}C$ -Gehalten auf den Lebensraum zu schließen. Marine  $C_3$ -Pflanzen sind im Durchschnitt 7–8 ‰ isotopisch schwerer als Landpflanzen (WHITE 1998, SEIM & TISCHENDORF 1990). Mit einem mittleren  $\delta^{13}C$ -Gehalt von  $-24,39\text{‰}$  relativ zu PDB zeigen die Werte ein deutliches terrestrisches Signal.

Bei den auffallend geringeren  $\delta^{13}C$ -Werten der Proben HDS 917 (Bohrung Theater) und HDS 935 (Bohrung Höhle) handelt es sich möglicherweise um organische Reste, deren Zersetzung durch Fäulnisprozesse weiter fortgeschritten sind als die der andern Proben. Ideale Bedingungen für solche Abbauprozesse lagen, nach den Erkenntnissen aus den sedimentologischen Untersuchungen, für die organischen Bestandteile der Probe HDS 917 vor (sumpfiges Gebiet

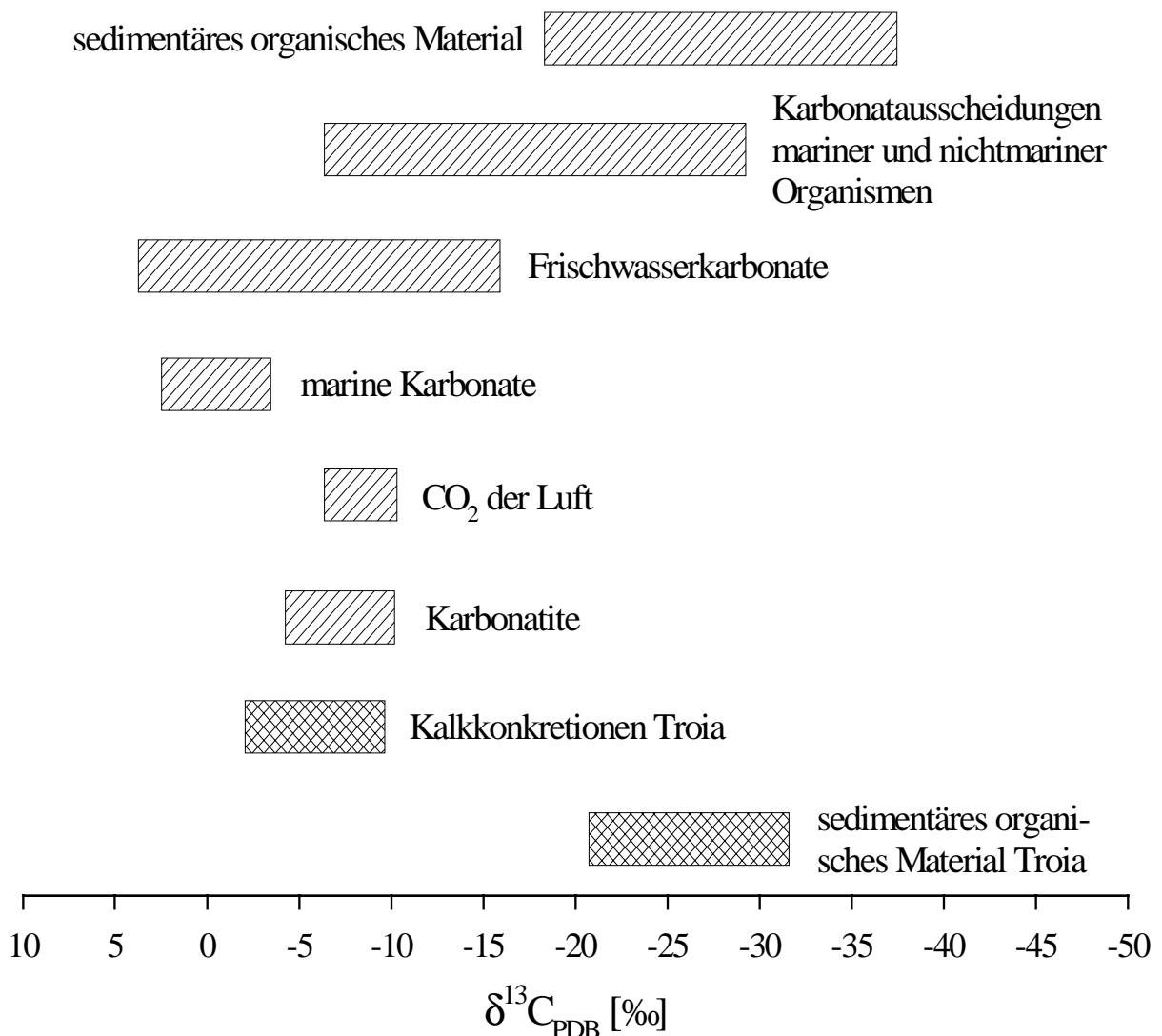


Abb. 51: Typische  $\delta^{13}C$ -Gehalte in verschiedenen natürlichen Reservoiren (ergänzt nach HOEFS 1997).

einer Überflutungsebene).

Die geringen Abhängigkeiten der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Bohrungen Dümrek und Çıplak mit Ni bzw. Cr und Na deuten im Vergleich mit den anderen beiden Bohrungen auf ein anderes Grundwassereinzugsgebiet und einen zusätzlichen Eintrag von Pflanzenmaterial aus dem Hinterland hin. Sowohl der Dümrek als auch der Çıplak kommen aus dem Gebiet, welches östlich von Troia ein Hochplateau bildet. In diesem Gebiet ist die Vegetationsdichte wesentlich höher als in der unmittelbaren Umgebung Troias. Zudem stehen in diesem Gebiet die mafischen Gesteine an, aus denen die hohen Cr- und Ni-Gehalte in den Sedimenten resultieren. Folglich kann die Abhängigkeit zwischen den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten des organischen Materials und diesen Elementen eindeutig als Hinweis auf das Sedimentliefergebiet im Osten von Troia angesehen werden.

### **6.2.2.3 Zusammenfassung**

Wie gezeigt werden konnte, lassen sich mit Hilfe der isotopischen Untersuchungen nur allgemeine Aussagen treffen. Sowohl die Ergebnisse der Analysen der Kalkkonkretionen als auch die des organischen Materials belegen, daß es im betrachteten Zeitraum keine signifikanten klimatischen Änderungen gegeben hat. Des weiteren konnte nachgewiesen werden, daß die Kalkkonkretionen anorganisch als Frischwasserkarbonate bzw. in einem Fall im Übergangsbereich flachmarinen/terrestrisch ausgefällt wurden.

Auch die Ergebnisse der Untersuchungen des organischen Materials belegen terrestrische Ablagerungsbedingungen bzw. die Einschwemmung von Landpflanzen in die Sedimente des flachmarinen Ablagerungsraumes. Darüber hinaus konnte in Verbindung mit den Ergebnissen der RFA für die Sedimente der Bohrungen Dümrek und Çıplak ein Liefergebiet im Osten Troias belegt werden. Somit bestätigen die Ergebnisse der isotopischen Untersuchungen sowohl die sedimentologischen Ergebnisse als auch die der RFA.

## **6.3 Datierung**

### **6.3.1 Allgemeines**

Alle Alter wurden entsprechend der Darstellung in den vorherigen Kapiteln ermittelt und auf ihre Plausibilität hin mit den beschriebenen Methoden (Test anomaler Signalverlust, partielle Bleichung) überprüft. Ein anomaler Signalverlust wurde bei zwei Proben festgestellt (HDS 919, HDS 932); deren Alter sind somit als Minimalalter zu verstehen. Eine Probe (HDS 914) zeigt eine deutliche Tendenz zu partieller Bleichung, weswegen deren Alter ein Maximalalter darstellt. Die Proben HDS 914 und 919 befinden sich zudem in einem radioaktiven Ungleichgewicht.

Neben der internen Kontrolle der ermittelten Alter stehen für die Bohrungen Dümrek, Theater und Höhle zusätzlich fünf  $^{14}\text{C}$ -Alter zur Verfügung. Drei der  $^{14}\text{C}$ -Alter wurden an pflanzlichem Material bestimmt, welches aus den Sedimenten der hier untersuchten Bohrungen stammt. Zwei  $^{14}\text{C}$ -Alter basieren auf jeweils korrelierbaren Horizonten (pers. Mitt. İ. Kayan) von nahegelegenen Bohrungen, aus denen KAYAN (1996) Schalen mariner Muscheln und Kalksteine zur Datierung verwendete.

Bei der Berechnung der Wassergehalte, die notwendig sind, um die Feuchtekorrektur für die Bestimmung der Dosisleistung durchführen zu können, wurde in vorliegender Arbeit ein sedimentologisch-hydrogeologischer Ansatz gewählt. Dieser liefert zum Teil andere Wassergehalte als der Ansatz in GÖBEL et al. (2003), so daß die neu ermittelten Alter von den früher ermittelten geringfügig abweichen.



Obwohl der Großteil der ermittelten Alter in den historischen Zeitraum der Mittleren/Späten Bronzezeit bis zur römischen Kaiserzeit datiert (Abb. 34), ist eine Verbindung der Alter mit historischen Ereignissen in Troia schwierig. Eine solche Korrelation ist nur möglich, wenn in den Sedimenten anthropogenes Material enthalten ist, welches archäologisch untersucht und in die historische Chronologie Troias eingehängt werden kann. Da in den Sedimenten nur sehr wenig anthropogenes Material angetroffen wurde, das auf Grund seiner geringen Größe oder des schlechten Erhaltungszustandes nicht für archäologische Untersuchungen in Frage kam, war es nur in einigen wenigen Fällen möglich eine eventuelle Verbindung der Ablagerungen mit einem historischen Ereignis in Troia herzustellen.

### 6.3.2 Bohrung Dümrek

Obwohl keine der datierten Proben der Bohrung Dümrek partielle Bleichung zeigt, sind deren Alter zu hoch. Zu Vergleichszwecken stehen zwei  $^{14}\text{C}$ -Alter von pflanzlichen Resten aus den Sedimenten dieser Bohrung zur Verfügung (Probe 1:  $5744 \pm 73$  a cal. B.P., Teufenbereich zwischen 22—23 m; Probe 2:  $3158 \pm 53$  a cal. B.P., Teufe 8,50 m).

Auf Grund der faziellen Ausbildung der Sedimente kann davon ausgegangen werden, daß die datierten pflanzlichen Reste zeitgleich zur Sedimentation eingetragen wurden. Auch wenn nicht mit Sicherheit festgestellt werden kann, wie lange vor der Sedimentation das Pflanzenmaterial abstarb, lassen sich mit Hilfe der  $^{14}\text{C}$ -Alter verlässliche Maximalalter für die abgelagerten Sedimente angeben. Unter diesen Gesichtspunkten kann lediglich das Alter der Probe HDS 760 innerhalb ihrer Fehlergrenzen als zuverlässig eingeschätzt werden.

Alle mittels OSL datierten Proben entstammen einem fluviatilen Ablagerungsraum (siehe Kapitel 6.1.3.2 und Abb. 40). Während es sich bei Probe HDS 760 um einen gut sortierten gleichförmigen schluffigen Feinsand handelt, sind alle anderen Proben entweder gröberklassisch, weisen eine schlechtere Sortierung und höhere Ungleichförmigkeit auf, und repräsentieren Uferwallbildungen (levée) oder sind Ablagerungen in einem sumpfigen Gebiet (inter-channel area/swamp). Mit Ausnahme der Probe HDS 755 wurden alle diese Sedimente in einem kurzen Zeitraum während eines Flutereignisses im Bereich der Überflutungsebene aus einer Suspension abgelagert. Damit kann davon ausgegangen werden, daß keine dieser Proben bei der Sedimentation ausreichend belichtet wurde. Auf Grund des hohen Fehlers des Alters der Probe HDS 759 ist eine Einschätzung dieses Alters schwierig. Da die sedimentologischen Charakteristika der Probe den oben beschriebenen entsprechen, wird auch für diese Probe von einer nur unzureichenden Bleichung und damit mit einer Altersüberschätzung ausgegangen. Anders waren die Verhältnisse bei Probe HDS 760. Deren gute Sortierung und Gleichförmigkeit weist auf einen längeren Zeitraum ungestörter Sedimentation hin. Folglich wurde das Sediment vollständig belichtet, was zu der guten Datierbarkeit führte. Bei Probe HDS 755 gab es Schwierigkeiten bei der Datierung, so daß kein auswertbares Alter vorliegt.

### 6.3.3 Bohrung Theater

Für den unteren Profilbereich der Bohrung Theater steht aus einer anderen, korrelierbaren Bohrung ein  $^{14}\text{C}$ -Alter zur Verfügung ( $4860 \pm 55$  cal. B.P., Bohrung 03, Teufenbereich zwischen 10,00—11,50 m, marine Muschelschale). Dieses  $^{14}\text{C}$ -Alter stimmt im Rahmen der Fehler mit den beiden IRSL-Altern der Proben HDS 938 und HDS 924 überein. Sedimentologisch handelt es sich um sehr gut sortierte und sehr gleichförmige Ablagerung des flachmarinen Bereichs. Auf Grund der Sedimenteigenschaften kann davon ausgegangen werden, daß der Materialeintrag vom Festland gleichmäßig erfolgte, nicht sehr hoch war und daher eine vollständige Belichtung des Sediments stattfand (siehe Kapitel 6.1.3.3 und Abb. 41).

Allen nachfolgenden datierten Sedimente entstammen unterschiedlichen Milieus des fluvialen Ablagerungsbereichs. Bis in eine Teufe von etwa 5,50 m werden die Sedimente jünger, wobei die Alter innerhalb ihrer Fehlergrenzen mehr oder weniger übereinstimmen. Auch diese Sedimente besitzen eine gute Sortierung und Gleichförmigkeit. Sie stellen, im Vergleich zu den im weiteren Profilverlauf abgelagerten Sedimenten, etwas gröberklastischer Ablagerungen dar, die unter nahezu gleichbleibenden ruhigen Sedimentationsbedingungen in größerer Nähe zum Flußbett abgelagert wurden. Daher kann auch für diese Sedimente von einer vollständigen Belichtung ausgegangen werden.

Im Teufenbereich von etwa 5,50 m zeigen die Sedimente wieder ein ebenso hohes Alter wie die Sedimente des flachmarinen Bereichs. In Richtung des Hangenden erfolgt erneut eine Verjüngung der Alter, die innerhalb ihrer Fehlergrenzen übereinstimmen. Sedimentologisch handelt es sich wiederum um gut sortierte gleichförmige Ablagerungen, die aber feinklastischer sind und in etwas weiterer Entfernung zum Flußbett sedimentiert wurden.

Bis in eine Teufe von ca. 3,40 m erfolgte die Sedimentation in einem sumpfigen Bereich der Überflutungsebene (overbank deposit/interchannel area/swamp) aus einer Suspension. Somit kann nicht von einer vollständigen Belichtung ausgegangen werden, wodurch die Alter der Proben HDS 915, HDS 914 und HDS 913 zu hoch sind. Gleiches gilt für das Alter der Probe HDS 912, bei der es sich um aufgearbeitetes, nicht vollständig gebleichtes Material handelt, das dem unteren Bereich eines gröberklastischen Horizontes entstammt. Da der Eintrag gröberklastischen Materials normalerweise mit einer Erhöhung der Transportenergie verbunden ist, muß mit einer Vermischung der Ablagerungen im Grenzbereich gerechnet werden. Erst das Alter der Probe HDS 911 wird wieder als zuverlässig angesehen.

Auffallend ist, daß bei der Teufe von etwa 5,50 m im Profilverlauf nicht nur eine Änderung der Sedimentationsalter eintritt, sondern sich auch die geochemische Zusammensetzung der Sedimente ändert (siehe Kapitel 5.3.1). Möglicherweise lassen sich die überschätzten Alter nicht nur auf die unvollständige Belichtung, sondern auch auf eine Änderung der Feldspatzusammensetzung oder andere geochemische Parameter zurückführen. Wie in Kapitel 6.2.1.5 ausgeführt, hat sich vermutlich das Liefergebiet der abgelagerten Sedimente im angegebenen Teufenbereich geändert.

Die erhaltenen Sedimentationsalter entsprechen somit dem Zeitraum von etwa 3000 v. Chr. bis zur Zeitenwende. Sie zeigen, daß zwischen 1500 und 1000 Jahren v. Chr. (Troia V, VI) der allmähliche Übergang vom flachmarinen zum fluvialen Ablagerungsraum erfolgte. Zur Zeit der ersten Besiedlung des Hisarlik befand sich unterhalb des nordöstlichen Bereichs des Troia-Rückens noch die Küstenlinie.

#### **6.3.4 Bohrung Höhle**

Auch für die Bohrung Höhle stehen zwei  $^{14}\text{C}$ -Alter zur Verfügung. Zum einen handelt es sich um ein Alter eines Holzkohlestückes direkt aus den Sedimenten der Bohrung Höhle (Teufe 5,50 m) und zum anderen wurde ein  $^{14}\text{C}$ -Alter eines korrelierbaren Horizontes einer anderen Bohrung herangezogen ( $4520 \pm 65$  a cal. BP, Bohrung 28, Teufenbereich zwischen 10,80–11,30 m, Kalkstein).

Für die flachmarinen Sedimente an der Basis der Bohrung Höhle wird auf Grund des  $^{14}\text{C}$ -Alters aus der Bohrung 28 ein Sedimentationsalter von etwa 4000 Jahren angenommen. Zusammen mit den anderen für die Bohrung Höhle erhaltenen Altern wird das der Probe HDS 936 damit als zu jung für die Sedimentation der flachmarinen Sedimente angesehen. Wie bereits in Kapitel 6.1.3.4 (siehe auch Abb. 42) ausgeführt, wurde ein Teil der flachmarinen Ablagerungen vermutlich in Folge eines Flutereignisses und dem damit verbundenen Eintrag von Grobklastika erodiert. Daher sind die oberen Bereiche des verbleibenden Horizontbereiches

belichtet worden und somit gibt das erhaltene Alter nicht den Sedimentationszeitpunkt der flachmarinen Ablagerungen wieder, sondern den des Flutereignisses. Das Alter der Probe HDS 933 wird dagegen wieder als zu hoch angesehen. Sedimentologisch handelt es sich um eine schlecht sortierte, ungleichförmige Ablagerung eines sumpfigen Milieus, in dem die Sedimentation aus einer Suspension erfolgte und damit keine vollständige Belichtung gegeben ist.

Im weiteren Profilverlauf wurden im Teufenbereich zwischen 2,50–6,50 m innerhalb der Fehlergrenzen ähnliche Alter ermittelt, wobei die Alter der Proben HDS 926 und HDS 929 als zu hoch angesehen werden. Bei Probe HDS 926 handelt es sich ebenfalls um ein im sumpfigen Milieu abgelagertes und damit schlecht belichtetes Sediment. Probe HDS 929 stammt aus einem sehr schlecht sortierten, ungleichförmigen Sediment, daß in Folge eines Flutereignisses abgelagert wurde. Sowohl die fazielle Ausbildung als auch die beträchtliche Mächtigkeit dieses Horizontes lassen auf eine Suspensionsfracht und eine schnelle Sedimentation schließen. Damit kann auch für diese Sedimente nicht von einer vollständigen Belichtung ausgegangen werden. Die Sedimente des darüber folgenden Profilabschnitts wurden unter ruhigeren Bedingungen abgelagert. Probe HDS 928 stammt aus dem oberen Bereich dieses Horizontes. Somit wird eine vollständigen Belichtung angenommen, da von einer langsamen Abdeckung der Sedimente auszugehen ist.

Aus archäologischer Sicht besonders interessant sind die Proben HDS 930 und HDS 931, die dem „anthropogenen Horizont“ entstammen. Beide Proben ergaben ein Alter um die Zeitenwende, das von dem  $^{14}\text{C}$ -Alter der Holzkohle aus diesem Horizont innerhalb der Fehlergrenzen bestätigt wird.

Im Bereich östlich des Troia-Rückens erfolgte der Übergang von der flachmarinen zur fluvialen Sedimentation etwa um 2000 v. Chr.; also zur Zeit von Troia IV. Somit fällt der Ablagerungszeitraum der Sedimente der Bohrung Höhle in den historischen Zeitraum von Troia IV bis Troia IX. Mit einem Alter um die Zeitenwende datiert der „anthropogene Horizont“ in die Zeit von Troia VIII/Troia IX.

### 6.3.5 Bohrung Çıplak

Für die Ablagerungen an der Basis der Bohrung Çıplak bestätigten sich die schon nach den sedimentologischen Untersuchungen angenommenen Pleistozänen Alter (HDS 753, HDS 752). Im weiteren Profilverlauf wurden drei weitere Horizonte datiert. Sedimentologisch handelt es sich um sehr schlecht sortierte und ungleichförmige Ablagerungen. Diese Charakteristika sind allerdings zu einem nicht unerheblichen Teil auf das in diesen Horizonten angetroffene anthropogene Material zurückzuführen. Während die beiden Alter der Proben HDS 751 und HDS 750 als reell eingeschätzt werden, wird das Alter der Probe HDS 749 als überschätzt angesehen. Auf Grund der faziellen Ausbildung der Sedimente der Proben HDS 751 und HDS 750 kann davon ausgegangen werden, daß die Ablagerungen aus einem mit nur geringer Sedimentfracht beladenen Strom unter ruhigen Bedingungen, und damit eine ausreichende Belichtung erfolgt ist (siehe Kapitel 6.1.3.5 und Abb. 43). Da das Alter der Probe HDS 750 als zuverlässig angesehen wird, müßte bei Annahme eines ungestörten Profils Probe HDS 749 ein nur geringfügig jüngeres Alter als das der Probe HDS 750 aufweisen. Da es sich bei den Ablagerungen der Probe HDS 749 um Hangmaterial handelt, daß in Folge einer Rutschung ins Çıplak-Tal transportiert wurde, wird davon ausgegangen, daß dieses Material nicht belichtet wurde und somit nicht den Zeitpunkt der Ablagerungen im Çıplak-Tal repräsentiert, sondern einen früheren Zeitpunkt.

Somit erfolgte die Ablagerungen der datierten jüngeren Sedimente etwa im Zeitraum von Troia VII bis zur Zeitenwende in Troia XI. Altersmäßig entspricht im Rahmen der Fehler der gut datierbare Horizont mit anthropogenem Material dem „anthropogenen Horizont“ der Boh-

rung Höhle. Die Tatsachen, daß keine marinen Sedimente angetroffen wurden und die basalen Ablagerungen ins Pleistozän datieren, belegen, daß die ehemalige Küstenlinie westlich der Bohrung Çıplak verlief.

### 6.3.6 Zusammenfassung

Wie gezeigt werden konnte, sind von den insgesamt 32 datierbaren Proben 13 Alter als zu hoch und 19 als realistisch einzuschätzen, wobei eines der zuverlässigen Alter nicht den Zeitpunkt der Ablagerung des datierten Horizontes widerspiegelt, sondern den Beginn der Ablagerung des darüber folgenden Horizontes (HDS 936 aus Bohrung Höhle). Sowohl flachmarine Ablagerungen im Deltabereich als auch fluviatile Ablagerungen sind prinzipiell für eine Datierung mittels OSL geeignet. Hingegen sind abhängig vom Sedimentationsraum und der faziellen Ausbildung nicht alle flachmarinen und fluviatilen Sedimente datierbar.

Generell hängt die Datierbarkeit davon ab, wie hoch die Sedimentfracht des transportierenden Milieus war, und ob der Transportweg ausreichend lang war, um eine vollständige Belichtung der einzelnen Sedimentkörner zu gewährleisten. Im Fall einer Ablagerung im flachmarinen Bereich spielt gegebenenfalls auch die Höhe des Wasserspiegels eine Rolle (DIFLESEN 1992, RENDELL et al. 1994). Nicht datierbar sind Ablagerungen, die in Folge eines plötzlich einsetzenden Flutereignisses aus einer Suspension oder einer hohen Sedimentfracht während eines eher kurzen Zeitraums abgelagert wurden. Zu diesen Ablagerungen zählen Sedimente der Überflutungsebene (overbank deposit) in:

- weiterer Entfernung vom Flußbett (floodplain) → in einem sumpfigen Gebiet (crevasse splay/interchannel area/swamp),
- näherer Umgebung des Flußbetts → Uferwallbildungen (levée).

Generell gut geeignet für eine Datierung sind Sedimente, die während ruhiger Bedingungen aus einem Transportmedium mit niedriger Sedimentfracht abgelagert wurden. Bei diesen Ablagerungen handelt es sich um:

- am Rand eines Flußbetts abgelagerte Sandbänke (sand bar, point bar, channel bar),
- in Flußbettnähe abgelagerte Uferwallbildungen (levée),
- in Flußbettnähe abgelagerte Sedimente der Überflutungsebene (floodplain/interchannel area).

Maßgeblich für die Datierbarkeit von Sedimenten sind, wie hier gezeigt werden konnte, die sedimentologischen Eigenschaften. Tab. 15 belegt, daß die Sortierung und die Gleichförmigkeit der Sedimente von entscheidender Bedeutung für eine mögliche Datierung sind. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Proben datierbar sind, die eine gute bis mittelmäßige Sortierung und eine hohe bis sehr hohe Gleichförmigkeit aufweisen. Keine dieser Eigenschaften besitzen die Proben HDS 930, HDS 931 (beide Bohrung Höhle), HDS 750, HDS 751, HDS 752 und HDS 753 (alle Bohrung Çıplak). Bei den beiden letzten Proben (HDS 752, HDS 753) ist eine Überschätzung des Alters nicht auszuschließen; auf Grund des hohen Alters ist diese aber nicht sicher nachweisbar. Die schlechte Sortierung und hohe Ungleichförmigkeit der Proben HDS 750, HDS 930 und HDS 931 resultiert aus dem hohen Anteil von anthropogenem Material, welches im Korngrößenbereich von Grobsand bis Feinkies in den ansonsten eher feinkörnigen Sedimenten enthalten ist. Probe HDS 751 enthält einen hohen Anteil an Kalkbröckchen im Korngrößenbereich von Sand. Daher spiegelt im Fall dieser Proben die Sortierung und Ungleichförmigkeit nicht die Charakteristika des eigentlichen Sediments wieder. Alle Sedimente, deren Alter als zu hoch angesehen werden, sind in der Regel mittelmäßig bis sehr schlecht sortiert und gleichförmig bis ungleichförmig. Bei den Proben, die eine bessere Sor-

Tab. 15: Auflistung der Faziesbereiche, der Sortierung und der Ungleichförmigkeit für die datierten Proben.

Probe HDS	Datierung		Fazies	Sedimentologie	
	reell	zu hoch		Sortierung	Ungleichförmigkeit
754		x	Sumpf (swamp)	sehr schlecht	ungleichförmig
756		x	Uferwallbildung (levée)	sehr schlecht	gleichförmig
757		x	Uferwallbildung (levée)	mittelmäßig	gleichförmig
758		x	Überflutungsebene (crevasse splay)	sehr schlecht	ungleichförmig
759		x	Uferwallbildung (levée)	sehr schlecht	ungleichförmig
912		x	Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
913		x	Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
914		x	Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
915		x	Sumpf (swamp) flußbettnah	gut	sehr gleichförmig
926		x	Überflutungsebene flußbettfern	sehr schlecht	ungleichförmig
929		x	Uferwallbildung (levée)	sehr schlecht	ungleichförmig
933		x	Überflutungsebene flußbettnah	sehr schlecht	ungleichförmig
749		x	Hangmaterial (Rutschung)	sehr schlecht	sehr ungleichförmig
760	x		Sandbank (channel bar)	gut	gleichförmig
911	x		Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
916	x		Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
917	x		Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	sehr gleichförmig
918	x		Sumpf (swamp) flußbettnah	mittelmäßig	gleichförmig
919	x		Sandbank (point bar)	mittelmäßig	gleichförmig
920	x		Überflutungsebene flußbettnah	gut	sehr gleichförmig
921	x		Uferwallbildung (levée)	mittelmäßig	sehr gleichförmig
924	x		flachmarin, Deltaplattform	gut	sehr gleichförmig
938	x		flachmarin, Deltaabhäng	gut	sehr gleichförmig
928	x		Uferwallbildung (levée)	mittelmäßig	sehr gleichförmig
930	x		Überflutungsebene flußbettnah	sehr schlecht	gleichförmig
931	x		Überflutungsebene flußbettnah	sehr schlecht	ungleichförmig
932	x		Überflutungsebene flußbettfern	mittelmäßig	sehr gleichförmig
750	x		Hangmaterial fluviatil umgelagert in Überflutungsebene (flußbettnah)	sehr schlecht	sehr ungleichförmig
751	x		Sumpf (swamp) flußbettnah	sehr schlecht	sehr ungleichförmig
752	x		-	sehr schlecht	sehr ungleichförmig
753	x		-	sehr schlecht	gleichförmig

tierung und höhere Gleichförmigkeit aufweisen, handelt es sich um solche, die in Folge eines Flutereignisses aus eine Suspension abgelagert wurden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß solche fluviatilen Ablagerungen für eine Datierung mittels OSL geeignet sind die folgende Sedimenteigenschaften und fazielle Ausbildungen besitzen:

- sehr gute bis mittelmäßig Sortierung mit sehr hoher bis hoher Gleichförmigkeit
- abgelagert aus einem Transportmilieu mit geringer Sedimentfracht.

Generell handelt es sich bei Ablagerungen mit diesen Charakteristika um solche, die am Flußbettrand bzw. in unmittelbarer Nähe zum Flußbett sedimentiert wurden.

### 6.3.7 Sedimentationsraten

Für alle vier Bohrungen konnten mehrere Horizonte datiert werden. Daher lassen sich Sedimentationsraten für die Sedimente errechnen. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um Lockergestein. Obwohl für einige wenige Profilbereiche mit einer Kompaktion gerechnet werden muß bzw. eine solche sedimentologisch nachgewiesen wurde, erfolgte die Berechnung der Sedimentationsraten unter der Annahme, daß eine diagenetisch bedingte Kompaktion vernachlässigbar ist und eine Korrektur der Horizontmächtigkeiten unterbleiben kann. Auf die Auswirkungen der Kompaktion wird in der Diskussion der entsprechenden Ergebnisse eingegangen.

Bei den berechneten Minimal-/Maximalaltern in Folge eines radioaktiven Ungleichgewichts wurde aus diesen Altern ein mittlerer Alterswert gebildet. Zur Abschätzung der Sedimentationsraten wurden alle in den Kapiteln 6.3.2 bis 6.3.5 als zuverlässig angesehene Alter verwendet, wobei die korrelierbaren  $^{14}\text{C}$ -Alter mit berücksichtigt wurden. Zur Berechnung der Sedimentationsraten wurden zwei verschiedene Wege genutzt. Über eine lineare Regression der Alter gegen die Teufe erfolgte die Berechnung der mittleren Sedimentationsraten des jeweiligen Gesamtprofils. Wie in Kapitel 6.1.3 dargestellt, wurden die Sedimente in unterschiedlichen Ablagerungsräumen in Folge verschiedener Sedimentationsmechanismen abgelagert. Bei der Berechnung über eine lineare Regression finden die dadurch bedingten z.T. erheblich schwankenden Sedimentationsraten keine Beachtung. Daher wurden in einem zweiten Schritt die Sedimentationsraten einzelner Horizonte bzw. Profilbereiche ermittelt. Berechnet wurden die Sedimentationsraten für maximal mögliche Altersdifferenzen, für minimal mögliche, sowie für die mittleren Altersdifferenzen. Negative Werte, die auf Grund der Ermittlung der jeweiligen Altersdifferenzen entstanden sind, wurden nicht berücksichtigt. Wie aus Abb. 52 deutlich wird, liegen die Sedimentationsraten zwischen wenigen Millimetern und etwa 65 m in 1000 Jahren. Als durchschnittliche Sedimentationsrate für die Ablagerungen der Bohrung Çıplak wurde mittels der linearen Regression ein Wert unter 2 mm in 1000 Jahren ermittelt. Dieser geringe Wert resultiert aus den Pleistozänen Altern der Proben HDS 752 und HDS 753 und der für diese hohen Alter relativ geringen Mächtigkeit des entsprechenden Profilabschnitts. Es kann davon ausgegangen werden, daß ein Teil der Ablagerungen erodiert wurde, wofür die angetroffene scharfe Grenze bei 4,00 m ein Indiz ist (siehe Kapitel 6.1.3), und die Ablagerungen kompaktiert wurden. Auch unter der Annahme, daß die vom Çıplak transportierte Sedimentfracht auf Grund der hydrologischen Gegebenheiten geringer ausfallen dürfte als die des Dümrek und des Karamenderes, ist die errechnete mittlere Sedimentationsrate als zu gering einzuschätzen. Obwohl die maximalen Sedimentationsraten der einzelnen Horizontabschnitte für die Bohrung Çıplak um den Faktor 2 bis 20 höher sind (Horizontbereiche der Proben HDS 751, HDS 752, HDS 753), werden auch diese Werte aus den oben aufgeführten Gründen als zu gering angesehen.

Drei Werte stehen für die Ablagerungen der Bohrung Dümrek zur Verfügung. Für die Berechnung der durchschnittlichen Sedimentationsrate wurden lediglich die Werte der beiden  $^{14}\text{C}$ -Proben sowie die Probe HDS 760 verwendet. Somit gilt der ermittelte Durchschnittswert von ca. 60 cm in 1000 Jahren nur für den unteren Profilbereich in der Teufe zwischen 7,50 m und 23,00 m. Für den von flachmarinen Sedimenten gebildeten Profilbereich (Teufe 9,80—23,00 m) muß wiederum mit einer Kompaktion gerechnet werden, für den Horizont, dem Probe HDS 760 entstammt, ist im Vergleich zu den flachmarinen Ablagerungen von einer höheren Sedimentationsgeschwindigkeit auszugehen; dieser Fakt bleibt bei dem Durchschnittswert von 60 cm ebenfalls unberücksichtigt. Des weiteren beeinflusst die scheinbare Altersinversion der Probe HDS 760 und der zweiten  $^{14}\text{C}$ -Probe das Ergebnis. Werden die beiden  $^{14}\text{C}$ -Alter einer Berechnung zu Grunde gelegt, ergibt sich für den flachmarinen Profilabschnitt ein Wert von ca. 5,5 m in 1000 Jahren, für den Profilbereich zwischen 8,50 m und der Geländeoberkante wurde ein Wert zwischen 1,5 m und 2,5 m ermittelt, der ebenfalls einen Durch-

schnittswert darstellt, da die unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten der Ablagerungen auf Grund des Fehlens weiterer zuverlässiger Alter nicht berücksichtigt werden konnten. Für die Sedimente der Bohrungen Theater und Höhle konnten für mehrere Profilbereiche Sedimentationsraten berechnet werden; sie betragen zwischen 0,1 m und 10 m. Die hohen Sedimentationsraten des Profilbereiches zwischen 8,50 m und 11 m Teufe in Bohrung Theater (HDS 921, HDS 924, HDS 938) resultieren aus dem hohen Fehler des Alters der Probe HDS 924. Bei den Sedimenten die durch die Proben HDS 921, HDS 922, HDS 923 repräsentiert werden, handelt es sich um solche, die in Folge eines Flutereignisses, also mit einer erhöhten Sedimentationsgeschwindigkeit abgelagert worden sind. Für solche plötzlich einsetzenden Ereignisse ist die Ablagerung größerer Sedimentmassen typisch, eine Sedimentationsrate von knapp 7 cm in einem Jahr wäre also durchaus realistisch.

Unter Zugrundelegung von Daten aus den Arbeiten von RAPP & GIFFORD (1982) und KAYAN (1996, 1997) wurde für die Ablagerungen in der Bucht von Troia eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 1–10 m in 1000 Jahren errechnet. Dieser empirisch ermittelte Wert stimmt sehr gut mit den Werten überein, die aus den Datierungen errechnet wurden, was darauf hinweist, daß die hier ermittelten Alter, eine recht hohe Genauigkeit aufweisen.

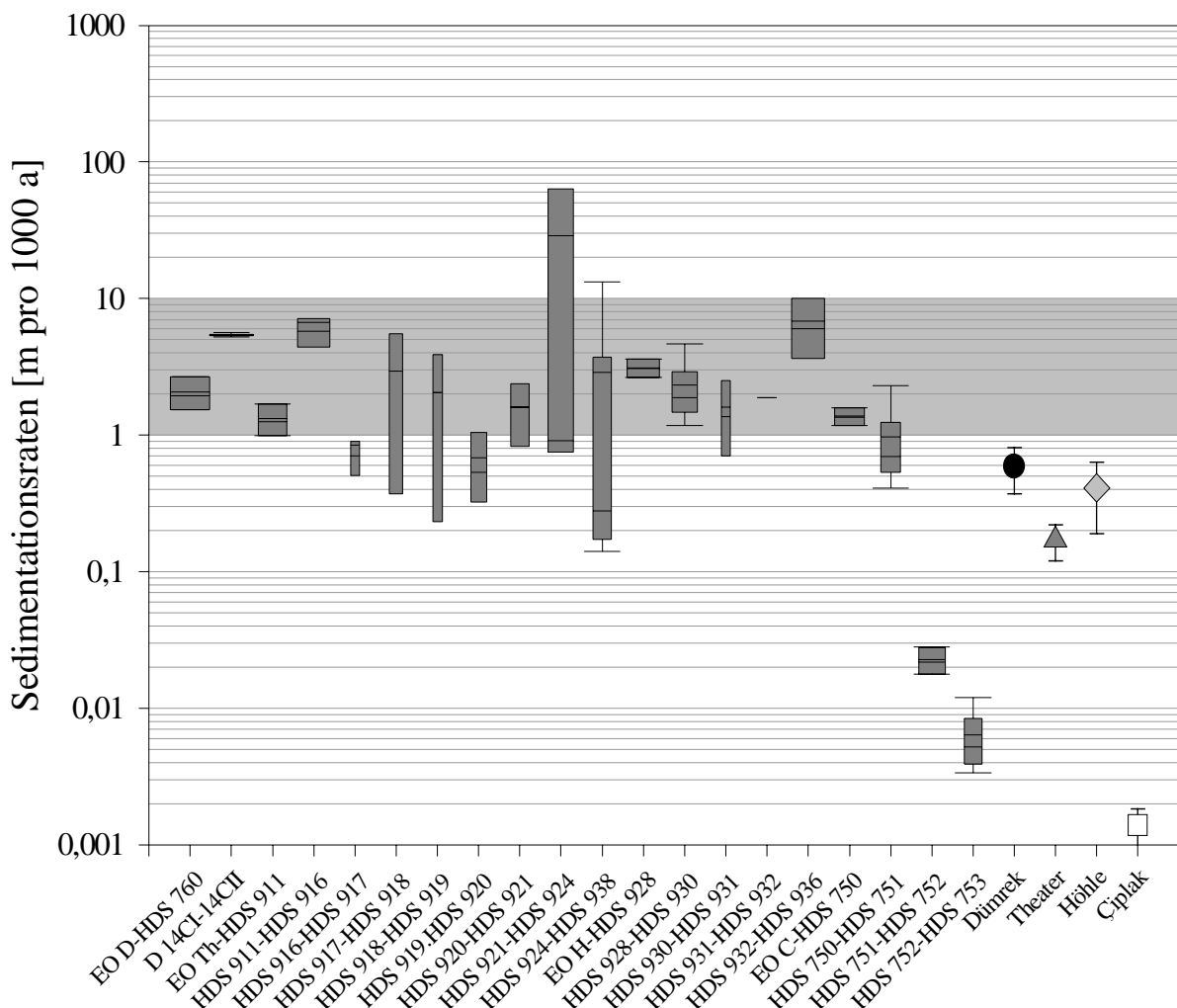


Abb. 52: Boxplot-Darstellung der errechneten Sedimentationsraten. Die Breite der Plots ist direkt proportional zur logarithmierten Mächtigkeit der Ablagerungen für die die Sedimentationsraten errechnet wurden. Grau unterlegt ist der Bereich der Sedimentationsraten, der unter Zugrundelegung der Daten von RAPP & GIFFORD (1982) und KAYAN (1996, 1997) empirisch ermittelt wurde (Probenbezeichnung EO D: Geländeoberkante Bohrung Dümrek; D 14CI-14CII: datiertes organisches Material aus Bohrung Dümrek ( $^{14}\text{C}$ -Analysen); EO H: Geländeoberkante Bohrung Höhle; EO C: Geländeoberkante Bohrung Çıplak; Dümrek, Theater, Höhle, Çıplak: mittlere Sedimentationsrate aller Proben mit zuverlässigen Altern der jeweiligen Bohrung bestimmt über lineare Regression).

## **7           Schlußfolgerungen und Ausblick**

### **7.1           Zusammenfassende Diskussion – Schlußfolgerungen**

Einige der Untersuchungsergebnisse, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden, sind teilweise als Ausgangspunkt für weiterführende Arbeiten zu verstehen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten in manchen Bereichen nur grundlegende Fragestellungen untersucht werden. Sämtliche Ergebnisse sollen daher im Folgenden zusammengefaßt und, soweit es die Datengrundlage erlaubt, als einheitliches Bild dargestellt werden.

Bereits während des Pleistozäns herrschten im Çıplak-Tal südlich der Unterstadt von Troia fluviatile Ablagerungsbedingungen. Östlich und nordöstlich Troias verlief bis etwa 2000 v. Chr., beginnend während der ersten Besiedlung (älter als Troia I) bis Troia IV, die Küstenlinie direkt unterhalb des Troia-Rückens (Abb. 53 und Abb. 54). Danach machte sich zunehmend terrestrischer Einfluß bemerkbar, wobei sich der Übergang vom flachmarinen zum fluviatilen Ablagerungsraum im historischen Zeitraum von Troia VI bis Troia VII (von ca. 2000 v. Chr. bis ca. 1000 v. Chr.) vollzog. Mit einer durchschnittlichen Sedimentationsrate von 4 m in 1000 Jahren erfolgte die Lieferung der Sedimente aus Süden durch den Karamenderes, aus Nordwesten durch den Dümrek und aus dem Osten durch den Çıplak. Westlich von Troia, direkt am Fuß des Troia-Rückens, wurden die Sedimente im gesamten Betrachtungszeitraum in einem höherenergetischen Ablagerungsbereich unmittelbar in der Nähe zu einem Flußlauf des Karamenderes abgelagert, im Çıplak- und im Dümrek-Tal hingegen fand die Sedimentation in einem ruhigen Milieu statt, das nur gelegentlich von Flutereignissen gestört wurde. Bis zum späten 1. Jht. v. Chr. war auch das Gebiet unmittelbar unterhalb des Troia-Rückens im Norden von Troia von einem nahe gelegenen Flußlauf des Karamenderes beeinflusst. Zur Zeit des Baus des Großen Theaters im späten 4. Jhd. v. Chr. hatten sich auch in diesem Gebiet ruhige Sedimentationsbedingungen eingestellt. Mit dem kontinuierlichen Vorbau der Sedimente aus dem Dümrek-Tal in die Ebene des Karamenderes befand sich das Gebiet nördlich bzw. nordöstlich des Troia-Rückens nunmehr im Einflußbereich beider Flüsse, wobei es vorwiegend von Sedimenten beeinflusst war, die in Folge von Flutereignissen abgelagert wurden.

Im historischen Zeitraum von Troia VII—Troia IX gelangte vom Siedlungsareal verstärkt anthropogenes Material in die angrenzenden Gebiete des Çıplak-Tals und die direkt unterhalb des Troia-Rückens befindlichen Gebiete der Schwemmlandebenen des Karamenderes und des Dümreks. In den älteren Ablagerungen dieser Gebiete lassen sich keine Hinweise auf eine Besiedlung des Hisarlıks finden. Zurückzuführen ist das auf die anfänglich wesentlich kleinere Besiedlungsfläche Troias. Erst durch den Bau einer Unterstadt und der Vergrößerung der Siedlungsfläche während der Späten Bronzezeit (Troia VI) gibt es in den Sedimenten erste Anzeichen für menschliche Aktivitäten auf dem Hisarlık. Auf Grund der Ausdehnung der Besiedlungsfläche ist von einer Zunahme der Bevölkerung und damit verbunden einer wesentlich höheren Siedlungsaktivität auszugehen, was sich zunehmend auch auf die Umwelt auswirkte. In Folge von stadtübergreifenden Ereignissen, wie sie die Erweiterung des Siedlungsareals ab der Späten Bronzezeit sowie mehrere Zerstörungen des Ortes (Erdbeben, Brände, Einfall Flavius Fimbria) und nachfolgende Aufräumarbeiten bzw. neue Baumaßnahmen (Bau des Großen Theater, Bau bzw. Umbau und Renovierung des Athena-Tempels, Umbau des Heiligtums) darstellen, wurde anthropogenes Material außerhalb der eigentlichen Siedlungsfläche abgelagert. Somit lassen sich in den Sedimente auch städtebauliche und sozioökonomische Veränderungen nachweisen.



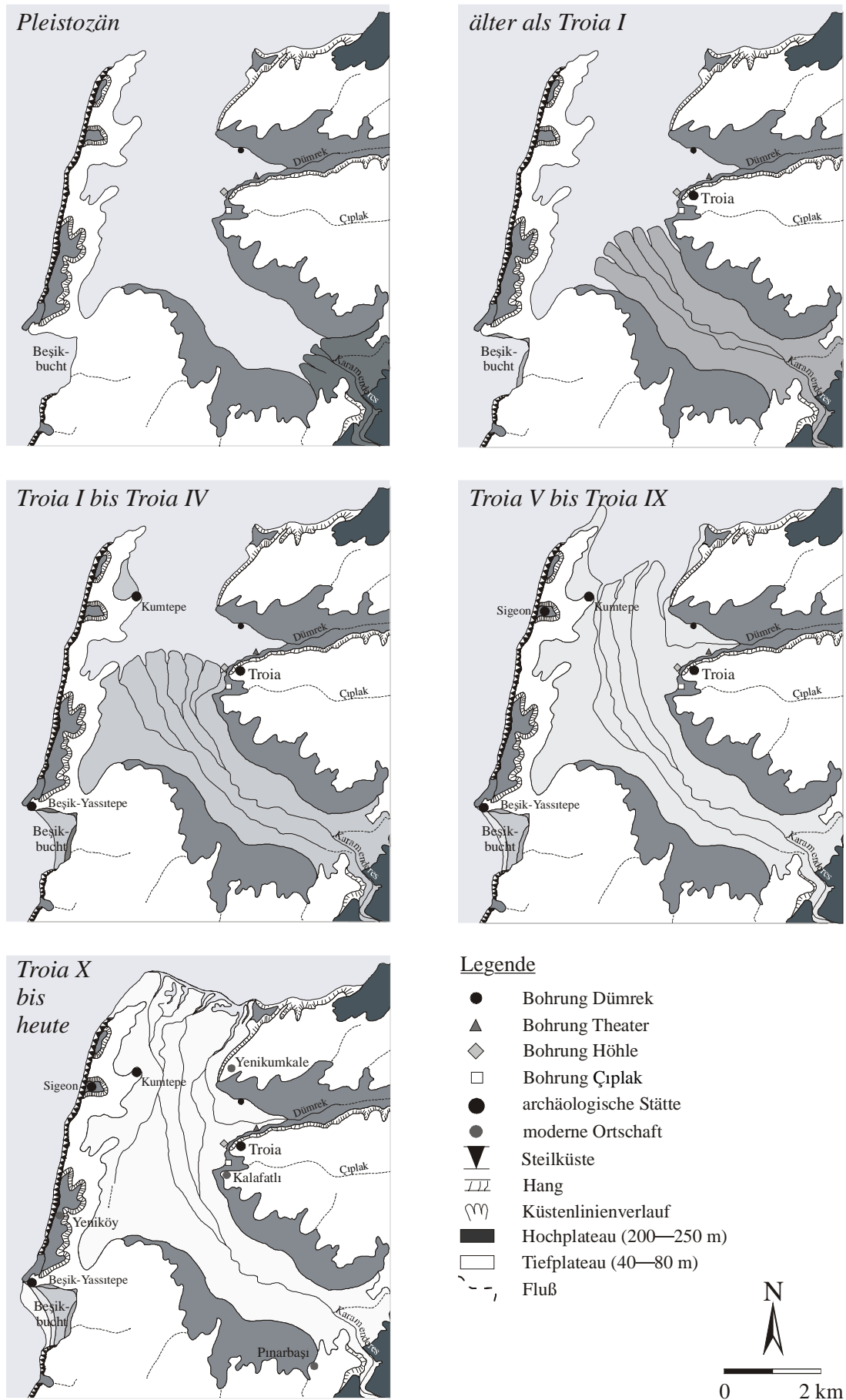


Abb. 53: Rekonstruktion der Ebene von Troia mit Hilfe der neu gewonnenen Daten auf der Grundlage der Daten aus KAYAN 1991, 1995, 1996, 1997 (Kartengrundlage KAYAN 2000).

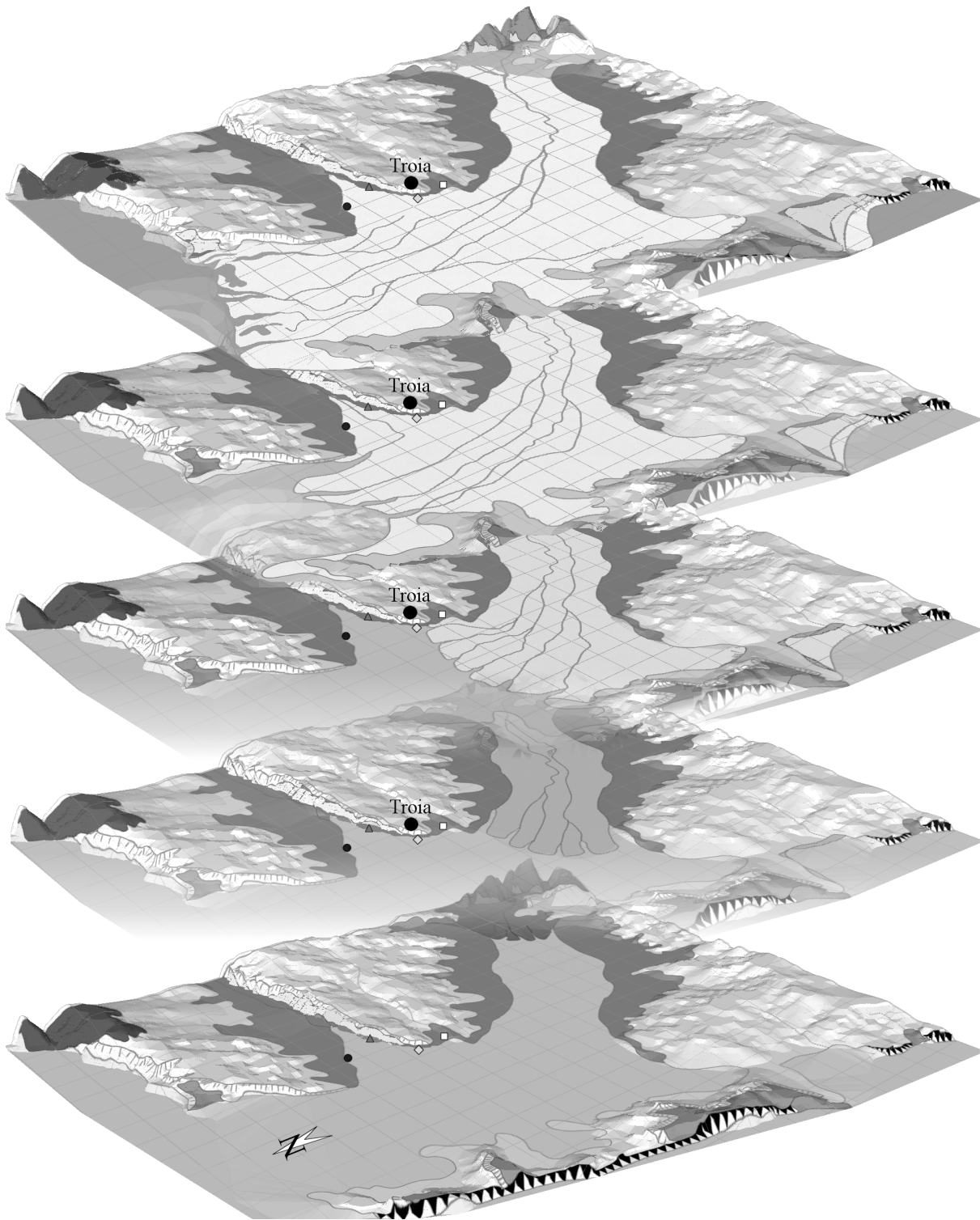


Abb. 54: 3D-Rekonstruktion der Ebene von Troia mit Hilfe der neu gewonnen Daten auf der Grundlage der Daten aus KAYAN 1991, 1995, 1996, 1997 (Kantenlängen eines Rasterquadrates: 700 m, Legende wie in Abb. 53, Kartengrundlage KAYAN 2000).

## **7.2 Ausblick**

### **7.2.1 Sedimentologie und Fazies**

Künftige sedimentologische Arbeiten sollten eine qualitative Mineralbestandsanalyse und die Bestimmung autigener und detritischer Minerale beinhalten. Damit wären, zusätzlich zu den Aussagen aus geochemischen Untersuchungen, Angaben über die Liefergebiete und eine genauere Charakterisierung des Ablagerungsraumes möglich. Ein weiterer wichtiger Punkt wäre die Bestimmung der in den Sedimenten angetroffenen Mikrofossilien, da auf Grund der unterschiedlichen Lebensbedingungen der Organismen die ökologischen und damit indirekt die klimatischen Bedingungen des Ablagerungsraumes sowie deren Änderungen erfaßbar sind.

### **7.2.2 Geochemie**

Wesentlich umfassendere Aussagen zu städtebaulichen, sozioökologischen, ökonomischen und klimatischen Veränderungen lassen sich mit Hilfe weiterer geochemischer Untersuchungen der Sedimente machen. So sind in der Unterstadt von Troia beispielsweise für die Späte Bronzezeit (Troia VI) metallverarbeitende Werkstätten nachgewiesen. Nebenelementuntersuchungen an den Sedimenten könnten Aufschluß darüber geben, welche Metalle in welchem Umfang verarbeitet worden sind. Auch andere handwerkliche Tätigkeiten oder die intensivierte landwirtschaftliche Nutzung könnten mit Hilfe geochemischer Untersuchungen nachgewiesen werden. Indirekt wäre dadurch möglich, ökologische Veränderungen zu erfassen und zu quantifizieren.

Bisher wurden vorwiegend die Magmatite und Metamorphite des troianischen Hinterlandes geochemisch analysiert. Abgesehen von der geochemischen Untersuchung einiger Tonlagerstätten wurden die Sedimente und Sedimentgesteine in dieser Hinsicht bisher vernachlässigt. Neben deren geochemischer Analyse sollten daher die Magmatite und Metamorphite der näheren Umgebung von Troia in solche Untersuchungen einbezogen werden, um die Sedimentliefergebiete weiter eingrenzen und genauer bestimmen zu können. So könnte geklärt werden, in welchem Verhältnis die Sedimente des Dümreks und des Karamenderes im Einflußgebiet beider Flüsse an der Akkumulation der Ablagerungen beteiligt sind.

Aussagekräftigere isotopische Untersuchungen zur Paläotemperaturbestimmung setzten eine genaue Kenntnis der isotopischen Zusammensetzung des meteorischen Wassers in der Troas voraus. Obwohl allgemeine Aussagen zu den klimatischen Gegebenheiten möglich waren, sollten zukünftige Arbeiten zunächst grundsätzliche Fragen zur hydrogeologischen Situation in der Troas klären und hydroisotopische Untersuchungen beinhalten. Da Kalkkonkretionen generell für Paläotemperaturbestimmungen nicht geeignet sind, sollten statt dessen die in den Sedimenten angetroffenen Muschel- und Schneckenschalen auf ihre isotopische Zusammensetzung hin untersucht werden. In Verbindung mit ihren Lebensbedingungen und ihrer Taphonomie ließen sich genauer Angaben zu klimarelevanten Fragestellungen machen.

### **7.2.3 Datierung**

Eines der Hauptprobleme der Datierung stellt die Bestimmung des Wassergehaltes dar. Auf Grund der meist nur sehr geringen Probenmengen ist eine genaue Wassergehaltsbestimmung nur eingeschränkt möglich. Des weiteren ist die Abschätzung des Wassergehalts der Sedimente über den zu datierenden Zeitraum bislang schwierig. Verlässlichere Angaben dazu lassen sich über die fazielle Ausbildung der Sedimente machen. Außerdem ist eine zusätzliche Probennahme zur Bestimmung weiterer Kornparameter anzuraten. Dazu sollten ungestörte Proben entnommen werden, um über die Bestimmung der verschiedenen Porositätsparameter Aussagen zum potentiellen Wassergehalt bzw. der Wassersättigung machen zu können.

Ein weiteres Problem bei der Datierung von Bohrkernproben ergibt sich durch ungenaue Probennahmen. Da sich die Mächtigkeit eines Horizontes schon auf wenigen Dezimetern ändern kann, stimmen die Geländebeobachtungen an einem ersten Bohrkern nicht immer mit den Gegebenheiten des zweiten Bohrkerns überein. Auf Grund solcher Mächtigkeitsschwankungen ist eine Beprobung im Dunkeln problembehaftet. Daher kann es passieren, daß besonders bei geringmächtigen Horizonten verschiedene Horizonte beprobt werden, die auf Grund einer unterschiedlichen faziellen Ausbildung völlig verschiedene Signale liefern können. Somit ergäbe sich ein „falsches“ Alter und die Interpretation dieses Alters wird erschwert oder gar unmöglich.

Um verlässliche Alter zu erhalten, ist *vor* der Beprobung eine genaue Untersuchung der sedimentologischen Charakteristika und der faziellen Ausbildung der zu datierenden Sedimente nötig. So kann bereits im Vorfeld die Probennahme optimiert und der Aufwand für die eigentliche Datierungsarbeit minimiert werden. Wie gezeigt werden konnte, lassen sich mit Hilfe einer Korngrößenanalyse und den daraus berechenbaren Parametern zuverlässige Aussagen über die Datierbarkeit von Sedimenten treffen.

Sollen Sedimente datiert werden, die in einem Aufschluß anstehen, lassen sich diese Untersuchungen problemlos durchführen, da die Aufschlußverhältnisse die Faziesanalyse erleichtern und eine Doppelbeprobung leicht und genau möglich ist. Bei einer Beprobung aus einem Bohrkern gestaltet sich dies schwieriger. In den meisten Fällen ist eine detaillierte Bearbeitung des ersten Bohrkernes im Gelände nicht möglich (hoher Zeit- und Kostenaufwand). Folglich sollte sich die Beprobung für eine Datierung auf eine der beiden Bohrkernhälften der Zweitbohrung beschränken, was eine ausreichende Horizontmächtigkeit voraussetzt. So können vor der Datierung die sedimentologischen und faziellen Untersuchungen erfolgen, oder bei paralleler Bearbeitung kann im Fall der Probennahme aus zwei unterschiedlichen Horizonten an der zweiten Bohrkernhälfte der Fehler erkannt werden. Besonders dann, wenn das Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen eine Landschaftsrekonstruktion sein soll, ist es von Bedeutung, daß nach Möglichkeit alle geplanten Analysen an jeweils den selben Horizonten durchgeführt werden.

Um die Datierung fluviatiler Sedimente zu optimieren bzw. genaue Aussagen darüber treffen zu können, welche Ablagerungen eines fluviatilen Systems gut und verläßlich datierbar sind, sind weiterführende Arbeiten notwendig. Da die Datierbarkeit mittels OSL von der vollständigen Bleichung des Lumineszenzsignals bzw. der völligen Belichtung der Sedimente abhängt, muß deren Abhängigkeit vom Transportmechanismus und dem Ablagerungsraum innerhalb von fluviatilen Systemen näher untersucht werden. Folgende Faktoren sind dabei von entscheidender Bedeutung:

- Gefälle (Ober-, Mittel-, Unterlauf → Strömungsgeschwindigkeit),
- Flußtyp (verflochten, Mäander, anastomosierend),
- Wasserführung bzw. Wasserstand,
- Sedimentfracht,
- Art des Transports (Suspension, Bodenfracht),
- Ort der Ablagerung (Entfernung vom Gerinne).

#### **7.2.4        Resümee**

Es konnte gezeigt werden, daß geowissenschaftliche Untersuchungen wesentliche Erkenntnisse zur Erforschung vergangener Kulturen und zur Landschaftsrekonstruktion ihres Lebensumfeldes beitragen können. Mit Hilfe der geochemischen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß die Sedimente in der Ebene von Troja von zwei verschiedenen Liefergebie-

ten stammen. Da in den Einzugsgebieten der Flüsse Dümrek und Karamenderes Gesteine unterschiedlicher geochemischer Zusammensetzung anstehen, war es möglich, den jeweiligen Ablagerungen in der Ebene von Troia einen der beiden Flüsse als sedimentlieferndes Transportmedium zuzuordnen (basische Komponente durch den Dümrek, saure bis intermediäre Komponente durch den Karamenderes). Außerdem hat sich herausgestellt, daß der Fluß Çıplak zu einem nicht unwesentlichen Teil an der Lieferung von saurem bis intermediärem Material in die Schwemmlandebene des Karamenderes beteiligt war. Des weiteren wurde belegt, daß im Gebiet nordwestlich des Troja-Rückens ab etwa dem 1. Jht. v. Chr. verstärkt Material, welches der Dümrek herantransportierte, abgelagert wurde und dieser Bereich der Ebene von diesem Zeitpunkt an im wechselseitigen Einfluß beider Flüsse befand.

In Verbindung mit der Altersbestimmung der Sedimente konnte der zeitliche Rahmen des Fortgangs der Sedimentation und die zunehmende Verlandung der heutigen Ebene von Troia weiter verifiziert werden. Da für die untersuchten Profile jeweils mehrere zuverlässige Sedimentationsalter ermittelt werden konnten, war es erstmals möglich, Sedimentationsraten zu errechnen. In Kombination mit den Ergebnissen der geomorphologischen Untersuchungen ist nunmehr eine breitere Datenbasis für künftige Forschungen vorhanden.

Wie die sedimentologischen Untersuchungen gezeigt haben, kamen die Sedimente in der Ebene von Troia unter z.T. völlig verschiedenen Bedingungen in unterschiedlichen Sedimentationsräumen und -milieus zur Ablagerung. Diese faziellen Untersuchungen stellen eine wichtige Informationsquelle für zukünftige Forschungen dar, da auf deren Grundlage Analysen von klimatischen und ökologischen Faktoren durchgeführt werden können.

Mit Hilfe sedimentologischer und geochemischer Analysen lassen sich eine Vielzahl von kulturhistorisch relevanten Fragen beantworten. Mit der Optisch Stimulierten Lumineszenz (OSL) steht, unter Einbeziehung sedimentologisch-fazieller Untersuchungen, zusätzlich zur <sup>14</sup>C-Methode eine verlässliche Methode zur Datierung quartärer Ablagerungen zur Verfügung, die im Gegensatz zu anderen Methoden unabhängig ist von zur Datierung geeigneten Funden. Trotz der für archäologische Verhältnisse momentan noch relativ hohen Fehlergrenzen ist die OSL eine sinnvolle Methode zur Unterstützung und Überprüfung historischer Ereignisse, die in biogenen und klastischen Sedimenten belegt sind. Es konnte gezeigt werden, daß die Zuverlässigkeit der OSL-Alter mit sedimentologischen Parametern abschätzbar ist, so daß diese Alter künftig auch an Hand sedimentologischer Kenngrößen beurteilt werden können. Aus der Kombination der vorgenannten Methoden gelang es, die Entwicklung Troias von einem Küstenort zu einer Binnensiedlung zu bestätigen und neue Details in dieser Entwicklung aufzuzeigen.

## 8 Literatur

- ADAMIEC, G. & AITKEN, M. J. (1998): Dose-rate conversion factors: update. – *Ancient TL*, **16** (2): 37-50.
- ADIS, C. (1995): Geochemie tertiärer Vulkanite der Biga-Halbinsel und der Inseln Alibey und Maden, NW-Türkei. – 108 S.; Tübingen (unveröffentlichte Diplomarbeit Eberhard-Karls-Universität Tübingen).
- ALPAN, S., PAMİR, H. N. & ERENTÖZ, C. (1964): Geological map of Turkey 1:500 000 – Izmir. – Turkish geological survey, Ankara.
- AITKEN, M. J. (1985): *Thermoluminescence Dating*. – 1. Aufl., 359 S.; London (Academic Press).
- AITKEN, M. J. (1998): *An Introduction to Optical Dating - The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence*. – 1. Aufl., 267 S.; Oxford (Oxford University Press).
- AITKEN, M. J. & BOWMAN, S. G. E. (1975): Thermoluminescence dating: Assessment of alpha particle contribution. – *Archaeometry*, **17**: 132-138.
- AITKEN, M., TITE, M. S. & REID, J. (1964): Thermoluminescence dating of ancient ceramics. – *Nature* **202**: 1032-1033.
- AITKEN, M. J. & XIE, J. (1992): Optical dating using infrared diodes: young samples. – *Quaternary Science Reviews*, **11**: 147-152.
- ALLEN, J. R. L. (1965): A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. – *Sedimentology*, Special Issue, **5** (2): 89-191.
- ATALAY, I. (1992): The Palaeogeography of the Near East (from Late Pleistocene to Early Holocene) and Human Impact. – 38 S., Izmir (Ege Üniversitesi Press).
- BAILIFF, I. K. & POOLTON, N. R. J. (1991): Studies of charge transfer mechanisms in feldspar. – *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* **18**: 111-118.
- BECKER, H., FASSBINDER, J. & JANSEN, H. G. (1993): Magnetische Prospektion in der Unterstadt von Troia 1992. – *Studia Troica*, **3**: 117-134.
- BECKER, H. & JANSEN, G. (1994): Magnetische Prospektion 1993 der Unterstadt von Troia und Ilion. – *Studia Troica*, **4**: 105-114.
- BECKS, R. (2002): Bemerkungen zu den Bestattungsplätzen von Troia VI. – In: ASLAN, R.; BLUM S.; KASTL, G.; SCHWEIZER, F. & THUMM, D. (eds.): *Mauerschau: Festschrift für Manfred Korfmann*. – Bd. 1, S. 295-306; Remshalden-Grunbach (Greiner).
- BEGEMANN, F., PERNICKA, E. & SCHMITT-STRECKER, S. (1995): Thermi on Lesbos: a case study of changing trade patterns. – *Oxford Journal of Archaeology*, **14** (2): 123-136.
- BEGEMANN, F., SCHMITT-STRECKER, S. & PERNICKA, E. (1992): The Metal Finds from Thermi III-V: A chemical and Lead-Isotope Study. – *Studia Troica*, **2**: 219-239.
- BERTHOLD, C., LÜHMANN, J., KLEIN, R. & NICKEL, K. G. (2000): Particle measurement techniques compared - Tests on the grain size determination of clayey taw materials. – *Aufbereitungstechnik (Mineral processing)*, **41** (7): 310-318.
- BİLGİN, T. (1969): Biga yarımadaı güneybatı kısmının jeomorfolojisi. – *Istanbul Üniv. Coğr. Enst. Yay.*: **55**.
- BIRKLE, P. (1992): Petrologie, Geochemie und Geochronologie des miozänen Magmatismus auf der Biga-Halbinsel (Ezine, NW-Türkei). – 118 S.; Tübingen (unveröffentlichte Diplomarbeit Eberhard-Karls-Universität Tübingen).
- BIRKLE, P. & SATIR, M. (1992): Petrology, geochemistry and geochronology of a quartz-monzonite intrusion ("Kestanbol-Granite") and their host rocks near Ezine Biga-Peninsula, NW-Anatolia, Turkey. – *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft*, **1992** (1): S. 29.
- BIRKLE, P. & SATIR, M. (1994): Geological Aspects of the Use of Kestamnol Quartz-Monzonite Intrusion (Troas/Turkey) as Constructing Material in Archaeological Sites around the Mediterranean Sea. – *Studia Troica*, **4**: 143-155.
- BLEGEN, C. W. (1932): Excavations at Troy 1932. – *American Journal of Archaeology*, **36**: 431-451.
- BLEGEN, C. W. (1963): *Troy and the Trojans*. – 240 S.; London (Thames & Hudson).

- BLEGEN, C. W., CASKEY, J. L. & RAWSON, M. (1953): Troy III. The Sixth Settlement. – 418 S.; Princeton (Princeton University Press).
- BØTTER-JENSEN, L. (1997): Luminescence techniques: instrumentation and methods. – *Radiation Measurements*, **27** (5/6): 749-768.
- BØTTER-JENSEN, L., DITLEFSEN, C. & MEJDAHL, V. (1991): Combined OSL (infrared) and TL studies of feldspars. – *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, **18**: 257-263.
- BØTTER-JENSEN, L. & MEJDAHL, V. (1988): Assessment of beta dose-rate using a GM multiscaler system. – *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, **14**: 187-191.
- BØTTER-JENSEN, L., MEJDAHL, V. & MURRAY, A. S. (1999): New light on OSL. – *Quaternary Geochronology*, **18**: 303-309.
- BRINKMANN, R. (1976): *Geology of Turkey*. – 158 S.; Stuttgart (Enke).
- BUCHARDT, B. & FRITZ, P. (1980): Environmental isotopes as environmental and climatological indicators. – In: FRITZ, P. & FONTES, J. C.: *Handbook of environmental isotope geochemistry, The terrestrial environment*, A 1. – S. 473-504; Amsterdam (Elsevier).
- CATT, J. A. (1992): *Angewandte Quartärgeologie*. – 358 S.; Stuttgart (Enke).
- CHEN, F., SIEBEL, W., SATIR, M., TERZIOĞLU, N. & SAKA, K. (2002): Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the Istanbul zone. – *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, **91**: 469-481.
- CLARK, P. A. & TEMPLER, R. H. (1988): Thermoluminescence dating of materials which exhibit anomalous fading. – *Archaeometry*, **30** (1): 19-36.
- COLLINSON, J. D. (1996): Alluvial sediments. – In: READING, H. G.: *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. – S. 37-82; Amsterdam (Blackwell Science).
- COOK, J. M. C. (1973): *The Troad*. – 443 S.; Oxford (Clarendon Press).
- CRAIG, H. (1965): The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. – In: TONGIORI, E.: *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures*. – S. 161-182; Pisa (C.N.R. Lab. Geol. Nucleare).
- DALRYMPLE, J. B., BLONG, R. J. & CONACHER, A. J. (1968): An hypothetical nine unit landsurface model. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, **12**: 60-76.
- DAVIS JR., R. A. (1983): *Depositional Systems - A Genetic Approach to Sedimentary Geology*. – 669 S.; London (Prentice-Hall).
- DAVIS JR., R. A. (1992): *Depositional Systems - An Introduction to Sedimentology and Stratigraphy*. – 2. Aufl., 604 S.; London (Prentice-Hall).
- DAVIS, S. N. & DEWIESE, R. J. M. (1966): *Hydrogeology*. – 463 S.; New York (Wiley).
- DE TSCHIHATSCHEFF, P. (1867): *Reisen in Kleinasien und Armenien 1847-1863 mit einer neuen Construction der Karte von Kleinasien*. – 66 S.; Gotha (Perthes).
- DE TSCHIHATSCHEFF, P. (1867-1869): *Asie Mineure. Description physique de cette contrée*. 4. partie, Paléontologie et Géologie. – 2245 S.; Paris.
- DICKIN, A. P. (1995): *Radiogenic isotope geology*. – 452 S.; Cambridge (Cambridge University Press).
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1996): DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung. – Ausgabe 1996-11, Berlin (Beuth).
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1998): DIN 18121 Teil 1: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt – Bestimmung durch Ofentrocknung. – Ausgabe 1998-04, Berlin (Beuth).
- DITLEFSEN, C. (1992): Bleaching of K-feldspar in turbid water suspensions: a comparison of photo- and thermoluminescence signals. – *Quaternary Science Review*, **11**: 33-38.
- DULLER, G. A. T. (1992): Comparison of equivalent dose determined by thermoluminescence and infrared stimulated luminescence for dune sands in New-Zealand. – *Quaternary Science Reviews*, **11**: 39-43.
- DULLER, G. A. T. (1994): ANALYSE Version 5.22 vom 27.04.1994.
- DULLER, G. A. T. (1997): Behavioural studies of stimulated luminescence from feldspar. – *Radiation Measurements*, **27** (5/6): 663-694.

- DULLER, G. A. T. & BØTTER-JENSEN, L. (1993): Luminescence from Potassium Feldspars stimulated by infrared and green light. – *Radiation Protection Dosimetry*, **47** (1/4): 683-688.
- DULLER, G. A. T. & BØTTER-JENSEN, L. (1997): Optically simulated luminescence emission spectra from feldspars as a function of sample temperature. – *Radiation Measurements*, **27** (2): 145-151.
- DULLER, G. A. T. & WINTLE, A. G. (1991): On infrared stimulated luminescence at elevated temperatures. – *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, **18**: 379-384.
- EINSELE, G. (2000): *Sedimentary Basins*. – 2. Aufl., 792 S.; Berlin (Springer).
- ELMAS, A. & YIGITBAS, E. (2001): Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia, Turkey. – *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, **90**: 257-269.
- EPSTEIN, S., BUCHSBAUM, R., LOWENSTAM, H. & UREY, U. (1953): Revised carbonate-water isotopic temperature scale. – *Geological Society of American Bulletin*, **64**: 1315-1325.
- ERINÇ, S. (1969): *Klimatoloji ve metodları*. – Istanbul Üniv. Coğr. Yay.: **35**.
- EROL, O. (1983): Die naturräumliche Gliederung der Türkei. – 245 S.; Wiesbaden (Dr. Ludwig Reichert).
- EROL, O. (1991): Geomorphological evolution of the Taurus Mountains, Turkey. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, **82**: 99-109.
- FABIS, M. (1996): Archaeofaunal remains from the lower sanctuary. A preliminary report on the 1994 excavations. – *Studia Troica*, **6**: 218-227.
- FABIS, M. (1997): A Case of an infectious Disease among domestic Fowl of Troia IX. – *Studia Troica*, **7**: 539-548.
- FAURE, G. (1986): *Principles of Isotope Geology*. – 2. Aufl., 589 S.; New York (John Wiley & Sons).
- FECKER, E. & REIK, G. (1996): *Baugeologie*. – 2. Aufl., 429 S.; Stuttgart (Enke).
- FINNERN, H. (1996): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. – 4. Aufl., 392 S.; Stuttgart (Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- FISCHER, F. (1991): Das Rotliegende des ostthüringischen Raumes (Vorerzgebirgs-Senke, norwestsächsischer Vulkanitkomplex, Geraer Becken. – 172 S.; Freiberg (Diss. TU Bergakademie Freiberg).
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. – *Journal of Sedimentary Petrology*, **27** (1): 3-26.
- FORCHHAMMER, P. W. (1850): [Topographische und physiographische] Beschreibung der Ebene von Troja: mit einer Karte von T. A. B. Spratt. – 28 S.; Frankfurt a. M. (Brönner).
- FREY, U. (1937): Türkei und Zypern. In: *Handbuch der geographischen Wissenschaften - Vorder-und Südasien*. – S. 1-62; Potsdam (Akademische Verlagsgesellschaft Athenaion).
- FRIEDMAN, I. & O'NEIL, J. R. (1977): Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. – U.S. Geological Survey professional paper, **440-KK**: 32 S.
- FRIRDICH, C. (1997): Pinnacle E4/5 - Die Keramik der Periode Troia II im Vergleich. – *Studia Troica*, **7**: 111-258.
- FÜCHTBAUER, H., HELING, D. M. G., SCHMINCKE, H.-U., SCHNEIDER, H.-J., VALETON, I., WALTHER, H. W. & WOLF, M. (1988): Sediment und Sedimentgesteine - Sediment-Petrologie Teil II. – In: FÜCHTBAUER, H. – 4. Aufl., 1141 S.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- GAISSER, T. K. (1992): *Cosmic rays and particle physics*. – 279 S.; Cambridge (Cambridge University Press).
- GEMMELL, A. M. D. (1999): IRSL from fine-grained glaci-fluvial sediment. – *Quaternary Geochronology*, **18**: 207-215.
- GIFFORD, J. A., RAPP, G. J. & MOSS, C. M. (1982): The sedimentary matrix: Troy; the archaeological geology; supplementary monograph 4. – S. 61-103; Princeton (Princeton University Press).
- GILL, R. C. O. (1993): *Chemische Grundlagen der Geowissenschaften*. – 294 S.; Stuttgart (Enke).
- GODFREY-SMITH, HUNTLEY, D. J. & CHEN, W.-H. (1988): Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts. – *Quaternary Science Reviews*, **7**: 373-380.



- GÖBEL, J., SATIR, M., KADEREIT, A., WAGNER, G. A. & KAYAN, İ. (2003): Stratigraphy, Geochemistry and Geochronometry of Sedimentary Archives Around Hisarlık Hill – a Pilot Study. – In: WAGNER, G. A., PERNICKA, E. & UERPMANN, H.-P.: Troia and the Troad. – S. 341-359; Heidelberg (Springer).
- GOUDIE, A. (2001): The nature of the Environment. – 4. Aufl., 544 S.; Oxford (Blackwell Publishers).
- GOUDIE, A. (2002): Physische Geographie: eine Einführung. – 4. Aufl., 487 S.; Heidelberg (Spektrum).
- GRÜN, R. (1993): SIMPLEX – TL/OSL Optimisation for dose response. – Version vom 31.08.1993, Risø National Laboratory, Roskilde.
- GÜLDALİ, N. (1979): Geomorphologie der Türkei: Erläuterungen zur geomorphologischen Karte der Türkei 1:2000000. – 265 S.; Wiesbaden (Dr. Ludwig Reichert).
- GUZOWSKA, M., KULEFF, I., PERNICKA, E. & SATIR, M. (2003): On the Origin of Coarse Wares in Troia VII. – In: WAGNER, G. A., PERNICKA, E. & UERPMANN, H.-P.: Troia and the Troad. – S. 233-249; Heidelberg (Springer).
- HAMER, F. & HAMER, J. (1990): Lexikon der Keramik und Töpferei - Material, Technik, Geschichte. – 441 S.; Augustus (Augsburg).
- HANSEN, L., FUNDER, S., MURRAY, A. S. & MEJDAHL, V. (1999): Luminescenc dating of the last Weichselian Glacier advance in East Greenland. – Quaternary Geochronology, **18**: 179-190.
- HARDY, F. & LAMOTHE, M. (1997): Quaternary basin analysis using infrared stimulated luminescence on bore-hole cores and cuttings. – Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews), **16**: 417-426.
- HENNICKE, H. W. (1977): Mineralische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle. – 255 S.; Heidelberg (Verein der Deutschen Emailfachleute).
- HERTEL, D. (2001): Troia: Archäologie, Geschichte, Mythos: C. H. Beck Wissen in der Beck'schen Reihe **2166**. – 128 S.; München (Beck).
- HINZE, C., JERZ, H., MENKE, B. & STAUDE, H. (1989): Geogenetische Definitionen quartärer Lockergesteine für die Geologische Karte 1: 25 000 (GK 25). – Geologisches Jahrbuch Reihe A, **112**: 243 S.
- HOEFS, J. (1997): Stable Isotope Geochemistry. – 4. Aufl., 201 S.; Berlin (Springer).
- HÖHFELD, V. (1995): Türkei: Schwellenland der Gegensätze. – 1. Aufl., 282 S.; Gotha (Perthes).
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 5. Aufl., 441 S.; Stuttgart (Enke).
- HUNTLEY, D. J., GODFREY-SMITH, D. I. & HASKELL, E. H. (1991): Light-induced emission spectra from some quartz and feldspars. – Nuclear Tracks and Radiation Measurements, **18**: 127-131.
- HUNTLEY, D. J., GODFREY-SMITH, D. I. & THEWALT, M. L. W. (1985): Optical dating of sediments. – Nature, **313**: 105-107.
- HUNTLEY, D. J., HUTTON, J. T. & PRESCOTT, J. R. (1993): Optical dating using inclusions within quartz grains. – Geology, **21**: 1087-1090.
- HUNTLEY, D. J., McMULLAN, W. G., GODFREY-SMITH, D. I. & THEWALT, M. L. W. (1989): Time-dependent recombination spectra rising from optical ejection of trapped charges in feldspars. – Journal of Luminescence, **44**: 41-46.
- HÜTT, G. & JAEK, J. (1989): Infrared stimulated photoluminescence dating of sediments. – Ancient TL, **7** (3): 48-51.
- HÜTT, G., JAEK, I. & TCHONKA, J. (1988): Optical dating: K-feldspars optical response stimulation spectrum. – Quaternary Science Reviews, **7** (3/4): 381-386.
- HÜTTEROTH, W.-D. (1982): Türkei: Wissenschaftliche Länderkunde **21**. – 548 S.; Darmstadt (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- IMBACH, Th. (1992): Thermalwässer von Bursa. Geologische und hydrogeologische Untersuchungen am Berg Uludag (NW-Türkei). – 178 S.; Diss. ETH Nr. **9988**, Zürich.
- INMAN, D. L. (1952): Measures for describing the size distribution of sediments. – Journal of Sedimentary Petrology, **22** (3): 125-145.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2003): GNIP/ISOHIS Web site – [http://www.iaea.org/programmes/ripc/ih/rivers\\_hp/rivershome1.htm](http://www.iaea.org/programmes/ripc/ih/rivers_hp/rivershome1.htm).

- INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL UNION/COMMISSION INTERNATIONAL GEOGRAPHIC TERMINOLOGY (1985): Internationales Geographisches Glossarium: Deutsche Ausgabe. – Herausgegeben im Auftrag des Zentralverbandes der Deutschen Geographen von E. MEYNEN, Stuttgart (Steiner-Verlag-Wiesbaden-GmbH).
- JANSEN, H. G. (1992): Geomagnetische Prospektion in der Untersiedlung von Troia. – *Studia Troica*, **2**: 61-69.
- KADEREIT, A. (2000): IR-OSL-datierte Kolluvien als Archive zur Rekonstruktion anthropogen bedingter Landschaftsveränderungen - Das Fallbeispiel Bretten-Bauerbach/Kraichgau. – 205 S.; Heidelberg (Diss. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg).
- KARELIN, P. (2000): KOSM Version 2000.
- KAYAN, İ. (1991): Holocene Geomorphic Evolution of the Beşik Plain and Changing Environment of Ancient Man. – *Studia Troica*, **1**: 79-96.
- KAYAN, İ. (1995): The Troia Bay and supposed Harbour Sites in the Bronze Age. – *Studia Troica*, **5**: 211-235.
- KAYAN, İ. (1996): Holocene Stratigraphy of the Lower Karamenderes-Dümrek Plain and archaeological Material in the alluvial Sediments to the North of the Troia Ridge. – *Studia Troica*, **6**: 239-249.
- KAYAN, İ. (1997): Geomorphological Evolution of the Ciplak Valley and Archaeological Material in the Alluvial Sediments to the South of the Lower City of Troia. – *Studia Troica*, **7**: 489-507.
- KAYAN, İ. (2000): The Water Supply of Troia. – *Studia Troica*, **10**: 135-144.
- KEITH, M. L. & WEBER, J. N. (1964): Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **28**: 1787-1816.
- KELLER, C., GERBER, Y. & STERN, W. B. (1999): Rückstände in Kochgefäßen - Zum Phänomen der Knochenasche. – *Jahresbericht Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt*: 129-146; Basel.
- KITTEL, C. (1999): Einführung in die Festkörperphysik. – 12. Aufl., 725 S.; München (R. Oldenbourg).
- KNACKE-LOY, O. (1994): Isotopengeochemische, chemische und petrographische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung der bronzezeitlichen Keramik von Troia. – *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen*, **77**: 193 S.
- KNACKE-LOY, O., SATIR, M. & PERNICKA, E. (1995): Zur Herkunftsbestimmung der bronzezeitlichen Keramik von Troia: chemische und isotopengeochemische (Nd, Sr, Pb) Untersuchungen. – *Studia Troica*, **5**: 145-175.
- KORFMANN, M. (2001): Troia/Wilusa – Ausgrabungen 2000. – *Studia Troica*, **11**: 1-50.
- KORFMANN, M. (2002): Die Arbeiten in Troia/Wilusa 2001. – *Studia Troica*, **12**: 1-34.
- KORFMANN, M. & KROMER, B. (1993): Demircihüyük, Beşik-Tepe; Troia - Eine Zwischenbilanz zur Chronologie dreier Orte in Westanatolien. – *Studia Troica*, **3**: 135-171.
- KORFMANN, M. & MANNSPERGER, D. (1998): Troia - Ein historischer Rundgang. – 77 S.; Stuttgart (Konrad Theiss).
- KRAFT, J. C., KAYAN, İ. & EROL, O. (1979): Reconstructions of Holocene Epoch sedimentary environments in the vicinity of ancient Troy. – *Abstracts with Programs - Geological Society of America*, **11** (7): S. 460.
- KRAFT, J. C., KAYAN, İ. & EROL, O. (1982): Geology and paleogeographic reconstructions of the vicinity of Troy: Troy; the archaeological geology; supplementary monograph 4. – S. 11-41; Princeton (Princeton University Press).
- KRBETSCHEK, M. R., RIESER, U. & STOLZ, W. (1996): Optical dating: Some luminescence properties of natural feldspar. – *Radiation Protection Dosimetry*, **66** (1-4): 407-412.
- KRÖNNECK, P. (1996): Vogelknochen aus Troia. Ein Beitrag zur Umweltrekonstruktion. – *Studia Troica*, **6**: 229-236.
- KRÜCK, F. (1988): Pathophysiologie. – 789 S.; München (Urban & Schwarzenberg).
- KUHN, R. (1993): Aufbau einer Stimulationslichtquelle und erste Untersuchungen des Phänomens der Optisch (Grün) Stimulierten Lumineszenz zum Zwecke der Altersbestimmung. – 89 S.; Heidelberg (unveröffentlichte Diplomarbeit Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg).

- KUHN, R. (2000): Vergleichende Untersuchungen der Optisch (Grün) Stimulierten Lumineszenz und der Thermolumineszenz von Quarz zum Zwecke der Altersbestimmung. – 176 S.; Heidelberg (Diss. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg).
- KUZUCUOGLU, C. & ROBERTS, N. (1998): Évolution de l'environnement en Anatolie de 20000 à 6000 BP. – *Paléorient*, **23** (2): 7-24.
- LANG, A. (1994): Infra-Red Stimulated Luminescence Dating of Holocene reworked silty sediments. – *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, **13**: 525-528.
- LANG, A. (1996): Die Infrarot-Stimulierte-Lumineszenz als Datierungsmethode für holozäne Lössderivate: Ein Beitrag zur Chronometrie kolluvialer, alluvialer und limnischer Sedimente in Südwestdeutschland. – In: BARSCH, D., FRICKE, W. & MEUSBURGER, P.: *Heidelberger Geographische Arbeiten* **103**. – 1. Aufl., 137 S.; Heidelberg (Geographisches Institut der Universität Heidelberg).
- LANG, A., LINDAUER, S., KUHN, R. & WAGNER, G. A. (1996): Procedures used for optically and Infrared Stimulated Luminescence Dating of Sediments in Heidelberg. – *Ancient TL*, **14** (3): 7-11.
- LECHEVALIER, J. B. (1791): Description of the plain of Troy: with a map of that region. Mit Anmerkungen und Illustrationen von Andrew Dalzel. – 154 S.; Edinburgh (Cadell).
- LESER, H. (1995): *Geomorphologie*. – 7. Aufl., 218 S.; Braunschweig (Westermann).
- LESER, H. (2001): *Diercke-Wörterbuch Allgemeine Geographie*. – 12. Aufl., 1037 S.; München (dtv).
- LOUIS, H. (1985): *Landeskunde der Türkei - vornehmlich aufgrund eigener Reisen*. – *Erdkundliches Wissen - Schriftenreihe für Forschung und Praxis*, **73**: 229 S.
- MARFUNIN, A. S. (1979): *Spectroscopy, Luminescence and Radiation Centres in Minerals*. – 352 S.; Berlin (Springer).
- MASON, B. & MOORE, C. B. (1985): *Grundzüge der Geochemie*. – 340 S.; Stuttgart (Enke).
- MASTERS, P. M. (1983): *Quaternary Coastlines and Marine Archaeology: Towards the Prehistory of Sand Bridges and Continued Shelves*. – 641 S.; London (Academic Press).
- METZGER, R. (1994): *Geologie, Geochemie, Zirkonmorphologie und 207 Pb/ 208 Pb-Datierungen an Einzelzir-konen des Kazdağ-Komplexes (Biga-Halbinsel, NW-Türkei)*. – 105 S.; Tübingen (unveröffentlichte Diplomarbeit Eberhard-Karls-Universität Tübingen).
- MIAL, A. D. (1996): *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. – 582 S.; Berlin (Springer).
- MIAL, A. D. (1997): *The Geology of Stratigraphic Sequences*. – 433 S.; Berlin (Springer).
- MIAL, A. D. (2000): *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. – 3. Aufl., 616 S.; Berlin (Springer).
- MOUNTJOY, P. A. (1997): Local Mycenaean Pottery at Troia. – *Studia Troica*, **7**: 259-268.
- MULHOLLAND, S. C., RAPP, G. J. & GIFFORD, J. A. (1982): *Phytoliths: Troy: the archaeological geology; supplementary monograph 4*. – S. 117-137; Princeton (Princeton University Press).
- MURRAY, A. S. (1996): Development in optically stimulated luminescence and photo-transferred thermoluminescence dating of young sediments: Application to a 2000-yaer sequence of flood deposits. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60** (4): 565-576.
- MÜTZENBERG, S. R. (1991): Westliche Biga-Halbinsel (Çanakkale, Türkei): Beziehung zwischen Geologie, Tektonik und Entwicklung der Thermalquellen. – *Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule und der Universität Zürich Neue Folge* **287**: 161 S.
- NAKAI, N. (1972): Carbon isotopic variation and the paleoclimate of sediments from Lake Biwa. – *Proceedings of the Japan Academy*, **48**: 516-521.
- NAMBI, K. S. V. & AITKEN, M. (1986): Annual dose conversion factors for TL and ESR dating. – *Archaeometry* **28**: 202-205.
- OKAY, A. I. & SATIR, M. (2000a): Upper Cretaceous Eclogite-Facies Metamorphic Rocks from the Biga Peninsula, Northwest Turkey. – *Turkish Journal of Earth Sciences*, **9**: 47-56.
- OKAY, A. I. & SATIR, M. (2000b): Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. – *Geol. Mag.*, **137** (5): 495-516.

- OKAY, A. I., SATIR, M., MALUSKI, H., SIYAKO, M., MONTIE, P., METZGER, R. & AKYÜZ, S. (1996): Paleo- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geological and geochronologic contains. In: YIN, A.; HARRISON, T. M.: *The Tectonic Evolution of Asia*. – S. 420-441; Cambridge (Cambridge University Press).
- OKAY, A. I., SATIR, M., TÜYSÜZ, O., AKYÜZ, S. & CHEN, F. (2001): The tectonic of the Strandja Massif: late-Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. – *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, **90**: 217-233.
- OKAY, A. I., SIYAKO, M. & BURKAN, K. A. (1991): Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. – *Bulletin, Technical University of Istanbul*, **44** (1-2): 191-256.
- OKAY, A. I. & TÜYSÜZ, O. (1999): Tethyan sutures of northern Turkey. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVATH, F. & SÉRANNE, M.: *The Mediterranean Basins: Tertiary Extensions within the Alpine orogen*. **156**. – S. 475-515; London (Geological Society Special Publications).
- OSWALD, F. (1912): Armenien. – In: STEINMANN, G. & WILCKENS, O.: *Handbuch der Regionalen Geologie* **10**. – 40 S.; Heidelberg (Winter).
- ÖZDOĞAN, M. (1998): Anatolia from the last Glacial Maximum to the Holocene Climatic Optimum: Cultural Formations and the Impact of the Environmental Setting. – *Paléorient*, **23** (2): 25-38.
- PASSEGA, R. (1964): Grain-size representation by CM patterns as a geological tool. – *Journal of Sedimentary Petrology*, **34** (4): 830-847.
- PENCK, W. (1918): *Die tektonischen Grundzüge Westkleinasiens: Beiträge zur anatolischen Gebirgsgeschichte auf Grund eigener Reisen*. – 120 S.; Stuttgart (Engelhorn).
- PERNICKA, E. (1987): *Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum: Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte*. – 170 S.; Heidelberg (Hochschulschrift Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg).
- PERNICKA, E., BEGEMANN, F., SCHMITT-STRECKER, S. & GRIMANIS, A. P. (1990): On the composition and provenance of metal artefacts from poliochni on Lemnos. – *Oxford Journal of Archaeology*, **9** (3): 263-298.
- PHILIPPSON, A. (1910/1915): *Reisen und Forschungen im westlichen Kleinasien*. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* **167, 172, 177, 180, 183**: 598 S.; Gotha (Perthes).
- PHILIPPSON, A. (1918): Kleinasien. – In: STEINMANN, G. & WILCKENS, O.: *Handbuch der regionalen Geologie* **22**. – 183 S.; Heidelberg (Winter).
- PORAT, N., WINTLE, A. G., AMIT, R. & ENZEL, Y. (1996): Late Quaternary Earthquake Chronology from Luminescence Dating of Colluvial and Alluvial Deposits of the Arava Valley, Israel. – *Quaternary Research*, **46**: 107-117.
- PRESCOTT, J. R. & ROBERTSON, G. B. (1997): Sediment dating by luminescence: a review. – *Radiation Measurements*, **27** (5/6): 893-922.
- PRESCOTT, J. R. & STEPHAN, L. G. (1982): The contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminescent dating. Latitude, altitude and depth dependence. – *Pact*, **6**: 17-25.
- RAPP, G. & GIFFORD, J. A. (1982): *Troy: the archaeological geology*. – Supplementary monograph **4**: 209 S.; Princeton (Princeton University Press).
- READING, H. G. (1996): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. – 3. Aufl., 688 S.; Oxford (Blackwell Science).
- READING, H. G. & COLLINSON, J. D. (1996): Clastic coasts. – In: READING, H. G. (1996): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. – 3. Aufl., S. 154-231; Oxford (Blackwell Science).
- REES-JONES, J. & TITE, M. S. (1997): Optical dating results for British archaeological sediments. – *Archaeometry*, **39** (1): 177-187.
- REINECK, H.-E. & SINGH, I. B. (1986): *Depositional Sedimentary Environments*. – 2. Aufl., 551 S.; Berlin (Springer).
- RENDELL, H.-M., WEBSTER, S. R. & SHEFFER, N. L. (1994): Underwater bleaching of signals from sediment grains: new experimental data. – *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, **13**: 433-435.
- REUTER, F., KLENGEL K. J. & PAŠEK J. (1992): *Ingenieurgeologie*. – 3. Aufl., 603 S.; Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH)

- RIEHL, N. (1971): Einführung in die Lumineszenz. – 351 S.; München (Karl Thieme).
- RIEHL, S. (1999): Bronze Age Environment and Economy in the Troad: the archaeobotany in Kumtepe and Troy. – 268; Tübingen (Mo Vince).
- RIEHL, S. (2000): Archäobotanik in der Troas. – *Studia Troica*, **10**: 367-409.
- RIESER, U. (1991): Low-Level Gamma-Spektrometrie zum Zwecke der Dosisleistungsbestimmung bei der Lumineszenz-Datierung. – 67 S.; Heidelberg (unveröffentlichte Diplomarbeit Ruprecht-karls-Universität Heidelberg).
- ROBERTS, R. G. (1997): Luminescence dating in archaeology: from origin to optical. – *Radiation Measurements*, **27** (5/6): 819-892.
- ROSE, Ch. B. (1991): The Theater of Ilion. – *Studia Troica*, **1**: 69-78.
- ROSE, Ch. B. (1993): The 1992 Post-Bronze Age Excavations at Troia. – *Studia Troica*, **3**: 97-116.
- ROSE, Ch. B. (1994): The 1993 Post-Bronze Age Research and Excavations at Troia. – *Studia Troica*, **4**: 75-104.
- SAKINÇ, M., YALTIRAK, C., OKTAY, F. Y. (1999): Palaeogeographical evolution of the Thrace Neogene Basin and the Tethian-Paratethian relations at northwest Turkey (Thrace). – *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, **153**: 17-40.
- SANDYS, G. (1615): A Relation of a Journey begun An. Dom. 1610. Four Books containing a description of the Turkish Empire, of Ægypt, of the Holy Land, of the Remote parts of Italy, and Islands adjoining. – 4 Bände; London (W. Barrett Booksellers).
- SATIR, M. & FRIEDRICHSEN, H. (1986): The origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey; a rubidium/strontium and oxygen isotope study. – *Geologische Rundschau*, **75** (3): 703-714.
- SATIR, M. & ZÖLDFÖLDI, J. (2003): Provenance Studies of Pottery and Granite Columns in Troia. – In: WAGNER, G. A., PERNICKA, E. & UERPMANN, H.-P.: *Troia and the Troad*. – S. 223-231; Heidelberg (Springer).
- SAUTER, F. & ROSSMANITH, K. (1966): Chemische Untersuchung von Inkrustationen in hallstattzeitlicher Keramik. – *Archaeologia Austriaca*, **40**: 135-142.
- SCHEFFER, F., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., SCHWERTMANN, U., HORN, R., KÖGEL-KNABNER, I., STAHR, K.; AUERSWALD, K., BEYER, L., HARTMANN, A., LITZ, N.; SCHEINOST, A., STÄNGEL, H., WELP, G., WILKE, B.-M. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde* – Scheffer/Schachtschabel. – 15. Aufl., 593 S., Heidelberg (Spektrum).
- SCHIDLowski, M., HAYES, J. M. & KAPLAN, I. R. (1983): Isotopic inferendes of ancient biochemistries: Carbon, sulfur, hydrogen and nitrogen. – In: SCHOPF, J. W. (ed.): *Earth's earliest biosphere – Its origin and evolution*. – S. 149-186; Princeton (Princeton University Press).
- SCHLIEMANN, H. (1884): Troja - Ergebnisse meiner neuesten Ausgrabungen auf der Baustelle von Troja, in den Heldengräbern, Bunarbasch und andren Orten der Troas im Jahre 1882. – 462 S.; Leipzig (Brockhaus).
- SCHROEDER, D. & BLUM, W. (1992): *Bodenkunde in Stichpunkten*. – 5. Aufl., 175 S.; Berlin (Hirt).
- SCHWEDT, G. (1996): *Taschenatlas der Analytik*. – 2. Aufl., 241 S.; Stuttgart (Thieme).
- SEIM, R. & TISCHENDORF, G. (1990): *Grundlagen der Geochemie*. – 1. Aufl., 632 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- SELBY, M. J. (2000): Hill slopes. – In: HANCOCK, P. L. & SKINNER, B. J. (eds.): *The Oxford Companion to The Earth*. – S. 502–505.; Oxford (University Press).
- SELLEY, R. C. (2000): *Applied Sedimentology*. – 2. Aufl., 523 S.; San Diego (Academic Press).
- ŞENGÖR, A. M. C. & YILMAZ, Y. (1981): Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. – *Tectonophysics*, **75**: 181-241.
- SHANTZER, E. V. (1951): Alluvium of river plains in a temperate zone and its significance for understanding the laws governing the structure and formation of alluvial suites. – *Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.*, **135**: 1-127.
- SPOONER, N. A. (1992): Optical dating: preliminary results on the anomalous fading of luminescence from feldspars. – *Quaternary Science Reviews*, **11**: 139-145.

- STEWART, H. B. J. (1958): Sedimentary reflections of depositional environments in San Miguel lagoon, Baja California, Mexico. – *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **41** (2): 2567-2618.
- STRABO (um die Zeitenwende): Geographica Buch XIII. – In: GORSKURD, C. G. (1831): Strabons Erdbeschreibung in siebzehn Büchern. Nach richtigtem griechischen Text unter Begleitung kritischer, erklärender Anmerkungen, Bd. 2. (Buch VII bis XIII), 634 S.; Berlin.
- STRAHLER, A. H. & STRAHLER A. N. (1999): *Physische Geographie*. – 680 S.; Stuttgart (Ulmer).
- STRAHLER, A. H. & STRAHLER A. N. (2000): *Introducing physical geography*. – 2. Aufl., 575 S.; New York (Wiley).
- TEMPLER, R. H. (1986): The localised transition model of anomalous fading. – *Radiation Protection Dosimetry*, **17**: 531-537.
- TIETZE, W. (1969): *Lexikon der Geographie*. – Band II: F–K, 936 S.; Braunschweig (Westermann).
- TRASK, P. D. (1932): *Origin and environment of source sediments of petroleum*. – 323 S.; Houston (Gulf Publishing Company).
- TRIBUTH, H. & LAGALY, G. (1986): Aufbereitung und Identifizierung von Boden und Lagerstättentonen - II. Korngrößenanalyse und Gewinnung von Tonsubfraktionen. – *GIT Fachzeitschrift für das Labor*, **8**: 771-776.
- TUCKER, M. (1996): *Methoden der Sedimentologie*. – 366 S.; Stuttgart (Enke).
- UERPMANN, H.-P., KÖHLER, K. & STEPHAN, E. (1992): Tierreste aus den neuen Grabungen in Troia. – *Studia Troica*, **2**: 105-121.
- VIRCHOW, R. (1879): Beiträge zur Landeskunde der Troas: Abhandlungen der Berliner Akademie, Physikalische Klasse. – 190 S.; Berlin.
- VISOCEKAS, R. (1985): Tunnelling radiative recombination in K-feldspar sanidine. – *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, **10**: 521-529.
- WAGNER, G. A. (1980): Thermolumineszenz und Altersbestimmung. – *Naturwissenschaften*, **67**: 216-226.
- WAGNER, G. A. (1995): Altersbestimmung von jungen Gesteinen und Artefakten: physikalische und chemische Uhren in Quartärgeologie und Archäologie. – 277 S.; Stuttgart (Enke).
- WAGNER, G. A. (1998): Age Determination of Young Rocks and Artefacts: Physical and chemical Clocks in Quaternary and Archaeology. – 466 S.; Berlin (Springer).
- WAGNER, G. A., BEGEMANN, F., EIBNER, C., LUTZ, J., ÖZTUNALI, Ö., PERNICKA, E. & SCHMITT-STRECKER, S. (1989): Archäometallurgische Untersuchungen an Rohstoffquellen des frühen Kupfers Ostanatoliens. – *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums*, **36**: 637-693.
- WAGNER, G. A., PERNICKA, E., SEELIGER, T. C., ÖZTUNALI, O., BARANYI, I., BEGEMANN, F. & SCHMITT, S. S. (1984): Geologische Untersuchungen zur fruehen Metallurgie in NW-Anatolien [Geological investigations of early metallurgy in northwestern Anatolia]. – *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, **01-102**: S. 45-81.
- WEBB, P. B. (1822): *Untersuchungen über den ehemaligen und jetzigen Zustand der Ebene von Troja*. – Weimar (Verlag des geographischen Institutes).
- WEBERUSS, V. A. (1998): *Quantenphysik im Überblick*. – 544 S.; München (Oldenbourg).
- WEDEPOHL, K. H. (1978): *Handbook of Geochemistry*. – Bd. I-II 5; Berlin (Springer).
- WENINGER, B. (1995): Stratified <sup>14</sup>C dates and ceramic chronologies; case studies for the early Bronze Age at Troy (Turkey) and Ezero (Bulgaria). – *Radiocarbon*, **37** (2): S. 443-456.
- WIGGENHORN, H. (1995): *Infrarot Stimulierte Lumineszenz von Feldspat - Grundlagen und Anwendung als Datierungsmethode*. – 127 S.; Heidelberg (Diss. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg).
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1977): Geochemical Discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – *Chemical Geology*, **20**: S. 325-343.
- WINTLE, A. G. (1997): Luminescence dating: laboratory procedures and protocols. – *Radiation Measurements*, **27** (5/6): 769-817.
- WINTLE, A. G. & HUNTLEY, D. J. (1980): Thermoluminescence dating of ocean sediments. – *Canadian Journal of Earth Science*, **17**: 348-360.

- WHITE, W. M. (1998): Geochemistry. – On-Line Textbook, 701 S., Cornell University.
- WOLKERSDORFER, CH., BLUME, C. & WEBER, C. (2003): Trace Elements in the Waters of Troy. – Wissenschaftliche Mitteilungen (Geol. Inst. TU Bergakademie Freiberg), **24**: S. 91-95.
- YILMAZ, O. (1971): Étude pétrographique et géochronologique de la région de Cacas (partie méridionale du massif de Bitlis, Turquie). – 230 S.; Grenoble (These fac. Sc. Terre Univ. Grenoble).
- YILMAZ, Y. (1997): Geology of Western Anatolia. – In: SCHINDLER, C. & PFISTER, M.: Active Tectonics of Northwestern Anatolia - The MARMARA Poly-Project: A Multidiciplinary Approach by Space-Geodesy, Geology, Hydrogeology, Geothermics and Seismology. – S. 31-137; Zürich (vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich).
- YALTIRAK, C. & ALPAR, B. (2002): Kinenmatics and evolution of the northern branch of the North Anatolian Fault (Ganos Fault) between the Sea of Marmara and the Gulf of Saros. – Marine Geology, **190**: 351-366.
- YALTIRAK, C., ALPAR, B., SAKINÇ, M. & YÜCE, H. (2000): origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean-Marmara incursion. – Marine Geology, **164**: 139-156.
- YALTIRAK, C., ALPAR, B., & YÜCE, H. (1998): Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (Northeastern Aegean Sea). – Tectonophysics, **300** (1-4): 227-248.
- ZÖLDFÖLDI, J. & SATIR, M. (2003): Provenance of White Marble Building Stones in the Monuments of Ancient Troia. – In: WAGNER, G. A., PERNICKA, E. & UERPMANN, H.-P.: Troia and the Troad. – S. 203-222; Heidelberg (Springer).
- ZÖLLER, L. & PERNICKA, E. (1989): A note on overcounting in alpha-counters and its elimination. – Ancient TL **7**: 11-14.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celcius	µm	Mikrometer
A.D.	Anno Domini	M.-%:	Massenprozent
A	Alter	n. Chr.	nach Christus
a	Jahre	NE	Nordost
Abb.	Abbildung	NNE	Nordnordost
B.P.	before present (vor heute)	NW	Nordwest
C	Abstufungsgrad	OSL	optisch stimulierte Lumineszenz
cal.	kalibriert	P	Paläododis
cm	Zentimeter	PDB	<i>Belemnitella Americana</i> , PeeDe.Fm.
cps	counts per second (Zählimpuls pro Sekunde)	R	Massenverhältnis zweier Isotope eines Elementes
d	Feuchtefaktor	RFA	Röntgenfluorezenzanalyse
$D_{\text{eff}}$	Gesamtdosisleistung	$R_{\text{Pr}}$	Masseverhältnis der Isotope der Probe
d.h.	das heißt	$R_{\text{St}}$	Masseverhältnis der Isotope des Standards
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	s	Sekunde
$D_{\alpha}$	Alphadosisleistung	$s$	Standardabweichung der Stichprobe
$D_{\beta}$	Betadosisleistung	$s$	zustandsspezifischer Frequenzfaktor
$D_{\gamma}$	Gammadosisleistung	SK <sub>1</sub>	graphische Schiefe
$D_{\text{kosm}}$	kosmische Dosisleistung	S <sub>o</sub>	Sortierungskoeffizient
ED	Äquivalenzdosis	SSW	Südsüdwest
$ED_{\alpha}$	Alpha-Äquivalenzdosis	SE	Südost
$ED_{\beta}$	Beta-Äquivalenzdosis	SW	Südwest
ENE	Ostnordost	T	Temperatur
et al.	et alii	t	Zeit
eV	Elektronenvolt	T <sub>1/2</sub>	Halbwertszeit
Fm.	Formation	Tab.	Tabelle
g	Gramm	U	Ungleichförmigkeit
GV	Glühverlust	USA	Vereinigte Staaten von Amerika
Gy	Grey	UTM	Universal Transverse Mercator Projection
$h_1$	Masse Isotop 1	v. Chr.	vor Christus
HDS	Heidelberg Sediment	V	Volumen
IRSL	infrarot stimulierte Lumineszenz	VSMOW	Vienna Standard of Mean Ocean Water
J	Joule	w	Wassergehalt
Jhd.	Jahrhundert	WGS 84	World Geodetic System 1984
Jht.	Jahrtausend	WSW	West südwest
k	Boltzmann-Monstante	$W_k$	energetische Differenz
K:	Gleichgewichtskonstante für Isotopenaustauschprozesse	z.B.	zum Beispiel
K	Kelvin	z.T.	zum Teil
$K_g$	Kurtosis	α	Fraktionierungsfaktor von Isotopieeffekten
km	Kilometer	λ	Wellenlänge
l	Liter	ρ	Dichte
m	Masse	σ <sub>1</sub>	Sortierung nach FOLK & WARD (1957)
m	Meter	σ	Standardabweichung der Grundgesamtheit
$m_1$	Masse Isotop 1	σφ	Sortierung nach TRASK (1932)
$m_2$	Megaelektronenvolt	τ	Lebensdauer von Elektronen in einem bestimmten Energiezustand
$m_{\text{GV}}$	Masse geglühte Probe		
Ma	Millionen Jahre		
Md (d50)	Median		
$m_f$	Masse feuchte Probe		
min	Minuten		
mm	Millimeter		
$m_{\text{tr}}$	Masse trockene Probe		
µg	Mikrogramm		



## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vereinfachte geographische Übersichtskarte der Türkei (Kartengrundlage verändert aus EROL 1983). ....	3
Abb. 2:	Naturräumliche Gliederung der Türkei nach EROL 1983 (1: Nördliche Marmara-Plateaus und Beckengebiete, 2: Südliches Marmara-Berg- und Beckenland, 3: Nordägäisches Berg- und Beckenland, 4: Ägäische Bruchsenkenzone, 5: Innere Westanatolische Schwelle, 6: Menteşe Berg- und Beckenlandschaft, 7: Beckengebiet der Westaurischen Seen, 8: Bergland um Teke, 9: Berg- und Beckenlandschaft um Antalya und Akseki, 10: Küstengebirge zwischen Akçakoca und Küre, 11: Köroğlu-Berge, 12: Oberes Sakarya-Plateau und Bergland, verändert aus EROL 1983).....	4
Abb. 3:	Schematische Darstellung der Teillandschaften der Biga-Halbinsel nach EROL (1983, graphische Umsetzung nach den Angaben aus der Literatur). ....	5
Abb. 4:	Chronologie Troias (nach KORFMANN & MANNSPERGER 1998).....	8
Abb. 5:	Topographische Karte der Troas aufgenommen von GRAVES & SPRATT im Jahr 1840 (verändert von SCHLIEMANN 1883, aus SCHLIEMANN 1884).....	10
Abb. 6:	Überblick der tektonischen Verhältnisse Westanatoliens (nach OKAY et al. 1996, OKAY et al. 2001). ....	13
Abb. 7:	Geologische Verhältnisse der Biga-Halbinsel (nach OKAY et al. 1991, 1996, verändert aus SATIR & ZÖLDFÖLDI 2003; Kartengrundlage gezeichnet von F. Chen, J. Zöldföldi).....	20
Abb. 8:	Prinzip der Anregung von Röntgenfluoreszenzstrahlung (nach SCHWEDT 1996). ....	25
Abb. 9:	Schematische Darstellung des RAYLEIGH-Fraktionierung (nach WHITE 1998). ....	29
Abb. 10:	Vereinfachtes Energiebändermodell der Lumineszenzphysik (nach WAGNER 1980, verändert aus KUHN 2000). ....	32
Abb. 11:	Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des latenten Lumineszenzsignals von der Mineralbildung ( $t_0$ ) über eine Nullstellung z.B. durch Belichtung durch Sonnenlicht ( $t_1$ ) bis zur Messung ( $t_2$ ), Sonne: Belichtung, Mond: Dunkelheit; Lampe: Belichtung durch Messung). ....	33
Abb. 12:	Emissionsspektrum von Feldspäten bei Infrarot Stimulierter Lumineszenz (nach KADEREIT 2000). ....	34
Abb. 13:	Ermittlung der Äquivalenzdosis (ED) mittels der Additiven Methode durch zehn bzw. jeweils fünf Einzelmessungen je Strahlendosis (graue Dospunkte: natürliche Dosis, schwarze Dospunkte: additive Dosen). ....	38
Abb. 14:	Natürliche Radionuklide und ihre Halbwertzeiten (verändert aus KUHN 1993). ....	41
Abb. 15:	Mineralbestand in den Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton (nach SCHEFFER et al. 2002).....	43
Abb. 16:	Darstellung der direkt an den entnommenen Proben ermittelten und der auf der Grundlage der sedimentologischen Untersuchungen modellierten Wassergehalte für diese Proben. ....	48
Abb. 17:	Beziehung zwischen Gesamtporen-, Nutzporen- und Haftwasserraum in Abhängigkeit von der Korngröße klastischer Sedimente (verändert aus HÖLTING 1996, nach DAVIS & DEWIEST 1966). ....	49
Abb. 18:	Schematische Darstellung des Risø-Readers (nach WIGGENHORN 1995). ....	50
Abb. 19:	Lage der abgeteufen Bohrungen ( <i>kursiv</i> : Flüsse, normal: Siedlungen, Kartengrundlage Aufnahme Nr. 42589 von IKONOS II, Aufnahmedatum: 24.06.2000, mit freundlicher Genehmigung des Troia-Teams, Symbole siehe Abb. 20b). ....	52
Abb. 20:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse im Dreiecksdiagramm (a) Standarddarstellung mit den Eckpunkten Schluff – Sand und Kies – Ton, b) angepasste Darstellung mit den Eckpunkten Sand – Kies – Ton und Schluff). ....	54
Abb. 21:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels der Ungleichförmigkeit und Sortierung nach TRASK (1932). Die Gruppierung erfolgte auf Grund gemeinsamer bzw. ähnlicher genetischer Eigenschaften bezüglich Ungleichförmigkeit und Sortierung. (Symbole wie in Abb. 20b). ....	55
Abb. 22:	Mittlere Hauptelementgehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen nach Tab. 9. ....	65
Abb. 23:	Mittlere Nebenelementgehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen nach Tab. 10. ....	66

Abb. 24:	Spiderdiagramm zur Darstellung der Hauptelementgehalte, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).....	68
Abb. 25:	Verkürztes Spiderdiagramm zur Darstellung der Nebenelementgehalte, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).....	68
Abb. 26:	Verkürzte Spiderdiagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte in den Proben der Bohrung Theater, Proben normiert auf Probe R6 aus KNACKE-LOY (1994).....	69
Abb. 27:	Darstellung aller analysierten Elementgehalte gegen die Tiefe jeweils von Geländeoberkante bis 12 m Tiefe, getrennt nach Bohrungen (erste und fünfte Reihe: Bohrung Dümrek, zweite und sechste Reihe: Bohrung Theater, dritte und siebte Reihe: Bohrung Höhle, vierte und achte Reihe: Bohrung Çıplak, es wurde für ein Element jeweils die gleich Skalierung für die jeweiligen Abbildungen gewählt. Alle Diagramme dieser Abbildung sind mit Skalierung in Abb. 108 bis Abb. 112 in Anhang C I zu finden.).....	70
Abb. 28:	Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse zur Darstellung geochemischer Ähnlichkeiten der Proben (●: Proben Bohrung Dümrek, ▲: Proben Bohrung Theater, ◆: Proben Bohrung Höhle, □: Proben Bohrung Çıplak).....	76
Abb. 29:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse nach Bohrungen gruppiert. Deutlich werden die Ähnlichkeiten der Sedimente zwischen den Bohrungen.....	77
Abb. 30:	Graphische Darstellung der Hauptfaktorenanalyse. Elemente, die sich ähnlich verhalten, haben die selben Symbole und Farben erhalten (Erklärung im Text).....	77
Abb. 31:	Empirisches Mehrfachelementdiagramm zur Darstellung der Ähnlichkeiten der geochemischen Zusammensetzung der Sedimente [innerhalb der Rechtecke liegen die Proben: HDS 750 (Bohrung Çıplak), 929, 930, 931 (alle Bohrung Höhle); innerhalb der schwarzen Ovale liegen die Proben: HDS 928, 932, 933, 936 (alle Bohrung Höhle); innerhalb der grauen Ovale liegen die Proben: HDS 925, 926 (beide Bohrung Höhle); Symbole wie in Abb. 20b].....	78
Abb. 32:	$\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen bezogen auf den Standard VPDB.....	80
Abb. 33:	$\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte der organischen Reste aus den Sedimenten der vier Bohrungen.....	81
Abb. 34:	Einordnung der ermittelten Alter mit ihren Fehlergrenzen in die (prä)-historische Chronologie von Troia. Um einen weitestgehend guten Überblick zu ermöglichen wurden die hohen Alter der Proben HDS 752, HDS 753 (Bohrung Çıplak) und HDS 757 (Bohrung Dümrek) nicht eingetragen.....	85
Abb. 35:	Hierarchische Klassifikation fluviatiler Ablagerungsräume basierend auf SHANTZER (1951) und ALLEN (1965) nach COLLINSON (1996) und SELLEY (2000).....	86
Abb. 36:	Vereinfachte Darstellung verschiedener fluviatiler und flachmariner Ablagerungsräume (Quellen siehe Text).....	87
Abb. 37:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels des Mediandurchmessers $\phi$ und der Schiefe $SK_1$ (nach STEWART 1958, Symbole wie in Abb. 20b).....	87
Abb. 38:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels des Mediandurchmessers $\phi$ und der Phi-Abweichung $\sigma\phi$ (nach STEWART 1958).....	89
Abb. 39:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenuntersuchungen im C-M-Diagramm nach PASSEGA (1964, Symbole wie in Abb. 20b).....	89
Abb. 40:	Profil der Bohrung 144 – Dümrek mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern ( <i>Altersangaben kursiv</i> : Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).....	93
Abb. 41:	Profil der Bohrung 157 – Theater mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern ( <i>Altersangaben kursiv</i> : Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).....	97
Abb. 42:	Profil der Bohrung 158 – Höhle mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern ( <i>Altersangaben kursiv</i> : Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).....	101
Abb. 43:	Profil der Bohrung 145 – Çıplak mit Angaben zur Stratigraphie, Fazies, den entnommenen Proben und den ermittelten Altern ( <i>Altersangaben kursiv</i> : Minimal- und Maximalalter, Legende auf der folgenden Seite).....	107

Abb. 44:	Interkorrelationsmatrix der Hauptelemente (angegeben sind jeweils die Oxide, Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 113 und Abb. 114 in Anhang C I).	112
Abb. 45:	Interkorrelationsmatrix der Nebenelemente (Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 115 bis Abb. 117 in Anhang C I).	113
Abb. 46:	Interkorrelationsmatrix der Haupt- und Nebenelemente (Hauptelemente als Oxide, Symbole wie in Abb. 20b, ausgewählte Diagramme vergrößert in Abb. 118 bis Abb. 121 in Anhang C I).	114
Abb. 47:	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - und CaO-Gehalt in den Bohrungen Dümrek, Theater, Höhle und Çıplak und in den von KNACKE-LOY (1994) bearbeiteten Keramiken aus Troia (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - und CaO-Gehalte der Keramikproben sind Tab. 38 in Anhang C I zu entnehmen).	116
Abb. 48:	Darstellung der Ergebnisse der RFA in Fig. 6 von WINCHESTER & FLOYD 1977 (Alk-Bas: Alkalibasalt, Bsn/Nph: Basanite/Nephelinite, Com/Pant: Comendite/Pantellerite, TrachyAnd: Trachyandesite, Symbole wie in Abb. 20b).	118
Abb. 49:	Vereinfachte tiefenabhängige Boxplot-Darstellung der errechneten Temperaturen mit den meteorischen Daten der Stationen Alexandropolis, Limnos und Kozağaç (Aydin, dargestellt sind im Boxplot die Minimal-, die Maximaltemperaturen sowie der Mittelwert und der Median).	120
Abb. 50:	Typische $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte in verschiedenen natürlichen Reservoiren (ergänzt nach HOEFS 1997).	121
Abb. 51:	Typische $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte in verschiedenen natürlichen Reservoiren (ergänzt nach HOEFS 1997).	123
Abb. 52:	Boxplot-Darstellung der errechneten Sedimentationsraten. Die Breite der Plots ist direkt proportional zur logarithmierten Mächtigkeit der Ablagerungen für die die Sedimentationsraten errechnet wurden. Grau unterlegt ist der Bereich der Sedimentationsraten, der unter Zugrundelegung der Daten von RAPP & GIFFORD (1982) und KAYAN (1996, 1997) empirisch ermittelt wurde (Probenbezeichnung EO D: Geländeoberkante Bohrung Dümrek; D 14CI-14CII: datiertes organisches Material aus Bohrung Dümrek ( <sup>14</sup> C-Analysen); EO H: Geländeoberkante Bohrung Höhle; EO C: Geländeoberkante Bohrung Çıplak; Dümrek, Theater, Höhle, Çıplak: mittlere Sedimentationsrate aller Proben mit zuverlässigen Altern der jeweiligen Bohrung bestimmt über lineare Regression).	131
Abb. 53:	Rekonstruktion der Ebene von Troia mit Hilfe der neu gewonnenen Daten auf der Grundlage der Daten aus KAYAN 1991, 1995, 1996, 1997 (Kartengrundlage KAYAN 2000).	133
Abb. 54:	3D-Rekonstruktion der Ebene von Troia mit Hilfe der neu gewonnenen Daten auf der Grundlage der Daten aus KAYAN 1991, 1995, 1996, 1997 (Kantenlängen eines Rasterquadrates: 700 m, Legende wie in Abb. 53, Kartengrundlage KAYAN 2000).	134
Abb. 55:	Lage der Bohrung 144 – Dümrek in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).	165
Abb. 56:	Lage der Bohrung 157 – Theater in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).	165
Abb. 57:	Lage der Bohrung 158 – Höhle in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).	166
Abb. 58:	Lage der Bohrung 145 – Çıplak in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).	166
Abb. 59:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 754 aus der Bohrung Dümrek.	169
Abb. 60:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 756 aus der Bohrung Dümrek.	170
Abb. 61:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 755 aus der Bohrung Dümrek.	171
Abb. 62:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 757 aus der Bohrung Dümrek.	172
Abb. 63:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 758 aus der Bohrung Dümrek.	173
Abb. 64:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 759 aus der Bohrung Dümrek.	174
Abb. 65:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 760 aus der Bohrung Dümrek.	175
Abb. 66:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 909 aus der Bohrung Theater.	176
Abb. 67:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 910 aus der Bohrung Theater.	177

Abb. 68:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 911 aus der Bohrung Theater.....	178
Abb. 69:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 912 aus der Bohrung Theater.....	179
Abb. 70:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 913 aus der Bohrung Theater.....	180
Abb. 71:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 914 aus der Bohrung Theater.....	181
Abb. 72:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 915 aus der Bohrung Theater.....	182
Abb. 73:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 916 aus der Bohrung Theater.....	183
Abb. 74:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 917 aus der Bohrung Theater.....	184
Abb. 75:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 918 aus der Bohrung Theater.....	185
Abb. 76:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 919 aus der Bohrung Theater.....	186
Abb. 77:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 920 aus der Bohrung Theater.....	187
Abb. 78:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 921 aus der Bohrung Theater.....	188
Abb. 79:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 922 aus der Bohrung Theater.....	189
Abb. 80:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 923 aus der Bohrung Theater.....	190
Abb. 81:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 924 aus der Bohrung Theater.....	191
Abb. 82:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 938 aus der Bohrung Theater.....	192
Abb. 83:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 925 aus der Bohrung Höhle.....	193
Abb. 84:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 937 aus der Bohrung Höhle.....	194
Abb. 85:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 926 aus der Bohrung Höhle.....	195
Abb. 86:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 927 aus der Bohrung Höhle.....	196
Abb. 87:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 928 aus der Bohrung Höhle.....	197
Abb. 88:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 929 aus der Bohrung Höhle.....	198
Abb. 89:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 930 aus der Bohrung Höhle.....	199
Abb. 90:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 931 aus der Bohrung Höhle.....	200
Abb. 91:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 932 aus der Bohrung Höhle.....	201
Abb. 92:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 933 aus der Bohrung Höhle.....	202
Abb. 93:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 935 aus der Bohrung Höhle.....	203
Abb. 94:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 936 aus der Bohrung Höhle.....	204
Abb. 95:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 749 aus der Bohrung Çıplak.....	205
Abb. 96:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 750 aus der Bohrung Çıplak.....	206
Abb. 97:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 751 aus der Bohrung Çıplak.....	207
Abb. 98:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 752 aus der Bohrung Çıplak.....	208
Abb. 99:	Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 753 aus der Bohrung Çıplak.....	209
Abb. 100:	Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben der Bohrung Dümrek (HDS 754 bis HDS 760) und Probe HDS 909 aus Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.....	210
Abb. 101:	Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 910 bis HDS 917 der Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.....	211
Abb. 102:	Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 918 bis HDS 924 und HDS 938 der Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.....	212
Abb. 103:	Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 925 bis HDS 931 und HDS 937 der Bohrung Höhle dargestellt als Häufigkeitskurven.....	213
Abb. 104:	Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 932, HDS 933, HDS 935 und HDS 936 der Bohrung Höhle und HDS 750 bis HDS 752 der Bohrung Çıplak dargestellt als Häufigkeitskurven.....	214
Abb. 105:	Ergebnis der Siebanalyse nach DIN 18123 für Probe HDS 753 der Bohrung Çıplak dargestellt als Häufigkeitskurven.....	215
Abb. 106:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels der Sortierung nach TRASK (1932) und dem Mediandurchmesser (Symbole wie in Abb. 20b).....	216
Abb. 107:	Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalysen mittels der Ungleichförmigkeit und des Mediandurchmessers (Symbole wie in Abb. 20b).....	216

Abb. 108:	Darstellung der $\text{SiO}_2$ -, $\text{TiO}_2$ -, $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalte der Sedimente der vier Bohrungen gegen die Teufe. ....	235
Abb. 109:	Darstellung der $\text{MnO}$ -, $\text{MgO}$ -, $\text{CaO}$ - und $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalte der Sedimente der vier Bohrungen gegen die Teufe. ....	236
Abb. 110:	Darstellung der $\text{K}_2\text{O}$ -, $\text{P}_2\text{O}_5$ -, Ba- und Cr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe. ....	237
Abb. 111:	Darstellung der Nb-, Ni-, Rb- und Sr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe. ....	238
Abb. 112:	Darstellung der V-, Y-, Zn- und Zr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe. ....	239
Abb. 113:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Hauptelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	240
Abb. 114:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Hauptelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	241
Abb. 115:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	242
Abb. 116:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	243
Abb. 117:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	244
Abb. 118:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	245
Abb. 119:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	246
Abb. 120:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	247
Abb. 121:	Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b). ....	248
Abb. 122:	Interkorrelationsmatrix der stabilen Isotope $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der Kalkkonkretionen sowie $\delta^{13}\text{C}$ des organischen Materials mit den Haupt- und Nebenelementen [Hauptelemente als Oxide, Isotope auf (V)PDB-Standard bezogen und in ‰ angegeben, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : Isotope der Kalkkonkretionen, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : Isotop des organischen Materials]. ....	251
Abb. 123:	Von der IAEA veröffentlichte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der meteorischen Wässer von Athen, Limnos, Heraklion, Alexandropolis, Maritsa, Kozağaç, Antalya, Erdemli und Adana. ....	254
Abb. 124:	Boxplot-Darstellung der für die Sedimente von Troia ermittelten Temperaturen mittels der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der meteorischen Wässer von von Athen, Alexandropolis, Heraklion, Limnos, Kozağaç, Maritsa, Antalya, Erdemli und Adana. ....	254
Abb. 125:	Mit Hilfe hochauflösender Low-Level-Gammaspektrometrie erkannte Typen radioaktiver Gleich- bzw. Ungleichgewichte in der $^{238}\text{U}$ -Reihe (nach KADEREIT 2000). ....	258
Abb. 126:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Dümrek ( $^{223}\text{Ra}$ wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen). ....	266
Abb. 127:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben HDS 911 bis HDS 918 der Bohrung Theater ( $^{223}\text{Ra}$ wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen). ....	267
Abb. 128:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben HDS 919 bis HDS 921 und HDS 924 und HDS 938 der Bohrung Theater ( $^{223}\text{Ra}$ wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen). ....	268
Abb. 129:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Höhle ( $^{223}\text{Ra}$ wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen). ....	269
Abb. 130:	Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Çıplak ( $^{223}\text{Ra}$ wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen). ....	270
Abb. 131:	Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 754 und HDS 756 aus der Bohrung Dümrek. ....	272

Abb. 132:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 757 und HDS 758 aus der Bohrung Dümrek.....	273
Abb. 133:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 759 und HDS 760 aus der Bohrung Dümrek.....	274
Abb. 134:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 911 und HDS 912 aus der Bohrung Theater. ....	275
Abb. 135:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 913 und HDS 914 aus der Bohrung Theater. ....	276
Abb. 136:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 915 und HDS 916 aus der Bohrung Theater. ....	277
Abb. 137:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 917 und HDS 918 aus der Bohrung Theater. ....	278
Abb. 138:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 919 und HDS 920 aus der Bohrung Theater. ....	279
Abb. 139:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 921 und HDS 924 aus der Bohrung Theater. ....	280
Abb. 140:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 938 aus der Bohrung Theater und HDS 926 aus der Bohrung Höhle. ....	281
Abb. 141:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 928 und HDS 929 aus der Bohrung Höhle.....	282
Abb. 142:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 930 und HDS 931 aus der Bohrung Höhle.....	283
Abb. 143:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 932 und HDS 933 aus der Bohrung Höhle.....	284
Abb. 144:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 936 aus der Bohrung Höhle und HDS 749 aus der Bohrung Çıplak. ....	285
Abb. 145:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 750 und HDS 751 aus der Bohrung Çıplak.....	286
Abb. 146:	Äqivianenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 752 und HDS 753 aus der Bohrung Çıplak.....	287

### 9.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Gekernte Bohrkernabschnitte und daraus entnommene Proben für die Datierung (OSL), die geochemischen Analysen und die Korngrößenanalysen mit den dazugehörigen Probennummern in der Reihenfolge der geographischen Lage der Bohrungen geordnet von Nord nach Süd (HDS steht für Heidelberg Sediment. Bei den Probennummern handelt es sich um Labornummern, die in der Reihenfolge des Einganges der Proben nummeriert wurden).....	22
Tab. 2:	Internationale Standards für die stabilen Isotope Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Kohlenstoff (C); aus SEIM & TISCHENDORF (1990), (*): Umrechnung von FRIEDMAN & O'NEIL (1977) zitiert in FAURE (1986).....	27
Tab. 3:	Untergrund- und Integralbereiche für die Kontrolle vollständiger Bleichung zur Äquivalenzdosisberechnung (nach KADEREIT 2000). ....	38
Tab. 4:	Natürliche Zerfallsreihen, während des Zerfalls frei werdende Strahlungsarten, sowie ihre Halbwertszeiten (nach SEIM & TISCHENDORF 1990).....	39
Tab. 5:	Umrechnungsfaktoren für die strahlungsspezifische Dosisleistung [ $\text{mGy a}^{-1}$ ] bei bekannter Elementkonzentration nach ADAMIEC & AITKEN 1998, angegeben sind die zur Auswertung der Meßdaten verwendeten Umrechnungsfaktoren.....	42
Tab. 6:	Aus DAVIS & DEWIEST (1966) abgelesene Porenvolumina und die daraus berechneten Bodendichten und Wassergehalte. ....	49
Tab. 7:	Auflistung der zu der jeweiligen Korngrößengruppe gehörenden Proben nach Abb. 20b.....	54
Tab. 8:	Gruppierung der untersuchten Proben mit Hilfe ihrer sedimentologischen Eigenschaften Sortierung und Ungleichförmigkeit nach Abb. 21. ....	55

Tab. 9:	Statistische Auswertung der Hauptelementgehalte aller vier Bohrungen ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	65
Tab. 10:	Statistische Auswertung der Nebenelementgehalte aller vier Bohrungen ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	67
Tab. 11:	Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Dümrek. ....	83
Tab. 12:	Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Theater ( <i>Kursiv: Minimal- Maximalalter</i> , <i>fad.:</i> fading und Minimalalter). ....	83
Tab. 13:	Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Höhle ( <i>Kursiv: Minimal- Maximalalter</i> , <i>fad.:</i> fading und Minimalalter). ....	84
Tab. 14:	Alter der beprobten Horizonte der Bohrung Çıplak ( <i>Kursiv: Minimal- Maximalalter</i> ). ....	85
Tab. 15:	Auflistung der Faziesbereiche, der Sortierung und der Ungleichförmigkeit für die datierten Proben. ....	129
Tab. 16:	Leitfähigkeit, bestimmt an den sich in Suspension in destilliertem Wasser befindlichen Proben und die daraus berechneten wasserlöslichen Bestandteile der Proben (von den Proben HDS 937 und HDS 753 wurden keine Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt, Rundungen sind gerätebedingt). ....	167
Tab. 17:	Berechnete Korngrößenparameter und ihre Aussagen (nach TUCKER 1996, FÜCHTBAUER 1988). ....	168
Tab. 18:	Auflistung der internationalen Standards, die für die Erstellung der Eichkurve für die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) im Geochemischen Zentrallabor der Universität Tübingen verwendet werden [ANTR: Association Nationale de la Recherche Technique (Arbeitsgruppe des CRPG), CRPG: Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CCRMP: Canada's Canadian Certified Reference Materials Project, NIM: National Institute for Metallurgy (heute Council for Mineral Technology), USGS: United States Geological Survey, ZGI: Zentrales Geologisches Institut (1990 aufgelöst)]. ....	217
Tab. 19:	Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 07. Mai 1999. ....	218
Tab. 20:	Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 01. Februar 2000. ....	218
Tab. 21:	Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 04. Dezember 2000. ....	219
Tab. 22:	Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 03. Mai 2001. ....	219
Tab. 23:	Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Dümrek und Theater: Hauptelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen). ....	220
Tab. 24:	Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Höhle und Çıplak sowie Probe R6: Hauptelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen, Werte für R6 aus KNACKE-LOY 1994, für R6 bei KNACKE-LOY 1994 keine Nachweisgrenzen angegeben; k. A.: keine Angaben). ....	221
Tab. 25:	Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Dümrek und Theater: Nebenelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen; un: unter der Nachweisgrenze). ....	222
Tab. 26:	Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Höhle und Çıplak sowie Probe R6: Nebenelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen, Werte für R6 aus KNACKE-LOY 1994, für R6 bei KNACKE-LOY 1994 keine Nachweisgrenzen angegeben; k. A.: keine Angaben, un: unter der Nachweisgrenze). ....	223
Tab. 27:	Glühverlust (Wert für R6 aus KNACKE-LOY 1994, k. A.: keine Angaben). ....	224
Tab. 28:	Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Dümrek ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	225
Tab. 29:	Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Theater ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	226
Tab. 30:	Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Höhle ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	227
Tab. 31:	Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Çıplak ( <i>n</i> : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert, <i>s</i> : Standardabweichung). ....	228
Tab. 32:	Rotierte Komponentenmatrix der Hauptfaktorenanalyse (Methode: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax mit Kaiser Normalisierung, konvergierend nach 6 Iterationen). ....	229

Tab. 33:	Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope für alle vier Bohrungen [Signifikanzniveaus: $p \leq 0,05$ , $p \leq 0,01$ , $p \leq 0,001$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ organisches Material, $\delta^{18}\text{O}$ : $\delta^{18}\text{O}$ des Karbonats, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].	230
Tab. 34:	Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Dümrek [Signifikanzniveaus: $p \leq 0,05$ , $p \leq 0,01$ , $p \leq 0,001$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ organisches Material, $\delta^{18}\text{O}$ : $\delta^{18}\text{O}$ des Karbonats, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].	231
Tab. 35:	Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Theater [Signifikanzniveaus: $p \leq 0,05$ , $p \leq 0,01$ , $p \leq 0,001$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ organisches Material, $\delta^{18}\text{O}$ : $\delta^{18}\text{O}$ des Karbonats, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].	232
Tab. 36:	Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Höhle [Signifikanzniveaus: $p \leq 0,05$ , $p \leq 0,01$ , $p \leq 0,001$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ organisches Material, $\delta^{18}\text{O}$ : $\delta^{18}\text{O}$ des Karbonats, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].	233
Tab. 37:	Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Çıplak [Signifikanzniveaus: $p \leq 0,05$ , $p \leq 0,01$ , $p \leq 0,001$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ organisches Material, $\delta^{18}\text{O}$ : $\delta^{18}\text{O}$ des Karbonats, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : $\delta^{13}\text{C}$ Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].	234
Tab. 38:	Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen an Keramiken aus Troia von KNACKE-LOY (1994, keine Angaben zu Nachweisgrenzen möglich, Probe „W306/1 (?)“ möglicherweise falsche Probennummer, oder Doppelbestimmung durchgeführt, Fundlokalitäten und Keramiktypen sind aus der Originalarbeit zu entnehmen).	249
Tab. 39:	Ermittelte $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der untersuchten Kalkkonkretionen bezogen auf den VPDB- und VSMOW-Standard {Proben sind kalibriert auf $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des NBS-19-Standards [Anbieter: National Institute of Standards and Technology, USA, Gestein: "Toilet Seat Limestone" nach FRIEDMAN & O'NEIL (1982)], der relativ zum PDB-Standard einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von +1,95 ‰ und einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -2,20 ‰ aufweist, die externe Reproduzierbarkeit beträgt $\pm 0,17$ ‰, $s$ : einfache Standardabweichung}.	250
Tab. 40:	Gemessene $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Kalkkonkretionen in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater und die für diese Werte errechneten Bildungstemperaturen unter Verwendung der von der IAEA veröffentlichten isotopischen Zusammensetzung der meteorischen Wässer für die in der Tabelle angegebenen Orte ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$ gemessen: $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Kalkkonkretionen).	252
Tab. 41:	Gemessene $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Kalkkonkretionen in den Sedimenten der Bohrungen Höhle und Çıplak und die für diese Werte errechneten Bildungstemperaturen unter Verwendung der von der IAEA veröffentlichten isotopischen Zusammensetzung der meteorischen Wässer für die in der Tabelle angegebenen Orte ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$ gemessen: $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Kalkkonkretionen).	253
Tab. 42:	Ergebnisse der Ermittlung des Diskriminierungswertes $Z$ zur Unterscheidung von marinen und Frischwasserkarbonaten nach KEITH & WEBER (1964) mittels der stabilen Isotope $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ der untersuchten Kalkkonkretionen.	255
Tab. 43:	Ermittelte $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bezogen auf PDB-Standard des organischen Materials (Waren ausreichend große Reste organischen Materials vorhanden wurden diese aus dem Sediment entnommen und direkt analysiert, waren nur sehr kleine Reste vorhanden, wurde das Sediment beprobt. Die unterschiedlichen Genauigkeiten bei Einwaage resultieren daraus, daß für die Einwaage des reinen organischen Materials eine Präzisionswaage verwendet wurde.).	256
Tab. 44:	Mit Ungleichgewichten assoziierte Modellalter. Für die in vorliegender Arbeit analysierten Proben wurde im Falle festgestellter Ungleichgewichte in der $^{238}\text{U}$ -Reihe jeweils ein mögliches Maximal- und ein mögliches Minimalalter berechnet (Rn: Radon, Ra: Radium, U: Uran, Th: Thorium, nach KADEREIT 2000).	257
Tab. 45:	Wassergehalte $w$ und Feuchtefaktor $d$ der Proben der Bohrung Dümrek [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].	259



Tab. 46:	Wassergehalte $w$ und Feuchtefaktor $d$ der Proben der Bohrung Theater [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].	260
Tab. 47:	Wassergehalte $w$ und Feuchtefaktor $d$ der Proben der Bohrung Höhle [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].	261
Tab. 48:	Wassergehalte $w$ und Feuchtefaktor $d$ der Proben der Bohrung Çıplak [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].	262
Tab. 49:	Ergebnisse der aus der Alphazählung und Betazählung ermittelten $\alpha$ -Dosisleistung und $\beta$ -Dosisleistung.	263
Tab. 50:	Äquivalenturangelhalte und Kaliumgehalt ermittelt über Low-Level-Gammaspektrometrie. Die Errechnung der Äquivalenturangelhalte erfolgte aus den Tochternukliden unter der Annahme eines Gleichgewichtes.	264
Tab. 51:	Äquivalentthoriumgehalte ermittelt über die Low-Level-Gammaspektrometrie. Die Errechnung der Äquivalentthoriumgehalte erfolgte aus den Tochternukliden unter der Annahme eines Gleichgewichtes.	265
Tab. 52:	Ergebnisse der Versuche zum anomalen Ausheilen (anomalous fading, aufgelistet sind jeweils die gemittelten IRSL-Signale von mindestens fünf Messungen, alle IRSL-Signale sind Integrale über das Intervall von 0 s bis 40 s Ausleuchtzeit).	271

## 9.4 Anhangsverzeichnis

Anhang A:	Photos der Bohrlokalitäten.	165
Anhang B:	Sedimentologie.	167
Anhang C:	Geochemie	
	Anhang C I: Röntgenfluoreszenz	217
	Anhang C II: Isotopie	250
Anhang D:	Datierung	257



## Lebenslauf

### Curriculum Vitae

Geburtstag: 20. Februar 1974  
Geburtsort: Weißwasser/Oberlausitz  
Staatsangehörigkeit: Deutsch

### Ausbildung

1980 – 1990: Polytechnische Oberschule Hans-Beimler in Weißwasser  
1990 – 1992: Gymnasium Luckau  
10.1992 – 07.1998: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Studium der Geologie/Paläontologie, Studienrichtung Geologie/Paläontologie  
10.1994: Vordiplom  
07.1998: Diplom  
10.1998 – 09.2001: Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Graduiertenstudium im Rahmen des Graduiertenkollegs „Anatolien und seine Nachbarn – Kulturelle Wechselwirkungen und Zivilisationsentwicklung vom Neolithikum bis in die römische Kaiserzeit“  
1998 – 2003: Promotion an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Fakultät für Geowissenschaften, Institut für Geochemie bei Prof. M. Satir



## **Erklärung**

Hiermit versichere ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und nur unter Benutzung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Freiberg im Oktober 2003



## Anhänge





ENE

WSW



Abb. 55: Lage der Bohrung 144 – Dümrek in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).

SE

NW

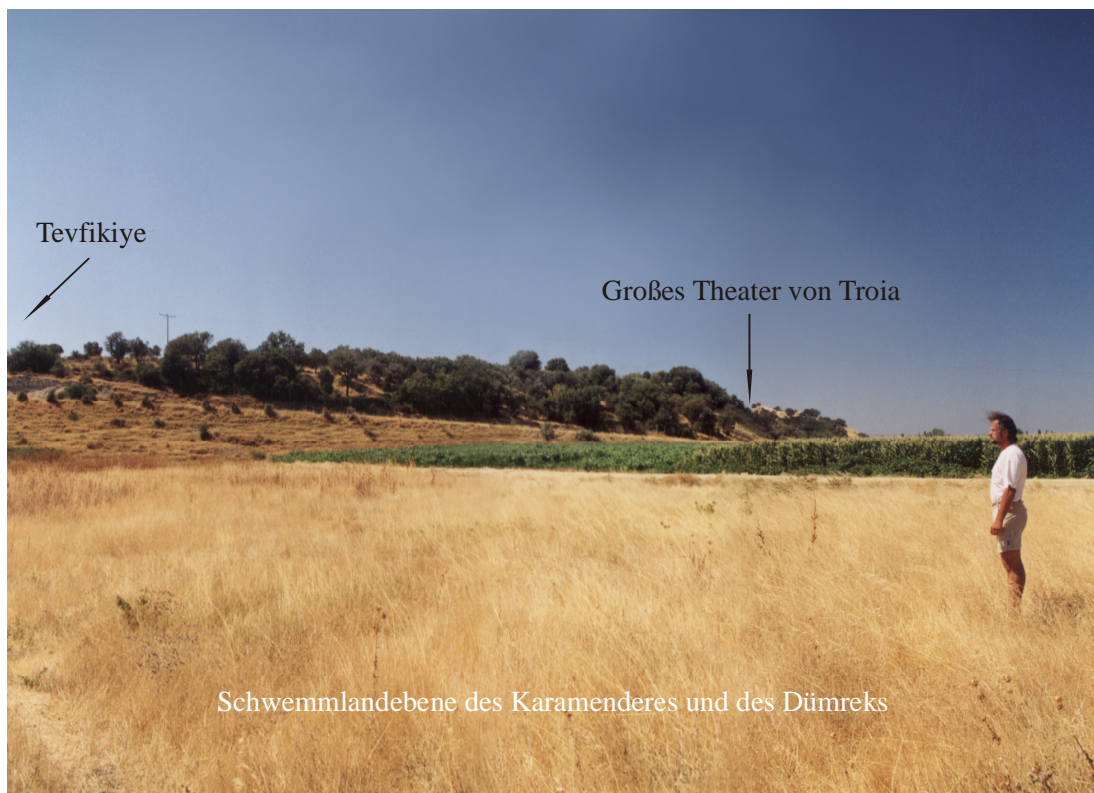


Abb. 56: Lage der Bohrung 157 – Theater in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).



NE

SW



Abb. 57: Lage der Bohrung 158 – Höhle in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).

NW

SE



Abb. 58: Lage der Bohrung 145 – Çıplak in Relation zum Troia-Rücken (Person markiert die Position der Bohrung).

Tab. 16: Leitfähigkeit, bestimmt an den sich in Suspension in destilliertem Wasser befindlichen Proben und die daraus berechneten wasserlöslichen Bestandteile der Proben (von den Proben HDS 937 und HDS 753 wurden keine Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt, Rundungen sind gerätebedingt).

Bohrung	Proben HDS	Leitfähigkeit		wasserlösliche Bestandteile [g]
		Wasser ohne Probe [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	Wasser mit Probe [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	
Dümrek	754	42,9	1125	0,12
	756	46,4	825	0,03
	755	41,6	596	0,06
	757	42,9	405	0,04
	758	42,9	489	0,05
	759	42,9	713	0,07
	760	45,2	1079	0,11
Theater	909	45,2	726	0,08
	910	44,6	1790	0,22
	911	45,2	1459	0,17
	912	41,8	1244	0,16
	913	44,6	1258	0,16
	914	44,6	1999	0,24
	915	43,3	1473	0,08
	916	42,5	1210	0,14
	917	43,3	1124	0,06
	918	42,5	1153	0,1
	919	42,5	981	0,08
	920	42,5	1389	0,17
	921	42,5	715	0,06
	922	41,8	1838	0,08
	923	41,8	3010	0,16
	924	43,5	2290	0,13
	938	45,2	2100	0,27
Höhle	925	45,2	378	0,04
	926	46,4	680	0,04
	937	-	-	-
	927	43,5	188	0,01
	928	46,4	550	0,00
	929	41,8	296	0,03
	930	46,4	680	0,04
	931	46,4	462	0,06
	932	46,4	588	0,08
	933	46,4	263	0,04
	935	41,8	165	0,01
	936	42,5	318	0,01
Çıplak	749	46,4	543	0,05
	750	45,2	652	0,07
	751	41,6	334	0,04
	752	41,6	596	0,06
	753	-	-	-

Tab. 17: Berechnete Korngrößenparameter und ihre Aussagen (nach TUCKER 1996, FÜCHTBAUER 1988).

Parameter	Symbol	Autor	Definition	Aussagen
Ungleichförmigkeit	U	DIN 18123	Kornverteilung	Korngrößenspektrum/Sortierung
Abstufungsgrad	C	DIN 18123	Körnungseigenschaft	je höher der Abstufungsgrad, desto schlechter ist die Sortierung
Medianwert	Md ( $d_{50}$ )		Korndurchmesser bei 50% der Summenkurve	50 % der Körner sind gröber, 50 % sind feiner als der Medianwert
graphische Schiefe	SK <sub>1</sub>		Maß für die Asymmetrie der Verteilungskurve	ist abhängig vom Grob- und Feinkornanteil (nimmt dadurch bedingt positive oder negative Werte an)
Kurtosis (Gipfeligkeit)	K <sub>G</sub>		Maß aus dem Verhältnis der Streuung der Extremwerte und des Korngrößenmaximums	je breiter die Verteilungskurve, desto schlechter ist die Sortierung
Sortierungskoeffizient	S <sub>O</sub>	TRASK 1932	Maß für die Gesamtbreite der Kornverteilung	je breiter die Korngrößen einer Probe gestreut sind (je höher die Standardabweichung), um so schlechter ist die Sortierung
Sortierung	$\sigma_1$	FOLK & WARD 1957	entspricht der Standardabweichung bei 1 $\sigma$	
Sortierung	$\sigma\phi$	INMAN 1952	entspricht der Standardabweichung bei 1,65 $\sigma$	

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr6/D2 (OSL 1)      Entnahmetiefe: **2.49 m - 2.65 m**  
 Labornummer: **HDS 754**      Bodenart: **U-fS, t**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **130,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **129,8 g**  
 Siebverlust: 0,7%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,0015
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,0037
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,007
2	<b>0,02</b>	0,02	99,98	d <sub>20</sub> :	0,011
1	<b>0,18</b>	0,14	99,85	d <sub>25</sub> :	0,015
0,5	<b>1,10</b>	0,85	98,99	d <sub>30</sub> :	0,019
0,25	<b>2,11</b>	1,63	97,36	d <sub>50</sub> :	0,040
0,125	<b>6,58</b>	5,10	92,26	d <sub>60</sub> :	0,051
0,063	<b>27,94</b>	21,67	70,58	d <sub>75</sub> :	0,076
0,02068	<b>48,95</b>	37,97	32,62	d <sub>84</sub> :	0,101
0,006	<b>23,49</b>	18,22	14,40	d <sub>95</sub> :	0,192
0,002	<b>9,95</b>	7,72	6,68	U:	<b>13,8</b>
0,000621	<b>6,17</b>	4,78	1,90	C:	<b>1,8</b>
0,000313	<b>2,44</b>	1,90	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,90</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,01</b>
Summe	128,9	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,28</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,32</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,20</b>

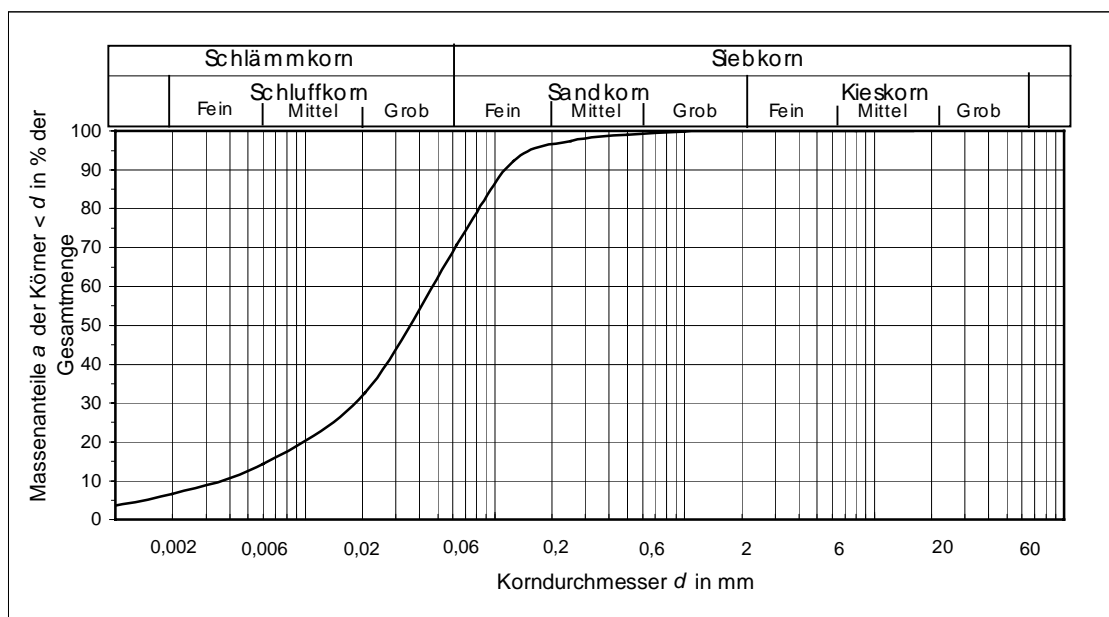


Abb. 59: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 754 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr8/D8 (OSL 2b)      Entnahmetiefe: **2.72 m - 2.80 m**  
 Labornummer: **HDS 756**      Bodenart: **S, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **20,8 g**  
 Einwaage Siebanteil: **20,7 g**  
 Siebverlust: 2,5%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,027
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,040
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,055
2	<b>0,49</b>	2,45	97,55	d <sub>20</sub> :	0,064
1	<b>1,49</b>	7,39	90,16	d <sub>25</sub> :	0,072
0,5	<b>2,38</b>	11,80	78,36	d <sub>30</sub> :	0,081
0,25	<b>2,42</b>	11,99	66,37	d <sub>50</sub> :	0,113
0,125	<b>1,83</b>	9,07	57,30	d <sub>60</sub> :	0,162
0,063	<b>7,70</b>	38,10	19,20	d <sub>75</sub> :	0,430
0,02068	<b>3,38</b>	16,73	2,47	d <sub>84</sub> :	0,739
0,006	<b>0,50</b>	2,47	0,00	d <sub>95</sub> :	1,655
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>4,1</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,88</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,84</b>
Summe	20,2	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,44</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,37</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,95</b>

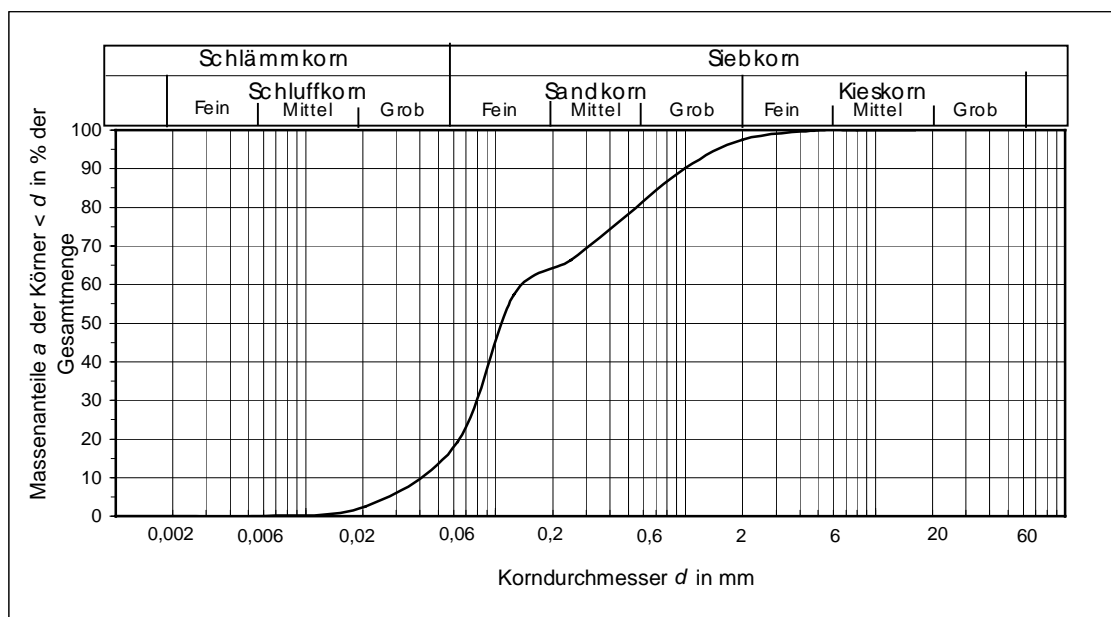


Abb. 60: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 756 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr7/D4 (OSL 2)      Entnahmetiefe: **2.82 m - 2.90 m**  
 Labornummer: **HDS 755**      Bodenart: **fS**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **78,3 g**  
 Einwaage Siebanteil: **78,3 g**  
 Siebverlust: -2,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,068
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,073
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,079
2	<b>0,03</b>	0,04	99,96	d <sub>20</sub> :	0,083
1	<b>0,36</b>	0,45	99,51	d <sub>25</sub> :	0,088
0,5	<b>0,59</b>	0,74	98,77	d <sub>30</sub> :	0,093
0,25	<b>0,88</b>	1,10	97,68	d <sub>50</sub> :	0,113
0,125	<b>28,69</b>	35,89	61,79	d <sub>60</sub> :	0,123
0,063	<b>49,32</b>	61,69	0,10	d <sub>75</sub> :	0,171
0,02068	<b>0,08</b>	0,10	0,00	d <sub>84</sub> :	0,202
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,241
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>1,7</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,68</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,62</b>
Summe	80,0	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,39</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,21</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,78</b>

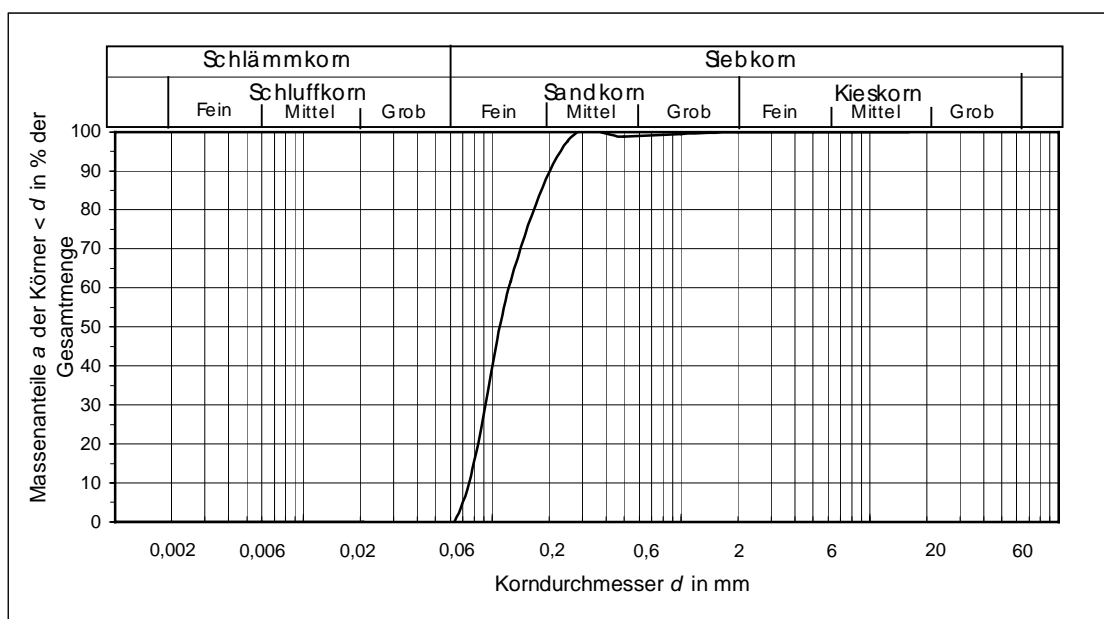


Abb. 61: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 755 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr9/D13 (OSL 3)      Entnahmetiefe: **4.03 m - 4.12 m**  
 Labornummer: **HDS 757**      Bodenart: **S**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **93,3 g**  
 Einwaage Siebanteil: **93,3 g**  
 Siebverlust: 0,9%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,088
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,118
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,137
2	<b>1,42</b>	1,54	98,46	d <sub>20</sub> :	0,148
1	<b>2,28</b>	2,46	96,00	d <sub>25</sub> :	0,161
0,5	<b>6,37</b>	6,90	89,10	d <sub>30</sub> :	0,174
0,25	<b>27,59</b>	29,85	59,25	d <sub>50</sub> :	0,226
0,125	<b>44,36</b>	48,00	11,25	d <sub>60</sub> :	0,256
0,063	<b>9,61</b>	10,40	0,86	d <sub>75</sub> :	0,382
0,02068	<b>0,30</b>	0,32	0,54	d <sub>84</sub> :	0,457
0,006	<b>0,41</b>	0,44	0,10	d <sub>95</sub> :	0,928
0,002	<b>0,09</b>	0,10	0,00	U:	<b>2,2</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,87</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,95</b>
Summe	92,4	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,54</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,19</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,12</b>

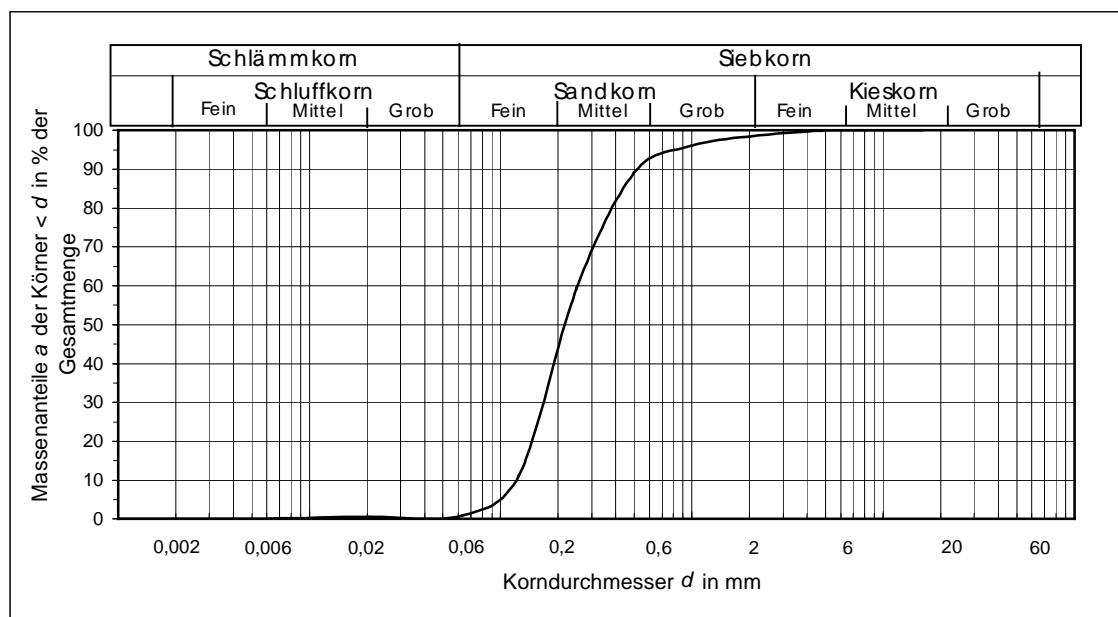


Abb. 62: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 757 aus der Bohrung Dümrek.



## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr8/D13 (OSL 4)      Entnahmetiefe: **4.43 m - 4.55 m**  
 Labornummer: **HDS 758**      Bodenart: **S, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **53,7 g**  
 Einwaage Siebanteil: **53,7 g**  
 Siebverlust: 0,9%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,013
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,022
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,032
2	<b>1,35</b>	2,54	97,46	d <sub>20</sub> :	0,039
1	<b>1,87</b>	3,51	93,95	d <sub>25</sub> :	0,047
0,5	<b>5,18</b>	9,73	84,22	d <sub>30</sub> :	0,056
0,25	<b>8,42</b>	15,83	68,39	d <sub>50</sub> :	0,135
0,125	<b>10,65</b>	20,01	48,38	d <sub>60</sub> :	0,198
0,063	<b>7,49</b>	14,07	34,31	d <sub>75</sub> :	0,354
0,02068	<b>13,21</b>	24,83	9,48	d <sub>84</sub> :	0,496
0,006	<b>4,40</b>	8,27	1,21	d <sub>95</sub> :	1,299
0,002	<b>0,64</b>	1,21	0,00	U:	<b>9,2</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,7</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,98</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,00</b>
Summe	<b>53,2</b>	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,74</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,04</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,94</b>

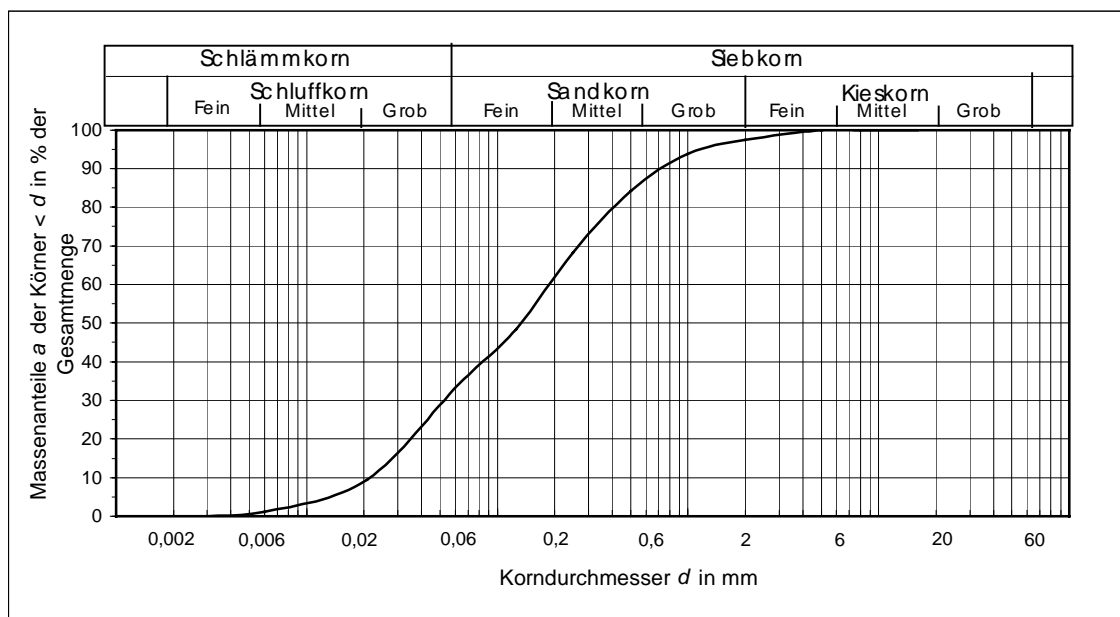


Abb. 63: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 758 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr10/d14 (OSL 5)      Entnahmetiefe: **7.40 m - 7.63 m**  
 Labornummer: **HDS 759**      Bodenart: **S, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **156,4 g**  
 Einwaage Siebanteil: **156,3 g**  
 Siebverlust: 2,5%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,017
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,064
5	<b>0,31</b>	0,20	99,80	d <sub>16</sub> :	0,090
2	<b>9,57</b>	6,28	93,52	d <sub>20</sub> :	0,108
1	<b>18,25</b>	11,97	81,55	d <sub>25</sub> :	0,133
0,5	<b>33,78</b>	22,15	59,40	d <sub>30</sub> :	0,175
0,25	<b>30,98</b>	20,32	39,08	d <sub>50</sub> :	0,384
0,125	<b>22,95</b>	15,05	24,03	d <sub>60</sub> :	0,514
0,063	<b>21,87</b>	14,34	9,69	d <sub>75</sub> :	0,852
0,02068	<b>4,30</b>	2,82	6,87	d <sub>84</sub> :	1,204
0,006	<b>10,48</b>	6,87	0,00	d <sub>95</sub> :	2,706
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>8,0</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,9</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,87</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,05</b>
Summe	152,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,53</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,18</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,12</b>

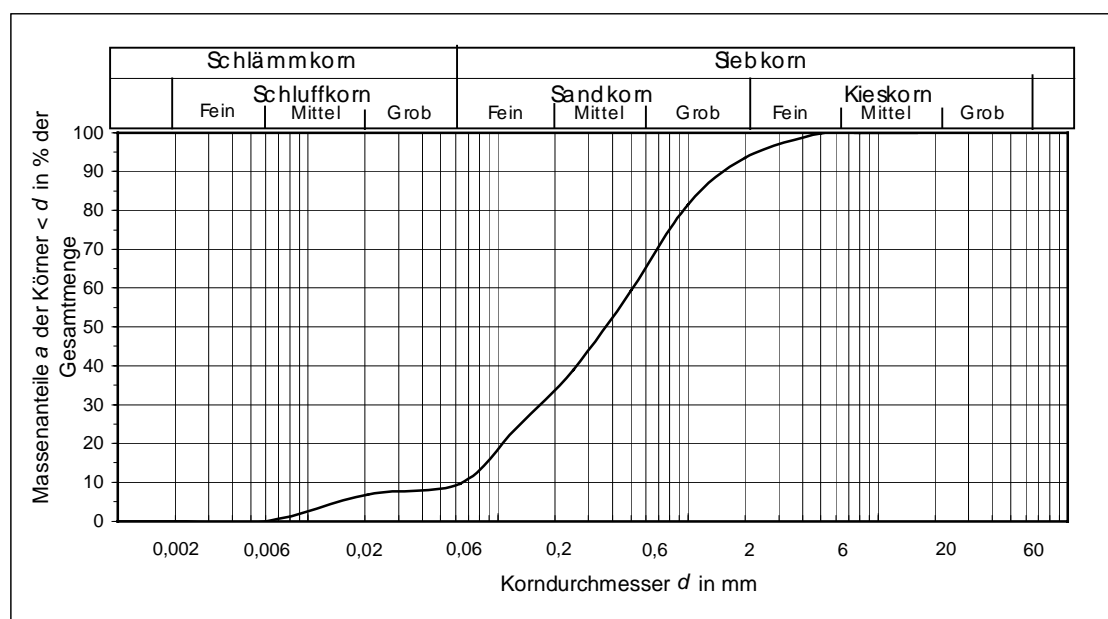


Abb. 64: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 759 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-144 Dümrek**  
 Probenbezeichnung: Pr11/D15 (OSL 6)      Entnahmetiefe: **7.78 m - 7.84 m**  
 Labornummer: **HDS 760**      Bodenart: **fS, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **112,2 g**  
 Einwaage Siebanteil: **112,1 g**  
 Siebverlust: 0,6%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,013
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,021
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,038
2	<b>0,08</b>	0,07	99,93	d <sub>20</sub> :	0,049
1	<b>0,55</b>	0,49	99,44	d <sub>25</sub> :	0,063
0,5	<b>3,29</b>	2,95	96,49	d <sub>30</sub> :	0,069
0,25	<b>7,91</b>	7,10	89,39	d <sub>50</sub> :	0,092
0,125	<b>11,89</b>	10,66	78,73	d <sub>60</sub> :	0,103
0,063	<b>59,79</b>	53,64	25,09	d <sub>75</sub> :	0,121
0,02068	<b>16,88</b>	15,14	9,95	d <sub>84</sub> :	0,187
0,006	<b>11,09</b>	9,95	0,00	d <sub>95</sub> :	0,447
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>5,0</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>2,2</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,16</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,35</b>
Summe	111,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,39</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,11</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>2,20</b>

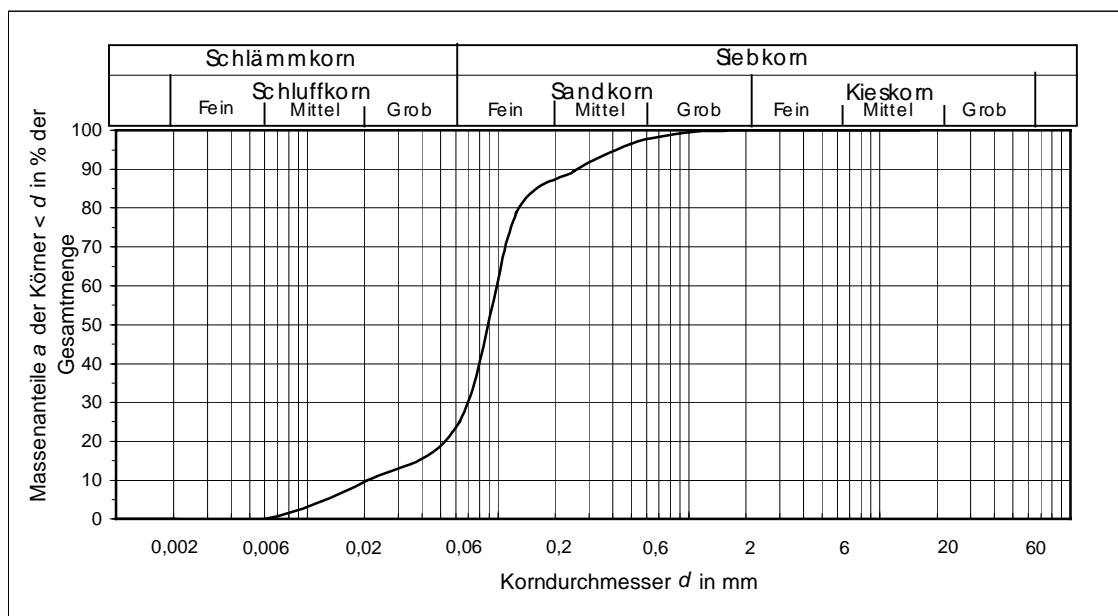


Abb. 65: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 760 aus der Bohrung Dümrek.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 1  
 Entnahmetiefe: **0.40 m - 0.45 m**  
 Labornummer: **HDS 909**  
 Bodenart: **U, fs**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **60,7 g**  
 Einwaage Siebanteil: **60,7 g**  
 Siebverlust: 1,5%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,012
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,017
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,023
2	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>20</sub> :	0,025
1	<b>0,02</b>	0,03	99,97	d <sub>25</sub> :	0,029
0,5	<b>0,05</b>	0,08	99,89	d <sub>30</sub> :	0,032
0,25	<b>0,12</b>	0,21	99,68	d <sub>50</sub> :	0,045
0,125	<b>0,44</b>	0,73	98,96	d <sub>60</sub> :	0,052
0,063	<b>13,36</b>	22,35	76,61	d <sub>75</sub> :	0,062
0,02068	<b>38,00</b>	63,58	13,03	d <sub>84</sub> :	0,084
0,006	<b>7,79</b>	13,03	0,00	d <sub>95</sub> :	0,114
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>3,0</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,1</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,94</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,97</b>
Summe	59,8	100,00		TRASK S <sub>O</sub> :	<b>1,47</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,13</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,21</b>

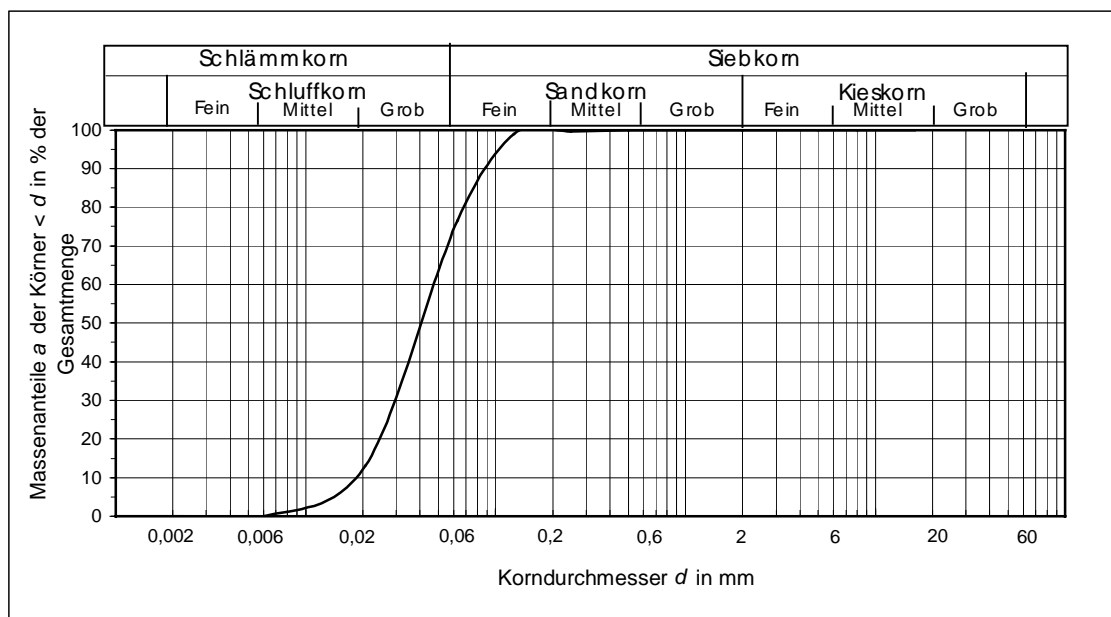


Abb. 66: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 909 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 2      Entnahmetiefe: **1.50 m - 1.57 m**  
 Labornummer: **HDS 910**      Bodenart: **fS, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **64,2 g**  
 Einwaage Siebanteil: **63,9 g**  
 Siebverlust: -0,1%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,036
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,050
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,065
2	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>20</sub> :	0,069
1	<b>0,03</b>	0,05	99,95	d <sub>25</sub> :	0,074
0,5	<b>0,10</b>	0,16	99,79	d <sub>30</sub> :	0,078
0,25	<b>0,17</b>	0,26	99,53	d <sub>50</sub> :	0,098
0,125	<b>13,98</b>	21,86	77,67	d <sub>60</sub> :	0,108
0,063	<b>40,57</b>	63,45	14,22	d <sub>75</sub> :	0,122
0,02068	<b>9,09</b>	14,22	0,00	d <sub>84</sub> :	0,161
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,224
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,1</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,1</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,66</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,73</b>
Summe	63,9	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,29</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,00</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,48</b>

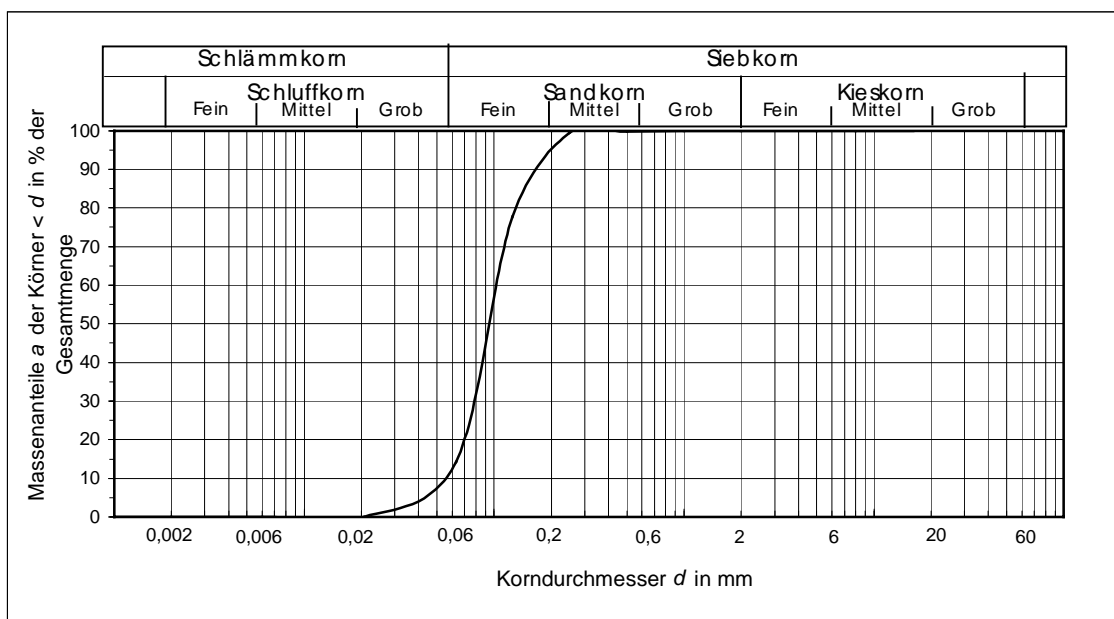


Abb. 67: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 910 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 3  
 Labornummer: **HDS 911**  
 Entnahmetiefe: **2.54 m - 2.60 m**  
 Bodenart: **U-fS**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **89,6 g**  
 Einwaage Siebanteil: **89,4 g**  
 Siebverlust: 1,1%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,022
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,026
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,032
2	<b>1,20</b>	1,36	98,64	d <sub>20</sub> :	0,035
1	<b>1,02</b>	1,15	97,49	d <sub>25</sub> :	0,040
0,5	<b>0,94</b>	1,06	96,43	d <sub>30</sub> :	0,044
0,25	<b>1,17</b>	1,32	95,11	d <sub>50</sub> :	0,062
0,125	<b>2,45</b>	2,77	92,34	d <sub>60</sub> :	0,077
0,063	<b>36,88</b>	41,73	50,61	d <sub>75</sub> :	0,099
0,02068	<b>41,26</b>	46,68	3,92	d <sub>84</sub> :	0,113
0,006	<b>1,07</b>	1,21	2,71	d <sub>95</sub> :	0,245
0,002	<b>1,77</b>	2,00	0,71	U:	<b>2,9</b>
0,000621	<b>0,62</b>	0,71	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,92</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,99</b>
Summe	88,4	100,00		TRASK S <sub>O</sub> :	<b>1,58</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,03</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,09</b>

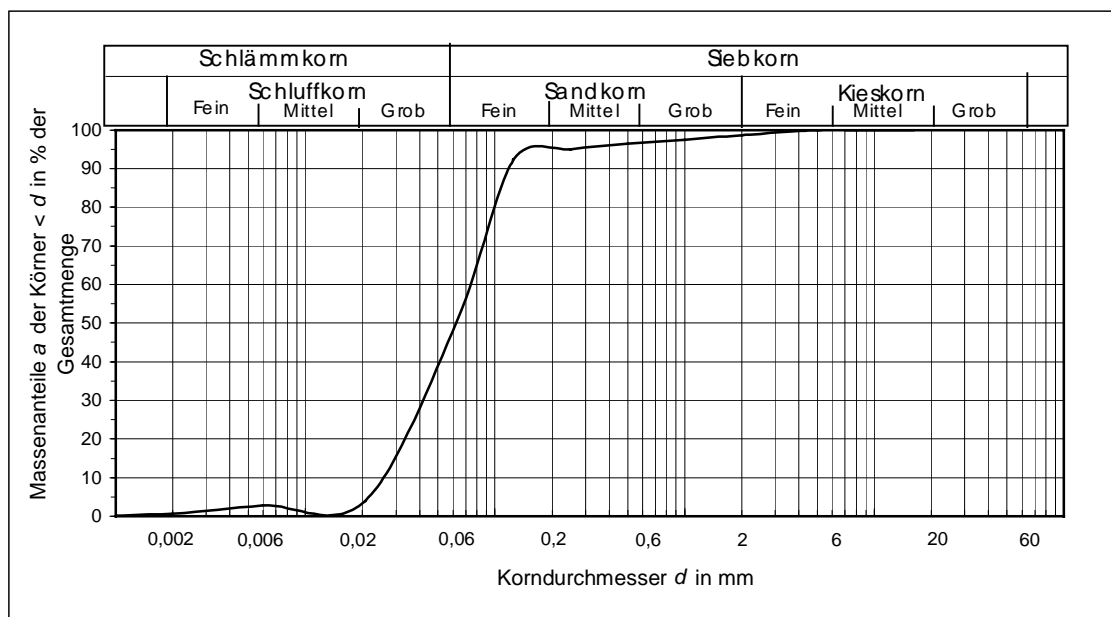


Abb. 68: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 911 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 4  
 Labornummer: **HDS 912**  
 Entnahmetiefe: **3.06 m - 3.10 m**  
 Bodenart: **fS-mS**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **43,1 g**  
 Einwaage Siebanteil: **42,9 g**  
 Siebverlust: -0,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,066
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,078
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,093
2	<b>0,27</b>	0,63	99,37	d <sub>20</sub> :	0,103
1	<b>0,31</b>	0,72	98,65	d <sub>25</sub> :	0,115
0,5	<b>0,29</b>	0,67	97,98	d <sub>30</sub> :	0,127
0,25	<b>5,53</b>	12,87	85,11	d <sub>50</sub> :	0,172
0,125	<b>24,12</b>	56,11	29,00	d <sub>60</sub> :	0,194
0,063	<b>10,84</b>	25,22	3,78	d <sub>75</sub> :	0,227
0,02068	<b>1,63</b>	3,78	0,00	d <sub>84</sub> :	0,248
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,442
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,5</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,1</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,71</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,77</b>
Summe	43,0	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,41</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,13</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,15</b>

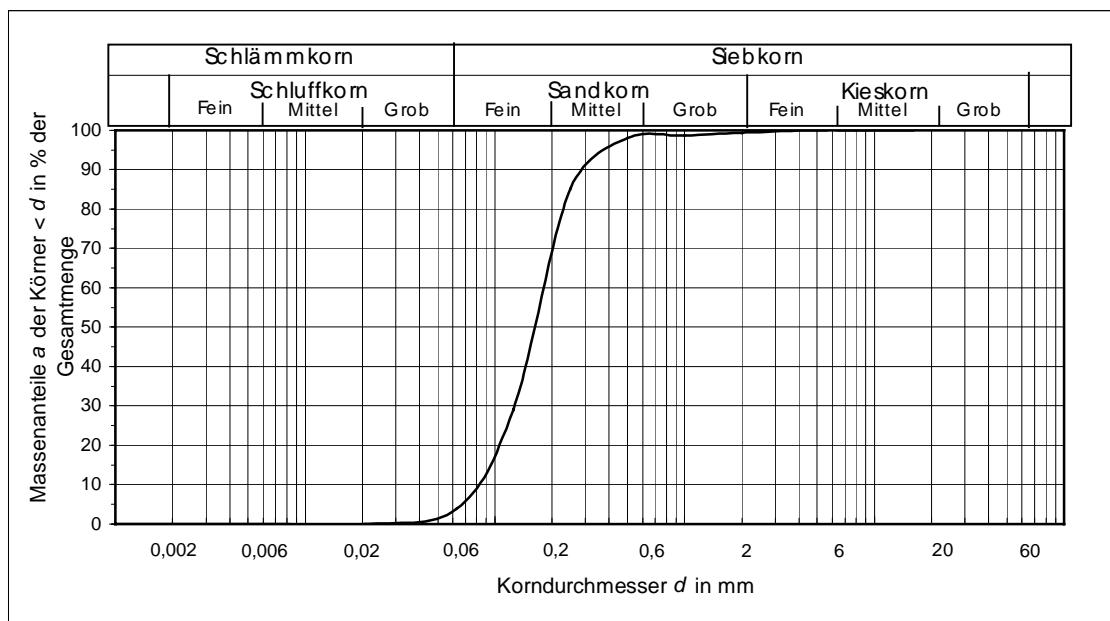


Abb. 69: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 912 aus der Bohrung Theater.

Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**

Probenbezeichnung: 10 OSL 5

Labornummer: **HDS 913**

Gesamtmasse Trockene Probe: **48,8 g**

Einwaage Siebanteil: **48,7 g**

Siebverlust: 0,7%

Entnahmetiefe: **3.67 m - 3.71 m**

Bodenart: **U, fs**

Maschenweite	Rückstand	Rückstand	Summe		
mm	g	%	%		
100	0,00	0,00	100,00		
16	0,00	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,025
8	0,00	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,029
5	0,24	0,49	99,51	d <sub>16</sub> :	0,033
2	0,76	1,58	97,93	d <sub>20</sub> :	0,036
1	0,24	0,50	97,43	d <sub>25</sub> :	0,040
0,5	0,11	0,22	97,21	d <sub>30</sub> :	0,044
0,25	0,06	0,13	97,08	d <sub>50</sub> :	0,060
0,125	0,10	0,20	96,88	d <sub>60</sub> :	0,072
0,063	20,87	43,17	53,71	d <sub>75</sub> :	0,094
0,02068	25,97	53,71	0,00	d <sub>84</sub> :	0,106
0,006	0,00	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,122
0,002	0,00	0,00	0,00	U:	2,5
0,000621	0,00	0,00	0,00	C:	1,0
0,000313	0,00	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	0,84
< 0,000313	0,00	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	0,77
Summe	48,4	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	1,52
				SK <sub>1</sub> :	-0,06
				K <sub>G</sub> :	0,78

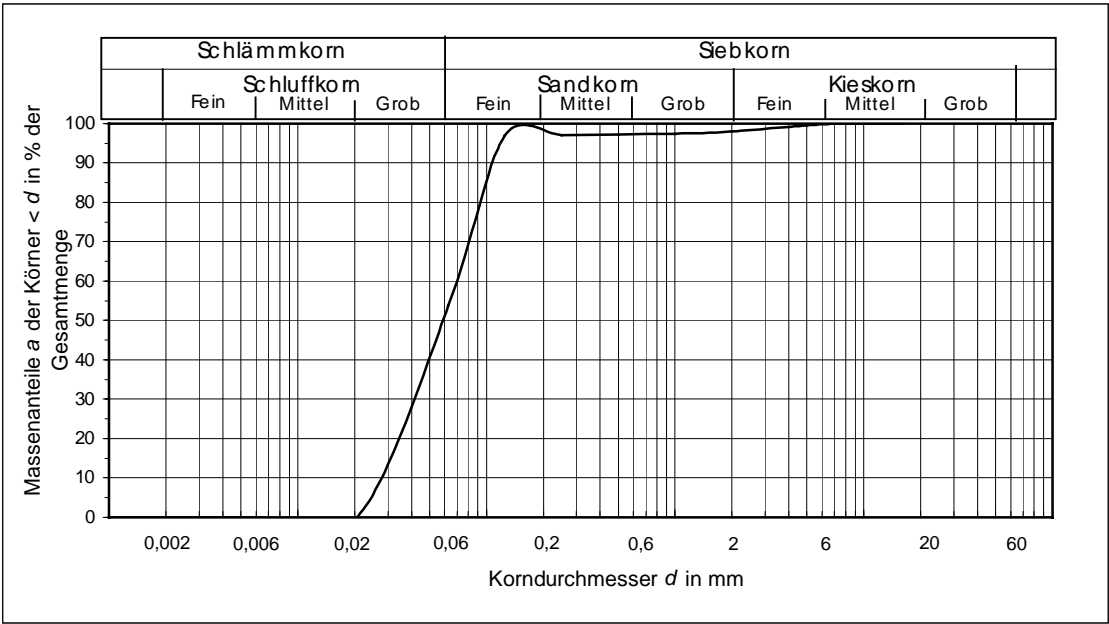


Abb. 70: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 913 aus der Bohrung Theater.



## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**

Probenbezeichnung: OSL 6

Entnahmetiefe: **4.55 m - 4.60 m**Labornummer: **HDS 914**Bodenart: **fS, u**Gesamtmasse Trockene Probe: **70,7 g**Einwaage Siebanteil: **70,5 g**

Siebverlust: -0,1%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,024
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,029
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,035
2	<b>0,14</b>	0,20	99,80	d <sub>20</sub> :	0,040
1	<b>0,04</b>	0,06	99,74	d <sub>25</sub> :	0,045
0,5	<b>0,07</b>	0,09	99,65	d <sub>30</sub> :	0,050
0,25	<b>0,18</b>	0,26	99,38	d <sub>50</sub> :	0,074
0,125	<b>9,02</b>	12,79	86,60	d <sub>60</sub> :	0,088
0,063	<b>31,55</b>	44,74	41,86	d <sub>75</sub> :	0,109
0,02068	<b>27,97</b>	39,66	2,20	d <sub>84</sub> :	0,121
0,006	<b>0,59</b>	0,83	1,36	d <sub>95</sub> :	0,207
0,002	<b>0,96</b>	1,36	0,00	U:	<b>3,0</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,89</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,92</b>
Summe	70,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,56</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,13</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,01</b>

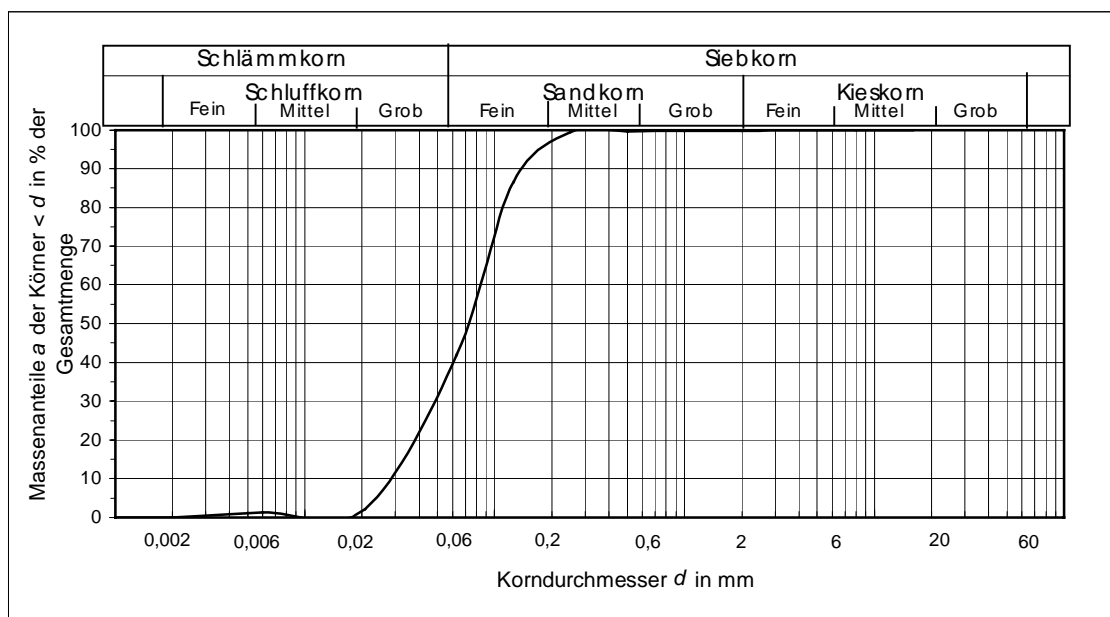


Abb. 71: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 914 aus der Bohrung Theater.

Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**

Probenbezeichnung: 10 OSL 7

Labornummer: **HDS 915**

Gesamtmasse Trockene Probe: **53,8 g**

Einwaage Siebanteil: **53,8 g**

Siebverlust: 1,2%

Entnahmetiefe: **5.48 m - 5.52 m**

Bodenart: **U, fs**

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	0,00	0,00	100,00		
16	0,00	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,007
8	0,00	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,008
5	0,00	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,009
2	0,06	0,10	99,90	d <sub>20</sub> :	0,009
1	0,15	0,27	99,62	d <sub>25</sub> :	0,010
0,5	0,18	0,34	99,28	d <sub>30</sub> :	0,011
0,25	0,22	0,42	98,87	d <sub>50</sub> :	0,014
0,125	0,36	0,67	98,20	d <sub>60</sub> :	0,016
0,063	1,25	2,34	95,85	d <sub>75</sub> :	0,018
0,02068	2,23	4,19	91,67	d <sub>84</sub> :	0,019
0,006	48,72	91,67	0,00	d <sub>95</sub> :	0,054
0,002	0,00	0,00	0,00	U:	2,1
0,000621	0,00	0,00	0,00	C:	1,0
0,000313	0,00	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	0,59
< 0,000313	0,00	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	0,75
Summe	53,1	100,00		TRASK S <sub>O</sub> :	1,34
				SK <sub>1</sub>	0,05
				K <sub>G</sub> :	1,45

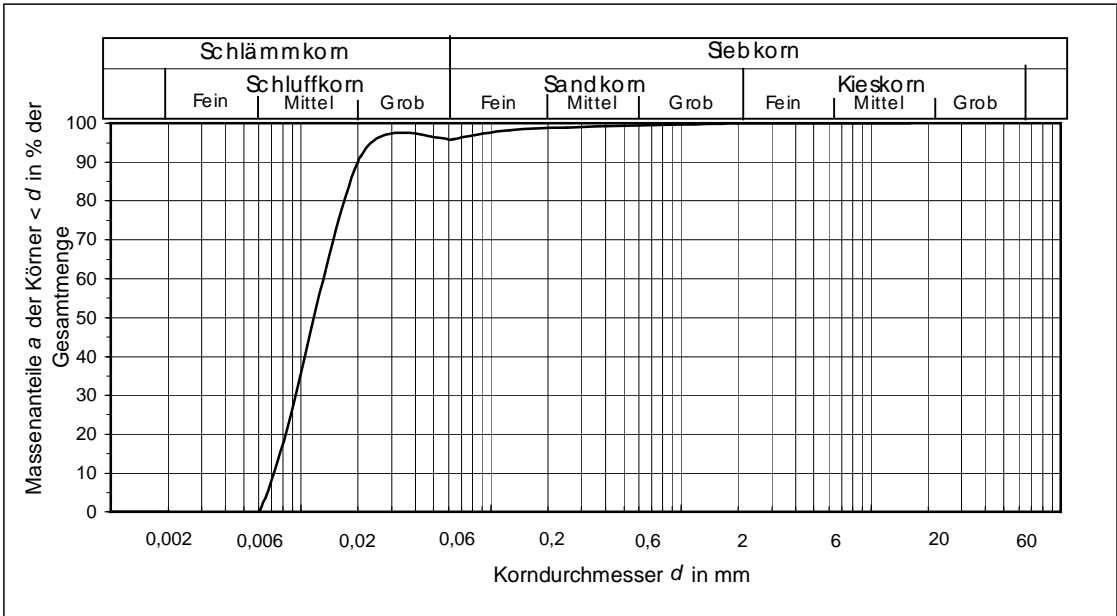


Abb. 72: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 915 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 8 Entnahmetiefe: **6.02 m - 6.08 m**  
 Labornummer: **HDS 916** Bodenart: **U, s**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **94,3 g**  
 Einwaage Siebanteil: **94,1 g**  
 Siebverlust: 1,4%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,023
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,027
5	<b>0,34</b>	0,36	99,64	d <sub>16</sub> :	0,032
2	<b>1,04</b>	1,12	98,52	d <sub>20</sub> :	0,035
1	<b>1,36</b>	1,47	97,05	d <sub>25</sub> :	0,039
0,5	<b>1,27</b>	1,37	95,69	d <sub>30</sub> :	0,043
0,25	<b>1,07</b>	1,16	94,53	d <sub>50</sub> :	0,059
0,125	<b>6,57</b>	7,08	87,45	d <sub>60</sub> :	0,072
0,063	<b>29,97</b>	32,29	55,16	d <sub>75</sub> :	0,101
0,02068	<b>49,07</b>	52,88	2,28	d <sub>84</sub> :	0,118
0,006	<b>2,11</b>	2,28	0,00	d <sub>95</sub> :	0,352
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,7</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,9</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,95</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,07</b>
Summe	92,8	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,61</b>
				SK <sub>1</sub>	<b>0,18</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,17</b>

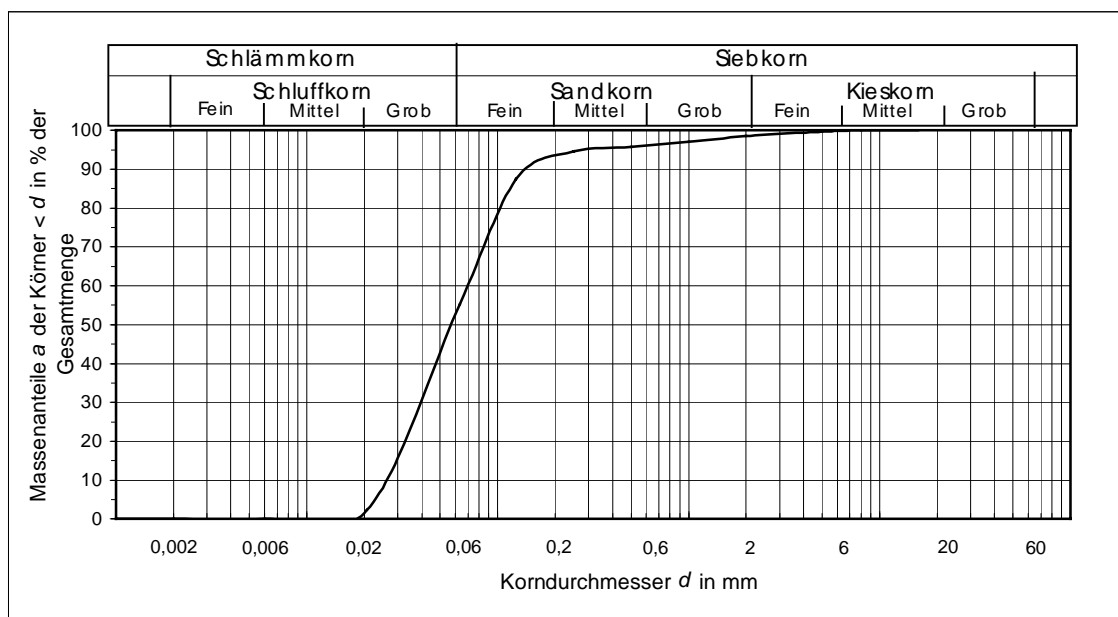


Abb. 73: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 916 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 9  
 Labornummer: **HDS 917**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **54,2 g**  
 Einwaage Siebanteil: **54,1 g**  
 Siebverlust: 1,2%

Entnahmetiefe: **6.10 m - 6.14 m**  
 Bodenart: **U, fs**

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,024
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,027
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,031
2	<b>1,31</b>	2,45	97,55	d <sub>20</sub> :	0,034
1	<b>0,80</b>	1,50	96,05	d <sub>25</sub> :	0,037
0,5	<b>0,74</b>	1,38	94,67	d <sub>30</sub> :	0,041
0,25	<b>0,62</b>	1,15	93,52	d <sub>50</sub> :	0,054
0,125	<b>3,72</b>	6,96	86,55	d <sub>60</sub> :	0,060
0,063	<b>12,09</b>	22,61	63,94	d <sub>75</sub> :	0,093
0,02068	<b>34,19</b>	63,93	0,01	d <sub>84</sub> :	0,118
0,006	<b>0,01</b>	0,01	0,00	d <sub>95</sub> :	0,620
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>U:</b>	<b>2,2</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>C:</b>	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>INMAN <math>\sigma\phi</math>:</b>	<b>0,96</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>FOLK &amp; WARD <math>\sigma_1</math>:</b>	<b>1,19</b>
Summe	53,5	100,00		<b>TRASK S<sub>0</sub>:</b>	<b>1,58</b>
				<b>SK<sub>1</sub></b>	<b>0,34</b>
				<b>K<sub>G</sub>:</b>	<b>1,45</b>

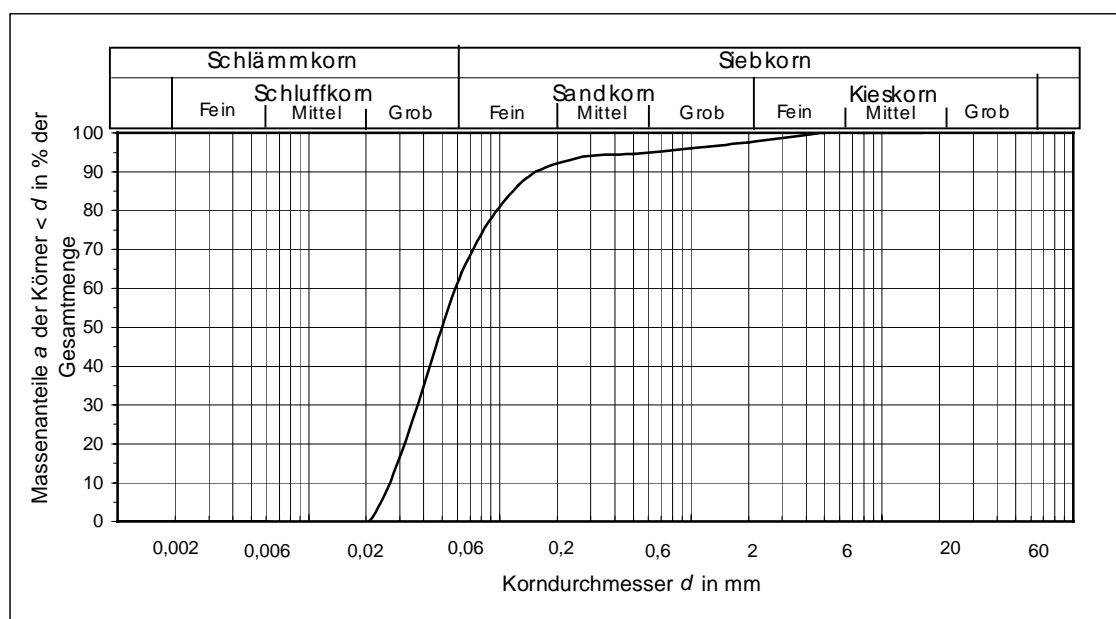


Abb. 74: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 917 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**

Probenbezeichnung: 10 OSL 10

Entnahmetiefe: **6.45 m - 6.50 m**Labornummer: **HDS 918**Bodenart: **fS, u**Gesamtmasse Trockene Probe: **63,1 g**Einwaage Siebanteil: **63,0 g**

Siebverlust: 0,3%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,010
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,023
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,032
2	<b>0,79</b>	1,26	98,74	d <sub>20</sub> :	0,037
1	<b>0,53</b>	0,84	97,90	d <sub>25</sub> :	0,044
0,5	<b>0,70</b>	1,11	96,78	d <sub>30</sub> :	0,051
0,25	<b>0,72</b>	1,14	95,64	d <sub>50</sub> :	0,078
0,125	<b>6,64</b>	10,57	85,07	d <sub>60</sub> :	0,092
0,063	<b>29,19</b>	46,44	38,63	d <sub>75</sub> :	0,112
0,02068	<b>19,21</b>	30,57	8,06	d <sub>84</sub> :	0,124
0,006	<b>2,72</b>	4,33	3,73	d <sub>95</sub> :	0,242
0,002	<b>2,21</b>	3,51	0,21	U:	<b>3,9</b>
0,000621	<b>0,13</b>	0,21	0,00	C:	<b>1,2</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,98</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,18</b>
Summe	62,9	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,59</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,31</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,40</b>

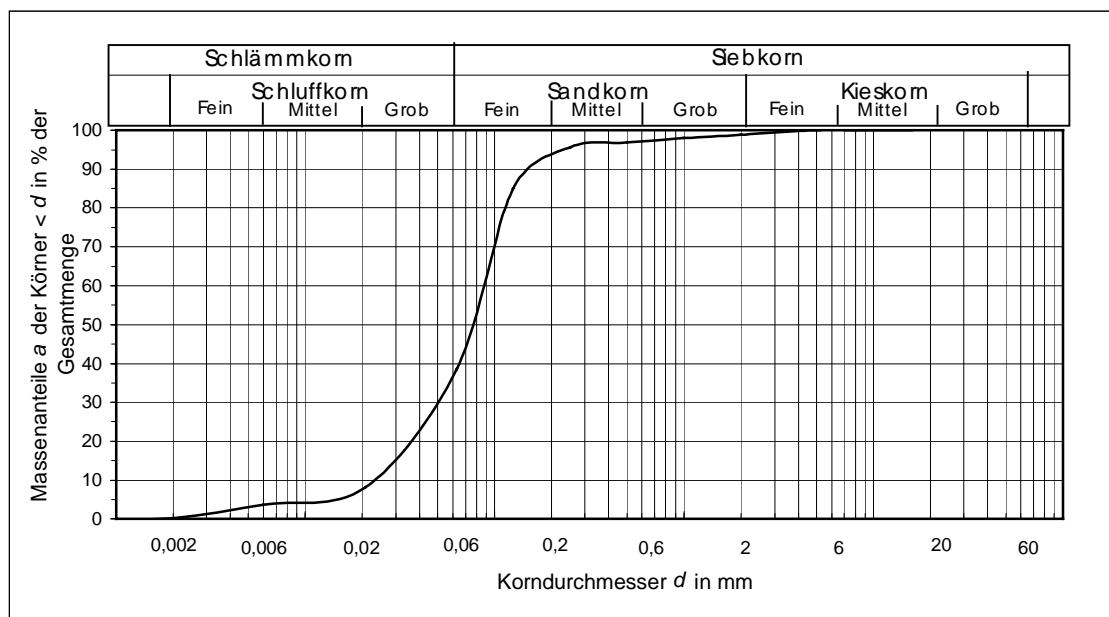


Abb. 75: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 918 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 11  
 Labornummer: **HDS 919**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **60,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **59,9 g**

Entnahmetiefe: **6.85 m - 6.90 m**  
 Bodenart: **U, s**

Siebverlust: 1,0%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,024
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,027
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,030
2	<b>1,28</b>	2,16	97,84	d <sub>20</sub> :	0,032
1	<b>1,31</b>	2,20	95,64	d <sub>25</sub> :	0,035
0,5	<b>1,86</b>	3,13	92,51	d <sub>30</sub> :	0,038
0,25	<b>2,82</b>	4,75	87,75	d <sub>50</sub> :	0,050
0,125	<b>3,83</b>	6,46	81,30	d <sub>60</sub> :	0,056
0,063	<b>5,32</b>	8,97	72,33	d <sub>75</sub> :	0,081
0,02068	<b>42,88</b>	72,33	0,00	d <sub>84</sub> :	0,177
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,898
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,1</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,28</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,44</b>
Summe	59,3	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,52</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,51</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,78</b>

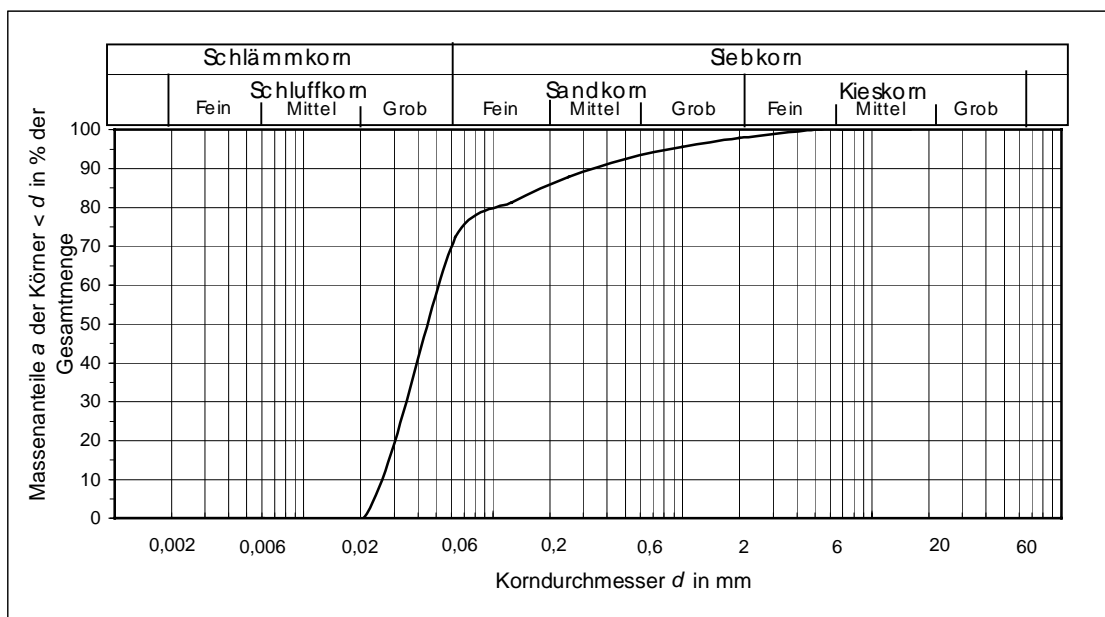


Abb. 76: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 919 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 12      Entnahmetiefe: **7.75 m - 7.80 m**  
 Labornummer: **HDS 920**      Bodenart: **gU**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **68,3 g**  
 Einwaage Siebanteil: **68,2 g**  
 Siebverlust: 1,9%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,013
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,019
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,023
2	<b>0,19</b>	0,29	99,71	d <sub>20</sub> :	0,025
1	<b>0,16</b>	0,24	99,47	d <sub>25</sub> :	0,028
0,5	<b>0,18</b>	0,27	99,20	d <sub>30</sub> :	0,030
0,25	<b>0,19</b>	0,29	98,91	d <sub>50</sub> :	0,040
0,125	<b>0,24</b>	0,37	98,54	d <sub>60</sub> :	0,045
0,063	<b>0,47</b>	0,70	97,84	d <sub>75</sub> :	0,052
0,02068	<b>58,08</b>	86,87	10,98	d <sub>84</sub> :	0,056
0,006	<b>7,34</b>	10,98	0,00	d <sub>95</sub> :	0,062
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,3</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,64</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,67</b>
Summe	66,9	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,37</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,33</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,02</b>

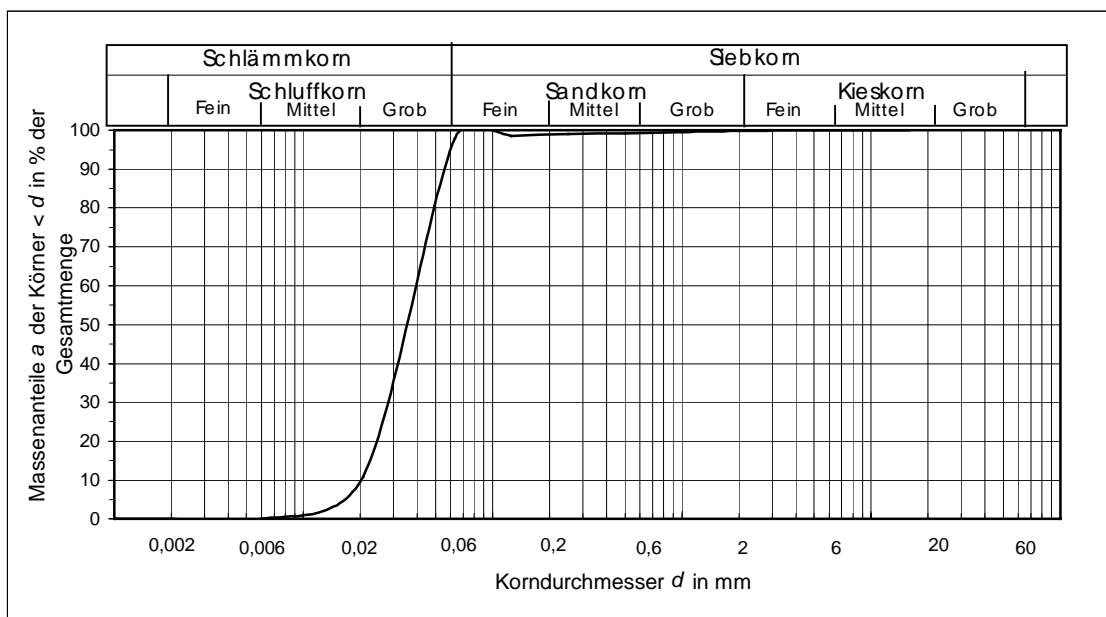


Abb. 77: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 920 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 13  
 Labornummer: **HDS 921**  
 Entnahmetiefe: **8.58 m - 8.63 m**  
 Bodenart: **fS-mS, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **50,7 g**  
 Einwaage Siebanteil: **50,6 g**  
 Siebverlust: 3,6%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,030
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,041
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,054
2	<b>0,17</b>	0,34	99,66	d <sub>20</sub> :	0,063
1	<b>0,51</b>	1,04	98,62	d <sub>25</sub> :	0,070
0,5	<b>0,51</b>	1,05	97,58	d <sub>30</sub> :	0,077
0,25	<b>2,51</b>	5,14	92,43	d <sub>50</sub> :	0,105
0,125	<b>13,95</b>	28,59	63,84	d <sub>60</sub> :	0,120
0,063	<b>21,28</b>	43,62	20,22	d <sub>75</sub> :	0,174
0,02068	<b>9,50</b>	19,48	0,75	d <sub>84</sub> :	0,213
0,006	<b>0,37</b>	0,75	0,00	d <sub>95</sub> :	0,375
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,9</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,2</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,99</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,05</b>
Summe	48,8	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,58</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,01</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,14</b>

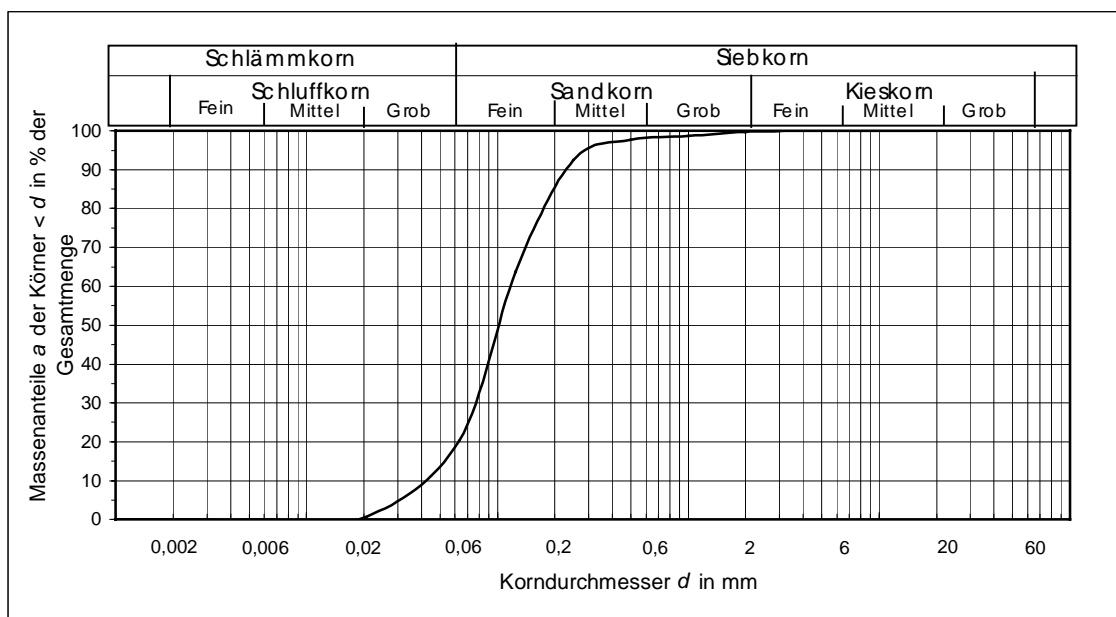


Abb. 78: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 921 aus der Bohrung Theater.



## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**

Probenbezeichnung: 10 OSL 14

Entnahmetiefe: **9.01 m - 9.04 m**Labornummer: **HDS 922**Bodenart: **U-S**Gesamtmasse Trockene Probe: **48,2 g**Einwaage Siebanteil: **48,1 g**

Siebverlust: 1,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,019
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,024
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,030
2	<b>2,52</b>	5,31	94,69	d <sub>20</sub> :	0,033
1	<b>5,94</b>	12,51	82,18	d <sub>25</sub> :	0,037
0,5	<b>2,85</b>	6,01	76,17	d <sub>30</sub> :	0,042
0,25	<b>1,17</b>	2,47	73,71	d <sub>50</sub> :	0,059
0,125	<b>1,36</b>	2,86	70,84	d <sub>60</sub> :	0,082
0,063	<b>7,43</b>	15,66	55,19	d <sub>75</sub> :	0,381
0,02068	<b>23,58</b>	49,65	5,53	d <sub>84</sub> :	1,146
0,006	<b>2,63</b>	5,53	0,00	d <sub>95</sub> :	2,177
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>3,4</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,9</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>2,64</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,35</b>
Summe	47,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>3,20</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,58</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,83</b>

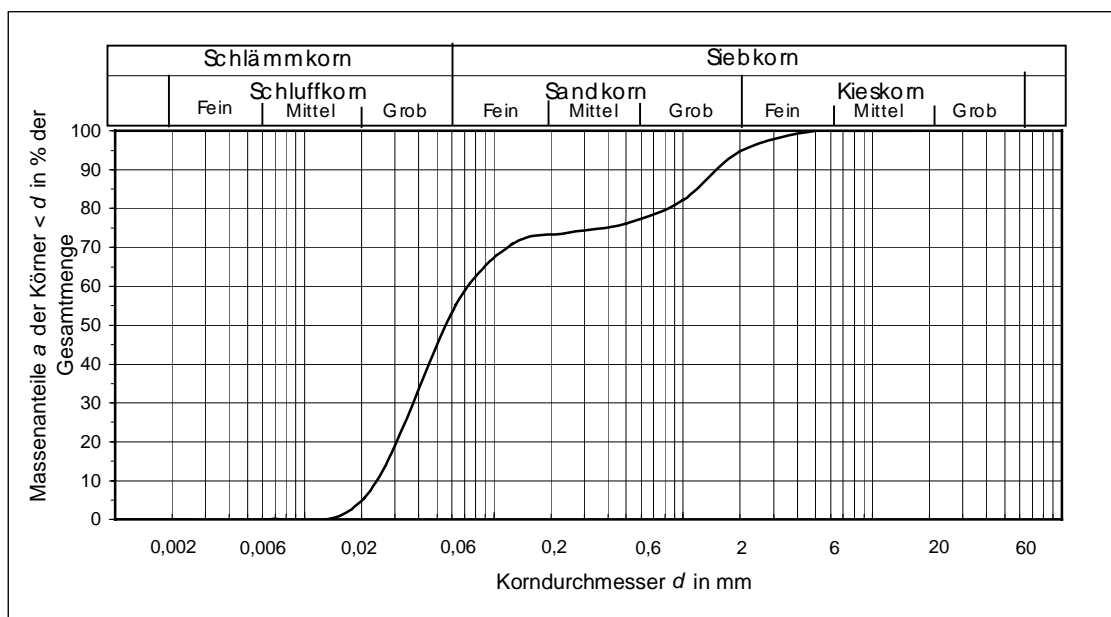


Abb. 79: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 922 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 15      Entnahmetiefe: **9.38 m - 9.42 m**  
 Labornummer: **HDS 923**      Bodenart: **S, g u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **66,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **65,9 g**  
 Siebverlust: 2,5%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,004
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,005
5	<b>3,98</b>	6,20	93,80	d <sub>16</sub> :	0,096
2	<b>6,37</b>	9,91	83,89	d <sub>20</sub> :	0,139
1	<b>7,75</b>	12,06	71,84	d <sub>25</sub> :	0,198
0,5	<b>12,11</b>	18,85	52,99	d <sub>30</sub> :	0,257
0,25	<b>15,19</b>	23,63	29,35	d <sub>50</sub> :	0,468
0,125	<b>6,76</b>	10,51	18,84	d <sub>60</sub> :	0,686
0,063	<b>3,92</b>	6,10	12,74	d <sub>75</sub> :	1,263
0,02068	<b>0,00</b>	0,00	12,74	d <sub>84</sub> :	2,033
0,006	<b>0,00</b>	0,00	12,74	d <sub>95</sub> :	5,579
0,002	<b>8,19</b>	12,74	0,00	<b>U:</b>	<b>133,5</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>C:</b>	<b>18,7</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>INMAN <math>\sigma\phi</math>:</b>	<b>2,20</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>FOLK &amp; WARD <math>\sigma_1</math>:</b>	<b>2,71</b>
Summe	64,3	100,00		<b>TRASK S<sub>0</sub>:</b>	<b>2,52</b>
				<b>SK<sub>1</sub>:</b>	<b>-0,18</b>
				<b>K<sub>G</sub>:</b>	<b>1,63</b>

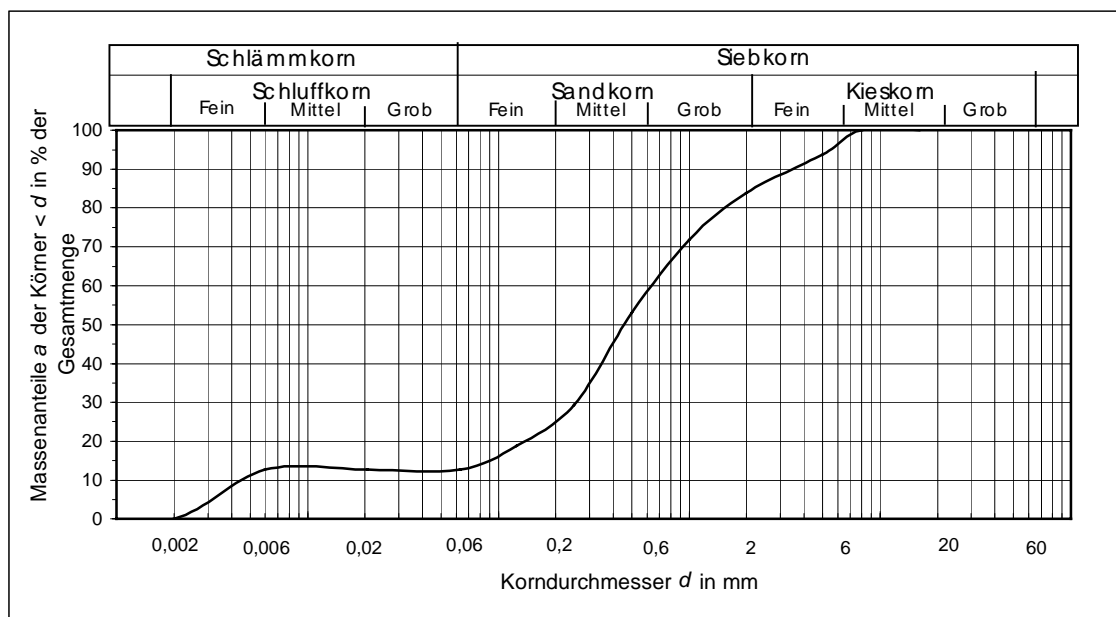


Abb. 80: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 923 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 16  
 Labornummer: **HDS 924**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **46,2 g**  
 Einwaage Siebanteil: **46,1 g**  
 Entnahmetiefe: **10.15 m - 10.20 m**  
 Bodenart: **U, fs ms**  
 Siebverlust: 2,1%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,014
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,021
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,024
2	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>20</sub> :	0,027
1	<b>0,19</b>	0,42	99,58	d <sub>25</sub> :	0,029
0,5	<b>0,50</b>	1,11	98,47	d <sub>30</sub> :	0,032
0,25	<b>0,54</b>	1,19	97,28	d <sub>50</sub> :	0,043
0,125	<b>0,80</b>	1,78	95,51	d <sub>60</sub> :	0,049
0,063	<b>4,66</b>	10,33	85,18	d <sub>75</sub> :	0,057
0,02068	<b>34,28</b>	75,94	9,24	d <sub>84</sub> :	0,062
0,006	<b>4,17</b>	9,24	0,00	d <sub>95</sub> :	0,122
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,3</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>0,68</b>
< 0,00313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>0,81</b>
Summe	45,1	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,39</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,14</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,34</b>

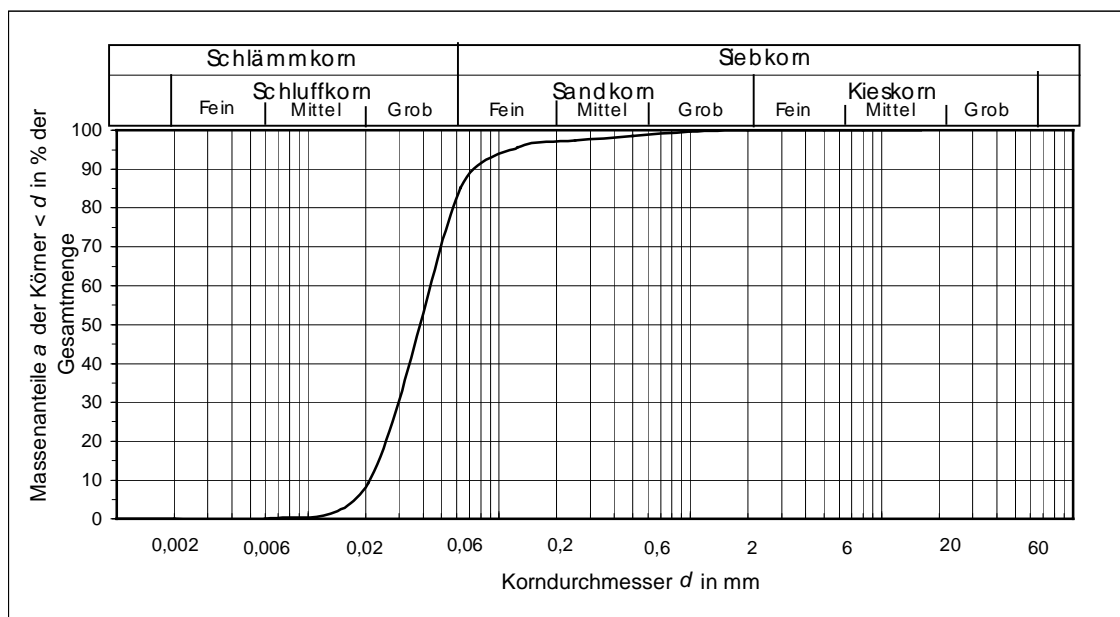


Abb. 81: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 924 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 17  
 Labornummer: **HDS 938**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **41,7 g**  
 Einwaage Siebanteil: **41,4 g**

Entnahmetiefe: **11.00 m - 11.06 m**  
 Bodenart: **U, s**

Siebverlust: 0,0%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,023
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,025
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,028
2	<b>0,07</b>	0,17	99,83	d <sub>20</sub> :	0,030
1	<b>0,06</b>	0,15	99,68	d <sub>25</sub> :	0,032
0,5	<b>0,08</b>	0,19	99,49	d <sub>30</sub> :	0,034
0,25	<b>0,00</b>	0,00	99,49	d <sub>50</sub> :	0,043
0,125	<b>0,51</b>	1,23	98,26	d <sub>60</sub> :	0,047
0,063	<b>1,25</b>	3,02	95,24	d <sub>75</sub> :	0,054
0,02068	<b>39,43</b>	95,24	0,00	d <sub>84</sub> :	0,058
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,063
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>U:</b>	<b>1,9</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>C:</b>	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>INMAN <math>\sigma\phi</math>:</b>	<b>0,53</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>FOLK &amp; WARD <math>\sigma_1</math>:</b>	<b>0,49</b>
Summe	41,4	100,00		<b>TRASK S<sub>0</sub>:</b>	<b>1,30</b>
				<b>SK<sub>1</sub>:</b>	<b>-0,21</b>
				<b>K<sub>G</sub>:</b>	<b>0,78</b>

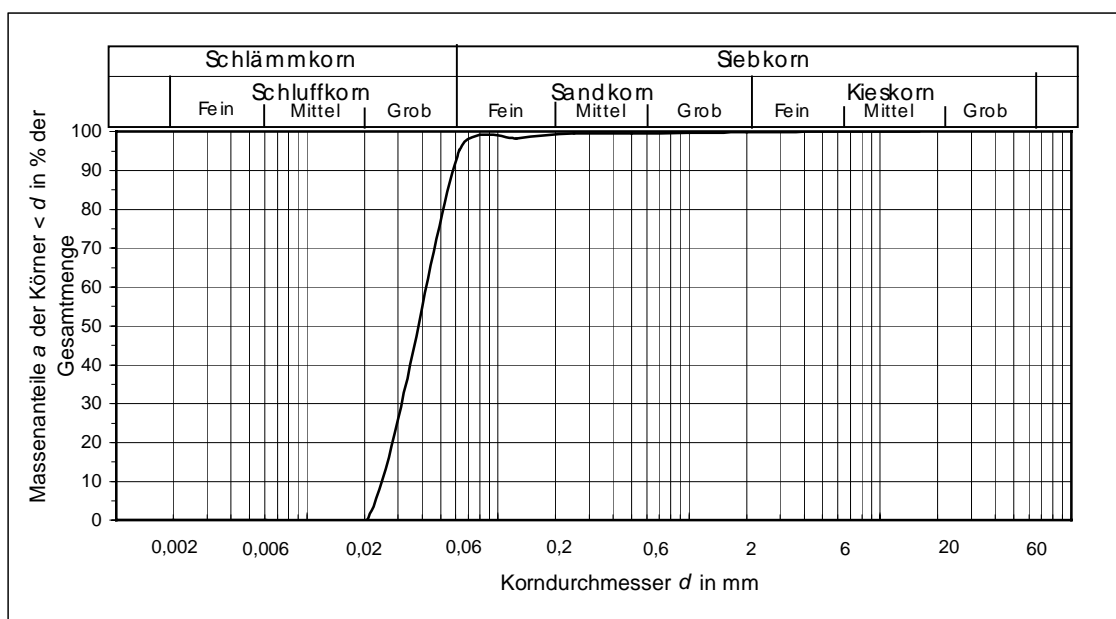


Abb. 82: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 938 aus der Bohrung Theater.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 1  
 Labornummer: **HDS 925**  
 Entnahmetiefe: **1.84 m - 1.89 m**  
 Bodenart: **fS-mS, t u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **94,4 g**  
 Einwaage Siebanteil: **94,3 g**  
 Siebverlust: 1,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,006
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,017
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,033
2	<b>0,25</b>	0,27	99,73	d <sub>20</sub> :	0,044
1	<b>1,52</b>	1,63	98,10	d <sub>25</sub> :	0,058
0,5	<b>3,77</b>	4,05	94,05	d <sub>30</sub> :	0,071
0,25	<b>8,28</b>	8,88	85,17	d <sub>50</sub> :	0,117
0,125	<b>29,68</b>	31,84	53,32	d <sub>60</sub> :	0,151
0,063	<b>24,84</b>	26,66	26,67	d <sub>75</sub> :	0,210
0,02068	<b>14,08</b>	15,11	11,55	d <sub>84</sub> :	0,245
0,006	<b>6,15</b>	6,60	4,96	d <sub>95</sub> :	0,618
0,002	<b>2,38</b>	2,55	2,40	U:	<b>8,8</b>
0,000621	<b>1,46</b>	1,56	0,84	C:	<b>1,9</b>
0,000313	<b>0,78</b>	0,84	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,44</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,73</b>
Summe	93,2	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,90</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,27</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,48</b>

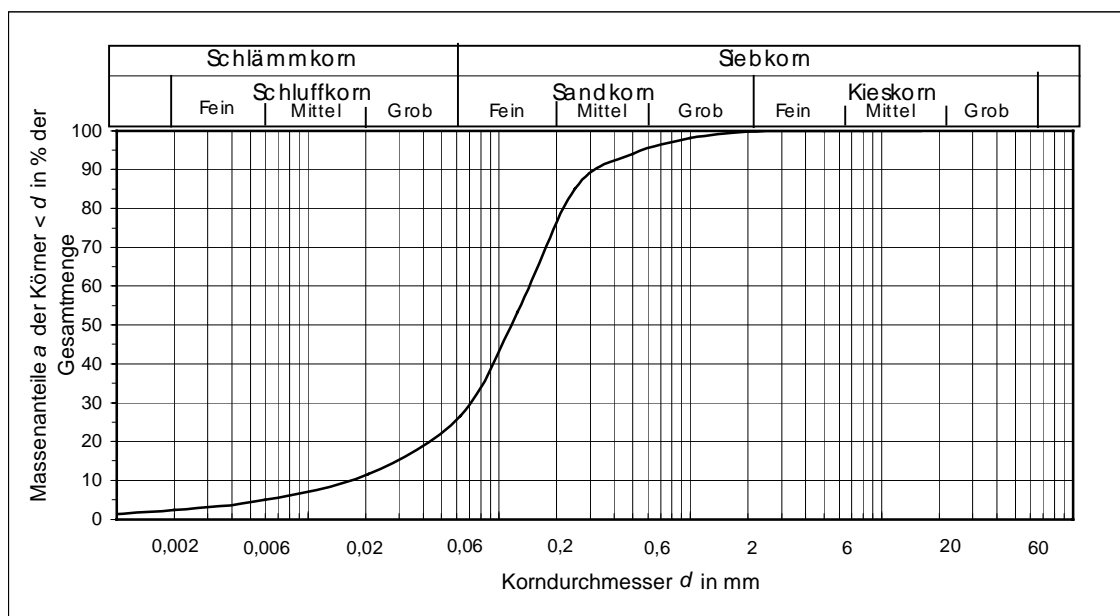


Abb. 83: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 925 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 2 OSL GK  
 Labornummer: **HDS 937**  
 Entnahmetiefe: **2,10—2,25 m**  
 Bodenart: **S, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **87,9 g**  
 Einwaage Siebanteil: **87,9 g**  
 Siebverlust: 4,3%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,073
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,083
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,096
2	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>20</sub> :	0,104
1	<b>6,84</b>	8,14	91,86	d <sub>25</sub> :	0,114
0,5	<b>18,93</b>	22,51	69,36	d <sub>30</sub> :	0,124
0,25	<b>19,23</b>	22,86	46,50	d <sub>50</sub> :	0,288
0,125	<b>13,48</b>	16,03	30,47	d <sub>60</sub> :	0,398
0,063	<b>25,58</b>	30,42	0,05	d <sub>75</sub> :	0,625
0,02068	<b>0,00</b>	0,00	0,05	d <sub>84</sub> :	0,825
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,05	d <sub>95</sub> :	1,385
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,05	U:	<b>4,8</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,05	C:	<b>0,5</b>
0,000313	<b>0,04</b>	0,05	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,56</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,42</b>
Summe	84,1	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,34</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,02</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,71</b>

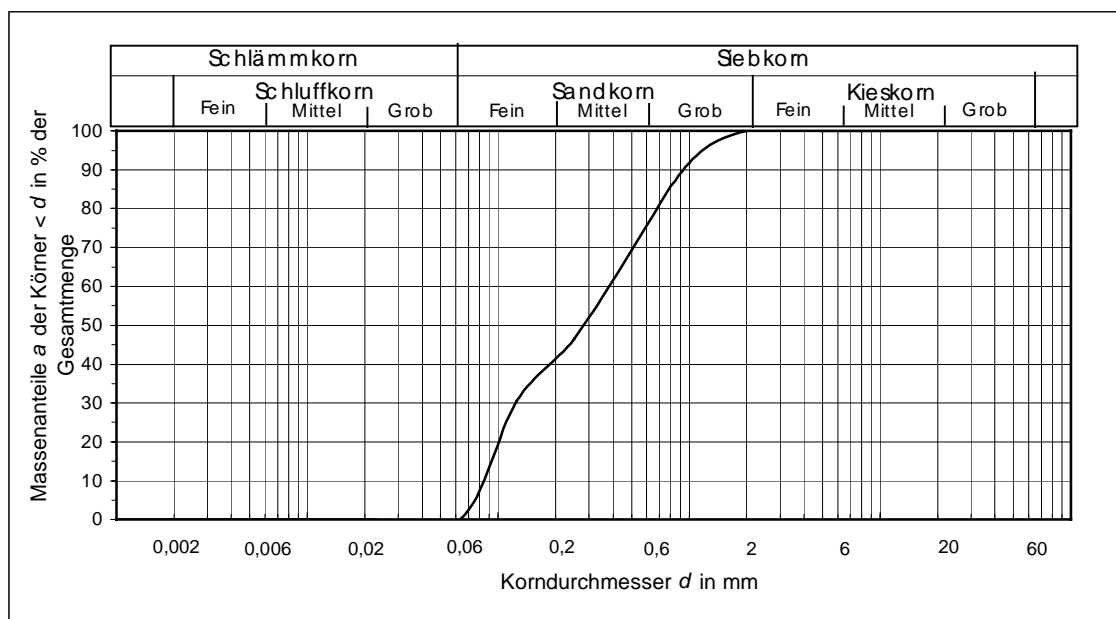


Abb. 84: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 937 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 2  
 Labornummer: **HDS 926**  
 Entnahmetiefe: **2.35 m - 2.40 m**  
 Bodenart: **U-mS**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **60,6 g**  
 Einwaage Siebanteil: **60,5 g**  
 Siebverlust: 0,6%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,011
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,018
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,027
2	<b>0,07</b>	0,11	99,89	d <sub>20</sub> :	0,033
1	<b>0,26</b>	0,43	99,46	d <sub>25</sub> :	0,041
0,5	<b>2,08</b>	3,46	96,00	d <sub>30</sub> :	0,048
0,25	<b>7,72</b>	12,84	83,16	d <sub>50</sub> :	0,086
0,125	<b>9,69</b>	16,11	67,05	d <sub>60</sub> :	0,109
0,063	<b>16,29</b>	27,08	39,97	d <sub>75</sub> :	0,187
0,02068	<b>17,10</b>	28,42	11,56	d <sub>84</sub> :	0,266
0,006	<b>6,18</b>	10,27	1,29	d <sub>95</sub> :	0,481
0,002	<b>0,77</b>	1,29	0,00	U:	<b>5,9</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,2</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,64</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,64</b>
Summe	60,2	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,14</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,04</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,01</b>

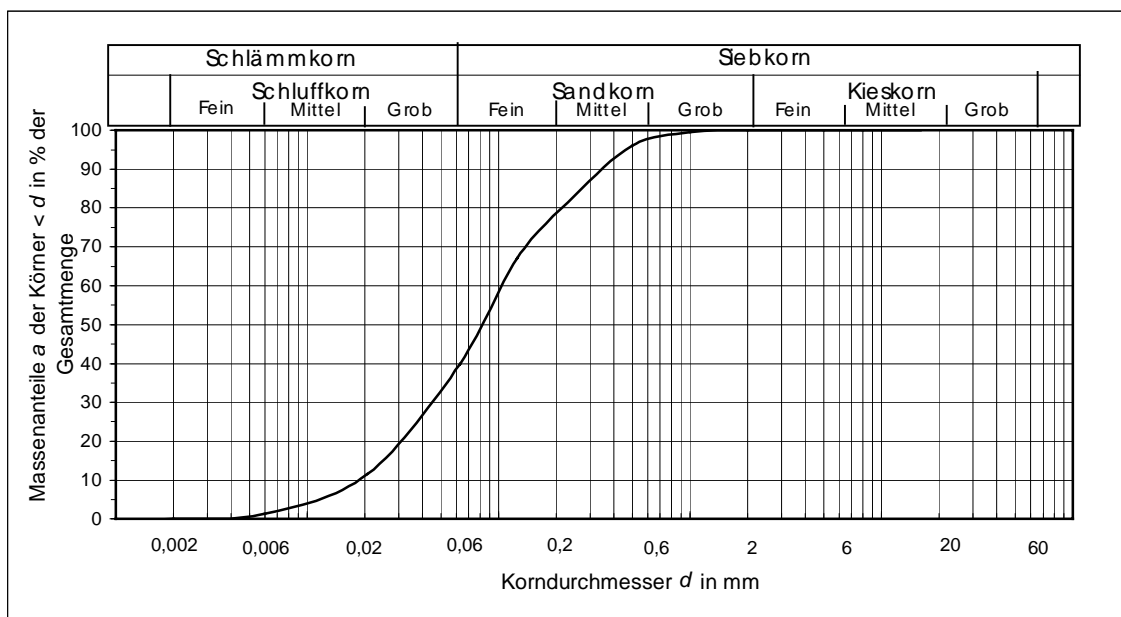


Abb. 85: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 926 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 3  
 Labornummer: **HDS 927**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **33,4 g**  
 Einwaage Siebanteil: **33,4 g**

Entnahmetiefe: **3.50 m - 3.60 m**  
 Bodenart: **gU-gS**

Siebverlust: 0,7%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,032
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,043
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,057
2	<b>0,38</b>	1,14	98,86	d <sub>20</sub> :	0,071
1	<b>2,11</b>	6,38	92,48	d <sub>25</sub> :	0,095
0,5	<b>6,98</b>	21,05	71,43	d <sub>30</sub> :	0,119
0,25	<b>7,56</b>	22,81	48,61	d <sub>50</sub> :	0,265
0,125	<b>5,75</b>	17,36	31,25	d <sub>60</sub> :	0,375
0,063	<b>4,27</b>	12,90	18,35	d <sub>75</sub> :	0,585
0,02068	<b>5,97</b>	18,03	0,32	d <sub>84</sub> :	0,799
0,006	<b>0,11</b>	0,32	0,00	d <sub>95</sub> :	1,395
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>8,6</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,9</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,90</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,78</b>
Summe	33,1	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,48</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,14</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,85</b>

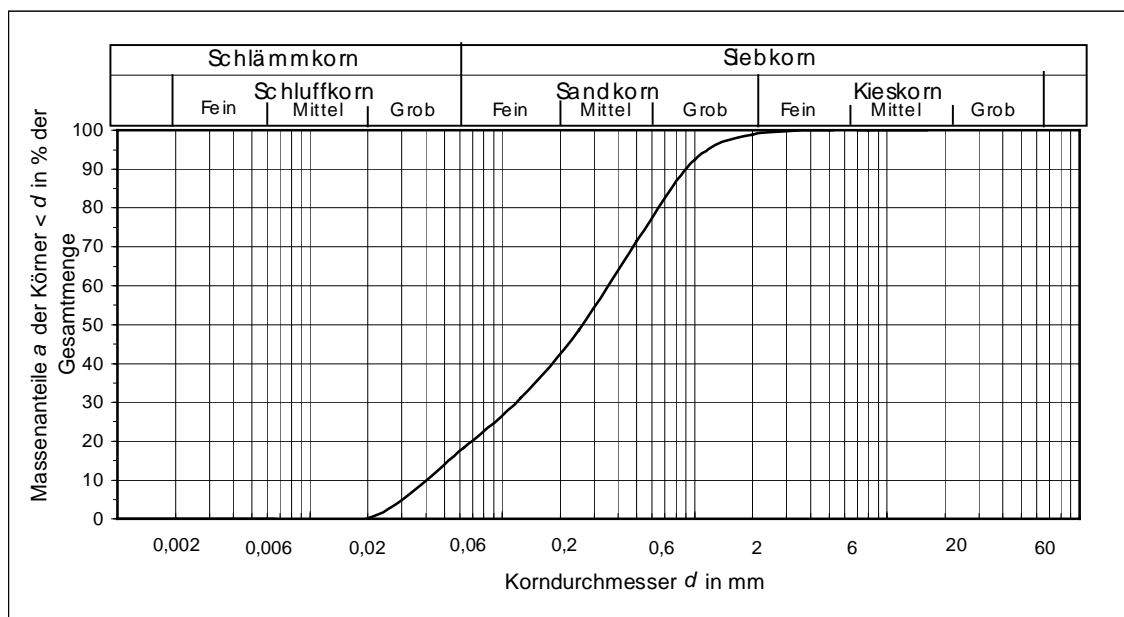


Abb. 86: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 927 aus der Bohrung Höhle.



## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 4  
 Labornummer: **HDS 928**  
 Entnahmetiefe: **3.70 m - 3.79 m**  
 Bodenart: **S**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **51,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **51,0 g**  
 Siebverlust: 0,1%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,064
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,071
5	<b>0,11</b>	0,22	99,78	d <sub>16</sub> :	0,081
2	<b>1,01</b>	1,98	97,80	d <sub>20</sub> :	0,087
1	<b>2,02</b>	3,96	93,84	d <sub>25</sub> :	0,095
0,5	<b>3,66</b>	7,18	86,66	d <sub>30</sub> :	0,102
0,25	<b>5,71</b>	11,20	75,46	d <sub>50</sub> :	0,147
0,125	<b>15,74</b>	30,88	44,58	d <sub>60</sub> :	0,187
0,063	<b>20,39</b>	40,00	4,58	d <sub>75</sub> :	0,248
0,02068	<b>2,20</b>	4,32	0,27	d <sub>84</sub> :	0,441
0,006	<b>0,14</b>	0,27	0,00	d <sub>95</sub> :	1,292
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,6</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,8</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,22</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,27</b>
Summe	51,0	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,62</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,37</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,28</b>

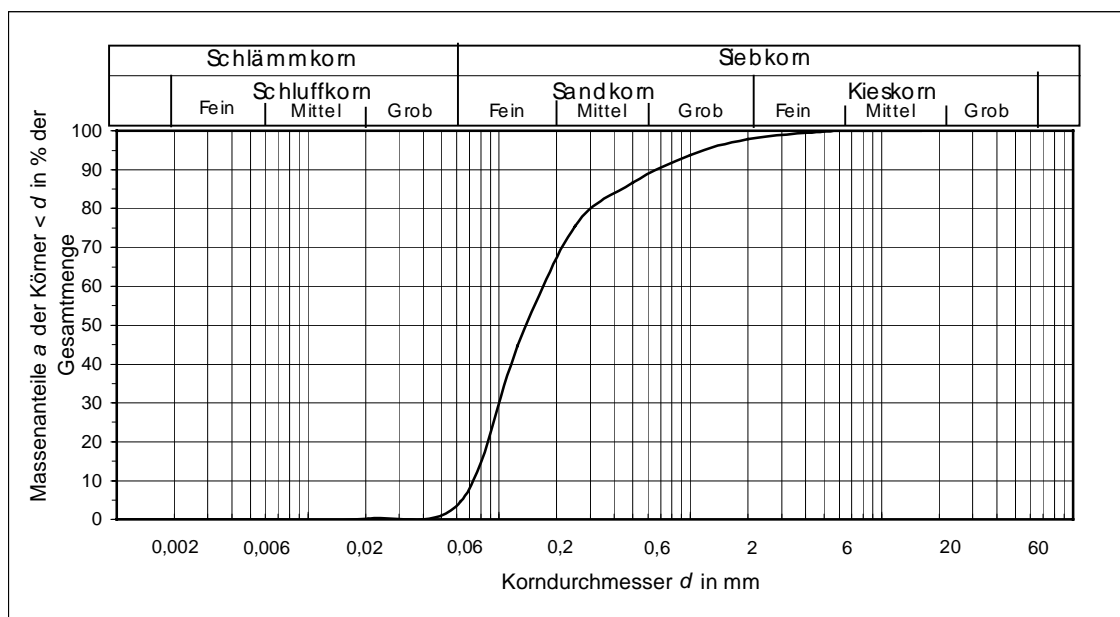


Abb. 87: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 928 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 5  
 Labornummer: **HDS 929**  
 Entnahmetiefe: **4.40 m - 4.49 m**  
 Bodenart: **S, u g**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **108,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **107,9 g**  
 Siebverlust: 0,4%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>11,04</b>	10,28	89,72	$d_5$ :	0,025
8	<b>1,07</b>	1,00	88,73	$d_{10}$ :	0,039
5	<b>1,12</b>	1,04	87,69	$d_{16}$ :	0,057
2	<b>3,89</b>	3,62	84,07	$d_{20}$ :	0,070
1	<b>6,51</b>	6,06	78,01	$d_{25}$ :	0,088
0,5	<b>11,70</b>	10,89	67,12	$d_{30}$ :	0,106
0,25	<b>14,41</b>	13,40	53,72	$d_{50}$ :	0,225
0,125	<b>19,88</b>	18,50	35,22	$d_{60}$ :	0,367
0,063	<b>18,41</b>	17,13	18,09	$d_{75}$ :	0,862
0,02068	<b>15,58</b>	14,50	3,59	$d_{84}$ :	1,988
0,006	<b>2,26</b>	2,10	1,49	$d_{95}$ :	16,941
0,002	<b>1,60</b>	1,49	0,00	<b>U:</b>	<b>9,3</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>C:</b>	<b>0,8</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>INMAN <math>\sigma\phi</math>:</b>	<b>2,56</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>FOLK &amp; WARD <math>\sigma_1</math>:</b>	<b>2,71</b>
Summe	107,5	100,00		<b>TRASK <math>S_0</math>:</b>	<b>3,13</b>
				<b>SK<sub>1</sub></b>	<b>0,28</b>
				<b>K<sub>G</sub>:</b>	<b>1,17</b>

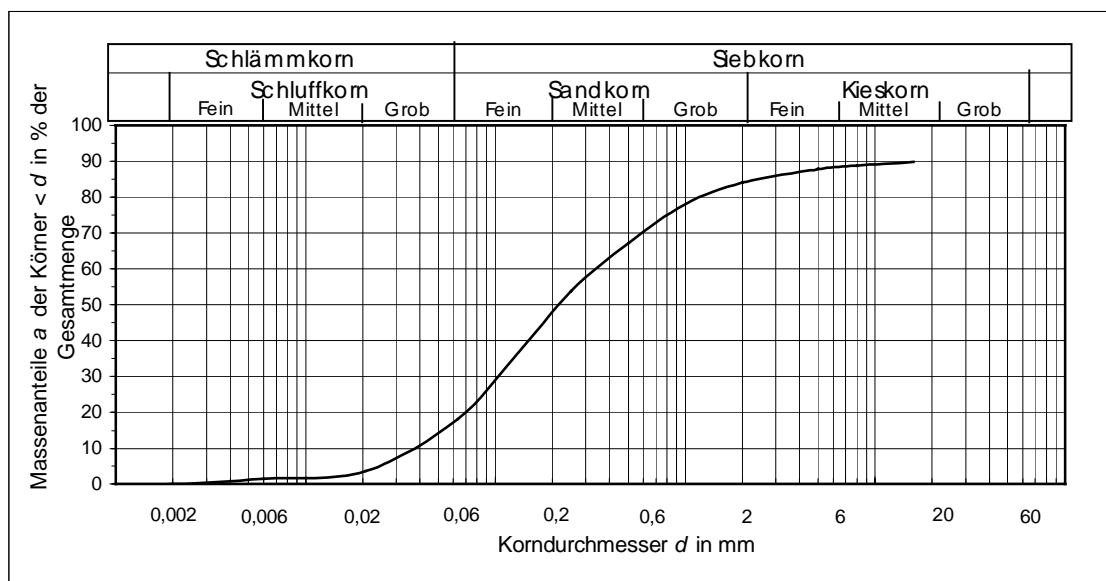


Abb. 88: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 929 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 6  
 Labornummer: **HDS 930**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **129,8 g**  
 Entnahmetiefe: **5.55 m - 5.65 m**  
 Einwaage Siebanteil: **129,7 g**  
 Bodenart: **fS-mS, u g**  
 Siebverlust: 0,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>10,86</b>	8,39	91,61	d <sub>5</sub> :	0,042
8	<b>0,00</b>	0,00	91,61	d <sub>10</sub> :	0,070
5	<b>3,66</b>	2,83	88,78	d <sub>16</sub> :	0,085
2	<b>4,59</b>	3,54	85,24	d <sub>20</sub> :	0,095
1	<b>4,41</b>	3,41	81,83	d <sub>25</sub> :	0,108
0,5	<b>7,36</b>	5,69	76,14	d <sub>30</sub> :	0,121
0,25	<b>18,83</b>	14,54	61,60	d <sub>50</sub> :	0,202
0,125	<b>38,85</b>	30,01	31,59	d <sub>60</sub> :	0,243
0,063	<b>31,25</b>	24,14	7,45	d <sub>75</sub> :	0,480
0,02068	<b>6,45</b>	4,98	2,47	d <sub>84</sub> :	1,637
0,006	<b>3,20</b>	2,47	0,00	d <sub>95</sub> :	16,592
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>3,5</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,9</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>2,13</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,37</b>
Summe	129,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,11</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,45</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,64</b>

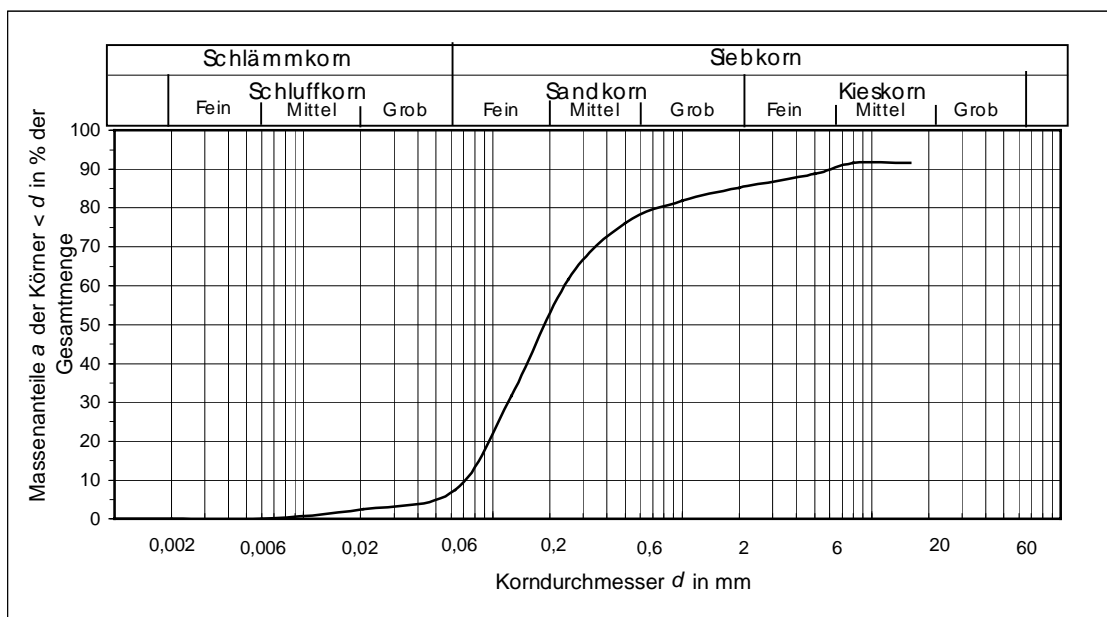


Abb. 89: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 930 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 7  
 Labornummer: **HDS 931**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **111,4 g**  
 Einwaage Siebanteil: **111,4 g**  
 Siebverlust: 1,3%

Entnahmetiefe: **5.80 m - 5.90 m**  
 Bodenart: **U-S, g**

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>6,94</b>	6,32	93,68	d <sub>5</sub> :	0,015
8	<b>2,92</b>	2,65	91,03	d <sub>10</sub> :	0,024
5	<b>2,39</b>	2,17	88,86	d <sub>16</sub> :	0,033
2	<b>4,61</b>	4,19	84,67	d <sub>20</sub> :	0,039
1	<b>4,90</b>	4,46	80,21	d <sub>25</sub> :	0,047
0,5	<b>7,13</b>	6,49	73,72	d <sub>30</sub> :	0,055
0,25	<b>11,56</b>	10,51	63,21	d <sub>50</sub> :	0,146
0,125	<b>17,38</b>	15,81	47,40	d <sub>60</sub> :	0,225
0,063	<b>13,31</b>	12,11	35,29	d <sub>75</sub> :	0,598
0,02068	<b>30,24</b>	27,51	7,78	d <sub>84</sub> :	1,850
0,006	<b>8,55</b>	7,78	0,00	d <sub>95</sub> :	16,225
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>9,3</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,6</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>2,90</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,97</b>
Summe	109,9	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>3,56</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,31</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,12</b>

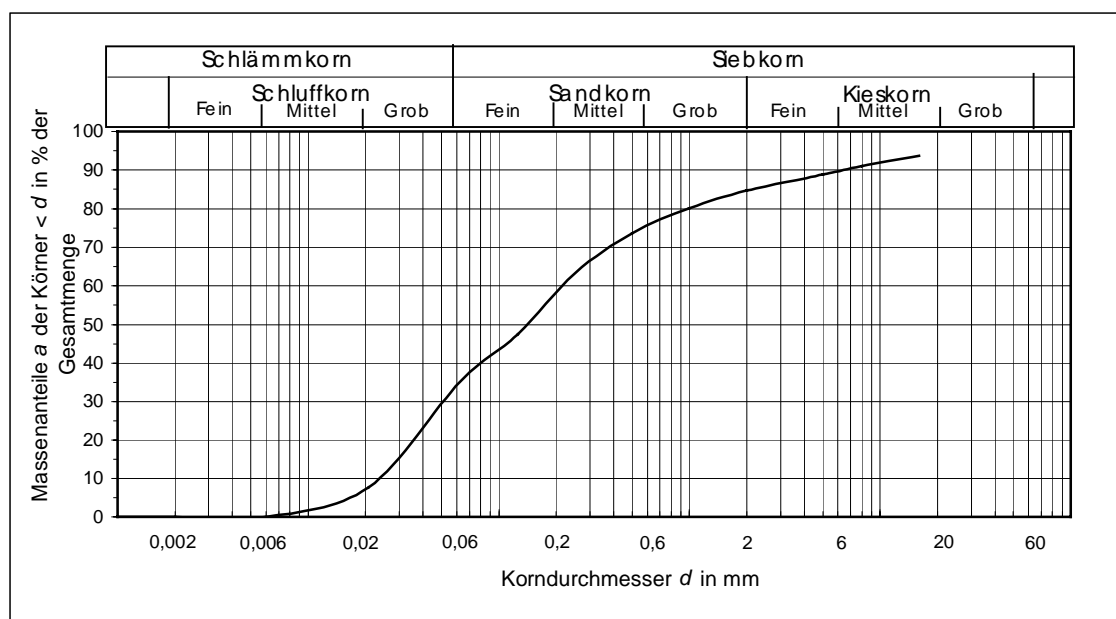


Abb. 90: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 931 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 8  
 Labornummer: **HDS 932**  
 Entnahmetiefe: **6.65 m - 6.70 m**  
 Bodenart: **U, s**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **92,7 g**  
 Einwaage Siebanteil: **92,6 g**  
 Siebverlust: 1,0%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,024
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,027
5	<b>1,24</b>	1,35	98,65	d <sub>16</sub> :	0,031
2	<b>1,12</b>	1,22	97,43	d <sub>20</sub> :	0,033
1	<b>1,33</b>	1,45	95,97	d <sub>25</sub> :	0,037
0,5	<b>4,11</b>	4,48	91,49	d <sub>30</sub> :	0,040
0,25	<b>7,44</b>	8,12	83,37	d <sub>50</sub> :	0,053
0,125	<b>5,32</b>	5,80	77,57	d <sub>60</sub> :	0,059
0,063	<b>10,52</b>	11,47	66,09	d <sub>75</sub> :	0,111
0,02068	<b>60,59</b>	66,09	0,00	d <sub>84</sub> :	0,269
0,006	<b>0,00</b>	0,00	0,00	d <sub>95</sub> :	0,892
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>2,2</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,0</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,56</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,57</b>
Summe	91,7	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,74</b>
				SK <sub>1</sub>	<b>0,54</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,34</b>

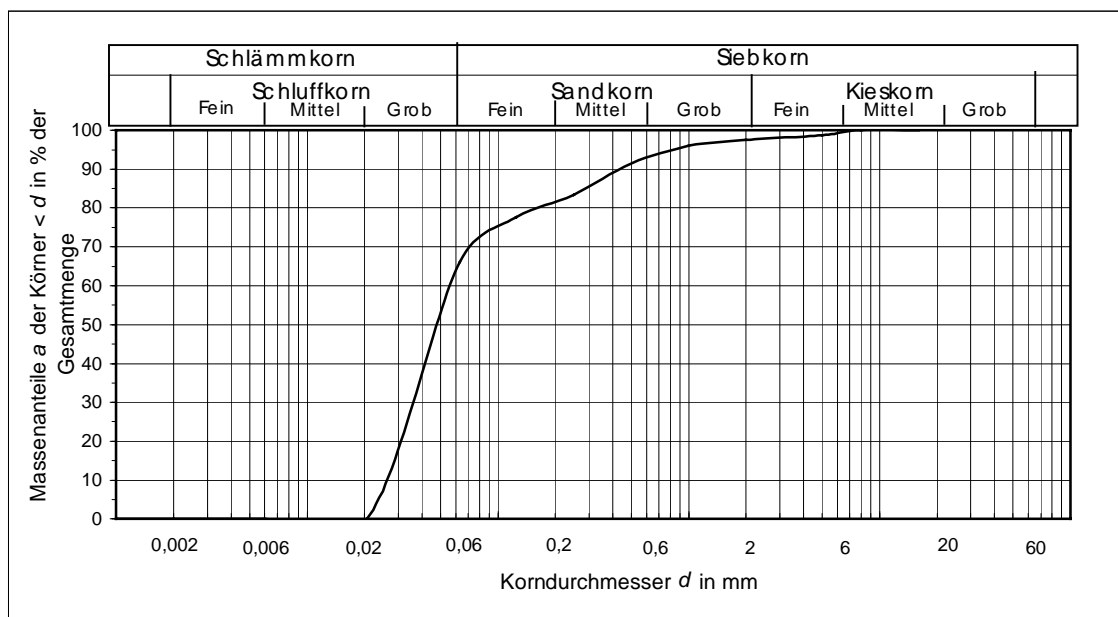


Abb. 91: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 932 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-157 Theater**  
 Probenbezeichnung: 10 OSL 17  
 Labornummer: **HDS 933**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **84,1 g**  
 Einwaage Siebanteil: **84,1 g**

Entnahmetiefe: **7.70 m - 7.80 m**  
 Bodenart: **fS, u**

Siebverlust: 1,8%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,005
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,009
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,017
2	<b>0,15</b>	0,19	99,81	d <sub>20</sub> :	0,022
1	<b>0,56</b>	0,68	99,13	d <sub>25</sub> :	0,033
0,5	<b>0,95</b>	1,15	97,98	d <sub>30</sub> :	0,043
0,25	<b>1,46</b>	1,77	96,21	d <sub>50</sub> :	0,088
0,125	<b>25,57</b>	30,96	65,25	d <sub>60</sub> :	0,112
0,063	<b>21,29</b>	25,78	39,47	d <sub>75</sub> :	0,164
0,02068	<b>16,62</b>	20,13	19,34	d <sub>84</sub> :	0,201
0,006	<b>10,10</b>	12,23	7,11	d <sub>95</sub> :	0,245
0,002	<b>5,42</b>	6,57	0,54	U:	<b>11,9</b>
0,000621	<b>0,45</b>	0,54	0,00	C:	<b>1,7</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,79</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,76</b>
Summe	82,6	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,25</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,41</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,00</b>

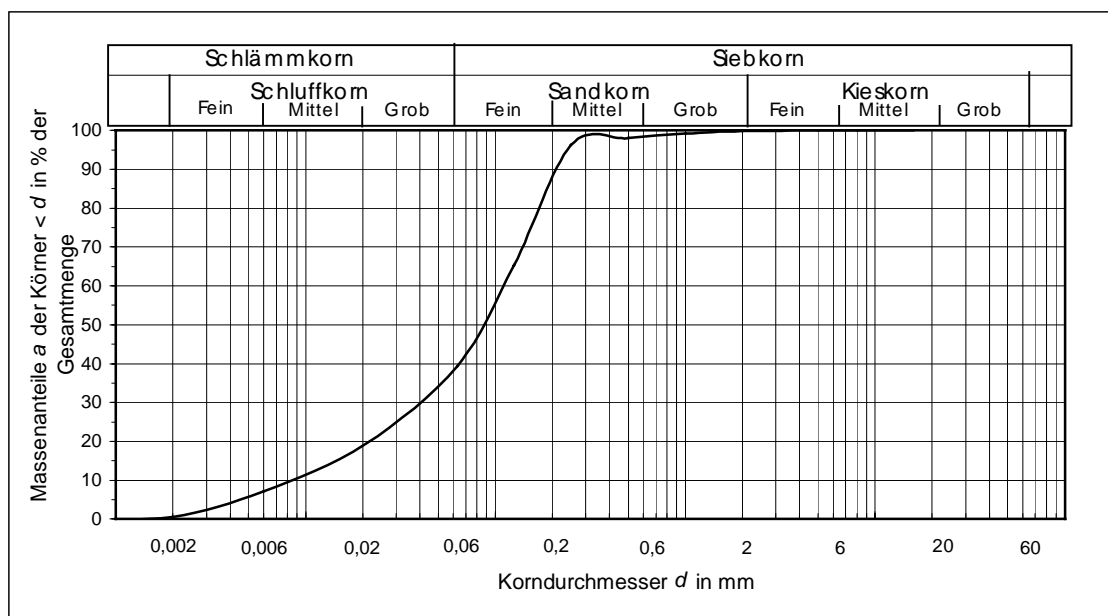


Abb. 92: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 933 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 10  
 Labornummer: **HDS 935**  
 Entnahmetiefe: **9.66 m - 9.75 m**  
 Bodenart: **S, u g**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **66,8 g**  
 Einwaage Siebanteil: **66,8 g**  
 Siebverlust: 1,9%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,073
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,163
5	<b>1,73</b>	2,63	97,37	d <sub>16</sub> :	0,255
2	<b>5,11</b>	7,80	89,57	d <sub>20</sub> :	0,299
1	<b>12,75</b>	19,44	70,13	d <sub>25</sub> :	0,355
0,5	<b>21,07</b>	32,13	38,00	d <sub>30</sub> :	0,411
0,25	<b>14,72</b>	22,44	15,56	d <sub>50</sub> :	0,687
0,125	<b>5,27</b>	8,04	7,53	d <sub>60</sub> :	0,842
0,063	<b>1,98</b>	3,02	4,50	d <sub>75</sub> :	1,251
0,02068	<b>0,13</b>	0,20	4,30	d <sub>84</sub> :	1,714
0,006	<b>2,72</b>	4,14	0,16	d <sub>95</sub> :	4,090
0,002	<b>0,11</b>	0,16	0,00	U:	<b>5,2</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>1,2</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,37</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,57</b>
Summe	65,6	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,88</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,08</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,31</b>

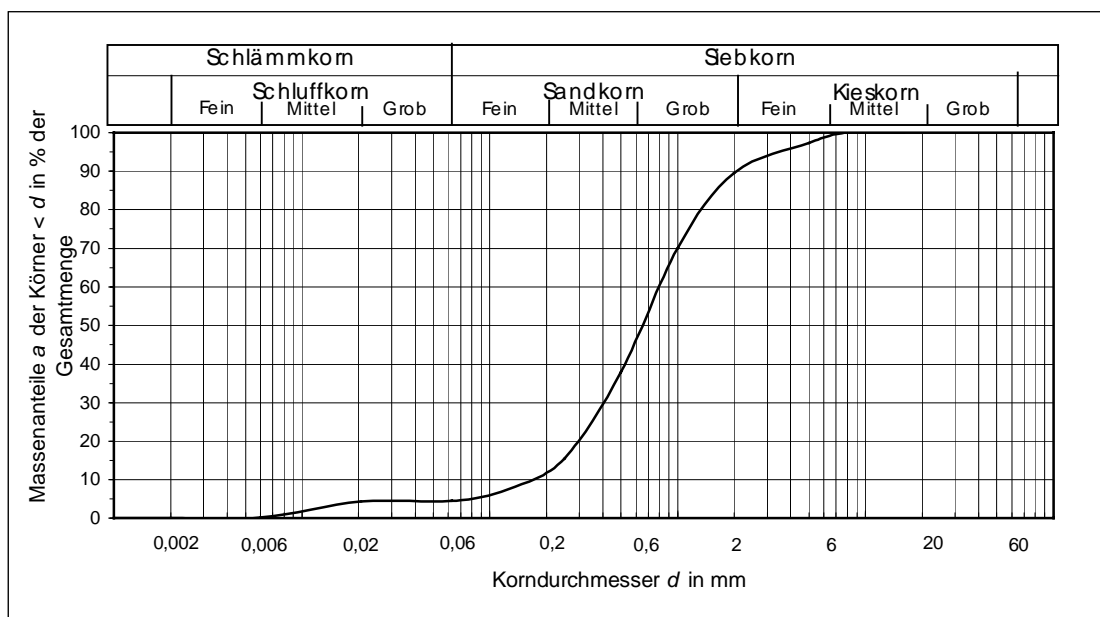


Abb. 93: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 935 aus der Bohrung Höhle.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **99-158 Höhle**  
 Probenbezeichnung: 11 OSL 11  
 Labornummer: **HDS 936**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **63,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **63,0 g**  
 Siebverlust: 0,4%

Entnahmetiefe: **10.42 m - 10.45 m**  
 Bodenart: **fS-mS, u**

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,010
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,018
5	<b>0,51</b>	0,81	99,19	d <sub>16</sub> :	0,050
2	<b>0,22</b>	0,35	98,84	d <sub>20</sub> :	0,069
1	<b>0,57</b>	0,90	97,94	d <sub>25</sub> :	0,084
0,5	<b>0,60</b>	0,96	96,97	d <sub>30</sub> :	0,099
0,25	<b>5,91</b>	9,42	87,56	d <sub>50</sub> :	0,154
0,125	<b>30,79</b>	49,07	38,49	d <sub>60</sub> :	0,180
0,063	<b>12,95</b>	20,64	17,85	d <sub>75</sub> :	0,218
0,02068	<b>3,81</b>	6,07	11,78	d <sub>84</sub> :	0,241
0,006	<b>6,03</b>	9,61	2,17	d <sub>95</sub> :	0,448
0,002	<b>1,07</b>	1,71	0,46	U:	<b>10,0</b>
0,000621	<b>0,25</b>	0,40	0,06	C:	<b>3,1</b>
0,000313	<b>0,04</b>	0,06	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,13</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,39</b>
Summe	62,7	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>1,61</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,43</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,63</b>

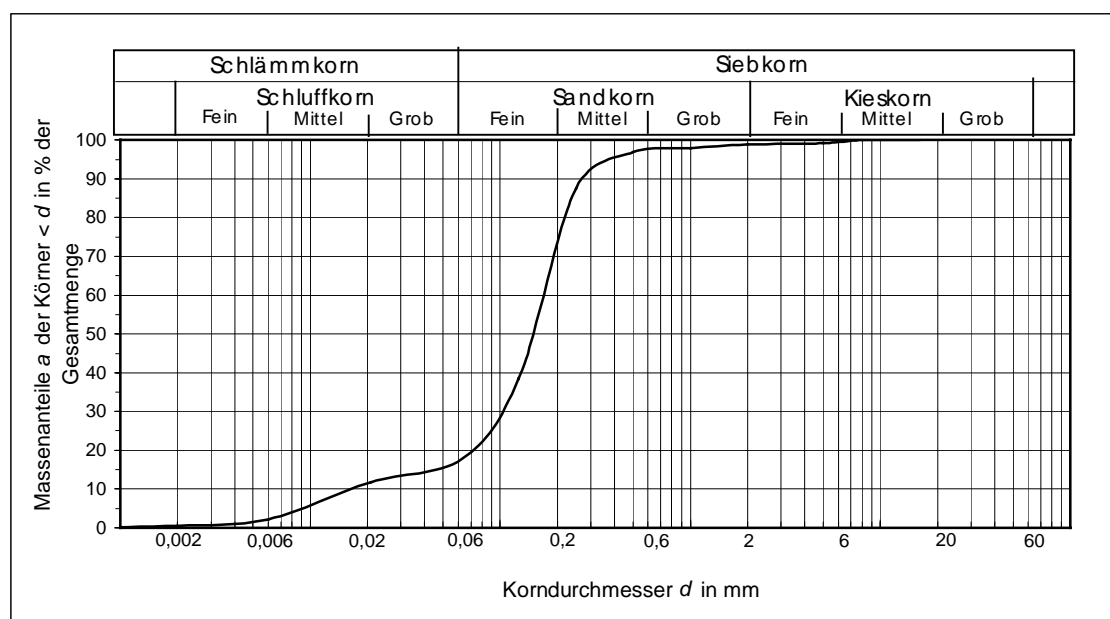


Abb. 94: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 936 aus der Bohrung Höhle.



## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-145 Çiplak**  
 Probenbezeichnung: Pr1/C3 (OSL 1)      Entnahmetiefe: **2.00 m - 2.08 m**  
 Labornummer: **HDS 749**      Bodenart: **S, u g**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **111,8 g**  
 Einwaage Siebanteil: **111,8 g**  
 Siebverlust: 0,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,004
8	<b>5,10</b>	4,57	95,43	d <sub>10</sub> :	0,011
5	<b>2,95</b>	2,65	92,78	d <sub>16</sub> :	0,021
2	<b>9,27</b>	8,31	84,47	d <sub>20</sub> :	0,032
1	<b>10,87</b>	9,75	74,72	d <sub>25</sub> :	0,047
0,5	<b>15,83</b>	14,20	60,52	d <sub>30</sub> :	0,061
0,25	<b>12,02</b>	10,77	49,75	d <sub>50</sub> :	0,256
0,125	<b>7,48</b>	6,70	43,05	d <sub>60</sub> :	0,488
0,063	<b>13,87</b>	12,43	30,62	d <sub>75</sub> :	1,029
0,02068	<b>16,36</b>	14,67	15,95	d <sub>84</sub> :	1,952
0,006	<b>10,34</b>	9,27	6,68	d <sub>95</sub> :	7,516
0,002	<b>4,39</b>	3,93	2,75	U:	<b>43,3</b>
0,000621	<b>2,30</b>	2,07	0,68	C:	<b>0,7</b>
0,000313	<b>0,76</b>	0,68	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>3,27</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>3,27</b>
Summe	111,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>4,69</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,10</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,99</b>

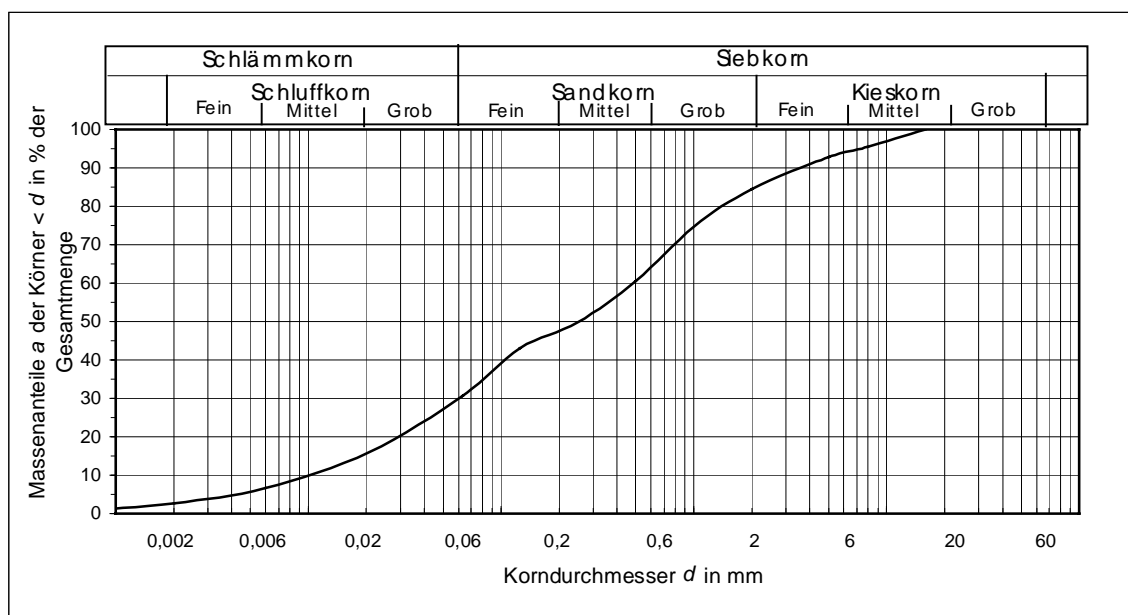


Abb. 95: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 749 aus der Bohrung Çiplak.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-145 Çiplak**  
 Probenbezeichnung: Pr2/C6 (OSL 2b)      Entnahmetiefe: **2.70 m - 2.90 m**  
 Labornummer: **HDS 750**      Bodenart: **S, u g'**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **105,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **104,9 g**  
 Siebverlust: 0,6%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,002
8	<b>1,95</b>	1,87	98,13	d <sub>10</sub> :	0,005
5	<b>0,36</b>	0,35	97,78	d <sub>16</sub> :	0,014
2	<b>4,23</b>	4,05	93,73	d <sub>20</sub> :	0,020
1	<b>5,31</b>	5,09	88,64	d <sub>25</sub> :	0,031
0,5	<b>8,09</b>	7,75	80,89	d <sub>30</sub> :	0,043
0,25	<b>10,65</b>	10,21	70,68	d <sub>50</sub> :	0,100
0,125	<b>13,23</b>	12,69	57,99	d <sub>60</sub> :	0,145
0,063	<b>20,60</b>	19,75	38,24	d <sub>75</sub> :	0,356
0,02068	<b>18,44</b>	17,68	20,57	d <sub>84</sub> :	0,701
0,006	<b>10,14</b>	9,72	10,85	d <sub>95</sub> :	2,942
0,002	<b>4,88</b>	4,68	6,16	U:	<b>27,4</b>
0,000621	<b>4,40</b>	4,22	1,94	C:	<b>2,5</b>
0,000313	<b>2,02</b>	1,94	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>2,83</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>3,06</b>
Summe	104,3	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>3,37</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,05</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,27</b>

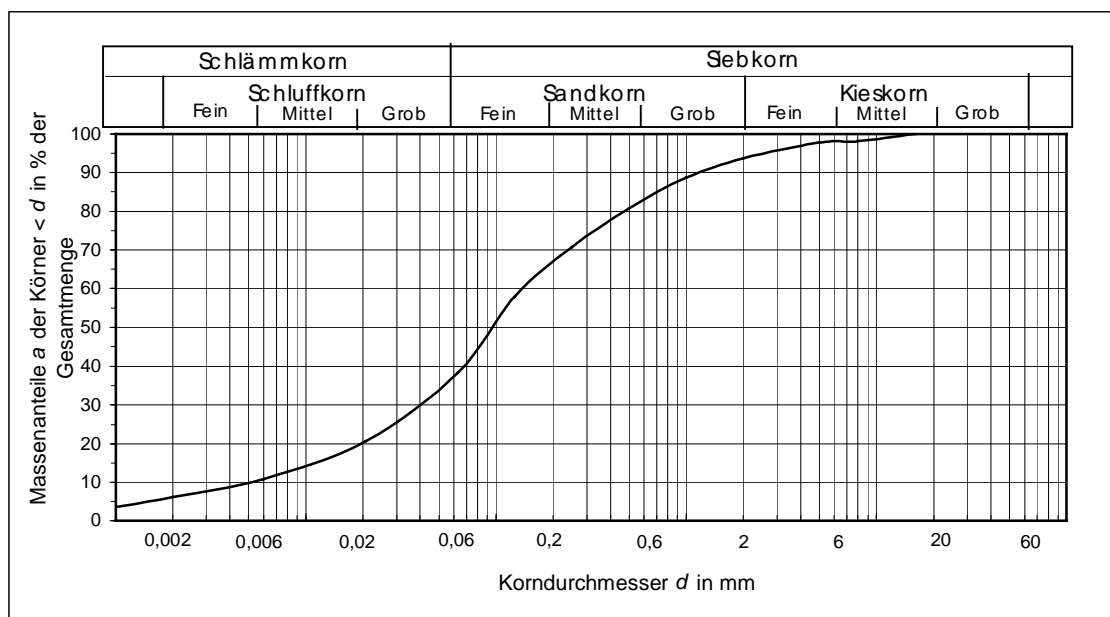


Abb. 96: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 750 aus der Bohrung Çiplak.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-145 Çiplak**  
 Probenbezeichnung: Pr3/C8 (OSL 3)      Entnahmetiefe: **3.55 m - 3.70 m**  
 Labornummer: **HDS 751**      Bodenart: **U-S**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **41,9 g**  
 Einwaage Siebanteil: **41,8 g**  
 Siebverlust: 0,8%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,003
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,007
5	<b>0,66</b>	1,58	98,42	d <sub>16</sub> :	0,014
2	<b>0,68</b>	1,63	96,79	d <sub>20</sub> :	0,018
1	<b>0,77</b>	1,85	94,94	d <sub>25</sub> :	0,026
0,5	<b>1,14</b>	2,76	92,18	d <sub>30</sub> :	0,037
0,25	<b>2,35</b>	5,65	86,53	d <sub>50</sub> :	0,080
0,125	<b>7,49</b>	18,06	68,48	d <sub>60</sub> :	0,105
0,063	<b>10,66</b>	25,68	42,79	d <sub>75</sub> :	0,170
0,02068	<b>8,51</b>	20,50	22,29	d <sub>84</sub> :	0,232
0,006	<b>5,38</b>	12,95	9,34	d <sub>95</sub> :	1,033
0,002	<b>2,28</b>	5,50	3,84	U:	<b>15,5</b>
0,000621	<b>1,20</b>	2,89	0,95	C:	<b>1,9</b>
0,000313	<b>0,40</b>	0,95	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>2,05</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,31</b>
Summe	41,5	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,55</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,19</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,29</b>

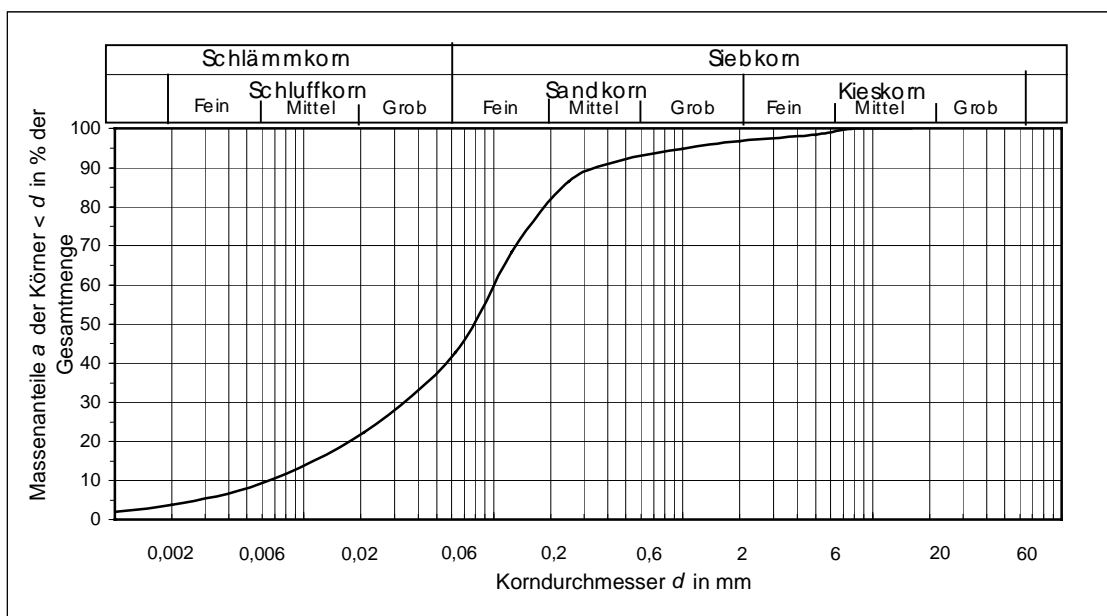


Abb. 97: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 751 aus der Bohrung Çiplak.

# Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-145 Çiplak**  
 Probenbezeichnung: Pr4/C11 (OSL 4) Entnahmetiefe: **5.68 m - 5.82 m**  
 Labornummer: **HDS 752** Bodenart: **U-S**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **90,9 g**  
 Einwaage Siebanteil: **90,9 g**  
 Siebverlust: 0,2%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,003
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,009
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,021
2	<b>1,45</b>	1,60	98,40	d <sub>20</sub> :	0,030
1	<b>1,78</b>	1,97	96,44	d <sub>25</sub> :	0,041
0,5	<b>2,90</b>	3,20	93,24	d <sub>30</sub> :	0,052
0,25	<b>6,75</b>	7,44	85,80	d <sub>50</sub> :	0,096
0,125	<b>20,11</b>	22,17	63,64	d <sub>60</sub> :	0,117
0,063	<b>26,02</b>	28,68	34,96	d <sub>75</sub> :	0,189
0,02068	<b>17,32</b>	19,09	15,87	d <sub>84</sub> :	0,240
0,006	<b>6,71</b>	7,40	8,47	d <sub>95</sub> :	0,775
0,002	<b>3,61</b>	3,97	4,50	U:	<b>13,0</b>
0,000621	<b>2,86</b>	3,16	1,34	C:	<b>2,6</b>
0,000313	<b>1,21</b>	1,34	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,76</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>2,13</b>
Summe	90,7	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,15</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>-0,26</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>1,54</b>

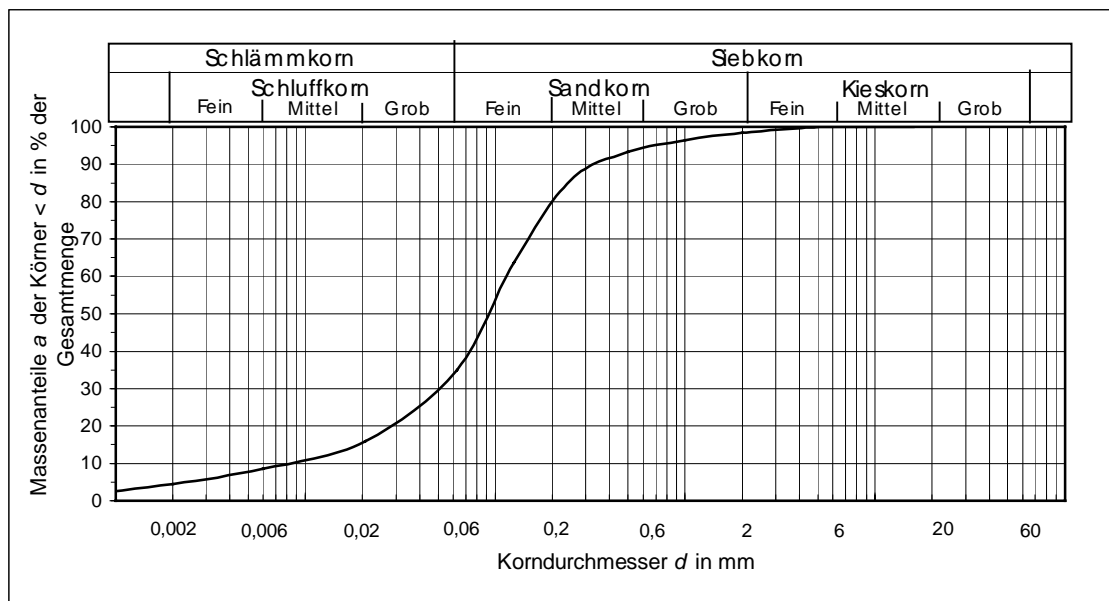


Abb. 98: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 752 aus der Bohrung Çiplak.

## Siebanalyse nach DIN 18123

Juli/Aug 2001

Projekt: **98-145 Çiplak**  
 Probenbezeichnung: Pr5/C14 (OSL5)      Entnahmetiefe: **6,31—6,39 m**  
 Labornummer: **HDS 753**      Bodenart: **S, u**  
 Gesamtmasse Trockene Probe: **29,0 g**  
 Einwaage Siebanteil: **29,0 g**  
 Siebverlust: 2,9%

Maschenweite mm	Rückstand g	Rückstand %	Summe %		
100	<b>0,00</b>	0,00	100,00		
16	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>5</sub> :	0,057
8	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>10</sub> :	0,075
5	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>16</sub> :	0,090
2	<b>0,00</b>	0,00	100,00	d <sub>20</sub> :	0,101
1	<b>4,84</b>	17,20	82,80	d <sub>25</sub> :	0,114
0,5	<b>2,76</b>	9,82	72,98	d <sub>30</sub> :	0,128
0,25	<b>4,16</b>	14,76	58,23	d <sub>50</sub> :	0,214
0,125	<b>8,15</b>	28,95	29,27	d <sub>60</sub> :	0,280
0,063	<b>6,71</b>	23,83	5,45	d <sub>75</sub> :	0,603
0,02068	<b>0,91</b>	3,22	2,23	d <sub>84</sub> :	1,070
0,006	<b>0,63</b>	2,23	0,00	d <sub>95</sub> :	1,709
0,002	<b>0,00</b>	0,00	0,00	U:	<b>3,7</b>
0,000621	<b>0,00</b>	0,00	0,00	C:	<b>0,8</b>
0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	INMAN $\sigma\phi$ :	<b>1,78</b>
< 0,000313	<b>0,00</b>	0,00	0,00	FOLK & WARD $\sigma_1$ :	<b>1,63</b>
Summe	28,2	100,00		TRASK S <sub>0</sub> :	<b>2,30</b>
				SK <sub>1</sub> :	<b>0,26</b>
				K <sub>G</sub> :	<b>0,84</b>

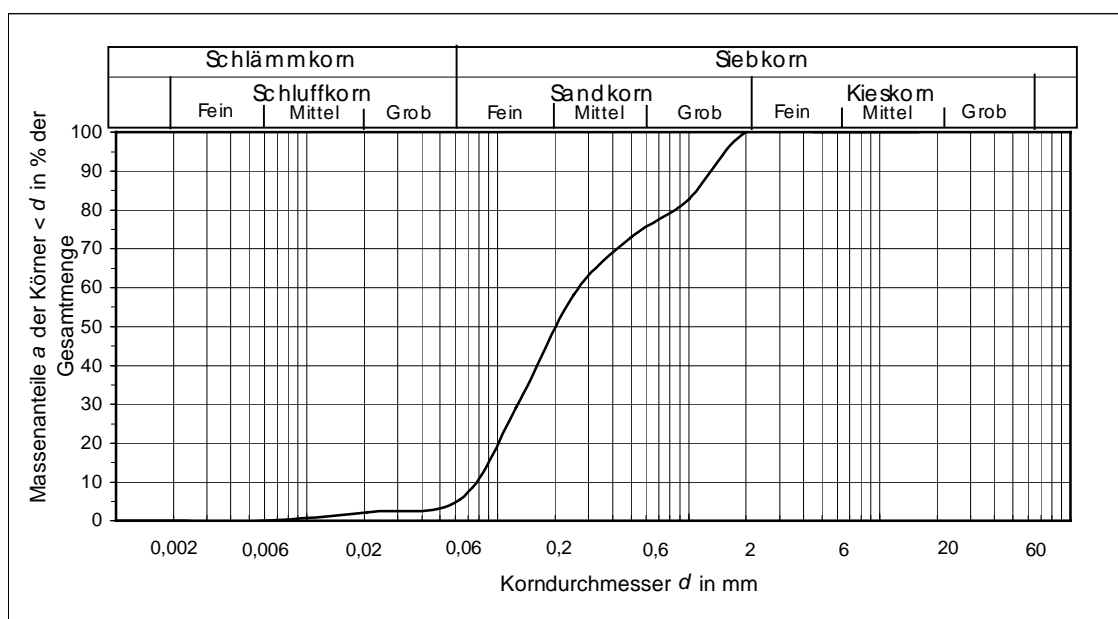


Abb. 99: Ergebnisse der Korngrößenanalyse für die Probe HDS 753 aus der Bohrung Çiplak.

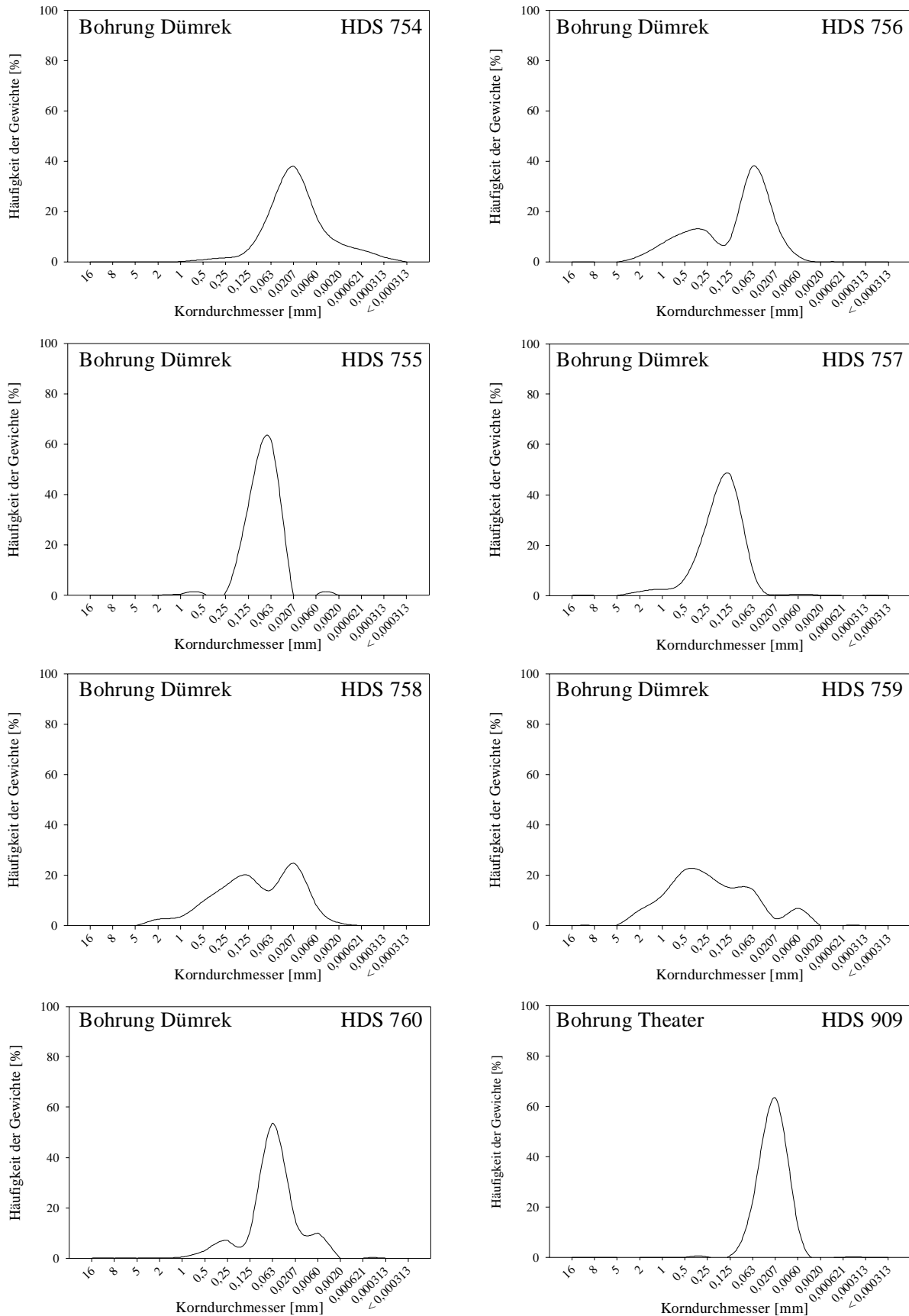


Abb. 100: Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben der Bohrung Dümrek (HDS 754 bis HDS 760) und Probe HDS 909 aus Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.

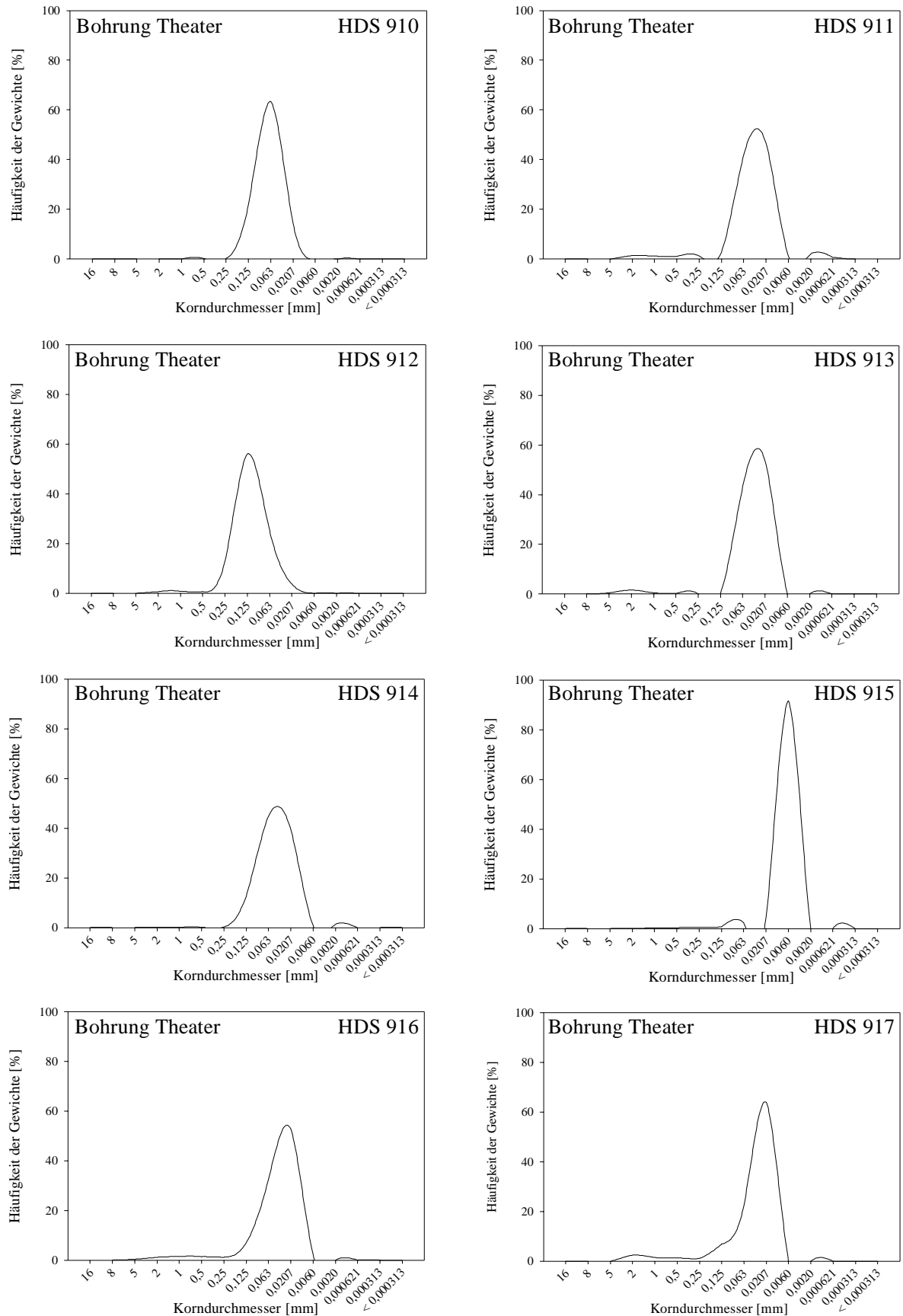


Abb. 101: Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 910 bis HDS 917 der Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.

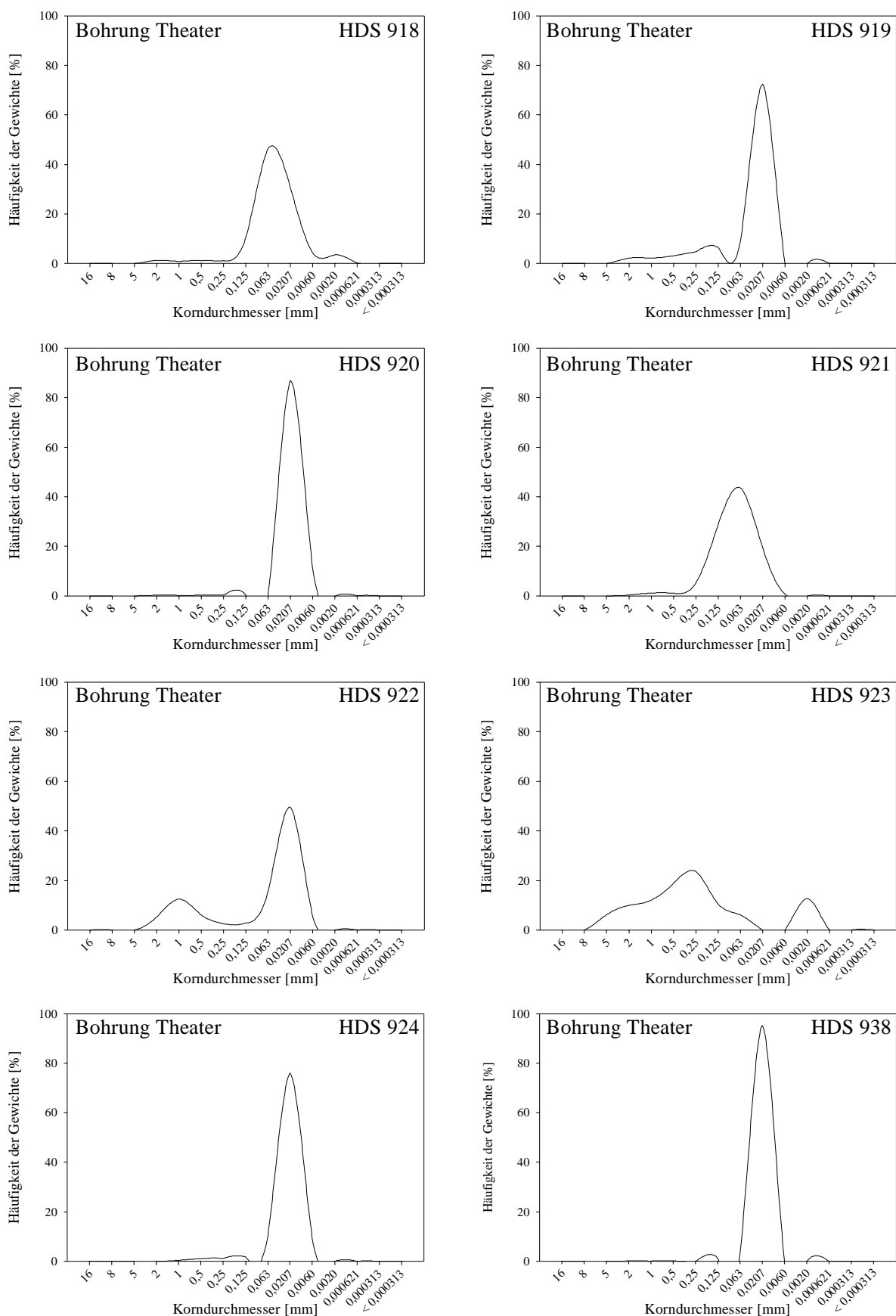


Abb. 102: Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 918 bis HDS 924 und HDS 938 der Bohrung Theater dargestellt als Häufigkeitskurven.



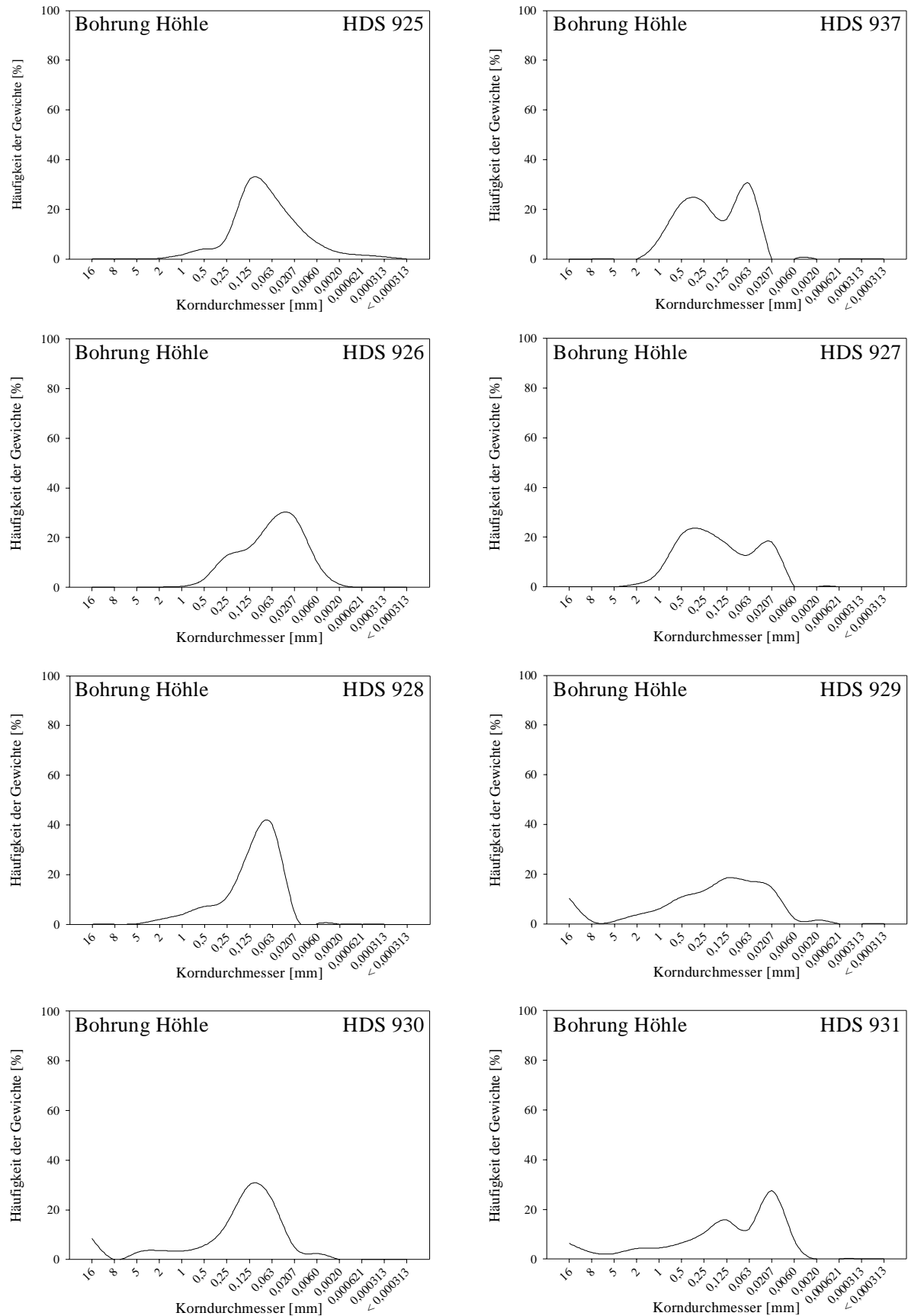
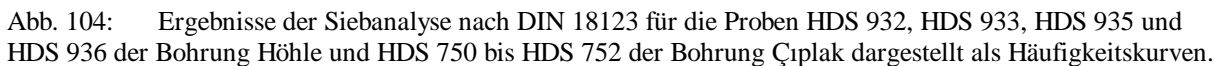


Abb. 103: Ergebnisse der Siebanalyse nach DIN 18123 für die Proben HDS 925 bis HDS 931 und HDS 937 der Bohrung Höhle dargestellt als Häufigkeitskurven.



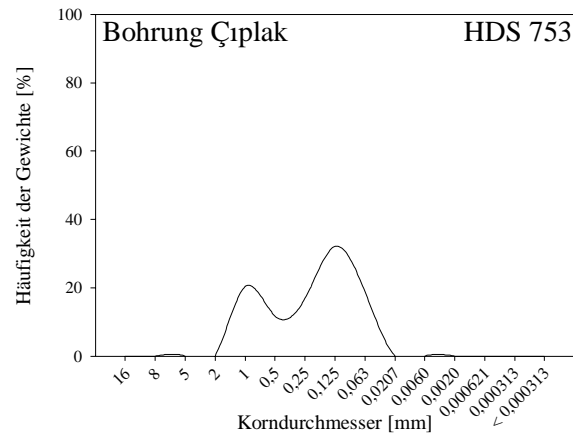


Abb. 105: Ergebnis der Siebanalyse nach DIN 18123 für Probe HDS 753 der Bohrung Çıplak dargestellt als Häufigkeitskurven.

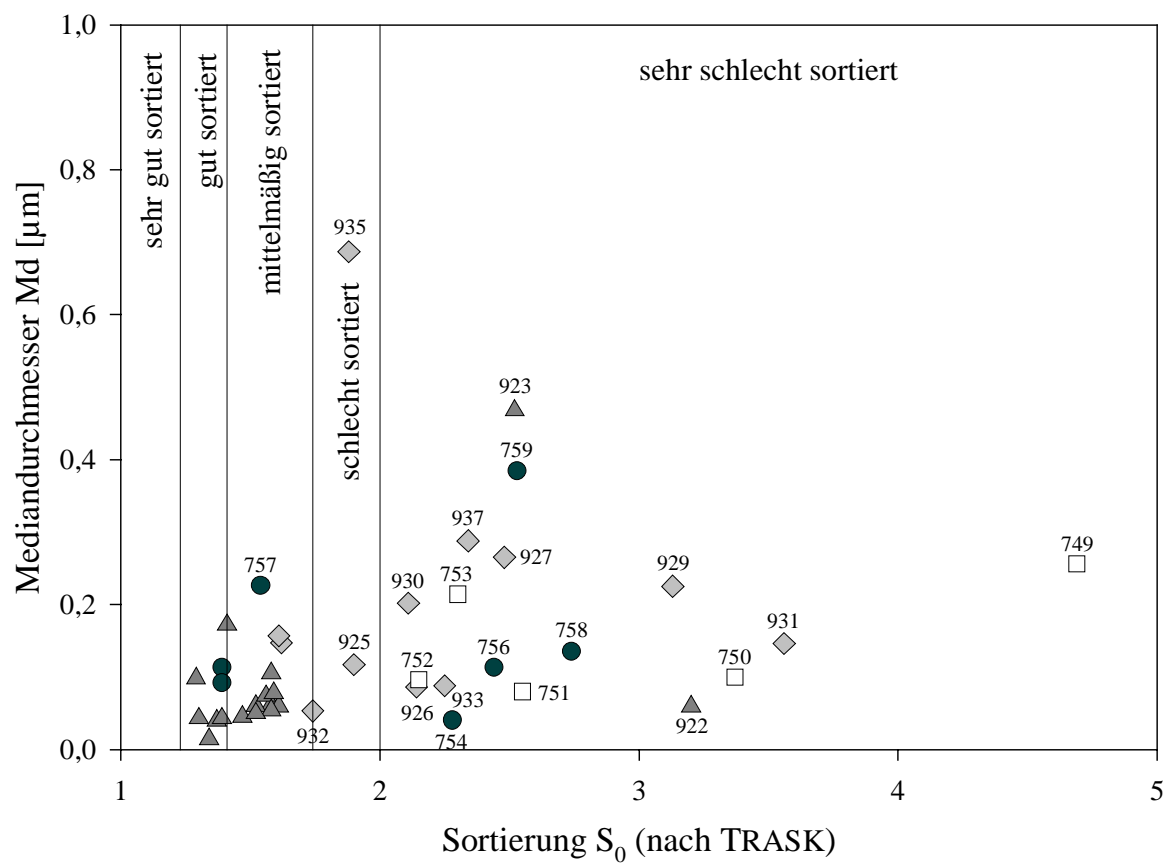


Abb. 106: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalyse mittels der Sortierung nach TRASK (1932) und dem Mediandurchmesser (Symbole wie in Abb. 20b).

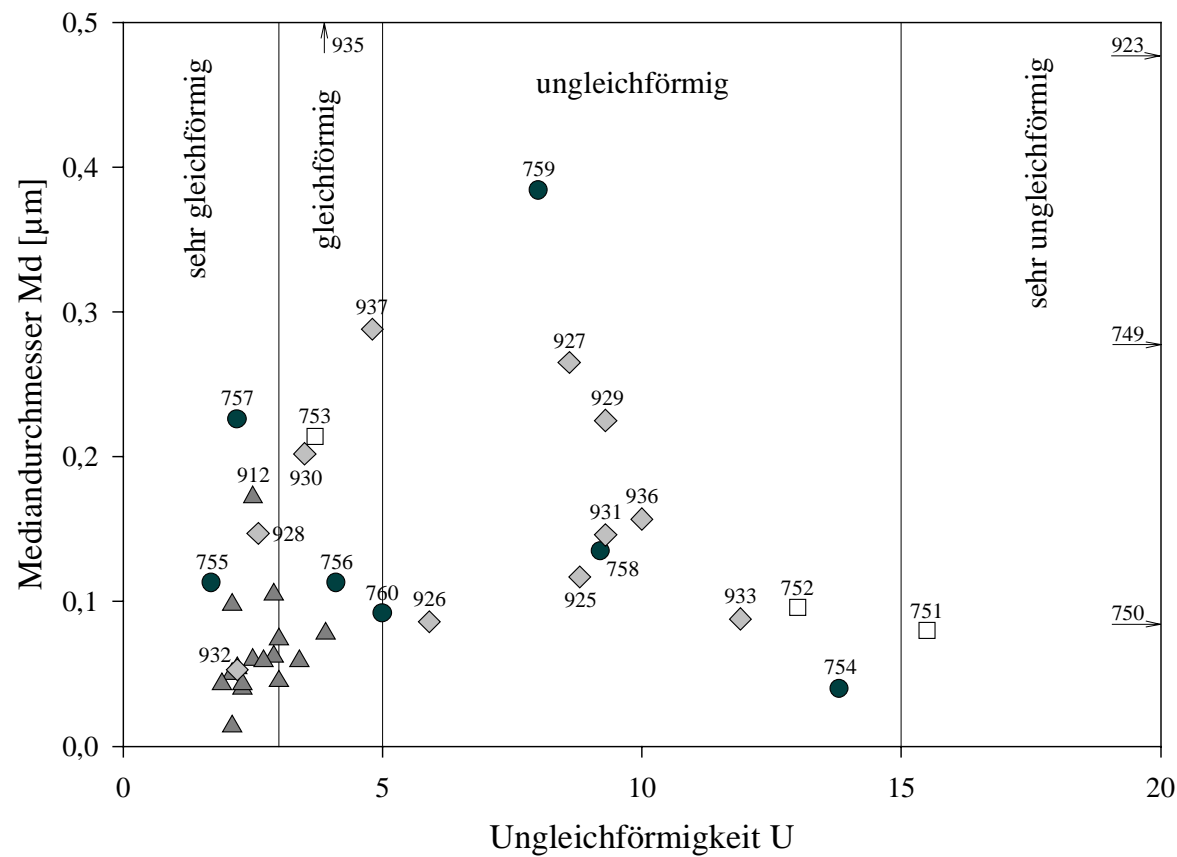


Abb. 107: Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalysen mittels der Ungleichförmigkeit und des Mediandurchmessers (Symbole wie in Abb. 20b).

Tab. 18: Auflistung der internationalen Standards, die für die Erstellung der Eichkurve für die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) im Geochemischen Zentrallabor der Universität Tübingen verwendet werden [ANTR: Association Nationale de la Recherche Technique (Arbeitsgruppe des CRPG), CRPG: Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CCRMP: Canada's Canadian Certified Reference Materials Project, NIM: National Institute for Metallurgy (heute Council for Mineral Technology), USGS: United States Geological Survey, ZGI: Zentrales Geologisches Institut (1990 aufgelöst)].

Name des Standards	Gestein	Anbieter	Herkunft
AC-E	Granit	ANTR	Frankreich
AL-1	Albit	ANTR	Frankreich
AN-G	Anorthosit	ANTR	Frankreich
BE-N	Basalt	ANTR	Frankreich
BR	Basalt	CRPG	Frankreich
DNC-1	Diabas	USGS	USA
DT-N	Kyanit	ANTR	Frankreich
FK	Feldspatsand	ZGI	Ostdeutschland
G-2	Granit	ANTR	Frankreich
GA	Granit	ANTR	Frankreich
GSP-1	Granodiorit	USGS	USA
MAG-1	marine mud	USGS	USA
MA-N	Granit	ANTR	Frankreich
Mica-Fe	Biotit	CRPG	Frankreich
Mica-Mg	Phlogopit	CRPG	Frankreich
MRG-1	Gabbro	CCRMP	Kanada
NIM-D	Dunit	NIM	Südafrika
NIM-G	Granit	NIM	Südafrika
NIM-P	Pyroxenit	NIM	Südafrika
NIM-S	Syenit	NIM	Südafrika
QLO-1	Quarzlatit	USGS	USA
RGM-1	Rhyolith	USGS	USA
SCO-1	Bodenprobe	USGS	USA
SO-3	Bodenprobe	USGS	USA
STM-1	Syenit	USGS	USA
SW	Serpentinit	ZGI	Ostdeutschland
UB-N	Serpentinit	ANTR	Frankreich
V-1	Andesit	USGS	USA
W-2	Diabas	ANTR	Frankreich

Tab. 19: Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 07. Mai 1999.

Element	Anzahl der für die Eichung verwendeten Standards	Korrelation der Kalibrierung	Standardabweichung der Kalibrierung	Nachweisgrenze
SiO <sub>2</sub>	27	0,99954	0,600 %	1,253 %
TiO <sub>2</sub>	27	0,99988	0,015 %	0,026 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27	0,99991	0,169 %	0,304 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27	0,99952	0,213 %	0,378 %
MnO	27	0,99766	0,006 %	0,011 %
MgO	27	0,99997	0,120 %	0,211 %
CaO	27	0,99992	0,101 %	0,178 %
Na <sub>2</sub> O	27	0,99948	0,084 %	0,148 %
K <sub>2</sub> O	27	0,99986	0,067 %	0,117 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26	0,99906	0,016 %	0,029 %
Ba	25	0,99917	23 ppm	41 ppm
Cr	24	0,99929	27 ppm	48 ppm
Nb	22	0,99856	3 ppm	5 ppm
Ni	20	0,99782	9 ppm	17 ppm
Rb	20	0,99893	4 ppm	6 ppm
Sr	25	0,99918	7 ppm	12 ppm
V	25	0,99774	5 ppm	10 ppm
Y	22	0,99867	3 ppm	5 ppm
Zn	19	0,99712	4 ppm	7 ppm
Zr	26	0,99738	18 ppm	31 ppm

Tab. 20: Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 01. Februar 2000.

Element	Anzahl der für die Eichung verwendeten Standards	Korrelation der Kalibrierung	Standardabweichung der Kalibrierung	Nachweisgrenze
SiO <sub>2</sub>	29	0,99974	0,457 %	0,947 %
TiO <sub>2</sub>	29	0,99990	0,013 %	0,024 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99982	0,225 %	0,403 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99938	0,232 %	0,411 %
MnO	28	0,99835	0,005 %	0,009 %
MgO	27	0,99995	0,112 %	0,197 %
CaO	29	0,99992	0,099 %	0,174 %
Na <sub>2</sub> O	29	0,99956	0,076 %	0,134 %
K <sub>2</sub> O	29	0,99989	0,052 %	0,092 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25	0,99909	0,016 %	0,029 %
Ba	28	0,99917	36 ppm	63 ppm
Cr	27	0,99942	30 ppm	52 ppm
Nb	20	0,99904	2 ppm	4 ppm
Ni	24	0,99961	17 ppm	30 ppm
Rb	28	0,99988	15 ppm	26 ppm
Sr	29	0,99960	10 ppm	18 ppm
V	28	0,99913	5 ppm	9 ppm
Y	19	0,99951	2 ppm	3 ppm
Zn	28	0,99558	7 ppm	13 ppm
Zr	27	0,99871	11 ppm	20 ppm

Tab. 21: Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 04. Dezember 2000.

Element	Anzahl der für die Eichung verwendeten Standards	Korrelation der Kalibrierung	Standardabweichung der Kalibrierung	Nachweisgrenze
SiO <sub>2</sub>	29	0,99971	0,480 %	0,996 %
TiO <sub>2</sub>	29	0,99988	0,015 %	0,027 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99979	0,242 %	0,432 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99936	0,243 %	0,430 %
MnO	27	0,99890	0,004 %	0,008 %
MgO	27	0,99994	0,120 %	0,211 %
CaO	29	0,99992	0,100 %	0,175 %
Na <sub>2</sub> O	29	0,99935	0,092 %	0,162 %
K <sub>2</sub> O	28	0,99996	0,031 %	0,055 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25	0,99935	0,014 %	0,024 %
Ba	28	0,99936	32 ppm	56 ppm
Cr	15	0,99176	20 ppm	37 ppm
Nb	21	0,99907	3 ppm	5 ppm
Ni	19	0,99710	6 ppm	11 ppm
Rb	27	0,99969	7 ppm	18 ppm
Sr	29	0,99952	11 ppm	20 ppm
V	26	0,99728	7 ppm	12 ppm
Y	18	0,99959	2 ppm	3 ppm
Zn	26	0,99716	5 ppm	9 ppm
Zr	27	0,99862	12 ppm	21 ppm

Tab. 22: Standardabweichung und Nachweisgrenzen der Kalibrierung der RFA vom 03. Mai 2001.

Element	Anzahl der für die Eichung verwendeten Standards	Korrelation der Kalibrierung	Standardabweichung der Kalibrierung	Nachweisgrenze
SiO <sub>2</sub>	29	0,99963	0,519 %	1,007 %
TiO <sub>2</sub>	29	0,99986	0,016 %	0,029 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99978	0,253 %	0,452 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29	0,99940	0,236 %	0,418 %
MnO	27	0,99878	0,004 %	0,008 %
MgO	27	0,99989	0,140 %	0,246 %
CaO	29	0,99991	0,102 %	0,178 %
Na <sub>2</sub> O	29	0,99875	0,127 %	0,224 %
K <sub>2</sub> O	28	0,99995	0,030 %	0,062 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25	0,99898	0,017 %	0,030 %
Ba	28	0,99941	33 ppm	57 ppm
Cr	15	0,99907	39 ppm	72 ppm
Nb	21	0,99900	3 ppm	5 ppm
Ni	20	0,999447	9 ppm	16 ppm
Rb	26	0,99938	5 ppm	8 ppm
Sr	29	0,99951	11 ppm	19 ppm
V	27	0,99818	5 ppm	9 ppm
Y	18	0,99899	3 ppm	5 ppm
Zn	24	0,99706	5 ppm	9 ppm
Zr	27	0,99852	12 ppm	22 ppm

Tab. 23: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Dümrek und Theater: Hauptelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen).

Bohrung	Probe HDS	mittlere Teufe	SiO <sub>2</sub> [M.-%]	TiO <sub>2</sub> [M.-%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [M.-%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [M.-%]	MnO [M.-%]	MgO [M.-%]	CaO [M.-%]	Na <sub>2</sub> O [M.-%]	K <sub>2</sub> O [M.-%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [M.-%]	Melßdatum
Dümrek	754	2,38—2,42 m	44,618	0,613	11,856	6,353	0,174	6,168	10,508	0,834	1,726	0,094	26.05.99
	756	2,72—2,80 m	54,160	0,577	9,932	4,734	0,165	4,360	9,526	0,862	1,622	0,078	26.05.99
	757	3,80—4,03 m	70,477	0,446	5,559	2,804	0,075	3,465	7,046	0,865	1,038	0,067	26.05.99
	758	4,55—4,65 m	59,389	0,616	8,672	4,621	0,153	5,380	7,728	1,161	1,446	0,085	26.05.99
	759	7,40—7,50 m	64,644	0,420	6,290	3,558	0,105	4,861	7,969	0,637	1,144	0,066	26.05.99
	760	7,63—7,71 m	52,270	0,728	13,776	6,095	0,166	3,618	6,893	1,128	2,390	0,150	26.05.99
Theater	909	0,54—0,67 m	46,647	0,644	12,648	6,738	0,170	5,367	8,515	0,619	1,889	0,094	01.02.00
	910	1,54—1,66 m	43,169	0,620	13,591	7,751	0,173	6,467	7,620	0,692	1,937	0,126	01.02.00
	911	2,35—2,46 m	51,411	0,739	14,215	6,533	0,171	4,329	5,800	1,013	2,180	0,143	01.06.01
	912	3,20—3,33 m	48,460	0,732	16,744	7,554	0,151	4,045	4,337	0,812	2,198	0,147	01.02.00
	913	3,83—3,87 m	47,812	0,709	16,877	7,457	0,131	4,104	3,833	0,724	2,247	0,153	01.02.00
	914	4,70—4,83 m	46,951	0,662	15,774	7,317	0,137	4,712	5,301	0,625	2,199	0,130	01.02.00
	915	5,48—5,60 m	44,093	0,605	11,331	6,079	0,217	6,551	10,264	0,704	1,770	0,073	01.02.00
	916	5,93—6,05 m	51,783	0,705	12,029	5,470	0,171	4,635	7,716	0,957	2,100	0,117	01.06.01
	917	6,20—6,32 m	59,360	0,775	12,435	5,049	0,128	3,037	5,908	1,518	2,153	0,130	01.02.00
	918	6,63—6,77 m	53,859	0,792	13,387	5,674	0,157	3,729	6,528	1,230	2,255	0,164	01.02.00
	919	6,93—7,05 m	53,966	0,658	13,022	5,341	0,150	3,599	6,738	1,163	2,455	0,187	01.02.00
	920	7,52—7,65 m	51,720	0,659	12,823	5,230	0,111	3,712	7,789	1,096	2,374	0,166	01.02.00
	921	8,25—9,03 m	47,827	0,646	11,970	5,669	0,128	4,677	9,649	0,859	2,145	0,144	01.02.00
	922	8,94—9,03 m	45,261	0,523	11,144	5,741	0,160	5,492	10,428	0,637	2,216	0,114	01.02.00
	923	9,25—9,38 m	70,537	0,260	3,760	3,517	0,073	6,882	5,485	0,473	0,601	0,040	01.02.00
	924	9,97—10,10 m	60,102	0,820	12,675	5,411	0,124	2,886	4,560	1,458	2,281	0,128	01.02.00
	938	10,75—10,90 m	50,794	0,743	14,713	6,653	0,118	3,911	4,757	0,692	2,541	0,138	01.02.00



Tab. 24: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Höhle und Çiplak sowie Probe R6: Hauptelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen, Werte für R6 aus KNACKE-LOY 1994, für R6 bei KNACKE-LOY 1994 keine Nachweisgrenzen angegeben; k. A.: keine Angaben).

Bohrung	Probe HDS	mittlere Teufe	SiO <sub>2</sub> [M.-%]	TiO <sub>2</sub> [M.-%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [M.-%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [M.-%]	MnO [M.-%]	MgO [M.-%]	CaO [M.-%]	Na <sub>2</sub> O [M.-%]	K <sub>2</sub> O [M.-%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [M.-%]	Melddatum
Höhle	925	1,63—1,75 m	57,496	0,754	13,662	5,809	0,135	2,808	5,984	1,619	2,415	0,148	01.02.00
	937	2,10—2,25 m	71,098	0,476	11,845	3,979	0,080	1,355	3,074	1,956	3,277	0,109	02.02.00
	926	2,28—2,35 m	57,846	0,686	14,531	5,800	0,174	2,631	4,406	1,406	2,685	0,176	01.02.00
	927	3,50—3,67 m	70,486	0,478	11,845	3,891	0,079	1,336	3,228	1,815	3,249	0,109	07.12.00
	928	3,70—3,79 m	56,829	0,454	10,736	3,800	0,100	2,946	10,133	1,114	2,367	0,440	07.12.00
	929	4,50—4,63 m	53,968	0,320	7,428	2,409	0,068	2,835	14,764	1,025	2,133	0,602	07.12.00
	930	5,45—5,55 m	46,878	0,355	7,629	2,729	0,067	3,073	15,578	1,006	1,975	0,898	01.02.00
	931	5,73—5,80 m	50,878	0,386	8,516	2,847	0,078	3,316	13,972	1,047	2,199	0,764	01.02.00
	932	6,53—6,65 m	51,869	0,490	10,487	3,829	0,082	3,240	11,182	1,065	2,444	0,515	01.02.00
	933	7,62—7,70 m	58,354	0,755	11,447	4,775	0,088	2,544	8,451	1,497	2,220	0,201	01.02.00
Çiplak	935	8,75—8,87 m	76,347	0,404	9,019	3,230	0,058	1,477	2,653	1,579	2,627	0,108	02.02.00
	936	10,45—10,60	65,955	0,442	8,704	2,327	0,070	2,332	7,849	1,573	2,247	0,104	02.02.00
	749	1,82—1,90 m	66,324	0,273	7,321	1,802	0,106	2,364	8,585	0,877	2,600	0,052	26.05.99
	750	2,60—2,70 m	50,313	0,344	7,702	2,562	0,119	3,119	15,605	0,921	1,944	0,530	26.05.99
	751	3,50—3,63 m	62,633	0,506	9,457	2,828	0,087	2,083	8,157	1,194	2,284	0,123	26.05.99
	752	5,50—5,68 m	56,308	0,506	9,793	3,167	0,071	1,389	11,848	0,893	2,165	0,071	26.05.99
Akköy	753	6,31—6,39 m	50,082	0,521	10,374	3,454	0,081	1,774	14,332	0,706	1,960	0,065	26.05.99
	R6	k. A.	45,95	0,641	15,000	6,590	0,105	3,820	10,60	0,510	2,82	0,206	k. A.

Tab. 25: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Dümrek und Theater: Nebenelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen; un: unter der Nachweisgrenze).

Bohrung	Probe HDS	mittlere Teufe	Ba [µg/g]	Cr [µg/g]	Nb [µg/g]	Ni [µg/g]	Rb [µg/g]	Sr [µg/g]	V [µg/g]	Y [µg/g]	Zn [µg/g]	Zr [µg/g]	H <sub>2</sub> O [M.-%]	Meßdatum
Dümrek	754	2,38—2,42 m	361	408	8	460	70	202	100	22	78	124	17,27	26.05.99
	756	2,72—2,80 m	370	410	11	303	60	192	82	19	58	128	14,14	26.05.99
	757	3,80—4,03 m	276	392	8	194	35	154	44	15	42	102	7,59	26.05.99
	758	4,55—4,65 m	324	474	11	372	52	176	79	20	54	152	10,69	26.05.99
	759	7,40—7,50 m	308	504	6	256	42	148	60	15	45	76	10,16	26.05.99
	760	7,63—7,71 m	498	156	11	152	104	246	117	28	86	183	12,91	26.05.99
Theater	909	0,54—0,67 m	382	408	5	360	80	147	121	23	79	123	17,12	01.02.00
	910	1,54—1,66 m	382	465	8	472	88	162	124	26	94	106	18,09	01.02.00
	911	2,35—2,46 m	536	243	12	233	95	273	122	27	88	169	13,44	01.06.01
	912	3,20—3,33 m	540	157	9	153	110	241	136	26	105	139	15,17	01.02.00
	913	3,83—3,87 m	526	158	11	142	114	231	143	28	104	138	16,04	01.02.00
	914	4,70—4,83 m	479	251	9	235	108	238	127	28	101	133	16,61	01.02.00
	915	5,48—5,60 m	419	365	10	373	76	373	106	21	68	126	18,15	01.02.00
	916	5,93—6,05 m	538	179	8	167	85	475	95	25	74	179	14,01	01.06.01
	917	6,20—6,32 m	535	193	10	116	89	336	109	29	67	212	9,13	01.02.00
	918	6,63—6,77 m	577	163	11	113	99	415	111	29	105	192	11,70	01.02.00
	919	6,93—7,05 m	623	181	9	128	104	391	99	25	82	153	12,67	01.02.00
	920	7,52—7,65 m	554	135	8	127	103	427	92	27	78	160	13,73	01.02.00
	921	8,25—9,03 m	422	217	6	201	89	388	96	24	79	139	15,96	01.02.00
	922	8,94—9,03 m	377	265	5	250	91	385	86	21	66	110	17,35	01.02.00
	923	9,25—9,38 m	162	758	un	413	un	103	43	10	35	57	6,18	01.02.00
	924	9,97—10,10 m	476	196	12	159	93	290	112	30	76	213	7,58	01.02.00
	938	10,75—10,90 m	468	222	14	231	110	249	115	30	93	163	13,97	01.02.00

Tab. 26: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse für die Proben der Bohrungen Höhle und Çıplak sowie Probe R6: Nebenelemente (Nachweisgrenzen sind Tab. 19 bis Tab. 22 zu entnehmen, Werte für R6 aus KNACKE-LOY 1994, für R6 bei KNACKE-LOY 1994 keine Nachweisgrenzen angegeben; k. A.: keine Angaben, un: unter der Nachweisgrenze).

Bohrung	Probe HDS	mittlere Teufe	Ba [µg/g]	Cr [µg/g]	Nb [µg/g]	Ni [µg/g]	Rb [µg/g]	Sr [µg/g]	V [µg/g]	Y [µg/g]	Zn [µg/g]	Zr [µg/g]	H <sub>2</sub> O [M.-%]	Meßdatum
Höhle	925	1,63—1,75 m	626	150	10	93	91	332	123	27	77	243	8,79	01.02.00
	937	2,10—2,25 m	870	170	6	57	108	352	85	20	45	196	2,70	02.02.00
	926	2,28—2,35 m	614	126	8	127	105	289	114	26	76	178	9,22	01.02.00
	927	3,50—3,67 m	842	104	8	38	108	356	86	18	42	192	2,77	07.12.00
	928	3,70—3,79 m	662	108	7	80	83	318	78	20	62	134	10,97	07.12.00
	929	4,50—4,63 m	702	110	un	46	65	362	44	15	45	156	13,58	07.12.00
	930	5,45—5,55 m	661	106	un	65	68	413	58	17	69	126	19,60	01.02.00
	931	5,73—5,80 m	647	112	6	56	74	379	59	15	67	137	16,35	01.02.00
	932	6,53—6,65 m	580	94	7	71	91	391	74	23	76	125	14,86	01.02.00
	933	7,62—7,70 m	521	194	9	103	87	415	102	25	61	249	9,76	01.02.00
Çıplak	935	8,75—8,87 m	721	227	6	91	93	294	69	14	35	130	2,08	02.02.00
	936	10,45—10,60	682	137	6	55	77	378	50	21	32	263	8,67	02.02.00
	749	1,82—1,90 m	844	un	6	22	86	302	47	14	26	110	10,03	26.05.99
	750	2,60—2,70 m	668	83	8	52	64	350	49	14	50	140	17,24	26.05.99
	751	3,50—3,63 m	686	342	10	40	80	254	57	20	45	250	10,89	26.05.99
Akköy	752	5,50—5,68 m	706	74	8	36	79	202	62	20	44	224	14,18	26.05.99
	753	6,31—6,39 m	496	67	8	42	76	192	69	21	70	177	17,16	26.05.99
	R6	k. A.	288	173	10	127	108	238	114	28	102	130	k. A.	k. A.

Tab. 27: Glühverlust (Wert für R6 aus KNACKE-LOY 1994, k. A.: keine Angaben).

Bohrung	Probe HDS	$m_B$ [g]	$m_B+m_{Pr}$ [g]	$m_{Pr}$ [g]	$m_B+m_{PrG}$ [g]	GV [g]	Massenverlust [%]
Dümrek	754	11,8409	12,8409	1,00002	12,65424	0,18670	18,67
	756	14,7174	15,7174	0,99999	15,56895	0,14846	14,85
	757	11,4937	12,4937	1,00000	12,41374	0,07992	7,99
	758	12,9093	13,9095	1,00018	13,79156	0,11796	11,80
	759	12,6643	13,6643	0,99999	13,55974	0,10456	10,46
	760	13,0109	14,0109	0,99998	13,8687	0,14215	14,21
Theater	909	10,9954	11,9954	1,00000	11,8192	0,17620	17,62
	910	10,3272	11,3272	1,00000	11,1414	0,18580	18,58
	911	10,4007	11,4007	1,00000	11,2655	0,13520	13,52
	912	11,6195	12,6196	1,00010	12,4629	0,15670	15,67
	913	10,4441	11,4441	1,00000	11,2784	0,16570	16,57
	914	11,4893	12,4893	1,00000	12,3182	0,17110	17,11
	915	10,9185	11,9189	1,00040	11,7324	0,18650	18,65
	916	12,2101	13,2104	1,00030	13,0658	0,14460	14,46
	917	11,2881	12,2881	1,00000	12,1918	0,09630	9,63
	918	11,1973	12,1974	1,00010	12,0754	0,12200	12,20
	919	11,0336	12,0336	1,00000	11,9019	0,13170	13,17
	920	11,9128	12,9128	1,00000	12,7705	0,14230	14,23
	921	12,2044	13,2047	1,00030	13,0401	0,16460	16,46
	922	12,5348	13,5349	1,00010	13,3564	0,17850	17,85
	923	13,0563	14,0565	1,00020	13,9897	0,06680	6,68
	924	12,0668	13,0671	1,00030	12,9863	0,08080	8,08
	938	14,0752	15,0753	1,00010	14,9844	0,09090	9,09
Höhle	925	12,2229	13,2229	1,00000	13,1300	0,09290	9,29
	926	14,6934	15,6937	1,00030	15,5965	0,09720	9,72
	937	10,4048	11,4048	1,00000	11,3729	0,03190	3,19
	927	12,1902	13,1902	1,00000	13,1646	0,02560	2,56
	928	10,4383	11,4384	1,00010	11,3287	0,10970	10,97
	929	12,0552	13,0554	1,00020	12,9196	0,1358	13,58
	930	10,4065	11,4065	1,00000	11,2055	0,20100	20,10
	931	12,6196	13,6198	1,00020	13,4513	0,16850	16,85
	932	15,1706	16,1709	1,00030	16,0173	0,15360	15,36
	933	11,8095	12,8095	1,00000	12,7069	0,10260	10,26
	935	12,2220	13,2201	0,99809	13,1943	0,02580	2,58
	936	12,8888	13,8888	1,00000	13,7961	0,09270	9,27
Çıplak	749	12,6961	13,6961	1,00004	13,59179	0,10435	10,44
	750	12,3873	13,3873	1,00001	13,20891	0,17840	17,84
	751	12,6860	13,6860	0,99999	13,57139	0,11458	11,46
	752	12,2404	13,2405	1,00002	13,06183	0,17864	17,86
	753	10,4543	11,4543	1,00000	11,30653	0,14779	14,78
Akköy	R6	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	13,89

Tab. 28: Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Dümrek ( $n$ : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert,  $s$ : Standardabweichung).

Element	$n$	Bohrung Dümrek				$s$
		Mittelwert [M.-%]	Median [M.-%]	Min [M.-%]	Max [M.-%]	
SiO <sub>2</sub>	6	57,59	56,77	44,6	70,5	9,25
TiO <sub>2</sub>	6	0,57	0,60	0,42	0,73	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	9,35	9,30	5,56	13,8	3,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	4,69	4,68	2,8	6,35	1,38
MnO	6	0,14	0,16	0,08	0,17	0,04
MgO	6	4,64	4,61	3,47	6,17	1,04
CaO	6	8,28	7,85	6,89	10,5	1,44
Na <sub>2</sub> O	6	0,91	0,86	0,64	1,16	0,20
K <sub>2</sub> O	6	1,56	1,53	1,04	2,39	0,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6	0,09	0,08	0,07	0,15	0,03
Ba	6	356,2	343	276	498	77,61
Cr	6	390,7	409	156	504	122,91
Nb	6	9,2	10	6	11	2,14
Ni	6	289,5	280	152	460	114,20
Rb	6	60,5	56	35	104	24,69
Sr	6	186,3	184	148	246	35,94
V	6	80,3	81	44	117	26,34
Y	6	19,8	20	15	28	4,88
Zn	6	60,5	56	42	86	17,82
Zr	6	127,5	126	76	183	37,40

Tab. 29: Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Theater ( $n$ : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert,  $s$ : Standardabweichung).

Element	$n$	Bohrung Theater				$s$
		Mittelwert [M.-%]	Median [M.-%]	Min [M.-%]	Max [M.-%]	
SiO <sub>2</sub>	17	51,40	50,79	43,2	70,5	6,87
TiO <sub>2</sub>	17	0,66	0,66	0,26	0,82	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	12,89	12,82	3,76	16,9	2,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	6,07	5,74	3,52	7,75	1,10
MnO	17	0,15	0,15	0,07	0,22	0,03
MgO	17	4,60	4,33	2,89	6,88	1,20
CaO	17	6,78	6,53	3,83	10,4	2,07
Na <sub>2</sub> O	17	0,90	0,81	0,47	1,52	0,31
K <sub>2</sub> O	17	2,09	2,20	0,6	2,54	0,43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17	0,13	0,13	0,04	0,19	0,04
Ba	17	470,4	479	162	623	108,16
Cr	17	268,0	217	135	758	156,72
Nb	17	9,2	9	5	14	2,54
Ni	17	227,8	201	113	472	112,08
Rb	17	95,9	94	76	114	11,42
Sr	17	301,4	290	103	475	107,99
V	17	108,1	111	43	143	22,95
Y	17	25,2	26	10	30	4,82
Zn	17	82,0	79	35	105	18,07
Zr	17	147,8	139	57	213	39,64

Tab. 30: Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Höhle ( $n$ : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert,  $s$ : Standardabweichung).

Element	$n$	Bohrung Höhle				$s$
		Mittelwert [M.-%]	Median [M.-%]	Min [M.-%]	Max [M.-%]	
SiO <sub>2</sub>	12	59,83	57,67	46,9	76,3	9,13
TiO <sub>2</sub>	12	0,50	0,47	0,32	0,76	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	10,49	10,61	7,43	14,5	2,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	3,79	3,81	2,33	5,81	1,19
MnO	12	0,09	0,08	0,06	0,17	0,03
MgO	12	2,49	2,72	1,34	3,32	0,72
CaO	12	8,44	8,15	2,65	15,6	4,71
Na <sub>2</sub> O	12	1,39	1,45	1,01	1,96	0,33
K <sub>2</sub> O	12	2,49	2,39	1,98	3,28	0,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12	0,35	0,19	0,1	0,9	0,29
Ba	12	677,3	662	521	870	99,43
Cr	12	136,5	119	94	227	41,36
Nb	12	7,3	7	6	10	1,42
Ni	12	73,5	68	38	127	26,07
Rb	12	87,5	89	65	108	14,77
Sr	12	356,6	359	289	415	41,96
V	12	78,5	76	44	123	24,87
Y	12	20,1	20	14	27	4,46
Zn	12	57,3	62	32	77	16,59
Zr	12	177,4	167	125	263	51,28

Tab. 31: Statistische Auswertung der Haupt- und Nebenelementgehalte Bohrung Çıplak ( $n$ : Anzahl der Proben, Min: Minimalwert, Max: Maximalwert,  $s$ : Standardabweichung).

Element	$n$	Bohrung Çıplak				$s$
		Mittelwert [M.-%]	Median [M.-%]	Min [M.-%]	Max [M.-%]	
SiO <sub>2</sub>	5	57,13	56,31	50,1	66,3	7,27
TiO <sub>2</sub>	5	0,43	0,51	0,27	0,52	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	8,93	9,46	7,32	10,4	1,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	2,76	2,83	1,8	3,45	0,63
MnO	5	0,09	0,09	0,07	0,12	0,02
MgO	5	2,15	2,08	1,39	3,12	0,65
CaO	5	11,71	11,85	8,16	15,6	3,33
Na <sub>2</sub> O	5	0,92	0,89	0,71	1,19	0,18
K <sub>2</sub> O	5	2,19	2,17	1,94	2,6	0,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	0,17	0,07	0,05	0,53	0,20
Ba	5	680,0	686	496	844	124,10
Cr	5	141,5	79	67	342	133,83
Nb	5	8,0	8	6	10	1,41
Ni	5	38,4	40	22	52	10,90
Rb	5	77,0	79	64	86	8,12
Sr	5	260,0	254	192	350	66,87
V	5	56,8	57	47	69	9,12
Y	5	17,8	20	14	21	3,49
Zn	5	47,0	45	26	70	15,75
Zr	5	180,2	177	110	250	57,76



Tab. 32: Rotierte Komponentenmatrix der Hauptfaktorenanalyse (Methode: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax mit Kaiser Normalisierung, konvergierend nach 6 Iterationen).

Element	Komponenten			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	-0,559	0,124	-0,802	$8,431 \cdot 10^{-2}$
TiO <sub>2</sub>	0,877	$-3,457 \cdot 10^{-2}$	$-7,418 \cdot 10^{-2}$	0,418
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,958	0,225	$-3,591 \cdot 10^{-2}$	$2,189 \cdot 10^{-2}$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,944	-0,280	$7,629 \cdot 10^{-3}$	-0,100
MnO	0,725	-0,383	0,159	$-4,297 \cdot 10^{-2}$
MgO	0,299	-0,809	0,263	-0,285
CaO	-0,464	$4,261 \cdot 10^{-2}$	0,853	$5,923 \cdot 10^{-2}$
Na <sub>2</sub> O	$-4,947 \cdot 10^{-2}$	0,643	-0,527	0,288
K <sub>2</sub> O	0,328	0,867	-0,233	$-9,444 \cdot 10^{-2}$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,292	0,426	0,623	-0,208
Ba	-0,150	0,922	-0,129	$-5,315 \cdot 10^{-2}$
Cr	$-8,357 \cdot 10^{-2}$	-0,910	-0,223	-0,101
Nb	0,623	$-4,926 \cdot 10^{-2}$	-0,154	0,580
Ni	0,296	-0,873	$1,304 \cdot 10^{-2}$	-0,194
Rb	0,733	0,634	-0,121	$-7,742 \cdot 10^{-2}$
Sr	$6,602 \cdot 10^{-2}$	0,701	0,233	$7,857 \cdot 10^{-3}$
V	0,973	$-3,575 \cdot 10^{-2}$	$-7,549 \cdot 10^{-2}$	$7,547 \cdot 10^{-3}$
Y	0,896	0,129	$1,114 \cdot 10^{-2}$	0,325
Zn	0,881	$-4,188 \cdot 10^{-2}$	0,327	$-3,282 \cdot 10^{-2}$
Zr	0,146	0,540	-0,191	0,722
H <sub>2</sub> O	0,294	-0,191	0,901	-0,101

Tab. 33: Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope für alle vier Bohrungen [Signifikanzniveaus:  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  organisches Material,  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des Karbonats,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cc}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].

Element	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>	Ba	Cl	Nb	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	H <sub>2</sub> O	Teufe	δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	δ <sup>18</sup> O VPDB	δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB
SiO <sub>2</sub>	–	-0.38	-0.49	-0.58	-0.59	-0.50	-0.44	0.55	0.08	-0.26	0.28	0.15	-0.18	-0.33	-0.13	-0.11	-0.49	-0.46	-0.73	0.17	-0.94	0.35	-0.30	-0.23	0.20
TiO <sub>2</sub>	1.4E-02	–	0.83	0.80	0.62	0.16	-0.45	0.13	0.21	-0.36	-0.22	-0.14	0.66	0.21	0.50	0.09	0.88	0.94	0.76	0.42	0.12	0.80	-0.07	-0.23	-0.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.4E-03	3.9E-11	–	0.85	0.56	0.06	-0.46	0.09	0.51	-0.22	0.08	-0.35	0.45	0.06	0.83	0.13	0.94	0.89	0.83	0.30	0.22	0.37	0.00	-0.21	-0.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.4E-05	5.1E-10	4.1E-12	–	0.76	0.54	-0.45	-0.24	0.07	-0.35	-0.40	0.14	0.41	0.55	0.53	-0.14	0.95	0.78	0.85	-0.06	0.34	0.45	0.09	-0.11	-0.33
MnO	6.7E-05	1.8E-05	1.6E-04	9.8E-09	–	0.63	-0.17	-0.29	-0.09	-0.34	-0.40	0.24	0.34	0.60	0.17	-0.06	0.69	0.53	0.60	-0.13	0.42	0.07	0.18	0.12	-0.30
MgO	9.9E-04	3.2E-01	7.3E-01	3.5E-04	1.1E-05	–	0.03	-0.68	-0.64	-0.18	-0.81	0.72	0.10	0.91	-0.18	-0.31	0.28	0.08	0.36	-0.61	0.48	0.91	0.30	0.31	0.10
CaO	4.8E-03	3.2E-03	2.6E-03	3.8E-03	2.9E-01	8.7E-01	–	-0.35	-0.28	0.62	0.01	-0.20	-0.31	-0.14	-0.57	0.18	0.51	-0.40	-0.17	-0.15	0.63	0.69	0.22	0.34	0.14
Na <sub>2</sub> O	2.4E-04	4.2E-01	5.7E-01	1.3E-01	7.3E-02	1.4E-06	2.5E-02	–	0.63	0.04	0.63	-0.44	0.01	-0.53	0.26	0.46	0.00	0.12	-0.26	0.69	-0.70	0.92	-0.36	-0.41	0.08
K <sub>2</sub> O	6.4E-01	2.0E-01	7.2E-04	6.8E-01	5.9E-01	1.0E-05	8.3E-02	1.1E-05	–	0.10	0.81	-0.73	-0.05	-0.60	0.80	0.55	0.28	0.35	0.13	0.51	-0.24	0.65	-0.19	-0.31	-0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.0E-01	2.1E-02	1.7E-01	2.6E-02	3.4E-02	2.6E-01	1.8E-05	8.1E-01	5.5E-01	–	0.32	-0.44	-0.17	-0.38	-0.16	0.43	-0.30	-0.25	0.03	-0.10	0.33	0.79	0.01	0.08	0.33
Ba	8.1E-02	1.7E-01	6.4E-01	9.6E-03	9.8E-03	2.8E-10	9.3E-01	1.2E-05	1.6E-10	4.1E-02	–	-0.78	-0.20	-0.82	0.38	0.54	-0.17	-0.08	-0.25	0.49	-0.29	0.26	-0.20	-0.19	-0.04
Cr	3.8E-01	4.1E-01	3.0E-02	3.8E-01	1.5E-01	2.4E-07	2.3E-01	4.6E-03	1.0E-07	5.0E-03	6.7E-09	–	0.04	0.83	-0.47	-0.64	-0.08	-0.29	-0.18	-0.53	-0.07	0.93	0.14	0.14	0.17
Nb	3.0E-01	1.0E-05	5.5E-03	1.1E-02	4.1E-02	5.4E-01	6.6E-02	9.7E-01	7.5E-01	3.0E-01	2.3E-01	8.3E-01	–	0.15	0.21	-0.14	0.48	0.59	0.46	0.30	0.05	0.93	-0.07	-0.15	-0.46
Ni	4.0E-02	2.0E-01	6.9E-01	2.3E-04	3.6E-05	9.2E-16	4.0E-01	3.9E-04	5.1E-05	1.5E-02	1.3E-10	6.3E-11	3.7E-01	–	-0.21	-0.53	0.31	0.08	0.26	-0.52	0.28	0.60	0.15	0.18	0.08
Rb	4.5E-01	1.2E-03	9.4E-11	5.2E-04	2.9E-01	2.8E-01	1.7E-04	1.0E-01	6.8E-10	3.4E-01	1.6E-02	3.2E-03	2.1E-01	2.1E-01	–	0.31	0.66	0.65	0.53	0.29	-0.11	0.85	-0.11	-0.28	-0.31
Sr	4.9E 01	5.9E 01	4.1E 01	3.9E 01	7.0E 01	4.9E 02	2.8E 01	3.0E 03	2.7E 04	5.5E 03	3.5E 04	1.0E 05	4.1E-01	4.6E-04	5.7E-02	–	-0.01	0.17	0.06	0.37	0.02	0.14	-0.04	-0.06	0.13
V	1.4E-03	1.2E-13	6.4E-19	4.6E-20	1.0E-06	7.5E-02	6.7E-04	1.0E+00	7.8E-02	6.1E-02	2.9E-01	6.2E-01	2.7E-03	4.9E-02	5.2E-06	9.3E-01	–	0.86	0.85	0.16	0.21	0.32	-0.03	-0.24	-0.40
Y	3.2E-03	7.0E-19	3.0E-14	4.3E-09	4.3E-04	6.1E-01	1.0E-02	4.5E-01	2.5E-02	1.3E-01	6.3E-01	7.1E-02	1.2E-04	6.2E-01	6.5E-06	2.8E-01	1.0E-12	–	0.81	0.44	0.20	0.64	-0.04	-0.15	-0.42
Zn	7.5E-08	1.6E-08	3.1E-11	2.5E-12	4.4E-05	2.2E-02	2.8E-01	1.1E-01	4.4E-01	8.7E-01	1.2E-01	2.7E-01	4.4E-03	1.1E-01	5.5E-04	7.1E-01	5.9E-12	3.1E-10	–	-0.02	0.54	0.67	0.15	-0.06	-0.37
Zr	3.1E-01	7.6E-03	6.3E-02	7.1E-01	4.1E-01	3.2E-05	3.5E-01	9.4E-07	7.7E-04	5.4E-01	1.4E-03	5.6E-04	7.0E-02	5.7E-04	7.2E-02	1.8E-02	3.4E-01	4.9E-03	9.3E-01	–	-0.29	0.57	-0.20	-0.20	-0.24
H <sub>2</sub> O	4.0E-19	4.5E-01	1.7E-01	3.0E-02	6.6E-03	1.8E-03	1.5E-05	5.5E-07	1.3E-01	3.5E-02	6.6E-02	6.6E-01	7.9E-01	8.0E-02	5.0E-01	9.0E-01	1.9E-01	2.1E-01	3.7E-04	7.2E-02	–	0.36	0.33	0.37	-0.14
Teufe	3.5E-01	8.0E-01	3.7E-01	4.5E-01	7.5E-02	9.1E-01	6.9E-01	9.2E-01	6.5E-01	7.9E-01	2.6E-01	9.3E-01	9.3E-01	6.0E-01	8.5E-01	1.4E-01	3.2E-01	6.4E-01	6.7E-01	5.7E-01	3.6E-01	–	-0.19	-0.12	0.22
δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	5.6E-02	6.8E-01	1.0E+00	5.9E-01	2.7E-01	5.6E-02	1.7E-01	2.1E-02	2.4E-01	9.3E-01	2.1E-01	4.0E-01	6.5E-01	3.6E-01	4.9E-01	8.2E-01	8.6E-01	7.9E-01	3.5E-01	2.2E-01	3.6E-02	2.4E-01	–	0.51	-0.05
δ <sup>18</sup> O VPDB	1.5E-01	1.5E-01	1.9E-01	5.0E-01	4.6E-01	4.8E-02	3.4E-02	8.2E-03	4.9E-02	6.3E-01	2.5E-01	4.0E-01	3.5E-01	2.8E-01	8.5E-02	7.0E-01	1.4E-01	3.7E-01	7.1E-01	2.2E-01	1.7E-02	4.4E-01	6.9E-04	–	0.32
δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB	2.1E-01	2.1E-03	7.2E-03	3.8E-02	6.2E-02	5.5E-01	3.8E-01	6.1E-01	4.6E-01	3.7E-02	8.1E-01	2.9E-01	2.9E-03	6.1E-01	4.8E-02	4.4E-01	1.0E-02	7.4E-03	1.8E-02	1.3E-01	3.9E-01	1.7E-01	7.4E-01	4.6E-02	–

Tab. 34: Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Dümrek [Signifikanzniveaus:  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  organisches Material,  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des Karbonats,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].

Element	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>	Ba	Cl	Nb	Zr	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	H <sub>2</sub> O	Teufe	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ PDB	$\delta^{18}\text{O}$ VPDB	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ VPDB
SiO <sub>2</sub>	–	-0,75	-0,88	-0,96	-0,93	-0,53	-0,67	-0,23	-0,74	-0,56	-0,64	0,34	-0,35	-0,54	-0,73	-0,75	-0,88	-0,73	-0,87	-0,52	-0,97	0,27	-0,24	0,68	0,31
TiO <sub>2</sub>	8,7E-02	–	0,93	0,87	0,85	0,08	0,07	0,78	0,93	0,87	0,86	-0,70	0,77	0,10	0,90	0,94	0,93	0,96	0,88	0,95	0,59	0,04	0,17	-0,69	-0,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0E-02	6,9E-03	–	0,96	0,88	0,15	0,27	0,51	0,97	0,87	0,91	-0,71	0,56	0,13	0,96	0,97	0,99	0,96	0,98	0,80	0,77	0,04	0,01	-0,86	-0,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1E-03	2,5E-02	5,5E-03	–	0,92	0,42	0,45	0,41	0,87	0,75	0,77	-0,51	0,43	0,38	0,86	0,87	0,96	0,88	0,95	0,68	0,88	-0,07	0,12	-0,76	-0,46
MnO	7,3E-03	3,4E-02	2,2E-02	9,7E-03	–	0,46	0,54	0,44	0,78	0,58	0,69	-0,32	0,62	0,48	0,73	0,77	0,89	0,77	0,80	0,68	0,87	-0,19	0,46	-0,63	-0,21
MgO	2,8E-01	8,8E-01	7,8E-01	4,1E-01	3,6E-01	–	0,73	-0,14	-0,07	-0,21	-0,20	0,54	-0,19	0,95	-0,08	-0,09	0,21	0,00	0,16	-0,13	0,58	-0,37	0,55	0,13	0,50
CaO	1,4E-01	8,9E-01	6,1E-01	3,7E-01	2,7E-01	1,0E-01	–	-0,37	0,04	-0,23	-0,07	0,35	-0,09	0,82	0,01	0,06	0,25	0,00	0,25	-0,19	0,81	-0,69	0,45	-0,10	0,28
Na <sub>2</sub> O	6,7E-01	6,7E-02	3,1E-01	4,3E-01	3,8E-01	7,9E-01	4,7E-01	–	0,57	0,64	0,50	-0,52	0,84	-0,08	0,53	0,59	0,51	0,67	0,44	0,91	0,02	0,08	0,27	-0,19	-0,20
K <sub>2</sub> O	9,2E-02	7,4E-03	1,6E-03	2,6E-02	6,9E-02	9,0E-01	9,4E-01	2,4E-01	–	0,95	0,98	-0,83	0,61	-0,11	0,99	0,99	0,96	0,98	0,94	0,85	0,60	0,23	-0,11	-0,91	-0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,5E-01	2,3E-02	2,4E-02	8,9E-02	2,2E-01	6,9E-01	6,7E-01	1,7E-01	3,4E-03	–	–	–	0,53	-0,29	0,97	0,94	0,87	0,96	0,88	0,86	0,38	0,41	-0,30	-0,84	-0,83
Ba	1,7E-01	3,0E-02	1,2E-02	7,1E-02	1,3E-01	7,0E-01	9,0E-01	3,1E-01	5,1E-04	3,7E-03	–	-0,86	0,56	-0,27	0,98	0,96	0,91	0,94	0,88	0,80	0,51	0,37	-0,21	-0,94	-0,82
Cr	5,1E-01	1,2E-01	1,1E-01	3,0E-01	5,3E-01	2,7E-01	5,0E-01	2,9E-01	4,0E-02	1,3E-02	2,7E-02	–	-0,47	0,55	-0,85	-0,85	-0,66	-0,66	-0,74	-0,74	-0,19	-0,34	0,52	0,78	0,93
Nb	4,9E-01	7,1E-02	2,4E-01	3,9E-01	1,9E-01	7,2E-01	8,6E-01	3,5E-02	2,0E-01	2,8E-01	2,5E-01	3,4E-01	–	-0,05	0,53	0,63	0,54	0,62	0,42	0,86	0,22	-0,13	0,47	-0,31	-0,16
Ni	2,7E-01	0,8558	8,1E-01	4,5E-01	3,4E-01	4,3E-03	4,8E-02	8,7E-01	0,835	0,58	6,1E-01	0,261	9,3E-01	–	-0,14	-0,09	0,16	-0,05	0,12	-0,10	0,61	-0,64	0,67	0,23	0,58
Rb	1,0E-01	0,0148	2,7E-03	2,9E-02	9,8E-02	8,8E-01	9,8E-01	2,8E-01	4,01E-03	0,00177	4,3E-04	0,0322	2,8E-01	7,9E-01	–	0,98	0,95	0,98	0,95	0,82	0,59	0,29	-0,20	-0,93	-0,80
Sr	8,6E-02	0,00616	1,3E-03	2,6E-02	7,6E-02	8,7E-01	9,0E-01	2,2E-01	0,00012	0,00508	2,4E-03	0,0303	1,8E-01	8,6E-01	4,1E-04	–	0,94	0,98	0,95	0,86	0,62	0,13	-0,12	-0,88	-0,75
V	2,1E-02	7,3E-03	1,9E-04	1,8E-03	1,7E-02	0,685	6,4E-01	3,0E-01	2,4E-03	2,4E-02	1,3E-02	1,5E-01	2,7E-01	7,7E-01	3,4E-03	4,5E-03	–	0,96	0,97	0,79	0,76	0,12	0,04	-0,85	-0,60
Y	9,9E-02	2,2E-03	2,7E-03	2,2E-02	7,6E-02	0,99599	9,9E-01	1,4E-01	5,9E-04	1,9E-03	5,9E-03	4,9E-02	1,9E-01	9,3E-01	8,4E-04	7,6E-04	2,8E-03	–	0,95	0,90	0,57	0,21	-0,08	-0,83	-0,70
Zn	2,6E-02	2,0E-02	5,9E-04	3,1E-03	5,7E-02	0,762	6,4E-01	3,8E-01	4,9E-03	2,0E-02	2,0E-02	9,6E-02	4,0E-01	8,3E-01	3,6E-03	3,7E-03	1,6E-03	4,1E-03	–	0,74	0,76	0,07	-0,14	-0,86	-0,70
Zr	2,9E-01	3,0E-03	5,6E-02	1,4E-01	1,4E-01	8,1E-01	7,2E-01	1,1E-02	0,0308	2,9E-02	5,7E-02	9,6E-02	2,7E-02	8,6E-01	4,7E-02	2,7E-02	0,0597	1,4E-02	9,3E-02	–	0,33	0,12	0,15	-0,57	-0,48
H <sub>2</sub> O	1,1E-03	2,2E-01	7,1E-02	2,2E-02	2,6E-02	2,2E-01	4,9E-02	9,7E-01	0,204	4,6E-01	3,0E-01	7,1E-01	6,7E-01	2,0E-01	2,2E-01	1,9E-01	0,0793	2,4E-01	8,2E-02	5,3E-01	–	-0,38	0,26	-0,60	-0,22
Teufe	6,1E-01	9,4E-01	9,5E-01	8,9E-01	7,2E-01	4,7E-01	1,3E-01	8,8E-01	6,6E-01	4,2E-01	4,7E-01	5,2E-01	8,0E-01	1,7E-01	5,8E-01	8,0E-01	8,2E-01	6,8E-01	8,9E-01	8,2E-01	4,6E-01	–	-0,52	-0,36	-0,47
$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ PDB	6,5E-01	7,4E-01	9,9E-01	8,1E-01	3,6E-01	2,6E-01	3,7E-01	6,1E-01	8,3E-01	5,6E-01	6,8E-01	2,9E-01	3,4E-01	1,4E-01	7,0E-01	8,2E-01	9,4E-01	8,7E-01	8,0E-01	7,8E-01	6,2E-01	2,9E-01	–	-0,03	0,72
$\delta^{18}\text{O}$ VPDB	1,4E-01	1,3E-01	2,7E-02	8,0E-02	1,8E-01	8,0E-01	8,5E-01	7,1E-01	0,012629	3,4E-02	4,7E-03	6,6E-02	5,6E-01	6,6E-01	7,8E-03	2,1E-02	0,030105	4,3E-02	2,6E-02	2,4E-01	2,0E-01	4,9E-01	9,5E-01	–	0,85
$\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ VPDB	5,4E-01	3,1E-01	1,7E-01	3,6E-01	6,9E-01	3,1E-01	6,0E-01	7,0E-01	8,5E-02	4,3E-02	4,6E-02	7,6E-03	7,6E-01	2,2E-01	5,7E-02	8,4E-02	2,1E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	3,3E-01	6,8E-01	3,5E-01	1,0E-01	3,0E-02

Tab. 35: Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Theater [Signifikanzniveaus:  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  organisches Material,  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des Karbonats,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].

Element	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>	Ba	Cl	Nb	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	H <sub>2</sub> O	Teufe	δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	δ <sup>18</sup> O VPDB	δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB
SiO <sub>2</sub>	–	-0,27	-0,62	-0,78	-0,70	-0,19	-0,43	0,35	-0,49	-0,25	-0,24	0,33	0,46	-0,15	0,14	-0,15	-0,60	-0,33	-0,57	0,11	-0,97	0,49	-0,12	-0,48	-0,07
TiO <sub>2</sub>	0,3	–	0,78	0,42	0,28	-0,79	-0,30	0,66	0,82	0,68	0,82	-0,83	0,72	-0,64	0,31	0,37	0,73	0,95	0,69	0,88	0,06	-0,15	-0,46	-0,31	-0,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00814	2,4E-04	–	0,83	0,32	-0,52	-0,34	0,16	0,81	0,70	0,72	-0,74	0,43	-0,45	0,81	0,10	0,93	0,84	0,92	0,44	0,49	-0,41	-0,15	0,09	-0,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1E-04	9,1E-02	3,9E-05	–	0,46	0,01	-0,18	-0,31	0,45	0,30	0,27	-0,28	0,07	0,11	0,33	-0,29	0,89	0,50	0,82	-0,03	0,73	-0,64	-0,04	0,35	-0,17
MnO	1,9E-03	2,8E-01	2,2E-01	6,5E-02	–	0,25	0,50	-0,06	0,24	0,00	0,26	-0,17	-0,21	0,21	-0,63	0,27	0,42	0,16	0,28	0,08	0,65	-0,55	-0,09	0,46	-0,12
MgO	4,8E-01	1,6E-04	3,1E-02	9,8E-01	3,4E-01	–	0,48	-0,79	-0,73	-0,75	-0,79	0,82	-0,47	0,90	-0,53	-0,40	-0,37	-0,77	-0,41	-0,86	0,36	-0,23	0,32	0,48	0,60
CaO	8,2E-02	2,4E-01	1,8E-01	4,9E-01	4,2E-02	5,0E-02	–	-0,20	-0,08	-0,25	-0,24	0,14	-0,71	0,34	-0,74	0,42	-0,35	-0,35	-0,36	-0,27	0,49	-0,01	0,18	0,27	0,41
Na <sub>2</sub> O	1,7E-01	4,0E-03	5,4E-01	2,3E-01	8,3E-01	1,7E-04	4,4E-01	–	0,45	0,52	0,64	-0,57	0,35	-0,68	-0,02	0,51	0,10	0,57	0,07	0,88	-0,52	0,20	-0,44	-0,56	-0,65
K <sub>2</sub> O	4,7E-02	4,9E-05	9,5E-05	7,1E-02	3,6E-01	8,9E-04	7,5E-01	6,7E-02	–	0,85	0,83	-0,91	0,43	-0,66	0,77	0,51	0,62	0,88	0,69	0,67	0,32	0,01	-0,20	-0,04	-0,43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,3E-01	2,6E-03	1,7E-03	2,4E-01	9,9E-01	4,8E-04	3,4E-01	3,3E-02	1,9E-05	–	0,86	-0,83	0,25	-0,74	0,72	0,45	0,49	0,75	0,70	0,57	0,11	-0,03	0,00	-0,01	-0,65
Ba	3,6E-01	5,0E-05	1,1E-03	3,0E-01	3,2E-01	1,7E-04	3,6E-01	5,5E-03	3,49E-05	8,6E-06	–	-0,91	0,45	-0,80	0,53	0,60	0,55	0,79	0,64	0,76	0,08	-0,13	-0,21	-0,04	-0,73
Cr	2,0E-01	3,5E-05	6,2E-04	2,7E-01	5,2E-01	5,5E-05	5,9E-01	1,6E-02	3,05E-07	4,5E-05	5,9E-07	–	-0,33	0,86	-0,61	-0,66	-0,54	-0,82	-0,61	-0,76	-0,16	-0,06	0,15	0,18	0,51
Nb	7,1E-02	1,6E-03	1,0E-01	8,0E-01	4,5E-01	6,7E-02	2,3E-03	1,9E-01	0,1	3,5E-01	8,2E-02	2,1E-01	–	-0,28	0,44	-0,10	0,38	0,73	0,37	0,56	-0,51	0,03	-0,40	-0,25	-0,52
Ni	5,8E-01	5,7E-03	7,2E-02	6,8E-01	4,2E-01	6,2E-07	1,9E-01	2,4E-03	3,9E-03	7,1E-04	1,0E-04	7,6E-06	2,9E-01	–	-0,53	-0,62	-0,22	-0,60	-0,36	-0,74	0,27	-0,28	0,10	0,37	0,53
Rb	6,1E-01	2,4E-01	1,4E-04	2,1E-01	8,9E-03	3,6E-02	1,1E-03	9,3E-01	4,5E-04	1,5E-03	3,5E-02	1,2E-02	8,9E-02	3,3E-02	–	-0,16	0,43	0,58	0,71	0,07	-0,15	-0,17	-0,11	0,04	-0,44
Sr	5,8E-01	1,5E-01	7,1E-01	2,6E-01	3,0E-01	1,1E-01	9,2E-02	3,5E-02	3,6E-02	6,9E-02	1,2E-02	3,9E-03	7,2E-01	8,1E-03	5,7E-01	–	-0,13	0,29	0,03	0,54	0,06	0,34	0,01	-0,08	-0,22
V	1,0E-02	8,1E-04	4,2E-08	1,8E-06	9,4E-02	1,5E-01	1,7E-01	7,0E-01	8,2E-03	4,8E-02	2,1E-02	2,6E-02	1,4E-01	0,39	9,7E-02	6,1E-01	–	0,75	0,87	0,36	0,48	-0,60	-0,24	0,07	-0,44
Y	2,0E-01	9,2E-09	3,0E-05	3,9E-02	5,5E-01	2,9E-04	1,7E-01	1,8E-02	3,2E-06	5,0E-04	1,5E-04	6,1E-05	1,2E-03	0,011	1,7E-02	2,5E-01	5,0E-04	–	0,76	0,80	0,13	-0,11	-0,42	-0,25	-0,54
Zn	1,7E-02	2,2E-03	1,4E-07	6,7E-05	2,9E-01	1,0E-01	1,5E-01	7,8E-01	2,4E-03	1,9E-03	5,7E-03	8,8E-03	1,7E-01	0,16	2,1E-03	9,1E-01	6,4E-06	4,4E-04	–	0,33	0,45	-0,42	0,01	0,17	-0,46
Zr	6,7E-01	2,7E-06	8,0E-02	8,9E-01	7,7E-01	8,4E-06	3,0E-01	2,9E-06	3,2E-03	1,8E-02	3,9E-04	3,8E-04	2,4E-02	6,1E-04	7,9E-01	2,6E-02	1,6E-01	1,2E-04	2,0E-01	–	-0,31	0,15	-0,54	-0,51	-0,58
H <sub>2</sub> O	5,6E-11	8,1E-01	4,8E-02	9,5E-04	4,5E-03	1,6E-01	4,6E-02	3,1E-02	2,2E-01	6,8E-01	7,5E-01	5,3E-01	4,5E-02	2,9E-01	5,9E-01	8,2E-01	5,0E-02	6,2E-01	6,9E-02	2,3E-01	–	-0,51	0,20	0,58	0,20
Teufe	4,5E-02	5,7E-01	9,8E-02	5,5E-03	2,2E-02	3,8E-01	9,8E-01	4,3E-01	9,6E-01	9,1E-01	6,1E-01	8,3E-01	9,0E-01	2,8E-01	5,2E-01	1,8E-01	1,2E-02	6,8E-01	9,7E-02	5,6E-01	3,7E-02	–	0,08	-0,43	0,26
δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	6,6E-01	6,2E-02	5,7E-01	8,9E-01	7,2E-01	2,1E-01	4,8E-01	7,7E-02	4,5E-01	9,9E-01	4,2E-01	5,7E-01	1,1E-01	7,1E-01	6,7E-01	9,7E-01	3,5E-01	9,5E-02	9,7E-01	2,5E-02	4,4E-01	7,7E-01	–	0,49	0,37
δ <sup>18</sup> O VPDB	5,1E-02	2,3E-01	7,3E-01	1,7E-01	6,3E-02	5,0E-02	2,9E-01	1,9E-02	8,8E-01	9,8E-01	8,8E-01	4,8E-01	3,2E-01	1,4E-01	8,8E-01	7,7E-01	7,8E-01	3,3E-01	5,1E-01	3,5E-02	1,5E-02	8,9E-02	4,7E-02	–	0,20
δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB	7,9E-01	6,4E-03	5,9E-02	5,2E-01	6,5E-01	1,1E-02	9,9E-02	4,4E-03	8,8E-02	4,8E-03	9,3E-04	3,5E-02	3,2E-02	3,0E-02	7,6E-02	3,9E-01	7,6E-02	2,6E-02	6,6E-02	1,4E-02	4,5E-01	3,2E-01	1,4E-01	4,5E-01	–

Tab. 36: Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Höhle [Signifikanzniveaus:  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  organisches Material,  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des Karbonats,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cc}}$ :  $\delta^{13}\text{C}$  Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].

Element	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>	Ba	Cl	Nb	Zr	Y	Zn	H <sub>2</sub> O	Teufe	δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	δ <sup>18</sup> O VPDB	δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB		
SiO <sub>2</sub>	–	0.03	0.22	0.04	-0.18	-0.94	-0.86	0.84	0.72	-0.82	0.63	0.63	-0.29	-0.06	0.62	-0.47	0.12	-0.14	-0.75	0.30	0.18	-0.61	0.06
TiO <sub>2</sub>	9.4E-01	–	0.84	0.91	0.73	0.01	-0.45	0.39	0.14	-0.53	-0.45	0.31	0.90	0.72	0.48	-0.14	0.92	0.90	0.46	0.62	0.28	-0.20	-0.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.0E-01	6.7E-04	–	0.95	0.83	-0.22	-0.67	0.53	0.55	-0.62	-0.05	0.13	0.73	0.59	0.80	-0.45	0.95	0.79	0.40	0.40	0.31	-0.34	-0.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.0E-01	4.0E-05	2.5E-06	–	0.85	-0.04	-0.52	0.37	0.33	-0.48	-0.27	0.19	0.83	0.73	0.65	-0.39	0.99	0.82	0.57	0.34	0.29	-0.39	-0.80
MnO	5.9E-01	7.6E-03	8.1E-04	4.5E-04	–	0.20	-0.30	0.10	0.13	-0.28	-0.32	-0.11	0.60	0.71	0.42	-0.50	0.79	0.75	0.62	0.24	0.41	-0.11	-0.64
MgO	4.4E-06	9.8E-01	5.0E-01	9.0E-01	5.3E-01	–	0.82	-0.86	-0.80	0.73	-0.75	-0.54	0.19	0.16	-0.66	0.34	-0.13	0.18	0.72	-0.27	0.49	0.51	0.01
CaO	3.2E-04	1.5E-01	1.8E-02	8.4E-02	3.4E-01	1.2E-03	–	0.89	-0.81	0.92	-0.43	-0.56	-0.13	-0.30	-0.88	0.60	-0.57	0.30	0.33	-0.40	0.13	0.36	0.32
Na <sub>2</sub> O	6.3E-04	2.1E-01	7.5E-02	2.4E-01	7.6E-01	2.9E-04	8.9E-05	–	0.78	-0.88	0.56	0.55	0.13	0.02	0.76	-0.28	0.46	0.25	-0.46	0.62	-0.25	-0.47	-0.31
K <sub>2</sub> O	8.0E-03	6.8E-01	6.5E-02	2.9E-01	6.8E-01	1.6E-03	1.5E-03	2.6E-03	–	-0.64	0.73	0.18	-0.09	-0.11	0.90	-0.42	0.38	0.07	-0.30	0.12	-0.40	-0.07	-0.48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.0E-03	7.4E-02	3.1E-02	1.1E-01	3.8E-01	7.1E-03	1.7E-05	1.7E-04	2.4E-02	–	-0.28	-0.58	-0.26	-0.29	-0.73	0.48	-0.53	-0.43	0.41	-0.65	0.27	0.32	0.20
Ba	2.8E-02	1.4E-01	8.7E-01	3.9E-01	3.0E-01	4.7E-03	1.7E-01	6.0E-02	7.2E-03	3.9E-01	–	0.03	-0.41	-0.60	0.38	-0.25	-0.21	-0.48	-0.63	-0.05	-0.26	-0.32	0.13
Cr	2.7E-02	3.3E-01	6.9E-01	5.5E-01	7.4E-01	6.7E-02	5.6E-02	6.5E-02	5.8E-01	5.0E-02	9.3E-01	–	-0.01	0.41	0.28	-0.25	0.26	0.03	-0.38	0.32	-0.64	-0.64	-0.23
Nb	4.2E-01	4.3E-04	1.6E-02	2.9E-03	6.8E-02	6.1E-01	7.2E-01	7.2E-01	8.1E-01	4.7E-01	2.4E-01	9.8E-01	–	0.47	0.21	0.03	0.87	0.75	0.54	0.47	0.10	-0.27	-0.58
Ni	8.5E-01	8.3E-03	4.4E-02	6.6E-03	9.2E-03	6.3E-01	3.4E-01	9.4E-01	7.3E-01	3.7E-01	3.8E-02	1.8E-01	1.8E-01	–	0.28	-0.43	0.69	0.62	0.50	0.12	-0.07	-0.02	-0.33
Rb	3.0E-02	1.1E-01	1.8E-03	2.3E-02	1.7E-01	2.0E-02	1.4E-04	4.3E-03	6.0E-05	6.6E-03	2.2E-01	3.9E-01	5.6E-01	3.7E-01	–	-0.47	0.67	0.40	-0.02	0.21	-0.76	-0.38	-0.48
Sr	1.2E-01	6.8E-01	1.4E-01	2.1E-01	9.9E-02	2.8E-01	4.0E-02	3.8E-01	1.8E-01	1.2E-01	4.4E-01	4.3E-01	9.3E-01	1.7E-01	1.2E-01	–	-0.36	-0.05	0.09	0.14	0.55	0.31	0.18
V	7.2E-01	2.5E-05	3.27E-06	2.0E-09	2.2E-03	6.9E-01	5.1E-02	1.3E-01	2.3E-01	7.6E-02	5.1E-01	4.2E-01	1.2E-03	1.3E-02	1.6E-02	2.6E-01	–	0.80	0.50	0.41	-0.36	-0.54	-0.81
Y	6.7E-01	6.8E-05	0.00206	1.1E-03	5.0E-03	5.9E-01	3.4E-01	4.3E-01	8.4E-01	1.7E-01	1.2E-01	9.3E-01	1.3E-02	3.1E-02	2.0E-01	8.9E-01	1.9E-03	–	0.54	0.58	0.52	0.09	-0.50
Zn	5.4E-03	1.3E-01	0.195	5.5E-02	3.2E-02	8.9E-03	2.9E-01	1.3E-01	3.4E-01	1.9E-01	2.8E-02	2.2E-01	1.1E-01	9.9E-02	9.4E-01	7.9E-01	9.7E-02	6.8E-02	–	0.53	0.57	0.01	-0.56
Zr	3.4E-01	3.2E-02	1.9E-01	2.7E-01	4.6E-01	4.0E-01	2.0E-01	3.1E-02	7.1E-01	2.3E-02	8.7E-01	3.1E-01	1.7E-01	7.1E-01	5.1E-01	6.8E-01	1.9E-01	4.7E-02	5.3E-01	–	0.13	0.15	-0.23
H <sub>2</sub> O	8.1E-07	4.5E-01	1.4E-01	3.7E-01	8.9E-01	2.7E-05	6.8E-06	7.73E-05	1.6E-03	5.6E-05	4.7E-02	3.9E-02	9.2E-01	8.4E-01	4.4E-03	6.6E-02	2.6E-01	8.4E-01	4.5E-02	2.2E-01	0.04	0.44	0.14
Teufe	5.8E-01	3.6E-01	4.1E-02	5.3E-02	3.8E-02	9.4E-01	6.9E-01	7.0E-01	2.0E-01	9.8E-01	4.2E-01	2.8E-01	5.2E-01	7.8E-01	2.2E-01	3.2E-01	6.7E-02	3.3E-01	1.2E-01	8.8E-01	8.9E-01	–	0.62
δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	3.5E-02	3.8E-01	3.2E-01	3.5E-01	1.9E-01	1.1E-01	2.5E-01	4.3E-01	8.4E-01	4.0E-01	4.5E-01	2.5E-02	7.5E-01	9.5E-01	9.7E-01	2.5E-01	4.7E-01	8.6E-02	5.4E-02	6.9E-01	1.5E-01	6.5E-02	-0.27
δ <sup>18</sup> O VPDB	1.1E-01	5.3E-01	2.7E-01	2.1E-01	7.4E-01	9.4E-02	5.1E-02	1.2E-01	1.1E-01	3.1E-01	3.2E-01	2.4E-02	3.9E-01	3.0E-01	8.4E-02	9.7E-02	1.4E-01	7.7E-01	9.7E-01	6.5E-01	7.3E-02	4.0E-01	3.5E-02
δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB	8.4E-01	1.0E-02	8.6E-03	1.9E-03	2.5E-02	9.8E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.6E-01	5.3E-01	6.8E-01	4.8E-01	4.9E-02	9.7E-02	1.1E-01	5.8E-01	1.5E-03	9.4E-02	6.0E-02	4.7E-01	6.6E-01	3.0E-02	4.0E-01
																							–

Tab. 37: Ergebnisse der Pearson-Korrelation der Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und Untersuchung der stabilen Isotope der Bohrungen Çıplak [Signifikanzniveaus:  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ :  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta^{18}\text{O}$  des Karbonats,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ :  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$  Karbonat, alle bezogen auf (V)PDB-Standard].

Element	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>	Ba	Cr	Nb	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	H <sub>2</sub> O	Teufe	δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	δ <sup>18</sup> O VPDB	δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB
SiO <sub>2</sub>	–	-0.35	-0.37	-0.67	0.02	-0.09	-0.96	0.52	0.97	-0.50	0.80	0.87	-0.18	-0.81	0.82	0.14	-0.48	-0.21	-0.84	0.00	-1.00	-0.55	0.26	0.83	0.09
TiO <sub>2</sub>	5.7E-01	–	0.97	0.92	-0.85	-0.72	0.09	0.07	-0.48	-0.36	-0.69	0.25	0.72	0.34	0.00	-0.83	0.90	0.97	0.66	0.87	0.27	0.87	-0.05	-0.61	-0.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.4E-01	5.1E-03	–	0.93	-0.89	-0.79	0.13	-0.13	-0.46	-0.47	-0.73	0.03	0.56	0.23	0.08	-0.92	0.97	0.98	0.71	0.75	0.30	0.94	-0.15	-0.61	-0.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.2E-01	2.5E-02	2.1E-02	–	-0.72	-0.59	0.46	-0.22	-0.74	-0.14	-0.86	-0.35	0.57	0.53	-0.28	-0.76	0.93	0.86	0.85	0.65	0.61	0.94	-0.21	-0.83	-0.56
MnO	9.7E-01	7.0E-02	4.6E-02	1.7E-01	–	0.98	0.18	0.07	0.08	0.73	0.36	-0.04	-0.35	0.17	-0.43	0.97	-0.84	-0.91	-0.32	-0.74	0.04	-0.83	0.37	0.46	0.88
MgO	8.8E-01	1.7E-01	1.1E-01	3.0E-01	4.1E-03	–	0.26	0.16	-0.07	0.83	0.22	0.03	-0.15	0.35	-0.57	0.95	-0.76	-0.82	-0.19	-0.60	0.13	-0.77	0.46	0.36	0.93
CaO	8.4E-03	8.9E-01	8.4E-01	4.4E-01	7.7E-01	6.8E-01	–	-0.60	-0.88	0.61	-0.64	-0.87	-0.05	0.74	-0.85	0.06	0.27	-0.04	0.69	-0.24	0.98	0.37	-0.33	-0.74	0.01
Na <sub>2</sub> O	3.7E-01	9.1E-01	8.4E-01	7.2E-01	9.1E-01	8.0E-01	2.9E-01	–	0.31	0.12	0.38	0.90	0.64	0.06	0.10	0.27	-0.36	0.01	-0.41	0.53	-0.57	-0.43	0.62	0.38	0.46
K <sub>2</sub> O	6.5E-03	4.1E-01	4.4E-01	1.5E-01	9.0E-01	9.1E-01	4.7E-02	6.2E-01	–	-0.52	0.84	0.79	-0.41	-0.91	0.84	0.16	-0.51	-0.32	-0.87	-0.20	-0.94	-0.56	0.11	0.83	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.9E-01	5.6E-01	4.3E-01	8.2E-01	1.6E-01	8.4E-02	2.8E-01	8.4E-01	3.7E-01	–	-0.07	-0.18	0.12	0.74	-0.90	0.74	-0.46	-0.55	0.12	-0.29	0.52	-0.40	0.20	-0.20	0.73
Ba	1.0E-01	2.0E-01	1.6E-01	6.0E-02	5.6E-01	7.2E-01	0.245	5.3E-01	7.5E-02	9.1E-01	–	0.36	-0.45	-0.66	0.47	0.51	-0.80	-0.63	-1.00	-0.31	-0.76	-0.77	-0.05	0.66	0.23
Cr	1.3E-01	7.5E-01	9.7E-01	6.6E-01	9.6E-01	9.7E-01	0.131	1.0E-01	2.1E-01	8.2E-01	6.4E-01	–	1.00	-0.21	0.44	0.09	-0.23	0.22	-0.43	0.69	-0.88	-0.04	0.74	0.18	0.30
Nb	7.7E-01	1.7E-01	3.2E-01	3.1E-01	5.7E-01	8.1E-01	0.9422	2.5E-01	4.9E-01	8.4E-01	4.5E-01	1.2E-03	–	0.58	-0.261	-0.25	0.39	0.61	0.43	0.86	0.09	0.32	0.51	-0.29	0.12
Ni	9.4E-02	5.8E-01	7.1E-01	3.6E-01	7.9E-01	5.6E-01	1.5E-01	9.3E-01	3.3E-02	1.5E-01	2.3E-01	7.9E-01	3.0E-01	–	-0.93	0.14	0.22	0.13	0.69	0.24	0.78	0.25	0.20	-0.62	0.34
Rb	9.1E-02	1.0E+00	9.0E-01	6.5E-01	4.7E-01	3.2E-01	7.0E-02	8.7E-01	7.6E-02	3.7E-02	4.3E-01	5.6E-01	6.7E-01	2.4E-02	–	-0.40	0.04	0.20	-0.51	0.10	-0.82	-0.03	-0.05	0.55	-0.44
Sr	8.3E-01	8.0E-02	2.8E-02	1.3E-01	7.8E-03	1.3E-02	9.2E-01	6.6E-01	8.0E-01	1.5E-01	3.9E-01	9.1E-01	6.8E-01	8.2E-01	5.1E-01	–	-0.92	-0.92	-0.47	-0.60	-0.09	-0.90	0.36	0.47	0.89
V	4.2E-01	3.9E-02	5.8E-03	2.2E-02	7.8E-02	1.3E-01	6.7E-01	5.6E-01	3.8E-01	4.3E-01	1.0E-01	7.7E-01	5.2E-01	7.3E-01	9.5E-01	2.7E-02	–	0.92	0.78	0.57	0.43	0.98	-0.26	-0.65	-0.73
Y	7.4E-01	5.2E-03	2.3E-03	5.9E-02	3.0E-02	8.7E-02	9.4E-01	9.9E-01	6.0E-01	3.3E-01	2.5E-01	7.9E-01	2.8E-01	8.3E-01	7.4E-01	2.7E-02	2.5E-02	–	0.60	0.82	0.14	0.87	-0.07	-0.49	-0.67
Zn	7.6E-02	2.2E-01	1.8E-01	6.5E-02	6.0E-01	7.6E-01	2.0E-01	5.0E-01	5.6E-02	8.5E-01	1.1E-04	5.7E-01	4.7E-01	2.0E-01	3.8E-01	4.2E-01	1.2E-01	2.9E-01	–	0.28	0.80	0.76	0.02	-0.68	-0.22
Zr	1.0E+00	5.7E-02	1.5E-01	2.3E-01	1.6E-01	2.8E-01	6.9E-01	3.6E-01	7.4E-01	6.4E-01	6.1E-01	3.1E-01	6.4E-02	7.0E-01	8.7E-01	2.8E-01	3.1E-01	9.1E-02	6.5E-01	–	-0.09	0.54	0.13	-0.37	-0.35
H <sub>2</sub> O	3.6E-04	6.7E-01	6.2E-01	2.8E-01	9.6E-01	8.3E-01	2.8E-03	3.1E-01	1.6E-02	3.7E-01	1.3E-01	1.2E-01	8.9E-01	1.2E-01	0.091	0.8852	0.476	8.3E-01	1.0E-01	8.8E-01	–	0.51	-0.30	-0.80	-0.07
Teufe	3.3E-01	5.8E-02	1.8E-02	1.7E-02	8.1E-02	1.3E-01	5.4E-01	4.7E-01	3.2E-01	5.1E-01	1.3E-01	9.5E-01	6.0E-01	6.9E-01	9.6E-01	3.7E-02	3.6E-03	5.3E-02	1.4E-01	3.5E-01	3.8E-01	–	-0.42	-0.77	-0.79
δ <sup>13</sup> C <sub>org</sub> PDB	6.7E-01	9.4E-01	8.1E-01	7.3E-01	5.4E-01	4.3E-01	5.9E-01	2.6E-01	8.6E-01	7.5E-01	9.4E-01	1.6E-01	3.8E-01	7.5E-01	9.4E-01	5.5E-01	6.8E-01	9.1E-01	9.8E-01	8.4E-01	6.3E-01	4.8E-01	–	0.56	0.72
δ <sup>18</sup> O VPDB	8.3E-02	2.7E-01	2.7E-01	8.5E-02	4.4E-01	5.6E-01	1.6E-01	5.3E-01	8.1E-02	7.5E-01	2.3E-01	7.7E-01	6.4E-01	2.6E-01	0.33352	0.42913	0.23394	4.0E-01	2.0E-01	5.4E-01	1.0E-01	1.3E-01	5.9E-01	–	0.49
δ <sup>13</sup> C <sub>cc</sub> VPDB	8.9E-01	3.2E-01	2.0E-01	3.3E-01	5.2E-02	2.0E-02	9.8E-01	4.3E-01	9.7E-01	1.6E-01	7.0E-01	6.2E-01	8.5E-01	5.8E-01	4.6E-01	4.3E-02	1.6E-01	2.2E-01	7.2E-01	5.7E-01	9.1E-01	1.1E-01	1.7E-01	4.1E-01	–

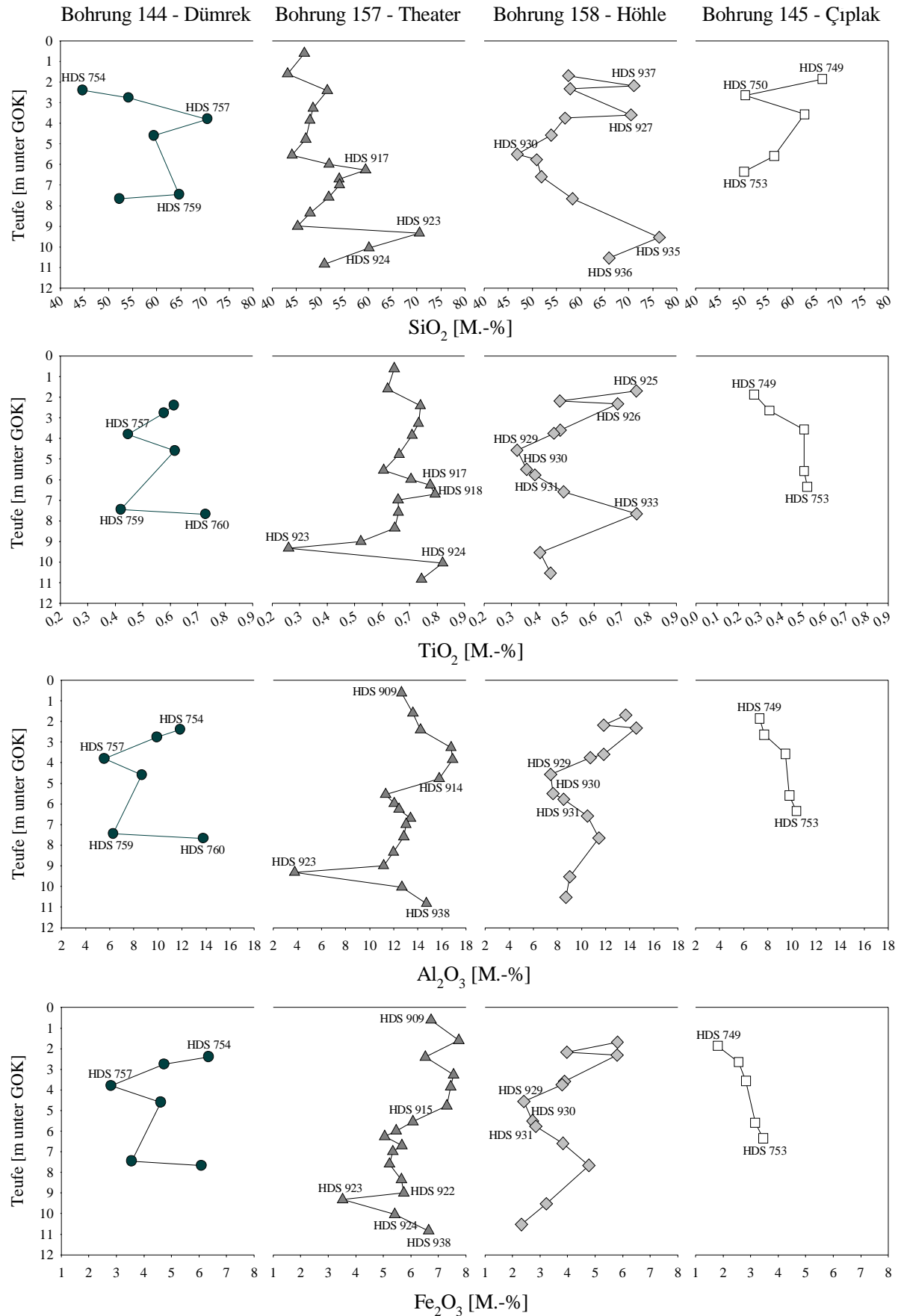


Abb. 108: Darstellung der SiO<sub>2</sub>-, TiO<sub>2</sub>-, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte der Sedimente der vier Bohrungen gegen die Teufe.



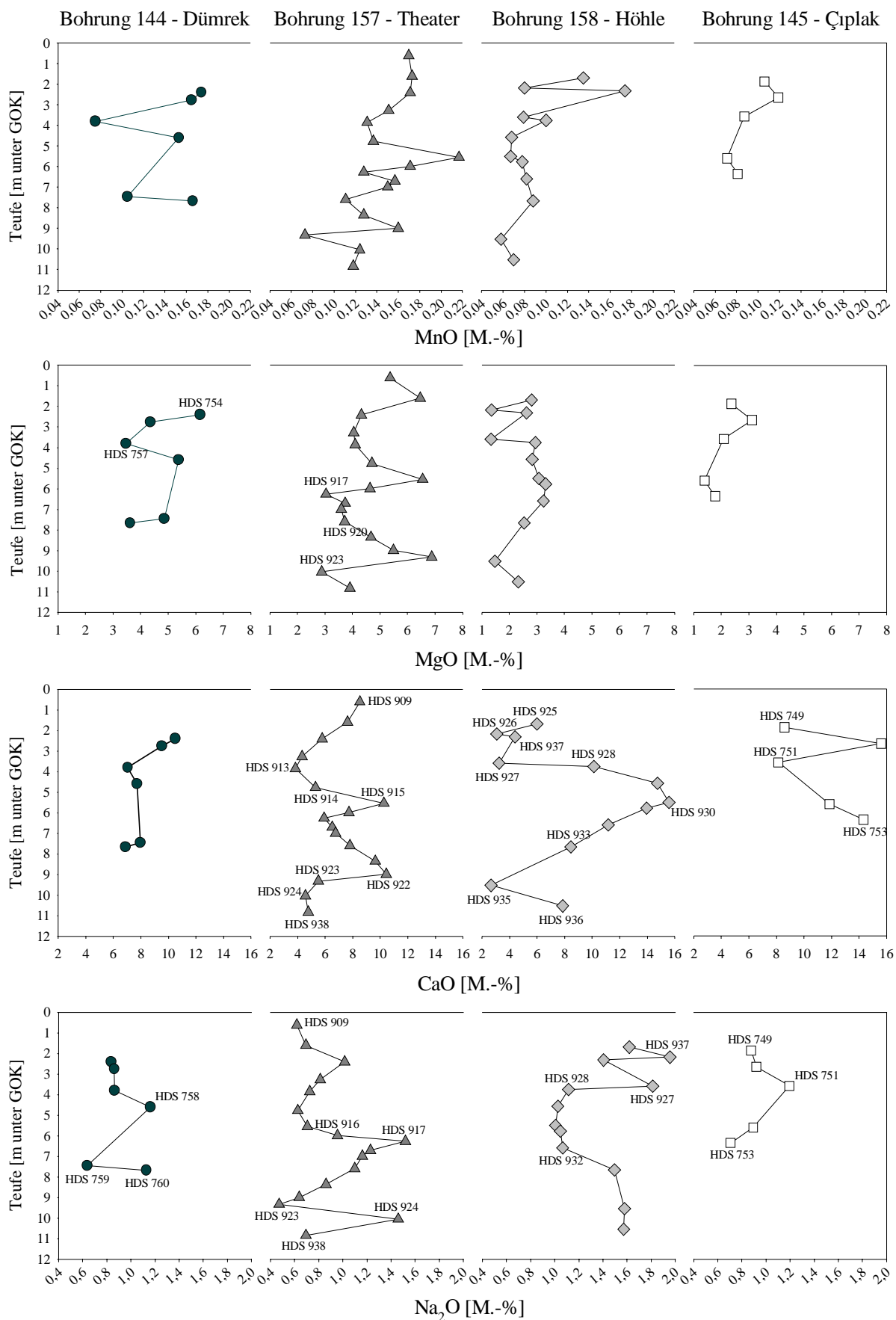


Abb. 109: Darstellung der MnO-, MgO-, CaO- und Na<sub>2</sub>O-Gehalte der Sedimente der vier Bohrungen gegen die Teufe.



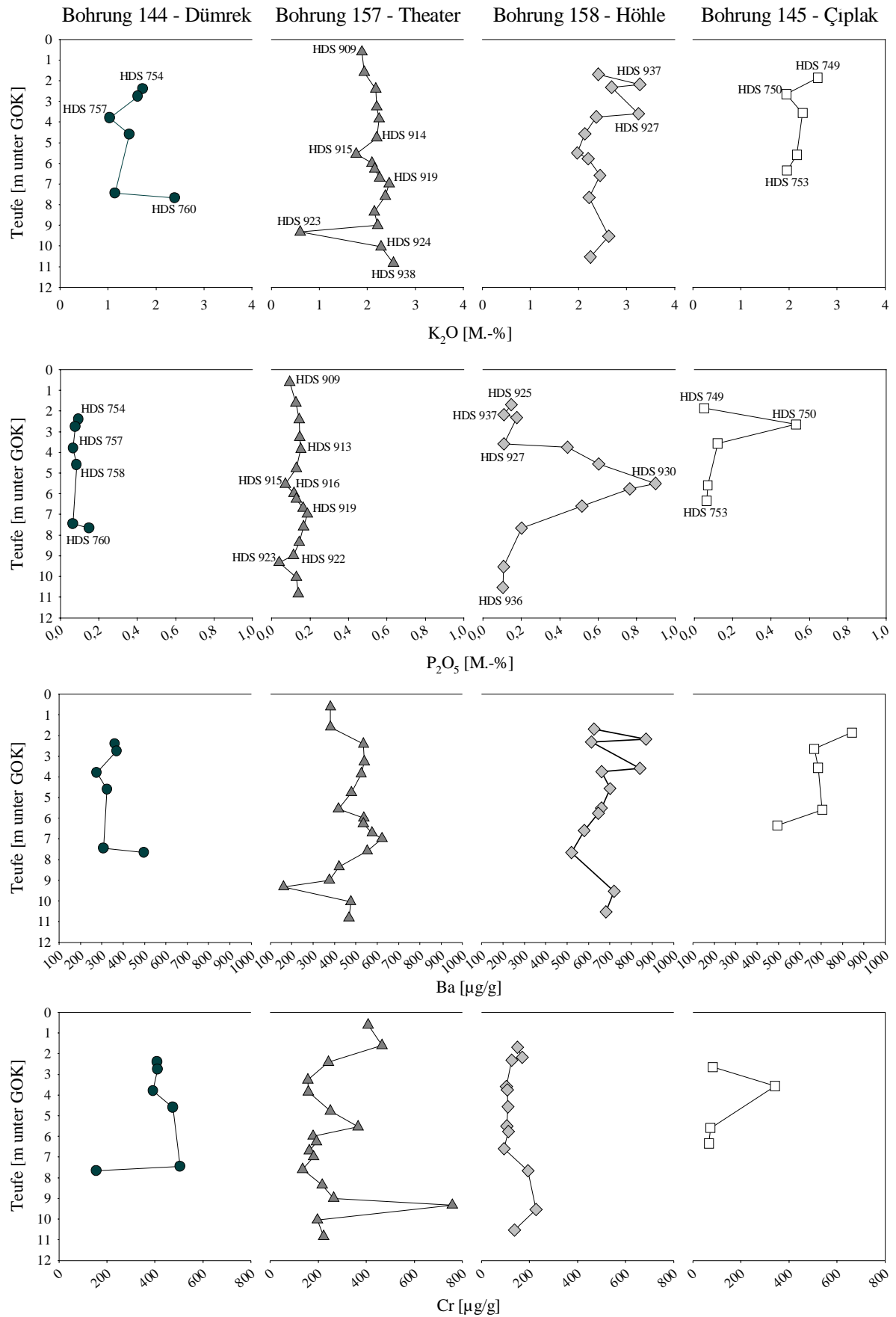


Abb. 110: Darstellung der  $K_2O$ -,  $P_2O_5$ -, Ba- und Cr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe.

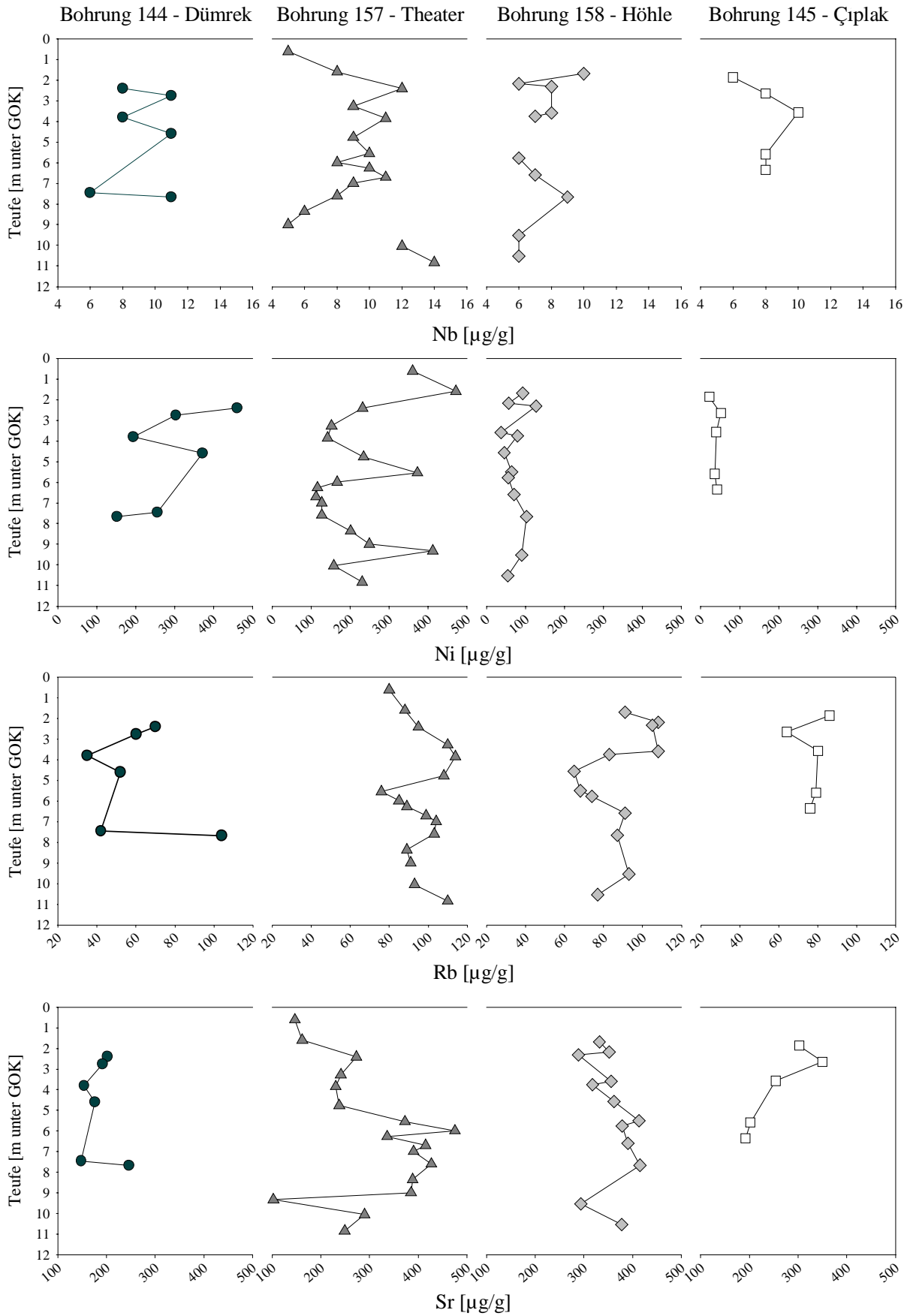


Abb. 111: Darstellung der Nb-, Ni-, Rb- und Sr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe.

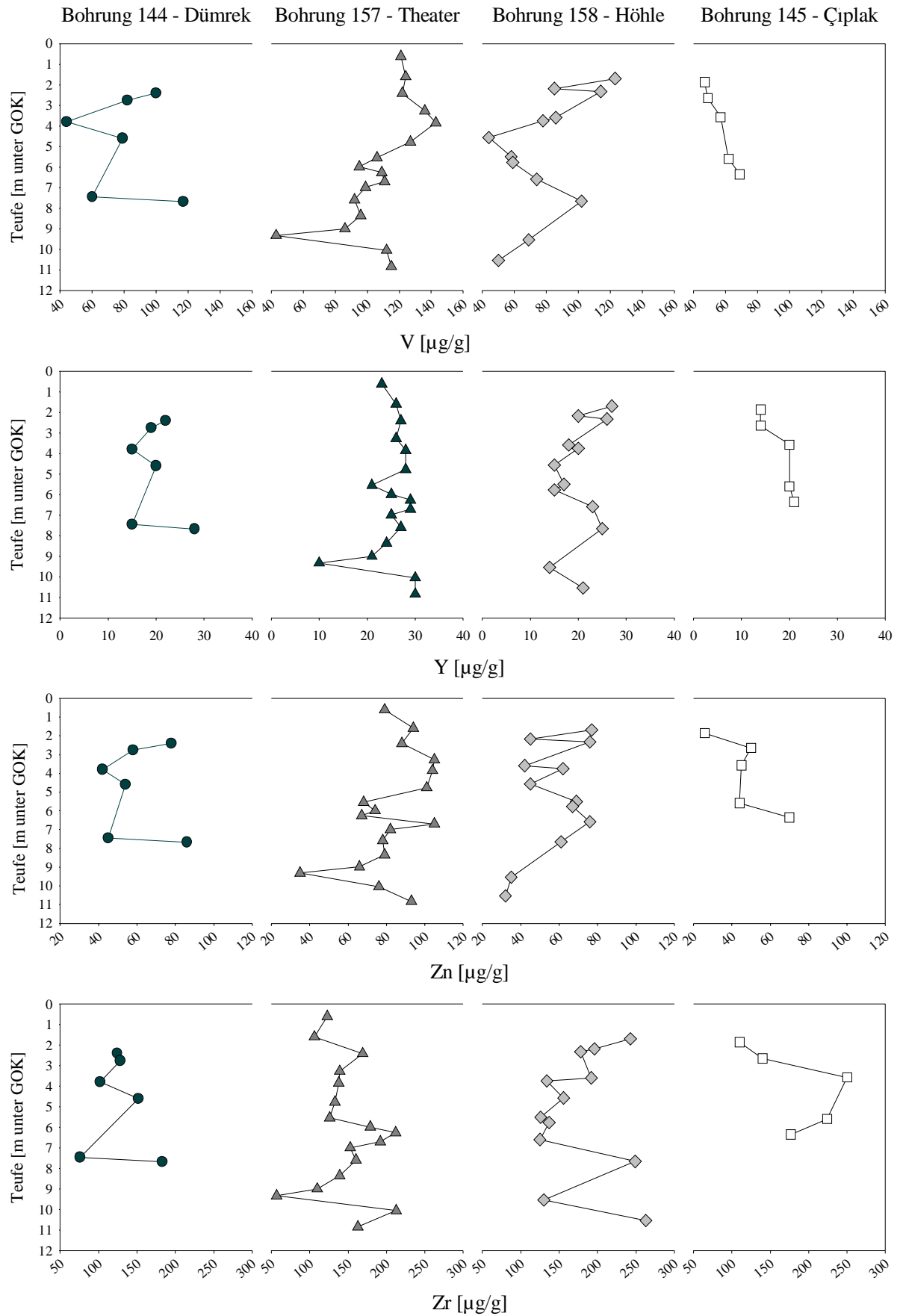


Abb. 112: Darstellung der V-, Y-, Zn- und Zr-Gehalte in den Sedimenten der vier Bohrungen gegen die Teufe.

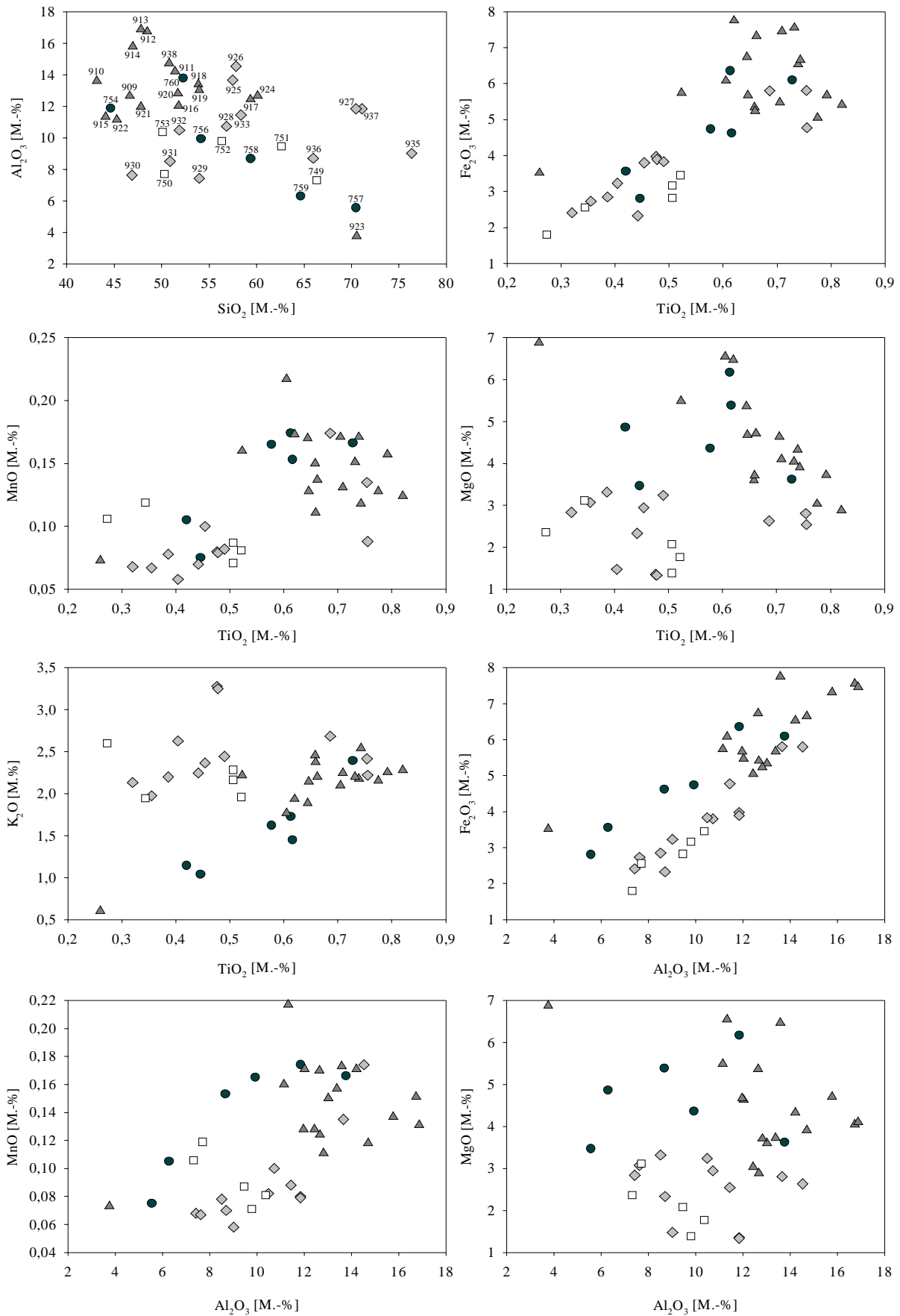


Abb. 113: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Hauptelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

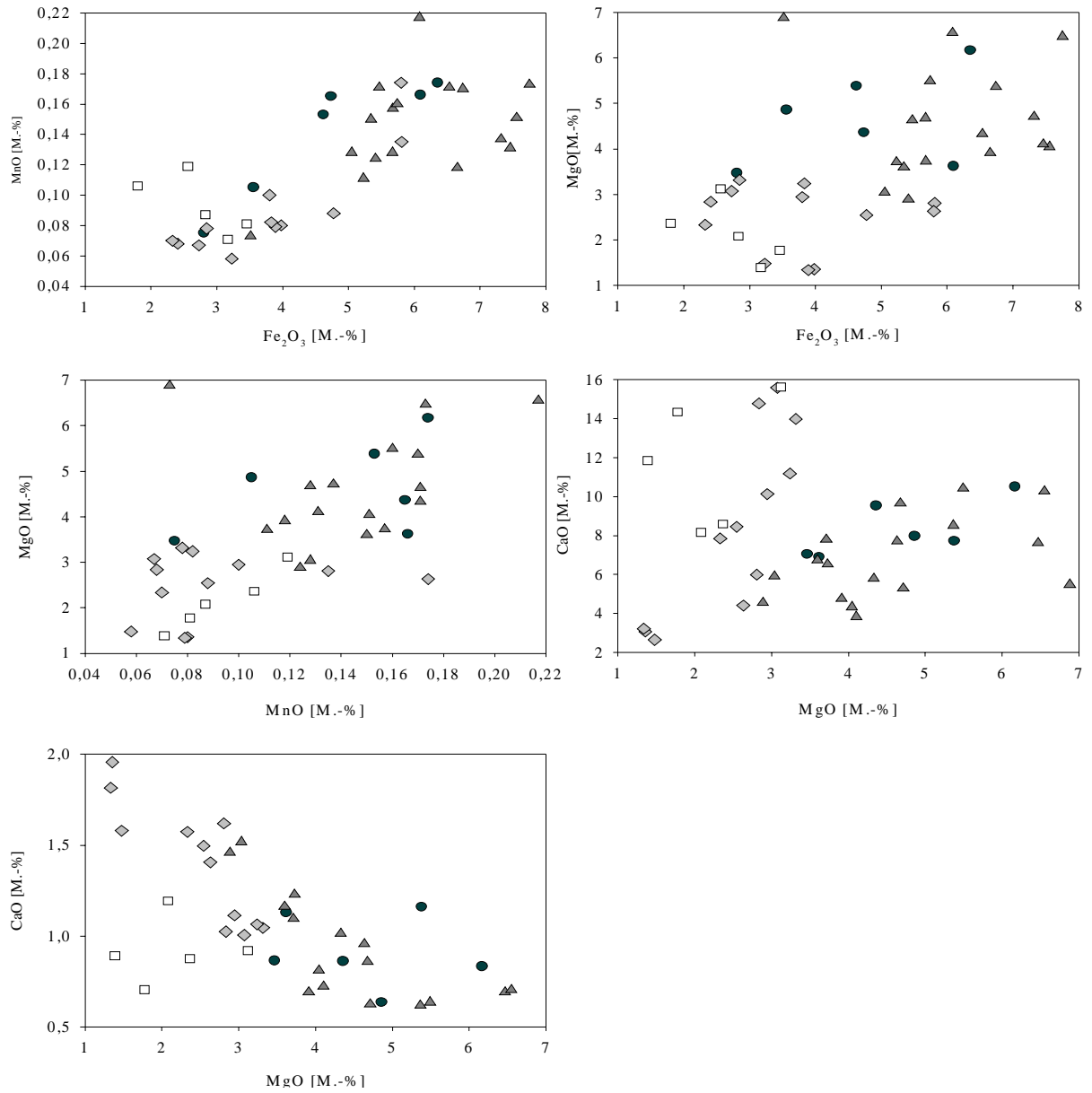


Abb. 114: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Hauptelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

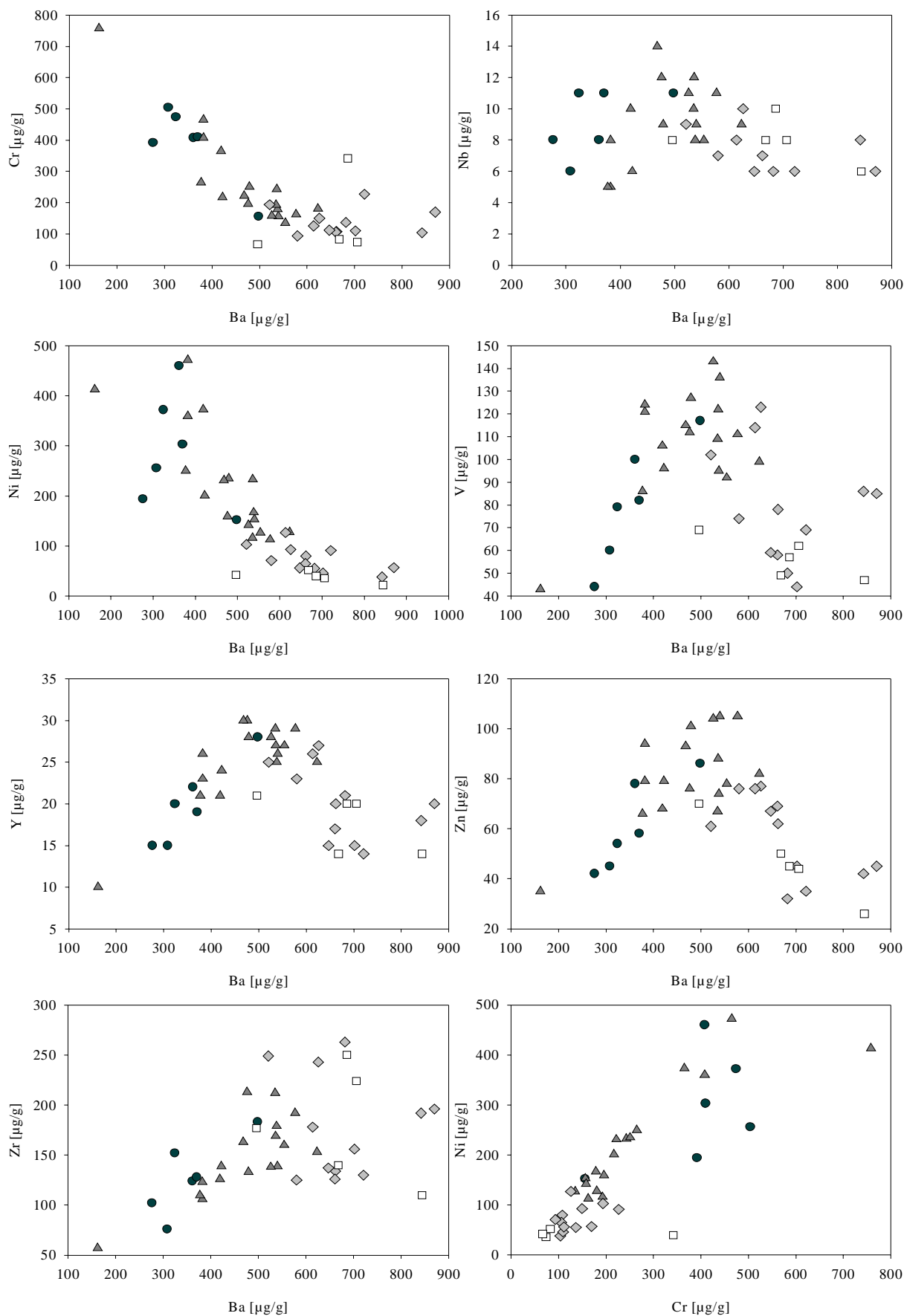


Abb. 115: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

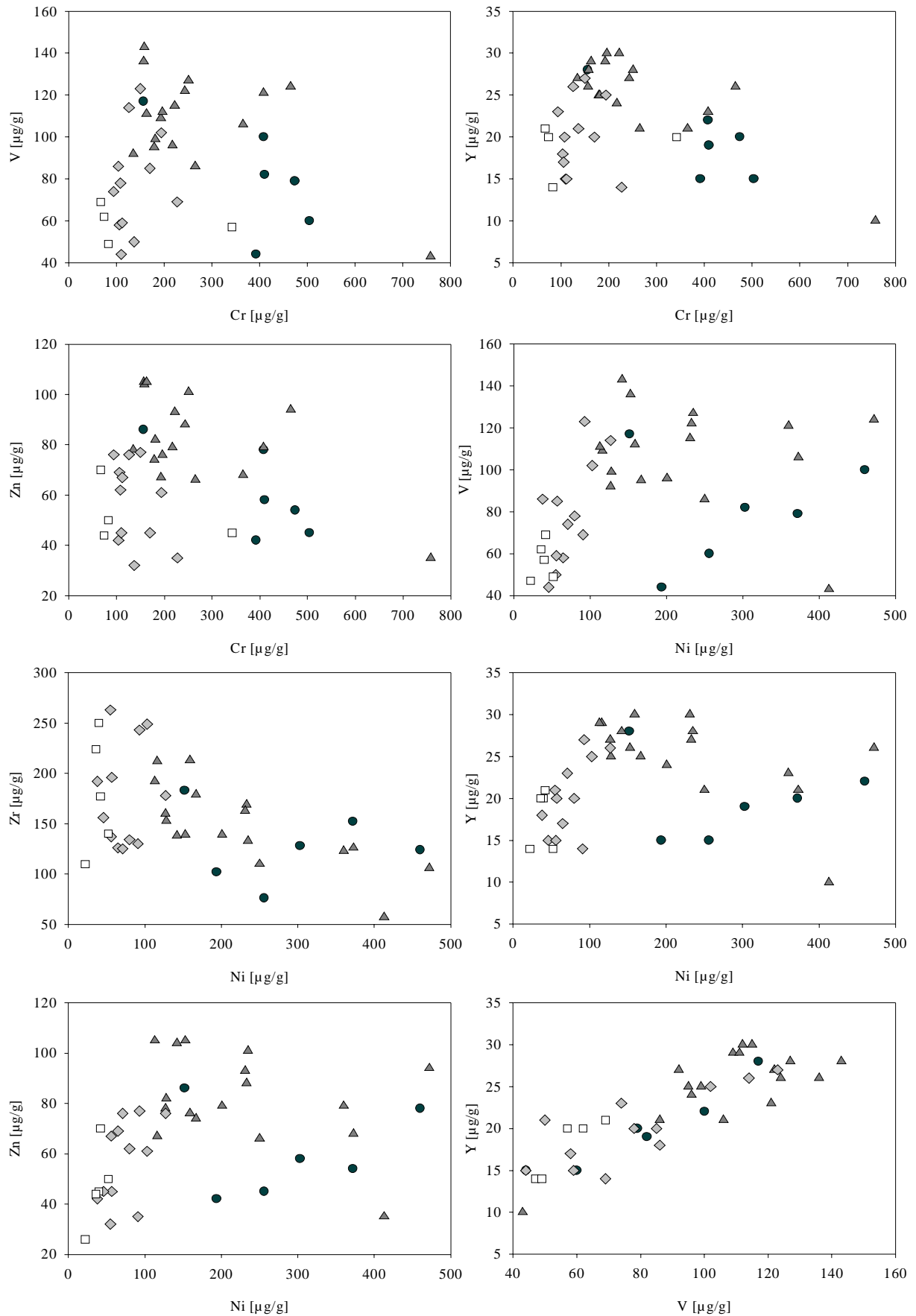


Abb. 116: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

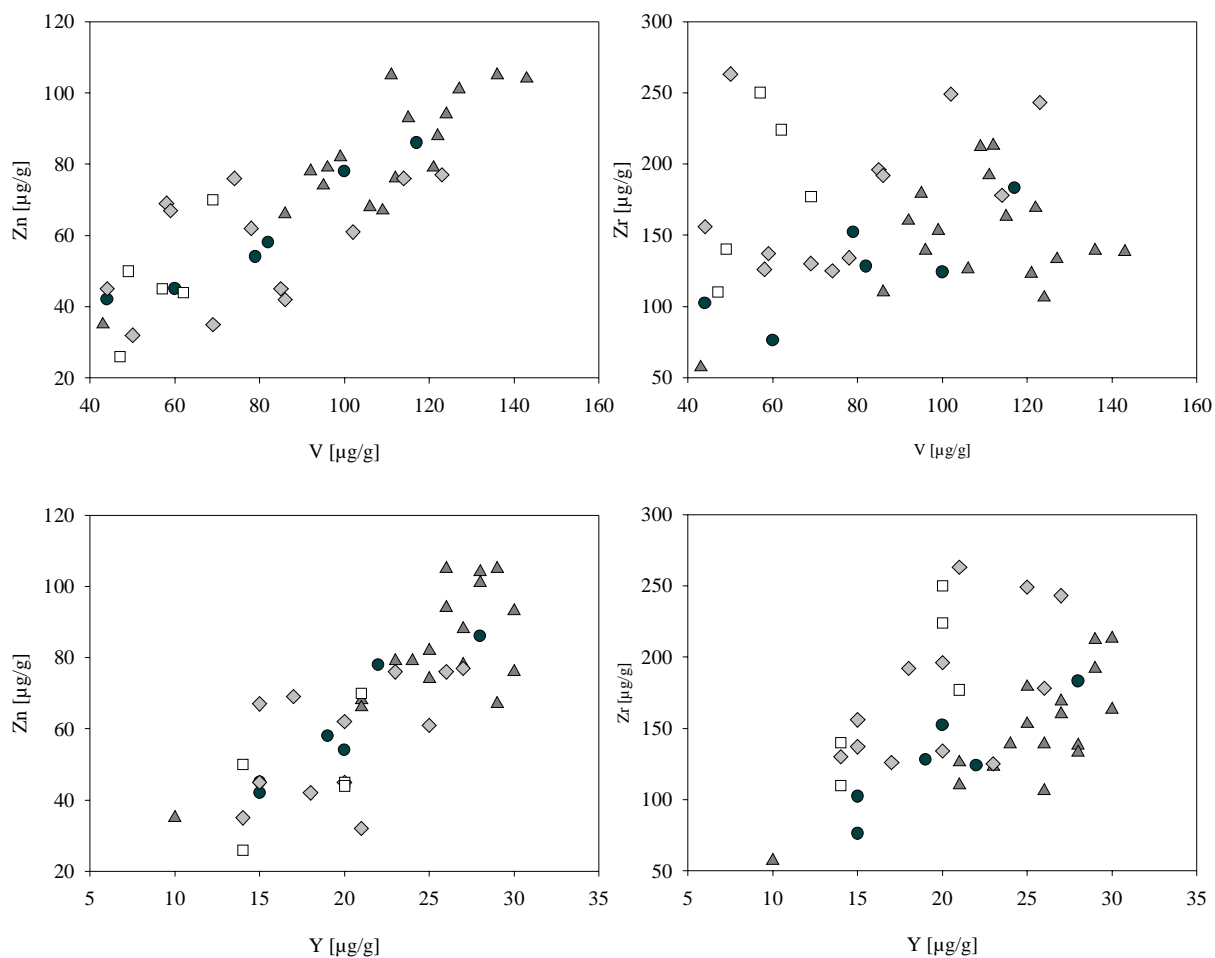


Abb. 117: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).



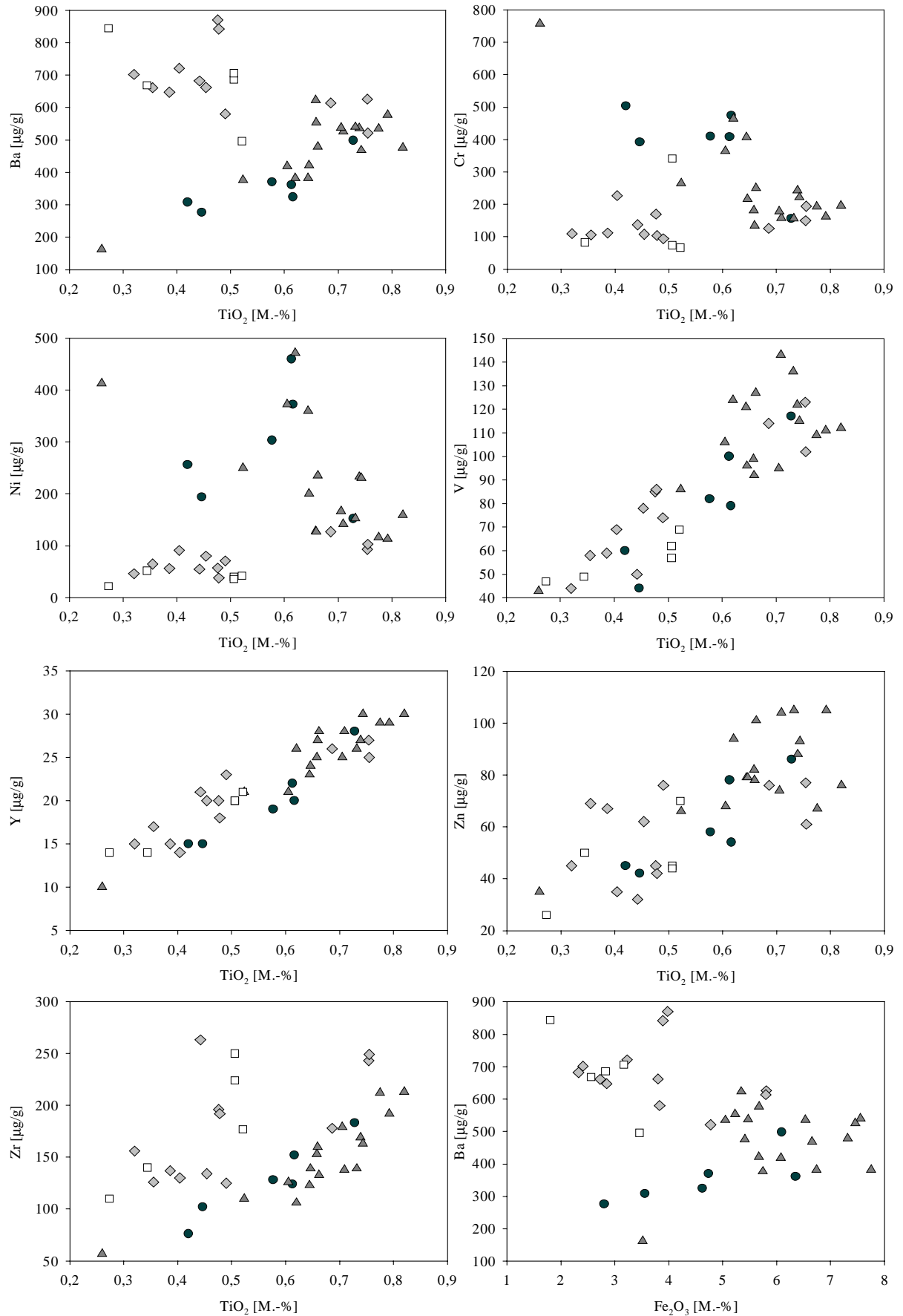


Abb. 118: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

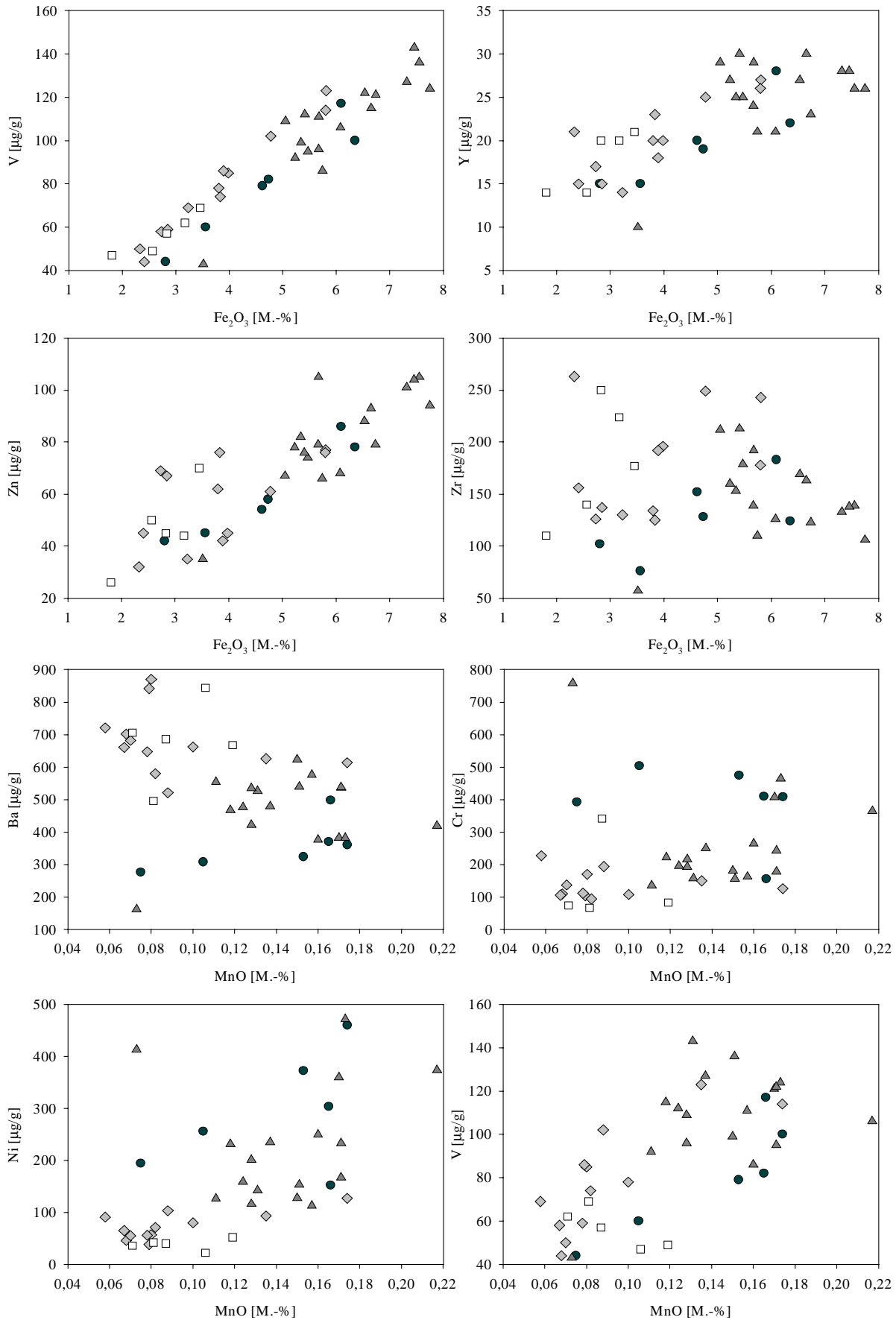


Abb. 119: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

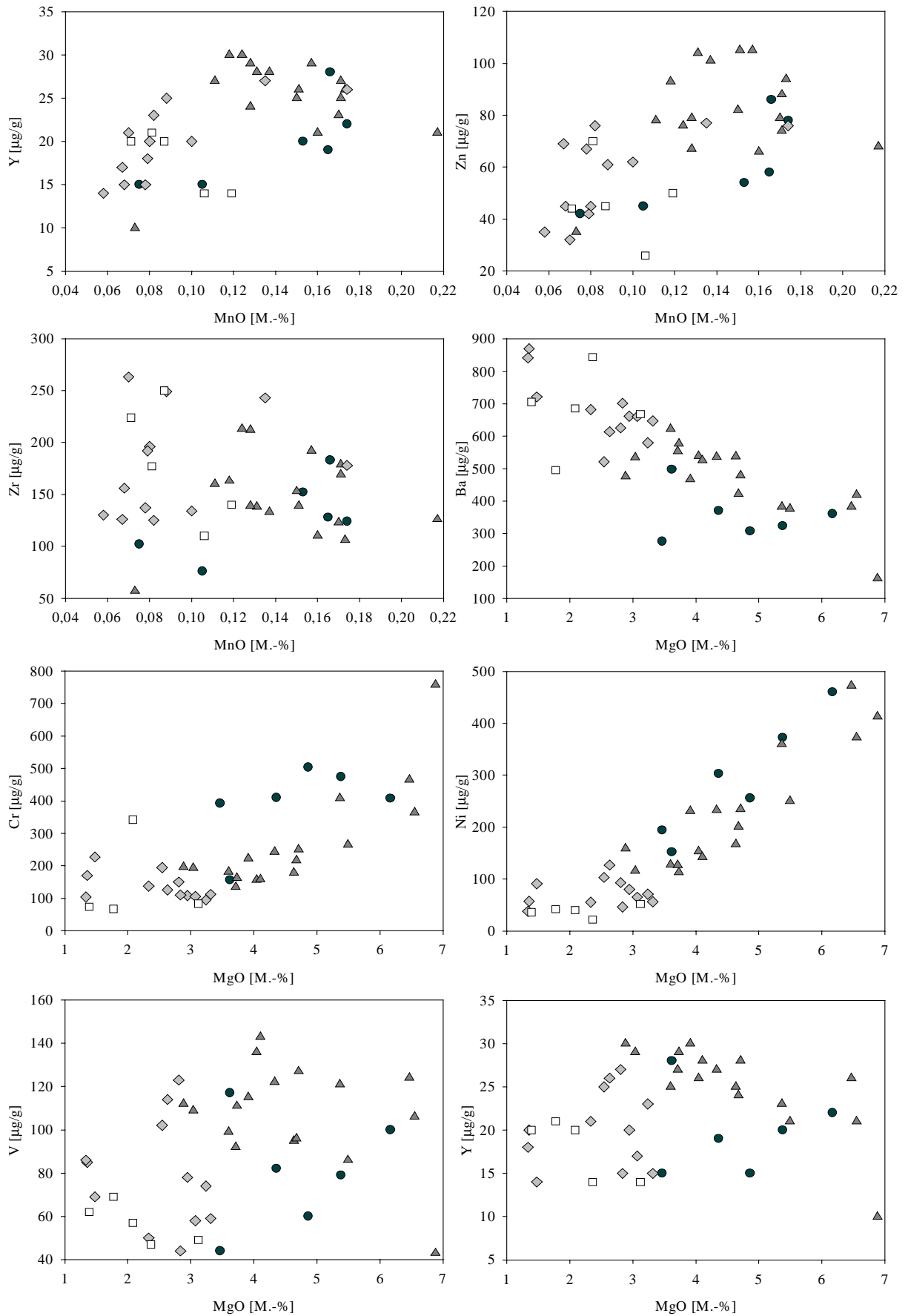


Abb. 120: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

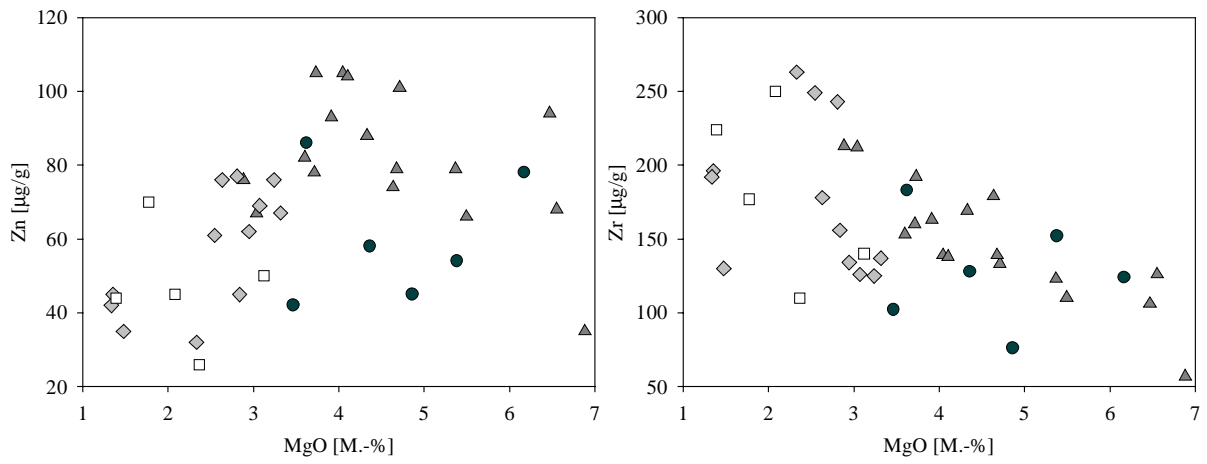


Abb. 121: Ausgewählte Diagramme zur Darstellung der Haupt- und Nebenelementgehalte (Symbole wie in Abb. 20b).

Tab. 38: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen an Keramiken aus Troia von KNACKE-LOY (1994, keine Angaben zu Nachweisgrenzen möglich, Probe „W306/1 (?)“ möglicherweise falsche Probennummer, oder Doppelbestimmung durchgeführt, Fundlokalitäten und Keramiktypen sind aus der Originalarbeit zu entnehmen).

Probe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [M.-%]	CaO [M.-%]	Probe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [M.-%]	CaO [M.-%]
W101/1	0,102	1,18	W251/16	0,076	8,03
W101/2	0,297	4,41	W251/2	0,169	7,33
W102/1	0,284	1,45	W251/3	0,061	7,58
W102/5	0,106	1,51	W251/8	0,078	8,22
W103/1	0,418	0,42	W251/9	0,048	7,94
W103/4	0,2	2,66	W304/1	0,282	4,5
W105/1R	0,462	5,75	W304/2	0,358	6,39
W105/1W	0,176	5,90	W305/1	0,284	5,59
W107/2	0,157	1,30	W306/1	0,489	5,1
W109/1	0,226	6,09	W306/1 (?)	0,453	4,53
W112/1	0,138	0,65	W601/1	0,238	7,6
W130/1	0,475	3,16	W601/2	0,25	8,67
W130/2	0,142	3,24	W601/3	0,146	6,04
W130/3	0,091	0,58	W601/7	0,169	8,39
W150/1	0,255	3,23	W602/1	0,333	8,34
W152/1	0,405	2,47	W602/2	0,154	6,39
W153/1	0,46	3,18	W602/6	0,176	7,33
W202/1	0,2	10,84	W603/1	0,587	6,53
W202/2	0,179	11,61	W603/2	0,524	2,76
W202/3	0,193	10,84	W603/3	0,552	5,47
W202/4	0,162	11,70	W616/1	0,284	8,31
W202/5	0,349	5,19	W616/2	0,561	2,59
W202/6	0,298	5,81	W619/1	0,221	6,88
W202/7	0,113	12,68	W619/4	0,281	8,72
W203/1	0,121	23,91	W660/1	0,374	8,62
W203/2	0,147	8,88	W660/2	0,157	9,81
W204/1	0,159	10,85	W662/1	0,147	4,54
W204/4	0,264	6,96	W662/2	0,253	7,68
W204/5	0,281	6,00	W664/3	0,138	1,6
W204/6	0,345	4,74	W680/7	0,177	15,8
W204/7	0,224	9,09	W750/1	0,092	2,56
W206/2	0,259	2,15	W750/4	0,157	7,94
W250/1	0,43	1,54	W803/1	0,179	6,68
W251/1	0,222	8,01	W803/2	0,152	4,21
W251/14	0,059	9,49	W803/3	0,206	10,91
W251/15	0,047	9,26			

Tab. 39: Ermittelte  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der untersuchten Kalkkonkretionen bezogen auf den VPDB- und VSMOW-Standard {Proben sind kalibriert auf  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des NBS-19-Standards [Anbieter: National Institute of Standards and Technology, USA, Gestein: "Toilet Seat Limestone" nach FRIEDMAN & O'NEIL (1982)], der relativ zum PDB-Standard einen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von +1,95 ‰ und einen  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -2,20 ‰ aufweist, die externe Reproduzierbarkeit beträgt  $\pm 0,17$  ‰,  $s$ : einfache Standardabweichung}.

Bohrung	Probe HDS	Einwaage [mg]	Ausbeute [% $\text{CaCO}_3$ ]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ [‰]	$s$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ [‰]	$s$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ [‰]	$s$
Dümrek	754	0,96	22,7	-5,69	0,14	-5,30	0,14	25,37	0,14
	756	1,60	16,4	-5,46	0,10	-5,26	0,19	25,41	0,19
	757	1,57	15,1	-5,60	0,10	-4,77	0,20	25,92	0,21
	758	1,33	23,6	-4,74	0,13	-4,82	0,16	25,87	0,16
	759	1,32	22,8	-5,45	0,07	-5,09	0,24	25,59	0,25
	760	1,06	8,8	-7,12	0,09	-5,78	0,21	24,87	0,22
Theater	909	1,34	24,4	-5,84	0,11	-5,12	0,15	25,56	0,15
	910	1,24	17,9	-7,07	0,09	-4,95	0,18	25,73	0,19
	911	1,04	10,2	-7,23	0,06	-5,36	0,09	25,30	0,10
	912	1,25	12,9	-8,02	0,13	-5,72	0,21	24,94	0,22
	913	1,22	11,4	-7,08	0,08	-5,43	0,11	25,23	0,11
	914	1,05	20,2	-5,41	0,12	-5,01	0,19	25,67	0,20
	915	0,96	20,6	-6,05	0,10	-5,37	0,22	25,30	0,23
	916	1,79	16,8	-6,87	0,10	-5,04	0,15	25,64	0,16
	917	1,09	5,7	-7,77	0,07	-7,08	0,16	23,52	0,17
	918	1,30	7,5	-7,41	0,10	-5,87	0,20	24,78	0,21
	919	1,41	10,4	-8,07	0,13	-4,61	0,23	26,08	0,24
	920	1,08	13,4	-6,62	0,17	-5,91	0,23	24,74	0,24
	921	1,98	12,6	-6,41	0,15	-6,00	0,15	24,65	0,16
	922	0,96	25,1	-4,75	0,14	-5,18	0,19	25,49	0,20
	923	2,34	7,4	-5,28	0,12	-5,71	0,21	24,94	0,22
	924	2,21	5,4	-6,85	0,05	-6,43	0,14	24,20	0,14
	938	2,67	8,8	-6,31	0,09	-5,97	0,11	24,67	0,11
Höhle	925	2,09	6,8	-7,62	0,06	-6,65	0,13	23,97	0,14
	937	2,24	2,3	-6,48	0,11	-7,11	0,19	23,50	0,20
	926	2,53	10,9	-7,05	0,12	-5,84	0,18	24,81	0,19
	927	2,45	3,4	-4,90	0,08	-5,81	0,13	24,84	0,13
	928	1,37	16,2	-3,88	0,10	-5,51	0,17	25,15	0,18
	929	0,73	37,5	-3,51	0,04	-4,43	0,06	26,27	0,06
	930	0,74	29,0	-4,15	0,09	-5,48	0,23	25,19	0,24
	931	0,81	47,8	-6,30	0,10	-5,88	0,15	24,77	0,15
	932	0,68	20,1	-4,13	0,09	-4,63	0,08	26,06	0,08
	933	1,30	12,2	-6,52	0,11	-5,66	0,19	25,00	0,20
	935	2,10	2,0	-4,10	0,09	-7,92	0,19	22,65	0,20
	936	1,44	12,7	-2,11	0,15	-3,68	0,14	27,05	0,14
Çıplak	749	0,59	28,0	-7,55	0,14	-4,45	0,13	26,25	0,14
	750	0,58	36,9	-6,24	0,16	-5,67	0,11	24,98	0,11
	751	1,35	17,6	-7,11	0,13	-5,00	0,12	25,68	0,12
	752	1,02	17,6	-9,46	0,11	-6,13	0,16	24,51	0,17
	753	0,57	46,1	-8,70	0,11	-5,83	0,23	24,82	0,24

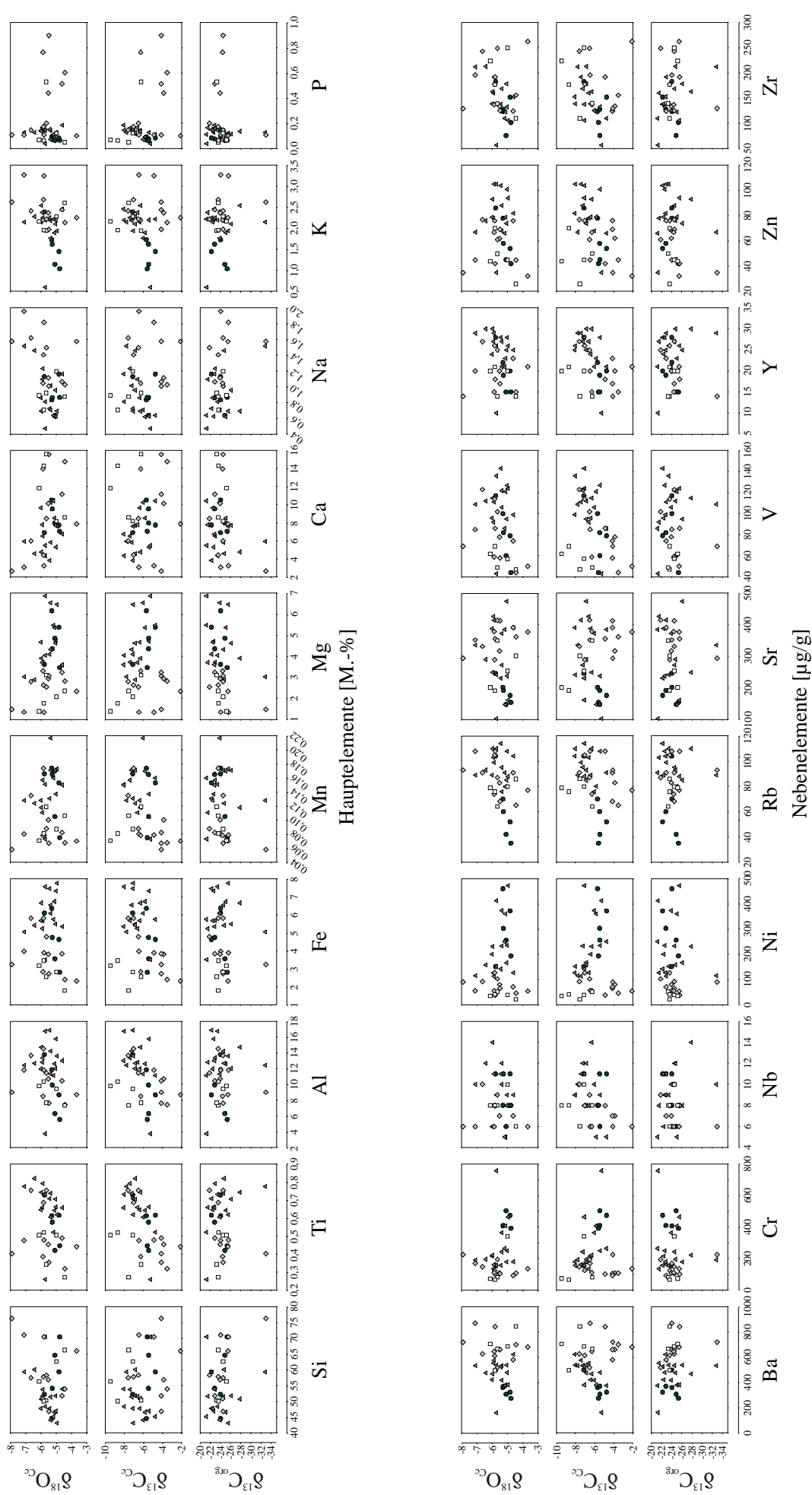


Abb. 122: Interkorrelationsmatrix der stabilen Isotope  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  der Kalkkonkretionen sowie  $\delta^{13}\text{C}$  des organischen Materials mit den Haupt- und Nebenelementen [Hauptelemente als Oxide, Isotope auf (V)PDB-Standard bezogen und in ‰ angegeben,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$  und  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Cc}}$ : Isotope der Kalkkonkretionen,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : Isotop des organischen Materials].

Tab. 40: Gemessene  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Kalkkonkretionen in den Sedimenten der Bohrungen Dümrek und Theater und die für diese Werte errechneten Bildungstemperaturen unter Verwendung der von der IAEA veröffentlichten isotopischen Zusammensetzung der meteorischen Wässer für die in der Tabelle angegebenen Orte ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$  gemessen:  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Kalkkonkretionen).

Bohrung	Probe HDS	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$ gemessen [% VSMOW]	Temperaturen [°C]								
			Athen	Limnos	Heraklion	Alexan- dropolis	Maritsa	Kozagaç	Antalya	Erdemli	Adana
Dümrek	754	25,37	12,99 ± 0,8	9,99 ± 0,8	12,42 ± 0,8	10,66 ± 0,8	16,90 ± 0,9	11,21 ± 0,8	17,56 ± 0,9	13,66 ± 0,8	17,34 ± 0,8
	756	25,41	12,83 ± 0,8	9,84 ± 0,8	12,26 ± 0,8	10,50 ± 0,8	16,73 ± 0,9	11,06 ± 0,8	17,39 ± 0,9	13,49 ± 0,8	17,17 ± 0,8
	757	25,92	10,84 ± 0,8	7,95 ± 0,7	10,29 ± 0,8	8,59 ± 0,7	14,60 ± 0,8	9,12 ± 0,8	15,24 ± 0,8	11,48 ± 0,8	15,03 ± 0,8
	758	25,87	11,03 ± 0,8	8,13 ± 0,7	10,48 ± 0,8	8,77 ± 0,7	14,81 ± 0,8	9,31 ± 0,8	15,45 ± 0,8	11,67 ± 0,8	15,23 ± 0,8
	759	25,59	12,12 ± 0,8	9,16 ± 0,8	11,56 ± 0,8	9,82 ± 0,8	15,97 ± 0,8	10,37 ± 0,8	16,62 ± 0,9	12,77 ± 0,8	16,40 ± 0,8
	760	24,87	15,02 ± 0,8	11,91 ± 0,8	14,43 ± 0,8	12,60 ± 0,8	19,05 ± 0,9	13,18 ± 0,8	19,73 ± 0,9	15,71 ± 0,8	19,50 ± 0,8
Theater	909	25,56	12,24 ± 0,8	9,27 ± 0,8	11,67 ± 0,8	9,93 ± 0,8	16,10 ± 0,8	10,48 ± 0,8	16,75 ± 0,9	12,89 ± 0,8	16,53 ± 0,8
	910	25,73	11,57 ± 0,8	8,64 ± 0,7	11,01 ± 0,8	9,29 ± 0,8	15,39 ± 0,8	9,83 ± 0,8	16,03 ± 0,8	12,22 ± 0,8	15,82 ± 0,8
	911	25,30	13,27 ± 0,8	10,25 ± 0,8	12,70 ± 0,8	10,92 ± 0,8	17,20 ± 0,9	11,48 ± 0,8	17,86 ± 0,9	13,94 ± 0,8	17,64 ± 0,8
	912	24,94	14,73 ± 0,8	11,64 ± 0,8	14,15 ± 0,8	12,33 ± 0,8	18,75 ± 0,9	12,90 ± 0,8	19,42 ± 0,9	15,42 ± 0,8	19,20 ± 0,8
	913	25,23	13,56 ± 0,8	10,52 ± 0,8	12,98 ± 0,8	11,19 ± 0,8	17,49 ± 0,9	11,76 ± 0,8	18,16 ± 0,9	14,22 ± 0,8	17,94 ± 0,8
	914	25,67	11,81 ± 0,8	8,86 ± 0,7	11,25 ± 0,8	9,52 ± 0,8	15,64 ± 0,8	10,06 ± 0,8	16,28 ± 0,8	12,46 ± 0,8	16,07 ± 0,8
	915	25,30	13,27 ± 0,8	10,25 ± 0,8	12,70 ± 0,8	10,92 ± 0,8	17,20 ± 0,9	11,48 ± 0,8	17,86 ± 0,9	13,94 ± 0,8	17,64 ± 0,8
	916	25,64	11,93 ± 0,8	8,98 ± 0,7	11,36 ± 0,8	9,63 ± 0,8	15,76 ± 0,8	10,18 ± 0,8	16,41 ± 0,8	12,58 ± 0,8	16,19 ± 0,8
	917	23,52	20,83 ± 0,9	17,45 ± 0,9	20,19 ± 0,9	18,20 ± 0,9	25,20 ± 1,0	18,83 ± 0,9	25,94 ± 1,0	21,57 ± 0,9	25,69 ± 0,9
	918	24,78	15,39 ± 0,8	12,27 ± 0,8	14,80 ± 0,8	12,96 ± 0,8	19,45 ± 0,9	13,54 ± 0,8	20,13 ± 0,9	16,08 ± 0,8	19,90 ± 0,8
	919	26,08	10,23 ± 0,8	7,37 ± 0,7	9,68 ± 0,8	8,00 ± 0,7	13,95 ± 0,8	8,53 ± 0,7	14,58 ± 0,8	10,86 ± 0,8	14,37 ± 0,8
	920	24,74	15,56 ± 0,8	12,43 ± 0,8	14,96 ± 0,8	13,12 ± 0,8	19,62 ± 0,9	13,70 ± 0,8	20,31 ± 0,9	16,25 ± 0,8	20,08 ± 0,8
	921	24,65	15,94 ± 0,8	12,78 ± 0,8	15,34 ± 0,8	13,48 ± 0,8	20,02 ± 0,9	14,07 ± 0,8	20,71 ± 0,9	16,63 ± 0,9	20,48 ± 0,9
	922	25,49	12,52 ± 0,8	9,54 ± 0,8	11,95 ± 0,8	10,20 ± 0,8	16,39 ± 0,8	10,75 ± 0,8	17,04 ± 0,9	13,17 ± 0,8	16,83 ± 0,8
	923	24,94	14,73 ± 0,8	11,64 ± 0,8	14,15 ± 0,8	12,33 ± 0,8	18,75 ± 0,9	12,90 ± 0,8	19,42 ± 0,9	15,42 ± 0,8	19,20 ± 0,8
	924	24,20	17,85 ± 0,9	14,60 ± 0,8	17,23 ± 0,9	15,32 ± 0,8	22,04 ± 0,9	15,92 ± 0,8	22,75 ± 0,9	18,56 ± 0,9	22,51 ± 0,9
	938	24,67	15,85 ± 0,8	12,70 ± 0,8	15,25 ± 0,8	13,40 ± 0,8	19,93 ± 0,9	13,99 ± 0,8	20,62 ± 0,9	16,55 ± 0,8	20,39 ± 0,8



Tab. 41: Gemessene  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Kalkkonkretionen in den Sedimenten der Bohrungen Höhle und Çıplak und die für diese Werte errechneten Bildungstemperaturen unter Verwendung der von der IAEA veröffentlichten isotopischen Zusammensetzung der meteorischen Wässer für die in der Tabelle angegebenen Orte ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$  gemessen:  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Kalkkonkretionen).

Bohrung	Probe HDS	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Cc}}$ gemessen [‰ VSMOW]	Temperaturen [°C]								
			Athen	Limnos	Heraklion	Alexan- dropolis	Maritsa	Kozağaç	Antalya	Erdemli	Adana
Höhle	925	23,97	18,84 ± 0,9	15,55 ± 0,8	18,21 ± 0,9	16,28 ± 0,8	23,10 ± 0,9	16,89 ± 0,9	23,81 ± 0,9	19,56 ± 0,9	23,57 ± 0,9
	937	23,50	20,92 ± 0,9	17,53 ± 0,9	20,28 ± 0,9	18,29 ± 0,9	25,30 ± 1,0	18,91 ± 0,9	26,03 ± 1,0	21,67 ± 0,9	25,79 ± 0,9
	926	24,81	15,27 ± 0,8	12,15 ± 0,8	14,68 ± 0,8	12,84 ± 0,8	19,32 ± 0,9	13,42 ± 0,8	20,00 ± 0,9	15,96 ± 0,8	19,77 ± 0,8
	927	24,84	15,15 ± 0,8	12,03 ± 0,8	14,55 ± 0,8	12,72 ± 0,8	19,18 ± 0,9	13,30 ± 0,8	19,86 ± 0,9	15,83 ± 0,8	19,64 ± 0,8
	928	25,15	13,88 ± 0,8	10,83 ± 0,8	13,30 ± 0,8	11,50 ± 0,8	17,84 ± 0,9	12,07 ± 0,8	18,51 ± 0,9	14,55 ± 0,8	18,28 ± 0,8
	929	26,27	9,51 ± 0,8	6,69 ± 0,7	8,97 ± 0,7	7,31 ± 0,7	13,19 ± 0,8	7,83 ± 0,7	13,81 ± 0,8	10,13 ± 0,8	13,60 ± 0,8
	930	25,19	13,72 ± 0,8	10,67 ± 0,8	13,14 ± 0,8	11,35 ± 0,8	17,67 ± 0,9	11,91 ± 0,8	18,33 ± 0,9	14,39 ± 0,8	18,11 ± 0,8
	931	24,77	15,44 ± 0,8	12,31 ± 0,8	14,84 ± 0,8	13,00 ± 0,8	19,49 ± 0,9	13,58 ± 0,8	20,17 ± 0,9	16,12 ± 0,8	19,95 ± 0,8
	932	26,06	10,30 ± 0,8	7,44 ± 0,7	9,76 ± 0,8	8,07 ± 0,7	14,03 ± 0,8	8,60 ± 0,7	14,66 ± 0,8	10,93 ± 0,8	14,45 ± 0,8
	933	25,00	14,49 ± 0,8	11,41 ± 0,8	13,90 ± 0,8	12,09 ± 0,8	18,49 ± 0,9	12,66 ± 0,8	19,16 ± 0,9	15,17 ± 0,8	18,93 ± 0,8
	935	22,65	24,83 ± 0,9	21,27 ± 0,9	24,15 ± 0,9	22,06 ± 0,9	29,42 ± 1,0	22,72 ± 0,9	30,19 ± 1,0	25,61 ± 1,0	29,93 ± 1,0
	936	27,05	6,66 ± 0,7	4,00 ± 0,7	6,15 ± 0,7	4,59 ± 0,7	10,14 ± 0,8	5,08 ± 0,7	10,73 ± 0,8	7,25 ± 0,7	10,54 ± 0,7
Çıplak	749	26,25	9,58 ± 0,8	6,76 ± 0,7	9,04 ± 0,7	7,39 ± 0,7	13,27 ± 0,8	7,91 ± 0,7	13,89 ± 0,8	10,21 ± 0,8	13,68 ± 0,8
	750	24,98	14,57 ± 0,8	11,48 ± 0,8	13,98 ± 0,8	12,17 ± 0,8	18,57 ± 0,9	12,74 ± 0,8	19,25 ± 0,9	15,25 ± 0,8	19,02 ± 0,8
	751	25,68	11,77 ± 0,8	8,83 ± 0,7	11,21 ± 0,8	9,48 ± 0,8	15,60 ± 0,8	10,02 ± 0,8	16,24 ± 0,8	12,42 ± 0,8	16,03 ± 0,8
	752	24,51	16,52 ± 0,8	13,34 ± 0,8	15,92 ± 0,8	14,05 ± 0,8	20,64 ± 0,9	14,64 ± 0,8	21,34 ± 0,9	17,22 ± 0,9	21,11 ± 0,9
	753	24,82	15,23 ± 0,8	12,11 ± 0,8	14,63 ± 0,8	12,80 ± 0,8	19,27 ± 0,9	13,38 ± 0,8	19,95 ± 0,9	15,92 ± 0,8	19,73 ± 0,8

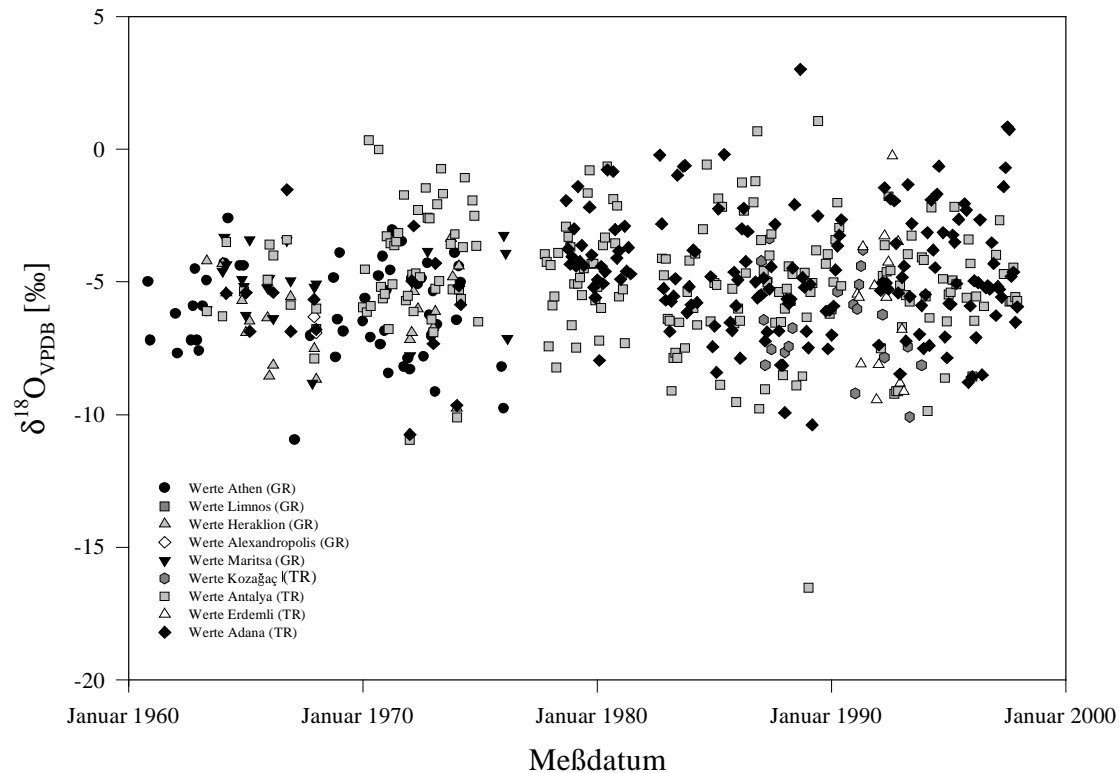


Abb. 123: Von der IAEA veröffentlichte  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der meteorischen Wässer von Athen, Limnos, Heraklion, Alexandropolis, Maritsa, Kozagaç, Antalya, Erdemli und Adana.

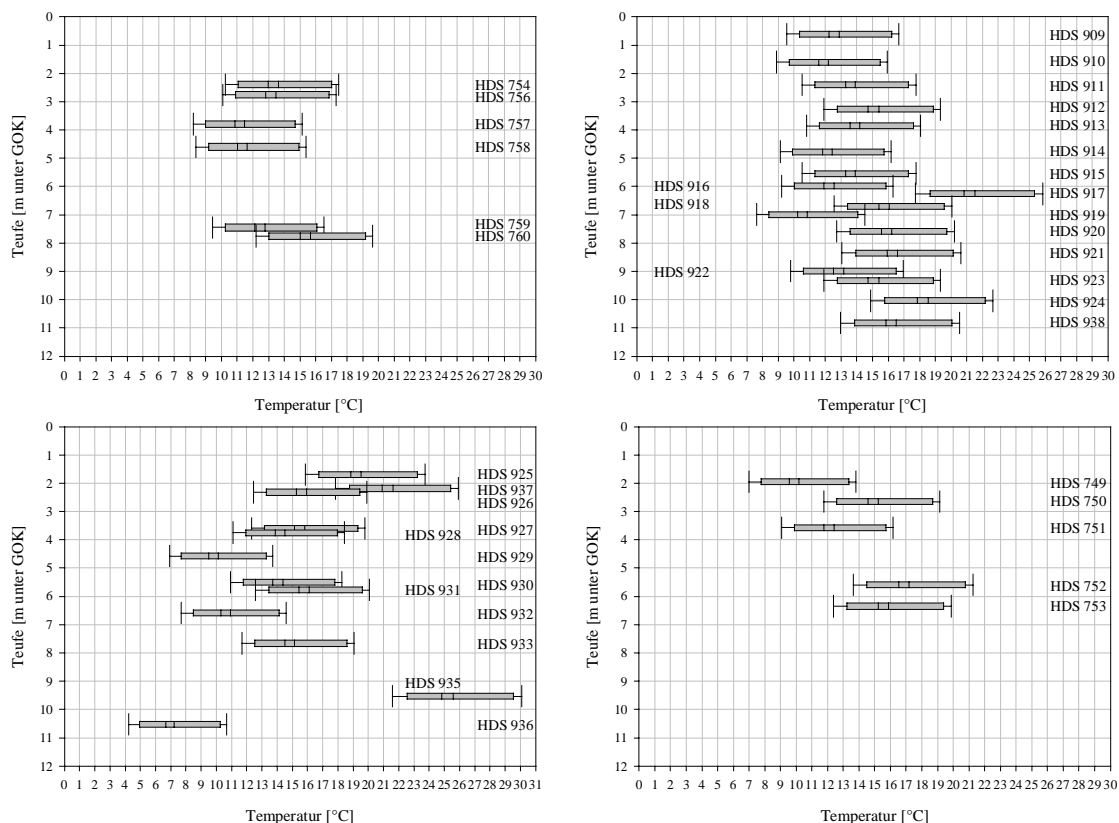


Abb. 124: Boxplot-Darstellung der für die Sedimente von Troia ermittelten Temperaturen mittels der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der meteorischen Wässer von von Athen, Alexandropolis, Heraklion, Limnos, Kozagaç, Maritsa, Antalya, Erdemli und Adana.

Tab. 42: Ergebnisse der Ermittlung des Diskriminierungswertes  $Z$  zur Unterscheidung von marinen und Frischwasserkarbonaten nach KEITH & WEBER (1964) mittels der stabilen Isotope  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  der untersuchten Kalkkonkretionen.

Bohrung	Probe HDS	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} [\text{‰}]$	$Z$	Frischwasser/marin
Dümrek	754	-5,69	-5,30	113,01	Frischwasser
	756	-5,46	-5,26	113,50	Frischwasser
	757	-5,60	-4,77	113,46	Frischwasser
	758	-4,74	-4,82	115,19	Frischwasser
	759	-5,45	-5,09	113,60	Frischwasser
	760	-7,12	-5,78	109,84	Frischwasser
Theater	909	-5,84	-5,12	112,79	Frischwasser
	910	-7,07	-4,95	110,36	Frischwasser
	911	-7,23	-5,36	109,82	Frischwasser
	912	-8,02	-5,72	108,03	Frischwasser
	913	-7,08	-5,43	110,10	Frischwasser
	914	-5,41	-5,01	113,73	Frischwasser
	915	-6,05	-5,37	112,24	Frischwasser
	916	-6,87	-5,04	110,72	Frischwasser
	917	-7,77	-7,08	107,86	Frischwasser
	918	-7,41	-5,87	109,20	Frischwasser
	919	-8,07	-4,61	108,48	Frischwasser
	920	-6,62	-5,91	110,80	Frischwasser
	921	-6,41	-6,00	111,18	Frischwasser
	922	-4,75	-5,18	114,99	Frischwasser
	923	-5,28	-5,71	113,64	Frischwasser
	924	-6,85	-6,43	110,07	Frischwasser
	938	-6,31	-5,97	111,40	Frischwasser
Höhle	925	-7,62	-6,65	108,38	Frischwasser
	937	-6,48	-7,11	110,49	Frischwasser
	926	-7,05	-5,84	109,95	Frischwasser
	927	-4,90	-5,81	114,37	Frischwasser
	928	-3,88	-5,51	116,61	Frischwasser
	929	-3,51	-4,43	117,91	Frischwasser
	930	-4,15	-5,48	116,07	Frischwasser
	931	-6,30	-5,88	111,47	Frischwasser
	932	-4,13	-4,63	116,54	Frischwasser
	933	-6,52	-5,66	111,13	Frischwasser
	935	-4,10	-7,92	114,96	Frischwasser
	936	-2,11	-3,68	121,15	marin
Çıplak	749	-7,55	-4,45	109,62	Frischwasser
	750	-6,24	-5,67	111,70	Frischwasser
	751	-7,11	-5,00	110,25	Frischwasser
	752	-9,46	-6,13	104,87	Frischwasser
	753	-8,70	-5,83	106,58	Frischwasser

Tab. 43: Ermittelte  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bezogen auf PDB-Standard des organischen Materials (Waren ausreichend große Reste organischen Materials vorhanden wurden diese aus dem Sediment entnommen und direkt analysiert, waren nur sehr kleine Reste vorhanden, wurde das Sediment beprobt. Die unterschiedlichen Genauigkeiten bei Einwaage resultieren daraus, daß für die Einwaage des reinen organischen Materials eine Präzisionswaage verwendet wurde.).

Bohrung	Probe HDS	Einwaage [mg]	Einwaage von	Ausbeute [% C]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ [‰]
Dümrek	754	0,3	Gesamtgestein	0,58	-25,24
	756	0,0953	organisches Material	2,36	-22,87
	757	0,7	Gesamtgestein	0,28	-25,24
	758	0,3	Gesamtgestein	0,73	-25,24
	759	1,1	organisches Material	0,29	-25,24
	760	0,0523	organisches Material	51,10	-25,58
Theater	909	0,94	Gesamtgestein	0,94	-25,24
	910	3,05	Gesamtgestein	0,85	-25,24
	911	0,2	Gesamtgestein	3,10	-25,24
	912	0,3	Gesamtgestein	0,71	-25,24
	913	0,5	Gesamtgestein	0,64	-25,24
	914	1,2	Gesamtgestein	0,58	-25,24
	915	0,7	Gesamtgestein	0,39	-25,24
	916	0,9	Gesamtgestein	0,53	-25,24
	917	0,8	Gesamtgestein	0,36	-25,24
	918	1,0	Gesamtgestein	0,25	-25,24
	919	1,2	Gesamtgestein	0,36	-25,24
	920	0,4	Gesamtgestein	0,52	-25,24
	921	0,7	Gesamtgestein	0,43	-25,24
	922	0,2	Gesamtgestein	0,60	-25,24
	923	1,0	Gesamtgestein	0,21	-25,24
	924	0,6	Gesamtgestein	0,45	-25,24
	938	1,0	Gesamtgestein	1,29	-25,24
Höhle	925	0,0368	organisches Material	49,75	-24,89
	937	1,0	Gesamtgestein	0,15	-25,24
	926	0,1157	organisches Material	1,62	-23,50
	927	1,4	Gesamtgestein	0,14	-25,24
	928	0,5	Gesamtgestein	0,58	-25,24
	929	0,0281	organisches Material	47,59	-24,12
	930	0,0771	organisches Material	51,95	-25,14
	931	0,0720	organisches Material	49,92	-25,33
	932	0,2	Gesamtgestein	0,64	-25,24
	933	0,0402	organisches Material	41,05	-24,08
	935	1,8	Gesamtgestein	0,16	-25,24
	936	0,0947	organisches Material	39,01	-26,36
Çıplak	749	0,5	Gesamtgestein	0,29	-25,24
	750	0,8	Gesamtgestein	1,00	-25,24
	751	0,0546	organisches Material	45,65	-21,88
	752	0,5	Gesamtgestein	0,30	-25,24
	753	0,6	Gesamtgestein	0,17	-25,24

Tab. 44: Mit Ungleichgewichten assoziierte Modellalter. Für die in vorliegender Arbeit analysierten Proben wurde im Falle festgestellter Ungleichgewichte in der  $^{238}\text{U}$ -Reihe jeweils ein mögliches Maximal- und ein mögliches Minimalalter berechnet (Rn: Radon, Ra: Radium, U: Uran, Th: Thorium, nach KADERET 2000).

Typ	mögliche Mobilisierung	Hypothese zum zeitlichen Verhalten im Datierungszeitraum	Bezeichnung	Berechnung	Extrema
A Gleichgewicht	keine	radioaktives Gleichgewicht im gesamten Datierungszeitraum	A	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	
B Rn-Defizit	$^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Rn-Abfuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	Bmin	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Rn-Defizit	$^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Rn-Defizit signifikant im gesamten Datierungszeitraum	Bmax	Ra-Gruppe (1, 2)+ $^{210}\text{Pb}$ (3)	Maximal-Alter
C Rn-Überschuß	$^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Rn-Zufuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	Cmin	Ra-Gruppe (1, 2)+ $^{210}\text{Pb}$ (3)	Minimal-Alter
Rn-Überschuß	$^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Rn-Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	Cmax	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Maximal-Alter
D Ra- und Rn-Defizit	U-Zufuhr	U-Zufuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	DminU	$^{234}\text{Th}$ (U:1) + Ra-Gruppe (U: 2, 3)	
Ra- und Rn-Defizit	U-Zufuhr	U-Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	DmaxU	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Maximal-Alter
E Ra- und Rn-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr	Ra- (inkl. Rn-) Abfuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	DminRa	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Ra- und Rn-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr	Ra- (inkl. Rn-) Abfuhr signifikant für gesamten Datierungszeitraum	DmaxRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3)	
F Ra- und Rn-Überschuß	U-Abfuhr	U-Abfuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	EminU	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Ra- und Rn-Überschuß	U-Abfuhr	U-Abfuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	EmaxU	$^{234}\text{Th}$ (U:1) + Ra-Gruppe (U: 2, 3)	
G Ra- und Rn-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr	Ra- (inkl. Rn-) Zufuhr signifikant für gesamten Datierungszeitraum	EminRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3)	
Ra- und Rn-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr	Ra- (inkl. Rn-) Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	EminRa	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Maximal-Alter
H Ra-Defizit	U-Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	U-Zufuhr und Ra-Zufuhr signifikant im ges. Datierungszeitraum	FminU	$^{234}\text{Th}$ (U:1) + Ra-Gruppe (U: 2) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	
Ra-Defizit	U-Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	U-Zufuhr und Ra-Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	FmaxU	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Maximal-Alter
I Ra-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Ra-Abfuhr und Rn- Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	FminRa	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Ra-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Ra-Abfuhr und Rn- Zufuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	FmaxRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3)	
J Ra-Überschuß	U-Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	U-Abfuhr und Rn-Abfuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	GminU	Ra-Gruppe (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Ra-Überschuß	U-Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	U-Abfuhr und Rn-Abfuhr signifikant im ges. Datierungszeitraum	GmaxU	$^{234}\text{Th}$ (U:1) + Ra-Gruppe (U: 2) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	
K Ra-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Ra-Zufuhr ohne Rn-Abfuhr signifikant im ges. Datierungszeitraum	GminRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3)	
Ra-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Ra-Zufuhr für Datierungszeitraum nicht signifikant	GmaxRa	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Maximal-Alter
L Ra- und Rn-Überschuß	U-Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	U-Abfuhr nicht, Rn-Zufuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	HminU	Ra-Gruppe (1, 2, 3) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	Minimal-Alter
Ra- und Rn-Überschuß	U-Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Rn-Zufuhr nicht, U-Abfuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	HmaxU	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3) + Ra-Gruppe (U: 2)	
M Ra- und Rn-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Ra-Zufuhr und Rn-Abfuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	HminRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	
Ra- und Rn-Überschuß	$^{226}\text{Ra}$ -Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Zufuhr	Ra-Zufuhr und Rn-Abfuhr nicht signifikant für Datierungszeitraum	Hmax Ra	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Maximal-Alter
N Ra- und Rn-Defizit	U-Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Rn-Abfuhr nicht, U-Zufuhr signifikant für Datierungszeitraum	IminU	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3) + Ra-Gruppe (U: 2)	
Ra- und Rn-Defizit	U-Zufuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	U-Zufuhr nicht, Rn-Abfuhr signifikant für Datierungszeitraum	ImaxU	(Ra: 2, 3) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	Maximal-Alter
O Ra- und Rn-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Ra-Abfuhr und Rn-Abfuhr nicht signifikant für Datierungszeitraum	IminRa	$^{234}\text{Th}$ (1, 2, 3)	Minimal-Alter
Ra- und Rn-Defizit	$^{226}\text{Ra}$ -Abfuhr und $^{222}\text{Rn}$ -Abfuhr	Ra-Abfuhr und Rn-Abfuhr signifikant im gesamten Datierungszeitraum	ImaxRa	$^{234}\text{Th}$ (Ra:1) + Ra-Gruppe (Ra: 2, 3) + $^{210}\text{Pb}$ (3)	

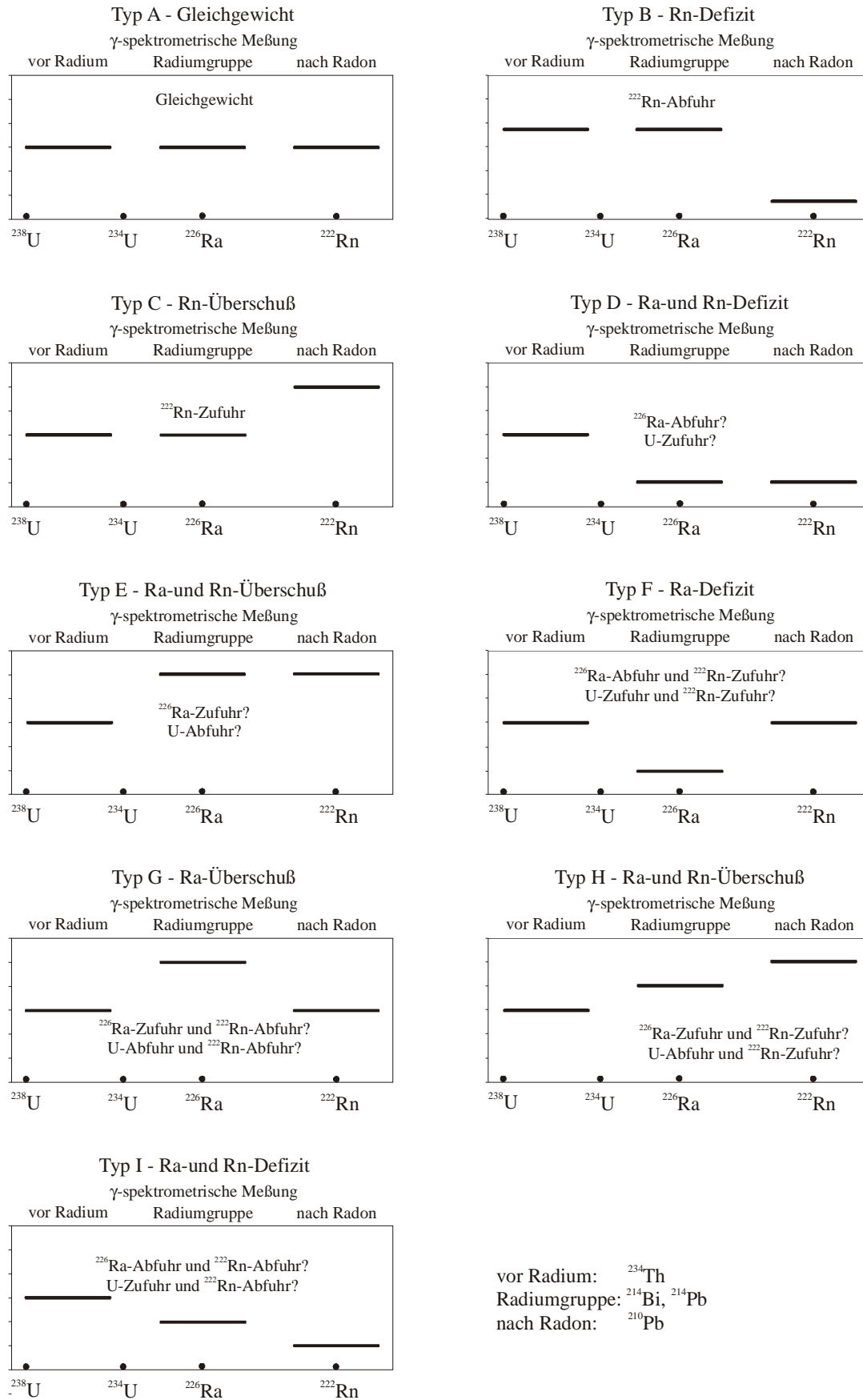


Abb. 125: Mit Hilfe hochauflösender Low-Level-Gammaspektrometrie erkannte Typen radioaktiver Gleich- bzw. Ungleichgewichte in der  $^{238}\text{U}$ -Reihe (nach KADEREIT 2000).

Tab. 45: Wassergehalte  $w$  und Feuchtefaktor  $d$  der Proben der Bohrung Dümrek [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].

Bohrung	Probe HDS	aus DL/KG	$m_B$ [g]	$m_B+m_{Prf}$ [g]	$m_{Prf}$ [g]	$m_B+m_{Prtr}$ [g]	$m_{Prtr}$ [g]	$w$ [%]	$d$
Dümrek	754	DL	99,25	244,40	145,15	207,95	108,70	33,53	1,34
	755	DL	99,50	214,00	114,50	187,20	87,70	30,56	1,31
	756	DL	64,25	175,25	111,00	159,35	95,10	16,72	1,17
	757	DL	94,70	376,05	281,35	332,70	238,00	18,21	1,18
	758	DL	102,15	266,10	163,95	233,30	131,15	25,01	1,25
	759	DL	97,10	330,05	232,95	282,95	185,85	25,34	1,25
	760	DL	67,90	152,25	84,35	132,95	65,05	29,67	1,30

Tab. 46: Wassergehalte  $w$  und Feuchtefaktor  $d$  der Proben der Bohrung Theater [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].

Bohrung	Probe HDS	aus DL/KG	$m_B$ [g]	$m_B+m_{Prf}$ [g]	$m_{Prf}$ [g]	$m_B+m_{Prtr}$ [g]	$m_{Prt}$ [g]	$w$ [%]	$d$
Theater	909	DL	153,50	238,65	85,15	219,85	66,35	28,33	1,28
		KG	97,15	248,35	151,20	215,75	118,60	27,49	1,27
	910	DL	145,70	268,10	122,40	228,85	83,15	47,20	1,47
		KG	145,40	310,40	165,00	271,15	125,75	31,21	1,31
	911	DL	142,25	247,85	105,60	225,95	83,70	26,16	1,26
		KG	142,85	283,55	140,70	255,8	112,95	24,57	1,25
	912	DL	138,90	278,30	139,40	244,85	105,95	31,57	1,32
		KG	98,90	250,85	151,95	215,15	116,25	30,71	1,31
	913	DL	107,70	183,20	75,50	164,05	56,35	33,98	1,34
		KG	99,50	224,05	124,55	192,45	92,95	34,00	1,34
	914	DL	149,30	235,40	86,10	214,10	64,80	32,87	1,33
		KG	170,10	297,90	127,80	267,05	96,95	31,82	1,32
	915	DL	139,35	230,40	91,05	210,75	71,40	27,52	1,28
		KG	157,80	284,20	126,40	257,35	99,55	26,97	1,27
	916	DL	99,50	190,00	90,50	171,95	72,45	24,91	1,25
		KG	97,10	227,15	130,05	203,10	106,00	22,69	1,23
	917	DL	98,78	188,35	89,57	172,15	73,37	22,08	1,22
		KG	107,70	213,70	106,00	193,35	85,65	23,76	1,24
	918	DL	154,80	289,50	134,70	261,10	106,30	26,72	1,27
		KG	138,85	317,40	178,55	280,70	141,85	25,87	1,26
	919	DL	149,35	233,70	84,35	217,00	67,65	24,69	1,25
		KG	143,35	306,30	162,95	276,80	133,45	22,11	1,22
	920	DL	139,35	279,30	139,95	247,90	108,55	28,93	1,29
		KG	153,50	326,95	173,45	282,75	129,25	34,20	1,34
	921	DL	145,75	259,20	113,45	233,10	87,35	29,88	1,30
		KG	142,30	308,95	166,65	270,30	128,00	30,20	1,30
	922	KG	138,90	212,85	73,95	190,55	51,70	43,04	1,43
	923	KG	99,55	175,45	75,85	165,45	64,90	16,95	1,17
	924	DL	138,90	208,70	69,80	194,30	55,40	25,99	1,26
		KG	145,35	248,60	103,25	223,40	78,05	32,29	1,32
	938	DL	145,85	276,65	130,80	236,70	90,85	43,97	1,44
		KG	99,50	187,50	88,00	158,30	58,80	49,66	1,50



Tab. 47: Wassergehalte  $w$  und Feuchtefaktor  $d$  der Proben der Bohrung Höhle [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].

Bohrung	Probe HDS	aus DL/KG	$m_B$ [g]	$m_B+m_{Prf}$ [g]	$m_{Prf}$ [g]	$m_B+m_{Prtr}$ [g]	$m_{Prtr}$ [g]	$w$ [%]	$d$
Höhle	925	DL	97,10	248,70	151,60	225,25	128,15	18,30	1,18
		KG	138,90	293,70	154,80	265,75	126,85	22,03	1,22
	937	DL	153,50	250,35	96,85	241,20	87,70	10,43	1,10
		KG	145,85	203,90	58,05	199,50	53,65	8,20	1,08
	926	DL	136,25	213,50	77,25	198,55	62,30	24,00	1,24
		KG	99,50	176,55	77,05	161,70	62,20	23,87	1,24
	927	DL	139,40	189,10	49,70	184,25	44,85	10,81	1,11
		KG	98,75	137,70	38,95	134,95	36,20	7,60	1,08
	928	DL	154,80	214,10	59,30	206,75	51,95	14,15	1,14
		KG	145,53	177,65	32,12	172,85	27,32	17,57	1,18
	929	DL	145,70	229,70	84,00	215,6	69,9	20,17	1,20
		KG	142,85	185,65	42,80	178,7	35,85	19,39	1,19
	930	DL	142,90	313,90	171,00	275,25	132,35	29,20	1,29
		KG	138,90	214,75	75,85	195,75	56,85	33,42	1,33
	931	DL	145,35	284,45	139,10	258,10	112,75	23,37	1,23
		KG	145,90	203,15	57,25	191,45	45,55	25,69	1,26
	932	DL	97,15	216,65	119,50	192,00	94,85	25,99	1,26
		KG	99,50	211,80	112,30	188,65	89,15	25,97	1,26
	933	DL	142,85	244,10	101,25	228,35	85,50	18,42	1,18
		KG	97,10	155,70	58,60	145,85	48,75	20,21	1,20
	934	DL	142,85	247,50	104,65	236,05	93,20	12,29	1,12
		KG	145,85	279,10	133,25	265,80	119,95	11,09	1,11
	935	DL	145,35	321,10	175,75	301,90	156,55	12,26	1,12
		KG	138,90	257,15	118,25	243,40	104,50	13,16	1,13
	936	DL	97,10	229,90	132,80	204,00	106,90	24,23	1,24
		KG	99,45	160,40	60,95	149,60	50,15	21,54	1,22

Tab. 48: Wassergehalte  $w$  und Feuchtefaktor  $d$  der Proben der Bohrung Çıplak [aus DL/KG bedeutet: Wassergehaltsbestimmung an Material für Bestimmung der Dosisleistung (DL) oder aus Material für die Korngrößenanalyse (KG)].

Bohrung	Probe HDS	aus DL/KG	$m_B$ [g]	$m_B+m_{Prf}$ [g]	$m_{Prf}$ [g]	$m_B+m_{Prtr}$ [g]	$m_{Prtr}$ [g]	$w$ [%]	$d$
Çıplak	749	DL	65,20	232,90	167,70	206,40	141,20	18,77	1,19
	750	DL	108,25	196,35	88,10	182,00	73,75	19,46	1,19
	751	DL	101,95	231,65	129,70	209,35	107,40	20,76	1,21
	752	DL	100,75	257,65	156,90	229,75	129,00	21,63	1,22
	753	DL	101,25	243,95	142,70	221,20	119,95	18,97	1,19

Tab. 49: Ergebnisse der aus der Alphazählung und Betazählung ermittelten  $\alpha$ -Dosisleistung und  $\beta$ -Dosisleistung.

Bohrung	Probe HDS	$\alpha$ -Dosisleistung aus Alphazählung		$\beta$ -Dosisleistung aus Betazählung	
		$DL_{\alpha}$ [Gy/ka]	$\delta DL_{\alpha}$ [Gy/ka]	$DL_{\beta}$ [Gy/ka]	$\delta DL_{\beta}$ [Gy/ka]
Dümrek	754	6,580	0,348	1,658	0,083
	756	6,876	0,364	1,111	0,056
	757	4,994	0,270	0,916	0,046
	758	8,638	0,453	1,437	0,072
	759	8,557	0,449	1,417	0,071
	760	16,391	0,841	2,491	0,125
Theater	911	16,063	0,822	2,466	0,123
	912	19,671	1,002	2,662	0,133
	913	19,105	0,979	2,762	0,138
	914	18,045	0,926	2,645	0,132
	915	9,800	0,513	1,809	0,090
	916	16,200	0,834	2,332	0,117
	917	15,978	0,820	2,451	0,123
	918	17,468	0,890	2,555	0,128
	919	18,306	0,936	2,695	0,135
	920	18,164	0,929	2,681	0,134
	921	14,433	0,743	2,231	0,112
	924	16,904	0,869	2,571	0,129
	938	16,098	0,826	2,181	0,109
Höhle	926	17,545	0,919	2,837	0,142
	928	16,370	0,840	2,315	0,116
	929	12,790	0,660	2,269	0,113
	930	13,895	0,719	1,892	0,095
	931	16,358	0,842	2,026	0,101
	932	15,841	0,821	2,102	0,105
	933	16,419	0,851	2,104	0,105
	936	14,060	0,724	1,821	0,091
Çıplak	749	10,569	0,554	2,286	0,114
	750	11,291	0,589	2,067	0,103
	751	13,638	0,706	2,415	0,121
	752	12,904	0,670	1,939	0,097
	753	11,536	0,597	2,073	0,104

Tab. 50: Äquivalenturangelhalte und Kaliumgehalt ermittelt über Low-Level-Gammaspektrometrie. Die Errechnung der Äquivalenturangelhalte erfolgte aus den Tochternukliden unter der Annahme eines Gleichgewichtes.

Bohrung	Probe HDS	Äquivalenturangelhalte [µg/g] und $\gamma$ -Energien der Zerfälle [keV]							Kalium [µg/g] 1460 keV
		<sup>234</sup> Th 63 keV	<sup>226</sup> Ra 186 keV	<sup>214</sup> Pb 295 keV	<sup>214</sup> Pb 352 keV	<sup>214</sup> Bi 609 keV	<sup>214</sup> Bi 1120 keV	<sup>210</sup> Pb 46 keV	
Dümrek	754	1,88±0,4	2,63±0,4	2,15±0,2	2,23±0,1	2,36±0,2	1,61±0,7	2,28±0,6	1,41±0,08
	756	1,34±0,3	1,34±0,2	1,72±0,1	1,52±0,1	1,50±0,1	1,59±0,5	1,48±0,4	0,92±0,03
	757	1,30±0,4	1,02±0,2	1,20±0,1	1,05±0,1	1,07±0,1	0,82±0,2	1,01±0,3	0,78±0,03
	758	2,12±0,4	1,61±0,2	2,06±0,1	2,00±0,1	2,11±0,1	1,91±0,3	1,72±0,4	1,20±0,03
	759	1,86±0,4	1,59±0,3	1,59±0,1	1,68±0,1	1,74±0,2	1,28±0,5	1,65±0,5	1,22±0,07
	760	4,42±0,8	3,54±0,4	3,65±0,2	3,97±0,1	4,10±0,1	4,01±0,4	3,87±0,7	1,95±0,04
Theater	911	3,47±0,7	3,69±0,3	3,25±0,2	3,45±0,1	3,42±0,2	3,05±0,5	3,03±0,6	1,85±0,05
	912	5,46±0,7	4,28±0,3	4,51±0,2	4,56±0,1	4,92±0,1	4,81±0,4	4,61±0,7	1,92±0,04
	913	5,20±1,0	3,59±0,5	4,15±0,2	4,24±0,2	4,45±0,2	4,30±0,6	4,31±0,8	2,08±0,07
	914	4,31±0,7	3,00±0,4	2,91±0,2	2,96±0,1	3,27±0,2	4,03±0,5	3,83±0,7	1,78±0,05
	915	1,32±0,3	1,96±0,2	1,96±0,1	2,06±0,1	2,21±0,1	3,25±0,4	2,13±0,4	1,47±0,04
	916	3,60±0,6	3,77±0,5	3,89±0,2	3,47±0,1	3,45±0,2	4,33±0,6	3,24±0,6	1,80±0,06
	917	4,17±0,7	3,42±0,4	3,29±0,2	3,46±0,1	3,64±0,1	3,04±0,5	3,59±0,6	1,86±0,05
	918	4,04±0,7	3,37±0,5	3,22±0,3	3,46±0,2	3,65±0,3	2,27±0,8	3,42±0,9	1,76±0,11
	919	3,42±0,5	3,60±0,3	4,09±0,1	4,20±0,1	4,39±0,1	4,40±0,4	3,66±0,6	2,09±0,04
	920	3,75±0,6	4,70±0,5	3,64±0,2	3,59±0,1	3,81±0,1	4,49±0,5	3,93±0,7	2,01±0,06
	921	3,21±0,6	3,73±0,5	2,94±0,3	2,94±0,2	3,04±0,3	2,53±0,8	3,23±0,6	1,64±0,10
	924	3,55±0,6	3,33±0,4	3,95±0,3	3,90±0,2	3,78±0,3	4,83±1,6	3,69±0,7	2,07±0,12
	938	4,57±0,9	4,12±0,5	3,48±0,3	3,63±0,2	3,72±0,2	3,92±0,6	3,32±0,7	2,10±0,07
Höhle	926	4,14±0,8	3,05±0,6	3,44±0,4	3,47±0,2	3,23±0,3	5,58±2,2	3,13±0,8	2,45±0,16
	928	3,79±0,7	3,34±0,5	3,93±0,3	3,63±0,2	3,41±0,3	4,87±1,8	4,27±0,9	2,20±0,14
	929	4,84±0,6	3,65±0,3	3,47±0,1	3,52±0,1	3,40±0,1	3,79±0,4	3,63±0,6	1,93±0,04
	930	5,22±0,7	3,97±0,5	3,92±0,3	3,85±0,2	3,63±0,3	4,22±1,7	4,44±0,9	1,74±0,12
	931	6,02±1,1	3,96±0,5	3,26±0,2	3,00±0,1	3,35±0,2	3,40±0,5	4,21±0,8	1,82±0,06
	932	3,93±0,7	3,47±0,5	4,47±0,3	4,10±0,2	3,65±0,3	4,92±1,9	4,24±0,9	2,06±0,13
	933	4,78±0,7	3,27±0,3	3,23±0,1	3,32±0,1	3,42±0,1	3,56±0,4	3,57±0,6	1,81±0,04
	936	2,69±0,6	2,51±0,5	3,68±0,3	3,38±0,2	3,82±0,3	4,37±1,6	3,50±0,7	2,05±0,13
Çıplak	749	3,27±0,7	3,24±0,4	2,99±0,2	2,91±0,1	2,95±0,1	3,40±0,4	3,29±0,7	1,68±0,05
	750	2,91±0,6	2,58±0,3	2,32±0,1	2,36±0,1	2,31±0,1	2,42±0,4	1,92±0,4	1,84±0,04
	751	2,65±0,5	3,08±0,4	2,71±0,1	2,68±0,1	2,81±0,1	3,42±0,5	3,07±0,6	2,03±0,06
	752	2,47±0,5	2,62±0,4	2,03±0,1	2,04±0,1	2,05±0,1	2,35±0,4	2,09±0,5	1,59±0,05
	753	2,95±0,6	2,08±0,2	2,07±0,1	2,03±0,1	2,17±0,1	2,06±0,3	1,97±0,4	1,73±0,04

Tab. 51: Äquivalentthoriumgehalte ermittelt über die Low-Level-Gammaspektrometrie. Die Errechnung der Äquivalentthoriumgehalte erfolgte aus den Tochternukliden unter der Annahme eines Gleichgewichtes.

Bohrung	Probe HDS	Äquivalentthoriumgehalte [ $\mu\text{g/g}$ ] und $\gamma$ -Energien der Zerfälle [keV]							
		$^{228}\text{Ac}$ 128 keV	$^{228}\text{Ac}$ 209 keV	$^{228}\text{Ac}$ 339 keV	$^{228}\text{Ac}$ 911 keV	$^{228}\text{Ac}$ 969 keV	$^{212}\text{Pb}$ 239 keV	$^{208}\text{Tl}$ 583 keV	$^{208}\text{Tl}$ 2641 keV
Dümrek	754	7,36 $\pm$ 2,1	7,45 $\pm$ 2,0	8,66 $\pm$ 1,1	8,82 $\pm$ 1,1	8,08 $\pm$ 1,5	9,15 $\pm$ 0,4	8,44 $\pm$ 0,9	9,15 $\pm$ 1,4
	756	5,11 $\pm$ 1,4	4,30 $\pm$ 1,2	5,57 $\pm$ 0,7	4,69 $\pm$ 0,7	3,86 $\pm$ 0,8	3,28 $\pm$ 0,2	4,73 $\pm$ 0,5	4,07 $\pm$ 0,9
	757	-	2,99 $\pm$ 1,0	3,30 $\pm$ 0,6	3,32 $\pm$ 0,3	3,32 $\pm$ 0,6	3,45 $\pm$ 0,1	3,66 $\pm$ 0,3	2,81 $\pm$ 0,5
	758	8,95 $\pm$ 2,7	9,19 $\pm$ 1,7	6,59 $\pm$ 0,6	7,44 $\pm$ 0,5	6,19 $\pm$ 0,7	6,74 $\pm$ 0,1	7,34 $\pm$ 0,4	7,00 $\pm$ 0,5
	759	7,20 $\pm$ 2,0	6,14 $\pm$ 1,8	6,34 $\pm$ 0,9	6,92 $\pm$ 1,0	5,22 $\pm$ 1,2	6,91 $\pm$ 0,3	6,73 $\pm$ 0,7	6,35 $\pm$ 1,3
	760	20,37 $\pm$ 4,6	16,88 $\pm$ 2,4	15,62 $\pm$ 1,0	16,72 $\pm$ 0,8	16,65 $\pm$ 1,2	16,70 $\pm$ 0,3	15,75 $\pm$ 0,7	15,40 $\pm$ 0,7
Theater	911	21,43 $\pm$ 5,1	25,01 $\pm$ 3,9	14,49 $\pm$ 1,1	16,74 $\pm$ 0,9	15,63 $\pm$ 1,3	16,56 $\pm$ 0,3	15,63 $\pm$ 0,7	16,27 $\pm$ 0,9
	912	27,01 $\pm$ 5,6	20,31 $\pm$ 2,6	19,37 $\pm$ 1,1	20,54 $\pm$ 0,8	18,25 $\pm$ 1,2	20,43 $\pm$ 0,3	19,43 $\pm$ 0,7	18,18 $\pm$ 0,8
	913	29,73 $\pm$ 7,4	21,39 $\pm$ 3,3	19,70 $\pm$ 1,3	19,50 $\pm$ 1,1	22,26 $\pm$ 1,6	21,25 $\pm$ 0,5	20,03 $\pm$ 1,0	19,46 $\pm$ 1,1
	914	15,34 $\pm$ 4,3	19,25 $\pm$ 3,0	18,68 $\pm$ 1,4	18,44 $\pm$ 1,0	18,32 $\pm$ 1,4	17,31 $\pm$ 0,4	17,45 $\pm$ 0,9	17,49 $\pm$ 1,0
	915	9,67 $\pm$ 3,0	7,33 $\pm$ 1,6	8,27 $\pm$ 0,7	8,58 $\pm$ 0,6	11,17 $\pm$ 0,9	9,05 $\pm$ 0,2	8,14 $\pm$ 0,5	9,07 $\pm$ 0,6
	916	9,11 $\pm$ 2,4	14,54 $\pm$ 2,7	13,45 $\pm$ 1,1	13,30 $\pm$ 0,9	13,74 $\pm$ 1,3	14,38 $\pm$ 0,3	13,61 $\pm$ 0,7	-
	917	20,14 $\pm$ 5,1	13,39 $\pm$ 2,7	13,69 $\pm$ 1,0	14,44 $\pm$ 0,9	14,42 $\pm$ 1,3	14,67 $\pm$ 0,3	15,76 $\pm$ 0,8	14,32 $\pm$ 0,8
	918	15,79 $\pm$ 3,4	14,57 $\pm$ 3,2	14,57 $\pm$ 1,7	14,78 $\pm$ 1,7	110,6 $\pm$ 2,3	16,06 $\pm$ 0,6	15,25 $\pm$ 1,3	13,39 $\pm$ 2,1
	919	19,71 $\pm$ 4,1	16,56 $\pm$ 2,0	14,57 $\pm$ 0,9	15,40 $\pm$ 0,6	15,87 $\pm$ 0,9	15,62 $\pm$ 0,2	14,64 $\pm$ 0,5	15,08 $\pm$ 0,6
	920	12,40 $\pm$ 2,6	17,55 $\pm$ 2,7	17,28 $\pm$ 1,2	17,53 $\pm$ 0,9	17,31 $\pm$ 1,5	17,36 $\pm$ 0,3	17,48 $\pm$ 0,8	-
	921	10,77 $\pm$ 3,5	6,12 $\pm$ 2,7	7,04 $\pm$ 1,5	4,92 $\pm$ 1,1	9,29 $\pm$ 2,6	7,02 $\pm$ 0,4	6,38 $\pm$ 0,9	6,89 $\pm$ 1,8
	924	16,92 $\pm$ 4,1	20,41 $\pm$ 5,1	18,58 $\pm$ 2,3	13,56 $\pm$ 1,7	18,11 $\pm$ 4,5	16,50 $\pm$ 0,7	18,22 $\pm$ 1,8	17,90 $\pm$ 4,0
	938	17,04 $\pm$ 4,2	14,95 $\pm$ 3,5	15,84 $\pm$ 1,7	16,40 $\pm$ 1,2	16,14 $\pm$ 1,8	16,27 $\pm$ 0,4	14,75 $\pm$ 0,9	-
Höhle	926	19,77 $\pm$ 5,0	28,92 $\pm$ 7,3	20,87 $\pm$ 2,9	18,19 $\pm$ 2,5	21,73 $\pm$ 0,9	19,61 $\pm$ 0,9	18,60 $\pm$ 2,2	24,45 $\pm$ 5,5
	928	9,58 $\pm$ 3,7	17,48 $\pm$ 5,1	13,49 $\pm$ 2,1	13,11 $\pm$ 2,0	9,77 $\pm$ 3,7	13,14 $\pm$ 0,6	13,84 $\pm$ 1,6	12,82 $\pm$ 3,7
	929	10,72 $\pm$ 3,0	9,69 $\pm$ 1,6	8,44 $\pm$ 0,7	9,58 $\pm$ 0,5	8,48 $\pm$ 0,8	9,22 $\pm$ 0,2	7,79 $\pm$ 0,46	9,56 $\pm$ 0,6
	930	12,82 $\pm$ 3,9	9,48 $\pm$ 4,1	9,34 $\pm$ 1,6	9,03 $\pm$ 1,5	10,81 $\pm$ 3,3	8,15 $\pm$ 0,5	9,56 $\pm$ 1,3	7,41 $\pm$ 3,2
	931	-	10,80 $\pm$ 2,3	10,60 $\pm$ 1,3	10,56 $\pm$ 0,9	10,40 $\pm$ 1,3	9,72 $\pm$ 0,3	9,14 $\pm$ 0,6	-
	932	903 $\pm$ 3,9	17,36 $\pm$ 5,2	14,19 $\pm$ 2,1	10,44 $\pm$ 1,7	12,62 $\pm$ 3,9	12,38 $\pm$ 0,6	12,40 $\pm$ 1,6	13,84 $\pm$ 3,7
	933	17,75 $\pm$ 4,0	15,41 $\pm$ 2,1	12,75 $\pm$ 0,9	15,28 $\pm$ 0,7	13,61 $\pm$ 1,0	14,56 $\pm$ 0,3	14,31 $\pm$ 0,6	13,44 $\pm$ 0,6
	936	14,10 $\pm$ 3,9	12,98 $\pm$ 4,5	14,93 $\pm$ 2,0	12,85 $\pm$ 2,0	12,99 $\pm$ 3,9	11,31 $\pm$ 0,6	10,58 $\pm$ 1,5	10,88 $\pm$ 3,5
Çıplak	749	4,60 $\pm$ 1,6	10,97 $\pm$ 2,1	9,17 $\pm$ 0,9	9,79 $\pm$ 0,7	9,83 $\pm$ 1,2	8,87 $\pm$ 0,2	8,36 $\pm$ 0,6	-
	750	11,68 $\pm$ 3,0	9,97 $\pm$ 1,8	8,90 $\pm$ 0,7	9,35 $\pm$ 0,6	8,28 $\pm$ 0,8	9,33 $\pm$ 0,2	9,85 $\pm$ 0,5	9,27 $\pm$ 0,5
	751	7,39 $\pm$ 1,8	11,61 $\pm$ 2,0	11,81 $\pm$ 0,9	11,55 $\pm$ 0,7	11,81 $\pm$ 1,1	12,39 $\pm$ 0,2	12,80 $\pm$ 0,6	10,85 $\pm$ 0,7
	752	7,95 $\pm$ 1,7	12,30 $\pm$ 2,01	10,69 $\pm$ 0,8	11,00 $\pm$ 0,6	11,86 $\pm$ 1,1	11,91 $\pm$ 0,2	12,02 $\pm$ 0,6	-
	753	14,00 $\pm$ 3,2	9,83 $\pm$ 1,5	11,00 $\pm$ 0,7	11,30 $\pm$ 0,5	10,84 $\pm$ 0,7	11,69 $\pm$ 0,2	10,97 $\pm$ 0,5	11,58 $\pm$ 0,5

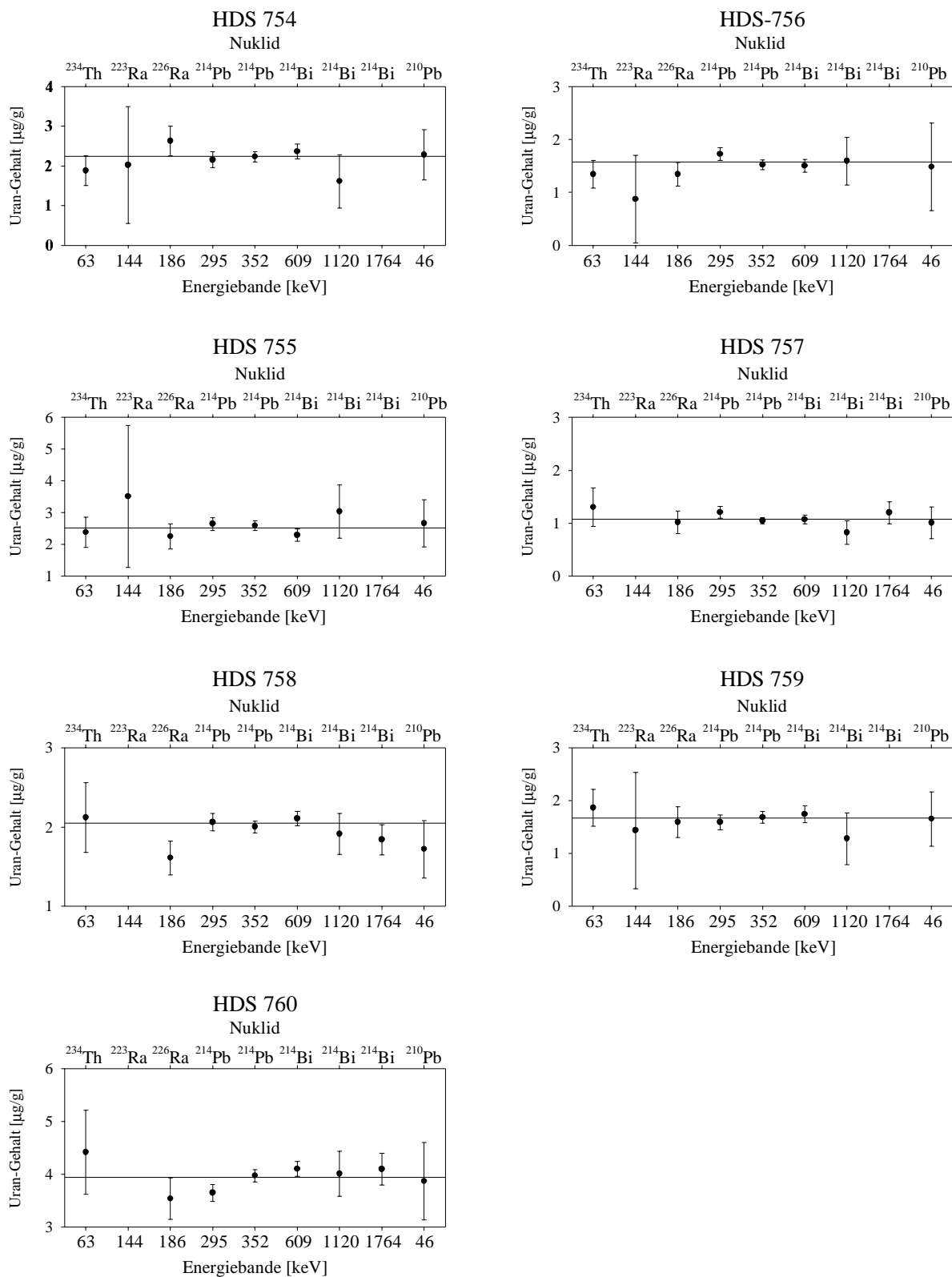


Abb. 126: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Dümrek ( $^{223}\text{Ra}$  wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen).

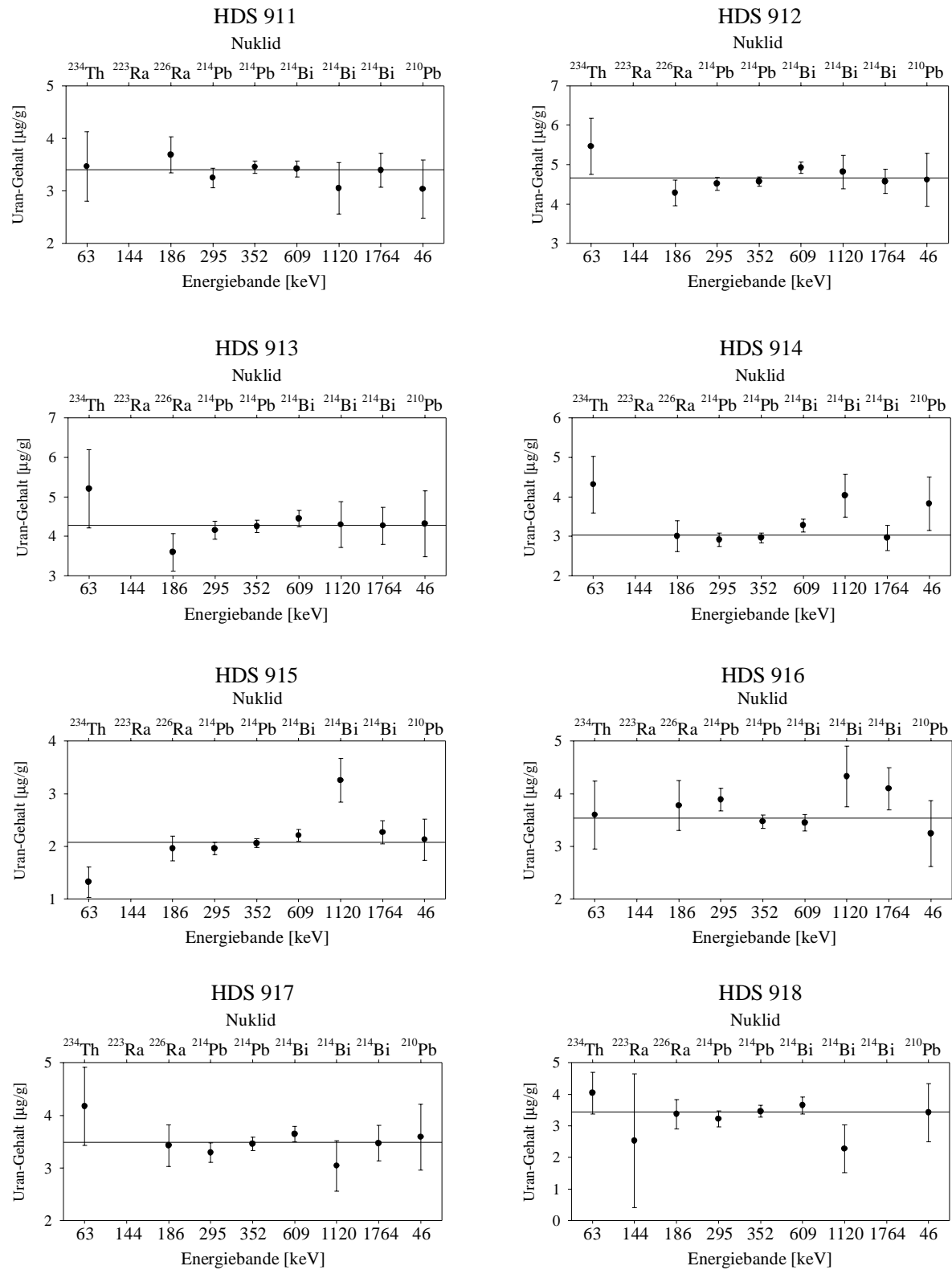


Abb. 127: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben HDS 911 bis HDS 918 der Bohrung Theater ( $^{223}\text{Ra}$  wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen).

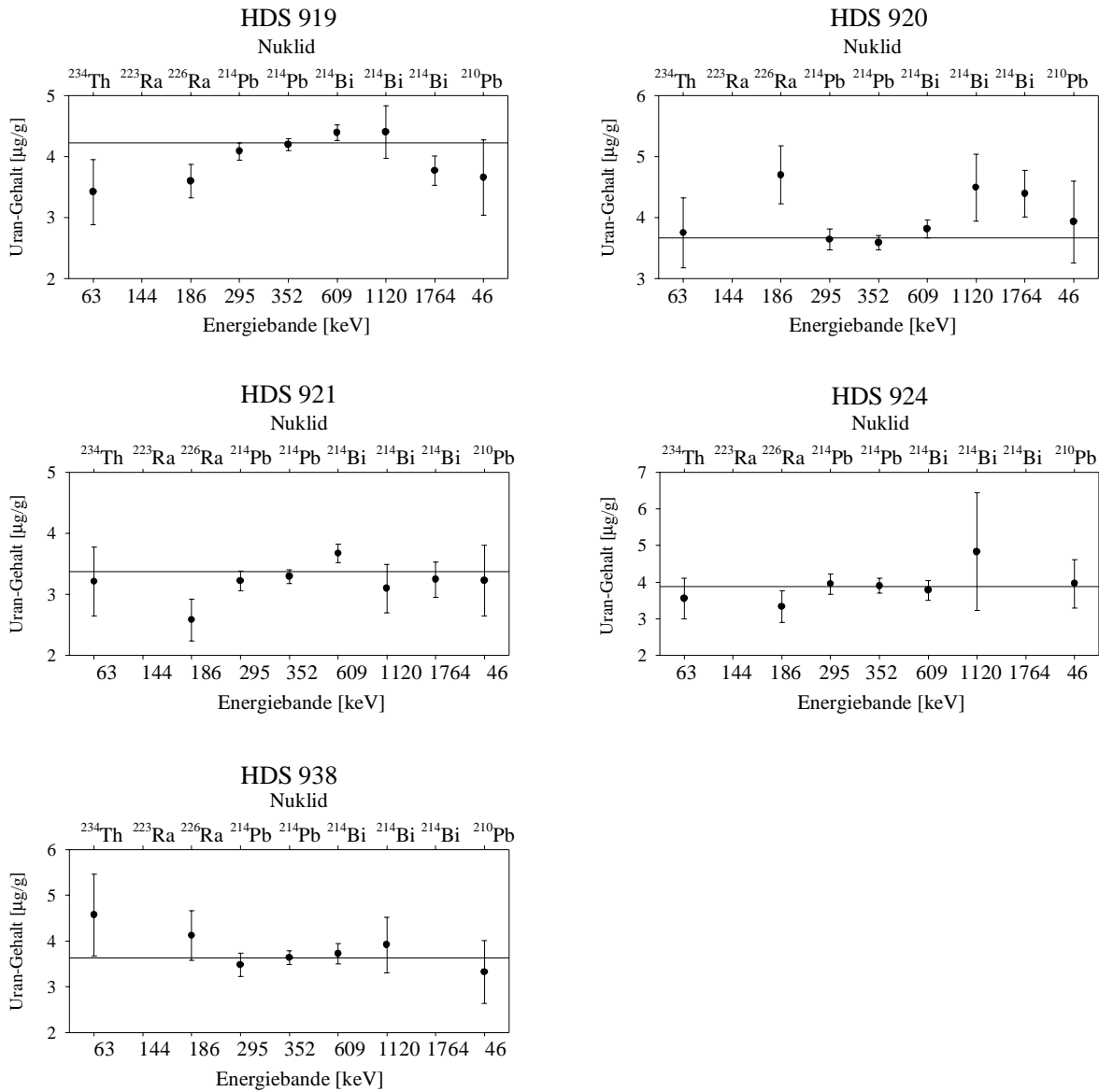


Abb. 128: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben HDS 919 bis HDS 921 und HDS 924 und HDS 938 der Bohrung Theater ( $^{223}\text{Ra}$  wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen).



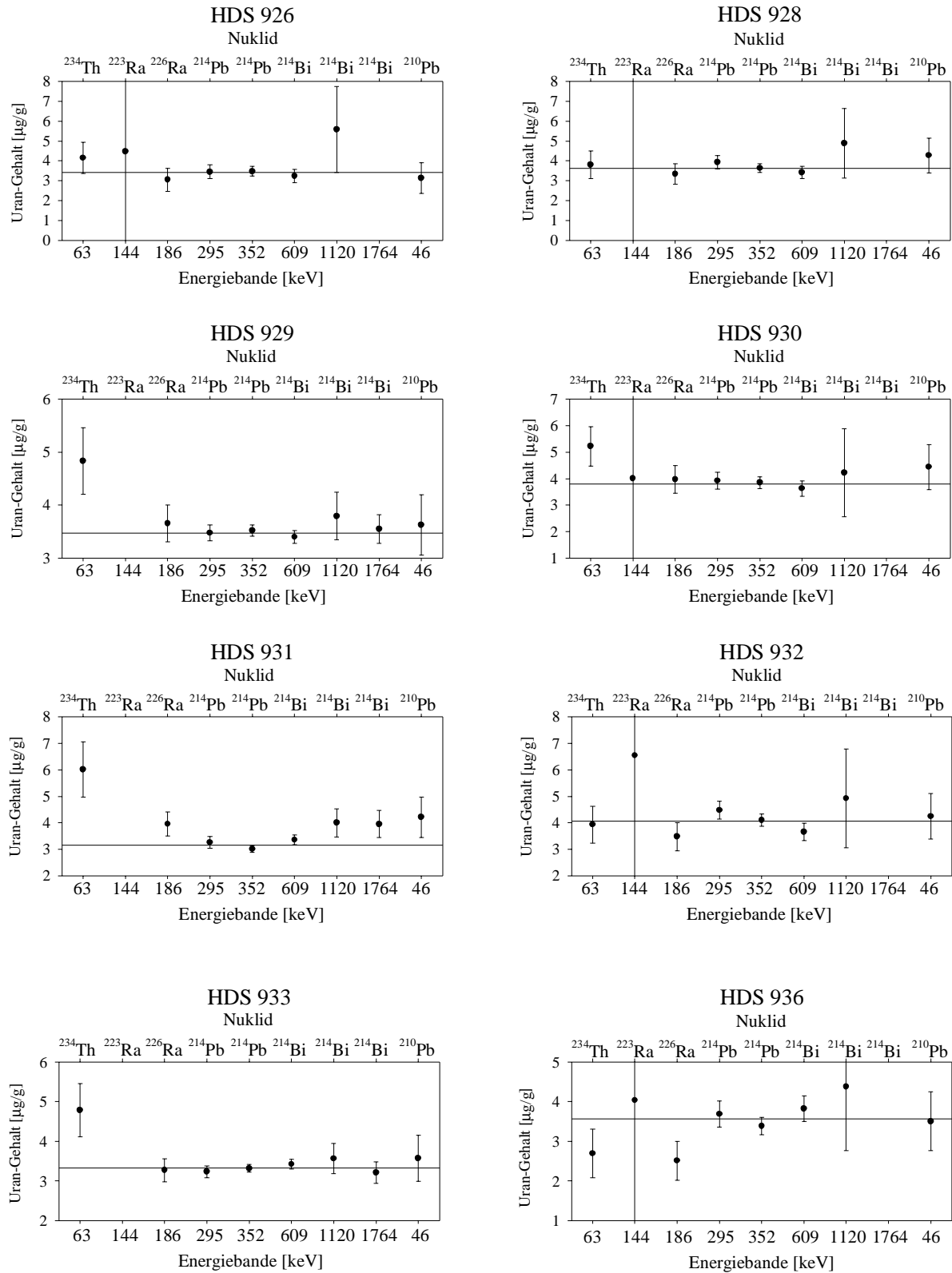


Abb. 129: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Höhle ( $^{223}\text{Ra}$  wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen).

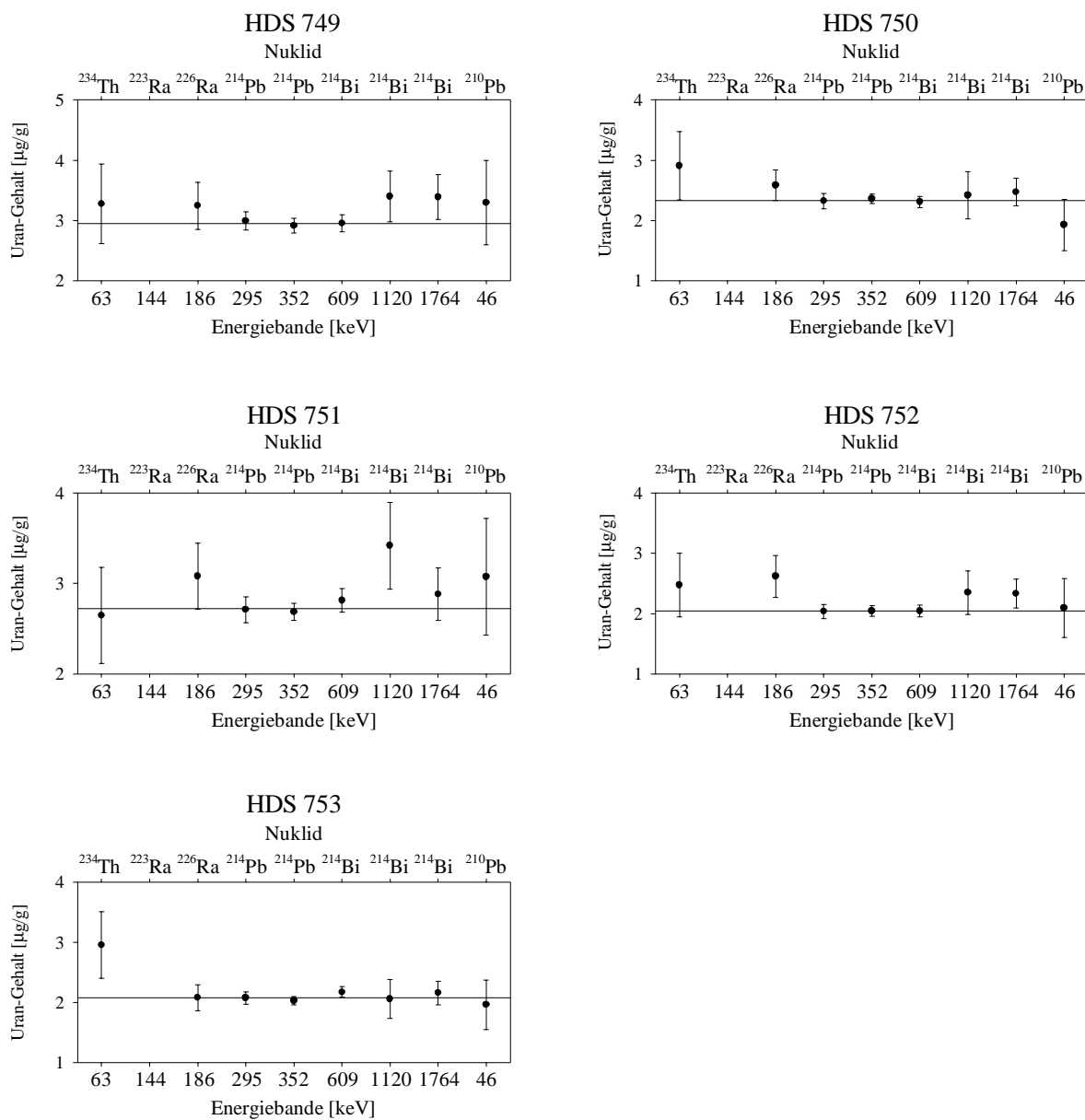


Abb. 130: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Low-Level-Gammaspektrometrie für die Proben der Bohrung Çıplak (<sup>223</sup>Ra wurde laborbedingt nicht bei allen Proben gemessen).

Tab. 52: Ergebnisse der Versuche zum anomalen Ausheilen (anomalous fading, aufgelistet sind jeweils die gemittelten IRSL-Signale von mindestens fünf Messungen, alle IRSL-Signale sind Integrale über das Intervall von 0 s bis 40 S Ausleuchtzeit).

Bohrung	Probe HDS	Lagerzeit	vor Lagerung		nach Lagerung	
			IRSL	$\delta$ IRSL	IRSL	$\delta$ IRSL
Dümrek	754	6 Monate	14920	1289	17662	588
	756	6 Monate	1294	152	1667	172
	757	5 Monate	1999	248	2816	112
	758	7 Monate	12925	1580	12300	468
	759	3 Monate	1675	123	1822	403
	760	6 Monate	10507	1328	9339	482
Theater	911	6 Monate	3311	498	3933	469
	912	4 Monate	5638	1593	5513	1184
	913	4 Monate	4786	271	5787	418
	914	4 Monate	3001	519	1947	563
	915	4 Monate	2185	221	2140	112
	916	6 Monate	5331	469	4693	595
	917	5 Monate	6152	769	7210	548
	918	5 Monate	11008	1272	11600	887
	919	4 Monate	6271	756	7671	1077
	920	6 Monate	9064	982	9174	694
	921	5 Monate	2674	517	2818	933
	924	6 Monate	8204	1608	8284	1463
	938	5 Monate	3128	282	4286	611
Höhle	926	6 Monate	4615	158	3661	199
	928	6 Monate	3967	603	4667	1123
	929	5 Monate	2158	119	2867	203
	930	5 Monate	2232	301	1841	302
	931	5 Monate	3966	404	5663	574
	932	6 Monate	4548	761	4365	565
	933	7 Monate	6349	751	5853	530
	936	5 Monate	6138	596	5735	421
Çıplak	749	6 Monate	9063	594	11005	850
	750	6 Monate	4298	242	4092	25
	751	6 Monate	5980	707	7022	255
	752	6 Monate	118441	12041	70436	7016
	753	5 Monate	113567	13391	103357	10366

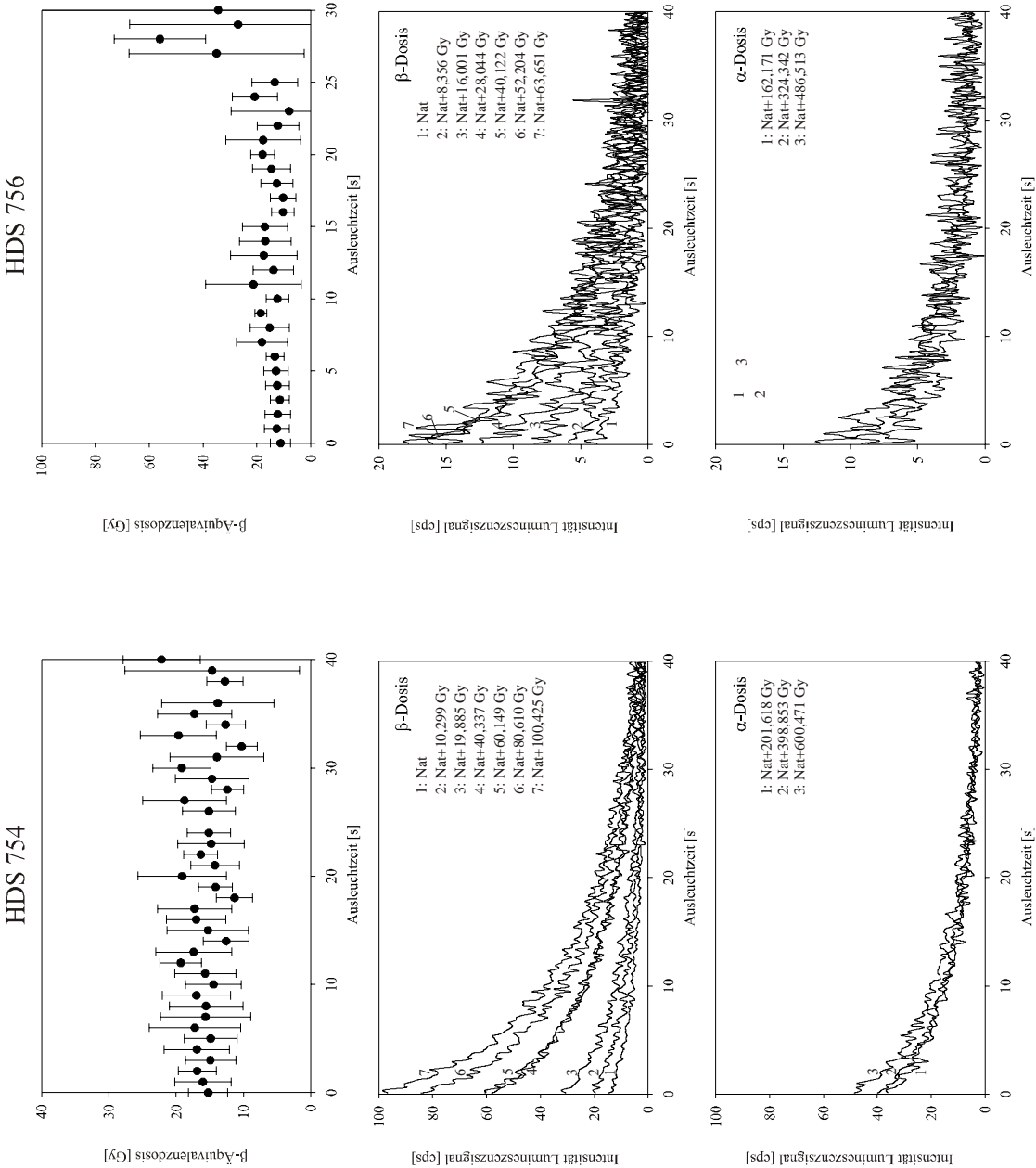


Abb. 131: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 754 und HDS 756 aus der Bohrung Dümrek.

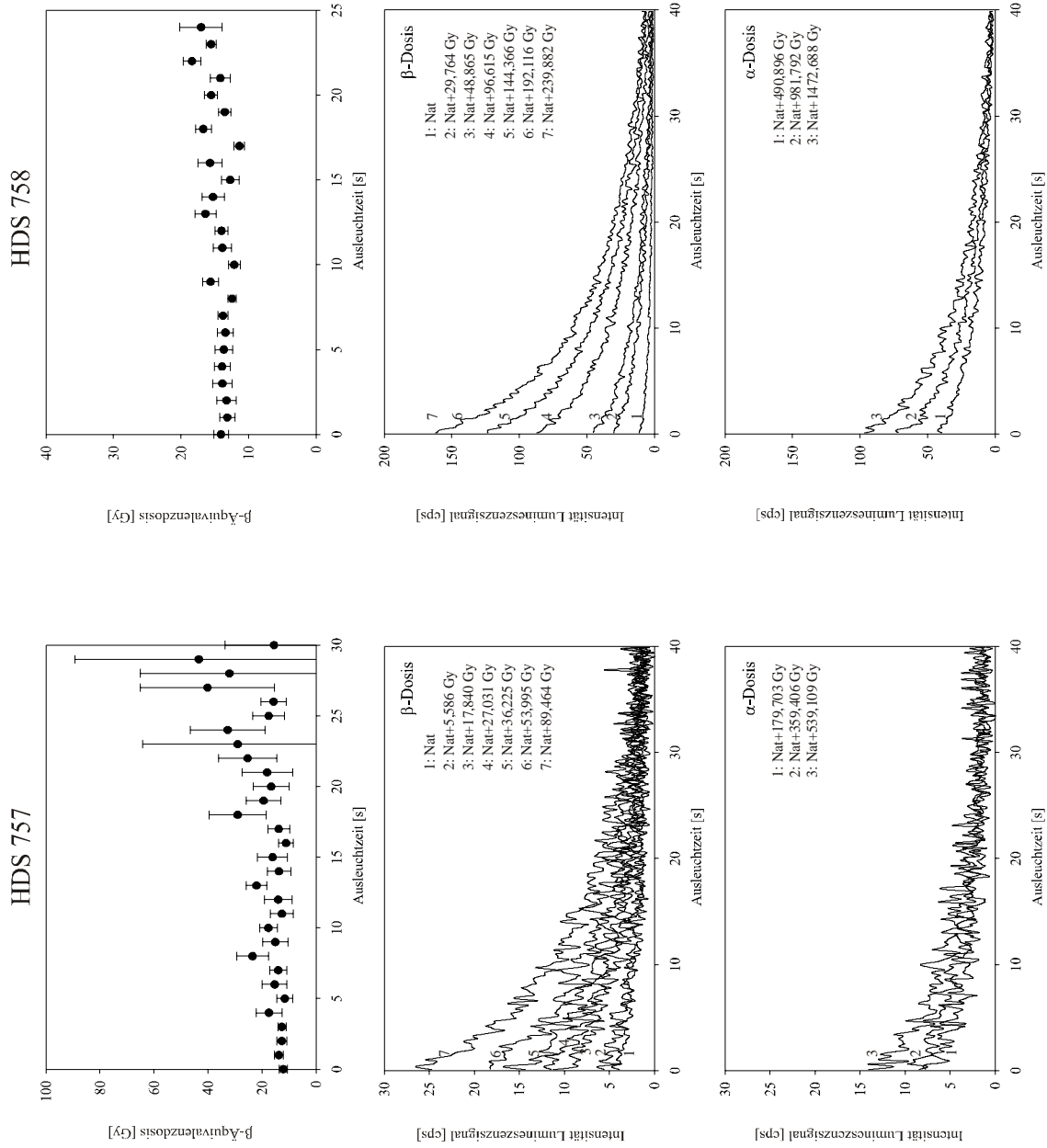


Abb. 132: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 757 und HDS 758 aus der Bohrung Dümrek.

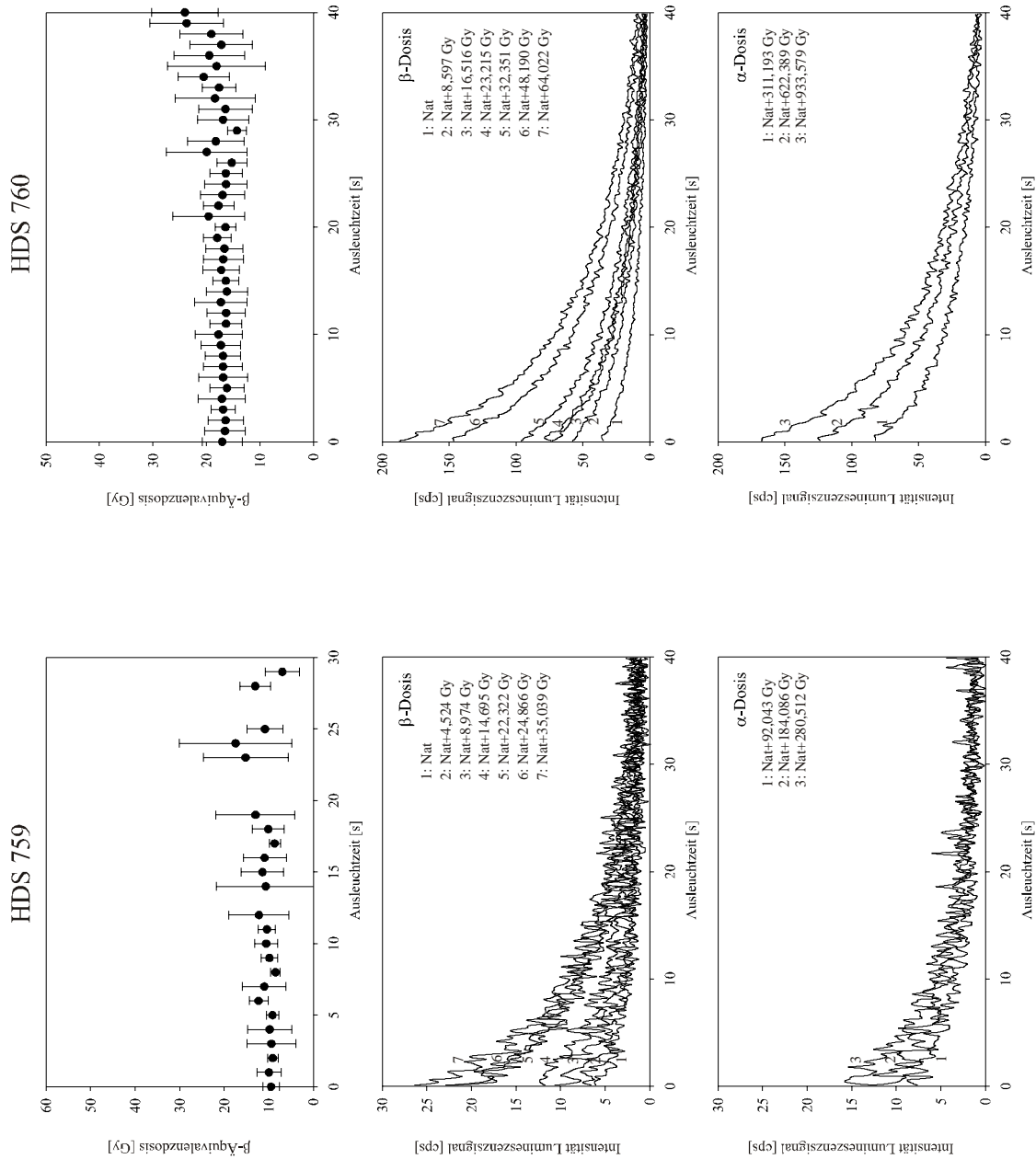


Abb. 133: Äqivianenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 759 und HDS 760 aus der Bohrung Dümrek.

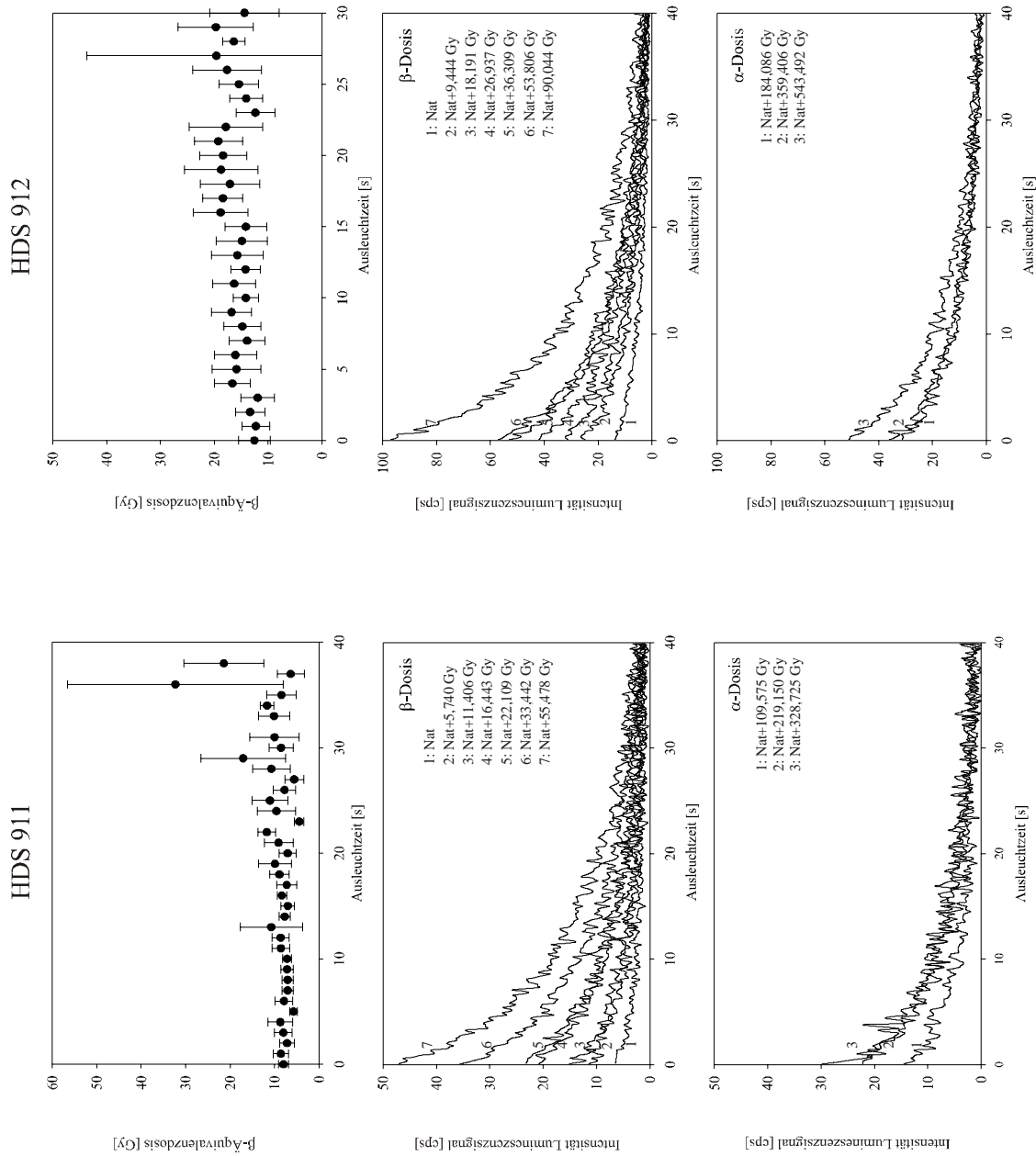


Abb. 134: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 911 und HDS 912 aus der Bohrung Theater.

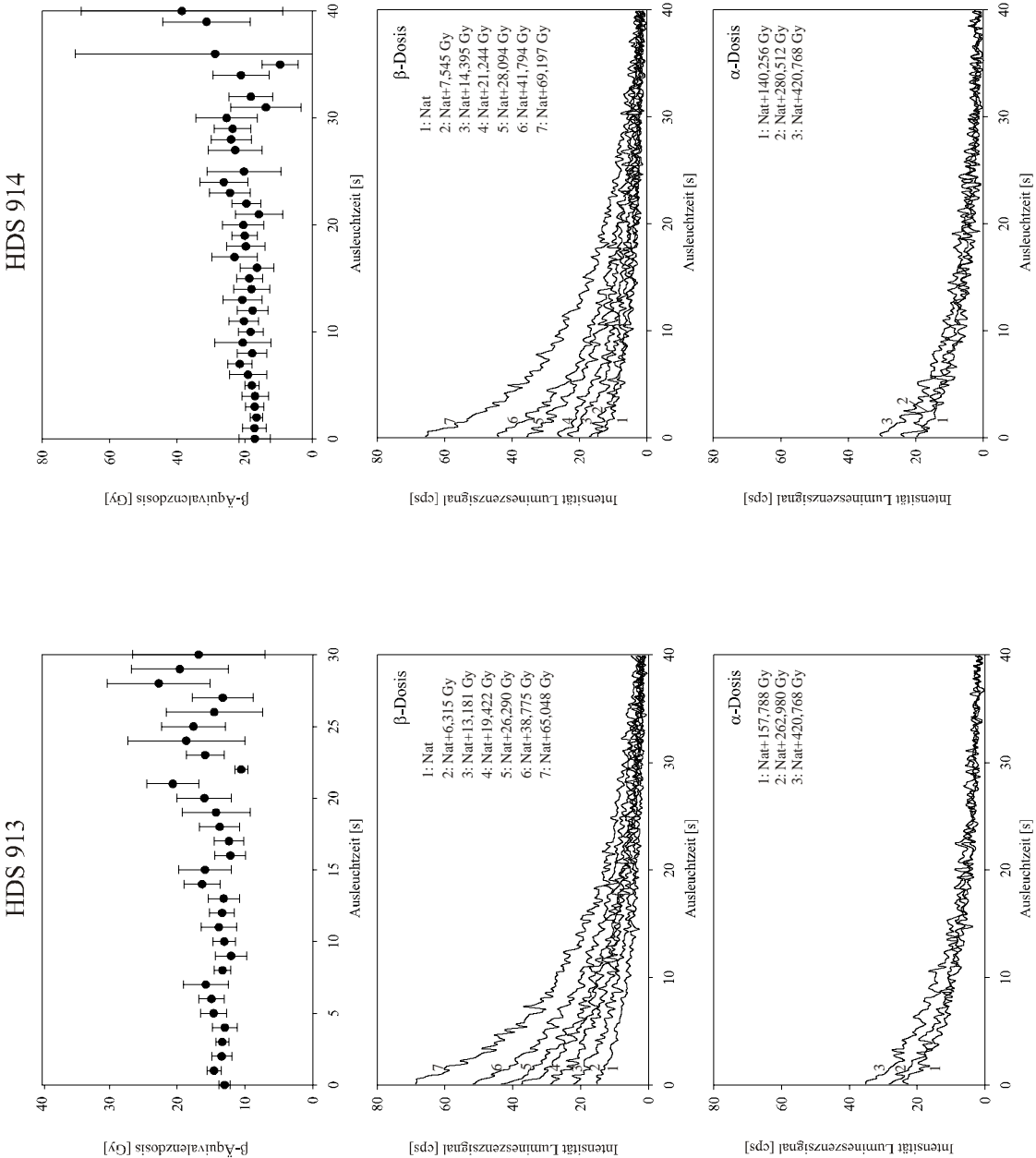


Abb. 135: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 913 und HDS 914 aus der Bohrung Theater.



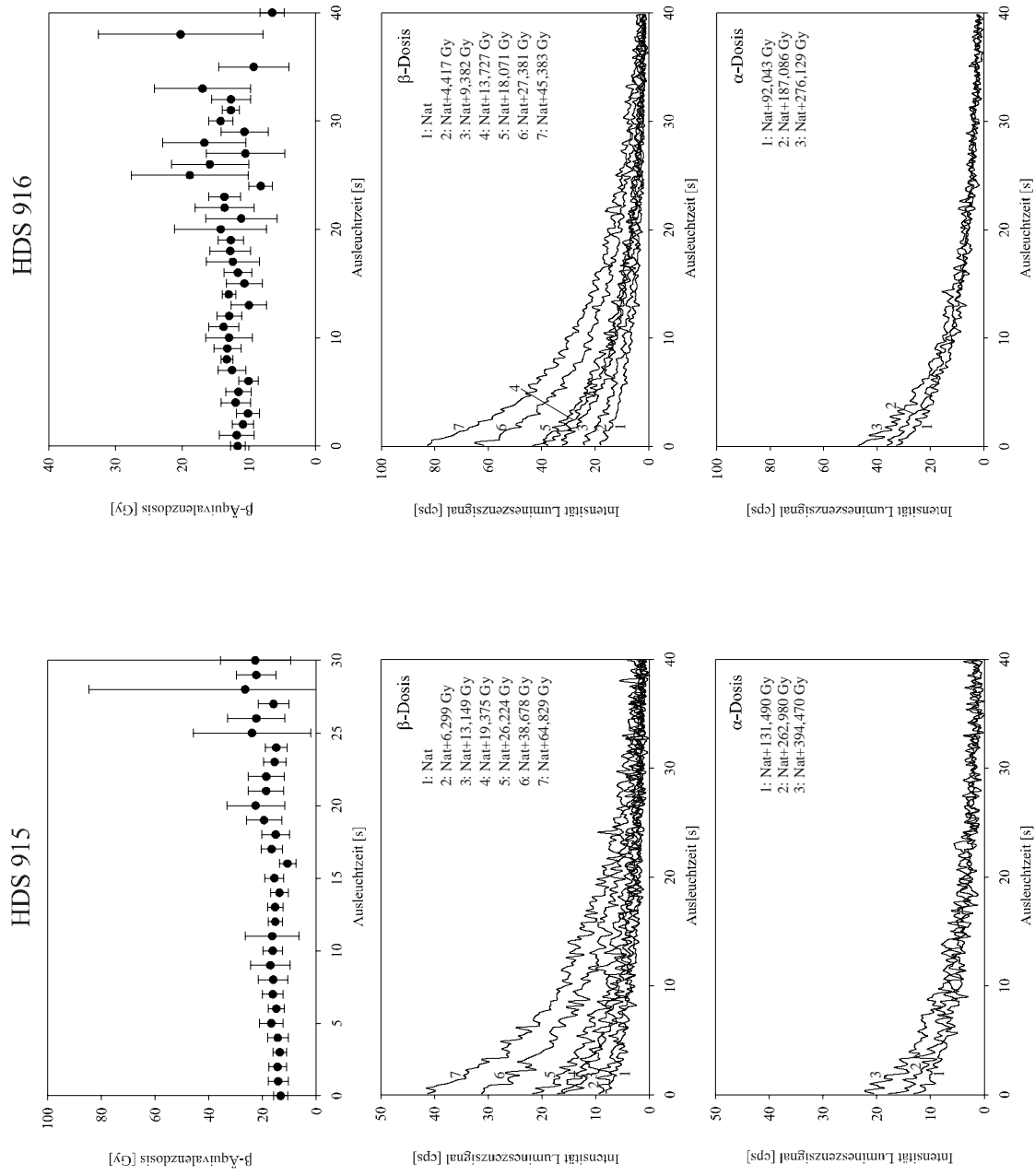


Abb. 136: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 915 und HDS 916 aus der Bohrung Theater.

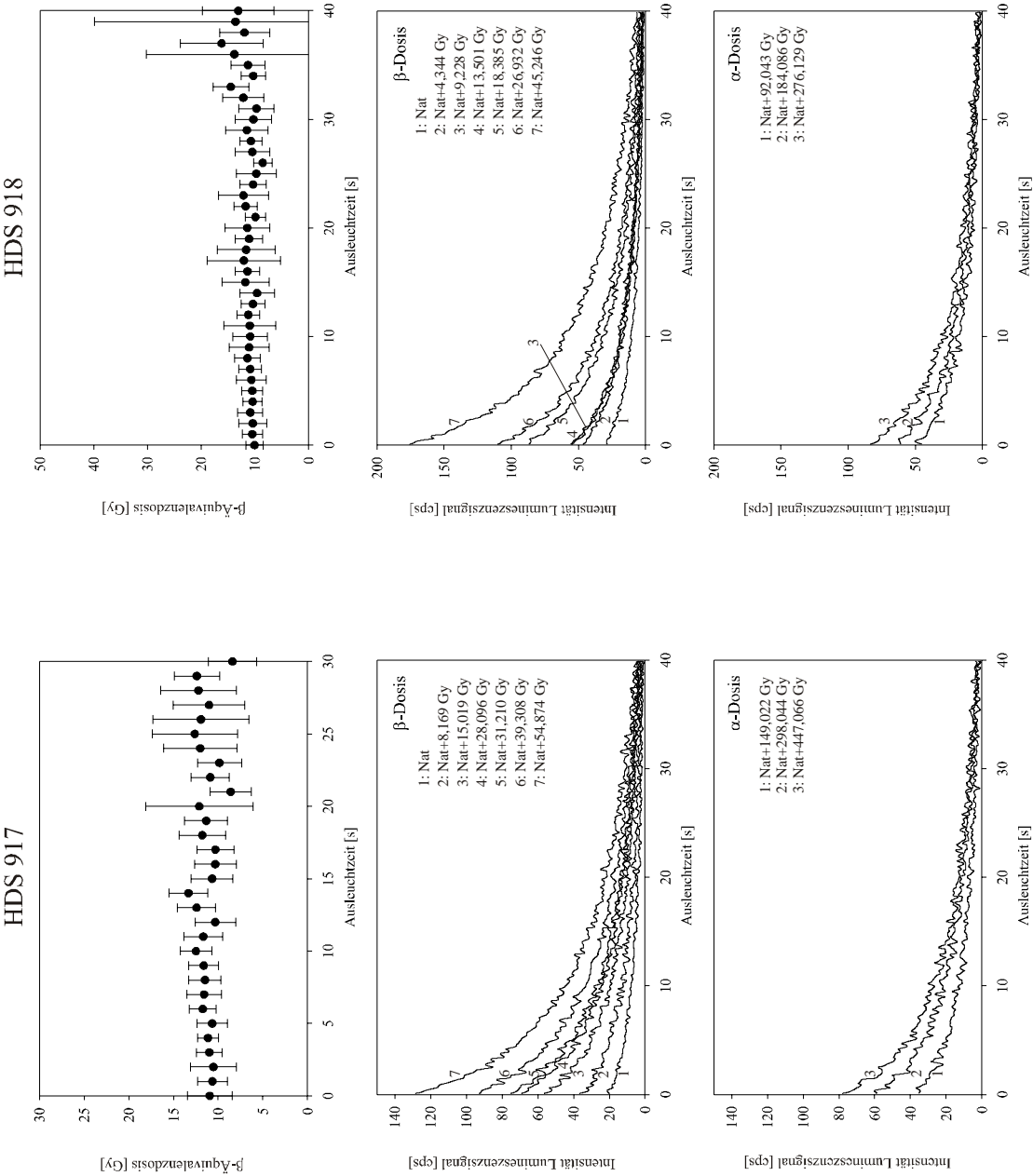


Abb. 137: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 917 und HDS 918 aus der Bohrung Theater.

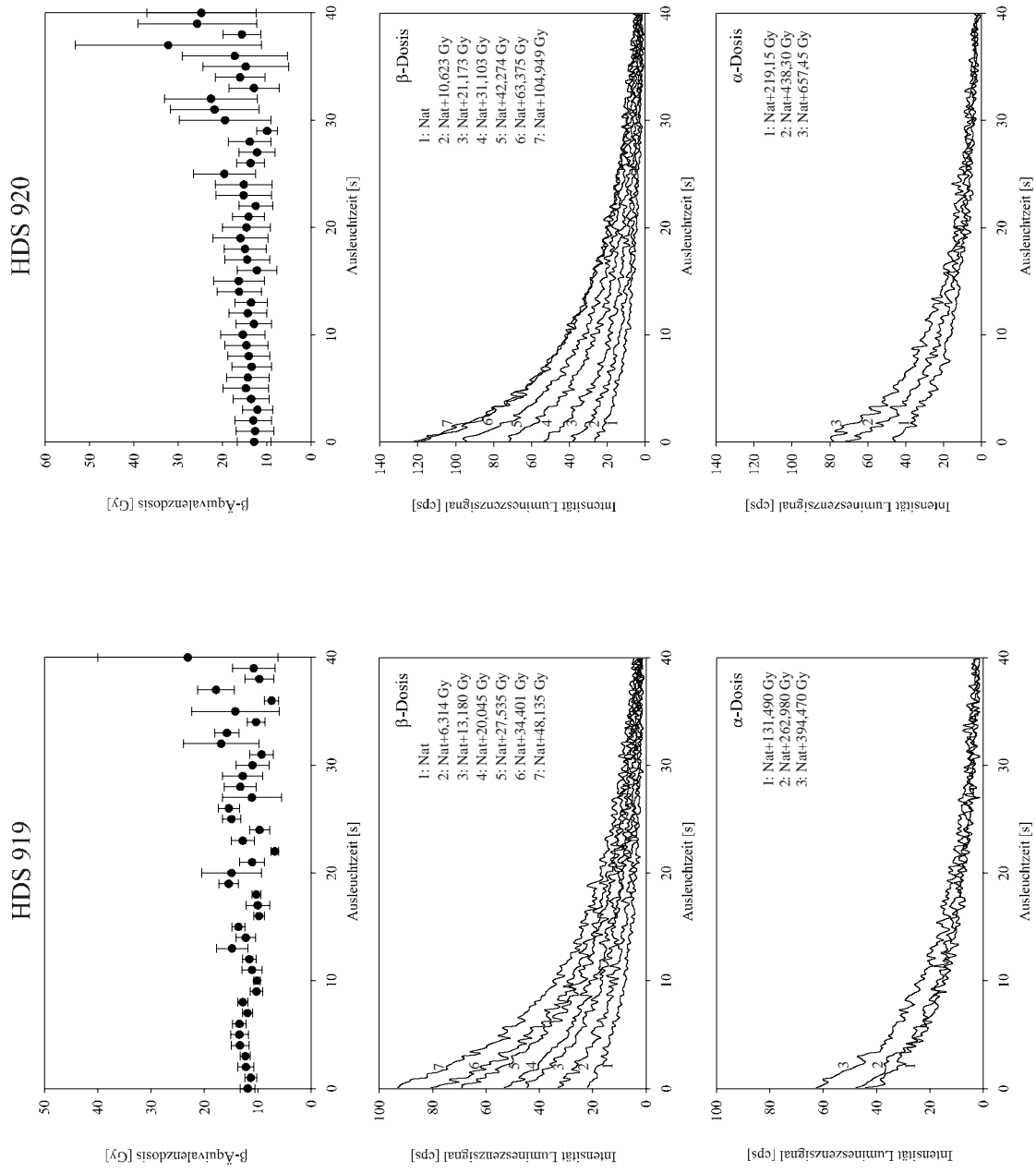


Abb. 138: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 919 und HDS 920 aus der Bohrung Theater.

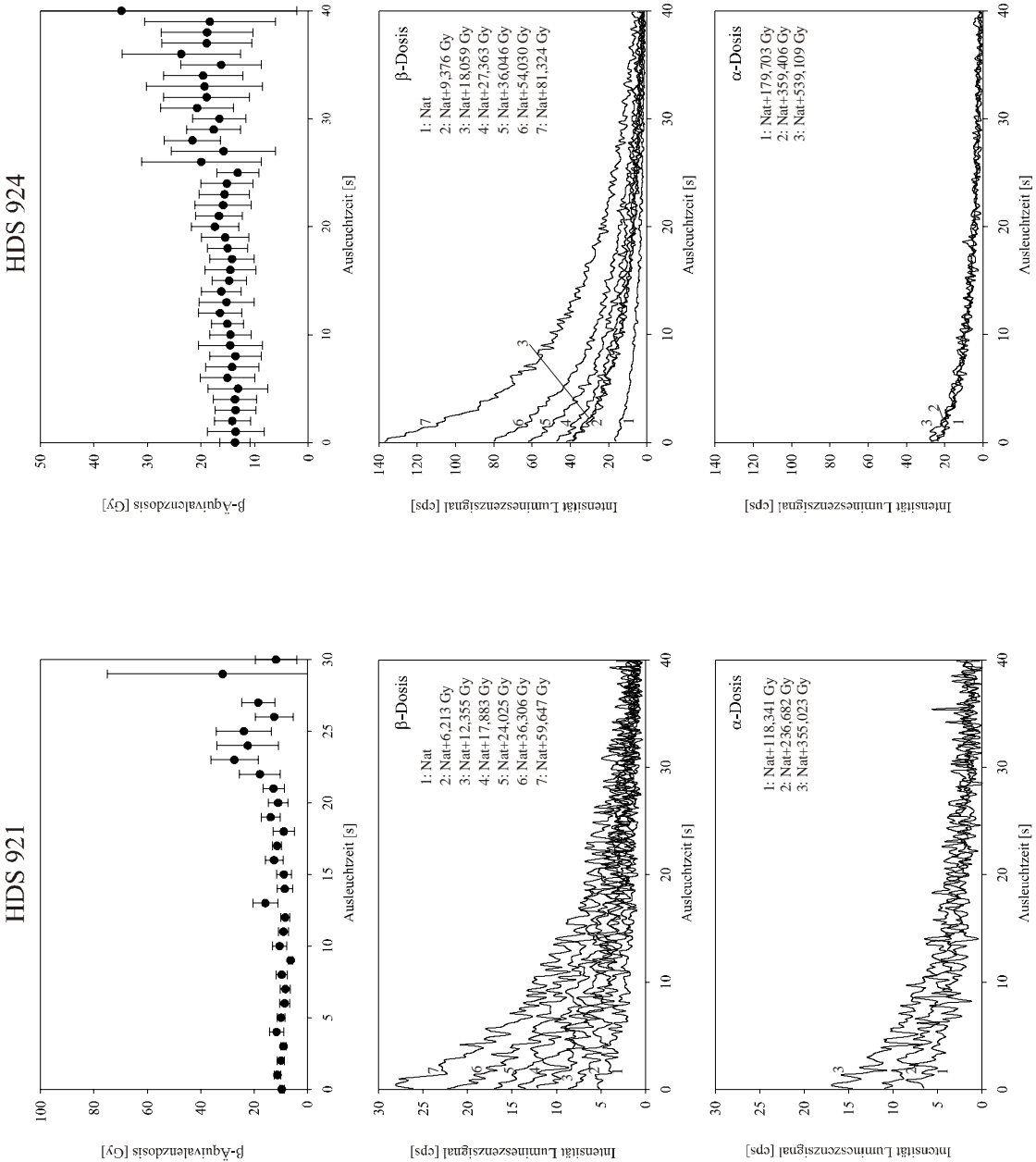


Abb. 139: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 921 und HDS 924 aus der Bohrung Theater.

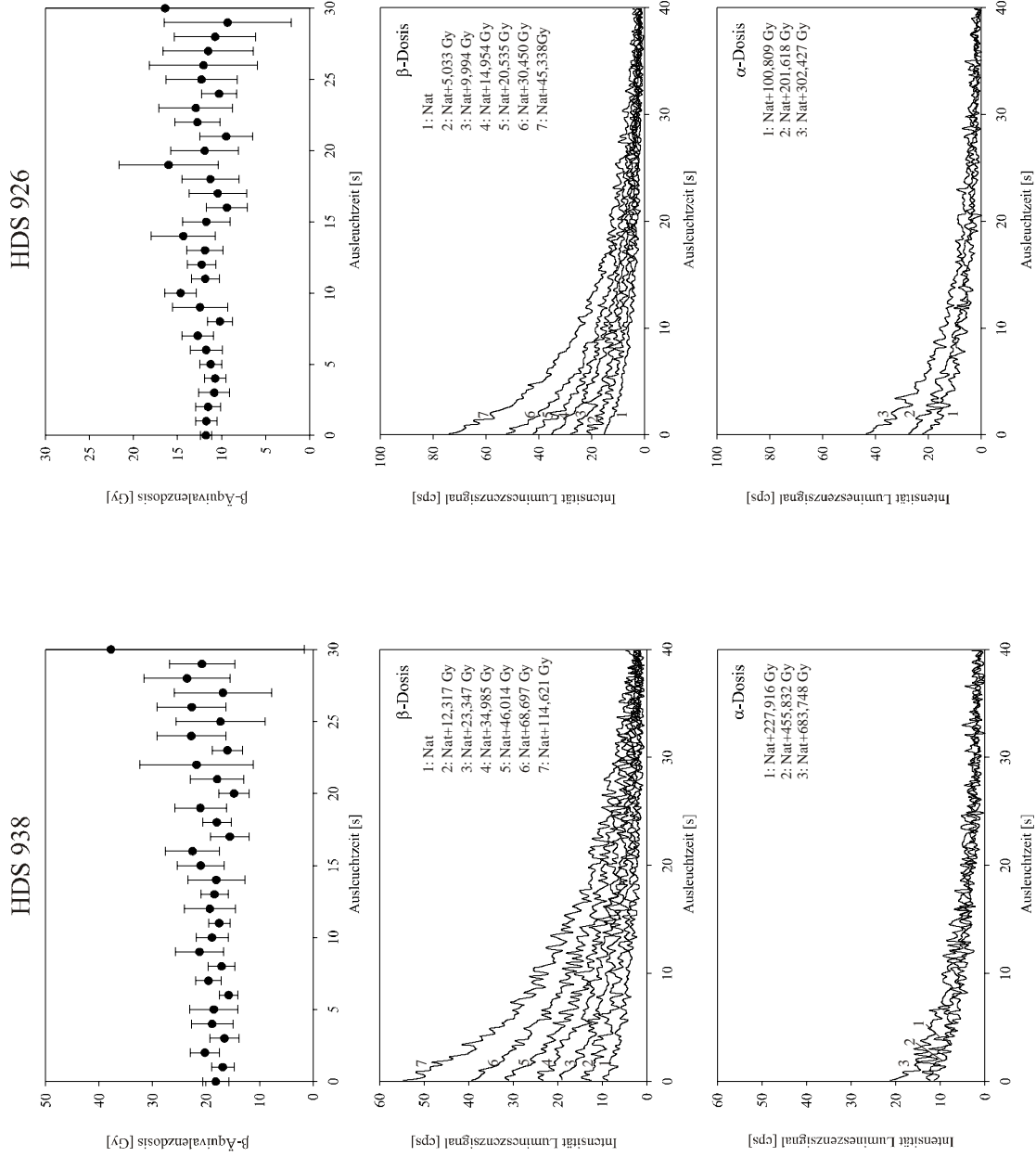


Abb. 140: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 938 aus der Bohrung Theater und HDS 926 aus der Bohrung Höhle.

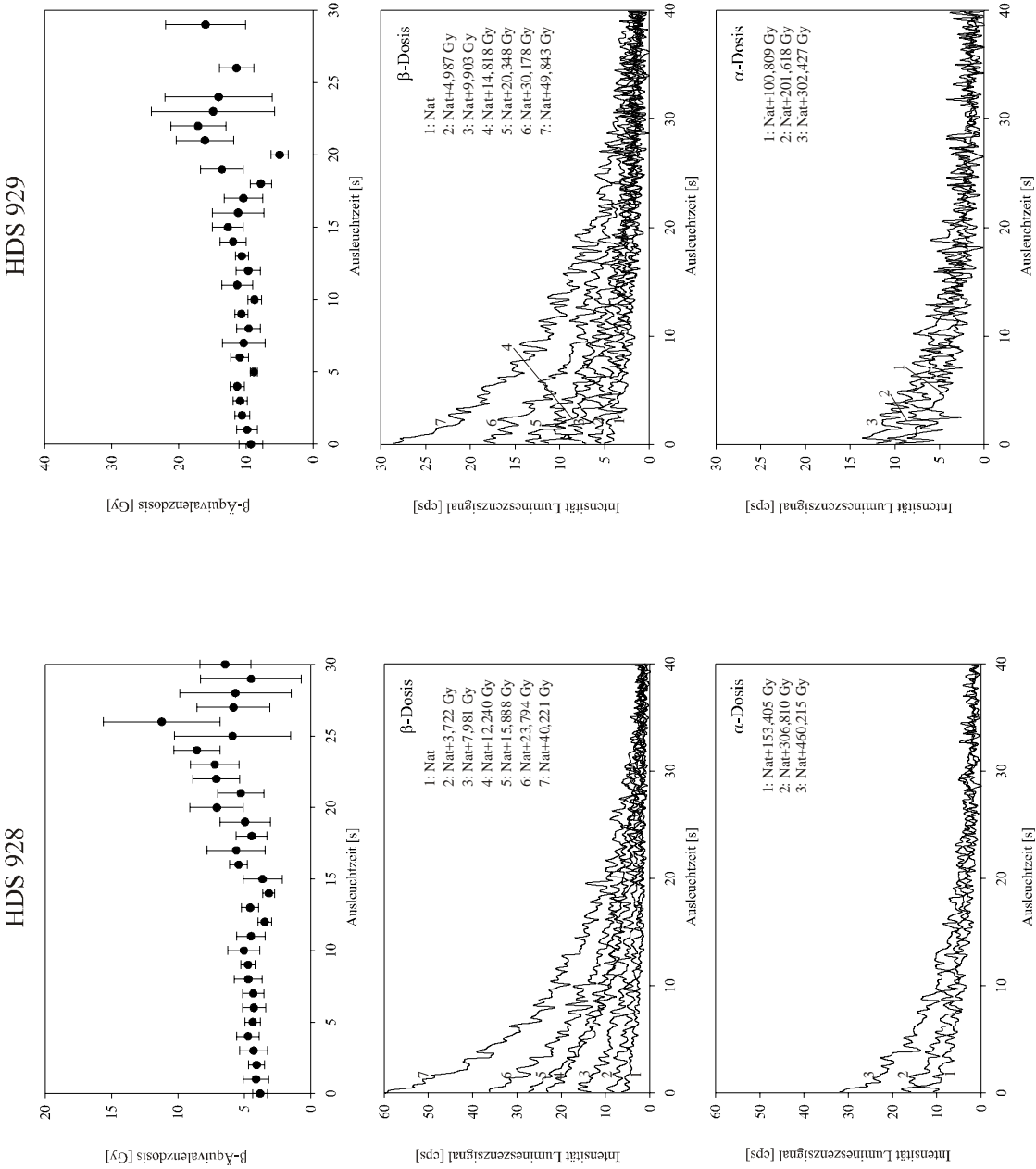


Abb. 141: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 928 und HDS 929 aus der Bohrung Hölle.

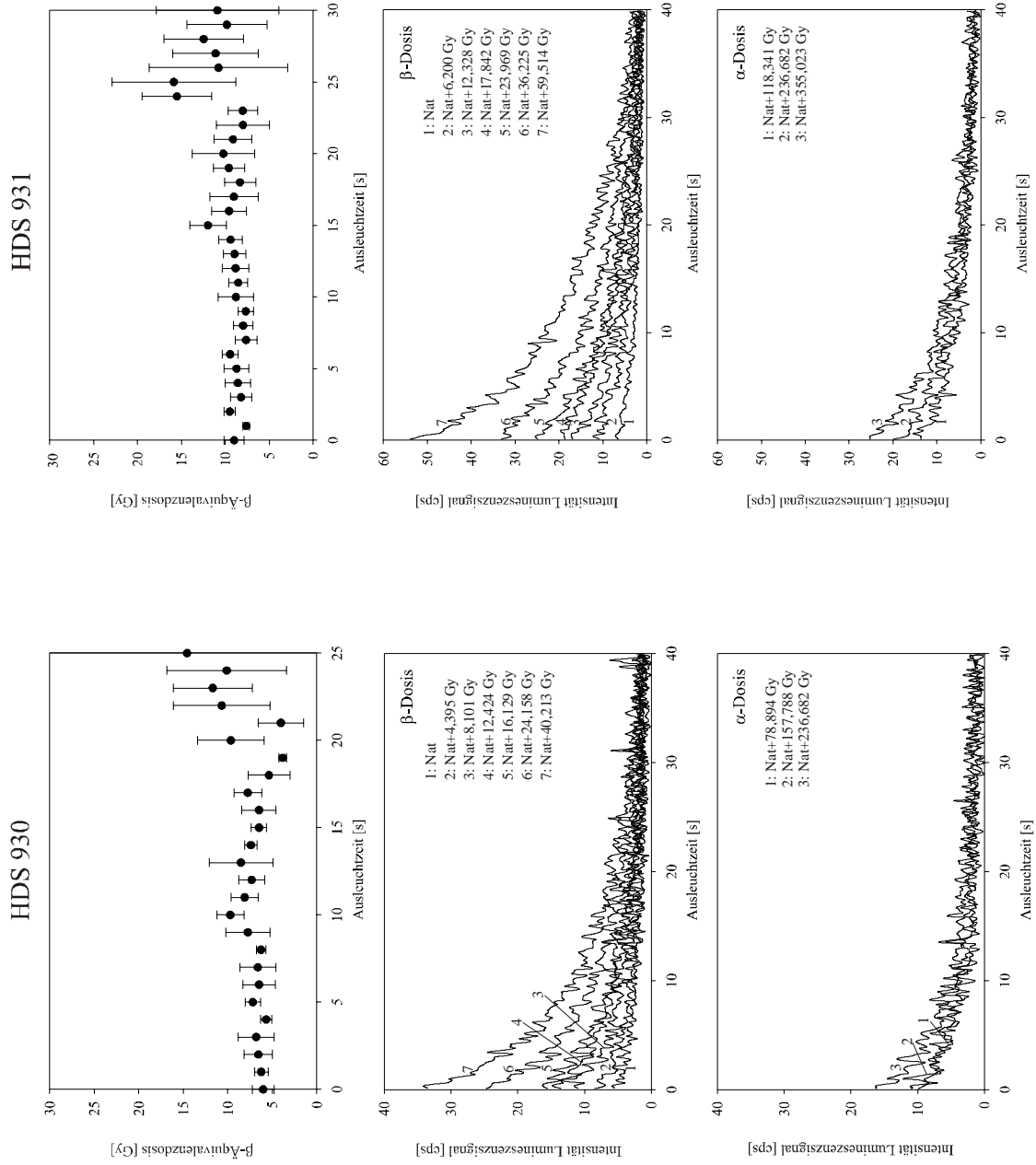


Abb. 142: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 930 und HDS 931 aus der Bohrung Höhle.

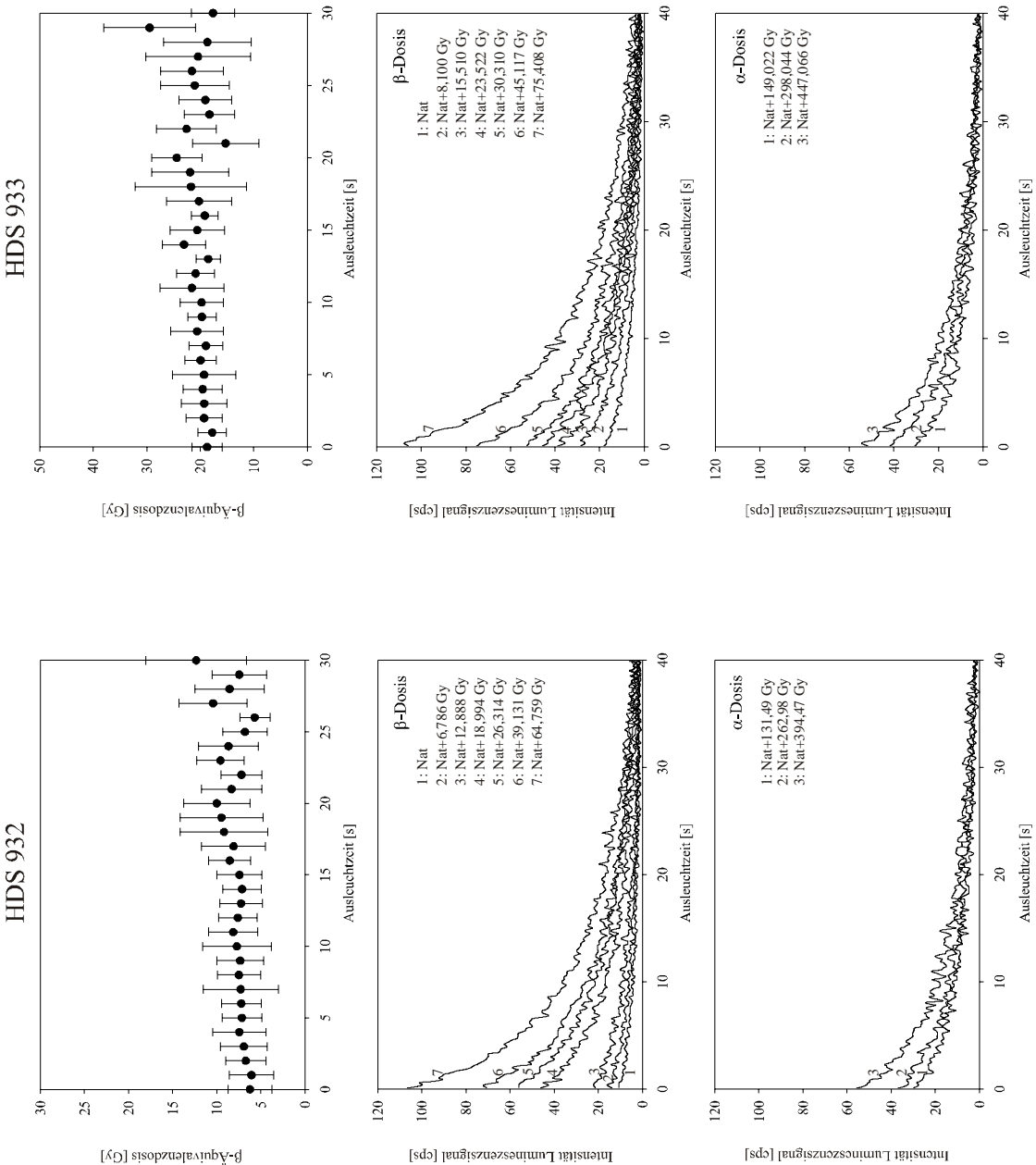


Abb. 143: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 932 und HDS 933 aus der Bohrung Hölle.



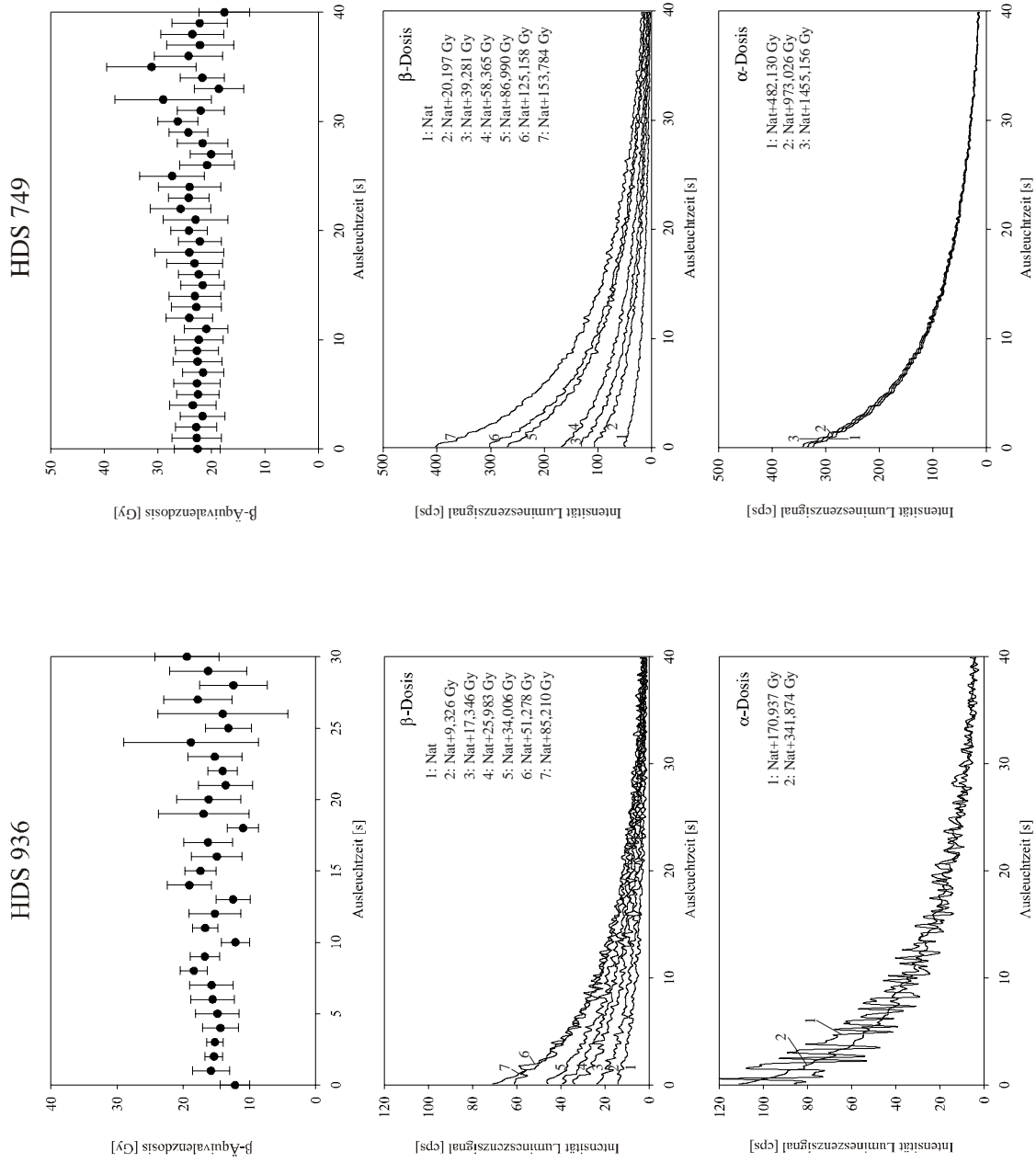


Abb. 144: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtkurven der Proben HDS 936 aus der Bohrung Höhle und HDS 749 aus der Bohrung Çıplak.

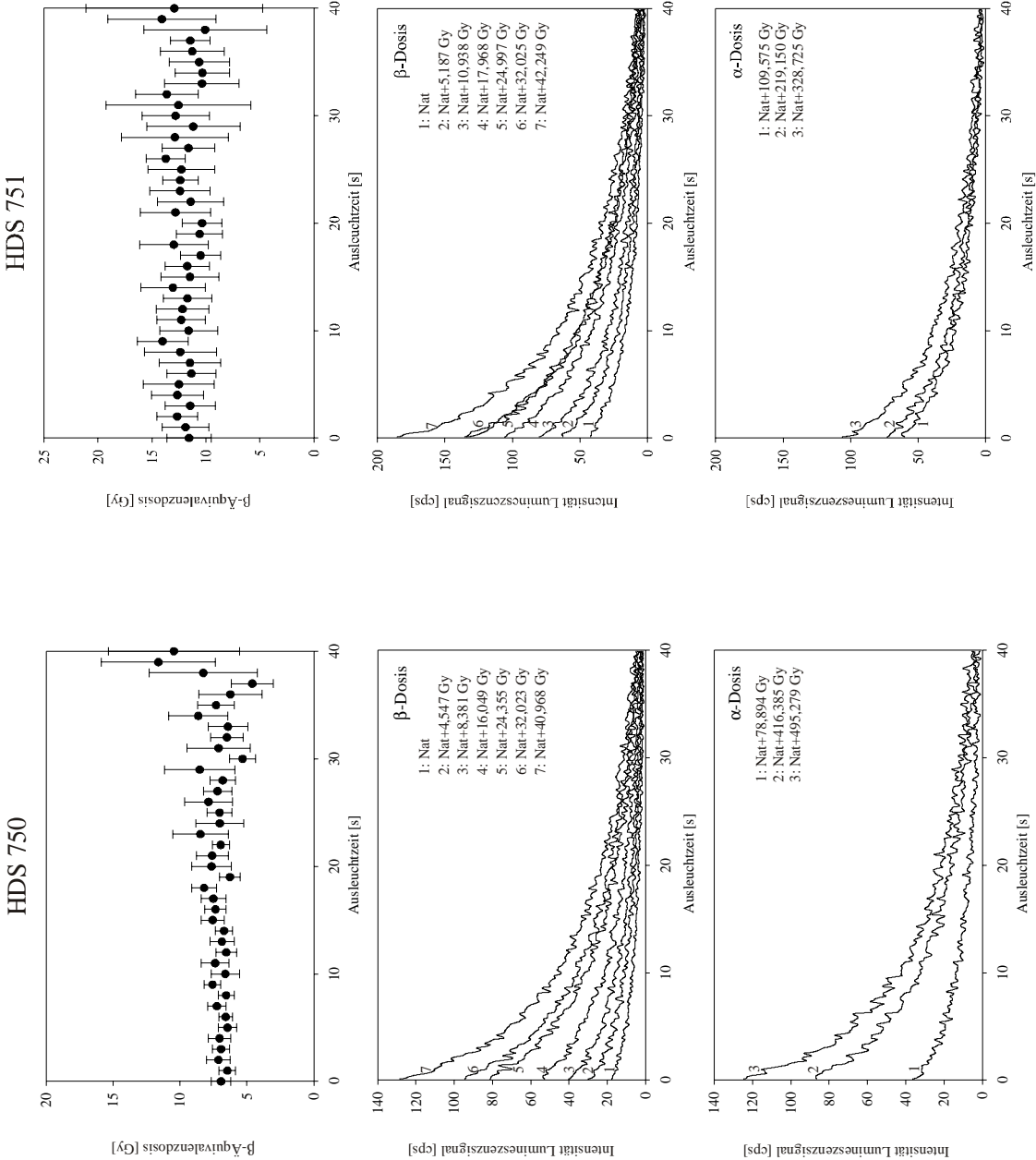


Abb. 145: Äquivianenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 750 und HDS 751 aus der Bohrung Çıplak.

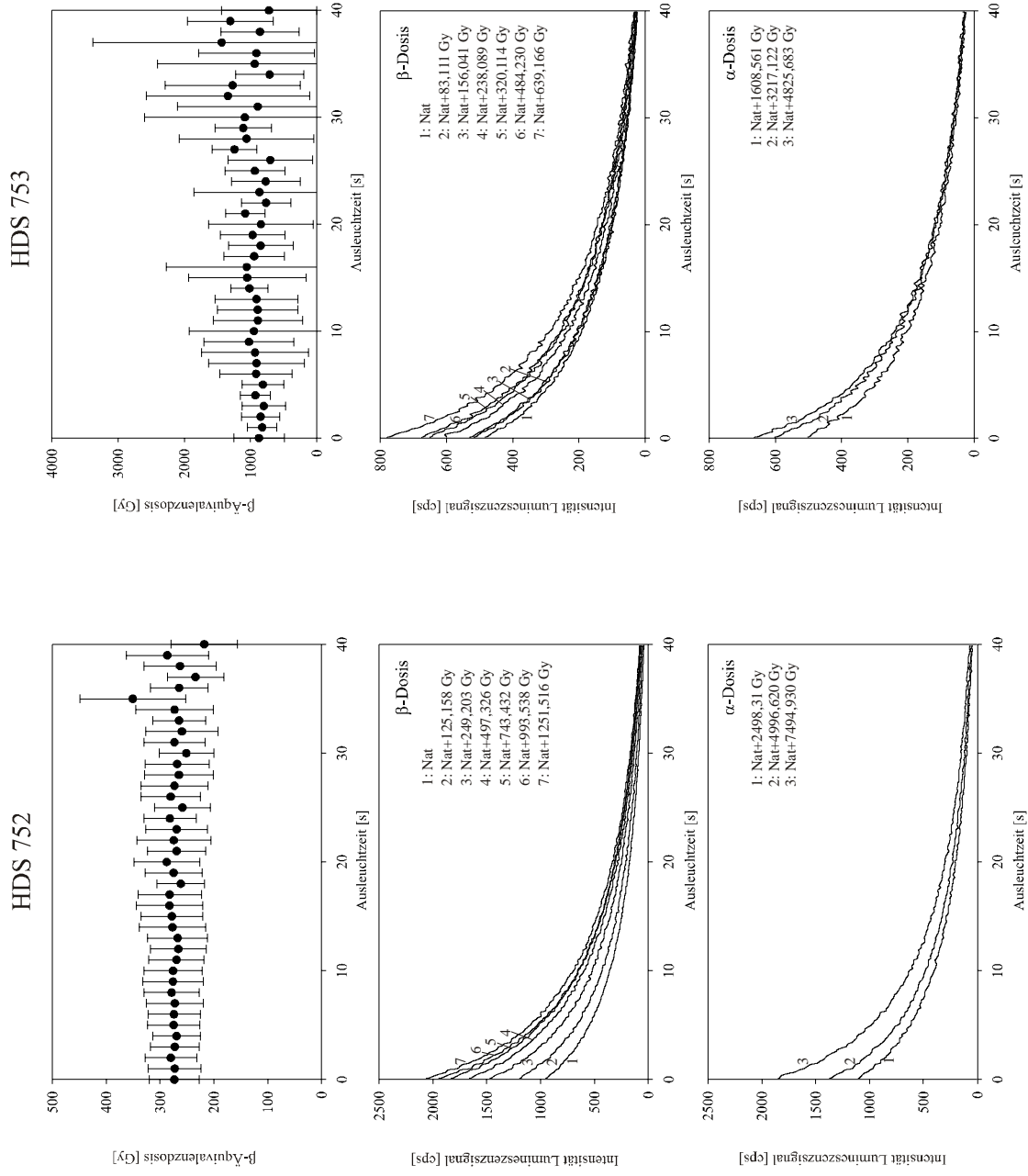


Abb. 146: Äquivalenzplateaus und Ausleuchtcurven der Proben HDS 752 und HDS 753 aus der Bohrung Çıplak.