Universität zu Köln

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Geographisches Institut

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

"Sedimentologische Untersuchungen an der epipaläolithischen bis neolithischen Höhlensequenz der Ifri N'Etsedda, Nordmarokko."

> betreut durch PD Dr. Martin Kehl Prof. Dr. Georg Bareth

> > vorgelegt von

Denise Deutschländer

31. Juli 2013

Danksagung

Mein Dank geht an erster Stelle an meine Gutachter PD Dr. Martin Kehl und Prof. Dr. Georg Bareth, die es mir ermöglichten meine Bachelorarbeit im Rahmen des Teilprojektes C2 des Sonderforschungsbereiches 806 "*Our Way to Europe*" zu schreiben. Insbesondere danke ich Ihnen für die Betreuung und Unterstützung bei der Ausarbeitung dieser Arbeit sowie für die mir stets entgegengebrachte Hilfsbereitschaft.

Dr. Jörg Linstädter danke ich für die ausführliche Einführung in die archäologische Thematik meiner Arbeit und für die detaillierten Einblicke in die Geländearbeiten.

Ein weiterer Dank gilt den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Bodenkunde des Geographischen Instituts zu Köln, die mir während der Durchführung meiner Laborarbeiten helfend zur Seite standen und sich die Zeit nahmen mir die Arbeitsschritte verschiedener Laboranalysen zu erklären und stets ein offenes Ohr für Fragen hatten.

Weiterhin bedanke ich mich vor allem bei Mareen Hüls und Svenja Meyer, die mich während meiner Bachelorarbeit in vielerlei Hinsicht unterstützt haben und immer für mich da waren.

Mein größter Dank geht an meine Mama Ingrid Deutschländer, die mir das Geographiestudium in Köln ermöglicht hat. Danke für dein Vertrauen, deine Unterstützung, dein Verständnis und deine Liebe, die mich in meinen Entscheidungen bestärken und mir stets Halt in schwierigen Zeiten geben.

Danke auch Madeleine Deutschländer und Franziska Kuhn. Danke für euch an meiner Seite und die Gewissheit, dass wir immer füreinander da sein werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Der Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda	3
2.1 Einordnung in den archäologischen Kontext und aktueller Forschungsstan	d 4
2.2 Naturräumliche Gegebenheiten	7
2.2.1 Geologie	7
2.2.2 Geomorphologie	9
2.3 Ökozone und Klima	12
3. Material und Methoden	14
3.1 Feldbeschreibung und Stratigraphische Gliederung	14
3.2 Probenaufbereitung	17
4 Sedimentologische Laboranalysen	18
4.1 Farbbestimmung	18
4.2 Korngrößenanalyse	18
4.3 pH-Wert	20
4.4 Elektrische Leitfähigkeit	21
4.5 Carbonatgehaltbestimmung	21
4.6 C/N-Analyse	23
5. Ergebnisse	25
5.1 Farbbestimmung	25
5.2 Korngrößenanalyse	28
5.3 pH-Wert	38
5.4 Elektrische Leitfähigkeit	43
5.5 Carbonatgehaltbestimmung	47
5.6 C/N-Anayse	51
6. Diskussion der Ergebnisse	58
7. Fazit	72
8. Zusammenfassung	74
Literaturverzeichnis	75
Anhang	78

igenständigkeitserklärung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda	. 3
Abbildung 2: Lage der Ifri N'Etsedda	. 3
Abbildung 3: Schematischer Plan der Ifri N'Etsedda	. 4
Abbildung 4: Geologische Karte Marokko	. 7
Abbildung 5: Naturräume Marokkos im Satellitenbild	. 9
Abbildung 6: Topographische Karte Marokko	10
Abbildung 7: Effektive Klimaklassifikation nach Köppen und Geiger	13
Abbildung 8: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES12_AB	14
Abbildung 9: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES12_DC	15
Abbildung 10: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES13_GH	15
Abbildung 11: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES13_JI	16
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Korngrößenanalyse mittels Laser	
Diffraction Particle Size Analyzer LS13320	20
Abbildung 13: Calcimeter 08.53	22
Abbildung 14: Formel zur Berechnung des Massenanteils an Carbonat	23
Abbildung 15: Farbverteilung für das Profil INES12_AB nach MUNSELL	25
Abbildung 16: Farbverteilung für das Profil INES12_DC nach MUNSELL	27
Abbildung 17: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%],	
sowie D50- und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES12_AB	29
Abbildung 18: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%],	
sowie D50- und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES12_DC	32
Abbildung 19: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%],	
sowie D50- und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES13_GH	34
Abbildung 20: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%],	
sowie D50- und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES13_JI	36
Abbildung 21: pH-Wert gemessen in H2O für das Profil INES12_AB gesamt	40
Abbildung 22: pH-Wert gemessen in H2O für das Profil INES12_AB,	
Stratigraphische Lage 3 und 5	40
Abbildung 23: pH-Wert in H2O gemessen für das Profil INES12_DC gesamt	42
Abbildung 24: pH-Wert gemessen in H2O für das Profil INES12_DC, Stratigraphisc	he
Lage 7	42
Abbildung 25: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil	
INES12_AB gesamt	44

Abbildung 26: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil
INES12_AB, Stratigraphische Lage 3 und 5 44
Abbildung 27: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil
INES12_DC gesamt 46
Abbildung 28: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES12_AB 47
Abbildung 29: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES12_DC 48
Abbildung 30: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES13_GH 49
Abbildung 31: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES13_JI 50
Abbildung 32: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES12_AB 52
Abbildung 33: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES12_DC 54
Abbildung 34: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES13_GH 55
Abbildung 35: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES13_JI 56
Abbildung 36: Vergleich der Parameter pH, ELF, D50, D90/D10, C/N-Verhältnis für
das Profil INES12_AB mit lithostratigraphischen Einheiten 60
Abbildung 37: Vergleich der Parameter pH, ELF, D50, D90/D10, C/N-Verhältnis für
das Profil INES12_DC mit lithostratigraphischen Einheiten
Abbildung 38: Vergleich der Parameter D50 und D90/D10 sowie des C/N-
Verhältnisses für das Profil INES13_GH 68
Abbildung 39: Vergleich der Parameter D50 und D90/D10 sowie des C/N-
Verhältnisses für das Profil INES13_JI 70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der beprobten Schichten zu stratigraphischen Lagen
Tabelle 2: Orientierungsbestimmung des Carbonatgehaltes 78
Tabelle 3: Einteilung und Bezeichnung der Korngrößenfraktionen
Tabelle 4: Klassifikation der elektrischen Leitfähigkeit
Tabelle 5: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_AB 80
Tabelle 6: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_AB 80
Tabelle 7: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_DC 81
Tabelle 8: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_DC 81
Tabelle 9: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_GH 82
Tabelle 10: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_GH 82
Tabelle 11: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_JI 83
Tabelle 12: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_JI 83

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
μm	Mikrometer
bzw.	beziehungsweise
С	Kohlenstoff
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff
ca.	circa
CaCO ₃	Calciumcarbonat
Cal BP	Jahre vor heute (kalibriert)
Canorg.	anorganischer Kohlenstoff
cm	Zentimeter
CO2	Kohlenstoffdioxid
C _{org.}	organischer Kohlenstoff
Csa	warm gemäßigtes, mediterranes Klima mit heißen Sommern
ELF	elektrische Leitfähigkeit
et al.	und andere
f	folgende
g	Gramm
ggf.	gegebenenfalls
H ₂ O	Wasser
H_2O_2	Wasserstoffperoxid (15%)
HCL	Salzsäure (15%)
ITC	Innertropische Konvergenzzone
kg	Kilogramm
km	Kilometer
m	Meter
m ²	Quadratmeter

mg	Milligramm
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Ν	Stickstoff
NN	Normal Null
NO	Nord-Ost
Na ₄ O ₇ P ₂	Natriumpyrophosphat
nm	Nanometer
rpm	rounds per minute
S	Schwefel
SFB	Sonderforschungsbereich
VS.	versus

1. Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 806 "Our Way to Europe" erstellt. Der SFB 806 befasst sich mit den Mensch-Umwelt-Interaktionen und der menschlichen Mobilität im Spätquartär. Die Verknüpfung geowissenschaftlicher und archäologischer Methoden erfasst sowohl natürliche regional-strukturelle, klimatische sowie auch auch sozio-kulturelle Aspekte, die der Rekonstruktion der interkontinentalen sowie transkontinentalen Verbreitung des anatomisch modernen Menschen aus Afrika in das westliche Eurasien dienen. Der zeitliche Fokus der Forschung liegt auf den letzten 190 000 Jahren.

Die Untersuchung des epipaläolithischen bis neolithischen Höhlenkomplexes der Ifri N'Etsedda erfolgt im Rahmen des Teilprojektes C2 "Early Holocene Contacts between Africa and Europe and their Palaeoenvironmental Context" unter der Leitung von Prof. Dr. Gerd Christian Weniger. Das Augenmerk liegt auf dem menschlichen Kontakt zwischen Afrika und Europa im westlichen Mediterranraum und beschäftigt sich insbesondere mit dem Übergang vom Epipaläolithikum zum Neolithikum, den interkontinentalen Netzwerken sowie dem Einfluss afrikanischer Entwicklungen auf den Prozess der Neolithisierung in Südwesteuropa (www.sfb806.uni-koeln.de). Höhlen und Felsüberhänge stellen wichtige Archive für die Rekonstruktion prähistorischer menschlicher Besiedlung dar. Aufgrund der Tatsache, dass ein Großteil der Ablagerungen aus Freilandfundplätzen natürlichen Erosionsprozessen und anthropogener Landnutzung ausgeliefert waren, sind Höhlen weitestgehend die einzigen Archive, in denen prähistorische Sedimente rezent erhalten und größtenteils stabil sind, wenngleich diese möglicherweise nicht die bevorzugten Räume menschlicher Besiedlung darstellten. Zudem umfassen die Ablagerungen in Höhlenkomplexen, resultierend aus deren Schutzmechanismus über mehrere tausend Jahre, teilweise verschiedene Perioden menschlicher Besiedlung und stellen somit wichtige Sites für die Rekonstruktion von Übergangsphasen archäologischer Kulturstufen dar (ROELOFFS et al. 2011: 107).

Diese Arbeit befasst sich mit der sedimentologischen Untersuchung der epipaläolithischen bis neolithischen Höhlensequenz der Ifri N'Etsedda in Nordmarokko. Die Sedimentproben stammen aus vier Grabungsprofilen, die im Rahmen der Geländekampagnen des SFB 806 im März 2012 und 2013 freigelegt wurden. Ziel dieser Arbeit ist es, auf Grundlage der Ergebnisse aus den

sedimentologischen Untersuchungen eine lithostratigraphische Gliederung für die Profile INES12_AB und INES12_DC zu erstellen. Während der Geländearbeiten wurde bereits auf Grundlage der Zeitstellung der Inventare eine vorläufige archäologische Stratigraphie des AB- und DC-Profils erstellt, welche die Schichten zu stratigraphischen Einheiten zusammenfasst. Um diese ersten Vermutungen im Anschluss der Geländearbeiten zu verifizieren oder zu falsifizieren, sollen die archäologischen stratigraphischen Einheiten denen der lithostratigraphischen Gliederung des AB- und DC-Profils gegenübergestellt und anschließend verglichen werden.

Zudem werden die Profile INES13_GH und INES13_JI dahingehend untersucht, ob sich anhand der sedimentologischen Zusammensetzung der Profile, auf Grundlage der Korngrößenverteilung und des C/N-Verhältnisses, der Übergang von epipaläolithischen zu neolithischen Schichten nachweisen lässt.

2. Der Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda



Der Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda liegt am Fuße der Kebdana, eines von Südwesten nach Nordosten verlaufenden Gebirgszuges am Ostrand des Rif Gebirges. Die Kebdana weist eine durchschnittliche Höhe von 800 bis 900 m auf. Der Site der Ifri N'Etsedda befindet sich 300 m über NN,

Abbildung 1: Der Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda (Blick aus NO) (www.sfb806.de)

auf der dem Meer abgewandten und dem Trockental der Moulouya zugewandten Seite der Kebdana (Vgl. Abb. 1), in ca. 8,6 km Entfernung (Luftlinie) zur mediterranen Küste Marokkos und ca. 7 km Entfernung zum *Oued* Moulouya. Nähert man sich der Fundstelle der Ifri N'Etsedda von der Moulouya Ebene aus, so steigt das Gelände zunächst über eine Entfernung von 5 km langsam auf 170 m über NN an und wird mit zunehmender Distanz zum Trockental über die nächsten 2 km steiler, auf denen weitere 130 Höhenmeter überwunden werden müssen (mündliche Auskunft: LINSTÄDTER 2013). Abb. 2 zeigt die Lage der Ifri N'Etsedda im Google Earth Bild.



3°26'26.82" W

0°52'36.86" W

Abbildung 2: Lage der Ifri N'Etsedda (Google Earth)

Das Felsdach der Ifri N'Etsedda ist 13 m breit, 12 m lang und überdeckt eine Fläche von ca. 70 m². Während der Geländearbeiten im März 2012 betrug die Grabungsfläche insgesamt 4 m², sie beinhaltete die Profile INES12_AB, INES12_DC und INES12_EF. Im März 2013 wurden insgesamt 3 m² freigelegt, aus denen die Profile INES13_GH und INES13_JI stammen (mündliche Auskunft: LINSTÄDTER 2013) (Vgl. Abb. 3).



Abbildung 3: Schematischer Plan der Ifri N'Etsedda mit Grabungsnetz und Profilnummerierungen (verändert nach LINSTÄDTER 2013)

2.1 Einordnung in den archäologischen Kontext und aktueller Forschungsstand

Die archäologischen Kulturen des Maghreb im späten Pleistozän und frühen Holozän lassen sich in drei archäologische Kulturen untergliedern: Das *Mittelpaläolithikum*, das *Jungpaläolithikum*, einschließlich seiner späte Phase, dem "Iberomaurusian", sowie das *Epipaläolithikum*. Das Epipaläolithikum beginnt mit den weitreichenden Klima- und Umweltveränderungen im Übergang vom Pleistozän zum Holozän, um ca. 11 500 cal BP. Dieser Übergang war von einem Landschaftswandel geprägt, der eine Notwenigkeit der Anpassung an die damit einhergehenden veränderten Umweltbedingungen mit sich zog. Die Anpassung der Bewohner des mediterranen Maghreb an die sich wandelnde Landschaft äußerte sich in einer höheren Mobilität und veränderten Landnutzungsstrategien, die unter anderem die Nutzung maritimer Ressourcen beinhalteten. Die vorherrschende Steinindustrie dieser Zeit basierte auf der Herstellung von Lamellen und ihrer Weiterverarbeitung zu Microlithen (LINSTÄDTER et al. 2012a: 159). Infolge steigender Temperaturen und Niederschläge der beginnenden Warmzeit erfuhr die Region eine natürliche Wiederaufforstung. Ausreichend adaptierte Jäger-Sammler Kulturen des Pleistozäns überlebten bis ins mittlere Holozän und besiedelten die nordwestafrikanische Küste, als um 7 600 cal BP erstmals neolithische Innovationen den Nordosten Marokkos erreichten. Zu diesen Innovationen zählten die Keramik, die Domestizierung von Pflanzen und Tieren sowie bereits benannte charakteristische Steinwerkzeuge (LINSTÄDTER & KEHL 2012c: 3306 f). Die Ergebnisse bisheriger geoarchäologischer Untersuchungen geben Grund zur Annahme einer zeitweiligen Koexistenz von epipaläolithischen Wildbeutern (Epipalaeolithic with pottery) und Neolithikern im Nordosten des heutigen Marokko. Während dieses Zeitraums übernahmen die Jäger- und Sammler des Epipaläolithikums Innovationen, die mit der Besiedlung dieser Region durch neolithische Siedler aus dem Osten eingeführt wurden (LINSTÄDTER et al. 2012b: 230). Diese Koexistenz ist beispielsweise anhand des Inventars von Hassi Quenzga aus dem Zeitraum zwischen 7 600 und 5 800 cal BP belegt wurden, welche eine Kombination epipaläolithischer Steinindustrien und neolithischer Keramik aufweisen (LINDSTÄDTER 2003: 205 ff). Die Tatsache, dass in epipaläolithischen Inventaren keine Belege für eine Nahrungsmittelproduktion zu verzeichnen sind, beweist jedoch, die epipaläolithischen Jäger-Sammler-Kulturen ihren wildbeuterischen dass Lebensstil bis weit in den Zeitraum um 6 000 cal BP beibehielten und es bis dahin zu keiner vollständigen Verdrängung durch neolithische Gruppen kam. Möglicherweise verschwanden sie nie ganz, das Auftreten des Neolithikums führte lediglich zu einer allmählichen Angleichung beider Traditionen (LINSTÄDTER 2011: 90 ff.). Das Phänomen der Ansiedlung neolithischer Kulturstufen vollzog sich im gesamten westlichen Mediterranraum über einen relativ kurzen Zeitraum von einigen Jahrhunderten (LINSTÄDTER & KEHL 2012c: 3306 f).

Nachfolgend soll der aktuelle Forschungsstand zum Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda vorgestellt werden.

Die Schichten der Grabungsprofile INES12 AB und INES12 DC wurden bereits während der Geländekampagne im März 2012 angesprochen. Auf Grundlage Sedimenteigenschaften makroskopisch erkennbarer erfolate eine erste Identifizierung unterschiedlicher Schichtpakete. Zudem wurde bereits vor Ort eine archäologische Stratigraphie der Profile erstellt, welche die Schichten, basierend auf der Zeitstellung der Inventare, folgenden stratigraphischen Einheiten zuordnet. Die Schichten des AB-Profils wurden im Gelände zu sechs Einheiten zusammengefasst, den Einheiten 1 bis 5 und der Einheit 10. Das DC-Profil wurde im Gelände in sieben stratigraphische Einheiten untergliedert, den Einheiten 1 bis 6 und der Einheit 10. Die Einheit 1 beider Profile beschreibt dabei die Zersatzzone des anstehenden Kalkgesteins. Die oberste Einheit 10 ist durch einen hohen Anteil an organischen Material und Holzkohleresten charakterisiert. Schichten dieser Zusammensetzung werden Fumier genannt, sie bilden die subrezente Deckschicht der Sedimentabfolge, welche innerhalb der letzten Jahrhunderte aufgewachsen ist. Die archäologische Zeitstellung der einzelnen stratigraphischen Einheiten ist zu diesem Zeitpunkt nicht vollständig geklärt. Lediglich die Einheit 2 beider Profile lässt sich sicher dem Frühneolithikum zuordnen, wobei die Einheit 3 vermutlich ebenfalls dieser Zeitstellung zugewiesen werden kann. Für die Einheiten 4 und 5 wird eine Zuordnung zum Spätneolithikum postuliert.

Die Profile INES13_GH und INES13_JI wurden während der Geländekampagne im März 2013 abgetragen und sind, ebenso wie die Profile INES12_AB und INES12_DC der vorangegangenen Grabung, bereits im Gelände makroskopisch angesprochen und auf Grundlage ihrer Sedimentzusammensetzung in einzelne Schichtpakete untergliedert worden. Erste Ergebnisse der archäologischen Interpretation weisen auf eine Zeitstellung hin, welche sowohl das Epipaläolithikum als auch das Neolithikum umfassen. Im Rahmen der geoarchäologischen Untersuchungen der Inventare und Sedimentproben gilt es diese Grenze zwischen epipaläolithischen und neolithischen Schichten sowohl anhand archäologischer als auch anhand sedimentologischer Analysen nachzuweisen.

2.2 Naturräumliche Gegebenheiten

2.2.1 Geologie

Marokko liegt in der *Triple Junction* zwischen dem afrikanischen Kontinent, dem Atlantischen Ozean und der aktiven Kollisionszone des alpidischen Gebirgssystems (MICHARD et al. 2008: 1 ff.).



Abbildung 4: Geologische Karte Marokko (SCHLÜTER 2008: 175)

Marokko ist in vier geologische Provinzen unterteilt. Diese sind von Süd nach Nord der Anti-Atlas, die Meseta, der Atlas Gürtel und das Rif Gebirge. Das Rif Gebirge ist Teil des alpinen Systems Europas und Nordafrikas (Mediterranes Marokko), wobei die südlichen Provinzen in ihrer Geologie Affinitäten zu Westafrika aufweisen (Afrikanisches Marokko) (SCHLÜTER 2008: 174).

Geologisch betrachtet verläuft die nördliche Grenze des afrikanischen Kontinents ausgehend vom Trockental des Souss in Richtung Nordosten des Landes. Sie trennt die jungen Faltengebirge Nordmarokkos vom alten afrikanischen Festlandblock, am Übergang zu den Gebirgszügen des Anti-Atlas, welcher sich aus präkambrischen und paleozoischen Gesteinen zusammensetzt. Er entstand im Zuge epirogenetischer Aufwölbungen des Westafrikanischen Kratons (MÜLLER-HOHENSTEIN 1990: 15 f) und blieb im Zuge der Gebirgsbildungsphasen weitestgehend stabil (SCHLÜTER 2008: 175 f). Die Faltengürtel des Hohen und Mittleren Atlas zeugen im Vergleich zum Anti-Atlas von einer geringeren Stabilität während des Paläozoikum und der anschließenden Gebirgsbildungsphasen (PETTERS 1991: 448). Sie setzen sich vorwiegend aus mesozoischen und tertiären Sedimenten, aufgelagert auf einem paläozoischen Sockel, zusammen (MÜLLER-HOHENSTEIN 1990: 15 f) und erfuhren ihre Auffaltung während der alpinen Orogenese. Die marokkanische Meseta wird durch den Gebirgszug des Mittleren Atlas in die westliche (Marokkanische) und östliche (Oran) Meseta getrennt. Sie ist das Ergebnis von Denudationsprozessen während der variskischen Orogenese. Paläozoische Gesteine werden von mesozoischen bis känozoischen Schichten überlagert. Diese Schichten unterlagen in der Marokkanischen Meseta verstärkt Erosionsprozessen, die die Freilegung der kräftig entwickelten paleozoischen Massive (Zentrales Massiv, Rehamma-Massiv und Jbilete-Massiv) zur Folge hatte. Die Erosionsprozesse, welche auf die Oran Meseta wirkten, besaßen eine geringere Intensität und begünstigten die Freilegung weniger stark ausgeprägter Massive (Jerada-Massiv, Debdou-Massiv, Mekkam-Massiv und Midbelt-Massiv) (PETTERS 1991: 449 ff). Im Zuge der alpidischen Orogenese entstanden schließlich die jüngsten Faltengebirge Mrokkos, die Gebirgsketten des Rif Gebirges (MÜLLER-HOHENSTEIN 1990: 15 f). Sie stellen, ausgehend von der Betischen Kordillere Spaniens über die Straße von Gibraltar zusammen mit dem algerischen Tell Gebirge, die südlichsten Ausläufer des alpinen Faltengürtels dar und bilden die westliche Grenze der Alboran Sea (PETTERS 1991: 545 f). Die Akkumulation der Sedimente setzte zu Beginn der Trias, in nordöstlichen Regionen des heutigen

Tunesien (SCHLÜTER 2008: 176), an der kontinentalen Grenze einer Mikroplatte des südlichen Europa, ein. Tektonische Prozesse transportierten diese Sequenz in Richtung Südwesten an ihre rezente Position, wo sie am Übergang vom Oligozän zum Miozän mit der Afrikanischen Platte kollidierte. Diese Kollision hatte eine komplexe Faltenüberschiebung entlang der nordwestafrikanischen Mittelmeerküste zur Folge (PETTERS 1991: 545 f). Die Stratigraphie des Rif Gebirges umfasst verschiedene Typen kreidezeitlicher bis jurassischer Kalkgesteine, welche aufgrund von tektonischen Prozessen und Meeresspiegelschwankungen größtenteils neogen während des Miozän abgelagert worden sind (ROELOFFS 2011: 107) (Vgl. Abb.4).

2.2.2 Geomorphologie



Die naturräumliche Gliederung Marokkos erfolgt in die nordöstlich gelegene mediterrane Küstenregion, die montane Region des Atlas-Gürtels und des Rif-Gebirges, die intramontane Region mit eingeschalteten Becken und Plateaus, in die Meseta sowie in den Bereich des Anti-Atlas (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 199)

Abb. 5 zeigt die Naturräume Marokkos im Satellitenbild.

Abbildung 5: Naturräume Marokkos im Satellitenbild (Landsat) (Schlüter 2008: 12)

Marokkos Topographie resultiert aus tektonischen Systemen, welche sowohl sedimentäre Becken als auch metamorphisierte Faltengürtel zu Tage brachten (MICHARD et al. 2008: 1 ff) (Vgl. Abb. 6).





Das Mediterrane Marokko bildet zusammen mit Teilen Algeriens und Tunesiens, den Maghreb. Die vorherrschende Reliefstruktur dieser Region wird in Hochgebirgslandschaften und dazwischen geschaltete Becken und Plateaus gegliedert (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 199). Das Rif Gebirge bildet die Hochgebirgslandschaft des Mediterranen Marokko. Es ist ein von West nach Ost verlaufends Faltengebirge, mit einer steilen nördlichen Abdachung in Richtung mediterraner Küste und einer allmählichen Abdachung in Richtung Süden (Gharb Ebene) und Osten (Moulouya Ebene) (MÜLLER-HOHENSTEIN 1990: 18). Das alpine Vorland des Rif Gebirges lässt sich in vier strukturelle Einheiten untergliedern, welche sich von der mediterranen Küste entlang der algerischen Grenze erstrecken: Das Kebdana Gebirge und die Triffa Ebene, welche zusammen das Östliche Rif, bilden. Das Beni Snassen Gebirge, welches als Verlängerung des Mittleren Atlas

fungiert und den Horst Gürtel, eine gebrochene Hochplateaulandschaft. Das Beni Snassen Gebirge und der Horst Gürtel werden von einer Senke, dem Taza-Oudja-Korridor, getrennt (GOUT et al. 2010: 255 f).

Ebenso wie das Relief des Mediterranen Marokko ist auch der Naturraum des Afrikanischen Marokko durch erhöhte Plateaus und eingeschlossene Becken geprägt. Zu ihnen zählen beispielsweise das Algerische Plateau und das Moulouva Becken (MICHARD et al. 2008: 2 ff). Insgesamt existieren über 30 sedimentäre Becken in Marokko. Diese reichen in ihrer Vielfalt von Kratonen, über intramontane Becken der Meseta und den Kettengebirgen des Atlas, bis hin zu aufgrund von Rift-Prozessen entstandenen Becken vor allem entlang der Atlantikküste (TAWADROS 2012: 87). Neogene Becken zeigen sich entlang der Grenzen des Hohen Atlas (Haouz-Tadla und Bahira Becken im Norden und Souss und Quarzazate Becken im Süden) oder im Norden und Osten des Mittleren Atlas (Guercif und Missour Becken), während sich ein großes Vorlandbecken, das Gharb Becken, vom Rif Gebirge aus in Richtung Südosten erweitert (MICHARD et al. 2008: 2 ff). Eine weitere naturräumliche Einheit des Afrikanischen Marokkos bildet die Meseta. Sie wird in West- und Ost-Meseta untergliedert (MICHARD, A., SADDIQI, O., CHALOUAN, A., FRIZON DE LAMOTTE, D. EDS. 2008: 2 ff). Die westliche Meseta weist kräftig entwickelte Massive auf, wohingegen die östliche Meseta durch kleinere Massive charakterisiert ist (SCHLÜTER 2008: 176). An die Meseta schließt sich der Hohe Atlas an und bildet gleichzeitig ihre natürliche südliche Grenze. Er erreicht eine durchschnittliche Höhe von rund 4000 m und schließt den höchsten Peak Nordafrikas, den Jebel Toubkal, mit ein. Als Ausläufer des Hohen Atlas reiht sich der Mittlere Atlas an, welcher eine Höhe von 3000 m überschreitet. Dieser erstreckt sich in Richtung Nordosten und bildet den natürlichen Grenzbereich zwischen der West- und der Ost-Meseta. Südlich des Hohen Atlas verläuft parallel zu diesem der Gebirgsgürtel des Anti-Atlas (Vgl. Abb. 5). Die Topographie verliert vom Mittleren Atlas in Richtung Westen, über das Zentrale Massiv der Marokkanischen Meseta, bis hin zu dem atlantischen Küstenbereich und dem Erreichen der atlantischen Tiefseeebenen an Höhe. Südlich des Anti-Atlas und des Saghro Gebirges, im Bereich der saharischen Hamadas, verringert sich die Höhenlage in Richtung Süden von 1000 m auf weniger als 400 m (im Bereich des Tindouf Beckens) und in Richtung Westen auf weniger als 200 m (im Bereich des Tarfaya Beckens) an der Atlantikküste (MICHARD, A., SADDIQI, O., CHALOUAN, A., FRIZON DE LAMOTTE, D. EDS. 2008: 2 ff) (Vgl. Abb. 6).

tektonischen allem die Neben Prozessen nahmen vor eustatischen Meeresspiegelschwankungen während des Quartärs großen Einfluss auf den geomorphologischen Formenschatz Marokkos. Sie ließen weitreichende küstennahe Terassensysteme entstehen. Der Wechsel von Kalt und Warmzeiten in Mitteleuropa während des Pleistozän indizierte zudem einen Wechsel von feuchteren und trockeneren Phasen, die sich vor allem in den Sedimenten der Becken und Ebenen Marokkos wiederspiegeln. Sedimentabfolgen zeugen von abwechselnden Perioden der Abtragung und Akkumulation, wie beispielsweise in den Flussterrassen der Moulouya Hochflutebene (Müller-Hohenstein 1990: 17).

2.3 Ökozone und Klima

Marokko liegt im Bereich der winterfeuchten Subtropen (SCHULTZ 2000: 26), welche sich sowohl auf der Nord- als auch auf der Südhalbkugel von 30 bis 40° nördlicher bzw. südlicher Breite. erstrecken. Die winterfeuchten Subtropen weisen jahreszeitliche klimatische Unterschiede auf. So sind sie im Sommer aufgrund des Einflusses der subtropisch-randtropischen Hochdruckgebiete von Strahlungswetter und einhergehenden Wasserdefiziten geprägt. Im Winter hingegen wechseln sich strahlungsreiches Hochdruckwetter und Niederschlagswetter mit gelegentlichen Kaltlufteinbrüchen, welche in Höhenlagen teilweise sogar Schnee mit sich bringen, ab (SCHULTZ 2000: 313). Vergleicht man die Jahreszeiten der Subtropen mit denen der Mittelbreiten fällt auf, dass sie sich nicht in vier gleichlange Perioden untergliedern lassen (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 153). Vielmehr sind sie gekennzeichnet durch ein Jahreszeitenklima, welches sich auf Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation aus Sommer und Winter zusammensetzt und bei dem markante Übergangsjahreszeiten fehlen (LAUER & RAFIQPOOR 2002: 32). Vor allem der südliche Mittelmeerraum ist durch einen überdurchschnittlich langen Sommer gekennzeichnet. Dieser resultiert aus den in den Sommermonaten fehlenden Niederschlägen und der Bewölkungsarmut in dieser Region (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 153).

Nach der effektiven Klimaklassifikation von KÖPPEN & GEIGER (1961) lässt sich Marokko den Csa-Klimaten zuordnen, diese beschreiben ein warm gemäßigtes, mediterranes Klima mit heißen Sommern (Vgl. Abb. 7).



Abbildung 7: Effektive Klimaklassifikation nach Köppen und Geiger (KOTTEK et al 2006: 261)

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen 35°N und 35°S (Mittelmeerklimate) und ist charakterisiert durch heiße, niederschlagsarme Sommer und milde Winter. Der Jahresniederschlag ist mit 380 bis 640 mm pro Jahr gering und konzentriert sich vor allem auf die Wintermonate, in denen der Mediterranraum, aufgrund der sich südlichen verlagernden ITC im Nordwinter, im Bereich der Westwindzone liegt (MCKNIGHT & HESS 2009: 293). Die niederschlagsreichsten Monate erstrecken sich von Dezember bis Februar und sind die Folge von Frontalzyklonen, die Flächenniederschläge mit sich bringen und über Gibraltar ins westliche Mittelmeer (WEISCHET&ENDLICHER 2000: 200). Die Wintermonate weisen ziehen eine durchschnittliche Temperatur von ca. 10°C auf, wobei gelegentlich Temperaturabfälle unter den Gefrierpunkt zu verzeichnen sind (McKnight & Hess 2009: 293). Mit Ausnahme gelegentlicher Fröste, kommt es jedoch innerhalb dieser Klimazone generell zu keiner winterlichen Abkühlung, die unter 5°C fällt (SCHULTZ 2000: 317). Die heißen Sommermonate der Csa-Klimate sind nahezu niederschlagsfrei und 24 29°C weisen durchschnittliche Temperaturen von bis auf. wobei Temperaturmaxima von 38°C keine Seltenheit darstellen. Insgesamt ist der Jahresgang der Temperatur innerhalb der C-Klimate ausgeprägter als der des Niederschlags (MCKNIGHT & HESS 2009: 293 f.).

3. Material und Methoden

3.1 Feldbeschreibung und Stratigraphische Gliederung

Die Sedimentproben der Profile INES12_AB/DC und INES13_GH/JI wurden während der Geländekampagnen des SFB 806 im März 2012 und 2013 entnommen. Sie stammen aus Schichten der Grabungsprofile, welche vor Ort in Bezug auf die Farbe, Körnung sowie die vermuteten Lagerungsverhältnisse als Schichten unterschiedlicher sedimentologischer Zusammensetzung postuliert worden sind.

Die Bodenproben erhielten die Bezeichnung INES12_AB_ und INES12_DC bzw. INES13_GH_ und INES13_JI_, als Kürzel für den Höhlenkomplex der Ifri N'Etsedda und das entsprechende Jahr der Grabungskampagne. Zusätzlich wurden den jeweiligen Kürzeln der Profile fortlaufende Positionsnummern zugewiesen. Die Verpackung für den Transport erfolgte in Probentüten.

Die Grabungsfläche innerhalb des Höhlenkomplexes der Ifri N'Etsedda betrug während der Geländekampagne im März 2012 insgesamt 4 m². Die Sedimentproben stammen aus den Profilwänden INES12_AB und INES12_DC der ersten 2 m², die zu Beginn der Kampagne freigelegt wurden. Innerhalb dieser Grabungssektion erfolgte der Sedimentabtrag bis in eine durchschnittliche Tiefe von 0,8 m, in der die Zersatzzone des anstehenden Kalkgesteins erreicht worden ist.



Abbildung 8: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES12_AB (Foto: Linstädter, J. 2012, Profilzeichung: Braun, S. 2012)

Das AB-Profil weist in Nord-Süd-Richtung eine Ausdehnung von 2,4 m auf, wobei die maximale Mächtigkeit der Profilwand, unmittelbar im Anschluss an die Felswand, 0,88 m beträgt. Während der Grabungsarbeiten wurden innerhalb dieses Profils insgesamt zehn Sedimentschichten angesprochen, welche aufgrund makroskopisch erkennbarer Unterschiede innerhalb ihrer stofflichen Zusammensetzung identifiziert

worden sind. Es wurden 13 Bodenproben entnommen, sie erhielten die Positionsnummern 1 bis 10, wobei die Position 5 fortlaufend in die Teilproben 5a bis 5d untergliedert worden ist (Vgl. Abb. 8).



Abbildung 9: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES12_DC (Foto: Linstädter, J. 2012, Profilzeichung: Ruske, T. 2012)

Das DC-Profil weist in Nord-Süd-Richtung eine Ausdehnung von 2,54 m auf, die maximale Mächtigkeit beträgt 0,84 m. Diese wird in ca. 0,8 m Entfernung zur Felswand erreicht. Innerhalb dieses Profils konnten während der Geländearbeiten insgesamt zwölf Sedimentschichten makroskopisch angesprochen werden. Es wurden ursprünglich insgesamt 12 Bodenproben entnommen, welche die fortlaufenden Positionsnummern 1 bis 12 erhielten. Die Positionen 8, 11 und 12 konnten jedoch nicht für die Laboranalysen herangezogen werden, da diese auf dem Transportweg verloren gingen (Vgl. Abb. 9).

Während der Geländekampagne im März 2013 betrug die Grabungsfläche insgesamt 3 m². Die Sedimentproben stammen aus den Profilwänden INES13_GH und INES13_JI. Innerhalb dieser Grabungssektion erfolgte der Sedimentabtrag bis in eine durchschnittliche Tiefe von 1,3 m, in der die Zersatzzone des anstehenden Kalkgesteins erreicht worden ist.



Abbildung 10: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES13_GH (Foto: Linstädter, J. 2013, Profilzeichung: Broich, M. 2012) Das GH-Profil weist in Nord-Süd-Richtung eine Ausdehnung von 2,8 m auf, wobei die maximale Mächtigkeit der Profilwand 1,25 m beträgt. Während der Grabungsarbeiten wurden insgesamt 11 Schichten angesprochen aus denen 12 Sedimentproben entnommen wurden, wobei Schicht 6 zweifach beprobt worden ist (Vgl. Abb. 10).



Abbildung 11: Foto und Profilzeichnung für das Profil INES13_JI (Foto: Linstädter, J. 2013, Profilzeichung: Lehnig, S. 2013)

Das JI-Profil weist in Nord-Süd-Richtung eine Ausdehnung von 2,8 m auf und besitzt eine maximale Mächtigkeit von 1,4 m. Diese wird in ca. 1,2 m Entfernung zur Felswand erreicht. Innerhalb dieser Profilwand konnten 14 Sedimentschichten makroskopisch angesprochen werden, aus denen insgesamt 14 Bodenproben entnommen wurden (Vgl. Abb. 11).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde für jedes der Profile eine stratigraphische Gliederung erstellt, welche die beprobten Schichten ihrer stratigraphischen Lage innerhalb der Profilwände zuordnet.

Für das Profils INES12_AB erfolgte die Zuordnung der im Gelände beprobten Schichten zu neun stratigraphischen Lagen, welche fortlaufend, von alt nach jung, in die Lagen 9 bis 1 untergliedert worden sind. Da sich die im Gelände festgelegten Schichten 6 und 8 als Schichten gleichen Ablagerungsalters postulieren lassen, wurden beide einer stratigraphischen Lage zugeordnet (Lage 3), die Teilproben 5a bis 5d werden der stratigraphischen Lage 5 zugeordnet. Über das Profil INES12_DC wurden acht stratigraphische Lagen festgelegt, welche fortlaufend in die Lagen 8 bis 1 untergliedert worden sind. Ebenso wie für das AB-Profil wurden auch für das DC-Profil Schichten identifiziert, welche sich einer stratigraphischen Lage (Lage 7) zuweisen lassen. Es handelt sich hierbei um die Schichten 9 und 7. Für das Profil INES13_GH wurden zehn stratigraphische Lagen festgelegt, welche in die Lagen 10 bis 1 unterteilt worden sind. Die Lagen 5 und 2 setzen sich dabei vermutlich ebenfalls aus Schichten eines Ablagerungszeitraumes zusammen und werden in die Lagen 5_II bis 5_I und 2_II bis 2_I untergliedert. Das Profil INES13_JI setzt sich ebenfalls aus zehn stratigraphischen Lagen zusammen, wobei hier die Lagen 8, 7 und 2 aus makroskopisch unterscheidbaren Schichten bestehen und stratigraphisch vermutlich einem Ablagerungsalter zugewiesen werden können. Sie werden in die Lagen 8_II bis 8_I, 7_III bis 7_I und 2_II bis 2_I untergliedert (Vgl. Tab. 1 im Anhang).

3.2 Probenaufbereitung

Sowohl die Aufbereitung als auch die Durchführung der Sedimentanalysen des entnommenen Probenmaterials erfolgte im Labor des Geographischen Instituts der Universität zu Köln. Zunächst wurden die Proben luftgetrocknet und mit einer Maschenweite von 2 mm gesiebt, um die Grob- und Feinfraktion voneinander zu trennen. Für die sedimentologischen Laboruntersuchungen wurde ausschließlich das Feinmaterial (< 2 mm) herangezogen, die Grobfraktion (> 2 mm) wurde hinsichtlich ihrer Zusammensetzung beschrieben und für nachfolgende Analysen der darin enthaltenen Faunenreste (Mollusken) aufbewahrt. Ein Teil des Feinmaterials (ca. 30 g) wurde mittels der Planetenschnellmühle (RETSCH PM 4000), unter Benutzung von Achat-Bechern, für 20 min bei 140 rpm gemahlen.

4 Sedimentologische Laboranalysen

4.1 Farbbestimmung

Die Farbbestimmung der untersuchten Bodenproben erfolgte anhand der Farbtafel nach MUNSELL (1975). Das MUNSELL-System stellt ein universelles Farbsystem dar, und bildet die gebräuchlichste Grundlage für die Farbbestimmung von Sedimenten in der Bodenkunde, sowohl im Gelände als auch im Labor (BIGHAM & CIOLKOSC 1997: 25 ff.). Für die Farbansprache werden die Parameter Farbton, die Dunkelstufe und die Farbintensität herangezogen und in eben dieser Reihenfolge anhand der MUNSELL-Farbtafel abgelesen. Der Farbton, engl. Hue, ergibt sich dabei aus den Komplementärfarben und differenziert die Farbabschnitte rot (red R), gelb (yellow Y), grün (green G) und violett (purple P), wobei zusätzlich ein Übergangsbereich zwischen den einzelnen Farbtönen festgelegt ist, um Mischfarben definieren zu können. Die Frequenz der Farbtöne R, Y, G und P wird ansteigend mit den Ziffern 2,5; 5; 7,5 und 10 beschrieben. Die vertikale Skala der Farbtabelle, auf der die Dunkelstufe, engl. Value, abgelesen wird, liegt in einem Bereich zwischen 0 und 10. Dabei nimmt die Helligkeit des Farbtons mit steigendem Skalenwert zu. Auf der horizontalen Skala der Farbtabelle wird die Farbintensität, engl. Chroma, abgelesen, welche ebenfalls mit steigendem Skalenwert zunimmt (BLUME ET AL. 2010: 265 f.).

4.2 Korngrößenanalyse

Die Probenaufbereitung für die Messung der Korngrößenverteilung mittels des Laser Diffraction Particle Size Analyzer LS 13320 (BECKMAN COULTER TM) gestaltete sich wie folgt: Zunächst wurden jeweils ca. 0,3 g der Feinfraktion des Probenmaterials für eine erste Testmessung eingewogen, anhand derer die benötigte endgültige Einwaage für die einzelnen Sedimentproben bestimmt wurde. Im Voraus einer jeden Messung wurden die kalkhaltigen Proben mit Salzsäure (HCL) behandelt, um das gebundene CaCO₃ zu zerstören. Diese Behandlung dauerte an, bis die Reaktion der Bodenprobe mit der Salzsäure abgeschlossen war. Im Anschluss daran wurden die behandelten Proben in drei Durchgängen für 5 min bei 3500 rpm zentrifugiert, die Salzsäure wurde ausgewaschen und anschließend abdekantiert. Nach der Lösung des CaCO₃ aus den Bodenproben, erfolgte anschließend die Zerstörung des organischen Anteils mittels Wasserstoffperoxid (H₂O₂). Es wurden jeweils 1,5 ml H₂O₂ auf die Proben gegeben. Diese wurden im Anschluss ruhen gelassen, bis die Reaktion mit dem Wasserstoffperoxid abgeschlossen war und die Proben erneut für einen Durchgang bei 3500 rpm zetrifugiert werden konnten, um das H₂O₂ aus der Bodenlösung zu isolieren. Der letzte Aufbereitungsschritt beinhaltete die Behandlung der Proben mit dem Dispergierungsmittel Natriumpyrophosphat (Na₄O₇P₂), die dem Auflösen der in den Proben gebundenen Tonverbände diente und eine erneute Koagulation der Partikel verhindern sollte. Im Anschluss wurde die Lösung für mindestens 12 Stunden in den Über-Kopf-Schüttler gespannt, um einen geeigneten beizubehalten. Suspensionszustand der Lösung Nachdem der letzte Vorbereitungsschritt durchlaufen war, konnte die Messung am Laser Diffraction Particle Size Analyser erfolgen. Für die Garantie einer möglichst guten Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, erfolgten jeweils drei unabhängige Messungen (a, b und c) einer jeden Probe. Im Anschluss dieser Einzelmessungen, wurden die jeweiligen Ergebnisse für die Korngrößenverteilungen innerhalb der Teilproben miteinander verglichen und bei übereinstimmenden Verteilungen der Korngrößenklassen gemittelt. Bei großen Abweichungen der unabhängigen Messergebnisse einer einzelnen Probe wurde die Messung unter erneuter Dreifachbestimmung wiederholt.

Der Laser Diffraction Particle Size Analyser ist ein Instrument, welches die Größe von Partikeln anhand der Beugung von Laserstrahlung, mit einer Wellenlänge von 750 nm, misst, basierend auf der FRAUNHOFER'schen Beugungs-Theorie. Dabei stehen verschiedene Modelle für die Analyse der Korngrößenverteilung in Sedimenten bereit, die vom Nutzer individuell ausgewählt werden können. Für die Bestimmung der Korngrößenverteilung in den Sedimentproben der Ifri N'Etsedda wurde das Standardmodell Optical model A (FRAUNHOFER mathematical model) ausgewählt. Dieses Modell kalkuliert die Partikelgröße und -Verteilung basierend auf der Beugung des Laserstrahls, welche sich bei der Bestrahlung kugelförmiger Partikel ergeben (BLOTT et al. 2004: 63 f.). Bei der Messung wird die Strahlung des Lasers zunächst durch zwei Linsen geleitet, der Projektionslinse und der Sammellinse. Die Projektionslinse sorgt dabei für eine konstante Intensität der Strahlung, die Sammellinse ist zuständig für das Bündeln parallel einfallender Strahlung und die Umwandlung in konvergente Strahlung. Diese wiederum garantiert ein reelles Abbild der in Suspension befindlichen Partikel (Vgl. Abb. 11). Der Beugungswinkel ist dabei proportional zur Partikelgröße und die Intensität des Beugungsstrahls, unter einem beliebigen Winkel, ist ein Maß für die Anzahl an Partikeln mit einer spezifischen Fläche im Querschnitt des Strahlungspfades (ESCHEL

et al. 2004: 736). Diese Fläche wird von einem der 126 Detektoren gemessen und berücksichtigt Partikel im Bereich von 0,4 bis 2000 µm (BLOTT et al. 2004: 63).



Abbildung 12: Schematische Darstellung der Korngrößenanalyse mittels Laser Diffraction Particle Size Analyzer LS13320 (BLOTT et al. 2004: 64)

Für die Auswertung der ermittelten Korngrößenverteilung innerhalb der untersuchten Sedimetproben wurden die Daten aus dem LS 13320 Control Program entnommen und in das Statistikprogramm GRADISTAT (BLOTT & PYE 2001) exportiert, welches die Datengrundlage für die Erstellung der Grafiken lieferte. Dieses wurde explizit für die statistische Auswertung in der Geomorphologie und Sedimentologie entwickelt Visualisierung (BLOTT&PYE 2001: 1238). Für die der Ergebnisse der Korngrößenanalyse wurden folgende Proben-Statistiken herangezogen: Die prozentualen Anteile der gemessenen Fraktionen Sand, Schluff und Ton sowie die statistischen Parameter D_{50} (Median) und D_{90}/D_{10} in μ m.

4.3 pH-Wert

Für die Bestimmung des pH-Wertes, sowie der elektrischen Leitfähigkeit, wurden zunächst jeweils 10 der Feinfraktion eingewogen q und in einem Verdünnungsverhältnis von 1:2,5 (GOUDIE 1998: 164) mit destilliertem Wasser in Lösung gebracht. Für die Überführung der Lösungen in einen geeigneten Suspensionszustand, wurden sie eine Stunde auf dem Horizontalschüttler bei 100 rpm geschüttelt und anschließend eine weitere Stunde ruhen gelassen, um das Absinken der in der Suspension befindlichen Bodenpartikel zu erreichen. Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte potentiometrisch mittels der pH-Glaselektrode Sentix 81 an dem pH/ION/Cond750 unter Auswahl des Mrk1-Puffers bei einer Kalibration zwischen cm1 und cm2, einem pH-Wert-Messbereich zwischen 7 und 9; jeweils in Doppelbestimmungen (a und b). Die Glaselektrode setzt sich aus einer äußeren Glasmembran und einer inneren Referenzelektrode zusammen. Bei der Messung baut sich eine abhängige Potentialdifferenz zwischen Elektrode und pH der Außenlösung auf (GOUDIE 1998: 164 f).

4.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit (ELF) wurde wie der pH-Wert mittels des pH/ION/Cond750 unter Benutzung der Elektrode Tetra Con 325 bestimmt und in gleicher Lösung mit destilliertem Wasser gemessen (siehe Kapitel 4.3 pH-Wert). Die Messung der ELF erfolgte in Einfachbestimmungen.

4.5 Carbonatgehaltbestimmung

Die Bestimmung des Carbonatgehaltes erfolgte an dem Calcimeter 08.53 von EIJKELKAMP, gemäß der gasvolumetrischen Methode von SCHEIBLER. Die gebundenen Carbonate werden durch die Zugabe von Salzsäure in CO₂ umgewandelt, was einen Druckanstieg in der Bürette verursacht (Unterschied Startniveau in ml vs. verändertes Niveau in ml durch CO₂-Freisetzung) und die freigegebene Menge an CO₂ anzeigt. Aus dieser erfolgt im Anschluss die Berechnung des äquivalenten CaCO₃-Gehaltes der Bodenproben in g/kg.

Am Calcimeter 08.53 kann gleichzeitig der Carbonatgehalt von fünf Bodenproben bestimmt werden. An der Oberseite des Gerätes befinden sich fünf Hähne (4), welche im Entlüftungsstand (vertikale Stellung) die Reaktionsgefäße (3) und die Büretten (5) entlüften und im Mess- bzw. Teststand (horizontale Stellung) die Rektionsgefäße und Büretten miteinander verbinden. Für die Messung werden die Büretten wasserbefüllt, das Wasser wird im Entlüftungsstand in die Puffergefäße (1) gegeben. Diese können mit Hilfe des schwarzen Knopfes (2) entriegelt und nach oben bzw. unten bewegt werden. Die Befüllung der Puffergefäße wird in ihrem höchsten Stand vollzogen, sodass das Wasser von allein in die Bürette strömen kann. Durch Auf- und Ab-Bewegen der Gefäße werden Luftblasen in der Bürette entfernt (Vgl. Abb. 12) (www.eijkelkamp.com).



Abbildung 13: Calcimeter 08.53 (www.eijkelkamp.com)

Um die benötigte Probenmenge für die Carbonatgehaltbestimmung zu ermitteln, wird eine repräsentative Menge an Sedimentproben vor der Messung auf ihren Carbonatgehalt geschätzt. Die Einschätzung erfolat anhand einer Orientierungsbestimmung, bei der auf ca. 2,5 g der jeweiligen Bodenprobe 1 ml HCL gegeben wird und anhand der Intensität und Dauer der Reaktion, die benötigte Probenmenge für die Messung bestimmt wird (siehe Tab. 2 im Anhang). Die Reaktionsstärke der getesteten Bodenproben ergab eine sehr starke Brauseintensität, die über einen längeren Zeitraum anhielt. Folglich wurde für die Carbonatgehaltbestimmung < 1 g des Probenmaterials für die Messung am Calcimeter herangezogen. Die Einwaage für die Bodenproben der Profile INES12_1041 und INES12_1272 betrug ca. 0,3 g, die der Profile INES13_150 ca.

0,4 g. Vor der Messung der Analyseproben erfolgte die Messung eines Blindwertes sowie zweier Calciumcarbonat-Referenzproben, die zur Kalibrierung des Calcimeters dienten, die Einwaage der Referenzproben betrug 0,2 und 0,4 g an getrocknetem CaCO₃ (www.eijkelkamp.com).

Die Berechnung des Carbonatgehaltes erfolgte nach folgender Formel:

w(CaCO₃) = 1000 x
$$\frac{m_2 (V_1 - V_3)}{m_1 (V_2 - V_3)}$$
 x $\frac{100 + w(H_2O)}{100}$

mit:

w(CaCO ₃)	Massenanteil an Carbonat des ofentrockenen Bodens
[g/kg], m ₁	Probeneinwaage [g]
m ₂	Mittlere Masse der Calciumcarbonatreferenzproben [g]
V ₁	Volumen des Kohlenstoffdioxids aus der Reaktion der Untersuchungsprobe [ml]
V ₂	Mittleres Volumen des Kohlenstoffdioxids aus der Reaktion der
	Calciumcaronatreferenzproben [ml]
V ₃	Volumenänderung der Blindwertlösungen [ml]
$W(H_2O)$	Massenanteil an Wasser [%] der getrockneten Probe

Abbildung 14: Formel zur Berechnung des Massenanteils an Carbonat w(CaCO3) (www.eijkelkamp.com)

Zusätzlich wurde der Massenanteil an Wasser in % (nach ISO 11465) für die einzelnen Grabungsprofile bestimmt, da dieser bei der Berechnung des Carbonatgehaltes berücksichtigt werden muss. Dafür wurden je 3 repräsentative Sedimentproben der einzelnen Profile ausgewählt, an denen nach Trocknung bei 105 °C der Massenanteil an Wasser in % errechnet wurde. Anschließend wurde für jedes der Profile der Mittelwert des Wassergehaltes berechnet, der letztendlich in der Formel für den Massenanteil an Carbonat verrechnet wurde.

4.6 C/N-Analyse

Mit dem CNS-Elementaranalysator (vario EL, elementar) wird der prozentuale Anteil an Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Schwefel (S) organischer Substanzen quantitativ bestimmt, indem es zu einem thermischen Aufschluss der Bodenproben kommt. Die gesuchten Komponenten werden von ihrem festen in ihren gasförmigen Aggregatzustand überführt und anschließend anhand ihrer Wärmeleitfähigkeit quantitativ bestimmt. Es besteht die Möglichkeit den CNS-Elementaranalysator auf den CN-Modus umzuschalten, in dem lediglich die Anteile an Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) in Prozent ermittelt werden (www.elementar.de). Dieser wurde für die Analyse der Bodenproben der Ifri N'Etsedda festgelegt, da vor allem das C/N-Verhältnis für die Untersuchung der Grabungsprofile von Interesse ist.

Für die Messung am CNS-Elementaranalysator wurden ca. 20 mg des Probenmaterials in Zinnschiffchen eingewogen (www.elementar.de).

5. Ergebnisse

5.1 Farbbestimmung

Die grafische Ausarbeitung für die Farbbestimmung der Sedimentproben aus den Profilen INES12 AB und INES12 DC soll neben der Darstellung der ermittelten Echtfarben auch die räumliche Verteilung der stratigraphischen Lagen beider verdeutlichen. Auf der Y-Achse der Grafiken Grabungsprofile sind die stratigraphischen Lagen der Profilwände dargestellt. Die X-Achse ordnet diesen Lagen den zugehörigen Bereich der Probennahme zu. Dieser ist durch einen Balken gekennzeichnet, welcher die ermittelten Farbwerte nach MUNSELL repräsentiert. Da, wie bereits geschildert, sowohl innerhalb des Westprofils als auch innerhalb des Mittelprofils stratigraphische Lagen festgelegt wurden, die sich aus mehreren Schichten zusammensetzen, aus denen im Gelände mehr als eine Probe für die Farbbestimmung entnommen wurde, werden den Lagen 3 und 5 des AB-Profils, sowie der Lage 7 des DC-Profils auf der Y-Achse mehr als eine Position auf der X-Achse zugeordnet.





Innerhalb des Profils INES12_AB ergab die Farbbestimmung, dass die beprobten stratigraphischen Lagen alle im Bereich eines gelblichen Farbtons niedriger Frequenz (Hue_2.5Y) liegen. Eine Ausnahme innerhalb des Profils bildet die stratigraphische Lage 8, welche als einzige eine gelb-rötliche Färbung aufweist (Hue_7.5YR 7/3). Die unterste Schicht des Grabungsprofils (Lage 9) besitzt den Farbwert Hue_2.5Y 8/3. Die darüber liegenden stratigraphischen Lagen 7 und 6 besitzen den Farbwert Hue_2.5Y 6/2. Das mächtigste Schichtpaket innerhalb dieses Profils stellt die stratigraphische Lage 5 dar. Lage 5_IV weist den Farbwert Hue_2.5Y 5/2 auf, wobei die Lagen 5_III bis 5_I den Farbwert Hue_2.5Y 4/2 besitzen. Lage 4 wiederum besitzt den Farbwert Hue_2.5Y 5/2. Die darüber liegende stratigraphische Lage 3 weist innerhalb ihrer horizontalen Ausdehnung eine unterschiedliche Färbung auf. Lage 3_II, welche sich auf den südlichen Bereich der Profilwand beschränkt, besitzt den Farbwert Hue_2.5Y 4/2. Die obersten stratigraphischen Lagen 2 und 1 weisen ebenso wie die Lage 6 einen Farbwert von Hue_2.5Y 3/2 auf (Vgl. Abb. 15).

Betrachtet man die Verteilung der MUNSELL-Farbwerte innerhalb des AB-Profils wird deutlich, dass sich der Wert für die Dunkelstufe mit zunehmender Tiefe der Probennahme erhöht, und somit die Helligkeit der beprobten stratigraphischen Lagen mit der Tiefe zunimmt. Die Farbintensität bleibt jedoch mit einem Wert von 2 über das gesamte Profil konstant und weicht nur in Lage 9 auf den Wert 3 ab. Auf Grundlage der ermittelten Farbwerte für die einzelnen stratigraphischen Lagen lassen sich erste Vermutungen in Hinblick auf die Zuordnung dieser zu unterschiedlichen lithostratigraphischen Einheiten treffen. Im unteren Bereich der Profilwand sind aufgrund ihrer Farbwerte zunächst die Lagen 9 und 8 abzugrenzen, welche sich mit den Werten Hue_2.5Y 8/3 und Hue_7.5YR 7/3 deutlich von denen der anderen stratigraphischen Lagen abheben. In den darüber liegenden Lagen lassen sich auf Grundlage der MUNSELL-Farbwerte drei weitere Schichtpakete unterschiedlicher Farbe voneinander differenzieren. Die Lagen 7 und 6 bilden dabei ein Schichtpaket des Farbwertes Hue_2.5Y 6/2, Die Lagen 5_IV bis 4 ein Schichtpaket des Farbwertes Hue_2.5Y 5/2 bis 4/2, die Lagen 3 bis 1 weisen alle den Farbwert HUE_2.5Y 3/2 auf.



Abbildung 16: Farbverteilung für das Profil INES12_DC nach MUNSELL (eigene Abbildung)

Den Sedimentproben des Profils INES12_DC wurde in ihrer Gesamtheit ebenfalls ein gelblicher Farbton niedriger Frequenz (Hue_2.5Y) zugeordnet. Jedoch lässt sich hier keine kontinuierliche Erhöhung der Werte für die Dunkelstufe mit zunehmender Tiefe der beprobten stratigraphischen Lagen feststellen. Vielmehr ist innerhalb dieses Profils ein Schichtwechsel aus helleren und dunkleren Schichten zu erkennen, wobei die Maxima der Werte für die Dunkelstufe in der Lage 7_II, mit einem Wert von 6, und in der Lage 5, mit einem Wert von 7, liegen. Sie repräsentieren somit die hellsten Schichten innerhalb der Profilwand. Lage 7_II bezieht sich auf ein Schichtpaket innerhalb des unteren Drittels der Profilwand, welches eine geringe horizontale Ausdehnung wie auch Mächtigkeit aufweist. Lage 5 befindet sich in mittlerer Tiefe des Profils, wobei sich die horizontale Ausdehnung dabei fast über die gesamte Profilwand erstreckt. Die dunkelsten Schichten des DC-Profils befinden sich in den Lagen 8 und 7_I, welche einen Wert von 3 für die Dunkelstufe aufweisen und im unteren Bereich des südlichen Endes der Profilwand liegen. Lediglich die Farbintensität der Sedimentproben bleibt mit einem Wert von 2 über das gesamte
Grabungsprofil konstant und weicht nur in der stratigraphischen Lage 7_I auf den Wert 3 ab (Vgl. Abb. 16).

Die untere Profilgrenze, Lage 8, besitzt als einzige Lage innerhalb des DC-Profils einen Farbwert von Hue_2.5Y 3/2 und erstreckt sich als untere Grenze entlang der gesamten Profilwand. Die stratigraphische Lage 7 setzt sich aus zwei Schichtpaketen (Lage 7 I und 7 II) zusammen und weist in ihrer horizontalen Ausdehnung unterschiedliche Farbwerte auf. Lage 7_II (nördliches Ende der Profilwand) besitzt den Farbwert Hue_2.5Y 6/2, Lage 7_I (südliches Ende der Profilwand) hingegen besitzt als einzige den Farbwert Hue_2.5Y 3/3. Lage 6 weist den Farbwert Hue_2.5Y 5/2 auf, welcher ebenfalls für die stratigraphischen Lagen 3 und 1 ermittelt wurde. Lage 5 besitzt ebenso wie die Lage 7_II den Farbwert Hue_2.5Y 6/2 und die stratigraphische Lage Lage 4 weist zusammen mit Lage 2 den Farbwert Hue_2.5Y 4/2 auf. Der Versuch einer Zuordnung der einzelnen stratigraphischen Lagen zu lithostratigraphischen Einheiten auf Grundlage der MUNSELL-Farbwerte gestaltet sich schwierig. Die einzelnen Lagen weisen ein sehr heterogenes räumliches Verteilungsmuster auf und beziehen sich teilweise nur auf kleinere Bereiche der Profilwand. Zudem variieren vor allem im unteren Bereich die ermittelten Farbwerte für die einzelnen stratigraphischen Lagen stark, sodass sich innerhalb der Lagen 8 bis 5 keine Affinitäten in Hinblick auf die Farbwerte feststellen lassen und sich somit auf Grundlage ihrer Färbung keine zusammengehörigen lithostratigraphischen Einheiten vermuten lassen. Lediglich der obere Teil der Profilwand, mit den Lagen 4 bis 1, lässt Ähnlichkeiten in Bezug auf die Farbwerte deutlich werden. Diese liegen bei Werten von Hue_2.5Y 5/2 und 4/2, wechseln sich jedoch im Übergang zwischen den einzelnen Lagen ab, sodass auch hier ein Wechsel geringfügig andersfarbiger Bereiche zunächst keine Zugehörigkeit zu bestimmten Schichtpaketen vermuten lässt.

5.2 Korngrößenanalyse

Die Korngröße von Sedimenten ist eine fundamentale Eigenschaft, welche Auskunft über deren Transport- und Ablagerungsbedingungen gibt. Die Korngrößenanalyse liefert folglich wichtige Hinweise auf die Herkunft der Sedimente, den Transportweg, den diese zurück gelegt haben sowie auf die Bedingungen, unter denen diese abgelagert worden sind und ist ein wichtiger Indikator für die Interpretation, Rekonstruktion und den Vergleich rezenter sowie Paläoumwelten (BLOTT et al. 2004: 63). Bei der Korngrößenanalyse erfolgt zunächst die Untergliederung eines Sediments in dessen Bodenskelett (>2 mm) und Feinboden (<2 mm). Der Feinboden unterteilt sich anschließend in die Korngrößenfraktionen Sand (2 mm bis 63 µm), Schluff (63 µm bis 2 µm) und Ton (< 2 µm) (BLUME et al. 2010: 172 f), wobei diese weiterhin in Fein-, Mittel- und Grobanteile der jeweiligen Korngrößenfraktionen untergliedert werden können (Vgl. Tabelle 3 im Anhang) (BLUM 2007: 48).

Die grafische Darstellung der Verteilung der Korngrößenfraktionen erfolgt mittels kumulierter Balkendiagramme, die die jeweiligen Anteile an Sand-, Schluff- und Tonfraktionen an der gesamten Korngrößenfraktion der untersuchten Lagen in Vol% angeben. Auf der Y-Achse sind die stratigraphischen Lagen, auf der X-Achse der Anteil an den Korngrößenfraktionen in Vol% dargestellt. Neben den Anteilen an der gesamten Korngrößenfraktion werden zusätzlich die statistischen Parameter D50 und D90/D10-der Korngrößenanalyse in Punktdiagrammen aufgeführt.



Abbildung 17: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%], sowie D50und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES12_AB (eigene Abbildung)

Innerhalb des Profils INES12_AB weist die unterste stratigraphische Lage 9, mit einem prozentualen Anteil von 27%, das Minimum für die Korngrößenfraktion Sand auf. In den darüber liegenden Lagen 8 bis 5_IV steigt der prozentuale Anteil an der Sandfraktion bis auf einen Wert von 60% kontinuierlich an, verringert sich dann innerhalb der stratigraphischen Lagen 5 III bis 5 I auf prozentuale Anteile zwischen 60 und 53%, um in Lage 4 wieder auf einen Anteil von 66% zu steigen, welcher gleichzeitig das Maximum für den Anteil an der Sandfraktion bildet. In den oberen Lagen 3 und 2 nimmt der Anteil an der Korngrößenfraktion Sand mit prozentualen Anteilen im Bereich zwischen 42 und 33% ab und steigt schließlich in der obersten stratigraphischen Lage 1 wieder auf einen Sand-Anteil von 50% an. Die prozentualen Anteile an der Schlufffraktion verteilen sich innerhalb der Profilwand wie folgt. Von der untersten Lage 9 bis in die Lage 5_IV fällt der Anteil an der Korngrößenfraktion Schluff von einem Wert von 62%, dem maximalen Anteil an der Schlufffraktion, auf einen Wert von 35%. In den darüber liegenden Lagen 5_III bis 4 liegt der Anteil an der Schlufffraktion im Bereich zwischen 29 und 40%. Die stratigraphischen Lagen 3_II und 3_I weisen wiederum einen höheren Schluff-Anteil von 48 bzw. 61% auf, welcher in der darüber liegenden Lage 2 nur schwach auf einen Anteil von 59% abfällt. In der obersten stratigraphischen Lage 1 verringert sich der Anteil an der Schlufffraktion weiter auf einen Wert von 46%. Der prozentuale Anteil an der Tonfraktion liegt in der untersten stratigraphischen Lage 9 bei dem Maximum von 10%. In den darüber liegenden Lagen 8 und 7 sinkt der prozentuale Tonanteil über einen Wert von 8% auf den Wert 5%, und bleibt in Lage 6 mit einem Anteil um 5% relativ stabil. Innerhalb der stratigraphischen Lage 5 werden prozentuale Anteile an der Tonfraktion erreicht, die in einem Bereich zwischen 4 und 6% liegen, wobei die Anteile an der Tonfraktion über dieses Schichtpaket verteilt keine kontinuierliche Zuoder Abnahme aufweisen, jedoch nur sehr geringen Schwankungen unterliegen. Innerhalb der Lage 4 liegt der Ton-Anteil bei 5% und steigt in Lage 3_II auf einen Ton-Anteil von 10% an. Die Anteile an der Tonfraktion in den oberen Lagen der Profilwand liegen in einem Bereich von 6% (Lage 3_I), 7% (Lage 2) und 4% (Lage 1), wobei der prozentuale Ton-Anteil von 4% das Minimum für die Korngrößenfraktion Ton darstellt (Vgl. Abb. 17).

Bei der Betrachtung des Wertes D50 (Median) lassen sich folgende Verteilungstendenzen der einzelnen Korngrößenfraktionen über das AB-Profil erkennen. Generell ist in der unteren Hälfte der Profilwand (Lage 9 bis 5_III) ein Anstieg des D50-Wertes erkennbar. Dieser steigt im Übergang von Lage 9 zu Lage 8 von 17 auf 27 µm leicht an und erhöht sich in den darüber liegenden Schichten weiter, bis er in der stratigraphischen Schicht 5_III mit einem D50-Wert von 204 µm den höchsten Medianwert innerhalb des unteren Drittels der Profilwand erreicht. Der Kurvenverlauf wird mit dem Vordringen in höher gelegene Schichten immer steiler und die ermittelten D50-Werte beschreiben einen Korngrößenbereich von 75 (Lage 7) bis 204 µm (Lage 5_III). Im Übergang von Lage 5_IV zu Lage 5_III lässt sich somit ein Wechsel der Korngrößenfraktion von Fein- zu Mittelsand feststellen. Über die Lage 5_II bis in die Lage 5_I fällt der D50-Wert zunächst auf 83 µm und steigt dann wieder auf 117 µm an. Mit Erreichen der Lage 4 steigt der Medianwert plötzlich an und erlangt sein Maximum von 423 µm, so dass sich die Lage 4, unter Betrachtung des D50-Wertes der Korngrößenfraktionen, deutlich von den unterhalb- sowie oberhalb verlaufenden Schichten der Profilwand abgrenzt. Im Übergang zur stratigraphischen Lage 3_I fällt der D50-Wert drastisch auf 32 µm ab, bleibt aber im Verlauf der darüber liegenden Schichten bis in die Lage 2 mit Werten zwischen 31 und 29 µm relativ stabil und erhöht sich in der Lage 1 leicht auf den Wert von 63 µm. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die stratigraphischen Lagen der Profilwand mittels ihrer Medianwerte in drei Einheiten unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung einteilen lassen. Die unteren Lagen 9 und 8 der Profilwand liegen, mit D50-Werten zwischen 17 µm und 27 µm, im Bereich schluffiger Böden. Mit Erreichen der stratigraphischen Lage 7 bis einschließlich der stratigraphischen Lage 4, mit D50-Werten im Korngrößenspektrum von 75 bis 423 µm, gehen sie in den Bereich sandiger Böden über, wobei innerhalb dieser Lagen stärkere Schwankungen innerhalb der Körnung zu erkennen sind. Im oberen Teil der Profilwand (Lage 3 II bis 1), mit D50-Werten zwischen 63 und 29 µm, bewegen sich die Schichten wiederum in dem Bereich schluffiger Böden (Vgl. Abb. 17).

Der D90/D10-Wert beschreibt über das gesamte AB-Profil eine Korngrößenzusammensetzung der Fraktion Sand. Die unteren stratigraphischen Lagen 9 und 8 liegen mit D90/D10-Werten von 295 bis 308 µm im Bereich eines Mittelsandes. In der darüber liegenden Lage 7 fällt der D90/D10-Wert auf 170 µm ab und bewegt sich im Bereich der Feinsandfraktion. Mit Erreichen der Lage 6 steigt der D90/D10-Wert erneut auf 234 µm an und teilt den stratigraphischen Lagen, bis in die Lage 3_II, die Korngrößenfraktion eines Mittelsandes zu. Die D90/D10-Werte bewegen sich in diesem Bereich der Profilwand zwischen 234 und 432 µm und

unterliegen nur geringen Schwankungen. Die oberen Lagen 3_I bis 1 weisen D90/D10-Werte von 63 bis 90 µm auf und beschreiben den Korngrößenbereich eines Grobsandes (Vgl. Abb. 17).



Abbildung 18: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%], sowie D50und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES12_DC (eigene Abbildung)

Die Korngrößenverteilung innerhalb des Profils INES12_DC gestaltet sich wie folgt. Betrachtet man zunächst den Anteil an der Sandfraktion, lässt sich für die unterste stratigraphische Lage 8 das Minimum mit einem Sandanteil von 17% feststellen. In den darüber liegenden Lagen 7_II und 7_I steigt der Anteil an der Sandfraktion bis auf einen Anteil von 59% an und fällt innerhalb der stratigraphischen Lage 6 wieder auf 30%. In den Lagen 5 bis 1 ist schwanken die prozentualen Anteile in einem Bereich von 46 bis 71%, wobei das Maximum für den Sandanteil innerhalb dieser Profilwand in der stratigraphischen Lage 1 mit 71% ermittelt wurde. Die Verteilung der Anteile an der Schluffraktion unterliegt ähnlichen Schwankungen. Es lassen sich fortlaufende Zu- bzw. Abnahmen der Schluff-Anteile über die Profilwand feststellen, die in einem Bereich zwischen dem Maximum von 67%, für die Lage 8, und einem Minimum von 23%, für die oberste stratigraphische Lage 1, liegen. Das Maximum für den prozentualen Anteil an der Tonfraktion liegt in der untersten Lage 8 mit 13%. In den darüber liegenden Lagen 7_II und 7_I nimmt der Anteil an der Tonfraktion ab und sinkt bis auf das Minimum von 5%. Innerhalb der stratigraphischen Lagen 6 bis 4 steigen die Ton-Anteile von 6 auf 8% an und verringern sich in der Lage 3 wieder auf 6%. Lage 2 weist einen Tonanteil von 8% auf, welcher in der obersten stratigraphischen Lage 1 wiederum auf 6% abfällt (Vgl. Abb. 18).

Die Verteilung der Medianwerte innerhalb des DC-Profils gestaltet sich sehr unregelmäßig. Insgesamt lässt sich anhand der Verteilung der D50-Werte über die Profilwand kein eindeutiger Trend für die Korngrößenverteilung der stratigraphischen Lagen erkennen. Im unteren Bereich des Profils liegt das Minimum für den Medianwert bei 11 µm, im Bereich eines schluffigen Bodens. In der darüber liegenden Lage 7_II steigt der D50-Wert sprunghaft auf einen Wert von 147 µm an und verringert sich innerhalb der Lage 7_I auf den Wert 110 µm. Beide Lagen liegen somit im Korngrößenbereich sandiger Böden. Überlagert wird dieser Bereich der Profilwand von der Lage 6, in der der Medianwert plötzlich wieder auf 29 µm fällt. Lage 6 stellt somit eine Grenzschicht zwischen den sandigen stratigraphischen Lagen 7 und 5 dar. Der Wechsel zwischen Medianwerten für sandige und schluffige Korngrößenfraktionen setzt sich bis in die oberen Lagen der Profilwand fort und erreicht in der obersten stratigraphischen Lage 1 sein Maximum von 440 µm, im Bereich der Korngrößenzusammensetzung eines Mittelsandes (Vgl. Abb. 18).

Die D90/D10-Werte des DC-Profils unterliegen vor allem im unteren Teil der Profilwand großen Schwankungen. Die unterste Lage 8 weist einen D90/D10-Wert von 70 μ m und die darüber liegende Lage 7_II das Maximum von 526 μ m. Über die Lagen 7_I und 6 fällt der D90/D10-Wert bis auf das Minimum von 53 μ m. Für die Lagen 5 bis 1 beschreibt der D90/D10-Wert eine relativ stabile Korngrößenverteilung im Bereich eines Mittelsandes mit dem Trend steigender Werte von 340 bis auf 450 μ m (Vgl. Abb. 18).



Abbildung 19: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%], sowie D50und D90/D10-Wert [μ m] für das Profil INES13_GH (eigene Abbildung)

Für das Profil INES13_GH lässt sich folgende Verteilung der Korngrößenfraktionen feststellen. Der prozentuale Anteil der Sandfraktion liegt mit einem Wert von 4%, in der untersten stratigraphischen Lage 10, bei dem Minimum für den Sand-Anteil an der gesamten Korngrößenfraktion und steigt in den darüber liegenden Lagen 9 bis 7 rapide auf Sand-Anteile von bis zu 80% an. Dieses Maximum von 80% wird in Lage 9 erreicht, die stratigraphische Lage mit dem höchsten Sandanteil folgt in der Stratigraphie somit direkt auf die Lage mit dem niedrigsten Anteil an der Sandfraktion. Innerhalb der stratigraphischen Lage 6 fällt der Sand-Anteil wieder auf einen Wert von 44% und steigt in mittlerer Tiefe der Profilwand über die Schichten 5_II und 5_I wieder auf einen Anteil von 76% an. Die Lagen 4 und 3 weisen Sand-Anteile in einem Bereich zwischen 60 und 34% auf, wobei Lage 3 den zweitniedrigsten Anteil an der Sandfraktion innerhalb des Profils besitzt. Innerhalb der oberen Lagen steigt der prozentuale Anteil an der Sandfraktion schließlich von 58 (Lage 2_II) auf 61% (Lage 1) an. Betrachtet man die Anteile an der Schlufffraktion liegt das Maximum in der untersten Lage 10, mit einem Anteil von 81%. Resultierend aus den Sand-Anteilen innerhalb der darüber liegenden Schichten, fällt der Anteil an

der Schlufffraktion in den Lagen 9 bis 7 rapide ab und liegt in Lage 9 bei dem Minimum von 17%. Lage 6 besitzt einen Schluff-Anteil von 51%, welcher in den darüber liegenden Lagen 5_II und 5_I bis auf einen Anteil von 21% abfällt. Innerhalb der Lagen 4 bis 1 sind fortlaufende Zu- bzw. Abnahmen des Anteils an der Schlufffraktion zu verzeichnen. Die prozentualen Anteile liegen hier in einem Bereich zwischen 58 und 29%. Der Anteil an der Tonfraktion weist in der untersten stratigraphischen Lage 10 der Profilwand sein Maximum von 14% auf. In den Lagen 9 bis 4 sind nur geringe Tongehalte ermittelt wurden, dessen Anteile sich in einem Bereich von 2%, dem Minimum des Anteils an der Tonfraktion (Lage 8), und 5% bewegen. Die oberen Lagen 3 bis 1 weisen Anteile an der Tonfraktion auf, welche in einem Bereich von 7% liegen, mit der Tendenz eines geringfügig steigenden Anteils an der Tonfraktion innerhalb der höher gelegenen stratigraphischen Lagen (Vgl. Abb. 19).

Die Verteilung der Medianwerte lassen für die stratigraphischen Lagen des GH-Profils folgende Tendenzen in Bezug auf die Korngrößenfraktionen deutlich werden. Die unterste stratigraphische Lage 10 bildet mit einem D50-Wert von 9 µm das Minimum für den Medianwert. Im Übergang zur darüber liegenden stratigraphischen Lage 9 steigt der D50-Wert plötzlich auf das Maximum von 568 µm an und liegt innerhalb der Lagen 8 und 7 im Bereich der Korngrößenfraktion eines Mittelsandes. Der D50-Wert für die stratigraphische Lage 6 liegt bei 45 µm. diese Lage bezieht sich jedoch lediglich auf ein sehr kleines Schichtpaket im nördlichen Bereich des Grabungsprofils. Somit schließt sich oberhalb der Lagen 8 und 7 ein weiteres sandiges Schichtpaket an, welches durch die stratigraphischen Lagen 5_II, 5_I und 4 repräsentiert wird, an. Die Medianwerte in diesem Bereich der Profilwand schwanken zwischen 148 (Lage 5_II), 438 (Lage 5_I) und 139 µm (Lage 4), wobei die Lage 4 sich ebenfalls lediglich auf ein sehr kleines Schichtpaket am nördlichen Ende der Profilwand bezieht. Die stratigraphische Lage 3 besitzt einen deutlich niedrigeren Medianwert von 30 µm. Oberhalb der stratigraphischen Lage 5_I schließt sich fast über die gesamte horizontale Ausdehnung der Profilwand die Lage 2 II an, welche wiederum von der Lage 2_I überdeckt wird. Die D50-Werte steigen innerhalb dieser Schichten über 129 auf 247 µm an und fallen letztendlich in der obersten stratigraphischen Lage 1 leicht auf einen Wert von 197 µm ab. Folglich lassen sich innerhalb dieser Profilwand anhand der Verteilung der Medianwerte für die einzelnen stratigraphischen Lagen folgende Schichtpakete ähnlicher Korngrößenfraktionen differenzieren. Die unterste stratigraphische Lage 10, welche in den Bereich eines schluffigen Bodens fällt und die darüber liegenden stratigraphischen Lagen 9 bis 1, die im Bereich sandiger Böden liegen, wobei die Lagen 6 und 3 einzeln zu bewerten sind, da diese sich nur auf kleinere Schichtpakete beziehen, welche sich in ihrer horizontalen Ausdehnung nur auf kleine Bereiche der Profilwand beziehen. Diese besitzen Medianwerte für den Bereich schluffiger Böden und liegen geringfügig über dem D50-Wert der Lage 10 (Vgl. Abb. 19).

Der D90/D10-Wert des GH-Profils lässt über die gesamte Profilwand abfallende Werte für die Korngrößenverteilung mit der Tiefe erkennen. Die stratigraphische Lage 10 weist dabei das Minimum für die Korngrößenverteilung von 30 µm auf und liegt im Bereich von Grobschluff. Über die Lagen 9 bis 4 steigt der D90/D10-Wert bis auf 239 µm an und beschreibt für diese Lagen die Korngrößenzusammensetzung eines Feinbis Mittelsandes. Mit Erreichen der stratigraphischen Lage 3 fällt der D90/D10-Wert abrupt auf den zweitniedrigsten Wert von 85 µm und steigt in den darüber liegenden Lagen 2_II bis 1 erneut auf Werte von 315 bis auf das Maximum von 482 µm an (Vgl. Abb. 19).



Abbildung 20: Anteile an den Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton [Vol%], sowie D50und D90/D10-Wert [µm] für das Profil INES13_JI (eigene Abbildung)

Über das Profil INES13_JI ist der Anteil an der Sandfraktion in der untersten Lage 10 mit einem Anteil von 20% am geringsten und steigt in den Lagen 9 und 8_II rapide auf einen Sandanteil von 70% an. Die stratigraphischen Lagen 8_I und 7_III weisen wiederum geringere Sand-Anteile auf, welche im Bereich zwischen 52 und 48% liegen. Lage 7 II besitzt einen Anteil an der Sandfraktion von 73%, welcher sich in der darüber liegenden stratigraphischen Lage 7_I auf einen Anteil von 47% verringert. In den höher gelegenen Lagen des Grabungsprofils, Lage 6 bis 4, steigt der Anteil der Sandfraktion bis auf einen Wert von 76% an. Die Lagen 3 bis 1 unterliegen geringen Schwankungen im Bereich von 72 bis 46%. Der Anteil an der Schlufffraktion besitzt, resultierend aus dem geringen Sand-Anteil in der untersten stratigraphischen Lage, innerhalb der Lage 10 sein Maximum von 71%. In den Lagen 9 und 8 II verringert sich der Schluff-Anteil auf 25% und steigt über die Lagen 8 I und 7_III auf 47% an. Über die Lage 7_II bis in die Lage 7_I fällt der Anteil an der Schlufffraktion zunächst auf 23% und steigt dann erneut auf 47% an. In den Lagen 6 bis 4 sinkt der Schluff-Anteil bis auf 19% und steigt in den oberen Lagen der Profilwand wieder auf einen Anteil von bis zu 46% an. Der Anteil der Tonfraktion weist in der untersten Lage 10 des Profils sein Maximum von 9% auf. Im Verlauf der darüber liegenden stratigraphischen Lagen 9 bis 3 sind Zu- bzw. Abnahmen der Ton-Anteile zu verzeichnen, welche jedoch nur geringe Schwankungen aufweisen. Die Anteile an der Tonfraktion belaufen sich innerhalb dieses Bereiches auf Werte zwischen dem Minimum von 4 (Lage 8_II) und 6% (Lage 7_I). Die oberen Schichten der Profilwand lassen die Tendenz eines geringfügig steigenden Ton-Gehaltes bis auf 8% erkennen (Vgl. Abb.20).

Anhand der Verteilung der Werte für den Median innerhalb des JI-Profils lassen sich folgende Schichten voneinander abgrenzen. Die stratigraphische Lage 10 weist innerhalb der Profilwand das Minimum für den D50-Wert von 15 µm auf und wird von der Lage 9 überdeckt, innerhalb welcher der Medianwert sprunghaft auf 249 µm ansteigt und sich in der Lage 8_II bis auf den Wert von 259 µm erhöht. Letztere bezieht sich dabei auf ein etwas kleineres Schichtpaket, welches im unteren Drittel des südlichen Endes der Profilwand liegt. Die Lagen 9 und 8_II lassen sich bei Betrachtung ihrer Medianwerte in den Bereich sandiger Böden der Fraktion Mittelsand einordnen. Die Lage 8_I stellt im Profil das räumliche Gegenstück der Lage 8_II dar und befindet sich im unteren Drittel des nördlichen Endes der Profilwand. In diesem Bereich fällt der D50-Wert auf 70 µm und verringert sich in der

Lage 7_III, welche im Profil die Lagen 8_II und 8_I miteinander verbindet, weiter auf 53 µm. Im Übergang zur stratigraphischen Lage 7_II steigt der Medianwert plötzlich wieder auf 372 µm an. Die Lage 7_II ist innerhalb der Profilwand in mittlerer Tiefe des südlichen Endes der Profilwand verortet. Nach dem Anstieg des Medianwertes innerhalb der Lage 7 II sinkt er in Lage 7 I erneut auf einen Wert von 52 µm. Somit lassen sich bei Betrachtung der Verteilung der Medianwerte über die Profilwand, unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der stratigraphischen Lagen innerhalb des Profils, die Lagen 9 und 8_II sowie die Lagen 8_II, 7_III und 7_I zu Einheiten vergleichbarer Korngrößenfraktionierung zusammenfassen. Oberhalb der Lage 7_II verläuft die stratigraphische Lage 6, die einen D50-Wert von 270 µm aufweist. Ebenso wie die Lagen 7_II und 6 verteilen sich auch die Medianwerte der darüber liegenden Schichten 5 bis 2 I auf einen Bereich im Korngrößenspektrum von 477 µm (Lage 5) bis 258 µm (Lage 2_I), welche im Übergang der einzelnen Lagen leichten Schwankungen unterliegen. sich iedoch ähnlicher zu Lagen Korngrößenfraktionierung zusammenfassen lassen. Die stratigraphische Lage 1 stellt in Hinblick auf ihren D50-Wert eine eigenständige Lage dar und bildet mit einem Medianwert von 44 µm die oberste Schicht des Grabungsprofils (Vgl. Abb. 20).

Bei Betrachtung des D90/D10-Wertes für das JI-Profil ist ein Trend abfallender Korngrößen mit der Tiefe zu beobachten. In den Lagen 10 bis 7_II steigt der D90/D10-Wert von 187 bis auf 260 µm an. Im Übergang zur Lage 7_I verringert sich der Wert leicht auf 204 µm und erhöht sich in den darüber liegenden Lagen erneut kontinuierlich bis auf den Wert von 454 µm (Lage 2_II). Die stratigraphischen Lagen 2_I und 1 weisen wiederum geringfügig niedrigere Werte von 418 bis 317 µm auf (Vgl. Abb. 20).

5.3 pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Wasserstoffionenkonzentration einer Bodenlösung. Er wird als negativer dekadischer Logarithmus der Protonenkonzentration in mol/l angegeben (BARSCH et al. 2000: 322) und gilt als eine der wichtigsten und aussagekräftigsten Kenngrößen in der Bodenkunde. Er lässt Rückschlüsse auf die Entstehung sowie auf die daraus entstehenden chemischen Eigenschaften eines Bodens zu. Auf Grundlage ihres pH-Wertes werden Böden in extrem saure (pH < 3), sehr stark bis schwach saure (pH 3 bis 6,9), neutrale (pH 7), schwach bis sehr stark

alkalische (pH 7,1 bis 11) und extrem alkalische (pH > 11) Böden untergliedert (BLUME et al. 2010: 151 f).

Die grafische Darstellung der ermittelten pH-Werte für die stratigraphischen Lagen der Grabungsprofile INES12_AB und INES12_DC erfolgt in Punktdiagrammen, welche fortlaufende römische Ziffern (I bis III) erhalten. Auf der Y-Achse sind jeweils die Stratigraphischen Lagen der Profile, auf der X-Achse der zugehörige pH-Wert dargestellt. Alle Messungen erfolgten in Doppelbestimmungen und sind in der Legende der Grafiken durch die Benennung pH-Wert a) und pH-Wert b) gekennzeichnet, wobei sich die Werte aus den Messungen a und b größtenteils nicht unterscheiden und sich demnach in den jeweiligen Punktdiagrammen teilweise überlagern. Für beide Grabungsprofile wird zunächst die Verteilung der pH-Werte über das gesamte Profil dargestellt (Diagramm I), wobei die Stratigraphischen Lagen, innerhalb welcher mehrere Sedimentproben analysiert worden sind, farblich markiert sind und in eigenen Grafiken (Diagramme II bzw. III) visualisiert werden. Die pH-Werte beider Grabungsprofile liegen im Bereich zwischen 7 und 9. Die X-Achsen der Diagramme I: INES12_AB gesamt und I: INES12_DC gesamt werden in drei Abschnitte unterteilt, welche die ermittelten pH-Werte in den Bereich schwach alkalischer, mäßig alkalischer und stark alkalischer Böden einteilen. Die Abgrenzung dieser Bereiche erfolgt bei den Werten 8 und 9 und wird jeweils durch eine gestrichelte Linie kenntlich gemacht.







Abbildung 22: pH-Wert gemessen in H2O für das Profil INES12_AB, Stratigraphische Lage 3 und 5 (eigene Abbildung)

Insgesamt liegen die ermittelten pH-Werte des Profils INES12_AB in einem Bereich zwischen 7,7 und 9,1, wobei das Maximum des Gesamtkollektivs in der stratigraphischen Lage 4 und das Minimum in Lage 2 erreicht werden. Die Sedimentproben aus dem unteren Bereich der Profilwand, bis in mittlere Tiefe, weisen die geringsten Schwankungen innerhalb der pH-Wert-Verteilung auf. Die Werte der stratigraphischen Lagen 9 bis 5 liegen alle im Bereich zwischen 8,7 und 9 (Vgl. Abb. 21), wobei sich die Werte innerhalb der stratigraphischen Lage 5_IV bis 5_I lediglich zwischen den Werten 8,7 und 8,8 bewegen (Vgl. Abb. 22). Im Oberen Bereich der Profilwand sind größere Schwankungen innerhalb der pH-Wert-Verteilung erkennbar. Innerhalb dieser Schichten sind die maximalen (Lage 4) und minimalen pH-Werte (Lage 2) ermittelt wurden (Vgl. Abb. 21).

Die untersten stratigraphischen Lagen 9 und 8 des AB-Profils weisen in den Messungen a) und b) pH-Werte von 8,8 auf. In Lage 7 wurden pH-Werte von a) 9,0 und b) 8,9 ermittelt, die sich in Lage 6 auf einen Wert 8,9 einpendeln (Vgl. Abb. 21). Die stratigraphische Lage 5 stellt das mächtigste Schichtpaket der Profilwand dar, die pH-Werte sinken auf Werte zwischen 8,7 und 8,8 und bleiben über die gesamte Schicht relativ stabil. Die jeweiligen a) und b) Messungen schwanken lediglich in Lage 5_IV zwischen a) 8,8 und b) 8,7 (Vgl. Abb. 22). Oberhalb dieses Schichtpakets verläuft die stratigraphische Lage 4, welche die höchsten pH-Werte der Profilwand aufweist. Diese steigen auf a) 9,1 bis b) 9,0 an (Vgl. Abb. 21) und sinken in Lage 3 wiederum auf Werte um 8,4 (Lage 3_I) und 8,3 (Lage 3_II) (Vgl. Abb. 22). In Lage 2 fallen die pH-Werte weiter auf das Minimum des Gesamtkollektivs. Der pH-Wert dieser Schicht liegt bei 7,7. In der stratigraphischen Lage 1, der oberen Profilgrenze, steigt der pH-Wert wieder auf 8,2 an (Vgl. Abb. 21).



Abbildung 23: pH-Wert in H2O gemessen für das Profil INES12_DC gesamt (eigene Abbildung)



Abbildung 24: pH-Wert gemessen in H2O für das Profil INES12_DC, Stratigraphische Lage 7 (eigene Abbildung)

Die pH-Werte des Profils INES12_DC liegen in einem Bereich zwischen 7,8 und 9,2. Das Maximum des Gesamtkollektivs liegt in der stratigraphischen Lage 5, das Minimum in Lage 8. Insgesamt lässt sich über das gesamte Grabungsprofil kein eindeutiger Trend der pH-Wert-Verteilung erkennen, die Werte schwanken zwischen den einzelnen Schichten aus dem unteren Bereich des Grabungsprofils bis in den oberen Bereich und es sind stetige Zu- und Abnahmen der pH-Werte im Übergang zwischen den einzelnen stratigraphischen Lagen zu verzeichnen.

Die stratigraphische Lage 8 weist innerhalb des DC-Profils den niedrigsten pH-Wert auf. Dieser liegt bei a) 7,8 bzw. b) 7,9. Lage 8 erstreckt sich horizontal als untere Grenzschicht über das gesamte Grabungsprofil (Vgl. Abb. 23). Die darüber liegende Lage 7 setzt sich aus zwei unterschiedlichen Schichtpaketen zusammen, welche sich in ihrem pH-Wert deutlich voneinander abgrenzen lassen. In Lage 7_II liegt der pH-Wert bei a) 9,0 bzw. b) 9,1, Lage 7_II weist einen pH-Wert von 8,0 auf (Vgl. Abb. 24). Für die stratigraphische Lage 6, in mittlerer Profiltiefe, ist ein pH-Wert von 8,2 ermittelt worden. In der der darüber gelegenen Lage 5 steigt der pH-Wert mit a) 9,2 bzw. b) 9,1 auf das Maximum der pH-Werte des Gesamtkollektivs an. In der Lage 4 sinkt der pH-Wert wieder auf einen Wert von a) 8,3 bzw. b) 8,4, wobei sich Lage 4 nur auf das südliche Ende der Profilwand beschränkt. Überlagert wird die Lage 5 mit dem höchsten pH-Wert von der stratigraphischen Lage 3, die einen pH-Wert von 8,6 aufweist. Oberhalb der Lage 3 verläuft Lage 2, mit einem pH-Wert zwischen a) 8,3 und b) 8,2, welche letztendlich von der obersten Lage 1 mit einem pH-Wert von 9,0 überdeckt wird (Vgl. Abb. 23).

5.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit stellt den Kehrwert des Widerstandes einer Bodenlösung zwischen zwei Elektroden dar, zwischen denen sie den Raum eines Würfels mit 1 cm Kantenlänge einnimmt (GOUDIE 1998: 165). Sie teilt Böden in den Bereich gering salzhaltiger bis sehr stark salzhaltiger Böden ein (Vgl. Tab. 4 im Anhang) (UTERMANN et al. 2000: 62).

Die grafische Darstellung der ermittelten elektrischen Leitfähigkeit der Grabungsprofile INES12_AB und INES12_DC erfolgt in Punktdiagrammen, welche fortlaufende römische Ziffern erhalten und sich sowohl auf das jeweilige Grabungsprofil als Ganzes (Diagramm I), als auch auf ausgewählte Stratigraphische Lagen (Diagramme II bzw. III), beziehen. Auf der Y-Achse sind die Stratigraphischen Lagen, auf der X-Achse die zugehörige elektrische Leitfähigkeit (ELF) in mS/cm dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Werte für die elektrische Leitfähigkeit sowohl für das AB-Profil als auch für das DC-Profil auf einen weit gespannten Messbereich verteilen, erfolgt bei der Visualisierung der Ergebnisse eine Achsenunterbrechung der X-Achse.

I: INES12_AB gesamt



Abbildung 25: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil INES12_AB gesamt (eigene Abbildung)



Abbildung 26: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil INES12_AB, Stratigraphische Lage 3 und 5 (eigene Abbildung)

Die stratigraphische Lage 9 des AB-Profils besitzt eine elektrische Leitfähigkeit von 0,25 mS/cm und wird im mittleren Bereich ihrer horizontalen Ausdehnung von der Lage 8 überdeckt, welche eine ELF von 0,22 mS/cm aufweist. In den Lagen 7 und 6 steigen die Werte für die ELF auf 0.29 bzw. 0.34 mS/cm an (Vgl. Abb. 25) und verringern sich innerhalb der Lagen 5 VI bis 5 I erneut auf 0,21 bis 0,25 mS/cm (Vgl. Abb. 26). In der stratigraphischen Lage 4 wird eine ELF von 0,77 mS/cm erreicht. Die Lage 3 des AB-Profils setzt sich aus zwei Schichtpaketen zusammen, die in ihrer horizontalen Ausdehnung jeweils nur auf einen bestimmten Bereich der Profilwand beschränkt sind und sich in ihrer ELF deutlich voneinander differenzieren lassen. Lage 3 I bezieht sich dabei auf das nördliche Ende, Lage 3 II auf das südliche Ende der Profilwand. Die elektrischen Leitfähigkeiten weisen Werte von 0,4 bzw. 6,11 mS/cm auf. Die ELF der Lage 2 liegt bei 4,15 mS/cm und erhöht sich im Übergang zur stratigraphischen Lage 1 auf das Maximum von 25,15 mS/cm. Insgesamt ist für das Westprofil ein Trend zur Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit mit der Tiefe zu beobachten, wobei die höchsten Werte innerhalb der Stratigraphischen Lagen 3 II, 2 und 1, mit dem Maximalwert von 25,15 mS/cm (Lage I), zu verzeichnen sind. Die unteren Schichten der Profilwand weisen elektrische Leitfähigkeiten unterhalb von 1 mS/cm auf, mit dem Minimum von 0,21 mS/cm (Lage 5_IV) (Vgl. Abb. 25).

Bei der grafischen Darstellung der elektrischen Leitfähigkeit für das Profil INES12_DC ist auf das zusätzliche Anfertigen eines Diagramms für die stratigraphische Lage 7 verzichtet wurden, da sich die Werte für die ELF beider Schichten dieser Lage auch in der Gesamtübersicht des Profils gut differenzieren lassen.

I: INES12_DC gesamt



Abbildung 27: Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm] gemessen in H2O für das Profil INES12_DC gesamt (eigene Abbildung)

Die stratigraphische Lage 8 bildet die untere Profilgrenze und besitzt eine elektrische Leitfähigkeit von 2,51 mS/cm. Darüber verläuft die Lage 7, welche sich aus zwei Schichtpaketen zusammensetzt, die sich in Bezug auf ihre ELF sehr stark voneinander abgrenzen. Lage 7_I aus dem nördlichen Teil der Profilwand stellt mit 27,92 mS/cm das Maximum der elektrischen Leitfähigkeiten innerhalb des DC-Profils dar, wobei Lage 7_II mit einem Wert von 0,65 mS/cm eine wesentlich geringe ELF aufweist. Lage 6 besitzt eine ELF von 1,33 mS/cm, die im Übergang zu Lage 5 weiter auf 0,44 mS/cm abfällt. Mit Erreichen der stratigraphischen Lage 4 bis auf Höhe der stratigraphischen Lage 2 steigt die ELF wiederum von 0,77 bis auf 1,08 mS/cm an. In der stratigraphischen Lage 1 fällt die elektrische Leitfähigkeit schließlich auf das Minimum von 0,37 mS/cm. Anders als im AB-Profil lässt sich innerhalb dieser Profilwand kein Trend zur Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit mit der Tiefe beobachten. Das Gesamtkollektiv der Proben weist elektrische Leitfähigkeiten auf, die sich im Bereich zwischen 0,37 und 2,51 mS/cm bewegen, einzig die stratigraphische Lage 7_I hebt sich mit einer ELF von 27,92 mS/cm deutlich von den restlichen stratigraphischen Lagen ab (Vgl. Abb. 27).

5.5 Carbonatgehaltbestimmung

Die grafische Darstellung des ermittelten Massenanteils an Carbonat für die Profilwände INES12_AB/DC sowie INES13_GH/JI erfolgt in Punktdiagrammen. Auf der Y-Achse sind die stratigraphischen Lagen, auf der X-Achse der zugehörige Carbonatgehalt in g/kg abgebildet.



Abbildung 28: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES12_AB (eigene Abbildung)

Die Verteilung des Massenanteils an Carbonat über das AB-Profil gestaltet sich wie folgt. Die unteren Lagen 9 und 8 weisen einen ähnlichen CaCO₃-Gehalt von 528 bis 558 g/kg auf. In den Lagen 7 und 6 steigt der Gehalt an CaCO₃ rasch über 761 bis auf das Maximum von 805 g/kg an und pendelt sich innerhalb der stratigraphischen Lagen 5_IV bis 5_I auf einen CaCO₃-Gehalt zwischen 684 und 753 g/kg ein. Mit Erreichen der Lage 4 erhöht sich der Gehalt an CaCO₃ wieder leicht auf 797 g/kg. Von da an verringert sich der Carbonatgehalt der stratigraphischen Lagen bis in die obere Profilgrenze kontinuierlich. Die Lagen 3_II und 3_I weisen CaCO3-Gehalte von 668 bis 637 g/kg, die Lagen 2 und 1 Gehalte von 562 bis 570 g/kg auf. Für das obere Drittel der Profilwand (Lagen 1 bis 4) lässt sich folglich der Trend eines steigenden Carbonatgehaltes mit der Tiefe beobachten. In mittlerer Profiltiefe verringert sich der CaCO₃-Gehalt leicht und weist für das mächtigste Schichtpaket (Lage 5_VI bis 5_I) relativ stabile Werte auf. Im Übergang zum unteren Drittel der Profilwand reduziert sich der Massenanteil an CaCO3 schließlich stark und weist bis zum Erreichen der unteren Profilgrenze den Trend eines sinkenden Carbonatgehaltes auf (Lage 6 bis 9) (Vgl. Abb. 28).





Über das DC-Profil lässt sich folgende Verteilung des Carbonatgehaltes beobachten. Die unterste stratigraphische Lage 8 besitzt einen Massenanteil an Carbonat von 510 g/kg. In Lage 7_II steigt der CaCO₃-Gehalt sprunghaft auf 733 g/kg an und verringert sich in Lage 7_I auf 492 g/kg. Über die Lagen 6 und 5 ist ein erneuter Anstieg des Carbonatgehaltes zu verzeichnen, der in Lage 5 mit einem Gehalt von 843 g/kg sein Maximum erreicht. Die Lagen 4 und 3 weisen ähnliche CaCO₃-Gehalte zwischen 691 bis 707 g/kg auf, die stratigraphische Lage 2 besitzt mit 479 g/kg den niedrigsten Massenanteil an Carbonat innerhalb dieses Profils. In der obersten Lage 1 steigt der CaCO₃-Gehalt erneut auf 785 g/kg an. Insgesamt lässt sich innerhalb dieses Profils kein Trend für die Verteilung des Carbonatgehaltes erkennen. Die stratigraphischen Lagen weisen in ihren Massenanteilen an Carbonat deutliche Schwankungen auf (Vgl. Abb. 29).



Abbildung 30: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES13_GH (eigene Abbildung)

Die Carbonatgehalte des GH-Profils verteilen sich wie folgt. Die unterste stratigraphische Lage 10 weist einen CaCO₃-Gehalt von 494 g/kg auf, der gleichzeitig das Minimum innerhalb dieses Profils darstellt. Mit Erreichen der Lage 9 steigt der Massenanteil an Carbonat sprunghaft auf 839 g/kg an und verringert sich im Übergang zur Lage 8 auf 756 g/kg. In den darüber liegenden stratigraphischen Lagen 8 bis 5_I ist ein kontinuierlicher Anstieg des Carbonatgehaltes zu verzeichnen, der sich von 756 bis auf 879 g/kg erhöht und in Lage 5_I schließlich sein Maximum erreicht. In den oberen Lagen der Profilwand (Lage 4 bis 1) ist hingegen eine erneute Abnahme des CaCO₃-Gehaltes zu beobachten, der sich von 837 auf 703 g/kg verringert (Vgl. Abb. 30).



Abbildung 31: Carbonatgehalt [g/kg] für das Profil INES13_JI (eigene Abbildung)

Für die stratigraphischen Lagen des JI-Profils ergibt sich folgende Verteilung der Carbonatgehalte. Den niedrigsten CaCO₃-Gehalt weist die Lage 10 mit 455 g/kg auf. In Lage 9 verdoppelt sich der ermittelte Carbonatgehalt nahezu und liegt bei 879 g/kg. Im Übergang zu Lage 8_II ist ein leichter Anstieg des CaCO₃-Gehaltes auf 906 g/kg zu verzeichnen, der sich in Lage 8_I wieder auf 876 g/kg verringert und in Lage 7_III weiter auf 852 g/kg abfällt. Mit Erreichen der Lage 7_II wird ein erneuter Anstieg des Carbonatgehaltes deutlich, der sich über 875 g/kg schließlich auf das Maximum von 922 g/kg (Lage 7_I) erhöht. In der oberen Hälfte der Profilwand ist über die Lagen 6 bis 1 generell eine Abnahme des Carbonatgehaltes mit dem Erreichen höher gelegener Schichtpakete zu verzeichnen. Lediglich die Lage 2_I, mit einem CaCO3-Gehalt von 841 g/kg, unterbricht diesen Trend (Vgl. Abb. 31).

Insgesamt weisen die beprobten stratigraphischen Lagen aller Profilwände sehr hohe Carbonatgehalte auf, bei denen der Massenanteil an Carbonat in der Regel über 500 g/kg, teilweise sogar bei bis zu 900 g/kg, liegt. Generell ist zu beobachten, dass die Lagen der Profile INES12_AB und INES12_DC im Mittel geringere Carbonatgehalte aufweisen als die Profile INES13_GH und INES13_JI. Zudem weisen sowohl das AB-Profil, vor allem aber das DC-Profil in ihrer Verteilung der Carbonatgehalte über die jeweiligen Lagen der Profilwände sprunghafte Änderungen der CaCO₃-Gehalte auf. Die Übergänge der CaCO₃-Gehalte zwischen den stratigraphischen Lagen des GH- und JI-Profils gestalten sich wesentlich fließender.

Die Ergebnisse können möglicherweise darauf hindeuten, dass es bei der volumetrischen Carbonatgehltbestimmung nach SCHEIBLER möglicherweise zu einer Überschätzung des tatsächlichen Massenanteils an CaCO₃ gekommen ist. Um die Messgenauigkeit dieser Methode garantieren zu können sind mehrere Messwiederholungen nötig.

5.6 C/N-Anayse

Im Folgenden werden die ermittelten Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte aus der C/N-Analyse und das errechnete C/N-Verhältnis grafisch gegenüber gestellt und anschließend beschrieben. Die Y-Achse zeigt die stratigraphischen Lagen der Profile, die X-Achse ordnet diesen die Gehalte an gesamtem Kohlenstoff (C_t) und gesamtem Stickstoff (N_t) in Vol% sowie das C/N-Verhältnis zu.

Die prozentualen Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff wurden jeweils in unabhängigen Doppelbestimmungen ermittelt. Dabei ergab sich für das AB-Profil eine mittlere Abweichung der a) und b) Proben von 0,32 für den prozentualen Gehalt an C_t und 0,04 für den prozentualen Gehalt an N_t. Für das DC-Profil ergab sich eine mittlere Abweichung der a) und b) Proben von 0,11 für den prozentualen Gehalt an C_t und 0,04 für den prozentualen Gehalt an N_t. Für das GH-Profil weichen die a) und b) Proben für den Gehalt an C_t um 0,31 voneinander, für den Gehalt an N_t um 0,01 voneinander ab. Für das JI-Profil lassen sich Abweichungen zwischen a) und b) Probe von 0,08 für C_t und 0,01 für N_t ermitteln.

Um das jeweilige C/N-Verhältnis der einzelnen stratigraphischen Lagen zu bestimmen, wurden die die Ergebnisse der C/N-Analyse mit denen der Carbaonatgehaltbestimmung verrechnet. Dabei wurde vom Gesamtgehalt an Kohlenstoff der jeweiligen Bodenproben (Ct) der Massenanteil an CaCO₃ (Canorg.) subtrahiert, um den Anteil an organischem Kohlenstoff (Corg.) zu erhalten. Corg. wurde anschließend mit dem ermittelten prozentualen Gesamtgehalt an Stickstoff ins Verhältnis gesetzt. Bei der Verrechnung der Ergebnisse beider Analysen bestätigte sich die Vermutung, dass es bei der volumetrischen Bestimmung des Massenanteils

an Carbonat sehr wahrscheinlich zu einer Überschätzung des ermittelten Massenanteils an CaCO₃ gekommen ist, da bei der Subtraktion von C_t und C_{anorg.} negative Werte aufgetreten sind. Diese negativen Werte ergaben sich für die unteren Lagen der Profile AB (Lagen 9 und 8), GH (Lage 10) und JI (Lage 10), wodurch sich ebenfalls negative C/N-Verhältnisse für die entsprechenden Lagen ergaben, welche bei der Ergebnisdarstellung in den jeweiligen Grafiken der Profile nicht aufgeführt werden.



Abbildung 32: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES12_AB (eigene Abbildung)

Für das Profil INES12_AB zeichnen sich bezüglich der prozentualen Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff folgende Trends ab. Über die gesamte Profilwand lässt sich im Wesentlichen eine Abnahme der prozentualen Gehalte an C_t und N_t mit der Tiefe verzeichnen. Bei genauer Betrachtung des prozentualen Kohlenstoff-Gehaltes ist zunächst festzuhalten, dass C_t für das Gesamtkollektiv im Bereich von 5 bis 14% liegt. In den untersten stratigraphischen Lagen 9 und 8 sind die niedrigsten Gehalte an Kohlenstoff ermittelt worden, sie liegen bei 5,9%. Die Lagen 7 bis 5_II weisen Gehalte von 9,7 bis 10,7% auf. Im Übergang zur Lage 5_I erhöht sich der Gehalt an Kohlenstoff auf 13% und verringert sich in Lage 4 wiederum auf 12% und in Lage

3_II weiter auf 11,5%. Die obersten Lagen der Profilwand weisen ähnliche Gehalte an Kohlenstoff auf. Die Lage 3_I besitzt einen Kohlenstoff-Gehalt von 13,5%, Lage 2 einen Gehalt von 14% und Lage 1 schließlich einen Gehalt von 13,7%. Der prozentuale Gehalt an Stickstoff umfasst für das Gesamtkollektiv einen Bereich von 0,06 bis 1,23%, wobei das Maximum in der stratigraphischen Lage 1 und das Minimum in der stratigraphischen Lage 8 zu finden ist. Die Lagen der unteren Profilhälfte (Lage 9 bis 5_II) weisen in Bezug auf Nt ähnliche Werte auf. Die Spannweite bewegt sich in diesem Bereich der Profilwand zwischen 0,06 und 0,13%. Die Gehalte an Stickstoff für die Lagen der oberen Profilhälfte weisen stärkere Schwankungen auf. Mit Erreichen der Lage 5_I steigt Nt auf 0,27%, sinkt in Lage 4 auf 0,15% um sich schließlich in Lage 3_II erneut auf 0,27% zu erhöhen. In Lage 3_I steigt der Stickstoff-Gehalt abrupt auf 0,86% an und erhöht sich in Lage 2 weiter auf 0,79%. Die oberste Lage 1 weist mit 1,23% den höchsten Gehalt an Nt auf. Insgesamt lassen sich die Ergebnisse der prozentualen Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte über die Profilwand miteinander korrelieren. Beide weisen abnehmende prozentuale Gehalte mit der Tiefe auf (Vgl. Abb. 32).

Das C/N-Verhältnis des Gesamtkollektivs bewegt sich in einem Bereich zwischen 5 und 17. Das Maximum wird in der stratigraphischen Lage 5_I, das Minimum in Lage 6 erreicht. Insgesamt ist in den unteren Lagen 7 bis 5_I ein Anstieg des C/N-Verhältnisses, in den oberen Lagen 4 bis 1 eine Abnahme des C/N-Verhältnisses zu verzeichnen. Die Lagen 7 und 6 weisen ein Verhältnis von 5,7 bzw. 5 auf, wobei im Übergang zu Lage 5_IV ein deutlicher Anstieg des C/N-Verhältnisses auf 14 zu beobachten ist. In Lage 5 schwanken die C/N-Verhältnisse zwischen 14 und 17. Im Übergang zu Lage 4 verringert sich das C/N-Verhältnis nur geringfügig auf 16, fällt in den oberen Lagen der Profilwand jedoch deutlich von 13 (Lage3_II) bis auf 5,6 (Lage 1) ab (Vgl. Abb. 32).



Abbildung 33: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES12_DC (eigene Abbildung)

Für das Profil INES12_DC lassen sich bezüglich der Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte folgende Trends erkennen. Das Gesamtkollektiv des DC-Profils weist prozentuale Gehalte an Kohlenstoff auf, die im Bereich von 9,9 bis 15,2% liegen. Insgesamt zeichnen sich im unteren Teil der Profilwand (Lage 8 bis 7_I) deutliche Schwankungen der Gehalte an C_t ab. Die Lage 8 besitzt einen Gehalt von 12,7%, Lage 7_II einen Gehalt von 10,7% und Lage 7_I einen Gehalt von 15,2%, welcher gleichzeitig das Maximum innerhalb des DC-Profils bildet. Mit Erreichen der Lage 6 wird eine zunehmend stabiler werdende Verteilung der prozentualen Gehalte an Kohlenstoff deutlich. Die Anteile schwanken in im oberen Bereich der Profilwand (Lage 6 bis 1) nur geringfügig zwischen 9,9 und 11,3%. Betrachtet man die prozentualen Gehalte an Stickstoff lassen sich, ähnlich wie für die Kohlenstoff-Gehalte, stärkere Schwankungen im unteren Bereich der Profilwand (Lage 8 bis 7_II) erkennen, wobei die Gehalte an Nt im oberen Bereich nur leicht schwanken. Insgesamt verteilen sich die Stickstoff-Gehalte in einem Bereich zwischen 0,12 bis 1,74%. Die stratigraphische Lage 8 besitzt einen Gehalt an Nt von 0,67%, welcher sich in Lage 7_II auf 0,14% verringert und in Lage 7_I abrupt auf das Maximum von

1,74% ansteigt. Die prozentualen Stickstoff-Gehalte in den oberen Lagen der Profilwand (Lagen 6 bis 1) zeigen eine generelle Zunahme und schwanken in einem Bereich zwischen 0,42 und 0,12%, wobei die oberste Lage 1 den höchsten Stickstoff-Gehalt aufweist. Insgesamt lassen sich die Ergebnisse der prozentualen Kohlenstoffund Stickstoff-Gehalte über die Profilwand miteinander korrelieren. Beide weisen im unteren Bereich der Profilwand deutliche Schwankungen auf und verhalten sich im oberen Teil der Profilwand relativ stabil (Vgl. Abb. 33).

Die C/N-Verhältnisse für das Gesamtkollektiv des DC-Profils bewegen sich im Bereich zwischen 0,2 und 16 und unterliegen über die gesamte Profilwand starken Schwankungen. Das Maximum für das C/N-Verhältnis dieses Profils ist für die stratigraphische Lage 1, mit 16, und das Minimum für die Lage 5, mit 0,2, ermittelt worden (Vgl. Abb. 33).



Abbildung 34: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES13_GH (eigene Abbildung)

Die prozentualen Kohlenstoff-Gehalte für das GH-Profil unterliegen über das Gesamtkollektiv nur geringen Schwankungen und bewegen sich in einem Bereich zwischen 10,4 bis 14,3%. Lediglich die untere stratigraphische Lage weist einen

deutlich niedrigeren Gehalt an Kohlenstoff auf, welcher bei 5,7% liegt. Das Maximum des Kohlenstoff-Gehaltes ist innerhalb dieser Profilwand in der Lage 8 zu verzeichnen, wobei der zweithöchste Wert in Lage 7 mit 14% erreicht wird. Die prozentualen Gehalte an Stickstoff unterliegen über das Gesamtkollektiv größeren Schwankungen, zwischen dem minimalen Stickstoff-Gehalt in der untersten stratigraphischen Lage 10 mit 0,06% und dem Maximum in der Lage 1 mit 0,23%. Dabei wird der Trend eines abnehmenden Stickstoff-Gehaltes der stratigraphischen Lagen mit der Tiefe deutlich (Vgl. Abb. 34).

Die C/N-Verhältnisse des Gesamtkollektivs bewegen sich im Bereich zwischen 4,9 und 47,8. Das Maximum für das C/N-Verhältnis liegt dabei in der stratigraphischen Lage 8, das Minimum in Lage 2_II. Lage 9 weist ein C/N-Verhältnis von 18,9 auf, welches sich im Übergang zu Lage 8 abrupt auf das Maximum von 47,8 erhöht. In den darüber liegenden Lagen zeichnet sich der Trend eines abnehmenden C/N-Verhältnisses von 35,5 (Lage 7) bis auf 10,7 in Lage 3 ab. Nach Erreichen des Minimums für die C/N-Verhältnisse dieser Profilwand von 4,6 (Lage 2_II) steigt das C/N-Verhältnis in den oberen Lagen 2_I und 1 wiederum auf 13,7 bzw. 12,3 an (Vgl. Abb. 34).



Abbildung 35: Ct [Vol%], Nt [Vol%] und C/N-Verhältnis für das Profil INES13_JI (eigene Abbildung)

Die prozentualen Gehalte an Kohlenstoff über das JI-Profil weisen eine ähnliche Verteilung auf wie über das GH-Profil. Die Kohlenstoff-Gehalte unterliegen über das Gesamtkollektiv nur geringen Schwankungen und bewegen sich im Bereich von 10,8 bis 13,3%. Ebenso wie im GH-Profil ist auch im JI-Profil der niedrigste abweichende Gehalt an Kohlenstoff in der unteren stratigraphischen Lage 10, mit 5,4%, zu verzeichnen. Die prozentualen Gehalte an Stickstoff liegen insgesamt in einem Bereich zwischen 0,07 bis 0,35%. Dabei ist erneut der Trend eines absteigenden Stickstoff-Gehaltes mit der Tiefe zu verzeichnen, der lediglich in den oberen Lagen 2_II bis 1 stärkeren Schwankungen unterliegt (Vgl. Abb. 35).

Die C/N-Verhältnisse für das Gesamtkollektiv liegen in einem Bereich zwischen 9,6 und 23,8. Das Maximum findet sich innerhalb dieser Profilwand in der stratigraphischen Lage 7_I, das Minimum in Lage 1 wieder. Insgesamt lässt sich im unteren Teil des Profils der Trend eines ansteigenden C/N-Verhältnisses bis auf 23,8 in Lage 7_I erkennen. In den stratigraphischen Lagen 6 bis 3 fällt das C/N-Verhältnis zunächst auf 11,1 (Lage 6) ab und steigt anschließend erneut bis auf 21,5 (Lage 3) an. Die oberen Lagen 2_II bis 1 weisen relativ stabile C/N-Verhältnisse im Bereich von 11,6 bis 9,6 auf (Vgl. Abb. 35).

6. Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden sollen zunächst die sedimentologischen Laboranalysen kritisch bewertet und auf ihre Vergleichbarkeit hin diskutiert werden. Im Anschluss erfolgt, auf Grundlage der Ergebnisse aus den Sedimentalysen, der Versuch einer lithostratigraphischen Gliederung der Profile INES12 AB und INES12 DC und die Gegenüberstellung der lithostratigraphischen und archäologischen Einheiten, die im Vorfeld der sedimentologischen Untersuchungen auf Grundlage der vermuteten Zeitstellung der Inventare erstellt worden sind. Für die Profile INES13_GH und INES13_JI soll abschließend anhand ihrer Sedimentologie, basierend auf der Korngrößenzusammensetzung und dem C/N-Verhältnis, versucht werden epipaläolithische und neolithische Bereiche der Profilwände zu identifizieren und voneinander abzugrenzen.

Bei dem Vergleich der Ergebnisse aus den einzelnen Laboranalysen treten wiederholt stratigraphische Lagen in den Vordergrund, die sich über die jeweiligen Profilwände anhand unterschiedlicher Parameter vom Gesamtkollektiv abheben. Beispielhaft für eine solche stratigraphische Lage steht die Lage 4 des Profils allem INES12_AB. Vor die Ergebnisse der pH-Wert-Messung, der Korngrößenanalyse und der C/N-Analyse weisen für diese Lage wiederholt Peaks auf, die sie aus dem Gesamtkollektiv hervortreten lassen. Ein weiteres Beispiel für eine stratigraphische Lage, die sich bei der Ergebnisbetrachtung verschiedener Analysen vom Gesamtkollektiv der Profilwand abhebt, ist die Lage 5 des Profils INES12_DC. Insbesondere die Ergebnisse aus der Messung des pH-Wertes, der C/N-Analyse und der Farbbestimmung grenzen diese Lage wiederholt vom Gesamtkollektiv ab. Eine stratigraphische Lage, welche auffällige Peaks innerhalb aller Ergebnisse der verschiedenen Sedimentanalysen aufweist, ist die Lage 7_II des DC-Profils. Sie sticht sowohl aufgrund ihres pH-Wertes und ihrer elektrischen Leitfähigkeit, aber auch in Hinblick auf ihre Farbe, ihre mittlere Korngröße sowie ihr C/N-Verhältnis, im Vergleich zu den angrenzenden Lagen, hervor. Weiterhin lassen sich zudem auf Grundlage der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Laboranalysen für das Profil INES12_AB stratigraphische Lagen identifizieren, welche in ihrer sedimentologischen Zusammensetzung Ähnlichkeiten aufweisen. So beispielsweise die stratigraphischen Lagen 9 und 8 sowie die Lagen 7 und 6. Sie weisen bezogen auf pH-Werte und elektrischen Leifähigkeiten, ihre Farbe und ihre

Korngrößenzusammensetzung aber auch in ihren C/N-Verhältnis nennenswerte Affinitäten auf. Auch die verschiedenen Laborergebnisse für die Lagen 5_IV bis 5_I, welche zusammen das mächtigste Schichtpaket des AB-Profils bilden, weisen mit Blick auf ihre sedimentologische Zusammensetzung deutliche Übereinstimmungen auf. Insgesamt ist somit eine gute Vergleichbarkeit der einzelnen Laboranalysen gewährleistet, die es sowohl ermöglichen einzelne stratigraphische Lagen vom Gesamtkollektiv abzugrenzen und zudem erlauben Bereiche der Profilwände zu identifizieren, die sich sedimentologisch zusammenfassen lassen.

Besonders kritisch sind bei der Auswertung der Laboranalysen die Ergebnisse aus der Carbonatgehaltbestimmung zu betrachten. Die Bestimmung des Massenanteils an Carbonat erfolgte gemäß der volumetrischen Methode nach SCHEIBLER. Die ermittelten Carbonatgehalte für die Profile INES12_AB/DC sowie der Profile INES13 GH/JI weisen im Durchschnitt Massenanteile von über 500 g/kg, vereinzelt sogar bis zu 900 g/kg auf. Die hohen CaCO₃-Gehalte ergeben sich zum einen in den stratigraphischen Lagen mit einem hohen Anteil an Molluskenschalen, zum anderen in den unteren stratigraphischen Lagen der Profilwände, welche die Zersatzzonen des anstehenden Kalkgesteins darstellen. Bei den ermittelten Massenanteilen an CaCO₃ handelt es sich vermutlich um Überschätzungen des tatsächlichen Massenanteils an Carbonat. Um eine Messgenauigkeit garantieren zu können, ist eine höhere Anzahl an Messwiederholungen nötig. Weiterhin sind die errechneten C/N-Verhältnisse zu hinterfragen. Um das C/N-Verhältnis zu bestimmen wurden die Ergebnisse aus der volumetrischen Carbonatgehaltbestimmung mit den Ergebnissen aus der Messung am CNS-Elementaranalysator verrechnet. Aufgrund des vermutlich überschätzten Massenanteils an Carbonat einzelner stratigraphischer Lagen ergaben sich bei der Berechnung des C/N-Verhältnisses teilweise negative Werte, die für die Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt werden können. Die Verrechnung volumetrischer und gravimetrischer Messverfahren birgt im Allgemeinen hohe Fehlerwahrscheinlichkeiten, die darüber hinaus in diesem Fall durch den hohen Massenanteil an CaCO₃ verstärk worden sind.

Auf Grundlage der Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen soll nachfolgend diskutiert werden, ob sich die einzelnen stratigraphischen Lagen der Profile INES12_AB und INES12_DC zu lithostratigraphischen Einheiten zusammenfassen lassen. Anschließend erfolgt für die jeweiligen erstellten Einheiten

der Vergleich mit der archäologischen Stratigraphie sowie der Versuch einzelne stratigraphische Lagen der gegenüberliegenden Profile in einen gemeinsamen sedimentologischen Kontext zu bringen.

Profil INES12_AB:



Abbildung 36: Vergleich der Parameter pH, ELF, D50, D90/D10, C/N-Verhältnis für das Profil INES12_AB mit der Zusammenfassung einzelner stratigraphischer Lagen zu lithostratigraphischen Einheiten (in blau) (eigene Abbildung)

In den unteren stratigraphischen Lagen 9 und 8 liegt der pH-Wert bei 8,8, im Bereich mäßig alkalischer Böden, und die elektrische Leitfähigkeit schwankt in einem gering salzhaltigen Bereich von 0,22 bis 0,25 mS/cm. Auch bei Betrachtung der Korngrößenverteilung deuten die statistischen Parameter D50 mit einer mittleren Korngröße von 17 (Lage 9) und 27 µm (Lage 8) und D90/D10 mit Werten von 295 (Lage 9) und 308 µm (Lage 8) auf eine vergleichbare sedimentologische Zusammensetzung hin und lassen die Zugehörigkeit dieser Lagen zu einer lithostratigraphischen Einheit vermuten. Das C/N-Verhältnis konnte aufgrund der oben geschilderten Problematik negativer Ergebnisse aus der Verrechnung mit den Ergebnissen der Carbonatgehaltbestimmung hier nicht berücksichtigt werden. Für die oberhalb verlaufenden Lagen 7 und 6 lässt sich aufgrund der physikochemischen

Analysen ebenso eine Zuordnung zu einer sedimentologischen Einheit vermuten. Die pH-Werte dieser Lagen ordnen diese, mit Werten von 9,0 bis 8,9, ebenfalls in den Bereich mäßig alkalischer Böden ein. In Bezug auf ihre elektrische Leitfähigkeit sowie die Korngrößenverteilung unterscheiden sich die Lagen 7 und 6 jedoch stärker von den unteren Lagen 9 und 8. Sie weisen mit einer ELF von 0,29 (Lage 7) bis 0,34 mS/cm (Lage 6) mittlere Salzgehalte auf. Auch die Parameter D50 und D90/D10 deuten auf einen Wechsel in der Korngrößenzusammensetzung hin und grenzen die Lagen 6 und 7 von den unteren Lagen des Profils ab. Der Medianwert steigt auf Werte von 75 (Lage 7) bis 87 µm, der D90/D10-Wert liegt für die Lage 7 bei 170 und für die Lage 8 bei 234 µm. Zudem besitzen beide Lagen einen identischen MUNSELL-Farbwert von Hue_2.5Y 6/2. Betrachtet man die C/N-Verhältnisse beider Lagen, mit 5,7 (Lage 7) und 5 (Lage 6), zeigt sich ebenfalls ein vergleichbares Verhältnis der prozentualen Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte beider Lagen. Oberhalb der Lage 6 verläuft die stratigraphische Lage 5. Ihr wurden aufgrund ihrer Mächtigkeit innerhalb der Profilwand vier Sedimentproben entnommen. Sie untergliedert sich in die Lagen 5_IV bis 5_I, welche sich in ihren sedimentologischen Eigenschaften nur geringfügig unterscheiden. Die pH-Werte schwanken innerhalb dieser Lage zwischen 8,7 und 8,8, erneut im Bereich mäßig alkalischer Böden. Die elektrische Leitfähigkeit sinkt mit dem Erreichen dieser Lage auf 0,21 bis 0,25 mS/cm und grenzt diese Lage somit, mit einem geringen Salzgehalt, von den Lagen 7 und 6, mit mittleren Salzgehalten, ab. Auch die Korngrößenzusammensetzung der Lage 5 unterscheidet sich von den darunter verlaufenden Lagen. Mit Medianwerten im Bereich von 83 bis 204 µm und D90/D10-Werten von 287 bis 351 µm ist ein Wechsel in der Zusammensetzung der Korngrößenfraktionen erkennbar, wobei das Maximum des D50-Wertes mit 204 µm in der Lage 5 III zu finden ist. Die Farbwerte der stratigraphischen Lage 5 variieren geringfügig zwischen dem Wert Hue_2.5Y 5/2 in Lage 5_IV und dem Wert Hue_2.5Y 4/2 für die Lagen 5_III bis 5_I. Das C/N-Verhältnis grenzt diese Lage am deutlichsten von den darunter verlaufenden stratigraphischen Lagen ab. Im Vergleich zu Lage 6 verdreifacht sich mit dem Erreichen von Lage 5 das C/N-Verhältnis auf Werte zwischen 13,9 bis 17. Die darüber verlaufende stratigraphische Lage 4 weist mit a) 9,0 bis b) 9,1 den Maximalen pH-Wert der Profilwand auf, welcher diese als einzige in den Bereich stark alkalischer Böden einordnet. Auch die elektrische Leitfähigkeit und die Korngrößenverteilung lassen eine Abgrenzung zu den unterhalb verlaufenden Lagen

deutlich werden. Die ELF steigt auf einen Wert von 0,77 mS/cm und ordnet der Lage 4 einen starken Salzgehalt zu. Der Medianwert erhöht sich ebenfalls plötzlich auf das Maximum von 423 µm und zeigt auch mit dem D90/D10-Wert einen Anstieg auf 306 um an. Der Farbwerte (Hue 2.5Y 4/2) und das C/N-Verhältniss (16,4) bilden in diesem Fall keine deutlichen Abgrenzungsfaktoren zur Lage 5. Die stratigraphische Lage 3 setzt sich aus zwei Schichtpaketen zusammen, welche in ihrer horizontalen Ausdehnung jeweils nicht über die gesamte Profilwand verlaufen. Lage 3_II bezieht sich auf das südliche, Lage 3_I auf das nördliche Ende der Profilwand. Die beiden Schichten lassen sich auf Grundlage ihrer physikochemischen Eigenschaften von den darunter verlaufenden Lagen abgrenzen und weisen zudem klare Unterschiede innerhalb der stratigraphischen Lage 3 auf. Die pH-Werte der Lagen 3_II und 3_I fallen im Vergleich zur Lage 4 stark ab und weisen ähnliche Werte von 8,3 (Lage 3_II) und 8,4 (Lage 3_I) auf. Die elektrische Leitfähigkeit hingegen variiert zwischen beiden Lagen extrem und steigt (im Vergleich zur Lage 4) in Lage 3_II auf den Wert von 6,11 mS/cm und in Lage 3 I (im Vergleich zur Lage 5) auf den Wert von 0,4 mS/cm an. Bei Lage 3_II handelt es sich somit um einen sehr stark salzhaltigen Bereich der Profilwand, wobei für die Lage 3_I ein mittlerer Salzgehalt ermittelt wurde. Der Medianwert der Korngrößenverteilung lässt mit Korngrößenfraktionen im Bereich von 32 (Lage 3_II) und 31 µm (Lage 3_I) keine deutliche Abgrenzung der untereinander zu, beschreibt aber eine deutliche Anderung Lagen der sedimentologischen Zusammensetzung, mit einem starken Abfall des mittleren Wertes für die Korngrößen, im Vergleich zur Lage 4. Der D90/D10-Wert mit 432 µm für Lage 3 II und 63 µm für Lage 3 I unterscheidet wiederum deutlich die Schichtpakete untereinander. Farblich differenzieren die Lagen zwischen den Werten Hue 2.5Y 4/2 (Lage 3 II) und Hue 2.5Y 3/2. Lage 3 II besitzt den gleichen Farbwert wie die darunter verlaufende Lage 5, Lage 3_I grenzt sich zur Lage 4 farblich ab. Das C/N-Verhältnis verringert sich in den oberen Lagen auf 12,7 (Lage 3_II) und 8,6 (Lage 3_I) und deutet erneut auf Unterschiede in der Sedimentologie beider Lagen hin. Im Übergang zur stratigraphischen Lage 2 sinkt der pH-Wert auf 7,7 und die elektrische Leitfähigkeit beträgt 4,15 mS/cm, beschreibt somit ein sehr stark salzhaltiges Schichtpaket. Die Korngrößenverteilung wird vom D50-Wert mit 29 µm und einem D90/D10-Wert von 89 µm beschrieben. Das C/N-Verhältnis steigt auf einen Wert von 9,2. Lage 1 lässt sich anhand ihrer physikochemischen Eigenschaften von Lage 2 abgrenzen. Sie weist einen deutlich höheren pH-Wert von

8,2 auf und besitzt mit einem Wert von 25,15 mS/cm die maximale elektrische Leitfähigkeit innerhalb der Profilwand. Der D50-Wert liegt innerhalb dieser Lage bei 63, der D90/D10-Wert bei 90 μm. Das C/N-Verhältnis liegt niedriger als in Lage 2 bei 5,6. Farblich unterscheiden sich die obersten Lagen der Profilwand nicht voneinander. Sowohl die Lage 3_I als auch die stratigraphischen Lagen 2 und 1 besitzen alle den Farbwert Hue_2.5Y 3/2.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die stratigraphischen Lagen des AB-Profils sich auf Grundlage ihrer Sedimenteigenschaften zu acht lithostratigraphischen Einheiten zusammenfassen lassen. Einheit 8 beinhaltet dabei die stratigraphischen Lagen 9 und 8, Einheit 7 die Lagen 7 und 6, Einheit 6 die Lage 5 und Einheit 5 die stratigraphische Lage 4. Die stratigraphischen Lagen 3_II und 3_I lassen sich zwei unterschiedlichen Einheiten zuordnen, den Einheiten 4 und 3. Die oberen Lagen 2 und 1 werden entsprechend den lithostratigraphischen Einheiten 2 und 1 zugeordnet.

Zeitstelluna Basierend auf der der Inventare erfolate im Voraus der sedimentologischen Analysen bereits eine erste Einteilung der Profilwände in sechs stratigraphische Einheiten, die im Folgenden mit den lithostratigraphischen Einheiten verglichen werden. Die archäologische stratigraphische Einheit 1 des AB-Profils setzt sich aus den Lagen 9 und 8 zusammen, die auch auf Grundlage ihrer Sedimentologie einer lithostratigraphischen Einheit, der Einheit 8, zugeordnet werden können. Die Lagen 7 und 6 wurden in Hinblick auf ihre postulierte Zeitstellung zwei verschiedenen Einheiten zugeordnet, den archäologischen stratigraphischen Einheiten 2 und 3. Ihre sedimentologische Zusammensetzung fasst sie jedoch zu einer lithostratigraphischen Einheit, der Einheit 7, zusammen. Die stratigraphischen Lagen 5 und 4 wurden den archäologischen Einheiten 4 und 5 zugeordnet und können auch auf Grundlage ihrer Sedimenteigenschaften unterschiedlichen Einheiten zugewiesen werden. Sie bilden die lithostrtigraphischen Einheiten 6 und 5. Die obersten stratigraphischen Lagen (3 bis 1) der Profilwand wurden archäologisch zunächst der stratigraphischen Einheit 10 zugeordnet. Diese beschreibt die subrezente Deckschicht des Profils und wird als Fumier bezeichnet. Sedimentologisch bilden diese Lagen jedoch keine lithostratigraphische Einheit und werden aufgrund ihrer stofflichen Unterschiede in die Einheiten 4 (Lage 3_II), 3 (Lage 3 I), 2 (Lage 2) und 1 (Lage 1) untergliedert (Vgl. Abb. 36).
Profil INES12_DC:



Abbildung 37: Vergleich der Parameter pH, ELF, D50, D90/D10, C/N-Verhältnis für das Profil INES12_DC mit der Zusammenfassung einzelner stratigraphischer Lagen zu lithostratigraphischen Einheiten (in blau) (eigene Abbildung)

einzelnen stratigraphischen Die Zuordnung der Lagen zu bestimmten sedimentologischen Einheiten gestaltet sich über das DC-Profil schwierig. Die Schichtpakete der Profilwand weisen kein stabiles räumliches Verteilungsmuster auf und lassen sich auch makroskopisch nur schwer voneinander abgrenzen. Die Heterogenität der räumlichen Verteilung der einzelnen Schichtpakete resultiert vermutlich aus anthropogener Aktivität während des Mittelalters, welche die Aushebung einer Grube östlich der Profilwand beinhaltete, die im Anschluss wieder verfüllt worden ist und gegebenenfalls zu einer Störung der Schichtabfolge des DC-Profils geführt hat (mündliche Mitteilung: LINSTÄDTER 2013). Die Ergebnisse der Zusammensetzung Sedimentanalysen bestätigen eine der Profilwand aus Schichtpaketen, dessen physikochemische Eigenschaften starken Schwankungen unterliegen. Die pH-Werte der stratigraphischen Lagen liegen im Bereich alkalischer Böden, wobei der Großteil des Gesamtkollektivs der entnommenen Proben als mäßig alkalisch eingestuft wird. Lediglich die unterste stratigraphische Lage 8, mit

64

einem pH-Wert von a) 7,8 bis b) 7,9, fällt in einen schwach alkalischen und die Lagen 7_II und 5, mit pH-Werten von a) 9,0 bis b) 9,1 und a) 9,2 bis b) 9,1, in den Bereich stark alkalischer Böden. Die elektrische Leifähigkeit untergliedert die Profilwand in Bereiche mit mittleren bis sehr starken Salzgehalten. Dabei weisen die Lagen 8 mit 2,51 mS/cm und 7 I mit dem Maximum von 27,92 mS/cm die höchsten Salzgehalte auf. Anders als im AB-Profil ist im DC-Profil keine Tendenz einer abfallenden ELF mit der Tiefe erkennbar. Die stratigraphischen Lagen mit den höchsten Salzgehalten finden sich nicht im oberen Bereich wieder, sondern liegen im unteren Bereich der Profilwand. Besonders die Lage 7_I unterstützt mit ihrem sehr starken Salzgehalt die Vermutung, dass es sich bei dem DC-Profil um ein gestörtes Profil handelt, in dem es durch anthropogenen Einfluss zu einer Umlagerung der Schichtpakete gekommen ist und es sich bei der Lage 7 I möglicherweise um eine ehemalige Oberfläche handelt. Diese Vermutung lässt sich auch anhand der MUNSELL-Farbe mit dem Farbwert Hue 2.5Y 3/3 untermalen. Auch der Trend einer erhöhten Dunkelstufe der ermittelten MUNSELL-Farbwerte mit der Tiefe ist innerhalb des DC-Profils nicht gegeben. Die hellste stratigraphische Lage innerhalb dieses Profils ist Lage 5 mit dem Farbwert Hue_2.5Y 7/2 aus mittlerer Tiefe der Profilwand. Die Korngrößenverteilung über das DC-Profil lässt ebenfalls einen Wechsel der sedimentologischen Zusammensetzung der stratigraphischen Lagen erkennen, welcher über das gesamte Profil starken Schwankungen unterliegt und ein Zusammenfassen einzelner Lagen zu sedimentologischen Einheiten erschwert. Der Medianwert beschreibt einen stetigen Wechsel der Anteile an bestimmten Korngrößenfraktionen zwischen den einzelnen stratigraphischen Lagen und verzeichnet über das gesamte Profil hinweg Sprünge in der Korngrößenverteilung, welche besonders in den oberen Lagen 5 bis 1 deutlich werden. Der D90/D10-Wert deutet ebenfalls auf Schwankungen innerhalb der Korngrößenverteilung hin, und weist die größten Verteilungsdifferenzen für den unteren Bereich der Profilwand auf. Das C/N-Verhältnis der stratigraphischen Lagen des **DC-Profils** lässt ebenso eine unterschiedliche physikochemische Zusammensetzung der einzelnen Schichtpakete vermuten. Der untere Bereich der Profilwand weist C/N-Verhältnisse zwischen 5,3 und 13,2 auf. Mit Erreichen der Lage 5 fällt das C/N-Verhältnis dieses Profils plötzlich auf sein Minimum von 0,2 und steigt in den darüber liegenden Lagen erneut auf Werte zwischen 9,4 und 16, wobei das Maximum des C/N-Verhältnisses in der obersten stratigraphischen Lage 1 erreicht wird.

Die einzelnen Lagen des DC-Profils lassen demnach nicht zu lithostratigraphischen Einheiten zusammenfassen, vielmehr stehen die Lagen selbst für Einheiten unterschiedlicher sedimentologischer Zusammensetzung. Folglich repräsentieren die Lagen 8 bis 1 des DC-Profils die lithostratigraphischen Einheiten 9 bis 1, wobei sich die Einheit 9 auf die Lage 8, die Einheit 8 auf die Lage 7_II und die Einheit 7 auf die Lage 7_I bezieht. Die stratigraphischen Lagen 6 bis 1 bilden dementsprechend die lithostratigraphischen Einheiten 6 bis 1.

Die unterste archäologische Einheit 1 wird von der stratigraphischen Lage 8, der Zersatzzone des anstehenden Kalkgesteins, gebildet. Der darüber verlaufenden Einheit 2 kann aufgrund fehlender Referenzproben keine stratigraphische Lage zugeordnet werden. Die stratigraphischen Lagen 7_II und 7_I werden auf Grundlage der vermuteten Zeitstellung der Inventare zur archäologischen stratigraphischen Einheit 3, die Lagen 6 und 5 zur Einheit 4 und die Lagen 2 und 1 zur Einheiten 10 zusammengefasst, sedimentologisch stellen diese Lagen vermutlich jedoch Schichtpakete unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung dar und lassen sich nicht zu lithostratigraphischen Einheiten zusammenfassen (Vgl. Abb. 37).

Versucht man die stratigraphischen Lagen der gegenüber liegenden Profilwände in einen sedimentologischen Kontext zu bringen und anhand ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften einzelne Lagen des AB-Profils den Lagen des DC-Profils zuzuordnen, lassen sich folgende Ergebnisse beschreiben. Zunächst ist auf den geringen Grad der Vergleichbarkeit beider Profile hinzuweisen, der sich aus der Störung des DC-Profils ergibt. Aufgrund der möglichen anthropogen bedingten Umlagerungsprozesse und den daraus entstandenen veränderten Lagerungsbedingungen der einzelnen Schichtpakete wird der Vergleich der gegenüberliegenden stratigraphischen Lagen erschwert und die Identifizierung zusammengehöriger Schichtpakete aus den gegenüber liegenden Profilen nahezu unmöglich. Lediglich für die stratigraphische Lage 7 des DC-Profils, mit den Lagen 7_II und 7_I, lässt sich auf Grundlage der Sedimentanalysen der entnommenen Proben ein stofflicher Zusammenhang mit den Lagen 7 und 1 des AB-Profils vermuten. Die Lagen 7 (AB) und 7 II (DC) besitzen beide einen pH-Wert von 9,0 und die elektrische Leitfähigkeit ordnet diesen Lagen einen mittleren Salzgehalt von 0,29 bzw. 0,65 mS/cm, zu. Ebenso besitzen diese Lagen den MUNSELL-Farbwert Hue 2.5Y 6/2. Die auffälligsten stofflichen Gemeinsamkeiten weisen jedoch die Lage

66

1 des AB-Profils und die Lage 7_I des DC-Profils auf. Mit pH-Werten von 8,0 (Lage 7_I) bis 8,2 (Lage 1) liegen beide im Bereich mäßig alkalischer Böden. Die elektrische Leitfähigkeit besitzt innerhalb dieser Lagen den Maximalwert des jeweiligen Profils und ordnet sie mit Werten von 25,15 (Lage 1) bzw. 27,92 μm (Lage 7_I) in den Bereich sehr stark salzhaltiger Böden ein. Zudem besitzen beide Lagen eine dunkle Färbung mit den MUNSELL-Farbwerten Hue_2.5Y 3/2 (Lage 1) bzw. Hue_2.5Y 3/3 (Lage 7_I) und weisen auch in Hinblick auf ihr C/N-Verhältnis, mit 5,6 (Lage 1) und 5,3 (Lage 7_I) nur geringe Differenzen auf.

In Anlehnung an die Ergebnisse aus den geoarchäologischen Untersuchungen des epipaläolithischen bis neolithischen Höhlenkomplexes der lfri Oudadane, Nordostmarokko, (LINSTÄDTER & KEHL 2012c) soll nachfolgend diskutiert werden, ob sich auch für den Höhlenkomplex der Ifr N'Etsedda auf Grundlage der Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen der Profile INES13 GH und INES13 JI die vermutete Grenze zwischen epipaläolithischen und neolithischen Schichten nachweisen lässt. Vor allem das C/N-Verhältnis stellt dabei einen aussagekräftigen Proxi in Hinblick auf den Übergang vom Epipaläolithikum zum Neolithikum dar. Zudem beschreiben die vorangegangenen Untersuchungen zur Ifri Oudadane deutliche Veränderungen in der Sedimentzusammensetzung mit einem Wechsel von mehr oder weniger homogenen epipaläolithischen Ablagerungen zu heterogenen neolithischen Schichten (LINSTÄDTER & KEHL 2012c: 3311 ff).

Profil INES13_GH:

Auf Grundlage der Zeitstellung der Inventare wurde der Übergang von epipaläolithischen zu neolithischen Schichten im Vorfeld der sedimentologischen Untersuchungen innerhalb der stratigraphischen Lage 5 postuliert.



Abbildung 38: Vergleich der Parameter D50 und D90/D10 sowie des C/N-Verhältnisses für das Profil INES13_GH (eigene Abbildung)

Die Ergebnisse der Laboranalysen erlauben bezüglich der Sedimentologie des GH-Profils folgende Aussagen. Die Korngrößenzusammensetzung gestaltet sich über die gesamte Profilwand sehr heterogen. Der Medianwert der untersten stratigraphischen Lage 10 liegt im Bereich von Mittelschluff und geht im Übergang zu den darüber liegenden Lagen 9 bis 7 abrupt in den Bereich eines Mittelsandes über. Lage 6 setzt sich bezogen auf den D50-Wert aus Grobschluff zusammen und wird von feinsandigen Schichten (Lage 5_II und 4) überlagert, die wiederum von einer Schicht im Korngrößenbereich eines Mittelsandes (Lage 5_I) getrennt werden. In Lage 3 fällt der Medianwert der Korngrößenverteilung wieder in den Bereich von Grobschluff und beschreibt für die Lagen 2_II bis 1 Korngrößenbereiche der Sandfraktion. Im Übergang zwischen den einzelnen stratigraphischen Lagen lassen sich somit bezogen auf den D50-Wert der Korngrößenverteilung große Schwankungen beobachten, die eine Heterogenität der Korngrößenzusammensetzung der Schichtpakete andeuten. Der D90/D10-Wert weist hingegen für die unteren Lagen der Profilwand, mit Ausnahme der Lagen 10 und 3, bis in die Lage 4 ein stabiles Verteilungsmuster der Korngrößenzusammensetzung auf. Er beschreibt grob die Tendenz eines Übergangs von Feinsand, in den unteren Lagen, zu Mittelsand in den oberen Lagen der Profilwand (Vgl. Abb.38). Nach LINSTÄDTER & KEHL 2012 sind für die epipaläolithischen Schichten der section CE aus der Ifri Oudadane C/N-Verhältnisse über 18 ermittelt wurden, die diese von den neolithischen Schichten abgrenzen (LINSTÄDTER & KEHL 2012c: 3312, Fig. 4). Die unteren stratigraphischen Lagen des GH-Profils (die Lagen 9 bis 5_II) weisen ebenfalls C/N-Verhältnisse über 18 auf, die den Übergang von epipaläolithischen Schichten zu neolithischen Schichten andeuten könnten (Vgl. Abb. 38).

Folglich lassen sich auf Grundlage der Ergebnisse aus der Korngrößenanalyse nur schwer Bereiche innerhalb der Profilwand identifizieren, die bezogen auf ihre Korngrößenzusammensetzung homogene bzw. heterogene Schichtpakete ermittelten C/N-Verhältnisses repräsentieren. Die hingegen würden eine sedimentologische Abgrenzung der epipaläolithischen und neolithischen Schichten erlauben. Diese Grenze verläuft zwischen den stratigraphischen Lagen 5_II und 5_I und bestätigt somit die auf Grundlage der Zeitstellung der Inventare vermutete Grenze innerhalb der stratigraphischen Lage 5.

Profil INES13_JI:

Die Zeitstellung der Inventare des JI-Profils lassen einen Übergang von epipaläolithischen zu neolithischen Schichten mit Erreichen der Lage 2_II vermuten.



neolithisch / epipaläolithisch

Abbildung 39: Vergleich der Parameter D50 und D90/D10 sowie des C/N-Verhältnisses für das Profil INES13_JI (eigene Abbildung)

Auf Grundlage der Ergebnisse aus den Laboranalysen lassen sich folgende Aussagen bezüglich der Sedimentologie des JI-Profils treffen. Der Medianwert der Korngrößenverteilung unterliegt über die gesamte Profilwand Schwankungen, die einen stetigen Wechsel der Korngrößenfraktion von Fein- zu Mittelsand beschreiben. Einzig die Lagen 10 und 1 liegen im Bereich von Grobschluff. Der D90/D10-Wert deutet insbesondere für die Lagen 10 bis 3 der Profilwand auf eine Homogenität der Korngrößenzusammensetzung dieser Schichten hin und bewegt sich ebenso wie der D50-Wert im Übergangsbereich von Fein- zu Mittelsand (Vgl. Abb. 39). Die stratigraphischen Lagen des JI-Profils weisen, ebenso wie die des GH-Profils, C/N-Verhältnisse über 18 auf. Über diese Profilwand lässt sich jedoch auf Grundlage der C/N-Verhältnisse keine eindeutige Grenze zwischen epipaläolithischen und neolithischen stratigraphischen Lagen ziehen, da die C/N-Verhältnisse über dieses Profil deutlichen Schwankungen unterliegen und es im Übergang der einzelnen Lagen immer wieder zu einem Über- bzw. Unterschreiten des C/N-Verhältnisses von 18 kommt. Lediglich die Lagen 8_II, 7_III bis 7_I, 5 und 3 würden sich mit C/N-Verhältnissen über 18 eindeutig epipaläolithischen Schichten zuweisen lassen (Vgl. Abb. 39).

Folglich lassen sich die stratigraphischen Lagen 10 bis 3 zwar in Hinblick auf ihre D90/10-Werte der Korngrößenverteilung als weitestgehend homogene Schichten beschreiben, die C/N-Verhältnisse ermöglichen jedoch keine eindeutige Abgrenzung zwischen epipaläolithischen und neolithischen stratigraphischen Lagen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Problematik, die sich bei der Berechnung der C/N-Verhältnisse ergeben hat, empfiehlt sich jedoch eine Wiederholung der Bestimmungen von Carbonatgehalt und C/N-Verhältnis, um eventuelle Messfehler ausschließen zu können, die ggf. die Ergebnisse dieser Analyse verfälscht haben könnten.

7. Fazit

Die Ergebnisse der makroskopischen Ansprache der Profile INES12_AB und INES12_DC konnten auch anhand der Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen bestätigt werden. Die Profile setzen sich aus Schichtpaketen zusammen, welche sich in ihrer Sedimentologie weitestgehend voneinander abgrenzen und nur selten zu Einheiten ähnlicher Sedimenteigenschaften lassen. zusammenfassen Auf Grundlage aus der Ergebnisse den physikochemischen Laboranalysen konnte eine vorläufige lithostratigraphische Gliederung des AB- und DC-Profils erstellt werden. Um die Grenzen zwischen den lithostratigraphischen Einheiten entgültig festlegen zu können bedarf es jedoch weiterer sedimentologischer Untersuchungen, die es ermöglichen eindeutigere Abgrenzungen vorzunehmen oder bereits festgelegte Grenzen ggf. zu revidieren. Zudem ist zu prüfen, ob mögliche Messfehler, insbesondere bei der Verrechnung der Ergebnisse unterschiedlicher Analysemethoden, zu einer falschen Interpretation der Ergebnisse geführt haben könnten. Eine weitere Schwierigkeit bei der Erstellung einer lithostratigraphischen Gliederung stellt die heterogene räumliche Verteilung der beprobten Schichtpakete dar. Sowohl das AB-Profil als auch das DC-Profil setzen sich aus Schichten unterschiedlicher Mächtigkeit zusammen, die sich teilweise nur auf einen kleinen Bereich der Profilwand beschränken und sich somit nur schwer in den Gesamtzusammenhang der Grabungsprofile einordnen lassen.

Die archäologische Stratigraphie der Profile stimmt nur teilweise mit der lithostratigraphischen Gliederung überein. Auf Grundlage der Zeitstellung der Inventare wurden sowohl stratigraphische Einheiten festgelegt, welche Schichtpakete ähnlicher sedimentologischer Zusammensetzung umfassen, aber auch stratigraphische Einheiten, die sich aus Schichtpaketen mit stark differenzierenden physikochemischen Eigenschaften zusammensetzen.

Die Fragestellung, ob sich epipaläolithische und neolithische Schichten anhand ihrer Sedimentologie voneinander abgrenzen lassen, konnte für die Profile INES13_GH und INES13_JI in einem ersten Ansatz beantwortet werden. Die archäologisch definierte Grenze zwischen Epipaläolithikum und Neolithikum auf Grundlage der Korngrößenzusammensetzung und des C/N-Verhältnisses zu unterscheiden ist für die Profile der Ifri N'Etsedda in einem ersten Versuch teilweise geglückt. Jedoch bedarf es für die entgültige Festlegung einer sedimentologischen Grenze weiterer

72

Analysen. Insbesondere die Ergebnisse aus der Korngrößenanalyse benötigen weitere ergänzende Parameter, um die Homogenität bzw. Heterogenität der Schichtpakete eindeutig charakterisieren zu können. Zudem ist wiederholt zu prüfen, ob der hohe CaCO₃-Gehalt möglicherweise überschätzt worden ist und zu verfälschten C/N-Verhältnissen geführt haben könnte. Insgesamt können die Ergebnisse jedoch als Beleg dafür gelten, dass vor allem das C/N-Verhältnis in Höhlensedimenten einen aussagekräftigen Proxi für die Untersuchung des Übergangs vom Epipaläolithikum zum Neolithikum darstellen kann.

8. Zusammenfassung

Die sedimentologische Untersuchung des epipaläolithischen bis neolithischen Höhlenkomplexes der Ifri N'Etsedda ermöglichte die Erstellung einer vorläufigen lithostrigraphischen Gliederung der Profile INES12_AB und INES12_DC. Die Laboranalysen setzten sich aus der Farbbestimmung und Korngrößenanalyse, der Bestimmung des pH-Wertes, der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Carbonatgehaltes und der Berechnung des C/N-Verhältnisses zusammen. Der Vergleich der einzelnen Parameter ermöglichte sowohl eine erste Zusammenfassung einzelner Sedimentschichten zu lithostratigraphischen Einheiten als auch eine Abgrenzung einzelner Schichten vom Gesamtkollektiv der Profile. Der abschließende Vergleich der Lithostratigraphie mit der stratigraphischen Gliederung der Profile, die im Vorfeld der sedimentologischen Untersuchungen auf Grundlage der Zeitstellung der Inventare erfolgte, verdeutlichte Übereinstimmungen wie auch Abweichungen in Hinblick auf die Zusammenfassung einzelner Schichtpakete.

Zusätzlich konnte auf Grundlage der sedimentologischen Untersuchungen der Profile INES13_GH und INES13_JI der Ifri N'Etsedda in einem ersten Ansatz der Beleg für die Differenzierung epipaläolithischer und neolithischer Schichten anhand ihres C/N-Verhältnisses geliefert werden. Ausgehend von den geoarchäologischen Untersuchungen der Ifri Oudadane geben auch die Ergebnisse der Laboranalysen der Ifri N'Etsedda Grund zur Annahme, dass die Änderung des C/N-Verhältnisses in Höhlensedimenten als Anzeiger für den Übergang epipaläolithischer zu neolithischer Schichten interpretiert werden kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit verschaffen einen ersten Einblick in die Sedimentologie der Ifri N'Etsedda und bilden die Grundlage für nachfolgende geoarchäologische Untersuchungen zur Rekonstruktion menschlicher Aktivität in Höhlenkomplexen.

Literaturverzeichnis

Barsch, H., Billwitz, K., Bork, H.-R., 2000: Arbeitsmethoden in der Physiogeographie und Geoökologie. Justus Perthes Verlag, Gotha.

Bigham, J. M., Ciolkosc, E. J., 1997: Soil Color. Proceedingsof a Symposium, 21.-26. Oktober 1990, Texas, USA. Soil Sience Society of America. Special Publication 31.

Blott, S. J., Croft, D. J., Pye, K., Saye, S. E., Wilson, H. E., 2004: Particle size analysis by laser diffraction. Special Publications. Geological Society, London, 232, 63-73.

Blott, S. J., Pye, K., 2001: Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237-1248.

Blum, W. E. H., 2007: Bodenkunde in Stichworten. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin Stuttgart.

Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I. Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2010. Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg¹⁶.

Eschel, G., Levy, G. J., Mingelgrin, U., Singer, M. J., 2004: Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. Soil Sience Society of America, 68, 736-743.

Goudie, A, 1998: Geomorphologie: Ein Methodenhandbuch für Studium und Praxis. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Gout, R. E., Khattach, D., Houari, M.-R., Kaufmann, O., Aqil, H., 2010: Main structural lineaments of north-eastern Morocco derived from gravity and aeromagnetic data. Journal of African Earth Sciences, 58, 255-271.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15 (3), 259-263.

Linstädter, J., Eiwanger, J., Abdessalam, M., Weniger, G. C., 2012a: Human occupation of Northwest Africa: A review of Middle Paleolithic to Epipaleolithic sites in Morokko. Quaternary International, 274, 158-174.

Linstädter, J., Medved, I., Solich, M., Weniger, G. C., 2012b: Neolithisation process within the Alboran territory: Models and possible African impact. Quarternary International, 274, 219-232.

Linstädter, J. & Kehl, M., 2012c. The Holocene archaeological sequence and sedimentological processes at Ifri Oudadane, NE Morocco. Journal of Archaeological Science, 39, 3306-3323.

Linstädter J., 2011. The Epipalaeolithic-Neolithic transition in the Eastern Rif Mountains and the Lower Moulouya valley, Morocco. Proceedings of the workshop Faro, 02.-04. November 2009.

Linstädter, J., 2003. Zum Frühneolithikum des westlichen Mittelmeerraumes. Die Keramik der Fundstelle Hassi Quenzga (Marokko) und ihre Stellung im mediterranen Neolithikum Nordafrikas. Dissertation, Universität zu Köln, Köln, Deutschland.

Lauer, W. & Rafiqpoor, M. D., 2002. Die Klimate der Erde – Eine Klimaklassifikation auf der Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.

McKnight, T. L., Hess, D., 2009. Physische Geographie. Pearson Studium, München⁹.

Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon De Lamotte, D., 2008. Continental Evolution - The Geology of Morocco. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Müller-Hohenstein, K., 1990: Marokko. Ein islamisches Entwicklungsland mit kolonialer Vergangenheit. Ernst Klett Verlag, Stuttgart.

Petters, S. W., 1991: Regional Geology of Africa. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Roeloffs, A., Linstädter, J., Wiatr, T., Reicherter, K., Weniger, G.-C., 2011: Prospection of Karstic Caves using GIS and Remote Sensing Techniques for Geoarchaeological Research, NE-Morocco. Proceedings of the ISPRS WG VII/5 Workshop, 18.-19. November 2011, Köln.

76

Schlüter, T., 2008. Geological Atlas of Africa - With Notes on Stratigraphy, Tectonics, Economic Geology, Geohazards, Geosites and Geoscientific Education of each Country. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Schultz, J., 2000. Handbuch der Ökozonen. Ulmer Verlag, Stuttgart.

Tawadros, E., 2012. Geology of North Africa. CRC Press, London.

Utermann, J., Gorny, A., Hauenstein, M., 2000: Labormethoden Dokumentation. Geologisches Jahrbuch, G (8). Schweizerbart, Stuttgart.

Weischet, W. & Endlicher, W., 2000. Regionale Klimatologie: Teil 2 - Die Alte Welt. Teubner Verlag, Stuttgart Leipzig.

Internetquellen

http://www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/DU/m1-0853dcalcimeter.pdf, Stand: 25.07.2013

http://www.elementar.de/produkte/elementar-produkte/vario-el-cube.html, 25.07.2013

http://www.elementar.de/uploads/media/AN-A-090609-D-01_01.pdf, 25.07.2013

http://www.sfb806.unikoeln.de/index.php?option=com_content&view=article&id=3:logo&catid=1:standard&I temid=13#introduction, 26.07.2013.

http://www.sfb806.unikoeln.de/index.php?option=com_content&view=article&id=33:c2&catid=14:clusterc&Itemid=47, 26.07.2013

http://www.weltkarte.com/afrika/marokko/topographische-karte-marokko.htm, 29.07.2013

Anhang

Tabelle 1: Zuordnung der beprobten Schichten zu stratigraphischen Lagen

Stratigraphische Lage	INES12_AB	INES12_DC	INES13_GH	INES13_JI
1	10	1	11	13
2	9	4		
2_l			8	12
2_II			7	11
3		2	10	10
3_l	8			
3_II	6			
4	7	3	9	14
5		10		9
5_l	5d		6a	
5_II	5c		6b	
5_III	5b			
5_IV	5a			
6	4	5	4	8
7	3		5	
7_l		7		6
7_II		9		7
7_111				4
8	2	6	3	
8_I				3
8_II				5
9	1		2	2
10			1	1

(für die Profile INES12_AB/DC und INES13_GH/JI)

(eigene Zuordnung)

Tabelle 2: Orientierungsbestimmung des Carbonatgehaltes

Reaktionsintensität	Carbonatgehalt [g/kg]	Probenmenge [g]
keine oder beschränkt	< 20	10
deutlich und kurz	20 bis 80	5
stark über längere Zeit	80 bis 160	2.5
sehr stark über längere Zeit	> 160	< 1

(Gebrauchsanweisung Calcimeter 08.53: www.eijkelkamp.com)

Korngrößen [µm]	Bezeichnung Korngrößenfraktion
2000 - 630	Grobsand
630 - 200	Mittelsand
200 - 63	Feinsand
63 - 20	Grobschluff
20 - 6,3	Mittelschluff
6,3 - 2,0	Feinschluff
2,0 - 0,63	Grobton
0,63 - 0,2	Mittelton
< 0,2	Feinton

Tabelle 3: Einteilung und Bezeichnung der Korngrößenfraktionen

(verändert nach BLUM 2007: 48)

Tabelle 4: Klassifikation der elektrischen Leitfähigkeit

ELF [mS/cm]	Salzgehalt
0 - 0,25	gering
0,25 - 0,75	mittel
0,75 - 2,25	stark
> 2,25	sehr stark

(verändert nach UTERMANN et al. 2000: 62)

INES12_AB									
stratigra-	pН	рН	ELF	Munsell Earbo	Kor	ngrößen [%	6]	D50 [u]	D90/D10
Lage	a)	b)	[mS/cm]	Munsen i arbe	Sand	Schluff	Ton	D30 [µ]	[µ]
1	8,2	8,2	25,15	Hue_2.5Y 3/2	50,15	45,74	4,10	62,97	90,30
2	7,7	7,7	4,15	Hue_2.5Y 3/2	33,39	59,29	7,30	28,75	89,20
3_I	8,4	8,4	0,40	Hue_2.5Y 3/2	33,30	61,19	5,50	31,24	63,48
3_II	8,3	8,3	6,11	Hue_2.5Y 4/2	42,31	48,05	9,7	32,23	432,2
4	9,1	9,0	0,77	Hue_2.5Y 5/2	66,14	29,44	4,5	422,8	306,1
5_l	8,7	8,7	0,24	Hue_2.5Y 4/2	56,08	39,63	4,3	116,9	297,7
5_II	8,7	8,7	0,25	Hue_2.5Y 4/2	52,95	40,76	6,3	82,86	286,7
5_III	8,8	8,8	0,22	Hue_2.5Y 4/2	59,94	35,34	4,7	203,7	319,7
5_IV	8,8	8,7	0,21	Hue_2.5Y 5/2	60,10	34,68	5,2	176,3	351,4
6	8,9	8,9	0,34	Hue_2.5Y 6/2	53,58	41,09	5,3	87,10	234,2
7	9,0	8,9	0,29	Hue_2.5Y 6/2	52,51	42,88	4,6	74,82	170,0
8	8,8	8,8	0,22	Hue_7.5YR 7/3	37,10	55,45	7,5	26,72	307,8
9	8,8	8,8	0,25	Hue_2.5Y 8/3	27,45	62,10	10,4	16,53	294,5

Tabelle 5: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_AB(1)

Tabelle 6: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_AB(2)

INES12_AB							
			Calcimeter		C/N Verhältnis		
stratigraphische Lage	CaCo₃ [g/kg]	CaCo₃ [Vol%]	Nt [Vol%] mean	Ct[Vol%] mean	$C/N = C_{org.} / N_t$		
1	569,68	56,97	1,36	13,72	5,60		
2	561,51	56,15	0,82	14,00	9,19		
3_l	637,09	63,71	0,64	13,52	8,64		
3_II	667,65	66,76	0,28	11,45	12,73		
4	796,67	79,67	0,15	12,02	16,36		
5_l	705,26	70,53	0,28	12,95	16,93		
5_II	753,37	75,34	0,10	10,71	13,87		
5_III	709,90	70,99	0,12	10,43	15,25		
5_IV	683,61	68,36	0,11	9,77	14,19		
6	804,56	80,46	0,10	10,23	4,96		
7	760,94	76,09	0,09	9,67	5,67		
8	558,46	55,85	0,06	5,93	-14,03		
9	528,48	52,85	0,07	5,91	-6,72		

INES12_DC									
stratigra-	pН	pН	ELF	Munsell Farbe	Kor	rngrößen ['	%]	D50 [u]	D90/D10
Lage	a)	b)	[mS/cm]	Wunsen Farbe	Sand	Schluff	Ton	200 [μ]	[µ]
1	9,0	9,0	0,37	Hue_2.5Y 5/2	70,57	23,40	6,0	440,3	382,8
2	8,3	8,2	1,08	Hue_2.5Y 4/2	46,51	45,60	7,9	43,22	449,5
3	8,6	8,6	0,99	Hue_2.5Y 5/2	61,91	32,62	5,5	211,7	366,3
4	8,3	8,4	0,53	Hue_2.5Y 4/2	46,41	45,95	7,6	44,59	353,1
5	9,2	9,1	0,44	Hue_2.5Y 7/2	62,85	30,66	6,4	205,0	340,3
6	8,2	8,2	1,33	Hue_2.5Y 5/2	29,74	64,51	5,7	29,00	52,84
7_l	8,0	8,0	27,92	Hue_2.5Y 3/3	59,47	36,02	4,5	109,6	167,6
7_11	9,0	9,1	0,65	Hue_2.5Y 6/2	58,27	33,18	8,5	147,3	526,0
8	7,8	7,9	2,51	Hue_2.5Y 3/2	17,00	69,99	13,0	11,15	70,24

Tabelle 7: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_DC(1)

Tabelle 8: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES12_DC(2)

INES12_DC							
			Calcimeter		C/N Verhältnis		
stratigraphische Lage	CaCo₃ [g/kg]	CaCo₃ [Vol%]	Nt [Vol%] mean	Ct[Vol%] mean	$C/N = C_{org.} / N_t$		
1	784,91	78,49	0,12	11,25	15,92		
2	679,04	67,90	0,29	10,88	9,40		
3	706,94	70,69	0,17	11,15	15,66		
4	690,97	69,10	0,24	10,90	11,10		
5	843,37	84,34	0,11	10,14	0,18		
6	602,12	60,21	0,42	9,88	6,32		
7_l	491,97	49,20	1,74	15,20	5,34		
7_11	733,16	73,32	0,14	10,65	13,19		
8	509,54	50,95	0,67	12,69	9,88		

INES13_GH							
stratigraphische	ŀ	Korngrößen [%]				
Lage	Sand	Schluff	Ton	D20 [µ]	D90/D10 [µ]		
1	61,20	31,40	7,40	197,10	482,20		
21	63,70	29,20	7,10	246,50	459,60		
2 II	58,20	35,10	6,70	128,56	314,58		
3	34,40	58,40	7,20	30,10	85,00		
4	59,80	35,00	5,30	138,80	238,58		
5 I	75,80	20,70	3,50	438,03	184,83		
5 II	62,30	33,30	4,50	147,70	194,22		
6	43,80	50,90	5,30	45,05	134,05		
7	75,90	21,00	3,10	460,89	170,62		
8	74,30	23,30	2,40	338,71	126,94		
9	79,80	17,20	3,00	567,60	155,20		
10	4,40	81,20	14,40	9,38	30,01		

Tabelle 9: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_GH(1)

Tabelle 10: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_GH(2)

INES13_GH							
			Calcimeter		C/N Verhältnis		
stratigraphische Lage	CaCo₃ [g/kg]	CaCo₃ [Vol%]	Nt [Vol%] mean	Ct[Vol%] mean	$C/N = C_{org.} / N_t$		
1	703,13	70,31	0,23	11,27	12,31		
2_l	752,70	75,27	0,18	11,50	13,71		
2_II	811,58	81,16	0,13	10,35	4,85		
3	819,58	81,96	0,20	11,92	10,67		
4	836,89	83,69	0,16	12,59	15,92		
5_l	879,31	87,93	0,14	12,22	12,32		
5_II	846,86	84,69	0,08	11,80	20,47		
6	845,96	84,60	0,12	12,36	19,16		
7	827,59	82,76	0,12	14,02	35,51		
8	755,51	75,55	0,11	14,33	47,81		
9	839,09	83,91	0,10	11,96	18,91		
10	493,86	49,39	0,06	5,67	-4,75		

INES13_JI							
stratigraphische	ł	Korngrößen [%]				
Lage	Sand	Schluff	Ton	[μ]	D90/D10 [µ]		
1	45,60	46,30	8,10	43,74	316,50		
2_l	64,40	29,10	6,50	258,10	418,10		
2_11	59,70	32,60	7,70	161,90	454,20		
3	71,60	23,50	4,90	413,40	313,30		
4	76,20	18,70	5,10	530,50	284,00		
5	74,90	21,00	4,10	476,50	234,30		
6	68,80	26,00	5,20	270,40	224,20		
7_l	46,80	46,80	6,40	52,47	204,40		
7_11	72,60	23,20	4,20	372,00	260,30		
7_111	47,60	46,50	5,90	52,77	184,80		
8_l	51,60	42,50	5,90	70,11	217,10		
8_II	71,10	25,10	3,80	258,60	167,10		
9	69,10	26,80	4,20	248,60	190,20		
10	20,20	70,80	9,00	14,99	186,80		

Tabelle 11: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_JI(1)

Tabelle 12: Ergebnisse aus den sedimentologischen Laboranalysen INES13_JI(2)

INES13_JI							
			Calcimeter		C/N Verhältnis		
stratigraphische Lage	CaCo₃ [g/kg]	CaCo ₃ [Vol%]	Nt [Vol%] mean	Ct[Vol%] mean	$C/N = C_{org.} / N_t$		
1	626,12	62,61	0,35	10,87	9,58		
2_I	840,89	84,09	0,13	11,54	11,55		
2_II	721,66	72,17	0,20	10,80	10,95		
3	830,73	83,07	0,10	12,02	21,54		
4	858,11	85,81	0,07	11,29	14,10		
5	880,02	88,00	0,09	12,10	18,05		
6	863,24	86,32	0,07	11,08	11,09		
7_l	922,47	92,25	0,10	13,33	23,79		
7_11	875,48	87,55	0,09	12,46	21,65		
7_111	852,28	85,23	0,08	11,90	20,90		
8_l	875,63	87,56	0,14	12,26	12,94		
8_II	906,10	90,61	0,09	12,60	19,13		
9	878,54	87,85	0,09	11,95	16,50		
10	454,78	45,48	0,07	5,43	-0,50		

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der in der Literaturangabe angegebenen Quellen und der darüber hinaus genannten Hilfsmittel angefertigt habe.

Denise Deutschländer

Ort, Datum