



Universität zu Köln

Geographisches Institut

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

„Bachelor of Science“

Sedimentologische Untersuchungen zur
archäologischen Prospektion der Fundstelle Cueva de
Ardales in Andalusien, Südspanien

Vorgelegt von:

Sebastian Kock (5021146)

Erstgutachter: PD Martin Kehl

Zweitgutachter: Prof. Dr. Helmut Brückner

Abgabedatum: 14.12.2012

I. Danksagungen

In erster Linie möchte ich mich bei Dr. Martin Kehl bedanken, der es mir ermöglichte an der Geländekampagne des Sonderforschungsbereich 806 C1-Projekts im September 2011 teilzunehmen. Des Weiteren danke ich ihm für die Betreuung und Inspiration meiner Arbeit.

Dr. Eileen Eckmeier, Mitarbeiterin des Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) in Bonn, danke ich für die Zusammenarbeit bei der Farbbestimmung in Bonn. Auch an das Geographische Institut der RWTH Aachen für die Durchführung der Röntgenfluoreszenzanalyse ein großes Dankeschön. Sehr herzlich bedanke ich mich zudem bei Prof. Helmut Brückner, der sich bereit erklärt hat meine Arbeit als Zweitgutachter zu betreuen.

Ein weiterer Dank geht an Florian Steininger und Dr. Jörg Linstädter, die bei Fragen immer ein offenes Ohr für mich gehabt haben.

Zu guter Letzt richtet sich mein Dank an meine Familie, die mich während meines Studiums immer unterstützt haben. Speziell möchte ich dabei meinem Vater danken, der mir während meiner Arbeit bei alltäglichen Problemen sofort zur Hilfe geeilt ist. Undenkbar wäre die Arbeit allerdings ohne meinen engen Freundeskreis gewesen, die mich permanent unterstützt und motiviert haben. Ein besonderer Dank gilt hierbei ausdrücklich meinem guten Freund Felix Henselowsky, der mir in der entscheidenden Phase mit vollem Einsatz zur Seite stand.

II. Inhaltsverzeichnis

I. Danksagungen	III
II. Inhaltsverzeichnis	IV
III. Abbildungsverzeichnis	V
IV. Tabellenverzeichnis	VII
V. Abkürzungsverzeichnis	VIII
VI. Hauptteil	1
1. Einleitung	1
2. Cueva de Ardales und ihre Umgebung	3
2.1 Lage und morphologische Beschreibung der Höhle	3
2.2 Geschichte und archäologische Funde der Höhle	4
2.3 Naturräumliche Gegebenheiten	5
3. Arbeitsmethoden	13
3.1 Geländemethoden	13
3.2 Laboranalysen	15
4. Ergebnisse	20
4.1 Geländeergebnisse	21
4.2 Analyseergebnisse	32
5. Diskussion	53
6. Schlussfolgerungen und Ausblick	64
7. Zusammenfassung	66
8. Literaturverzeichnis	67
VII. Anhang	69

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets	3
Abbildung 2: Klimadiagramm von Malaga, Quelle: httpwww.klimadiagramme.deEuropaPlotsmalaga.gif 2012-11-17	5
Abbildung 3: Klima Last Glacial Maximum, Quelle: SCHÜTT 2005: 7	6
Abbildung 4: Übersicht der Betischen Kordillere, verändert nach REICHTER & PETERS 2005: 192	8
Abbildung 5: Geomorphologische Karte der Umgebung Cueva de Ardales, erstellt nach WMS Mapa Geomorfológico de Andalucía, Junta de Andalucía	9
Abbildung 4: Höhlenmorphologie GILLIESON 1998: 8	10
Abbildung 7: Bodentypen um die Cueva de Ardales, nach: MUDARRA et al. 1988. Mapa de suelos de andalucia	11
Abbildung 8: Übersicht der Bohrungen mit Höhlenplan, Quelle: HOFFMEISTER, D. Imagery © 2012 Google, Digital Globe, 21.9.2009	13
Abbildung 9: a) Bohrung am vermuteten zweiten Eingang; b) Übersicht auf Bohrplatz; C) Blick auf den Höhleneingang, KOCK 2011	14
Abbildung 10: Archäologische Grabungsschnitte in der Cueva de Ardales, HOFFMEISTER 2012: unpubl.	14
Abbildung 11: Bohrung ARD-6, KEHL 2011	21
Abbildung 12: Bohrung ARD-11, KEHL 2011	22
Abbildung 13: Bohrung ARD-21, KEHL 2011	24
Abbildung 14: Bohrung ARD-22, KEHL 2011	25
Abbildung 15: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 1, KEHL 2012	27
Abbildung 16: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 2, KEHL 2012	28
Abbildung 17: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 3, KEHL 2012	29
Abbildung 18: Archäologischer Grabungsschnitt aus Zone 4, KEHL 2012	30
Abbildung 19 : AD-4-11 MM1a & MM1b, Kehl 2011	31
Abbildung 20: Körnungsanalyse ARD-6, eigene Darstellung	32
Abbildung 21: Magnetische Suszeptibilität ARD-6, eigene Darstellung	33
Abbildung 22: Farbanalyse ARD-6, eigene Darstellung	34
Abbildung 23: CaCo ₃ ARD-6, eigene Darstellung	34
Abbildung 24 : RFA-Ergebnisse ARD-6, eigene Darstellung	35
Abbildung 25: RFA-Analyse ARD-6, eigene Darstellung	35
Abbildung 26: RFA-Analyse ARD-6, eigene Darstellung	36
Abbildung 27: Körnungsanalyse ARD-11, eigene Darstellung	37
Abbildung 28: Magnetische Suszeptibilität ARD-11, eigene Darstellung	38
Abbildung 29: Farbwerte ARD-11, eigene Darstellung	39
Abbildung 30: CaCo ₃ ARD-11, eigene Darstellung	40
Abbildung 31: RFA-Analyse ARD-11	41
Abbildung 32: RFA-Analyse ARD-11, eigene Darstellung	41
Abbildung 33: RFA-Analyse ARD-11, eigene Darstellung	42
Abbildung 33: RFA-Ergebnisse ARD-11, eigene Darstellung	43
Abbildung 34: Körnungsanalyse ARD-21	43
Abbildung 35: Magnetische Suszeptibilität ARD-21, eigene Darstellung	44
Abbildung 36: Farbanalyse ARD-21, eigene Darstellung	45
Abbildung 37: CaCo ₃ ARD-21, eigene Darstellung	46
Abbildung 38: Magnetische Suszeptibilität ARD-22, eigene Darstellung	47
Abbildung 39: Farbanalyse ARD-22, eigene Darstellung	48
Abbildung 40: RFA-Ergebnisse ARD-22, eigene Darstellung	49
Abbildung 41: RFA-Analyse ARD-22, eigene Darstellung	49

<i>Abbildung 42: RFA-Ergebnisse ARD-22, eigene Darstellung</i>	<u>50</u>
<i>Abbildung 43: Profilzeichnung und ausgewählte Ergebnisse ARD-6, eigene Darstellung</i>	<u>55</u>
<i>Abbildung 44: Profilzeichnung und ausgewählte Ergebnisse ARD-11, eigene Darstellung</i>	<u>57</u>
<i>Abbildung 45: graphische Korngrößenverteilung ARD-6, eigene Darstellung</i>	<u>64</u>

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Profilbeschreibung aus Zone 1.....	27
Tabelle 2: Profilbeschreibung aus Zone 2.....	28
Tabelle 3: Profilbeschreibung aus Zone 3.....	30
Tabelle 4: Profilbeschreibung aus Zone 4.....	31
Tabelle 5: Korngrößenverteilung und Magnetische Suszeptibilität der Höhlensedimente.....	51
Tabelle 6: Ergebnisse der Farbbestimmung der Höhlensedimente.....	51
Tabelle 7: RFA-Ergebnisse der Höhlensedimente.....	52

V. Abkürzungsverzeichnis

u. GOF = unterhalb der Geländeoberfläche

SW = Schichtwechsel

n.b. = nicht beprobt

d = Durchmesser

SFB = Sonderforschungsbereich

KV = Kernverlust

RFA = Röntgenfluoreszenzanalyse

VI. Hauptteil

1. Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Sedimentologische Untersuchungen zur archäologischen Prospektion der Fundstelle Cueva de Ardales in Andalusien, Südspanien“ ist im Rahmen des C1-Clusters des Sonderforschungsbereich 806 entstanden. Der Sonderforschungsbereich 806 – „Our way to Europe“ untersucht die Mensch-Umwelt-Beziehungen im späten Quartär und versucht dabei die Frage zu beantworten, wie und unter welchen evolutionären Veränderungen der „moderne Mensch“ seinen Weg nach Europa gefunden hat.

Die Arbeiten des C-Clusters finden im westlichen Mittelmeerraum, im Norden von Marokko und auf der Iberischen Halbinsel statt und gehen der Frage nach, ob die Straße von Gibraltar während der Besiedlungsgeschichte der Iberischen Halbinsel eine Brücke oder eine Barriere zwischen Europa und Afrika dargestellt hat. Im Hinblick auf diese Frage, werden auf der Iberischen Halbinsel drei verschiedene Szenarien im C1-Cluster überprüft, die von einer kontinuierlichen oder einer diskontinuierlichen Besiedlung des Neandertalers hin zum modernen Menschen ausgehen. Zur Untersuchung dieser Fragestellungen gibt es auf der Iberischen Halbinsel gute Möglichkeiten, da bereits viele archäologische (paläolithische) Sites bekannt und beschrieben sind. Eine von diesen Sites ist die im Süden von Andalusien gelegene Cueva de Ardales, die bislang für ihre Höhlenmalerei aus unterschiedlichen Epochen der Menschheitsgeschichte bekannt war. In dieser Arbeit soll versucht werden, sedimentologische Ansätze zu drei Forschungsfragen rund um die Cueva de Ardales zu erarbeiten:

1. Welche Rückschlüsse können aus den Ergebnissen der sedimentologischen Untersuchung auf einen ehemaligen, zweiten Höhleneingang gezogen werden?
2. Gibt es Hinweise auf einen ehemaligen Vorplatz vor der Cueva de Ardales?
3. Wie lassen sich die Sedimente des Schwemmfächers im vorderen Höhlenbereich charakterisieren?

Die Fragestellungen sollen in erster Linie Antworten auf archäologische Fragen geben. Innerhalb der Cueva de Ardales existiert eine höher liegende Ebene, die so genannte *Galarías Altas*. Es wird vermutet, dass dieser Bereich eine Art Grabstätte darstellt, da vermehrt Überreste von Skeletten gefunden werden konnten. Die *Galarías Altas* liegen allerdings deutlich höher als der eigentliche Höhlenkomplex und können von dort aus nur mit einer Kletterausrüstung erreicht werden. Diese führt zu der Vermutung, dass es einen zweiten Eingang gegeben haben muss. In den *Galarías Altas* konnte rezentes Wurzelwerk ausgemacht werden von dem vermutet wird, es könne von einem im Außenbereich stehenden Mandelbaum stammen. Dieser Mandelbaum konnte in Folge dessen als Orientierungspunkt verwendet werden. Die zweite Fragestellung ergibt sich aus der Tatsache, dass die Vorplätze von neolithisch besiedelten Höhlen oftmals Treffpunkt für gemeinsame Aktivitäten waren und soll überprüfen, ob dies auch bei der Cueva de Ardales der Fall war. Die Beantwortung der dritten Fragestellung ist wichtig, damit die Archäologen die Funde im Kontext der Paläoumweltverhältnisse einordnen können.

Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde der Bereich des vermuteten zweiten Einganges und der Vorplatz der Höhle mittels Rammkernsondierung beprobt. Die Proben aus der Höhle wurden den bereits bestehenden archäologischen Profilen entnommen. Anschließend folgten verschiedene Laboranalysen, die weitere Auskünfte über die sedimentologische Genese geben sollten. Folgende Laboranalysen wurden durchgeführt: Farbbestimmung, Messung der Magnetischen Suszeptibilität, Volumetrische Bestimmung des Calciumcarbonats, Korngrößenanalyse, Spurenelementanalyse mittels RFA.

Die angewendeten geowissenschaftlichen Methoden, Konzepte und Kenntnisse zur Beantwortung der archäologischen Fragestellungen können allgemein als Geoarchäologie beschrieben werden, eine noch sehr jungen Wissenschaft (BRÜCKNER 2011: 9). Diese interdisziplinäre Wissenschaft soll dabei helfen, die Stratigraphie sowie Entstehung, Veränderung und Erhaltungsbedingungen eines Fundplatzes zu erarbeiten (BRÜCKNER & GERLACH 2007: 513).

2. Cueva de Ardales und ihre Umgebung

In diesem Abschnitt soll das Untersuchungsgebiet um die Cueva de Ardales detaillierter betrachtet werden um im weiteren Verlauf die Ergebnisse in einen naturräumlichen Kontext einordnen zu können.

2.1 Lage und morphologische Beschreibung der Höhle

Die Cueva de Ardales befindet sich im Süden der Iberischen Halbinsel, ca. 40 km entfernt von der Mittelmeerküste Spaniens ($36^{\circ} 52' 21,92'' \text{N}$, $4^{\circ} 49' 43,93'' \text{W}$). Ardales ist ein kleines Dorf mit ca. 2.500 Einwohnern und ist Teil der Provinz Malaga, einer von insgesamt acht Provinzen der autonomen Gemeinschaft „Andalusien“. Etwa zwei Kilometer süd-westlich des Ortes liegt die Cueva de Ardales auf einer Höhe von 685 m über NN. (Abb. 1).

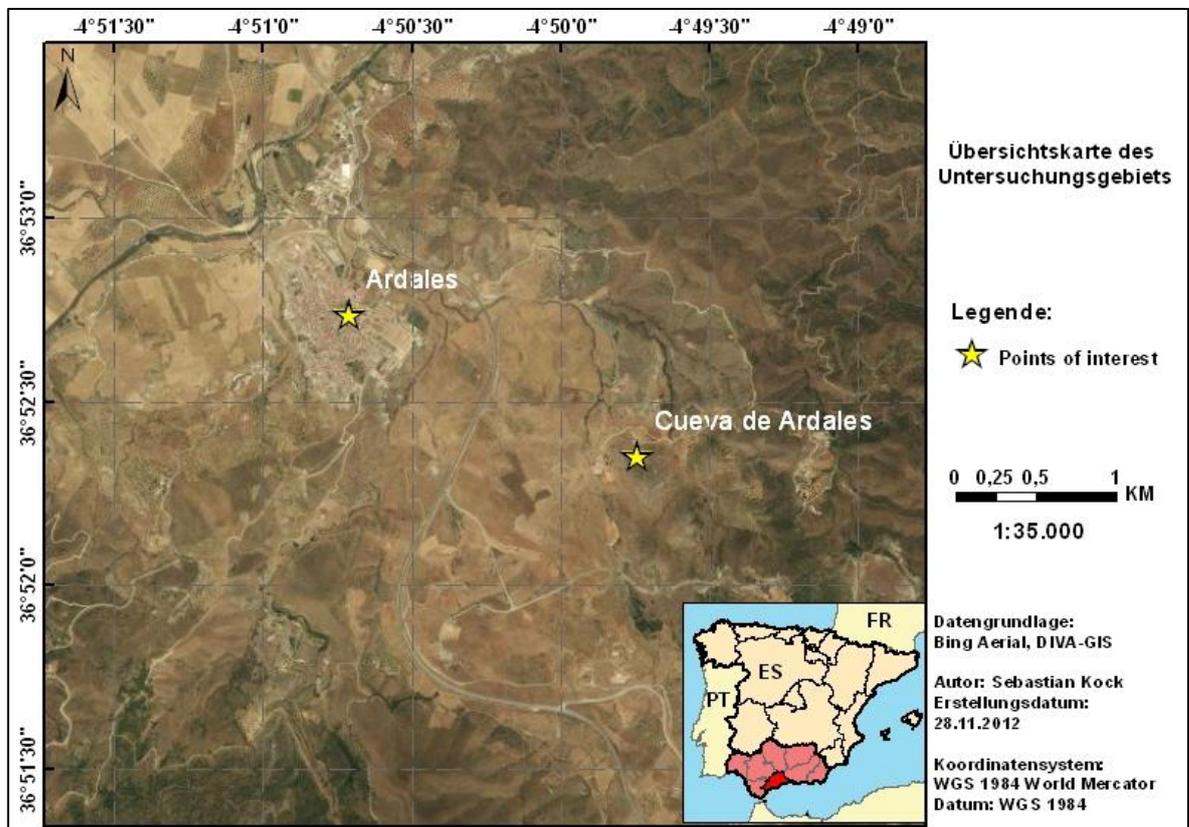


Abbildung1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets

Die Cueva de Ardales ist ein langgestrecktes, stark verwinkeltes Höhlensystem, welches aus verschiedenen „Sälen“ und „Galerien“ besteht und sich auf eine Länge von 1577 m erstreckt (Muñoz 1992: 55). Es können kann drei wichtige Bereiche ausgegliedert werden: die *Galerías Bajas*, *Galería Altas* sowie eingestürzte „Säle“. Die *Galería Bajas* entwickelten sich auf einem Niveau von 23 m unterhalb der Mündungskante der Höhle und zeigt vermutlich ein geringeres Paläohöhlenniveau. Die *Galerías Altas*, in denen viele Knochen und Keramikfunde

gemacht werden konnten, befindet sich in einer Höhe von 16 m unterhalb der Mündungskante und stellt vermutlich ein letztes Entwicklungsstadium dar. Die eingestürzten Säle, auch *Salas de Colapso* genannt, liegen auf verschiedenen Niveaus zwischen 7 und 24 m und sind nach der letzten geomorphologischen Entwicklungsphase kollabiert (Muñoz 1992: 55). Im Eingangsbereich der Höhle erstreckt sich ein Schwemmfächer, in dem viele archäologische Zonen liegen, weshalb die Charakterisierung der Sedimente eine wichtige Rolle für die Archäologen spielt.

2.2 Geschichte und archäologische Funde der Höhle

Nach ihrer Entdeckung im Jahre 1821 wurde die Cueva de Ardales zur ersten touristisch genutzten Höhle Spaniens. Die Besucher kamen überwiegend als Tagesgäste aus dem nahegelegenen Kurort Carratraca. In Folge dessen wurden im Jahre 1852 eine Freilufttreppe sowie verschiedene Wege konstruiert, bei deren Erstellung vermutlich viele archäologisch wertvolle Schichten zerstört wurden. Nach dem Tod des Besitzers der Höhle 1896, blieb die Höhle einige Zeit verweist, bis 1918 Henri Breuil insgesamt 20 Gravuren und Zeichnungen von Hirschen und Pferden in der *Galería Final* entdeckt hat (CANTALEJO 2006: 63). Dies waren die ersten Hinweise darauf, dass die Höhle prähistorisch interessante Funde beinhaltet.

Zur Zeit des spanischen Bürgerkriegs von 1936 bis 1937 dienten die großen Säle der Höhle als Zufluchtsort für die Bewohner von Ardales, vor allem für Frauen und Kinder. Während der Diktatur Francos war die Höhle anschließend wieder verlassen, bis der Stadtrat von Ardales den Höhleneingang sicherte (CANTALEJO 2006: 64). 1981 wurde ein Stück neolithische Keramik in den *Galería Altas* gefunden, was zur Theorie einer postpaläolithischen Wanderungsbewegung geführt hat. 1985 wurde die Höhle wieder instand gesetzt und von einer Gruppe Spezialisten aus Malaga im Hinblick auf die Hauptfunktion der Höhle untersucht. Dabei konnten in der Hauptgalerie noch mehr Funde gemacht werden, welche in archäologischen Zonen präzisiert wurden. Nach der Säuberung zeigten sich einzelne Stalagmiten mit neolithischen Keramiken und außerdem ein Kiefer eines Hirsches. Dieser Fund ließ annehmen, dass die Höhle mit Beginn der Kupferzeit nicht mehr genutzt wurde (Muñoz 1992: 146).

Heute sind aus der Cueva de Ardales über 1000 paläolithische Motive bekannt, die in vier verschiedene Themen katalogisiert werden können: Fauna, Schriftzeichen, menschliche Figuren und Hände. Es konnten insgesamt 600 m Strecke mit vier verschiedenen Routen

rekonstruiert werden, welche von Malereien und Gravuren gespickt sind, was eine neue Komplexität der paläolithischen Kunst offenbarte (CANTALEJO 2006: 65).

2.3 Naturräumliche Gegebenheiten

Klima & Klimageschichte:

Das Klima der Iberischen Halbinsel stellt einen wichtigen physisch-geographischen Faktor dar, der sowohl mittelbar als auch unmittelbar die iberische Kulturlandschaft beeinflusst hat (BREUER 2008:53). Gebunden sind die klimatischen Bedingungen in erster Linie an die geographische Lage. Die Iberische Halbinsel steht im Einfluss der Westwindzone und liegt somit an der Grenze des Einflusses durch die Polarfront und den Subtropisch-Randtropischen Hochdruckgürtel. Durch den jahreszeitlichen Wandel der innertropischen Konvergenzzone findet man auf der Iberischen Halbinsel im Jahresgang sowohl zyklonal- als auch antizyklonal beeinflusste Wetterlagen (SUNTRUP 2010: 54). Großräumig kann die Iberische Halbinsel damit zur Klimazone der Winterfeuchten Subtropen gezählt werden, die innerhalb der geographischen Breiten von etwa 30 – 40° (im Mittelmeerraum bis 45°) und damit zwischen den tropisch-/subtropischen Trockengebieten und den feuchten Mittelbreiten liegt. Gebunden sind die winterfeuchten Tropen an Küsten, die wenige 100 km ins Landesinnere hineinreichen (SCHULZ 2008:226 f).

Das im Süden der Iberischen Halbinsel gelegene Andalusien ist nach KÖPPEN & GEIGER in verschiedene, kleinere Klimazonen eingeteilt. Vorherrschend sind dabei die Klimate der Kategorie Csa und Bsh, also sowohl die warmgemäßigten Feuchtklimate (C-Klimate), also auch Trockenklimate (B-Klimate) (STRÄBER 1998: 29). Das Untersuchungsgebiet der Cueva de Ardales weist eine enge geographische Nähe

zu Malaga auf, weshalb die Klimabedingungen verglichen werden können, auch wenn das

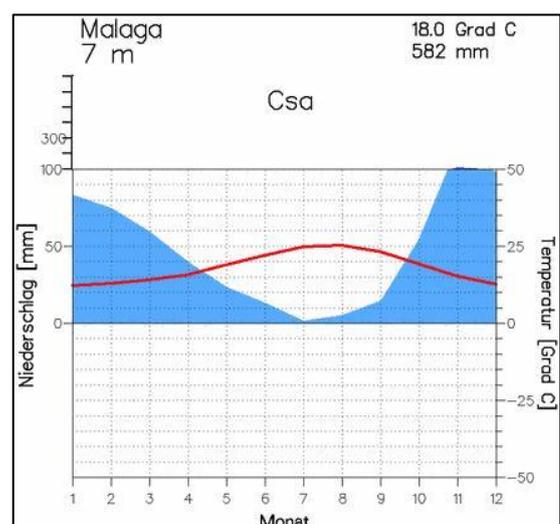


Abbildung 2: Klimadiagramm von Malaga, Quelle: <http://www.klimadiagramme.de/Europa/Plots/malaga.gif> 2012-11-17

Klima von Malaga einem stärkeren maritimen Einfluss unterliegt. In Abbildung 2 ist das

Klimadiagramm von Malaga dargestellt, welches deutliche Anzeichen für Csa-Klimate aufweist, das heißt es herrschen sommertrockene, warmgemäßigte Feuchtklimate, wobei das Temperaturmittel des wärmsten Sommermonats bei über 22°C liegt. Im Rahmen der Cs-Klimate sind die Niederschläge des niederschlagsreichsten Wintermonats mindestens dreimal höher als die niederschlagsärmsten Sommermonate, wobei diese einen Niederschlag von unter 30 mm zu verzeichnen haben. Aus diesen Gründen spricht man auch vom subtropischen Winterregenklima oder auch Mittelmeerklima (STRÄßER 1998:47). Im Zusammenhang mit dem Winterregenklima sei an dieser Stelle auf die hohen Niederschlagsmengen in den Wintermonaten verwiesen, die zum Einen oftmals zu Überschwemmungsereignissen führen können und zum Anderen wesentlichen Einfluss auf Oberflächenprozesse in der Region Andalusiens haben.

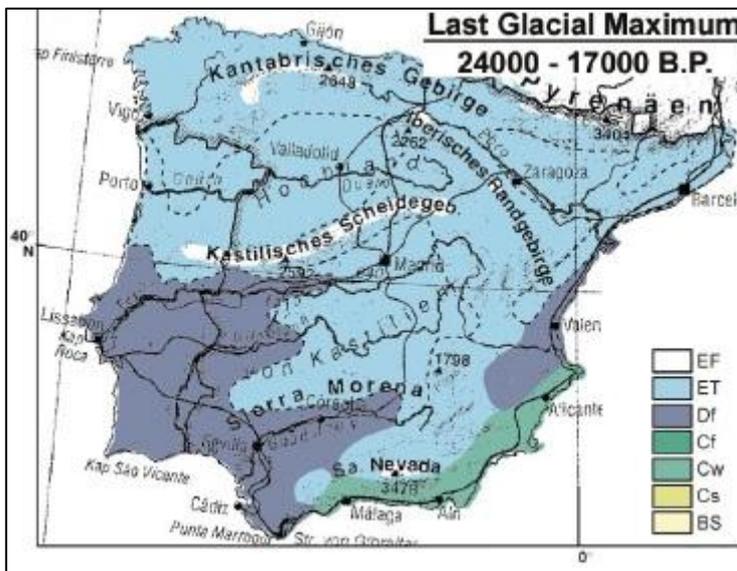


Abbildung 3: Klima Last Glacial Maximum, Quelle: SCHÜTT 2005: 7

Das Klima der Iberischen Halbinsel hat in der nahen erdzeitlichen Vergangenheit einige Veränderungen erfahren. Zwischen 70.000 und 40.000 Jahren BP, im Zeitraum des Weichselfrüh- und Weichselhochglazials, sind abrupt wechselnde Klimaphasen beschrieben, die zeitweise Waldbildung ermöglichten. Diese

sogenannten *drastic events* unterbrachen verschiedene Phasen von kalt-trockenem und kalt-feuchtem Klima (SCHÜTT 2004: 4). Abbildung 3 zeigt die vorherrschenden Klimaverhältnisse der Iberischen Halbinsel zur Zeit des letzten glazialen Maximums zwischen 24.000 und 17.000 Jahren BP. Große Teile der Iberischen Halbinsel waren geprägt von einem Tundrenklima (ET-Klimate, die Mitteltemperatur des wärmsten Monats liegt unter +10°C). Im Südwesten herrschte winterfeuchtes Boreales oder Schnee-Wald-Klima (Df-Klimate, die Temperatur des kältesten Monats liegt unter -3°C, die Temperatur des wärmsten bleibt über +10°C) Etwas wärmer war es im Süd(osten) der Iberischen Halbinsel, wo bereits teilweise feuchtgemäßigte Klimabedingungen vorlagen (SCHÜTT 2005: 7).

Mit einer Erwärmung um 14.400 Jahre BP begann der Übergang zu holozänen Klimaverhältnissen, diese wurden allerdings von der jüngeren Dryas um etwa 12.000 Jahre BP und einem letzten Kälterückfall um ca. 11.000 Jahre BP unterbrochen. Danach vollzog sich der holozäne Klimawandel, der nach TULLOT in verschiedene Phasen eingeteilt wurde, die nicht näher erläutert werden. Es wird davon ausgegangen, dass das für den Mittelmeerraum typische Klima mit trockenen Sommern sowie zyklonalen Niederschlägen im Frühling und Herbst in Südspanien bereits zwischen 10.000 und 7.000 Jahre BP bestand und sich langsam nach Norden ausbreitete (SCHÜTT 2004: 5).

Geologie:

In Andalusien gibt es verschiedene größere Einheiten, die sich in ihrer Genese und ihrer Ausprägung voneinander trennen lassen. Im Norden von Andalusien enden die südlichen Ausläufer des Iberischen Massivs, welches größtenteils in den verschiedenen Phasen der variskischen Gebirgsbildung im Karbon, in der die Gesteine gefaltet, metamorphosiert bzw. intrudiert wurden, gebildet worden ist (LAUTENSACH 1969: 98). Das südlich an die Iberische Masse angrenzende Guadalquivir Becken entstand während der alpidischen Orogenese, beginnend in der Oberen Kreide, und ist die Vortiefe der betischen Faltung. Gefüllt ist sie überwiegend von marinem jungtertiären als auch quartären Sedimenten. Die ausgedehnteste Form der alpidischen Orogenese zeigt sich in der Betischen Kordillere, sie ist im Vergleich zur Iberischen Masse jünger gefaltet und gebrochen und weist überwiegend kalk- und mergelhaltige Fazies auf (LAUTENSACH 1969: 101).

Die Betische Kordillere, in der das Untersuchungsgebiet liegt, erstreckt sich über 600 km entlang der spanischen Mittelmeerküste und begrenzt das Alpidische Orogen im Westen Europas. Gleichzeitig stellt die Betische Kordillere den nördlichen Arm des Betikum-Rif-Bogens dar, der sich über die Straße von Gibraltar in das Rif-Gebirge Nordmarokkos zieht (REICHERTER 2001). Entstanden sind die Gebirgsketten in Folge der Kollision zwischen Afrikanischer und Iberischer Platte während der Oberkreide und des Tertiärs. In dieser tektonischen Störungszone kann es aufgrund von ruckartigen Schüben der Plattenbewegungen noch heute zu Erdbeben kommen, auch wenn es aufgrund der hohen Streuung in der Verteilung der Erdbebenherde zwischen dem Guadalquivirbecken und dem Atlas Gebirge sehr schwierig ist, die Plattengrenze zu lokalisieren (SCHÖNENBERG 1997: 247). Aufgrund ihrer Lithologie, Tektonik und ihrer paleogeografischen Entwicklung, teilt sich die Betische Kordillere in die Internen und die Externen Zonen auf (SUNTRUP 2010:37). Im

Südwesten der Betischen Kordillere kann zudem die Flyschzone des Campo de Gibraltar ausgegliedert werden (REICHERTER 2005: 194). Zur besseren Übersicht sind die geologischen Einheiten der Betischen Kordillere in der Abbildung 4 dargestellt.

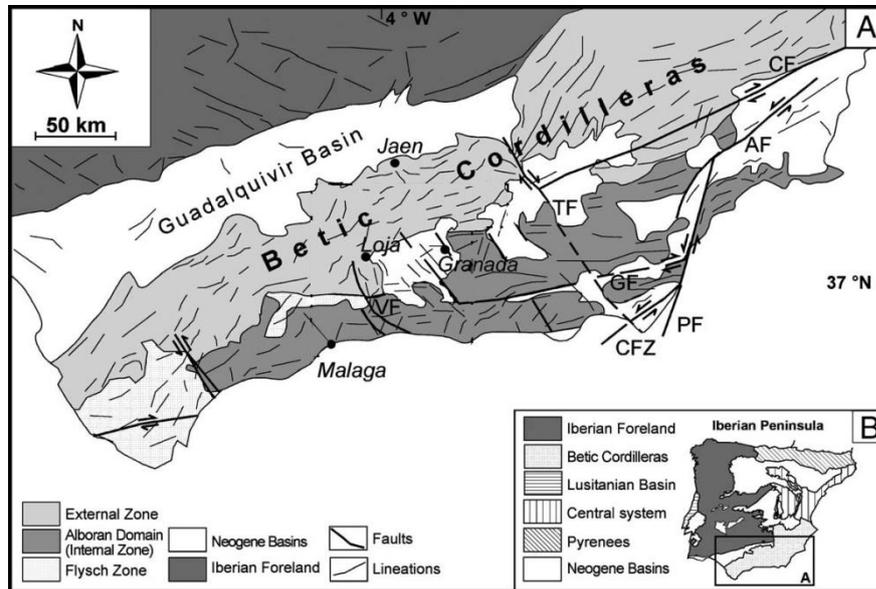


Abbildung 4: Übersicht der Betischen Kordillere, verändert nach REICHTER & PETERS 2005: 192

Die Interne Zone besteht überwiegend aus krustalem Gestein, das wiederum in drei tektonische Komplexe eingeteilt werden kann, den Nevado-Filábride-Komplex, den Alpujárride-Komplex und den Malaguide-Komplex (REICHERTER 2005: 193). Die externe Zone besteht aus mesozoisch-tertiären Sedimenten und unterteilt sich in das Subbetikum und Präbetikum (REICHERTER 2005: 195). Die Flyschzone besteht aus kreidezeitlichen bis miozänen siliziklastischen Sedimenten, die hauptsächlich am passiven Rand der afrikanischen Kruste abgelagert wurden (REICHERTER 2005: 194).

Die Cueva de Ardales liegt in der internen Zone der Betischen Kordillere. Betrachtet man den lokalen, geologischen Formenschatz zeigt sich, dass sich die Höhle in triassischem Carbonatgestein der sogenannten Bonella-Capellán Einheit gebildet hat. Die Zusammensetzung des Gesteins ist größtenteils dolomitisch $[(CO_3)_2CaMg]$ (Muñoz 1992: 52). Carbonatgesteine sind durch marine $CaCO_3$ Ablagerungen entstanden und haben einen Anteil von über 50 % an Carbonaten.

Hydrogeologisch gehört das Untersuchungsgebiet, wie alle Wassereinzugsgebiete zwischen der Betischen Kordillere und dem Mittelmeer, zum Guadélhorce River, dessen Einzugsbereich zur sogenannten *Cuenca Hidrografica del Sur* gefasst werden (SUNTRUP 2010: 42).

Geomorphologie:

Gegeben durch die geologischen Voraussetzungen der Cueva de Ardales, größtenteils dolomitischer Kalkstein $[(CO_3)_2CaMg]$, können die geomorphologischen Prozesse auf karstbildende Prozesse eingegrenzt werden. Die Eingrenzung wird bestätigt bei einem Blick auf die Abbildung 5, welche zeigt, dass sich die Cueva de Ardales in einem Relief aus strukturellem Carbonatgestein befindet und somit zum Karst-Formenschatz gezählt werden kann.

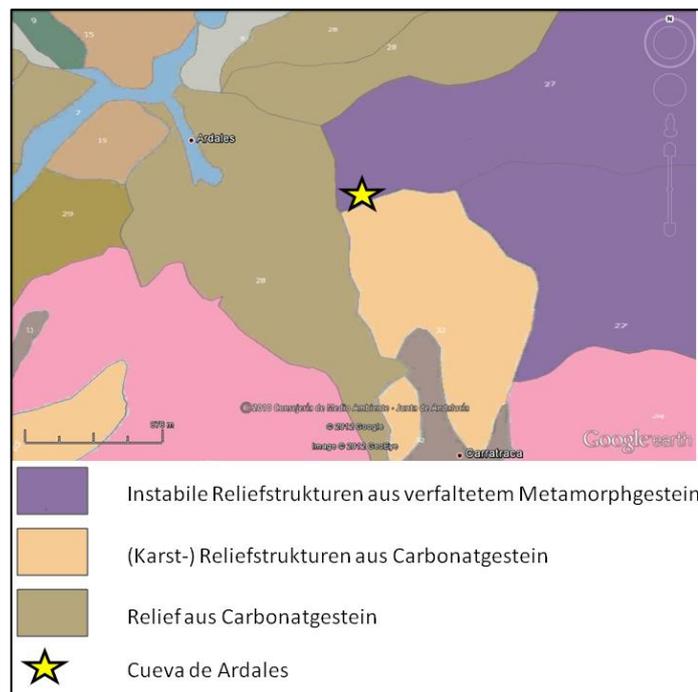


Abbildung 5: Geomorphologische Karte der Umgebung Cueva de Ardales, erstellt nach WMS Mapa Geomorfollgico de Andalucia, Junta de Andalucia

„Der Begriff Karst bezeichnet in der Geomorphologie Landformen, die durch die vorherrschende Lösungsverwitterung und –abfuhr entstanden sind“ (RADTKE 2007:309). Im Mittelmeerraum, speziell im Bereich der Betischen Kordillere bis zum Mittelmeer, spricht man aufgrund der weit verbreiteten Karstprozesse auch von Karstgestein. An vielen Stellen sind sie durch den Boden „Terra rossa“ gekennzeichnet, die unlöslichen Rückstände der Karstverwitterung aufweisen (RADTKE 2007: 309). Der Prozess, der hinter der Karstbildung steht, ist die Kohlensäureverwitterung, oder auch Karstverwitterung genannt. Voraussetzung für diese chemische Verwitterung ist das Vorhandensein von Wasser (H₂O), und Kohlenstoffdioxid (aus gelöstem CO₂ der Atmosphäre oder dem Boden), die zu Kohlensäure

(H_2CO_3) reagieren können. Diese Kohlensäure reagiert mit dem Carbonatgestein (CaCO_3) aus Calcit oder Dolomit und führt zur Umwandlung in Calcium- (Ca^{2+}) und Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-), die von Wasser ausgewaschen werden können.



Es gibt verschiedene morphologische Ausprägungen des Karstes, bei denen zwischen Tiefen- und Oberflächenkarst unterschieden wird. Die Leitform des Oberflächenkarst sind Dolinen, schüssel- oder trichterförmige Hohlformen. Man unterscheidet zwischen Einsturzdolinen mit senkrechten bis überhängenden Wänden oder Lösungsdolinen, die aufgrund von Gesteinslösung auftreten (RADTKE 2007: 2010). Zusammenschlüsse aus mehreren Lösungsdolinen werden als Uvalas bezeichnet. Die größte geschlossene Hohlform des Karstes ist die Polje, deren Böden bedeckt sind von Residualien und allochthonem Material bedeckt und somit günstige Bedingungen für die Landwirtschaft darstellen (RADTKE 2007: 310). Die größte Polje der Iberischen Halbinsel liegt im Becken von Granada in Andalusien, unweit entfernt vom Untersuchungsgebiet. Die kleinste auftretende Karstform sind die sogenannten Karren, welche aus der Niederschlagserosion hervorgehen (LAUTENSACH 1969: 111).

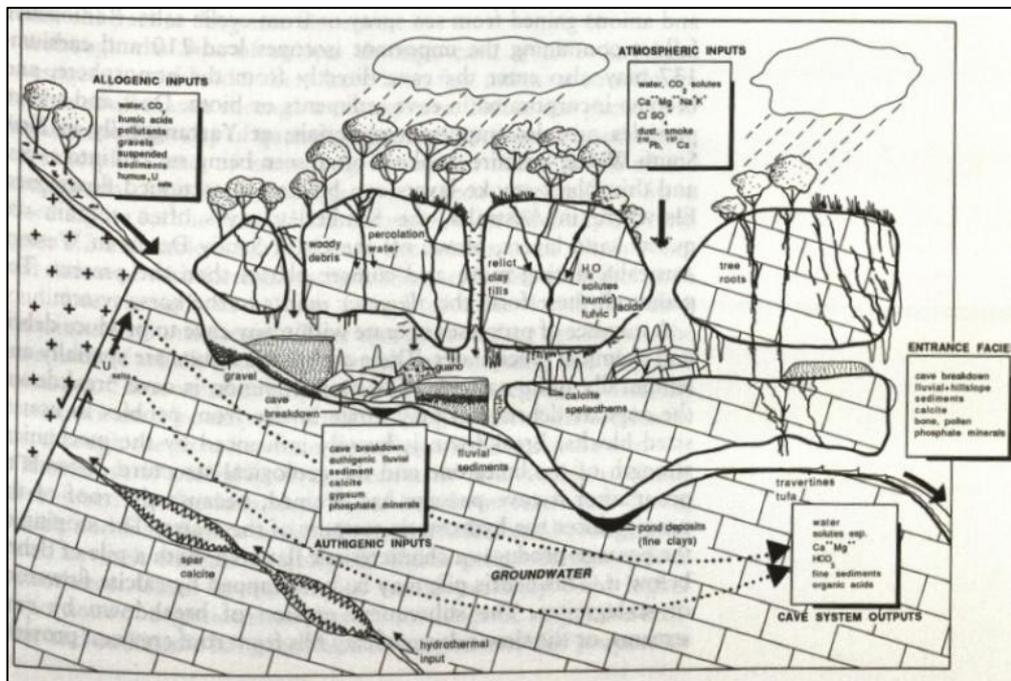


Abbildung 4: Höhlenmorphologie GILLIESON 1998: 8

Im Hinblick auf die Cueva de Ardales spielt der Tiefenkarst, insbesondere die Höhlenbildung, eine entscheidende Rolle. In Abbildung 6 sieht man verschiedene Einflussfaktoren, die den morphologischen Aufbau einer Höhle beeinflussen können. Es wird unterschiedenen

zwischen allogenen, autogenen und atmosphärischen Einflussfaktoren, sowie Ausfuhren aus dem Höhlensystem. Durch allogene Einflüsse können beispielsweise verschiedene Sedimente in eine Höhle gelangen, die sich je nach Größe an verschiedenen Stellen ablagern können. Durch Spalten im Gestein kann auf direktem Wege Niederschlag in die Höhle gelangen, der angereichert mit verschiedenen Elementen wie zum Beispiel Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium. Allerdings können auch Staubpartikel, die Cäsium oder Blei enthalten, ins Höhlensystem gelangen. Niederschlag kann ebenfalls den im Boden oder Gestein befindlichen Kalk lösen, auswaschen und in der Höhle anreichern, was zur Bildung von Stalagmiten oder Stalagtiten führen kann. Autogene Prozesse innerhalb der Höhle, die häufig im Zusammenhang mit Grundwasser stehen, können zur Umwandlung und Neubildung einiger Stoffe führen. Auch Lebewesen wie Vögel können durch ihre Exkremente den Chemismus verändern. In erster Linie führt Wasser zu Auswaschungen von Sedimenten oder Elementen aus dem Höhlensystem (GILLIESON 1998: 7 f).

Boden:

Aufgrund der klimatischen und geologischen Voraussetzungen um die Cueva de Ardales können verschiedene Bodentypen eingegrenzt werden. Abbildung 7 zeigt zudem, welche Bodentypen im Untersuchungsgebiet vorliegen. Aus

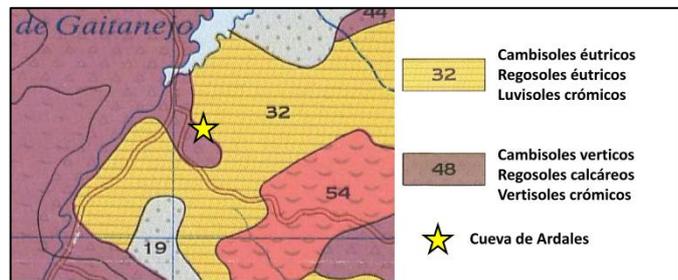


Abbildung 7: Bodentypen um die Cueva de Ardales, nach: MUDARRA et al. 1988. Mapa de suelos de andalucia

dieser Abgrenzung können im Folgenden nach dem „World Reference Base of Soil Ressource“ System 4 verschiedene Bodenarten beschrieben werden.

Regosols:

Regosols gehören der Klasse der Ah/C-Böden an, die einen A-Horizont unmittelbar über einer mindestens 30 cm dicken Lockergesteinsschicht ausgeprägt haben (KUNTZE 1994: 261). Es sind demnach schwach entwickelte, aber dafür gut drainierte Böden. Sie finden in der Provinz Malaga eine weite Verbreitung, so auch im Untersuchungsgebiet in der Nähe von Ardales. Im oberen Bereich des Profils variieren die Gehalte an organischem Kohlenstoff sehr stark (SUNTRUP 2010: 45).

Cambisols:

Cambisols gehören der Klasse der A/B/C-Böden an, deren B-Horizonte durch fein verteilte Eisenoxide eine braune Farbe erhalten. Der Prozess, der zur Ausbildung des braunen B-Horizonts führt, ist die Verbraunung (Bildung von Fe(III)-Oxiden wie Goethit) (KUNTZE 1994: 265). Im Untersuchungsraum lassen sich zwei verschiedene Cambisole unterscheiden: eutric und calcic Cambisols. Eutric Cambisols kommen auf metamorphen Gesteinen, sowie auf paläozoischen Schiefen, Phylliten und Quarziten sowie triassisch-paläozoischen Kalksteinen und Dolomiten vor (SUNTRUP 2010: 45). Calcic Cambisols sind in der Region des Río Guadalhorce weiträumiger verbreitet. Anzutreffen sind sie in Bereichen moderater Hangneigung auf jurassischen und kretazischen Kalken, sowie auf triassischen Mergeln (SUNTRUP 2010: 46).

Luvisols:

Luvisols gehören der Klasse der A/E/Bt/C-Böden an, die sich unter anderem durch vertikale Tonverlagerung aus dem Ah-Horizont charakterisieren lassen, was zu einer Lessivierung führt (KUNTZE 1994: 265). Chromic Luvisols, wie sie im Untersuchungsgebiet vorkommen, findet man vorwiegend auf ebenen oder leicht geneigten Bereichen auf Peridotiten (SUNTRUP 2010: 47).

Vertisols:

Vertisols gehören der Klasse der A/C-Böden an, die durch einen hohen Tongehalt (> 30 % Ton, meisten >50 %) und einer braunen bis schwarzen Farbe auszeichnen. Sie bestehen aus tonigen und CaCO₃-haltigen Sedimenten und sind im Bereich von Talböden und abflusslosen Senken, auf tonreichen Ausgangsgesteinen wie Mergel, entstanden. Auffällig ist der hohe Anteil an quellfähigen Tonmineralen, der eine intensive Bodendurchmischung fördert und so zu einem stark ausgeprägten Ah-Horizont führt (KUNTZE 1994: 303).

3. Arbeitsmethoden

Nachfolgend sollen die verwendeten Gelände- und Labormethoden genauer dargestellt und erläutert werden, um einen Eindruck von den Abläufen des Arbeitsprozesses zu erhalten.

3.1 Geländemethoden

Im Rahmen der Geländekampagne im September 2011 wurden insgesamt 17 Bohrungen abgetäuft, von denen 14 Sondierungen im Bereich des vermuteten zweiten Einganges, und 3 Sondierungen auf dem Vorplatz des Höhleneinganges durchgeführt wurden (Abbildung 8).

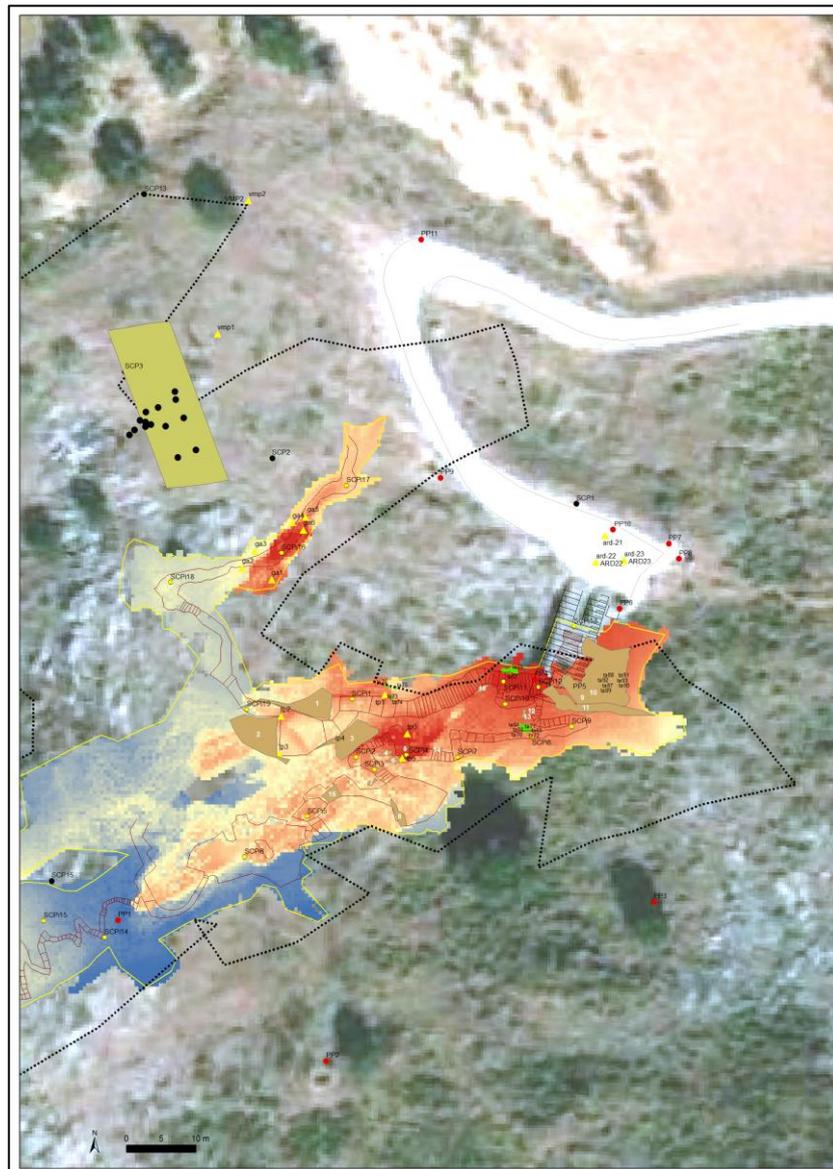


Abbildung 8: Übersicht der Bohrungen mit Höhlenplan, Quelle: HOFFMEISTER, D. Imagery © 2012 Google, Digital Globe, 21.9.2009

Bei allen Bohrungen im Außenbereich der Cueva de Ardales wurde die Methode der Rammkernsondierung durchgeführt. Bei den Bohrungen auf dem Vorplatz der Höhle musste zunächst die Betondecke mit Hilfe einer Flex entfernt werden (siehe Abbildung 9 c), bei den Bohrungen im Bereich des vermuteten zweiten Eingangs waren keine weiteren Vorbereitungen nötig, allerdings wurden zur besseren Orientierung Transekte angelegt (siehe Abbildung 9 b). Abbildung 9 a) zeigt das geowissenschaftliche Team bei der Durchführung einer Sondierung (A), sowie die beiden Untersuchungsgebiete im Bereich des vermuteten zweiten Eingangs (B) und auf dem Vorplatz der Höhle (C).



Abbildung 9: a) Bohrung am vermuteten zweiten Eingang; b) Übersicht auf Bohrplatz; c) Blick auf den Höhleneingang, Kock 2011

Neben den Bohrungen im Außenbereich wurden zusätzlich Sedimentproben aus verschiedenen Schichten der archäologischen Grabungsprofilen aus dem Inneren der Cueva de Ardales entnommen. Insgesamt wurden

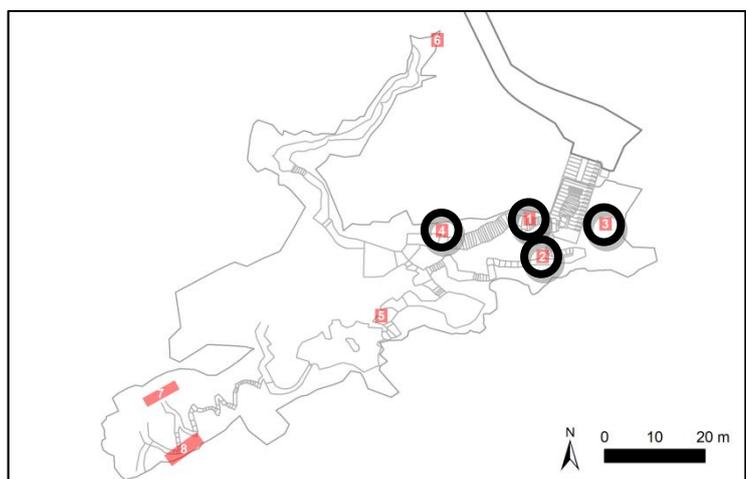


Abbildung 10: Archäologische Grabungsschnitte in der Cueva de Ardales, HOFFMEISTER 2012: unpubl.

vier archäologische Zonen beprobt, die Lage der jeweiligen Zonen (Zone 1 bis 4) sind der Abbildung 10 zu entnehmen.

Rammkernsondierung:

Für die Sondierungen wurde ein benzinbetriebener Schlagbohrhammer der Firma Atlas Copco (Typ Cobra TT) eingesetzt, um die jeweils 1m langen, halbseitig offenen Sonden der Firma Schlitz mit 50 und 60 mm Durchmesser in den Boden zu täufen. Anschließend konnte diese mit Hilfe von Ziehstangen und einem hydraulisches Ziehgerät aus dem Boden gezogen werden. Mit dieser Ausrüstung konnten die Sedimentkerne geborgen werden, welche zusammengesetzt für jede Bohrung die einzelnen Profile und somit die Datengrundlage der Arbeit lieferten.

Nach den Sondierungen wurden die Bohrkerne zunächst für eine fotografische Dokumentation präpariert, bevor sie nach Vorlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (5. Auflage) auf Aspekte wie Bodenart, Farbe, Grobanteil des Bodens, Gehalt an Carbonat und organischer Substanz, sowie Lagerung angesprochen werden konnten (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden). Anschließend wurden die nach diesen Parametern eingeteilten Abschnitte der Kerne entnommen und zum Transport in Probenbeutel überführt.

Probenentnahme aus der Höhle:

Bevor die Proben aus dem inneren der Höhle entnommen werden konnten, wurden die freiliegenden, archäologischen Profile zunächst ebenfalls nach Vorlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung angesprochen, wenn auch in etwas reduzierter Form. So konnten verschiedenmächtige Lagen mit unterschiedlichen, bodenkundlichen Charakteristika ausgemacht werden, welche im Anschluss beprobt werden konnte.

Sowohl von den einzelnen Bohrungen, als auch den archäologischen Profilen in der Höhle, wurden mittels einer Totalstation (Tachi) die Koordinaten eingemessen.

3.2 Laboranalysen

Nach einer ersten Charakterisierung im Gelände ist eine weiterführende Untersuchung mit Laboranalysemethoden von großer Bedeutung, um sowohl detailliertere als auch quantitative Aussagen über die Zusammensetzung und eine mögliche Genese des Sediments treffen zu können. Bevor mit den Analysen begonnen werden kann, bedarf es einer Probenvor- bzw. Probenaufbereitung. Zunächst müssen die Bodenproben bei 40°C getrocknet werden, um anschließend den Grob- ($d > 2\text{mm}$) vom Feinboden ($d < 2\text{mm}$) durch einen Siebvorgang voneinander zu trennen (Methoden nach Leser 1977:198 ff). Der Feinboden liefert die Grundlage für nachfolgende Analysen. Beim Sieben ist darauf zu achten, Funde von Silex,

Holzkohle oder anderen Artefakten zu separieren, um eine mögliche Datierung durchführen zu können.

Aufgrund der hohen Zahl an durchtäuften Steinen bei den Sondierungen, war der Anteil von „Steinsplintern“ im Bereich $1\text{mm} < d < 2\text{mm}$ so groß, dass der Feinbodenanteil aus dem Außenbereich der Höhle zusätzlich auf $d < 1\text{mm}$ gesiebt worden ist, trotz der Möglichkeit dadurch den Grobsandanteil zu unterschätzen.

3.1.1 Korngrößenbestimmung

Die Korngrößenverteilung ist eine der wichtigsten Eigenschaften eines Bodens, durch die beispielsweise die Bodenstruktur und damit sowohl viele physikalische als auch chemische Bodeneigenschaften definiert werden können (Eshel et al. 2004: 736). Darüber hinaus beinhaltet die Korngröße Informationen über das Einzugsgebiet, den Transport und die Ablagerung des Sediments (Blott et al. 2004: 63), um die Sedimentumgebung klassifizieren zu können (Blott & Pye 2001: 1237). Durchgeführt wurden die Messungen an einem Laser-Diffraction-Particle-Size-Analyser der Firma Beckmann (Modell: Coulter LS 13 320) im Labor des Geographischen Instituts der Universität zu Köln. Verwendet wurde bei den Messungen das optische Modell nach *Mie*, welche in der Theorie die Wechselwirkungen zwischen kleinen Partikeln und Licht genauer beschreibt und somit im Vergleich zum *Fraunhofer* Verfahren reproduzierbarere Werte (überwiegend) im Bereich der Tonfraktion darstellt (Boer et al. 1986: 14).

Bevor die Messungen durchgeführt werden konnten, mussten die Proben vorbereitet werden. Mit Hilfe von 10%iger Salzsäure konnte das im Sediment gebundene Calciumcarbonat zu Calciumchlorid, Wasser und Kohlenstoffdioxid reagieren ($\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \Rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Um die Reste an HCl zu entfernen, wurde die Probe mit destilliertem Wasser aufgefüllt und in einer Zentrifuge „ausgewaschen“. Dieser Vorgang wurde insgesamt drei bis viermal wiederholt. Im zweiten Schritt wurde mit Hilfe von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) unter Zunahme von destilliertem Wasser die organischen Substanzen (durch Oxidation des organischen Materials) aus der Probe gelöst. Um die Reaktion zu beschleunigen, wurden hierzu die Proben bei 70°C in den Trockenschrank gestellt. Nach Abschluss der Reaktion konnte ein Dispergierungsmittel ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) hinzugefügt werden, um die im Korngrößenverbund isolierten Partikel freizusetzen. Zu diesem Zweck wurde die Probe 12 Stunden in einem Überkopfschüttler positioniert, bevor die Messung mit dem Laserdiffraktometer gestartet werden konnte. Um interpretierbare Ergebnisse zu

produzieren, mussten zunächst mehrere Testmessungen durchgeführt, werden um die ideale Konzentration, bei den meisten Sedimenten liegt diese im Bereich von 0,2 g bis 4 g (Blott et al. 2004: 64), herauszufinden.

3.1.2 Bestimmung der Magnetische Suszeptibilität

Die Messung der Magnetischen Suszeptibilität stellt die Möglichkeit dar, eine weitere wichtige Eigenschaft eines Sediments zu erfassen, die magnetische Eigenschaft. Diese magnetischen Eigenschaften spielen in der Paläobodenforschung bei zwei unterschiedlichen Aspekten eine Rolle. Zum Einen können chronologische, und zum Anderen paläoklimatische Informationen entschlüsselt werden (EVANS et al 2000: 129 ff). Entscheidend für die Integrität, Präzision und Gewinnung dieser Informationen sind zwei Faktoren, der Grad der Entwicklung und der Erhaltung der bodenbildenden Eigenschaften, sowie ob diese Eigenschaften anhand von modernen Analogien erklärt werden können (MAHER 1998: 26).

Die Magnetischen Suszeptibilität misst die Unterschiede in der Magnetisierbarkeit des Materials, die in erster Linie davon abhängt, welche Minerale in den jeweiligen Sequenzen zu finden sind. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei der Eisenanteil, der besonders stark in ferromagnetischen Mineralen wie Magnetit (Fe_3O_4), in paramagnetischen Mineralen wie Ferrhydrit ($5\text{Fe}_2\text{O}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) oder antiferromagnetischen Mineralen wie Haematit ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) zum Ausdruck kommt (Maher 1986:77). Unterschiede in der Magnetischen Suszeptibilität können demnach auch ein Indikator für einen Wechsel von allogenen und autogenen Einträgen sein, d.h. die magnetischen Eigenschaften sind sehr standortspezifisch. Um Aussagen aus den Werten der Magnetischen Suszeptibilität ziehen zu können, sollte nach Möglichkeit die Mineralogie des Sediments bekannt sein, sowie die Prozesse, die zu ihrer Entwicklung führten (MAHER 1998: 26).

Durchgeführt wurden die Messungen an einem Magnetic Susceptibility Meter der Firma Bartington (Modell: M32) im Labor des Geographischen Instituts der Universität zu Köln. Es galt darauf zu achten, dass man den Einfluss von fremdem magnetischem Material vermied, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Des Weiteren sollte das Probenmaterial in einer mindestens 1 cm dicken, kompakten Schicht vorliegen. Um eventuelle Ausreißer in den Ergebnissen zu vermeiden, wurden die Messungen dreimal durchgeführt und anschließend ein Mittelwert gebildet.

3.2.3 Farbbestimmung

Die Farbe eines Sediments ist ein guter Proxy, um einen schnellen Einblick von der Sedimentzusammensetzung zu bekommen (DEBRET et al. 2011: 2). Eine Bestimmung kann bereits im Gelände anhand von MUNSELL-Farbtafeln vorgenommen werden, allerdings werden heute in den Geowissenschaften vorzugsweise Laboranalysemethoden durchgeführt. Dies hat den Vorteil, dass Fehler durch subjektive Wahrnehmungen reduziert werden können. Außerdem erhält man verschiedene Messwerte in digitaler Form, wodurch eine Weiterverarbeitung schnell und problemlos möglich ist.

Jede Farbe kann dreidimensional dargestellt werden, weshalb sich jede Farbe durch drei verschiedene Werte definieren kann. Die y-Achse gibt dabei die Helligkeit der Farbe an, den sogenannten L*-Wert, die x-Achse stellt den rot-grün Anteil der Farbe da, den a*-Wert und die z-Achse beschreibt den gelb-blau Anteil der Farbe, den b*-Wert (TORRENT & BARRON 1993: 25). Die Werte können außerdem in die MUNSELL-Klassifikationen umgerechnet werden, bei denen ein Sediment nach Farbe (Hue-Wert), Helligkeit (Value-Wert) und Farbtintensität (Chroma-Wert) definiert wird.

Die Messungen wurden im Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (Abteilung Bodenwissenschaften) am Spektralphotometer der Firma KONICA MINOLTA (Modell: CM5) durchgeführt.

3.2.4 Volumetrische Bestimmung des Calciumcarbonats

Der Calciumcarbonatgehalt des Bodens ist ein wichtiger Parameter, um Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung eines Bodens zu bekommen (HORVÁTH et al. 2005:1066). Um diesen zu bestimmen gibt es verschiedene Methoden, wobei nahezu alle auf die Reaktion von Calciumcarbonat mit einer starken Säure basieren, welche zur Lösung von Calciumcarbonat mit gleichzeitiger Entwicklung von CO₂ führt. Eine Möglichkeit, um das entstandene Gas zu quantifizieren, ist das Messen des Gasvolumens unter isobarometrischen Bedingungen, so wie es in der Apparatur nach SCHEIBLER geschieht (HORVÁTH et al. 2005:1066).

Auch die Messungen im Labor des Geographischen Instituts der Universität zu Köln wurden an einer Apparatur nach SCHEIBLER durchgeführt. Zur Reaktion wurden ca. 5 ml 10%ige Salzsäure mit etwa 1 g gemahlenem Probenmaterial in einem Erlenmeyerkolben versetzt.

3.2.4 Röntgenfluoreszenzanalyse

Mit der Röntgenfluoreszenzanalyse können die Haupt- und Spurenelemente des untersuchten Sediments detektiert werden. Seit Jahrzehnten gilt die RFA als Standardmethode zur Elementanalyse, die hauptsächlich bei der Gesamtgesteinsanalyse herangezogen wird (BESSETTE 1999: 14). Die Grundlage für die Methode sind die Röntgenstrahlungen, elektromagnetische Strahlen, die Wellenlängen im Bereich von 0,05 bis 100 Å haben ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$). Die Röntgenstrahlungen emittieren für jedes chemische Element ein charakteristisches Linienspektrum und haben für jedes Element ein charakteristisches Absorptionsspektrum. Dies ist die wichtigste Eigenschaft der Röntgenstrahlungen, die zur Erkennung der chemischen Elemente führt und somit tiefe Einblicke in den elektronischen Aufbau von Atomen, Molekülen und kondensierter Materie wie Gasen ermöglicht (BESSETTE 1999: 10).

Die Vorbereitungen für die Messungen wurden im Labor des Geographischen Instituts der Universität zu Köln durchgeführt. Zu diesen gehörte das Sieben der Proben, bis ca. 8 g mit $d < 63 \text{ µm}$ vorlagen. Weitere Vorbereitungen, sowie die Messung wurden im Labor des Geographischen Instituts der RWTH Aachen durchgeführt.

4. Ergebnisse

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage („Welche Rückschlüsse können aus den Ergebnissen der sedimentologischen Untersuchung auf einen ehemaligen, zweiten Höhleneingang gezogen werden?“) wurden die Bohrungen ARD-6 und ARD-11 für nähere sedimentologische Untersuchungen in dieser Arbeit ausgewählt. Das Bohrprofil von ARD-6 weist eine Tiefe von 1,23 m auf und liegt ca. 6,5 m vom Mandelbaum entfernt. ARD-11 ist mit 4,89 m deutlich tiefer und befindet sich nur knapp 1,5 m entfernt von dem Mandelbaum, der als Orientierungspunkt dient.

Um die zweite Forschungsfrage („Gibt es Hinweise auf einen ehemaligen Vorplatz vor der Cueva de Ardales?“) beantworten zu können, wurden ebenfalls zwei Bohrungen zur Untersuchung ausgewählt, allerdings werden diese aufgrund von unterschiedlichen Analysemethoden mehr komplementär als komparativ betrachtet. Im Vordergrund steht dabei die Bohrung ARD-22, welche eine Tiefe von 3 m erreicht hat. An dieser Bohrung konnte eine Farbbestimmung, eine Röntgenfluoreszenzanalyse und Messung der Magnetischen Suszeptibilität durchgeführt werden. Die zweite, ergänzende Bohrung ist ARD-21, welche eine Tiefe von 1,75 m aufweist und etwas weiter vom Höhleneingang entfernt ist als ARD-22 (siehe Abbildung 8). An dieser konnten Korngrößen- und Farbbestimmung, Messung der magnetischen Suszeptibilität und eine volumetrische Bestimmung des Calciumcarbonats durchgeführt werden. Grund für die unterschiedlichen Untersuchungen ist unter anderem der Mangel an Probenmaterial.

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage („Wie lassen sich die Sedimente des Schwemmfächers im vorderen Höhlenbereich charakterisieren?“) wurden alle Proben der vier archäologischen Profile ausgewählt. Die Ergebnisse sind aufgrund des begrenzten Umfangs der Bachelorarbeit tabellarisch dargestellt.

4.1 Geländeergebnisse

Profilbeschreibung ARD-6:



Abbildung 11: Bohrung ARD-6, KEHL 2011

ARD-6 ist Teil des 2011 untersuchten Gebiets um die paläolithische Höhle Cueva de Ardales in Andalusien, Südspanien. Das bis 1,23 m u. GOF abgeteufte Profil steht in Verbindung mit den Bohrungen, die im Bereich eines möglichen zweiten Einganges der Höhle durchgeführt worden sind.

Von der Endteufe des Profils bei 1,23 m bis 1 m u. GOF zeigen sich überwiegend sandige Lehme in graugelber Farbe, durchzogen von größeren, kantigen Kalksteinen (> 2mm). Auffällig ist, dass der Anteil an CaCO_3 (ermittelt durch 10%ige Salzsäure) in diesem Bereich besonders hoch ist. Oberhalb von 1 m bis 0,73 m u. GOF schließen sich sandige Lehme in gelbgrauer Farbe an, wobei die Farbe bis zur Schichtgrenze bei 0,73 m u. GOF eine zunehmend kräftigere Gelbfärbung aufweist. Grobmaterial ist in diesem Bereich nicht zu finden, dafür sind verstärkte Eisenkonzentrationen zu erkennen (0,86 m u. GOF). Die aufliegende Schicht, von 0,73 m bis 0,61 m u. GOF, besteht aus lehmigen Schluffen mit einer braungelben Farbe. Teilweise ist kantiges und teilgerundetes Material im Bereich von groben Kiesen bis Schutt zu finden. Oberhalb von 0,61 m bis 0,34 m u. GOF schließen lehmige Schluffe mit rotbrauner Farbe an, stellenweise zeigen sich Reste von verwittertem Gestein. Im Bereich von 0,34 m u. GOF bis hin zur Geländeoberfläche befinden sich lehmigen Schluffen mit dunkelbrauner Farbe, durchzogen von kantigen Steinfragmenten (> 63 mm). Gleichzeitig ist in diesem Bereich der Anteil an organischem Material hoch.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass verschiedene, klar voneinander abzugrenzende Bereiche im Profil zu erkennen sind. Im oberen Bereich befindet sich eine Schicht mit einem hohen Anteil an organischem Material, gefolgt von einem Abschnitt mit rotbraunem bzw.

gelbbraunem Sediment, bis hin zu einem Bereich mit hellem Material und einem sehr hohen Anteil an CaCO_3 .

Profilbeschreibung ARD-11:



Abbildung 12: Bohrung ARD-11, KEHL 2011

ARD-11 ist Teil des 2011 untersuchten Gebiets um die paläolithische Höhle Cueva de Ardales in Andalusien, Südspanien. Das bis 4,89 m u. GOF abgeteufte Profil steht in Verbindung mit den Bohrungen, die im Bereich eines möglichen zweiten Einganges der Höhle durchgeführt worden sind.

Von der Endteufe des Bohrprofils bei 4,89 m bis 4,75 m u. GOF zeigen sich lehmige Schluffe in graubrauner Farbe, durchzogen von kantigen Steinfragmenten (> 63 mm). In dieser Schicht zeigt sich außerdem ein hoher Gehalt an CaCO_3 . Oberhalb von 4,75 m bis 4,56 m u. GOF schließen sich lehmige Schluffe in rotbrauner Farbe an. Im unteren Bereich dieses Abschnitts ist kein gröberes Material zu erkennen, während der obere Bereich von kantigen Steinfragmenten durchzogen ist. Die aufliegende Schicht, von 4,56 m bis 4,47 m u. GOF, ist geprägt von kantigen Steinfragmenten. Im Bereich von 4,47 m bis 4,36 m u. GOF ist aufgrund von KV kein Material vorhanden. Oberhalb von 4,36 m bis 4,20 m u. GOF schließen sich rotbraune lehmige Schluffe an, durchzogen ist die Schicht zusätzlich durch wenige kantige, mittlere und grobe Gruse sowie von Steinfragmenten. Von 4,20 m bis 4,00 m u. GOF befindet sich lockeres Material mit rotbrauner Farbe, durchzogen von kantigen Steinfragmenten, wobei es sich um Nachfall handeln könnte.

Oberhalb von 4,00 m bis 3,83 m u. GOF schließen sich rotbraune tonige Schluffe an, durchzogen von mittleren bis groben Grusen, sowie kantigen Steinfragmenten. Im Bereich von 3,83 m bis 3,74 m u. GOF befinden sich ebenfalls rotbraune tonige Schluffe, allerdings mit einem höheren Grobanteil, vor allem treten vermehrt kantige Steinfragmente auf. Von 3,74 m u. GOF bis 3,61 m u. GOF ist aufgrund von KV kein Material anzusprechen. Oberhalb von 3,61 m bis 3,42 m u. GOF können rotbraune tonige Schluffe ausgemacht werden, dabei weist das Material im unteren Bereich der Schicht eine dunklere und der obere Bereich der Fazies eine hellere Färbung auf. Neben schluffigem Material sind außerdem Mittel- und Grobkiese anzusprechen. Des Weiteren befindet sich bei 3,58 m u. GOF eine Besonderheit: im Bereich des dunkleren Materials wurde ein Stück Keramik durchtäuft, was darauf schließen lässt, dass man in diesem Bereich eine Fundschicht getroffen haben könnte. In der darüber liegenden Fazies, von 3,42 m bis 3,20 m u. GOF, finden sich erneut die typischen, rotbraunen tonigen Schluffe mit vereinzelt Mittel- und Grobgrusen. Oberhalb von 3,20 m bis 3,00 m u. GOF schließen sich rotbraune tonige Schluffe an, wobei sich im unteren Bereich des Abschnitts eine sehr steinreiche Lage befindet. Dieser Bereich wurde als möglicher Nachfall angesprochen.

Von 3,00 m bis 2,90 m u. GOF zeigen sich rotbraune tonige Schluffe, vereinzelt mit Mittel- und Grobgrus. Oberhalb von 2,90 m bis 2,80 m u. GOF ist eine Steinlage mit weißem Material zu finden. Darüber von 2,80 m bis 2,68 m u. GOF finden sich erneut tonige Schluffe mit einer dunklen rotbraunen Farbe. In diesem Abschnitt ist nur ein sehr geringer Grobanteil auszumachen. Von 2,68 m bis 2,46 m u. GOF zeigen sich Tonschluffe in rotbrauner Farbe, wobei der untere Bereich dieses Bereich überwiegend von kantigen Steinfragmenten dominiert ist. Oberhalb von 2,46 m bis 2,24 m u. GOF befindet sich eine weitere Steinlage mit weißem Material, gefolgt von einem Bereich mit KV von 2,34 m bis 2,00 m u. GOF.

Oberhalb von 2,00 m bis 1,82 m u. GOF schließt sich eine Steinlage mit weißem Material an. Von 1,82 m bis 1,67 m u. GOF zeigen sich tonige Schluffe mit einem geringen Grobanteil in Form von Fein- und Mittelgrus. Aufgrund von KV ist im Bereich von 1,67 m bis 1,62 m u. GOF kein Material anzusprechen. Oberhalb von 1,62 m bis 1,50 m u. GOF zeigen sich lehmige Schluffe in rotbrauner Farbe und einem geringen Grobanteil, der als Übergangshorizont vom Ah- zu einem Bv-Horizont angesprochen worden ist. Im Bereich von 1,50 m bis 1,00 m u. GOF ist KV zu verzeichnen.

Von 1,00 m bis 0,82 m u. GOF schließen sich tonige Schluffe mit einem geringen Grobanteil in Form von Fein- und Mittelgrus. Auch dieser Bereich wurde als möglicher Übergangshorizont

vom Ah- zu einem Bv-Horizont angesprochen. Oberhalb von 0,82 m bis 0,62 m u. GOF ist eine Steinlage mit weißem Material zu verzeichnen. Von 0,62 m bis 0,47 m u. GOF schließen dunkelbraune lehmige Schluffe mit einem erhöhten Anteil an organischer Substanz an. Oberhalb von 0,47 m u. GOF bis zur Geländeoberfläche ist aufgrund von KV kein Material vorhanden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich auf den ersten Blick um ein chaotisches Profil mit unterschiedlichen Lagen von rotbraunem Material und Steinschichten handelt. Trotzdem kann man verschiedene Horizonte ausmachen. So ist ein humoser Oberboden mit einem Übergang zu einem verbrauchten Horizont zu erkennen, welcher überwiegend aus tonigen Schluffen besteht. Des Weiteren lässt sich möglicherweise eine Fundschicht im Bereich des Keramikfundes ausmachen. Außerdem lässt sich im unteren Bereich eine mögliche Zersatzzone des Gesteins ausmachen.

Profilbeschreibung ARD-21:



Abbildung 13: Bohrung ARD-21, KEHL 2011

ARD-21 ist Teil des 2011 untersuchten Gebiets um die paläolithische Höhle Cueva de Ardales in Andalusien, Südspanien. Das bis 1,75 m u. GOF abgeteufte Profil steht in Verbindung mit den Bohrungen, die auf dem Eingangsvorplatz der Cueva de Ardales durchgeführt worden sind.

Von der Endteufe des Profils bei 1,75 m bis 1,70 m u. GOF zeigen sich gelbliche Sande, durchzogen von einigen Steinfragmenten. Oberhalb von 1,70 m bis 1,50 m u. GOF schließen sich lehmige bis tonige Schluffe in rotbrauner Farbe an. Das Material weist einen großen Grobanteil auf, überwiegend finden sich Mittel- bis Grobgruse und Steinfragmente. Von 1,50 m bis 1,35 m u. GOF sind rotbraune lehmige bis tonige Schluffe anzutreffen, dominiert ist der Bereich allerdings von einer dickeren Steinlage mit weißem Material. Im Bereich von 1,35 m bis 1,00 m finden sich braune bis rotbraune lehmige bis tonige Schluffe mit einem geringen

Anteil an grobem Material. Im mittleren Bereich des Abschnitts befindet sich eine Schicht mit einem hohen Grobanteil in Form von Mittel- bis Grobgrusen sowie Steinfragmenten. Auffällig ist zudem ein geringer Anteil an organischer Substanz.

Von 1,00 m bis 0,61 m u. GOF finden sich rötlichbraune Lehmschluffe mit einem hohen Anteil an feinen bis mittleren Grusen sowie Steinfragmenten. Des Weiteren lässt sich ein geringer Anteil an organischem Material ausmachen. Oberhalb von 0,61 m bis 0,27 m u. GOF schließen dunkelbraune Lehmschluffe an, durchzogen von Mittel- bis Grobgrusen und kantigen Steinfragmenten. In diesem Abschnitt ist ein hoher Anteil an organischer Substanz auszumachen. Von 0,27 m bis 0,18 m u. GOF schließt hellgraues Material mit einem sehr hohen Grobanteil in Form von feinen bis groben Grusen und Steinfragmenten. Der Bereich von 0,18 m u. GOF bis zur Geländeoberfläche ist aufgrund von KV nicht anzusprechen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich trotz des hohen Grobanteils verschiedene Bereiche des Profils ausmachen lassen. Im oberen Bereich befindet sich eine Steinschicht gefolgt von einer Schicht mit dunklem Material, welche einen hohen Anteil an organischem Material aufweist. Unter diesem Bereich findet sich ein längerer Abschnitt mit braunen bis rotbraunem Material, durchsetzt mit sehr grobanteiligen Schichten. Abgeschlossen wird das Profil von gelblichen Sanden.

Profilbeschreibung ARD-22:



Abbildung 14: Bohrung ARD-22, KEHL 2011

ARD-21 ist Teil des 2011 untersuchten Gebiets um die paläolithische Höhle Cueva de Ardales in Andalusien, Südspanien. Das bis 3,00 m u. GOF abgeteufte Profil steht in Verbindung mit den Bohrungen, die auf dem Eingangsvorplatz der Cueva de Ardales durchgeführt worden sind.

Von der Endteufe des Bohrprofils bei 3,00 m bis 2,87 m u. GOF zeigen sich überwiegend tonige Schluffe in rotbrauner Farbe und einigen Mittel- und Grobgrusen. Es fällt auf, dass ein geringer Anteil an organischer Substanz auszumachen ist. Oberhalb von 2,87 m bis 2,37 m u. GOF schließen tonige Schluffe in rötlicher Farbe mit einem sehr geringen Anteil an Grobmaterial, lediglich einige zum Teil bereits stark verwitterte Steinfragmente. Von 2,37 m bis 2,25 m u. GOF ist eine Lage mit überwiegend weißem Material anzutreffen mit einem hohen Grobanteil in Form von kantigen Steinfragmenten. Oberhalb von 2,25 m bis 2,00 m u. GOF schließt graues Material mit einem hohen Anteil von Grobmaterial an, möglicherweise handelt es sich um Nachfall.

Von 2,00 m bis 1,73 m u. GOF sind überwiegend rotbraune Lehmschluffe anzutreffen, während im oberen Bereich des Abschnitts eine geringmächtige Steinschicht mit weißem Material auszumachen ist. Oberhalb von 1,73 m bis 1,62 m u. GOF schließen sich rotbraune Lehmschluffe mit einigen Mittel und Grobgrusen an. Im Bereich von 1,62 m bis 1,47 m u. GOF befindet sich eine Schicht mit weißem Material und nahezu ausschließlich kantigen Fragmenten. Von 1,47 m bis 1,30 m schließen rotbraune Lehmschluffe mit einem geringen Anteil an Grobmaterial an. Oberhalb von 1,30 m bis 1,00 m u. GOF zeigt sich erneut graues Material mit hohem Grobanteil, möglicherweise erneut eine Schicht mit Nachfall.

Im Bereich von 1,00 m bis 0,72 m zeigen sich überwiegend kräftig gefärbte, rotbraune Lehmschluffe mit vereinzelt Mittel- und Grobgrusen, sowie einigen Steinfragmenten. In diesem Material ist außerdem ein geringer Anteil an organischer Substanz zu finden. Im unteren Bereich dieses Abschnitts ist zusätzlich eine Schicht mit gräulichem Material und einem sehr hohen Grobanteil auszumachen. Oberhalb von 0,72 m bis 0,56 m u. GOF schließt sich graubraunes Material mit einem hohen Anteil an Grobmaterial, in Form von Fein- bis Grobgrusen sowie Steinfragmenten, an. Von 0,56 m bis 0,30 m u. GOF zeigen sich dunkelbraune lehmige Schluffe mit einem erhöhten Anteil an organischer Substanz. Von 0,30 m bis 0,17 m u. GOF zeigen sich graue Lehmschluffe mit einigen Mittel- und Grobgrusen, sowie Steinfragmenten. Der Bereich von 0,17 m u. GOF bis zur Geländeoberfläche konnte aufgrund von KV nicht angesprochen werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich Strukturen von einem gewachsenen Boden erkennen lassen. Unterhalb einer steinhaltigen Schicht ist ein Bereich mit einem hohen Anteil an organischem Material zu finden. Darunter schließen hauptsächlich rotbraune, zum Teil sehr kräftig gefärbte, Lehmschluffe an. Immer wieder sind steinreiche Lagen anzutreffen,

welche zum Teil starke Verwitterungsspuren erkennen lassen. Ein Zersatzhorizont vom anstehenden Gestein ist nicht direkt zu erkennen, dafür befindet sich im letzten Teil des Profils kräftig gefärbte, dunkelbraune Tonschluffe mit einem geringen Anteil an organischem Material.

Höhlenprofile:



Abbildung 15: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 1, KEHL 2012

Tabelle 1: Profilbeschreibung aus Zone 1

Lage	Mächtigkeit (cm)	Beschreibung	Bemerkung	Sediment Probe
L1	0.5 ... 1.0	Dunkelbraune bis schwarze stalagmitische Kruste; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.
L2	10 ... 17	Rötlichbrauner schluffiger Lehm mit kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (Mittel- und Grobkies), hauptsächlich Kalkstein, teilweise durch sekundäre Carbonate verfestigt, abrupter SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke, geringe Zementierung	AD-1-11-S1
L3	0 ... 0.5	Unterbrochene dunkelbraune bis schwarze stalagmitische Kruste; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.
L4	6 ... 8	Braune Brekzie mit vielen kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (mittlere	Umlagerung durch Oberflächenabfluss	n.b.

		und kleine Kiese, einige Steine); abrupter SW	und Detritus der Höhlendecke, starke Zementierung	
L5	15 ... 20	Rötlichbrauner schluffiger Lehm mit kantigen oder teilgerundeten Steinfragmenten (Mittel- und Grobkies, Steine, Geröll), hauptsächlich Kalkstein, Achsen mit Geröllen sind 34° geneigt; klarer SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke, starke Zementierung	AD-1-11-S2
L6	13 ... 27	Brauner schluffiger Lehm mit kantigen oder teilgerundeten Steinfragmenten (Mittel- und Grobkies, Steine, Geröll), hauptsächlich Kalkstein; SW nicht freiliegend	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke, geringe Zementierung	n.b.

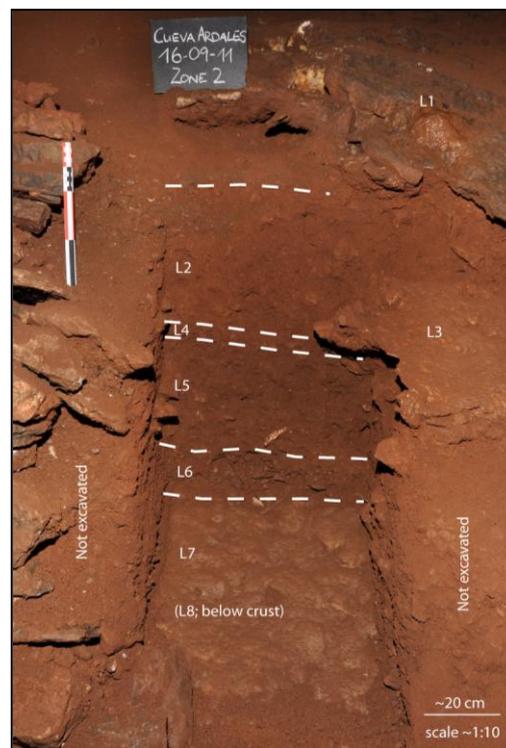


Abbildung 16: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 2, KEHL 2012

Tabelle 2: Profilbeschreibung aus Zone 2

Lage	Mächtigkeit (cm)	Beschreibung	Bemerkung	Sediment Probe
L1	0.5 ... 3	Dunkelbraune bis schwarze stalagmitische Kruste; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.

L2	15 ... 40	Rötlichbrauner Schlufflehm mit vielen kantigen, teilgerundeten und einigen gerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese), hauptsächlich Kalkstein, partiell mit Laminierung von größerem Material, viele burrows; abrupter SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Deckensturz	AD-2-11 MM1 (oben) AD-2-11 MM2a (unten)
L3	0.5 ... 2.0	Dunkelbraune bis schwarze stalagmitische Kruste; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.
L4	4 ... 6	Steinschicht aus relative gut sortierten, teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis mittlere Kiese), hauptsächlich Kalkstein, mit schlufflehmiger Matrix, wenige Steinkohlenfragmente; abrupter SW mit erosivem Kontakt	Umlagerung durch Oberflächenabfluss	n.b.
L5	30 ... 35	Dunkelbrauner sandiger Lehm mit vielen kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese, Steine, Geröll), hauptsächlich Kalkstein, höherer Anteil an organischem Material; abrupter SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Deckensturz, hoher Anteil an org Material	AD-2-11 MM2b (oben) AD-2-11 MM3/4 (unten)
L6	13 ... 18	Brauner, schluffiger Lehm dominiert von kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (mittlere bis grobe Kiese, Steine), hauptsächlich Kalkstein, der Steinanteil ist in der unteren Hälfte etwas reduziert; abrupter SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss, Deckensturz	n.b.
L7	~1 ... 3	stalagmitische Kruste; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.
L8	35 cm +	Rötlichbrauner schluffiger Lehm mit Holzkohle, SW nicht freiliegend	Undeutlich	AD-2-11-S4

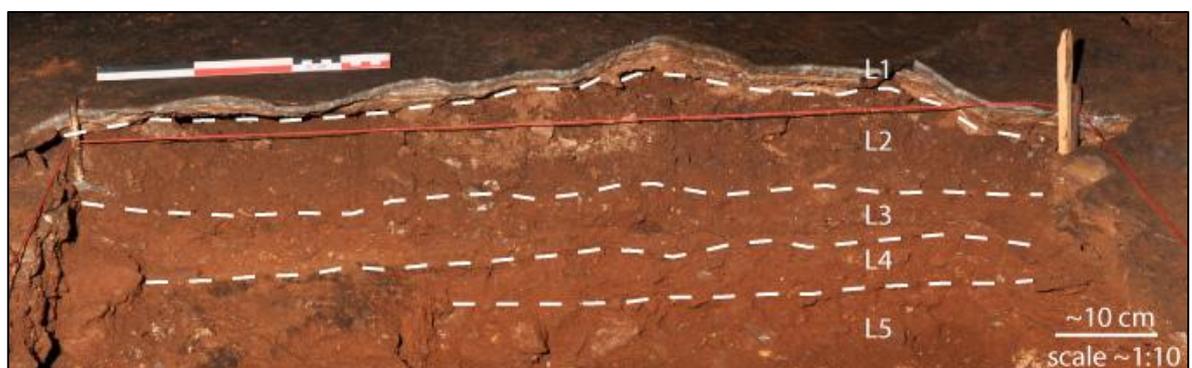


Abbildung 17: Archäologisches Grabungsprofil aus Zone 3, KEHL 2012

Tabelle 3: Profilbeschreibung aus Zone 3

Lage	Mächtigkeit (cm)	Beschreibung	Bemerkung	Sediment Probe
L1	1.0 ... 4.0	Dunkelbraune bis schwarze stalagmitische Kruste, mehrphasig; abrupter SW	Chemische Ablagerung	n.b.
L2	6 ... 10	Dunkelbrauner schluffiger Lehm mit vereinzelt kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese), hauptsächlich Kalkstein, locker geschichtet, gekörnte Struktur; gradueller SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke, vermutlich Bioturbation	AD-3-11-S1
L3	5 ... 8	Gebänderter, brauner, schluffiger Lehm mit vielen teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese) hauptsächlich Kalkstein, dicht geschichtet, einige dünne Laminierungen mit dunkelbraunem Material; gradueller SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss	AD-3-11 MM1 super
L4	5 ... 6	Homogener, brauner schluffiger Lehm mit teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese), hauptsächlich Kalkstein, dicht geschichtet, gradueller SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss	AD-3-11 S4 MM1
L5	5+	Brauner schluffiger Lehm mit vielen kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (mittlere bis grobe Kiese, Steine), hauptsächlich Kalkstein; SW nicht freiliegend	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke	n.b.

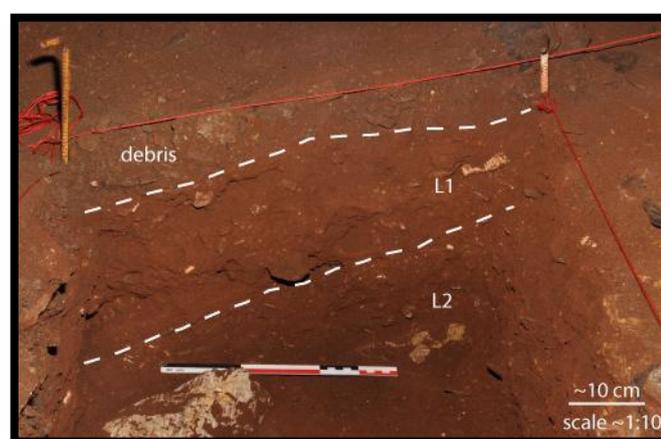


Abbildung 18: Archäologischer Grabungsschnitt aus Zone 4, KEHL 2012

Tabelle 4: Profilbeschreibung aus Zone 4

Lage	Mächtigkeit (cm)	Beschreibung	Bemerkung	Sediment Probe
L1	12 ... 20	Rotbrauner schluffiger Lehm mit vielen kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese,steine), hauptsächlich Kalkstein; abrupter SW	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke	AD-4-11-MM2a
L2	7 ... 22	Dunkelbrauner schluffiger Lehm mit mehreren kantigen und teilgerundeten Steinfragmenten (feine bis grobe Kiese), hauptsächlich Kalkstein, Steinschicht an der oberen Grenze, Übergang zum L1 in einem Winkel von ca. 22° ;SW nicht freiliegend	Umlagerung durch Oberflächenabfluss und Detritus der Höhlendecke	AD-4-11-MM2b



Abbildung 19 : AD-4-11 MM1a & MM1b, Kehl 2011

Stratigraphisch neben dem vierten Profils gelegen, wurden zusätzlich zwei Schichten beprobt. Der oberliegende gelblich schluffige Ton mit vermehrten Holzkohle-fragmenten, aus der die Probe AD-4-11 MM1a stammt, überdeckt eine Linse aus rötlichem schluffigen Lehm, aus der die Proben AD-4-11 MM1b stammt.

4.2 Analyseergebnisse

ARD-6:

Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung in einer Aufteilung nach Ton-, Sand- und Schluffgehalten (in %).

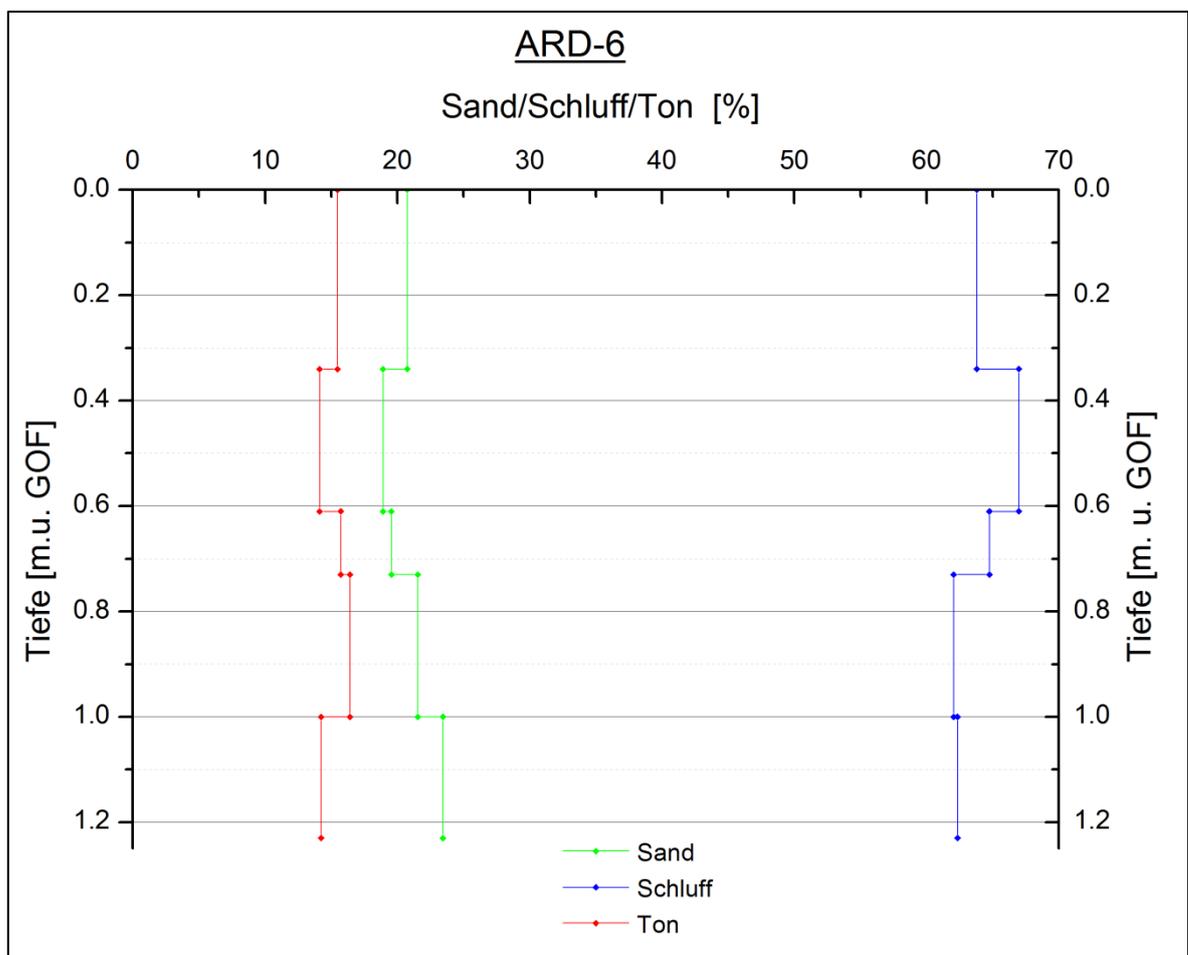


Abbildung 20: Körnungsanalyse ARD-6, eigene Darstellung

Die Ergebnisse von diesen, sowie von allen folgenden Ergebnissen sind in tabellarischer Form dem Anhang zu entnehmen. Im oberen Bereich von 0 m bis 0,34 m u. GOF, setzt sich das Sediment aus 15,47 % Ton, 20,74 % Sand und 63,78 % Schluff zusammen. Im darunter folgenden Abschnitt, von 0,34 m bis 0,61 m u. GOF sinken die Ton- (14,12 %) und Sandgehalte (18,91 %), während der Schluffanteil auf seinen maximalen Wert steigt (66,97 %). In den Bereichen von 0,61 m bis 0,73 m u. GOF sowie 0,73 m bis 1 m u. GOF steigen die Ton- (16,41 %) und Sandwerte (21,54 %) erneut, wobei Ton seinen maximalen Wert erreicht. Gleichzeitig sinken die Schluffwerte auf den Minimalwert von 62,05 %. Im letzten Abschnitt, von 1,00 m bis 1,23 m u. GOF fällt auf, dass die Ton- und Sandwerte das einzige Mal entgegengesetzt

verlaufen, der Tonanteil sinkt auf 14,24 %, während der Sandgehalt auf 23,44 % steigt. Gleichzeitig bleibt der Schluffgehalt nahezu konstant (62,32 %)

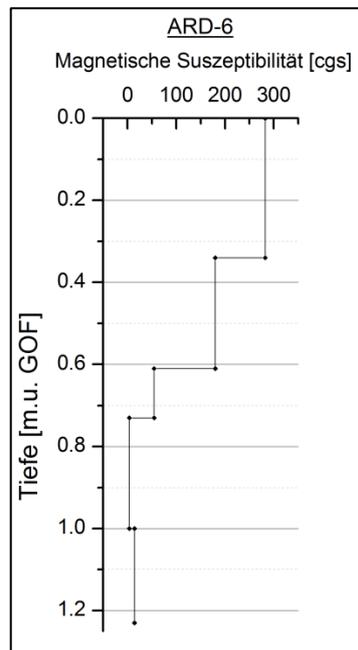


Abbildung 21: Magnetische Suszeptibilität ARD-6, eigene Darstellung

Aus der Abbildung 21 sind die Ergebnisse der Magnetischen Suszeptibilität zu entnehmen. Bereits im obersten Abschnitt des Profils erreicht die Magnetische Suszeptibilität ihren höchsten Wert von 282,33. Dieser Wert sinkt in den tiefer liegenden Sequenzen stetig, bis im Bereich von 0,73 m bis 1,00 m u. GOF der Minimalwert von 3,66 erreicht wird. Im letzten Abschnitt des Profils, von 1,00 m bis 1,23 m u. GOF, steigt die Magnetische Suszeptibilität leicht an und erreicht einen Wert von 14.

In Abbildung 22 sind die Ergebnisse der Farbbestimmung, in Form der L^* -, a^* - und b^* -Werte, aufgetragen. Es fällt auf, dass der L^* - und der b^* -Wert einen ähnlichen Kurvenverlauf aufweisen, weshalb die Kurven im Folgenden zusammen beschrieben werden können. Es zeigt sich, dass der L^* - (51,59) und der b^* -Wert (18,60) im obersten Abschnitt des Profils ihren geringsten Wert erreichen, während der a^* -Wert mit 7,06 den zweithöchsten des ganzen Profils aufweist. Dieser steigt nur noch im zweiten Abschnitt auf den maximalen Wert von 8,97 an, bis er zum Ende des Profils einen Minimalwert von 4,19 erreicht. Die Kurven von L^* und b^* steigen dagegen bis in den Bereich von 0,73 m bis 1 m u. GOF auf ihre Maximalwerte an ($L^* = 73,53$, $b^* = 29,67$), bevor der L^* -Wert im letzten Abschnitt minimal sinkt (72,18), der b^* -Wert hingegen deutlich stärker (23,87).

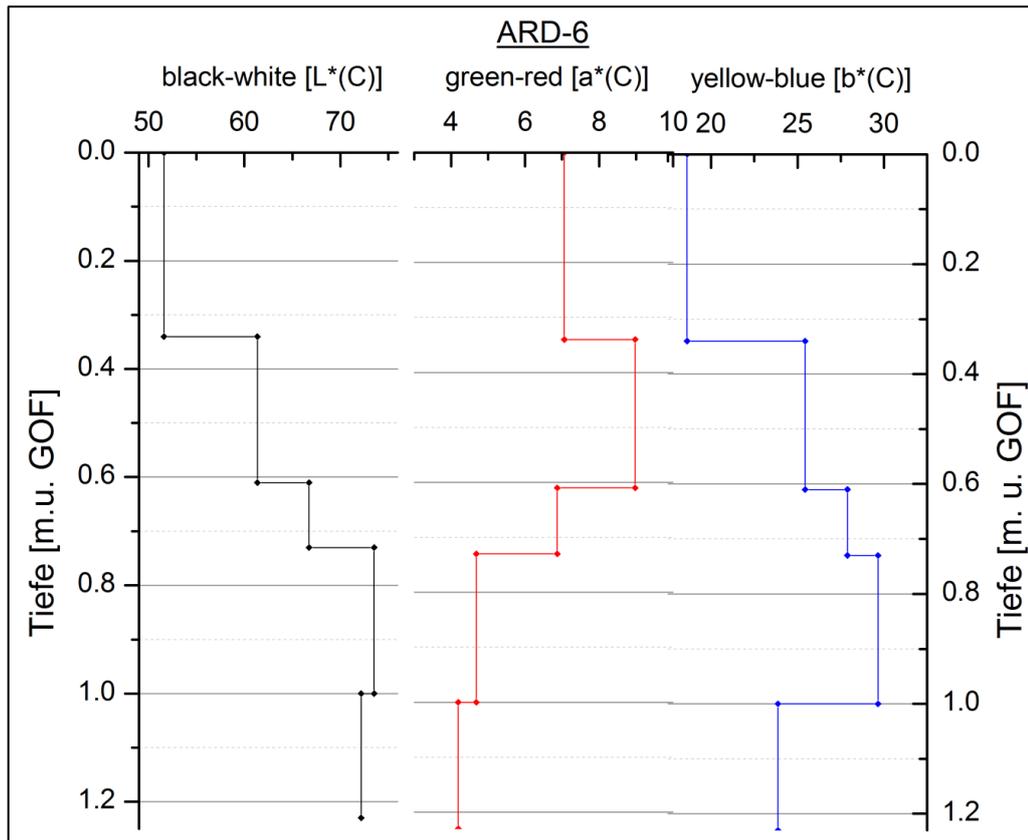


Abbildung 22: Farbanalyse ARD-6, eigene Darstellung

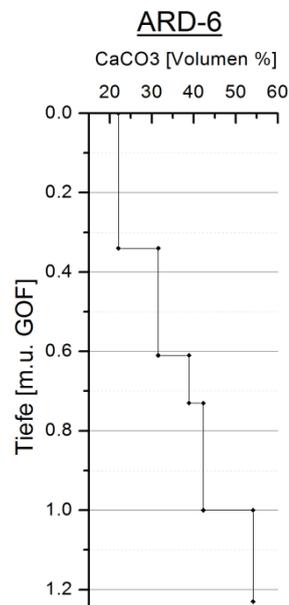


Abbildung 23: CaCo3 ARD-6, eigene Darstellung

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse der volumetrischen Bestimmung des Calciumcarbonats. Es fällt auf, dass der Wert vom oberen Bereich des Profils, wo er mit 22,02 % seinen Minimumwert erreicht, bis in den letzten Abschnitt des Profils permanent und ziemlich gleichmäßig steigt, bis zu einem Maximalwert von 54,1 %. Lediglich vom vorletzten Bereich,

0,73 m bis 1,00 m u. GOF, zum letzten Bereich, 1,00 m bis 1,23 m u. GOF, ist ein stärkerer Anstieg von knapp 12 % zu verzeichnen.

Abschließend für die Sondierung ARD-6 sind in Abbildung 24, 25 und 26 die Ergebnisse der RFA zu sehen, dabei sind die Ergebnisse von Calcium, Phosphor, Magnesium, Titan, Zirkon, Natrium, Aluminium, Eisen und Mangan aufgetragen.

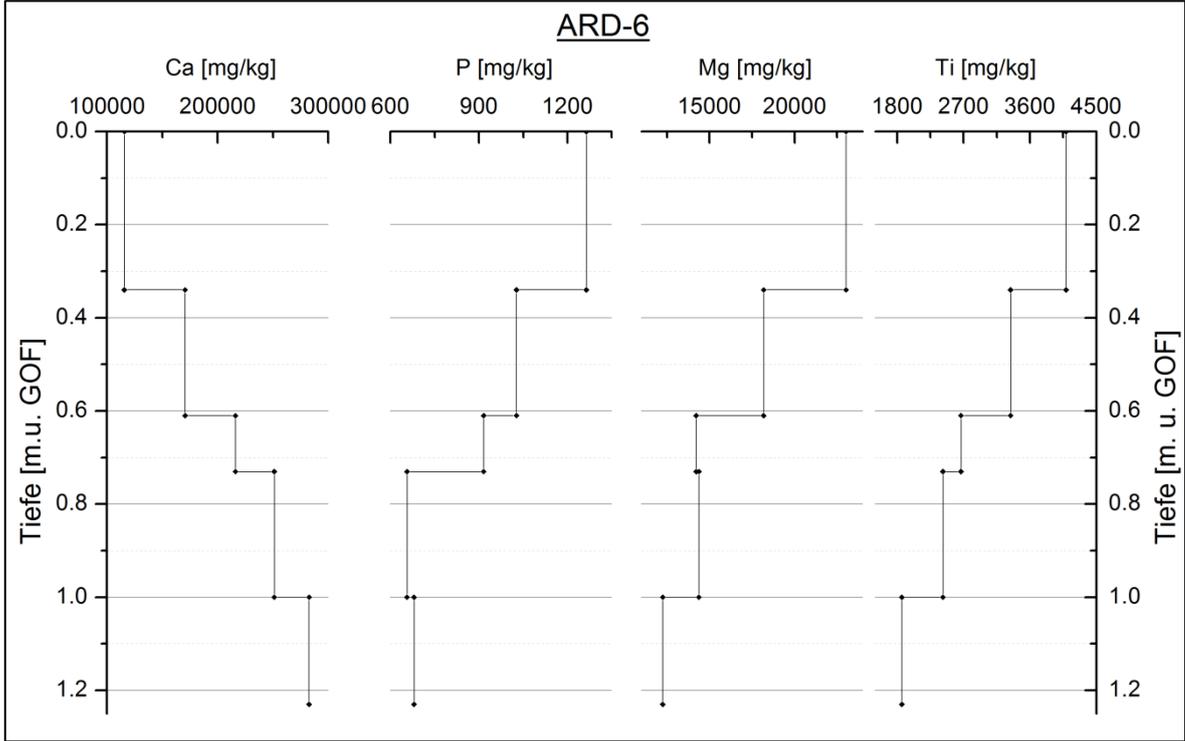


Abbildung 24 : RFA-Ergebnisse ARD-6, eigene Darstellung

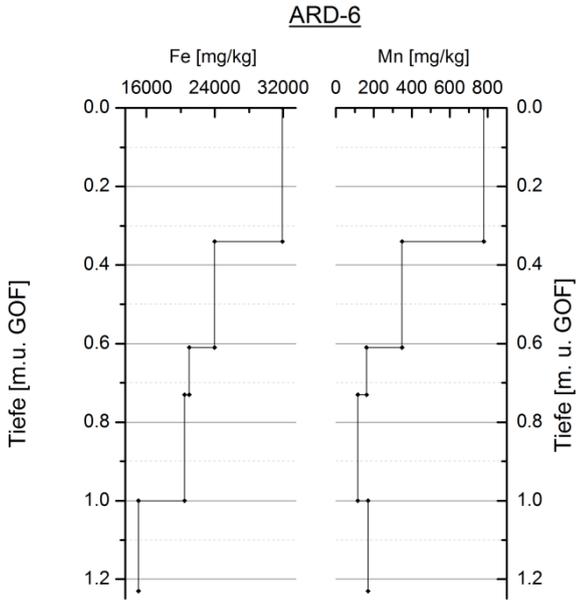


Abbildung 25: RFA-Analyse ARD-6, eigene Darstellung

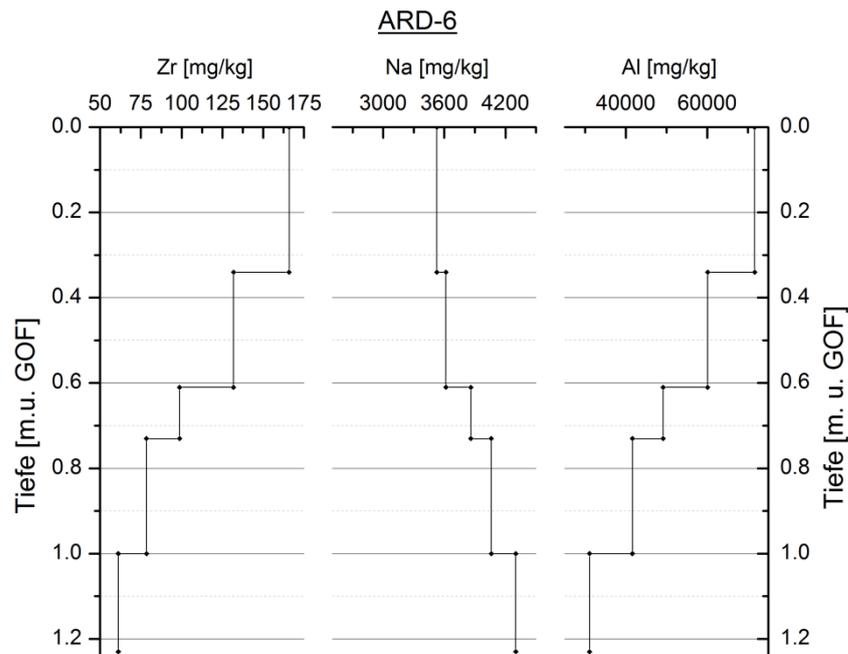


Abbildung 26: RFA-Analyse ARD-6, eigene Darstellung

Es fällt auf, dass sich tendenziell zwei verschiedene Kurvenformen zeigen, entweder gibt es einen stetigen Anstieg der jeweiligen Konzentrationen, oder einen (nahezu) kontinuierlichen Abfall der Messkonzentration. Für die erste Kurvenform lassen sich die Konzentrationen von Calcium und Natrium zusammenfassend beschreiben. Calcium weist im oberen Abschnitt des Profils eine Konzentration von 115500 mg/kg auf, welche im Folgenden kontinuierlich steigt, bis sie im letzten Abschnitt einen maximalen Wert von 282500 mg/kg erreicht. Einen ähnlichen Verlauf, allerdings mit deutlich niedrigeren Konzentrationen zeigt sich bei Natrium. Im oberen Bereich wird eine Maximalkonzentration von 3525 mg/kg erreicht, anschließend steigt der Wert stetig bis zu einem Wert von 4300 mg/kg. Den größten Anstieg erfährt Natrium dabei im vorletzten, hin zum letzten Bereich (von 4060 auf 4300 mg/kg). Für die zweite Kurvenform lassen sich Phosphor, Magnesium, Titan, Zirkon, Aluminium, Eisen und Mangan zusammenfassend beschreiben. Die Konzentrationen von Magnesium (von 23015 mg/kg im obersten, auf 12250 mg/kg im untersten Abschnitt), Titan (von 4088,5 mg/kg auf 1862 mg/kg), Zirkon (von 165,95 mg/kg auf 61,1 mg/kg), Aluminium (von 71615 mg/kg auf 31110 mg/kg) und Eisen (von 31920 mg/kg auf 15060 mg/kg) fallen mit zunehmender Tiefe. Lediglich Magnesium steigt von 0,61 m bis 0,73 m u. GOF zu 0,73 m bis 1,00 m u. GOF minimal an (von 14215 mg/kg auf 14375 mg/kg), allerdings zeigt Titan (von 2663 mg/kg auf 2419 mg/kg) und Eisen (von 20995 mg/kg auf 20450 mg/kg) auch nur minimale Konzentrationsabnahmen.

ARD-11:

Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung in einer Aufteilung nach Ton-, Sand- und Schluffgehalten (in %).

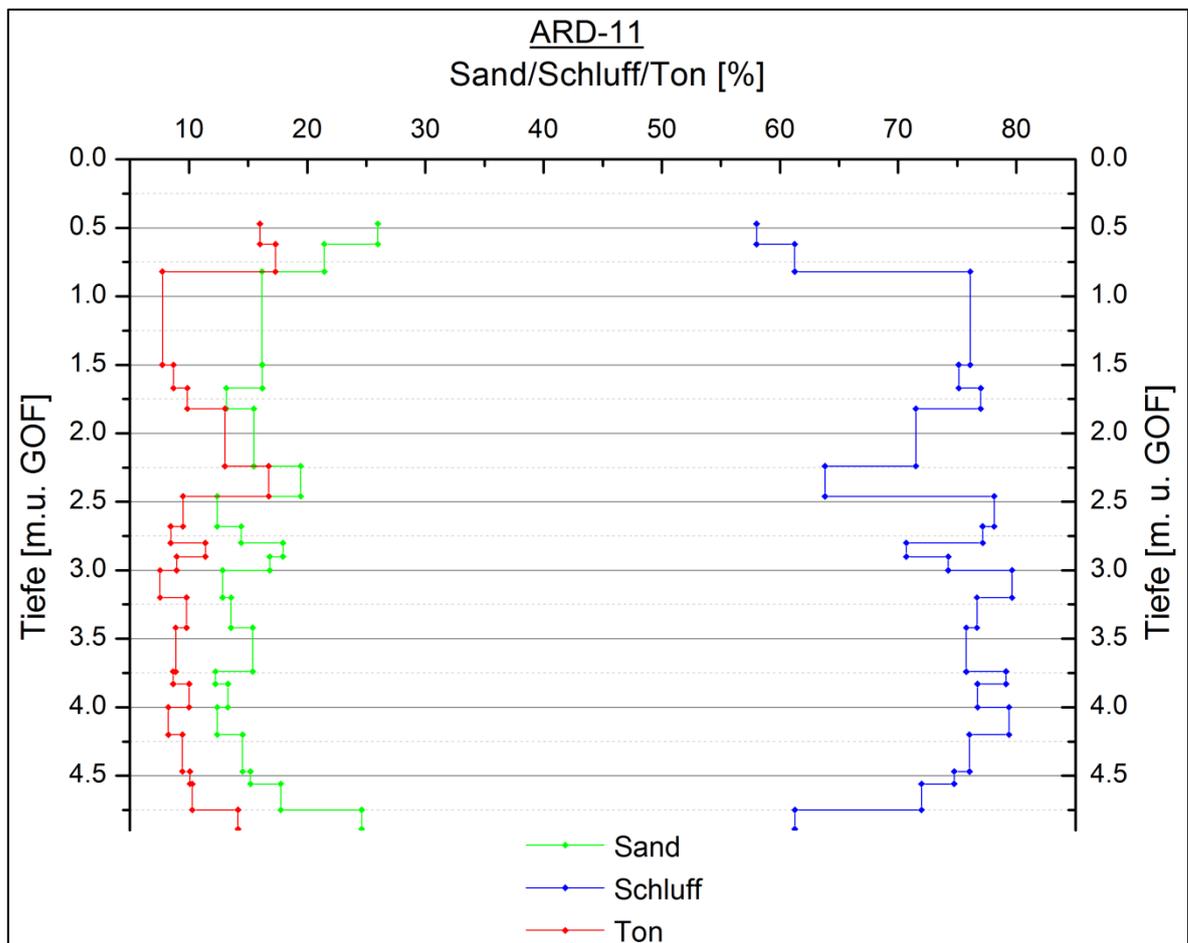


Abbildung 27: Körnungsanalyse ARD-11, eigene Darstellung

Im oberen Bereich des Profils von 0,47 m bis 0,82 m u. GOF lässt sich ein Bereich von relativ niedrigen Schluff- (zwischen 58 und 61,24 %) und dafür relativ hohen Ton- (zwischen 16 und 17,31 %) und Sandanteilen (zwischen 21,44 und 25,99 %) des Sediments ausmachen. Anschließend folgt ein Bereich, von 0,82 m bis 2,24 m u. GOF, der geprägt ist von relativ niedrigen Sandgehalten (zwischen 13,16 und 16,2 %), niedrigen aber dennoch leicht ansteigenden Tongehalten (zwischen 7,73 bis 13,03 %), sowie von relativ konstanten Schluffgehalten (zwischen 71,48 und 76,99 %). Von 2,24 m bis 2,46 m u. GOF zeigt sich ein Peak: der Ton- (16,74 %) sowie der Sandgehalt (19,45 %) erreichen ein lokales Maximum, während im Schluffgehalt (63,81 %) ein lokales Minimum erreicht wird. Anschließend,

zwischen 2,46 m bis 4,75 m u. GOF, sind erneut geringere Ton- (schwanken zwischen 8,24 und 10,27 %) und Sandanteile (schwanken zwischen 12,23 und 17,75 %) zu erkennen, bei gleichzeitig relativ konstanten Schluffanteilen (schwanken zwischen 70,68 und 79,38 %). Innerhalb dieses recht konstanten Bereichs, kann man zusätzlich einen kleinen Peak zwischen 2,80 m und 2,90 m u. GOF ausgliedern, bei dem erhöhte Ton- (11,38 %) und Sandgehalte (17,94 %), sowie leicht reduzierte Schluffgehalte (70,7 %) auszumachen sind. Im tiefsten Bereich des Profils, von 4,75 m bis 4,89 m u. GOF, steigen die Tongehalte stark (auf 14,13 %), sowie die Sandgehalte sehr stark (auf 24,6 %), während der Schluffanteil stark abfällt (auf 61,25 %)

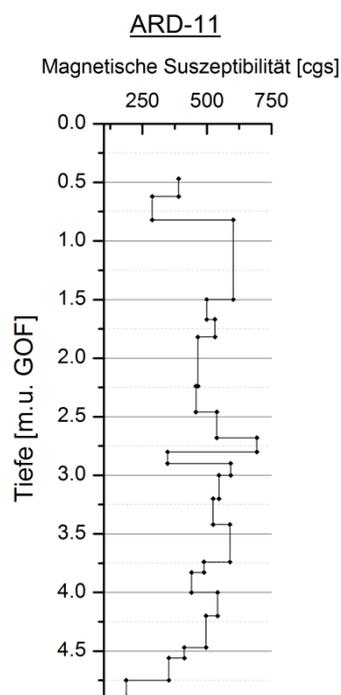


Abbildung 28: Magnetische Suszeptibilität ARD-11, eigene Darstellung

Aus der Abbildung 28 sind die Ergebnisse der Messung zur magnetischen Suszeptibilität zu entnehmen. Man kann erkennen, dass zwischen 0,47 m bis 0,82 m u. GOF eine sehr geringe Magnetische Suszeptibilität Werte erreicht wird, speziell im Bereich von 0,62 m bis 0,82 m u. GOF (287,33). Anschließend gibt es einen längeren Abschnitt, von 0,82 m bis 2,68 m u. GOF, in dem die Werte ziemlich konstant bleiben und zwischen den Werten von 499 und 601,67 pendeln. Von 2,68 m bis 2,8 m ist ein Peak zu verzeichnen, in dem mit einem Wert von 692,67 die höchste Magnetische Suszeptibilität des Profils erreicht wird. Unmittelbar darunter, von 2,80 m bis 2,90 m u. GOF, folgt ein Bereich mit einem sehr geringen Wert von 347. Den beiden Peaks folgt ein Abschnitt, zwischen 2,90 m bis 4,47 m u. GOF, in dem die Werte stärker schwanken (zwischen 440 und 591), allerdings lässt sich auch eine abnehmende

Tendenz erkennen. Im untersten Bereich des Profils, von 4,47 m bis 4,89 m u. GOF, zeigt sich ein starker Rückgang der Magnetischen Suszeptibilität, welcher mit dem niedrigsten Wert (186,33), zwischen 4,75 m und 4,89 m, endet.

In Abbildung 29 sind die Ergebnisse der Farbbestimmung, in Form der L^* -, a^* - und b^* -Werte, aufgetragen.

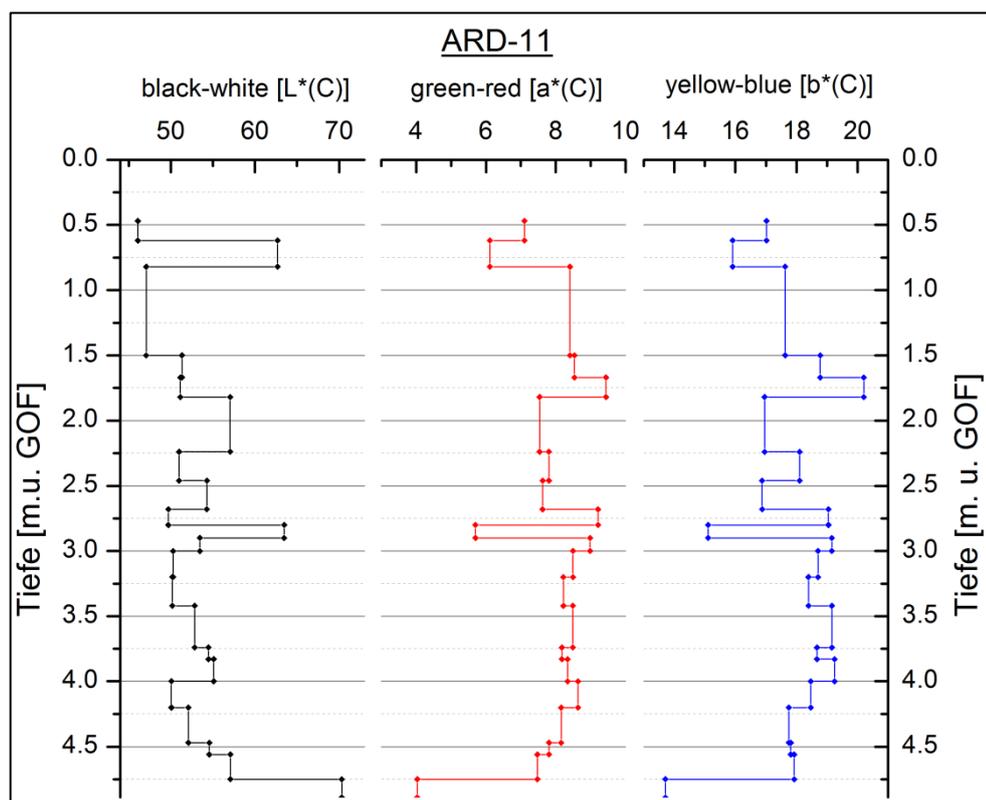


Abbildung 29: Farbwerte ARD-11, eigene Darstellung

Es fällt auf, dass die Kurven der a^* - und b^* -Werte einen ähnlichen Verlauf haben, weshalb sie im Folgenden annähernd zusammen beschrieben werden können. Im obersten Bereich des Profils, von 0,47 m bis 0,62 m u. GOF, ist mit 46,10667 der geringste L^* -Wert des gesamten Profils auszumachen, während die Werte von a^* (7,1) und b^* (17,01) zwar niedrig sind, jedoch keine extremen Minimalwerte aufweisen. Der Bereich von 0,62 m bis 0,82 m u. GOF ist ebenfalls gesondert zu betrachten. In diesem steigt der L^* -Wert auf 62,69 an, während der a^* -Wert auf 6,12 und der b^* -Wert auf 15,9 fällt. Anschließend ist ein längerer Bereich auszumachen, von 0,82 m bis 2,80 m u. GOF, in dem die die Werte relativ konstant bleiben. Die L^* -Werte zeigen insgesamt einen leichten Anstieg, allerdings sind Schwankungen festzustellen (zwischen 47,09 und 57,06). Herauszustellen ist an dieser Stelle der Bereich von 1,82 m bis 2,24 m u. GOF sein, in dem mit 57,06 ein relativ hoher Wert festzustellen ist. Bei den a^* - und b^* -Werte ist kein klarer Trend zu erkennen, dafür ein Peak im Abschnitt zwischen

1,50 m bis 1,82 m u. GOF, wo der a^* -Wert auf 9,44 und der b^* -Wert auf 20,21 steigt. Im Bereich von 2,8 m bis 2,9 m u. GOF ist ein deutlicher Peak festzustellen. Der L^* -Wert steigt auf einen relativ hohen Wert (63,47) und bildet ein lokales Maximum, gleichzeitig sinken die a^* - (5,7) und b^* -Werte (15,1) und stellen ein lokales Minimum dar. Im folgenden Abschnitt, von 2,9 m bis 4,75 m u. GOF, sind die Wert von L^* starken Schwankungen unterlegen (zwischen 50,09 und 57,08), allerdings lassen sich keine lokalen Maxima oder Minima ausmachen. Ähnlich sieht es bei a^* (zwischen 7,47 und 8,99) und b^* (zwischen 17,75 und 19,16) aus. Am Ende des Profils, von 4,75 m bis 4,89 m u. GOF, ist erneut ein deutlicher Peak zu erkennen. In diesem Bereich steigt der L^* -Wert auf seinen Maximalwert von 70,31, während die Werte von a^* , mit 4,03, und b^* , mit 13,7, ihren jeweiligen Minimalwert erreichen.

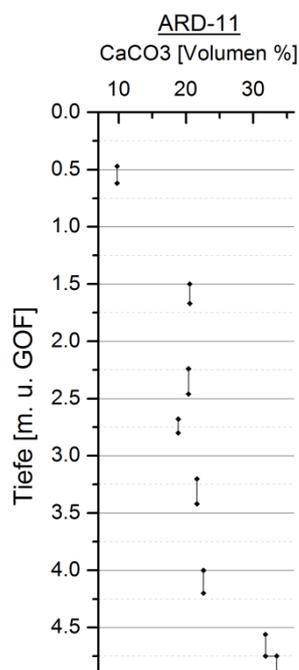


Abbildung 30: CaCo3 ARD-11, eigene Darstellung

Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der volumetrischen Bestimmung des Calciumcarbonats. Aufgrund von vielen Messlücken ist es schwierig, einzelne Bereiche hervorzuheben. Im Bereich von 0,47 m bis 0,62 m u. GOF ist ein sehr geringer CaCO_3 Wert (9,76 %) zu beobachten. Im Folgenden, bis zu einer Tiefe von 4,20 m u. GOF, zeigen die Werte kaum größere Veränderungen, sie liegen zwischen 18,82 und 22,58 %, wobei der Bereich von 2,68 m bis 2,80 m u. GOF mit 18,82 % CaCO_3 noch ein lokales Minimum darstellt. Am Ende des Profils, von 4,56 m bis 4,89 m u. GOF, zeigt sich ein deutlicher Anstieg des Calciumcarbonatgehalts, bis zu seinem Maximum von 33,45 %.

Die Ergebnisse der RFA mit den ausgewählten Werten von Calcium, Phosphor, Magnesium, Titan, Zirkon, Natrium, Aluminium, Eisen und Mangan ist in Abbildung 31, 32 und 33 dargestellt.

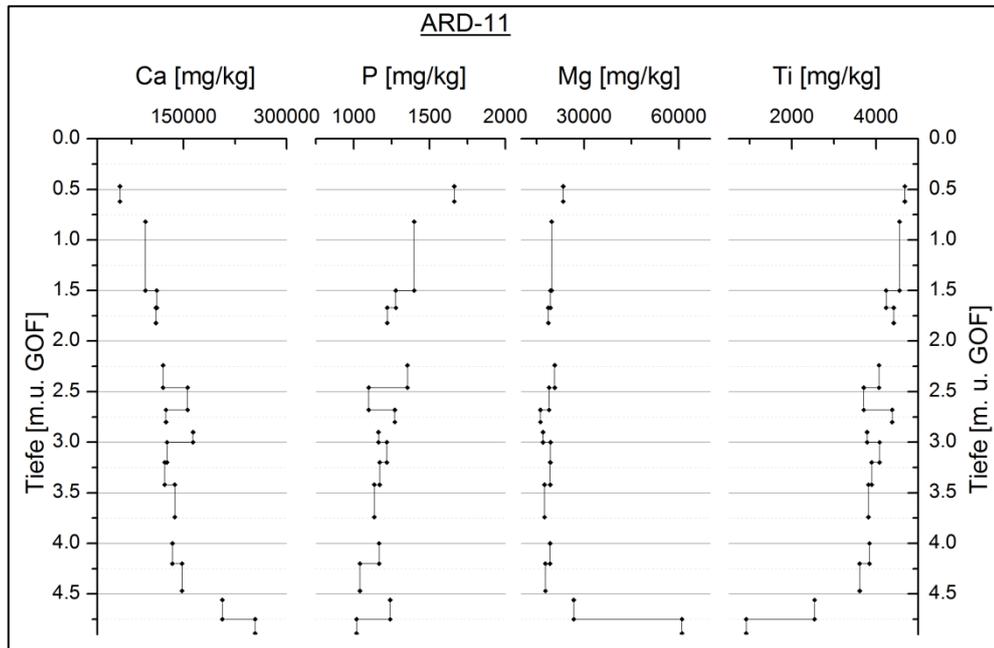


Abbildung 31: RFA-Analyse ARD-11

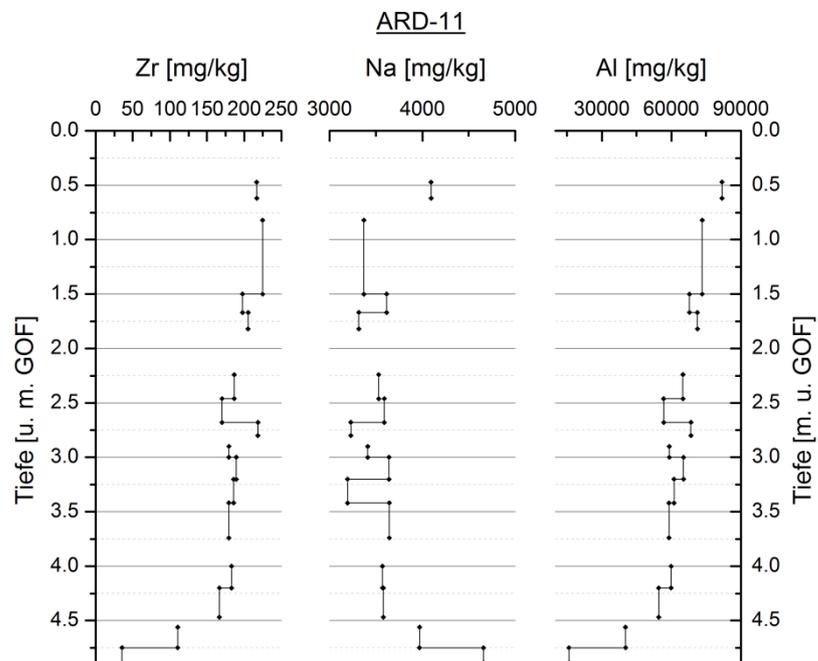


Abbildung 32: RFA-Analyse ARD-11, eigene Darstellung

Der erste Abschnitt lässt sich am Bereich von 0,47 m bis 0,62 m u. GOF ausmachen und ist geprägt von geringen Werten an Calcium (57920 mg/kg), sowie hohen Natrium- (4095

mg/kg), Titan (4683 mg/kg), Magnesium (23365 mg/kg, Phosphat (1663 mg/kg) und Aluminiumwerten (81790 mg/kg).

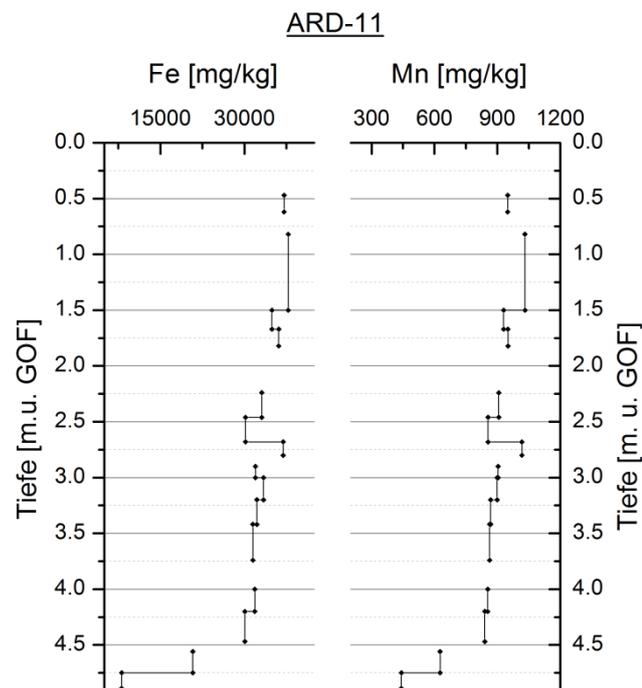


Abbildung 33: RFA-Analyse ARD-11, eigene Darstellung

Der nächste Abschnitt, von 0,82 m bis 1,67 m u. GOF ist weitgehend durch konstante Werte definiert. Allerdings lassen sich zwischen 1,50 m bis 1,67 m u. GOF beispielsweise niedrige Aluminiumkonzentrationen (67755 mg/kg) und ein erhöhter Natriumwert ausmachen. Zwischen 1,67 m und 2,46 m u. GOF zeigen sich konstante Werte. Darunter, zwischen 2,46 m und 3,00 m u. GOF zeigen sich stark schwankende Werte, lediglich Magnesium bleibt konstant. Im Bereich von 3,00 m bis 4,47 m u. GOF zeigen die Konzentrationen der chemischen Elemente kaum Veränderung. Allerdings fällt auf, dass Natrium ein lokales Minimum im Bereich zwischen (3195 mg/kg). Der letzte Bereich, von 4,56 m bis 4,89 m u. GOF, ist zeichnet sich durch den Rückgang von Titan- (915,45 mg/kg), Zirkon- (35,4 mg/kg) und Eisengehalten (8068,5 mg/kg), sowie durch Steigerung der Natrium- (4660 mg/kg), Magnesiumwerte (60985 mg/kg).

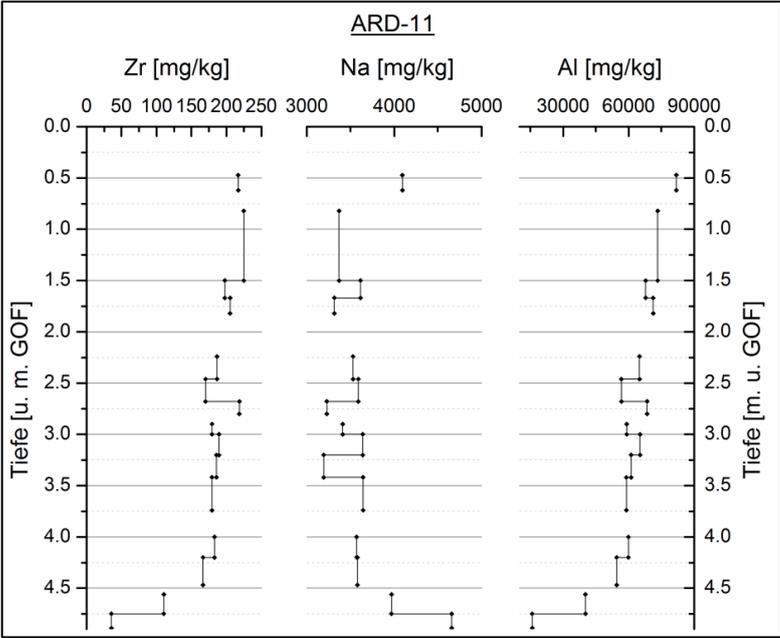


Abbildung 33: RFA-Ergebnisse ARD-11, eigene Darstellung

ARD-21

Die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung der Sondierung ARD-21 sind der Abbildung 34 zu entnehmen.

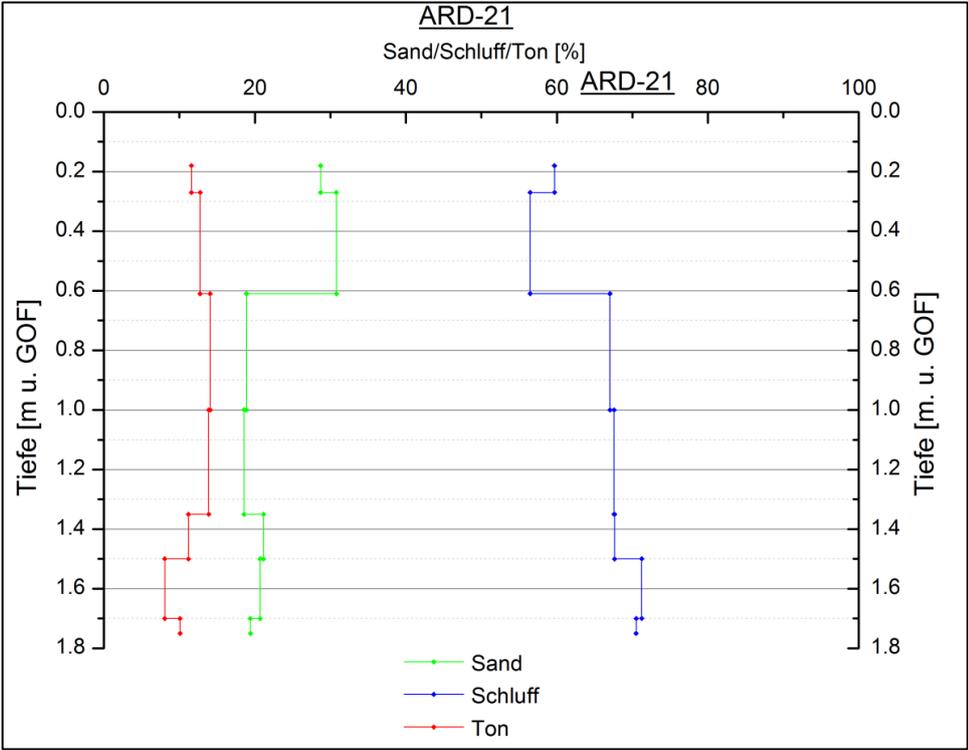


Abbildung 34: Körnungsanalyse ARD-21

Der obere Bereich des Profils, von 0,18 m bis 0,27 m u. GOF, ist zusammengesetzt aus 11,59 % Ton, 28,72 % Sand und 59,7 % Schluff. Im Bereich von 0,27 m bis 0,61 m u. GOF zeigen die Schluffgehalte ihren Minimalwert (56,47 %), während der Sandgehalt seinen Maximalwert (30,78 %) erreicht. Der Tonanteil steigt leicht auf 12,75 %. Anschließend folgt ein längerer Abschnitt, von 0,65 m bis 1,35 m u. GOF, in dem der Schluffanteil zunächst stark ansteigt (auf 67,04 %), dann jedoch nahezu konstant bleibt (steigt bis 67,57 %). Im selben Abschnitt sinkt der Sandgehalt auf 18,87 % und bleibt im weiteren Verlauf konstant (schwankt bis 18,56 %). Der Tonanteil steigt im Gegensatz zum Sand- und Schluffanteil nur leicht auf 14,08 %. Im Bereich von 1,35 m bis 1,70 m u. GOF sinkt der Tonanteil auf 8,06 %, gleichzeitig steigen die Sand- (zwischenzeitlich bis 21,14 %) und Schluffanteile (auf 71,25 %). Im letzten Bereich des Profils, von 1,70 m bis 1,75 m u. GOF können abermals kleine Veränderungen festgestellt werden. Hier steigen erneut die Tonanteile (auf 10,08 %), während die Sand- (19,40 %) und Schluffanteile (70,51) sinken.

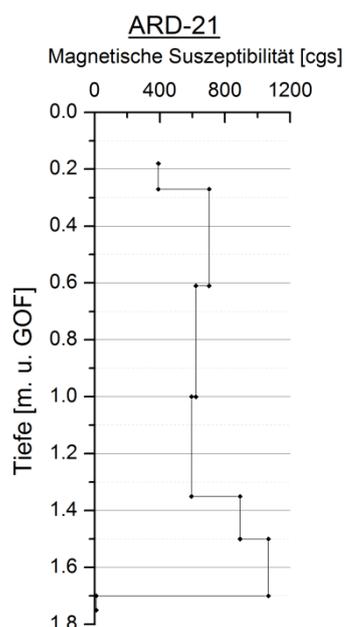


Abbildung 35: Magnetische Suszeptibilität ARD-21, eigene Darstellung

Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse der Magnetischen Suszeptibilitäts Messung an den Proben von ARD-21. Der obere Teil, von 0,18 m bis 0,27 m u. GOF beginnt mit einem verhältnismäßig niedrigen Wert von 390,67. Im Folgenden kann ein größerer Bereich ausgemacht werden, von 0,27 m bis 1,35 m u. GOF, in dem sich die Werte nicht sehr stark verändern (Schwankungen zwischen 594,33 und 702). Im Anschluss, zwischen 1,35 m und 1,70 m u. GOF steigt die Magnetische Suszeptibilität bis zu ihrem Maximalwert von 1066 an. Im untersten Bereich des

Profils sinkt der Wert sehr stark und erreicht mit 9,67 die geringsten Magnetische Suszeptibilität Wert des Profils.

Die Ergebnisse der Farbbestimmung sind der Abbildung 36 zu entnehmen. Im oberen des Profils zeigt sich eine Schicht, die durch einen relativ hohen L^* Wert gekennzeichnet ist (57,07).

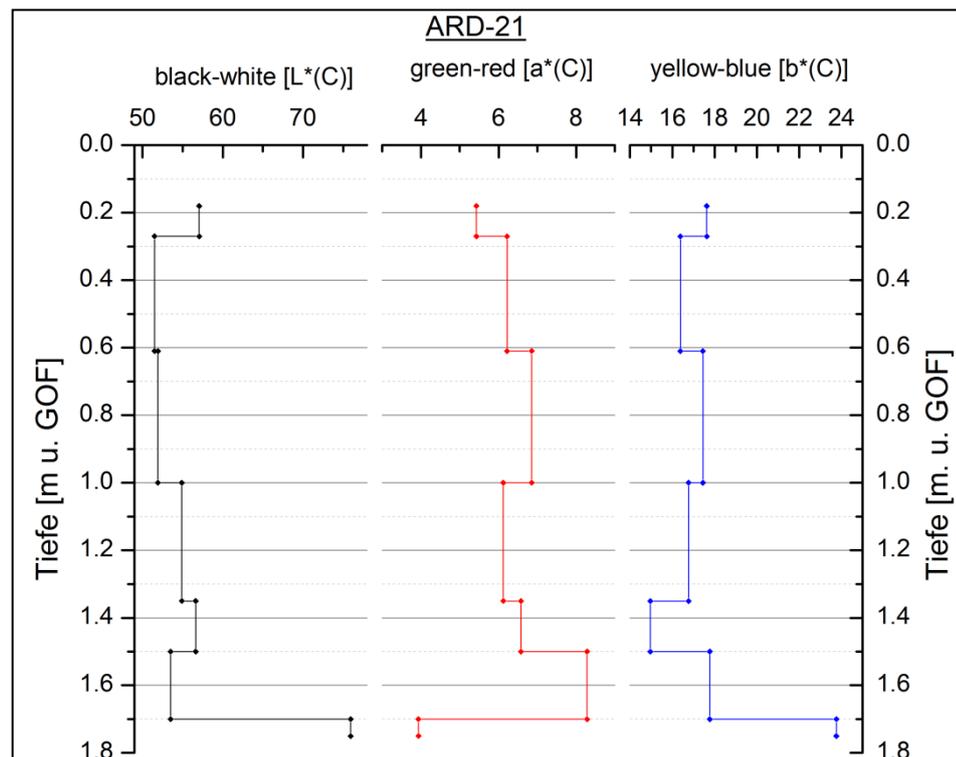


Abbildung 36: Farbanalyse ARD-21, eigene Darstellung

Mit 5,43 in diesem Bereich weist der Wert von a^* einen relativ niedrigen auf. In Relation zum Rest des Profils zeigt sich der b^* Wert mit 17,66 in einem mittleren Bereich. Im weiteren Verlauf des Profils bis zu einer Tiefe 1,70 m u. GOF sind keine größeren Veränderungen auszumachen. Der L^* -Wert schwankt im Bereich zwischen 51,5 und 56,63, die Werte von a^* zwischen 6,22 und 8,28 und die Werte von b^* zwischen 14,96 und 17,78. Aus diesem Bereich lässt sich zusätzlich der Bereich zwischen 1,35 m bis 1,5 m u. GOF ausgliedern, da dort ein lokales Maximum vom L^* -Wert (56,63) und ein lokales Minimum vom b^* -Wert (14,96) festzustellen ist. Der letzte Bereich des Profils, von 1,70 m bis 1,75 m u. GOF ist gekennzeichnet durch den Maximalwert von L^* (75,94), dem Maximalwert von b^* (23,76) sowie dem Minimalwert von a^* (3,93).

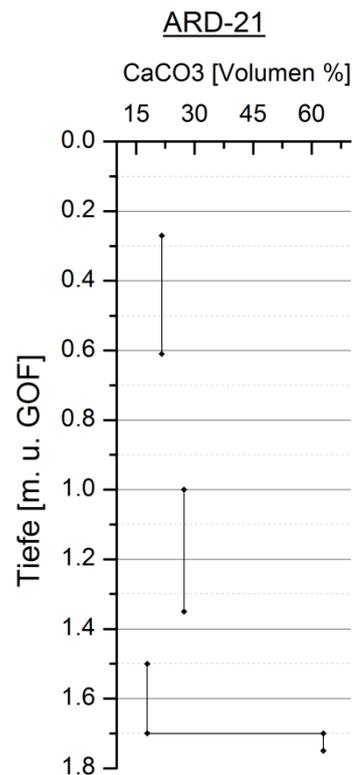


Abbildung 37: CaCO₃ ARD-21, eigene Darstellung

Die Abbildung 37 zeigt die Ergebnisse der volumetrischen Bestimmung des Calciumcarbonats. Da aufgrund von geringem Probenmaterial nicht alle Abschnitte gemessen werden konnten, ist eine Einteilung in verschiedene Bereiche schwierig. Von 0,27 m bis 1,7 m u. GOF zeigen sich nur leichte Schwankungen. Der Minimalwert liegt mit 17,25 % im Bereich von 1,00 m bis 1,35 m u. GOF. Im darunter liegenden, letzten Bereich des Profils von 1,70 m bis 1,75 m u. GOF, ist abschließend ein sehr hoher CaCO₃ Wert zu erkennen mit 62,95 % (Maximalwert).

ARD-22:

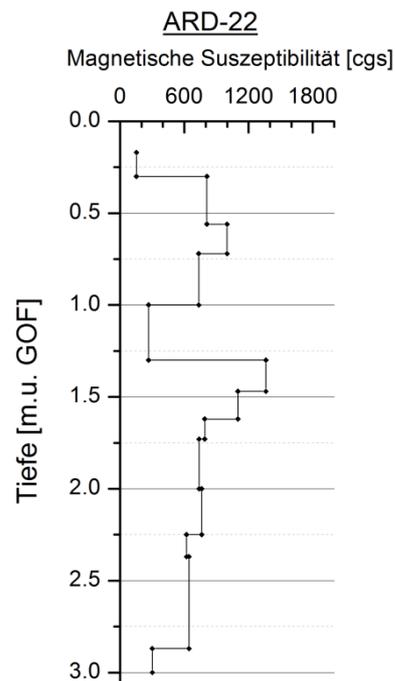


Abbildung 38: Magnetische Suszeptibilität ARD-22, eigene Darstellung

In Abbildung 38 sind die Ergebnisse der Messung der Magnetischen Suszeptibilität aufgetragen. Im oberen Bereich des Profils, von 0,17 m bis 0,30 m u. GOF, zeigt sich mit 154,67 der Minimalwert. Darunter lässt sich ein Bereich von 0,30 m bis 1,00 m u. GOF ausmachen, in dem die Werte konstant sind (zwischen 811 und 735,67). Es ist allerdings auch ein Ausreißer im Bereich von 0,56 m bis 0,72 m u. GOF auszumachen, indem der Wert auf 998,67 ansteigt. Unterhalb, von 1,00 m bis 1,30 m u. GOF, fällt der Wert zunächst auf 266,67 ab, bevor er im Bereich von 1,30 m bis 1,47 m u. GOF den Maximalwert von 1362 erreicht. Von 1,47 m bis 1,62 m u. GOF fällt der Wert der Magnetischen Suszeptibilität auf 791,67. Im Anschluss, von 1,62 m bis 2,87 m u. GOF ist der Wert nur geringen Schwankungen unterlegen (zwischen 644,67 und 739). Der letzte Bereich des Profils, von 2,87 m bis 3,00 m u. GOF zeigt eine Abnahme der Magnetischen Suszeptibilität auf 302,33.

Die Ergebnisse der Farbbestimmung sind in der Abbildung 39 dargestellt.

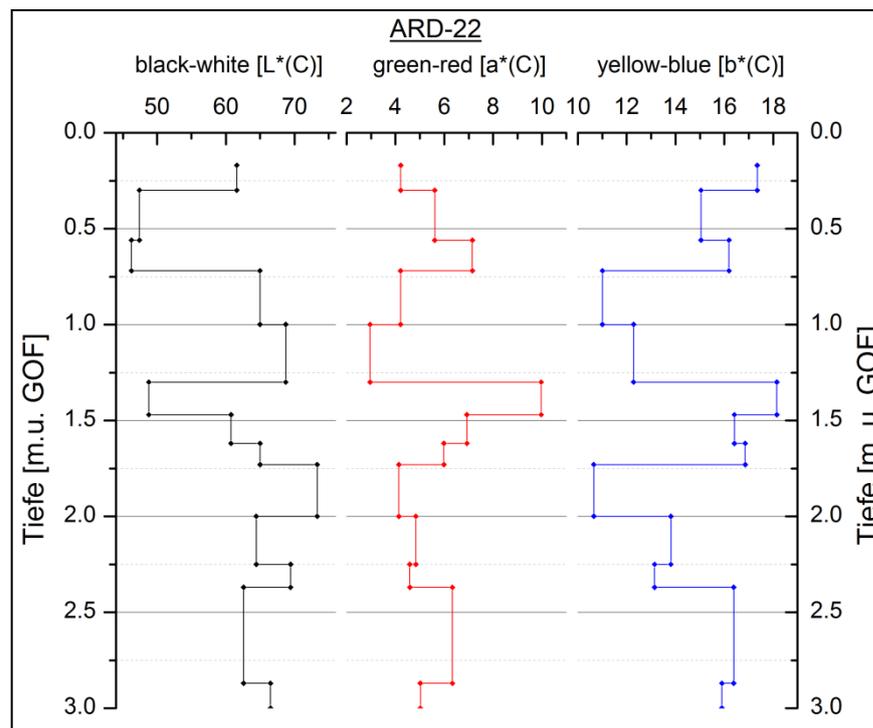


Abbildung 39: Farbanalyse ARD-22, eigene Darstellung

Im oberen Bereich des Profils, von 0,17 m bis 0,30 m u. GOF, zeigen sich mittlere Werte von L^* (61,58), sowie geringe Werte von a^* (4,21) und hohe Werte von b^* (17,35). Anschließend ist ein Bereich abzugrenzen, von 0,3 m bis 0,72 m u. GOF, in dem die Werte von L^* (zwischen 47,4 und 46,25) und b^* (zwischen 15,04 und 16,19) relativ konstant sind. Von 0,72 m bis 1,30 m u. GOF zeigt sich ein Abschnitt, mit hohen L^* - (bis zu 68,72), bei gleichzeitig niedrigen a^* - (runter bis zu 2,96) und b^* -Werten (runter bis zu 11,01). Der gegensätzliche Trend zeigt sich im Bereich von 1,30 m bis 1,47 m u. GOF, wo ein niedriger L^* - (48,8) bei gleichzeitig hohen a^* - (9,97) und b^* -Werten (18,16). Unterhalb, von 1,47 m bis 2,87 m u. GOF, zeigen sich annähernd stabile Werte, welche jedoch starke Abweichungen aufweisen. Hervorzuheben ist der Bereich von 1,73 m bis 2,00 m u. GOF, wo der Maximalwert von L^* (73,31) erreicht wird, während der b^* -Wert (10,65) dort seinen Minimalwert erreicht. Im untersten Bereich, von 2,87 m bis 3,00 m, sind erhöhte Werte von L^* (66,51) zu erkennen, während die Werte von a^* (5,02) von b^* (15,9) leicht gesunken sind.

Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse mit den ausgewählten Werten von Calcium, Phosphor, Magnesium, Titan, Zirkon, Natrium, Aluminium, Eisen und Mangan sind in Abbildung 40, 41 und 42 dargestellt.

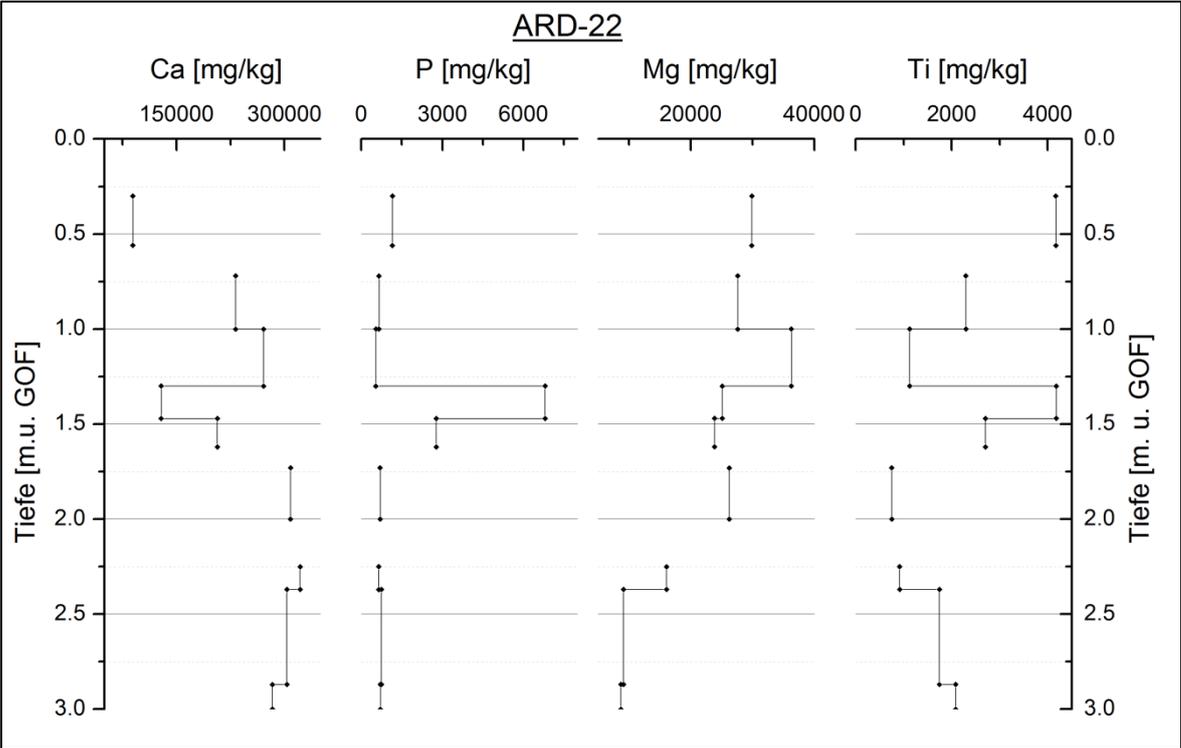


Abbildung 40: RFA-Ergebnisse ARD-22, eigene Darstellung

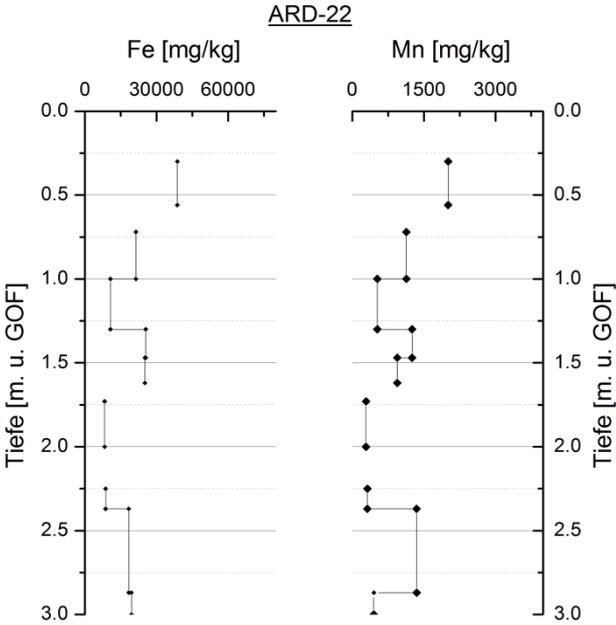


Abbildung 41: RFA-Analyse ARD-22, eigene Darstellung

Im oberen Bereich, von 0,30 m bis 0,56 m u. GOF, zeigen sich hohe Aluminium- (71845 mg/kg), Eisen- (38720 mg/kg), Titankonzentrationen (4168,5 mg/kg), bei gleichzeitig geringen Werten an Calcium (89375 mg/kg) und Natrium (3485 mg/kg). Bis zum Ende des Profils bei 3,00 m u. GOF bleiben die Werte relativ konstant. Es gibt jedoch einen Bereich, von 1,30 m bis 1,47 m u. GOF, der gesondert betrachtet werden muss. Hier zeigen sich extrem hohe

Phosphor- (6804,5 mg/kg), Titan- (41775 mg/kg), Aluminium- (96500 mg/kg) und Natriumwerte (6495 mg/kg), bei geringen Werten an (128800 mg/kg).

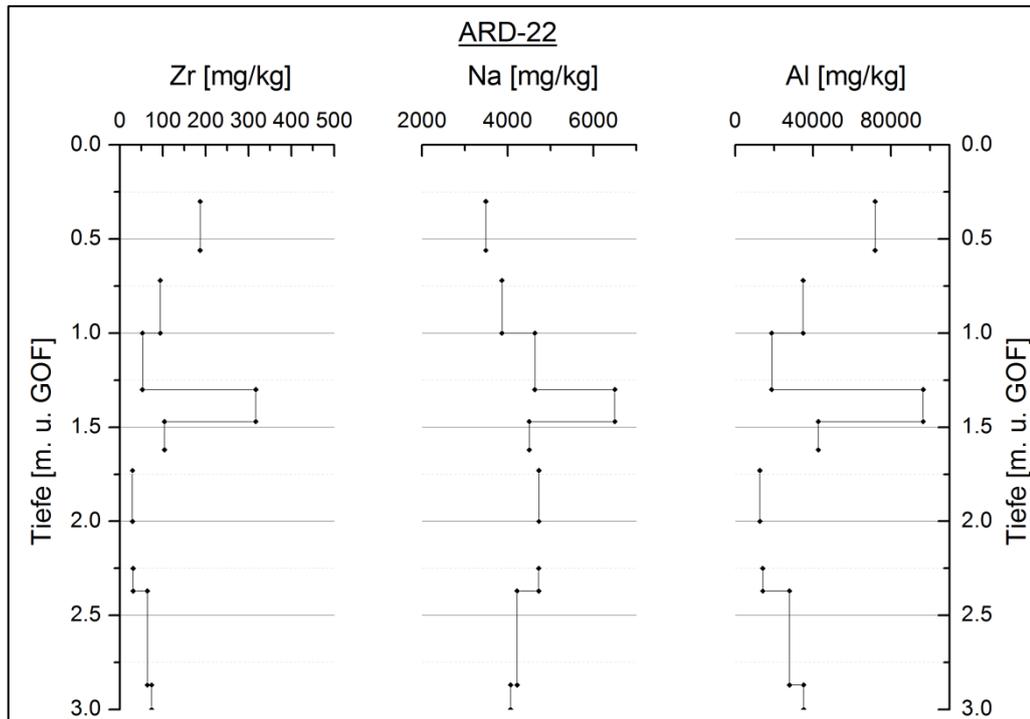


Abbildung 42: RFA-Ergebnisse ARD-22, eigene Darstellung

Höhlenergebnisse:

Nachfolgend werden die Laborergebnisse der Höhlensedimente tabellarisch dargestellt.

Tabelle 5: Korngrößenverteilung und Magnetische Suszeptibilität der Höhlensedimente

	Korngrößenverteilung			Magnetische Suszeptibilität
	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	[cgs]
AD-1-11-S1	21.19	58.974	19.837	940
AD-1-11-S2	18.623	66.559	14.818	942.33333
AD-2-11 MM1 (oben)	17.539	63.735	18.726	873
AD-2-11 MM2a (unten)	19.691	66.41	13.899	990
AD-2-11 MM2b (oben)	27.886	56.865	15.249	821.66667
AD-2-11 MM3/4 (unten)	17.827	62.935	19.238	1001
AD-2-11-S4	21.002	60.657	18.34	865
AD-3-11-S1	20.742	71.673	7.585	672.66667
AD-3-11 MM1 super	22.131	69.087	8.781	964.66667
AD-3-11 S4 MM1	18.68	73.186	8.134	905
AD-4-11-MM2a	24.879	70.723	4.398	127.66667
AD-4-11-MM2b	20.288	67.562	12.151	597.66667
AD-4-11 MM1a	19.271	71.158	9.571	973
AD-4-11 MM1b	19.683	71.181	9.136	857

Tabelle 6: Ergebnisse der Farbbestimmung der Höhlensedimente

	Farbbestimmung		
	black-white [L*(C)]	green-red [a*(C)]	yellow-blue [b*(C)]
AD-1-11-S1	47.38	8.69667	19.20333
AD-1-11-S2	46.65667	8.38667	18.66333
AD-2-11 MM1 (oben)	47.33667	10.34	20.17
AD-2-11 MM2a (unten)	45.69667	8.36	18.32333
AD-2-11 MM2b (oben)	45.22	8.47667	18.01333
AD-2-11 MM3/4 (unten)	45.17	8.11333	17.99
AD-2-11-S4	46.58667	8.09667	18.53333
AD-3-11-S1	45.95333	6.84333	15.94667
AD-3-11 MM1 super	46.1	8.07333	17.67333
AD-3-11 S4 MM1	46.18667	8.69	17.96333
AD-4-11-MM2a	59.71	4.58333	22.13
AD-4-11-MM2b	49.01667	8.77667	19.40333
AD-4-11 MM1a	44.86333	8.80667	17.99667
AD-4-11 MM1b	44.77333	8.73667	17.72667

Tabelle 7: RFA-Ergebnisse der Höhlensedimente

	Röntgenfluoreszenzanalyse		
	P [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]
AD-1-11-S1	n.b.	n.b.	n.b.
AD-1-11-S2	n.b.	n.b.	n.b.
AD-2-11 MM1 (oben)	1591	75425	47645
AD-2-11 MM2a (unten)	1662,5	76320	47645
AD-2-11 MM2b (oben)	1662.5	2207	45430
AD-2-11 MM3/4 (unten)	1787	3096.5	48305
AD-2-11-S4	2264,5	62200	49555
AD-3-11-S1	n.b.	n.b.	n.b.
AD-3-11 MM1 super	17800	3809.5	48645
AD-3-11 S4 MM1	14380	3642.5	47050
AD-4-11-MM2a	3316	1255	38130
AD-4-11-MM2b	35522	1568.85	23165
AD-4-11 MM1a	8219.5	3145.5	46705
AD-4-11 MM1b	8289	3161.5	45915

5. Diskussion

In der folgenden Diskussion soll versucht werden, die Ergebnisse der verschiedenen sedimentologischen Untersuchungen in sinnvolle, stratigraphische Einheiten einzuteilen und Rückschlüsse auf mögliche Prozesse innerhalb einer solchen stratigraphischen Einheit ziehen zu können. Zu diesem Zweck werden die Profile zunächst isoliert betrachtet, um sie später miteinander vergleichen zu können. Im Anschluss an die Diskussion der Sondierungen, folgt eine kurze Diskussion zu den Ergebnissen aus den Höhlensedimenten.

ARD-6:

Bei Betrachtung der Ergebnisse kann man feststellen, dass sich klare, fast lineare Entwicklungen in den meisten Werten abzeichnen. Im oberen Bereich, angefangen bei der Geländeoberfläche bis in eine Tiefe von 0,34 m u. GOF, zeigt sich sehr dunkles Material mit einer hohen Magnetischen Suszeptibilität und einem geringen CaCO_3 -Gehalt. Die Beschreibungen aus der Geländeansprache zeigen, dass in diesem Bereich einen hoher Anteil an organischem Material vorliegt. Der niedrigste Wert an CaCO_3 zeigt vermutlich, dass es der am stärksten verwitterte Bereich des Profils ist, da Calcite durch Wasser gelöst und ausgewaschen wurden. Gleichzeitig spricht die hohe Magnetische Suszeptibilität für einen hohen Anteil an Eisenoxiden, die in Folge der chemischen Verwitterung von primären Silikaten entstehen. Dies kann auch die hohen Werte der von Mangan, Aluminium und Titan erklären, die potentiell zur Bildung von pedogenen Oxiden zur Verfügung stehen (KUNTZ 1994: 99). All diese Faktoren sprechen dafür, dass dieser Abschnitt einen humusangereicherten Ah-Horizont darstellt.

Von 0,34 m bis 0,61 m u. GOF wird das Sediment heller und rötlicher, während die Magnetische Suszeptibilität leicht sinkt und der CaCO_3 -Anteil leicht steigt. Ein abnehmender Trend zeigt sich auch bei den chemischen Elementen. Dies zeigt möglicherweise, dass die Verwitterung in diesem Bereich noch nicht so stark ausgeprägt ist, wie in dem Ah-Horizont. Dafür spricht auch der leichte Anstieg an Natrium, da Natrium in erster Linie in Feldspaten gebunden ist, die bei der Silikatverwitterung umgewandelt werden. Die stärkere rötliche Färbung könnte an einem erhöhten Anteil an Eisenoxiden liegen. Die vorliegenden Interpretationen können darauf schließen lassen, dass es sich um einen verbraunten Bh-Horizont handelt.

Der nächste Abschnitt, von 0,61 m bis 0,73 m u. GOF, zeigt erneut sinkende Werte der Magnetischen Suszeptibilität und den Elementen, die bei der primären Silikatverwitterung

entstehen. Es hat den Anschein, als könne der Trend, der eine nach unten abnehmende Intensität der Verwitterung beschreibt, bestätigt werden. Die gelblichbraune Farbe lässt möglicherweise auf einen geringeren Anteil an Eisenoxiden schließen, es könnten aber auch andere Eisenoxide als in den stärker verbrauchten Lagen vorhanden sein (vermutlich anstatt des ziegelroten Hämatit [α -Fe₂O₃] nun vorwiegend gelbbrauner Goethit [α -FeOOH]). Möglicherweise handelt es sich in diesem Abschnitt um einen Übergangsbereich von einem Bv- zu einem Cv-Horizont.

Von 0,73 m bis 1 m u. GOF setzt sich der oben beschriebene Trend einer abnehmenden Verwitterungsintensität fort. Das Material ist sehr hell, außerdem ist die Magnetische Suszeptibilität Wert fast bei 0, demnach sind in diesem Abschnitt kaum noch Eisenoxide vorzufinden. Trotzdem sind in diesem Bereich noch geringe Gehalte an potentiellen pedogenen Oxiden vorzufinden. Dies könnte daran liegen, dass in diesem Bereich kaum O₂ zur Reduktion vorhanden ist. Man könnte vermuten, dass sich diese Schicht bereits im Horizont des anstehenden Gesteins befindet, also im C-Horizont befindet.

Der letzte Abschnitt des Profils fällt durch seinen extrem hohen Gehalt an CaCO₃ auf, was in Kombination mit der hellen Farbe und den erhöhten Anteil an kantigen Steinen auf einen Zersatzhorizont des anstehenden Gesteins deutet. Diese Einschätzung ging bereits aus der Geländeansprache hervor. Weitere Indizien ist der hohe Gehalt an Natrium, sowie die geringen Gehalte an Magnesium, Titan, Zirkon, Aluminium, Eisen und Mangan aus den oben genannten Gründen.

Zusammenfassend lässt sich über das Bohrprofil ARD-6 sagen, dass sich anhand der Ergebnisse der Labor- und Geländemethoden Strukturen eines gewachsenen Bodens erkennen lassen. Im oberen Bereich zeigt sich ein humosen Ah-Horizont, gefolgt von einem verbrauchten Bv-Horizont. Es schließt sich ein Übergang zu einem teilweise verbrauchten Cv-Horizont an und endet im Ausgangsgestein im C-Horizont. Zu sehen ist die Einteilung in Abbildung 43.

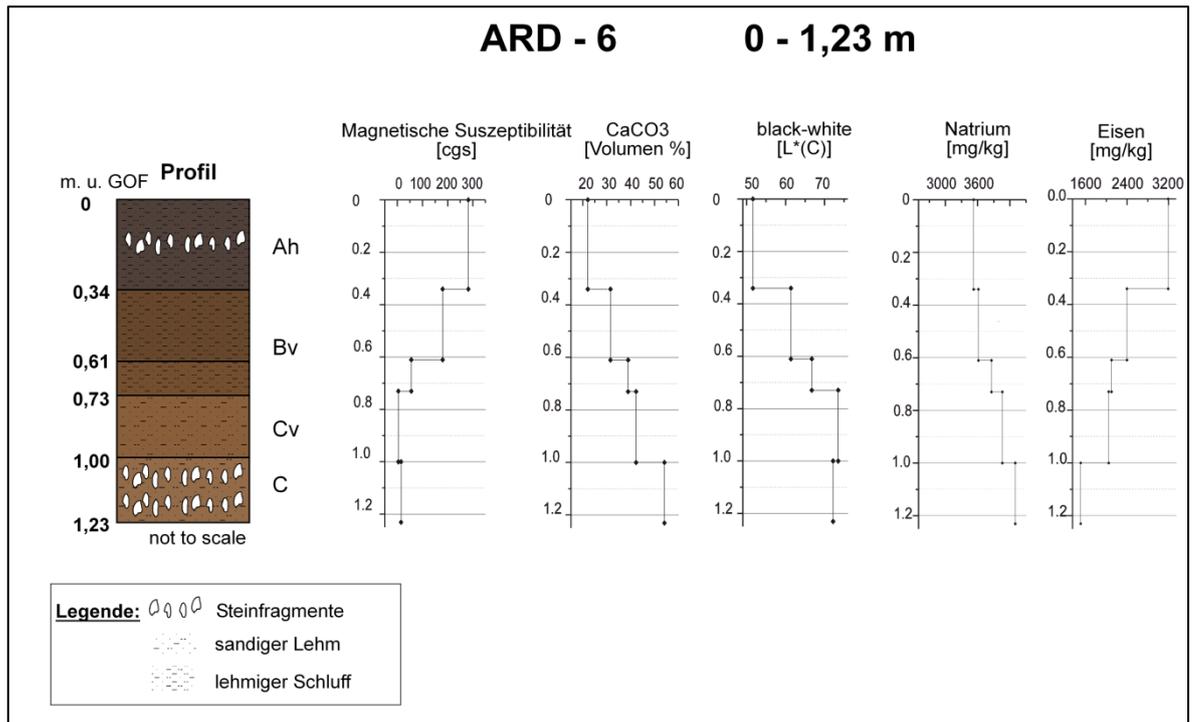


Abbildung 43: Profilzeichnung und ausgewählte Ergebnisse ARD-6, eigene Darstellung

ARD-11:

Die Ergebnisse des Bohrprofil ARD-11 zeigen auf den ersten Blick keine klar gegliederten Bereiche. Insgesamt kann man das Profil als gestört ansprechen. Allerdings lassen sich anhand von verschiedenen Peaks einzelnen Bereiche ausgliedern, denen eine nähere Betrachtung folgt.

Im oberen Bereich, von 0,46 m bis 0,62 m u. GOF, zeigt sich eine Schicht mit einer dunklen Farbe, einem sehr geringen Anteil an Calciumcarbonat sowie hohe Gehalte an Phosphat. Aus der Geländeansprache ergibt sich zudem ein hoher Humusgehalt. Anhand von diesen Faktoren kann man davon ausgehen, dass dieser Bereich einen humusangereicherter Ah-Horizont darstellt.

Im Abschnitt von 0,62 m bis 0,82 m u. GOF zeigt sich der erste Peak, sowohl im erhöhten L* Wert, als auch in der geringeren Magnetischen Suszeptibilität. Die Korngrößenverteilung verändert sich dagegen nicht sonderlich. Leider fallen in diesen Bereich Datenlücken der RFA und der Bestimmung des Calciumcarbonatgehalts. Die Ergebnisse der Geländeansprache zeigen, dass sich in diesem Bereich eine Steinlage befindet. Dies zeigt sich auch in den Laborergebnissen. Die helle Farbe stammt vermutlich von kleinen Absplitterungen des

Kalksteins, sowie den zum Teil bereits verwitterten Gesteinen. Einen geringen Verwitterungsgrad lässt sich auch anhand der Magnetischen Suszeptibilität vermuten, die zwar geringe, aber keine Minimalwerte aufweisen.

Unterhalb, von 0,82 m bis 2,68 m u. GOF, folgt ein längerer Bereich, der bis auf einen schmalen Abschnitt bei 1,5 bis 1,67 m u. GOF keine deutlichen Peaks in den Ergebnissen aufweist. Geprägt ist das Material in diesem Bereich durch leicht sinkende Werte der potentiellen pedogenen Oxide, einen leichten Anstieg an Calcium, sowie schwankender Magnetischer Suszeptibilität und Farbwerte. Die Korngröße hat im Vergleich zum Ah-Horizont geringere Ton- und höhere Schluffwerte. Die Peaks, die bei 1,5 m bis 1,67 m u. GOF auffallen, sind überwiegend in den Werten der RFA zu erkennen. Durch die Heterogenität des Materials ist es zudem schwierig auf mögliche Prozesse im Einzelnen einzugehen.

Ein weiterer Bereich lässt sich von 2,68 m bis 2,90 m u. GOF unterteilen. In diesem Bereich herrscht eine große Spannbreite zwischen den einzelnen Messergebnissen, die sich jedoch in verschiedenen Peaks widerspiegeln. Im Bereich von 2,68 m bis 2,80 m u. GOF liegt ein sehr hoher Wert in der Magnetischen Suszeptibilität vor, ein niedriger L*-Wert, also eine dunkle Farbe des Sediments, ein für das Profil relativ geringer Wert an CaCO₃, sowie erhöhte Werte an Zirkon, Aluminium, Eisen und Mangan. Diese Charakteristika könnten als Beleg für eine frühere Oberfläche in diesem Bereich interpretiert werden, da die angesprochenen Elementkonzentrationen unter anderem durch primäre Silikatverwitterung entstehen und durch Sauerstoff zu pedogenen Oxiden oxidiert werden können. Dabei würden auch Eisenoxide entstehen, welche die dunkle Sedimentfarbe und den hohen Wert an magnetischer Suszeptibilität erklären könnten. Die Schicht darunter, von 2,8 m bis 2,9 m u. GOF, ist gekennzeichnet von einer sehr geringen Magnetischen Suszeptibilität und einem sehr hohen L*-Wert. Andere Werte liegen leider nicht vor. Die Geländeansprache zeigt jedoch zusätzlich, dass sich in diesem Bereich eine Steinlage befindet, wodurch die Werte hinreichend erklärt werden können.

Es schließt sich eine längere Schicht an, von 2,90 m bis 4,47 m u. GOF, die durch starke Schwankungen im L*-Wert, sowie leicht abnehmenden Trends von Magnetischer Suszeptibilität, Aluminium, Mangan, Eisen und Titan Konzentrationen ausgezeichnet. In diesem Bereich, genauer gesagt bei 3,58 m u. GOF, findet sich ein durchtäuftes Stück Keramik. Die Schicht, in der die Keramik gefunden wurde, weist allerdings keine Hinweise auf eine Fundschicht hin, da das Sediment in Bezug auf die untersuchten Parameter in diesem

Bereich ziemlich unauffällig ist. Die Größe der Keramik, die nahezu den kompletten Bohrkern ausfüllt, deutet darauf hin, dass möglicherweise ein größeres Artefakt durchtäuft wurde. Es besteht auch die Möglichkeit, dass es dabei im Kern weiter nach unten transportiert worden ist.

Im untersten Bereich des Profils, von 4,47 m bis 4,89 m u. GOF, zeigen sich sinkende L^* -Werte, also ein heller werdendes Material, eine höhere CaCO_3 Konzentration, abnehmende Werte innerhalb der Magnetischen Suszeptibilität, zunehmende Ton- und Schluffgehalte und stark abnehmende Titan-, Eisen-, Mangan- und Zirkon Konzentrationen. Diese deuten darauf hin, dass in dem Bereich in das anstehende Gestein gebohrt worden ist. Dies zeigt sich speziell im Peak von Magnesium bei 4,75 m bis 4,89 m u. GOF deutlich, da im dolomitischen Kalkstein Magnesium gebunden ist.

Durch die Heterogenität des Materials in dem gestörten Profil, lassen sich nur schwer einzelne Bereiche ausgliedern (siehe Abbildung 44).

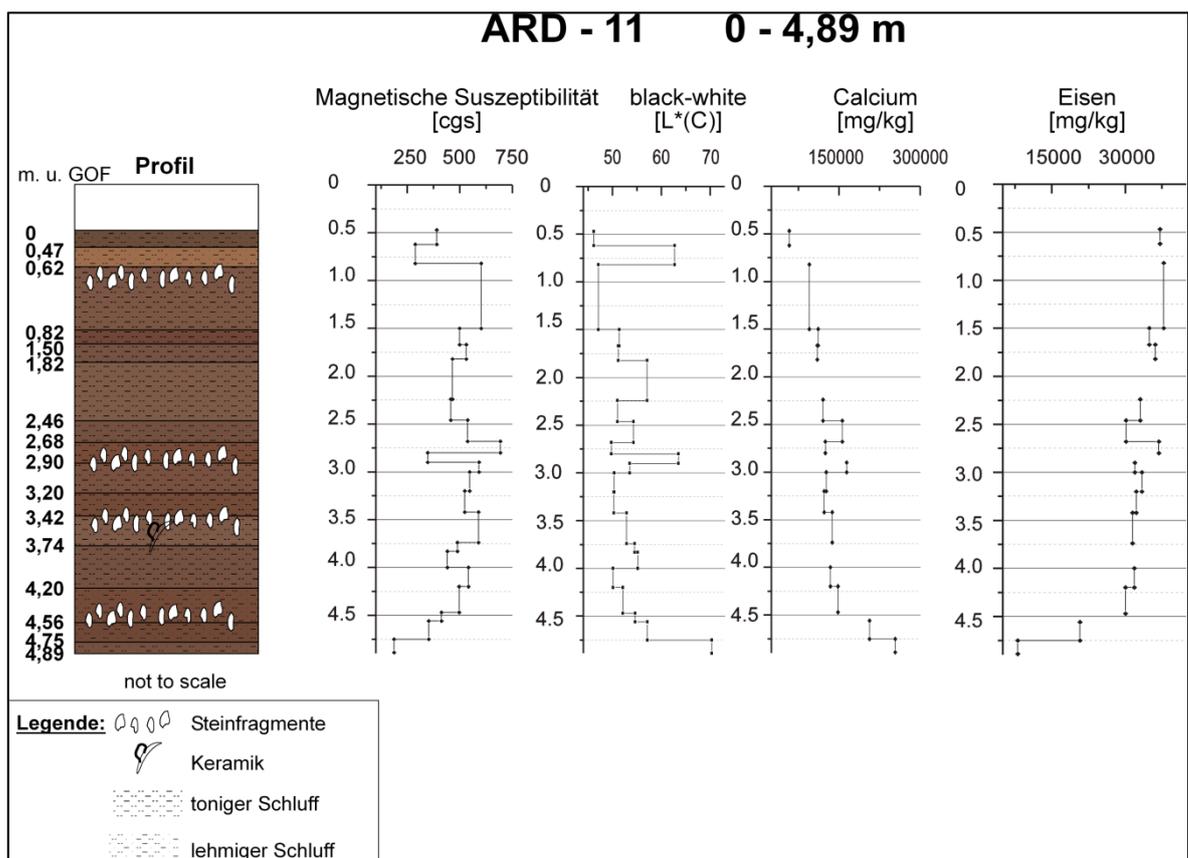


Abbildung 44: Profilzeichnung und ausgewählte Ergebnisse ARD-11, eigene Darstellung

Gleichzeitig lassen sich anhand der Ergebnisse nur schwer qualitative Aussagen über einzelne Bereiche treffen, da viele Fehlerquellen vorhanden sind. Zum einen gibt es verschiedene Datenlücken, die es schwierig machen, das Profil komplett anzusprechen. Des Weiteren können einige Daten aufgrund des hohen Anteils an kleinen Calciumcarbonatsplittern verfälscht sein, wie beispielsweise die Farbwerte. Klar abgegrenzte (paläo-) Horizonte, sind nicht zu erkennen. Im Bereich von 2,68 m bis 2,80 m u. GOF kann über eine Paläooberfläche diskutiert werden, allerdings würde man bei einem solchen Fall davon ausgehen, dass sich das darunter befindliche Material deutlicher strukturieren lässt. Die Heterogenität des Profils lässt vermuten, dass sich der Bereich eventuell aus Erosionsprodukten höher gelegener Bereiche, beispielsweise auch aus größeren Steinen, welche im Sediment vorkommen, akkumuliert hat. So können die Steinfragmente innerhalb des Bohrkerns möglicherweise erklärt werden, da diese oftmals in einer Sedimentmatrix liegen und kaum Anzeichen für eine Zersatzzone des anstehenden Gesteins aufweisen.

ARD-21:

Das Bohrprofil von ARD-21 scheint bei einer ersten Betrachtung keinen gewachsenen Boden darzustellen. In der folgenden Diskussion soll versucht werden, einzelne Abschnitte einzuteilen und mögliche Aussagen über die Genese des Sediments zu erläutern. Bei diesem Bohrkern wurden nur die Korngrößenanalyse, Farbbestimmung, Calciumcarbonatbestimmung und Bestimmung der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt.

Im ersten Abschnitt des Profils, von 0,18 m bis 0,27 m u. GOF, zeigt sich ein Bereich, der nach der Geländeansprache eine hellgraue Farbe aufweist. Diese hellere Farbe zeigt sich auch im L*-Wert. Dieser Bereich weist zudem eine geringe Magnetische Suszeptibilität auf. Bei der Interpretation des Sediments muss man darauf achten, dass es sich direkt unter der Betondecke befindet, die für die Bohrungen entfernt werden musste. Deshalb kann man davon ausgehen, dass es anthropogen aufgeschüttet worden ist.

Unterhalb, von 0,27 m bis 0,61 m u. GOF, zeigt sich ein Abschnitt, der von relativ geringen Schluff- und hohen Sandwerten geprägt ist. Der Wert der Magnetischen Suszeptibilität ist in diesem Bereich relativ hoch, bei gleichzeitig relativ geringen Calciumcarbonatwerten. Die Farbwerte zeigen im Vergleich zum Rest des Profils keine dunklen oder extremen Färbungen. Bei der Betrachtung des Kerns fällt auf, dass im oberen Bereich dieser Schicht gelblichbraune Sedimente anzutreffen sind, während im unteren Bereich dunkelbraunes Material zu finden ist. Möglicherweise wurde bei diesem Bereich eine Mischprobe entnommen, aus dem oberen

anthropogenen Aufschutt und der darunter befindlichen Lage, da bei der Ansprache aufgrund des hohen Humusgehalts und der dunklen Farbe auf einen humusangereicherten Ah Horizont geschlossen wurde. Dies zeigen die Werte jedoch nicht.

Im Bereich von 0,61 m bis 1,35 m u. GOF sind kaum Veränderungen in den Werten zu erkennen. Gekennzeichnet ist der Bereich von mittleren Werten in der Magnetischen Suszeptibilität und im Calciumcarbonat. Auch anhand der Farb- und Korngrößenwerte lassen sich keine signifikanten Veränderungen feststellen. In dieser Schicht treten zwischen den Sedimenten immer wieder verschiedene Steinlagen auf.

Zwischen 1,35 m und 1,7 m u. GOF zeigen sich größere Steinlagen mit dazwischen liegendem Material. Dieses Material ist im Vergleich zur oberen Schicht gröber, da der Schluffanteil zu- und der Tongehalt abnimmt. Außerdem steigt in diesem Bereich die magnetische Suszeptibilität, dafür wird zeigt sich ein geringer Calciumcarbonatanteil.

Der letzte Bereich des Profils, von 1,7 m bis 1,75 m weist eine extrem helle Farbe, einen sehr hohen CaCO_3 Gehalt und eine geringe Magnetische Suszeptibilität auf. Anhand von diesen Daten lässt sich vermuten, dass es sich um eine Zersatzzone handelt.

Insgesamt lässt sich sagen, dass sich keine Strukturen eines gewachsenen Boden in diesem Kern erkennen lassen. Lediglich der Bereich mit einem hohen Anteil an organischem Material lässt die Vermutung zu, dass in diesem Bereich eine Humifizierung stattgefunden hat. Das darunter liegende Material weist zwar eine verstärkte Braunfärbung auf, allerdings kann man aufgrund des hohen Grobanteils nicht von einem verbraunten Horizont. Zweifelhaft ist auch, ob es sich in der Zersatzzone bereits um das anstehende Gestein handelt. Bei einem solchen Material ist es schwierig, mit einer einfachen Rammkernsondierung in größere Tiefen vorzudringen.

ARD-22:

Das Bohrprofil von ARD-22 zeigt ein insgesamt 3 m tiefes Profil auf dem Vorplatz der Höhle. Innerhalb des Profils lassen sich verschiedene Abschnitte untergliedern. Auf den ersten Blick fällt auf, dass das Profil nicht in einer Zersatzzone endet. An dieser Bohrung wurde eine Farbbestimmung, Elementbestimmung mittels RFA sowie eine Messung der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt.

Der erste Bereich, der eine separate Betrachtung benötigt, reicht von 0,17 m bis 0,3 m u. GOF. Die Geländeansprache zeigte in diesem Bereich ein graugelbes Material, welches sich auch in den Ergebnissen der L*- und b*-Werten widerspiegelt. Dieser Bereich wurde vermutlich anthropogen aufgeschüttet, um eine Fläche für die Betondecke zu schaffen. Die Werte der magnetischen Suszeptibilität und die Ansprache im Gelände lassen darauf schließen, dass es sich dabei um geringverwittertes, grobes Material handelt.

Unterhalb, zwischen 0,3 m und 0,72 m u. GOF, schließt ein Bereich mit dunklem Sediment an. Zwischen den Sedimenten ist ein hoher Grobanteil zu finden. Die erhöhte Magnetische Suszeptibilität sowie ein erhöhter Anteil an detektiertem organischem Material weist auf eine humose Ausprägung in diesem Bereich hin. Dafür sprechen auch die erhöhten Anteile von Zirkon, Eisen, Aluminium und Mangan, die in Form von pedogenen Oxiden vorliegen könnten.

Von 0,72 m bis 1,30 m u. GOF zeigt sich helles Material mit einem geringen Wert an Magnetischer Suszeptibilität. Grund hierfür ist wahrscheinlich der große Anteil an Grobmaterial im Bereich von 0,72 m bis 1,00 m u. GOF, sowie Nachfall im Bereich von 1,00 m bis 1,30 m u. GOF.

Ein besonders auffälliger Bereich zeigt sich zwischen 1,30 m und 1,47 m u. GOF. Hier zeigen sich die höchsten Werte der Magnetischen Suszeptibilität in einem dunkelbraunen Profil. Gleichzeitig sind in diesem Bereich hohe Werte an Aluminium, Natrium, Zirkon, Titan und Phosphor zu sehen, bei sehr geringen Calciumwerten. Der hohe Phosphorgehalt spricht möglicherweise für einen hohen Anteil an organischer Substanz, wobei man diesen Schluss nicht direkt ziehen kann. Um eine mögliche Aussage zu treffen, könnte man näherungsweise den Humusgehalt anhand der Farbwerte schätzen, oder das C/N-Verhältnis messen. Es scheint, als wäre in diesem Bereich ein erhöhter Anteil an organischem Material, allerdings muss es sich nicht zwangsläufig um eine humose Schicht zu handeln.

Von 1,47 m bis 2,87 m u. GOF zeigen sich tendenziell sinkende Werte der Magnetischen Suszeptibilität und relativ stabile Farbwerte. Zwischen dem rötlichen Material sind oftmals verwitterte Gesteinsreste zu finden, die sich in den Werten wieder spiegeln.

Der letzte Abschnitt reicht von 2,87 m bis 3,00 m u. GOF. Im Gelände wurde dieses Material mit einem geringen Anteil an organischer Substanz angesprochen, welche sich in den Ergebnissen nicht widerspiegelt. Es ist festzuhalten, dass dieses Profil nicht in einem Zersatzhorizont endet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ARD-22 verschiedene Abschnitte aufweist, in denen charakteristische Ergebnisse auftreten. Eine Einteilung nach Horizonten ist jedoch nicht möglich, da keine direkten Rückschlüsse auf gewachsene Böden gezogen werden können. Das Profil könnte möglicherweise noch deutlich tiefer reichen, allerdings musste in dieser Tiefe zur Schonung des Materials aufgehört werden.

Vergleich der Bohrungen:

ARD-6 und ARD-11 stehen exemplarisch für zwei Typen von Ergebnissen, die bei den Bohrungen im Bereich des vermuteten zweiten Einganges erzielt wurden. ARD-6 steht stellvertretend für die Bohrungen, die etwas weiter von dem Orientierungspunkt „Mandelbaum“ entfernt liegen, während ARD-11 für eine Bohrung in unmittelbarer Nähe zum Mandelbaum steht. Alle entfernt liegenden Bohrungen (in einem Radius zwischen ca. 3,5 m bis 6 m), weisen wesentlich geringere Tiefen auf, als die Bohrungen die in unmittelbarer Nähe zum Mandelbaum (in einem Radius von ca. 2 m) abgetäuft wurden. Es zeigt sich, dass in einem sehr kleinräumigen Bereich große Unterschiede festzustellen sind.

Bei der näheren Betrachtung der Profile fallen ebenfalls große Unterschiede auf. Das Profil von ARD-6 kann exemplarisch für einen natürlich gewachsenen Boden mit klar voneinander abgrenzbaren Horizonten stehen, während das Profil von ARD-11 keinen natürlich gewachsenen Boden aufzeigt. Vermutlich wurde das Material in diesen tieferliegenden Bereichen rund um den Mandelbaum durch hangaufwärts gelegenen Erosionsprozesse aufsedimentiert. Die Vielzahl an durchtäuften, wenig verwitterten Kalksteinen ist ein möglicher Indikator für eine Akkumulation von allochthonen Sedimenten. Ein weiterer Indikator ist das Fehlen von ausgeprägten Zersatzzonen im anstehenden Gestein, wie es idealtypisch im Profil von ARD-6 zu beobachten ist. Im Hinblick auf die erste Fragestellung kann auch die durchtäufte Keramik als Interpretationshilfe herangezogen werden. Auch wenn sich durch die sedimentologischen Untersuchungen keine klare Fundschicht abgrenzen lässt, spricht der Fund dennoch für eine Nähe zu einem möglichen zweiten Höhleneingang. Zusammenfassend kann man sagen, dass es durchaus Anzeichen für einen zweiten, verschütteten Höhleneingang gibt.

ARD-21 und ARD-22 sollten Auskünfte über einen möglichen Vorplatz vor der Cueva de Ardales geben. Die Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen zeigen, dass beide Profile nicht nach einem gewachsenen Boden aussehen, zu mindestens nicht bis in einen Bereich von drei Metern. Hätte eine „normale“ Bodenbildung stattgefunden, würden sie in

ihrem Erscheinungsbild wahrscheinlich eher ARD-6 ähneln, mit kurz gewachsenen, klar strukturierten Horizonten. Vermutlich wurden auch diese Materialien unter besonderen Sedimentationsprozessen akkumuliert. Indikator hierfür sind erneut vereinzelt Steine, die sich im Sediment befinden. In ARD-22 zeigen sich diese Steine allerdings bereits stark verwittert, was darauf schließen lassen könnte, dass sie schon lange im Sediment liegen und nachträglich Verwitterungsprozessen unterworfen wurden. Zu betonen ist, dass im tieferen ARD-22 Profil noch keine Zersatzzone erreicht wurde. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass sich die Bohrausrüstung für ein solches Material nur bedingt eignet. Es besteht also die Möglichkeit, in größerer Tiefe auf einen ehemaligen Vorplatz zu stoßen.

Höhlenergebnisse:

Wie bereits im Geomorphologie Teil der Arbeit (Kapitel 2.3) beschrieben, laufen in einer Karsthöhle wie der Cueva de Ardales viele verschiedene Prozesse ab, die sich unterschiedlich auf die bestehenden Sedimente auswirken können. Grund dafür sind spezielle geochemische Prozesse, die in einer Höhle ablaufen. Bei den Ergebnissen wurde ein spezielles Augenmerk auf die Betrachtung von Phosphor, Calcium und Eisen, sowie die Magnetische Suszeptibilität gelegt.

Es zeigt sich, dass innerhalb der Höhle deutlich höhere Werte an Phosphor erreicht werden als außerhalb der Höhle. Einer der Hauptgründe dafür können Einträge von Exkrementen durch Vögel oder anderen Tieren sein (GOLDBERG 2006: 178) Diese Vermutung bestätigt sich bei Betrachtung der Dünnschliffe aus der Höhle, welche in manchen Profilen Koprolithe nachweisen konnten (nach vorläufigen Ergebnissen von KEHL). Eine erhöhte Anzahl an Exkrementen kann wiederum dazu führen, dass sich stellenweise ein saures Milieu bildet, in welchem Calciumcarbonat gelöst und umgewandelt werden kann (GOLDBERG 2006: 179). Gleichzeitig kann es in einer Höhle auch zur Ablagerung von Calciumcarbonat kommen, was zu einer Bildung von stalagmitischen Krusten führen kann, wie sie auch in der Cueva de Ardales zu finden sind. Diese Prozesse sind unter anderem dafür verantwortlich, dass in der Höhle deutlich höhere Calciumkonzentration gemessen werden können. Das oben angesprochene saure Milieu kann auch dazu führen, dass organisches Material abgebaut wird. Infolgedessen werden Stoffe wie Aluminium, Eisen oder Kalium frei, die durch die feuchten Bedingungen einer Karsthöhle schnell oxidiert werden (GOLDBERG 2006: 179). Des Weiteren kommen im Sediment der Höhle viele Mikroorganismen vor, die Magnetit erzeugen

können. Diese beiden Faktoren können den hohen Eisenanteil innerhalb der Höhle erklären, die gleichzeitig mitverantwortlich für eine hohe magnetische Suszeptibilität sind.

Im Hinblick auf die dritte Fragestellung, wie sich die Sedimente des Schwemmfächers im vorderen Höhlenbereich charakterisieren lassen, lässt sich festhalten, dass die Sedimente eine sensible Reaktion auf Veränderungen der Paläoumwelteinflüsse zeigen. Dabei zeigen sich verschiedene Phasen der Akkumulation von Material sowie Phasen von chemischen Prozessen. Ein Beispiel für diese unterschiedlichen Phasen sind die Wechsel zwischen sedimentreichen Abschnitten und stalagmitischer Krusten.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

In erster Linie lässt sich festhalten, dass der Vergleich zwischen den natürlich gewachsenen Böden mit den vermutlich speziell sedimentierten Bereichen anhand der vorliegenden Methodik gut gelungen ist.

Um bessere Aussagen über die einzelnen Profile treffen zu können, besteht die Möglichkeit der Ratio Bildung. Bei einer Ratio setzt man zwei Faktoren ins Verhältnis zueinander. Zur besseren Charakterisierung der Bohrungen auf dem Vorplatz und im Bereich des vermuteten, zweiten Eingangs wären verschiedene Ratios denkbar:

- Titan / Zirkon – Ratio zur Überprüfung, ob sich das geologische Material ändert, oder nicht
- Calcium / Magnesium – Ratio als Anzeiger für die Kalkauswaschung (erst verwittert Calcit, dann Dolomit)
- Eisen / Mangan – Ratio als Anzeiger für Redoximorphie
- Natrium / Aluminium – Ratio als Anzeiger für die Silikatverwitterung.

Abbildung 45 zeigt an dieser Stelle ein Beispiel für ein Korngrößenratio aus der Bohrung ARD-6. Es ist zu erkennen, dass sich die Veränderung in der Verteilung zwischen den Fraktionen Feinsand (fS) + Grobschluff (gU) und Mittelschluff (mU) + Feinschluff (fU).

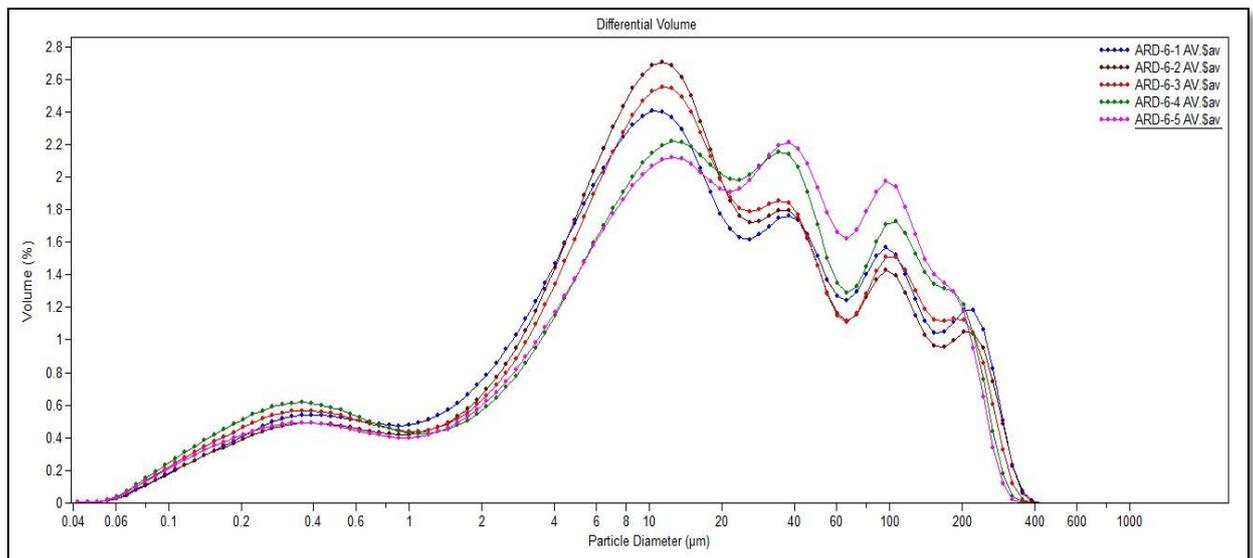


Abbildung 45: graphische Korngrößenverteilung ARD-6, eigene Darstellung

Aus der prozentuellen Verteilung, die sich mit Hilfe des Programms Gradistat berechnen lässt, lassen sich die beiden zusammengefassten Fraktionen in Beziehung zueinander setzen ($fS+gU / mU + fU$). Da das Profil als idealtypisch angesehen werden kann, stellt der Ratio einen potentiellen Indikator für mögliche Schichtübergänge in anderen Profilen dar.

Bei der Interpretation der Daten könnten einige ungewollte Fehlerquellen auftreten. Bereits im Gelände zeigten sich Schwierigkeiten bei den Bohrungen aufgrund des hohen Anteils an Steinen im Sediment. Aus diesem Grund konnte beispielsweise die Bohrung von ARD-22 nicht fortgeführt werden, da die Belastung der Geräte zu hoch gewesen ist. Der hohe Anteil an Gesteinen findet sich auch im untersuchten Material wieder, weshalb das Material $d < 1$ mm gesiebt werden musste. Aus diesem Grund könnte die Sandfraktion in der Korngrößenanalyse unterschätzt sein. Weitere Fehlerquellen bei der Interpretation sind die z.T. großen Datenlücken.

Als möglichen Ausblick verweise ich auf die zusätzlich getätigten, geophysikalischen Untersuchungen, die sowohl innerhalb, als auch außerhalb der Höhle durchgeführt wurden. Des Weiteren könnte an einem größeren Stück Holzkohle aus dem ARD-21 Kern eine ^{14}C -Datierung durchgeführt werden, obwohl es fraglich sein dürfte, dass es sich um eine in-situ Ablagerung handelt. Im Labor könnten zusätzlich C/N-Messungen durchgeführt werden, um den Anteil von anorganischem und organischem Kohlenstoff voneinander trennen zu können.

Innerhalb der Höhle werden zusätzlich die mikromorphologischen Proben analysiert (durchgeführt von Dr. Martin Kehl), um weitere Aussagen über die verschiedenen archäologischen Profile zu erarbeiten.

7. Zusammenfassung

Die Cueva de Ardales ist mit seiner Lage im Süden der Iberischen Halbinsel und seinem paläolithischem Fundkontext ein gutes Beispiel für einen Site des Sonderforschungsbereich 806. Im Mittelpunkt der Arbeit standen drei archäologisch relevante Forschungsfragen, die mittels geowissenschaftlicher Sedimentanalysemethoden untersucht worden sind. Im Folgenden werden auf diese Forschungsfragen kurze Antwort gegeben:

1. Die sedimentologischen Untersuchungen im Bereich des vermuteten zweiten Eingangs schließen die Existenz eines zweiten Höhleneingangs nicht aus. Kleinräumig können große Veränderungen festgestellt werden, die für eine Sedimentierung des Bereichs um den Mandelbaum sprechen. Obwohl anhand der Daten keine Fundschicht ausgemacht werden konnte, konnte mit einer durchtäuften Keramik ein wichtiges Indiz für das Vorhandensein eines zweiten Eingangs gesammelt werden.
2. Ein ehemaliger Vorplatz konnte durch die geowissenschaftlichen Untersuchungsmethoden nicht unmittelbar detektiert werden, allerdings heißt das nicht, dass die Theorie ausgeschlossen ist. Mit den Bohrungen konnte keine Zersatzzone erreicht werden, was dafür sprechen könnte, dass der Vorplatz in größerer Tiefe zu finden ist.
3. Die Sedimente aus dem Schwemmfächer des vorderen Höhlenbereichs zeigen deutliche Unterschiede zu den Sedimenten außerhalb der Höhle. Die speziellen Bedingungen innerhalb der Höhle und die damit verbundenen Prozesse haben teilweise zu einer Umwandlung und Überprägung des Materials geführt.

Die geowissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen der archäologischen Fragestellungen zeigen deutlich den hohen Stellenwert der Geoarchäologie. Nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit können die komplexen Zusammenhänge der Mensch-Umwelt-Beziehungen im späten Quartär entschlüsselt und die Frage nach dem Weg des modernen Menschen nach Europa entschlüsselt werden.

8. Literaturverzeichnis

- Bessette, D. R. 1999. Analyse und Quantifizierung geologischer Proben mit der Synchrotron-Röntgenfluoreszenz. Ph.D.Thesis. Universität Hamburg.
- Blott, S.J. et al. 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 sackage for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Process. Landforms 26, 1237–1248.
- Blott, S.J. & Pye K., 2006. Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: an experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape. Sedimentology 53, 671–685.
- Breuer, T., 2008. Iberische Halbinsel : Spanien, Portugal. Wissenschaftliche Buchge-sellschaft, Darmstadt.
- Brückner, H. 2011. Geoarchäologie – in Forschung und Lehre. Umweltarchäologie – Naturkatastrophen und Umweltwandel im archäologischen Befund, 07. bis 09. Oktober 2010, Halle, Deutschland, 9-20.
- Cantalejo, P., Maura, R., Becerra, M. 2006. Arte rupestre prehistórico en la Serranía de Ronda. Editorial La Serranía SLL, Ronda.
- De Boer, G. et al. 1986. Laser Diffraction Spectrometry: Fraunhofer Diffraction Versus Mie Scattering. ??? VCH Verlagsgesellschaften mbH, Weinheim.
- Debret, M. et al. 2011. Spectrocolorimetric interpretation of sedimentary dynamics: The new “Q7/4 diagram”. Earth-Science Reviews 109, 1-19.
- Eshel, G. et al. 2004. Critical Evolution of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distri-bution Analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 736-743.
- Evans, M. F. & Heller, F. 2003. Environmental Magnetism. International Geophysics Series 86, Elsevier Science, Oxford.
- Gibbons, W. & Moreno, M., 2002. The geology of Spain. The Geological Soc., London.
- Gillieson, D. (1998). Caves - Processes, Development, Management. Blackwell Publishers, Oxford.
- Goldberg, P., Macphail, R.I. 2006. Practical And Theoretical Geoarchaeology. Blackwell Publishing, Oxford, 169 – 187.
- Horváth, B. et al. 2005. A simple method for measuring the Carbonate content of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 1066-1068.
- Kuntze, H., Roeschmann, G., Schwerdtfeger, G. 1994. Bodenkunde. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Lautensach, H., 1969. Iberische Halbinsel. Keyzersche Verlagsbuchhandlung, München.

- Leser, H., 1977. Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. De Gruyter, Berlin.
- Muñoz, J. R. et al. 1992. Cueva de Ardales: su recuperación y estudio. Ayuntamiento de Ardales, Malaga.
- Radtke, U., Gebhardt, H., Glaser, R., Reuber, P., 2007. Geographie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 261 – 311.
- Pye, K. & Blott, S.J. 2004. Particle size analysis of sediments, soils and related materials for forensic purpose using laser granulometry. *Forensic Science International* 144, 19-27.
- Reicherter, K. (2001): Neotektonik und Paläoseismologie im nördlichen Gibraltarbogen. Un-publ. Habilitationsschrift, Univ. Hamburg.
- Reicherter, K. & Peters, G. 2005. Neotectonic evolution of the Central Beltic Cordilleras. *Tectonophysics* 405: 191-212.
- Schulz, J., 2008. Die Ökozonen der Erde. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Schönenberg, R., Neugebauer, J., 1997. Einführung in die Geologie Europas. Rombach Verlag Wissenschaft, Freiburg.
- Schütt, B. 2004. Zum holozänen Klimawandel der zentralen Iberischen Halbinsel. In: Bremer, H., Heine, H. (Eds.), Relief, Boden, Paläoklima. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Suntrup, A., 2010. Geomorphologisch-sedimentologische und satellitenbildbasierte Analyse der Einflüsse auf die Landschaftsentwicklung im Einzugsgebiet des Arroyo del Alforzo. Ph.D.Thesis. Universität Würzburg.
- Torrent, J. & Barron, V. 1993. Laboratory Measurement of Soil Color: Theory and Practice. In: Bigham, J.M. & Ciolkosz, E.J. (Hrsg.), Soil Color, Soil Science Society of America, Wisconsin, 21-33.

VII. Anhang

1.) Rohdaten ARD-6

Proben-ID	Tiefe	Median KG	S	U	T
	m.u. GOF	μm	%	%	%
ARD-6-1	0.18	13.03163	20.74227	63.78494	15.47279
ARD-6-2	0.475	12.99926	18.90914	66.96827	14.12258
ARD-6-3	0.67	13.35059	19.54106	64.74365	15.71529
ARD-6-4	0.865	16.02212	21.54397	62.05098	16.40506
ARD-6-5	1.115	18.10596	23.43597	62.32157	14.24246

Proben-ID	Tiefe	Mag Sus	CaCo3 %	black- white	green-red	yellow- blue
	m.u. GOF	cgs		L*(C)	a*(C)	b*(C)
ARD-6-1	0.18	282.33333	22.01876	51.59333	7.05667	18.60667
ARD-6-2	0.475	180	31.50981	61.34667	8.97333	25.45
ARD-6-3	0.67	54.66667	38.8508	66.73667	6.87	27.89667
ARD-6-4	0.865	3.66667	42.25877	73.51667	4.67667	29.67
ARD-6-5	1.115	14	54.10278	72.17667	4.19333	23.87

Proben-ID	Tiefe	Ca	P	Mg	Si	K
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-6-1	0.18	115500	1264	23015	138700	19165
ARD-6-2	0.475	170500	1027	18180	115300	17500
ARD-6-3	0.67	216000	915.7	14215	87725	14060
ARD-6-4	0.865	251100	656.1	14375	67685	12090
ARD-6-5	1.115	282500	679.8	12250	51800	8906

Proben-ID	Tiefe	Ti	Al	Na	Fe
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-6-1	0.18	4088.5	71615	3525	31920
ARD-6-2	0.475	3337	60090	3615	23970
ARD-6-3	0.67	2663	49150	3860	20995
ARD-6-4	0.865	2419	41615	4060	20450
ARD-6-5	1.115	1862	31110	4300	15060

2.) Rohdaten ARD-11

Proben-ID	Tiefe	Median KG	Sand	Schluff	Ton
	m.u. GOF	[μm]	%	%	%
ARD-11-1	0.545	14.77983	25.987	58.008	16.005
ARD-11-2	0.72	12.3399	21.44228	61.24469	17.31303
ARD-11-3	0.91	13.30983	16.16986	76.09131	7.73883
ARD-11-4	1.56	12.15019	16.20001	75.12192	8.67807
ARD-11-5	1.695	10.98108	13.15699	76.98582	9.85719
ARD-11-6	1.91	10.48452	15.48518	71.48467	13.03015
ARD-11-7	2.35	11.19397	19.44903	63.80703	16.74394
ARD-11-8	2.57	12.3124	12.39166	78.12508	9.48326
ARD-11-9	2.74	11.60574	14.41193	77.14643	8.44164
ARD-11-10	2.85	10.67944	17.935	70.679	11.386
ARD-11-11	2.95	13.17267	16.81837	74.23846	8.94317
ARD-11-12	3.1	13.47364	12.83514	79.61718	7.54768
ARD-11-13	3.21	11.04903	13.55875	76.65381	9.78744
ARD-11-14	3.515	12.14238	15.3786	75.75283	8.86857
ARD-11-15	3.785	12.41992	12.23431	79.12387	8.64182
ARD-11-16	3.915	11.97104	13.28703	76.71326	9.99971
ARD-11-17	4.1	13.59199	12.38102	79.37663	8.24235
ARD-11-18	4.28	11.55886	14.52801	76.03081	9.44117
ARD-11-19	4.515	11.38055	15.1921	74.73073	10.07718
ARD-11-20	4.565	12.49475	17.75012	71.97719	10.27268
ARD-11-21	4.82	16.16276	24.61108	61.25495	14.13398

Proben-ID	Tiefe	Mag Sus	CaCo3 %	black- white	green-red	yellow- blue
	m.u. GOF	[cgs]		L*(C)	a*(C)	b*(C)
ARD-11-1	0.545	389.66667	9.75767	46.10667	7.10333	17.01667
ARD-11-2	0.72	287.33333		62.68667	6.11667	15.90333
ARD-11-3	0.91	601.66667		47.08667	8.40667	17.62333
ARD-11-4	1.56	499	20.52912	51.33333	8.53667	18.77333
ARD-11-5	1.695	530.66667		51.14	9.43667	20.20667
ARD-11-6	1.91	464.66667		57.05667	7.54	16.95667
ARD-11-7	2.35	456.66667	20.3517	50.99	7.80333	18.1
ARD-11-8	2.57	537.66667		54.28667	7.62667	16.87333
ARD-11-9	2.74	692.66667	18.81836	49.72	9.21	19.04333
ARD-11-10	2.85	347		63.46667	5.69667	15.10333
ARD-11-11	2.95	591.33333		53.45667	8.98667	19.15667
ARD-11-12	3.1	546.33333		50.29333	8.49667	18.70333
ARD-11-13	3.21	523.66667	21.6303	50.19333	8.21667	18.39333

ARD-11-14	3.515	588.66667		52.84667	8.49	19.15333
ARD-11-15	3.785	487.66667		54.49	8.17333	18.67
ARD-11-16	3.915	440		55.10667	8.34	19.25
ARD-11-17	4.1	540.66667	22.58203	50.09	8.64	18.46333
ARD-11-18	4.28	496		52.09667	8.15333	17.74667
ARD-11-19	4.515	411.66667		54.58333	7.81	17.81333
ARD-11-20	4.565	351.66667	31.78211	57.08333	7.47667	17.92333
ARD-11-21	4.82	186.33333	33.45486	70.31333	4.03333	13.70333

Proben-ID	Tiefe	Ca	P	Mg	Si	K
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-11-1	0.545	57920	1663	23365	170550	19960
ARD-11-2	0.72			--	--	--
ARD-11-3	0.91	94855	1398	19695	162100	17765
ARD-11-4	1.56	111250	1277.5	19345	149350	16210
ARD-11-5	1.695	109950	1220.5	18670	157800	17070
ARD-11-6	1.91			--	--	--
ARD-11-7	2.35	120450	1353	20675	137350	15735
ARD-11-8	2.57	155950	1098	18875	120900	13360
ARD-11-9	2.74	124600	1270.5	16155	148350	15735
ARD-11-10	2.85	--	--	--	--	--
ARD-11-11	2.95	163850	1162.5	16970	128000	12995
ARD-11-12	3.1	126150	1217.5	19355	140050	15875
ARD-11-13	3.21	122650	1170.5	19250	130800	15035
ARD-11-14	3.515	137300	1135	17460	126800	14010
ARD-11-15	3.785			--	--	--
ARD-11-16	3.915			--	--	--
ARD-11-17	4.1	134000	1166	19185	129850	14500
ARD-11-18	4.28	148000	1040.5	17730	117600	13485
ARD-11-19	4.515			--	--	--
ARD-11-20	4.565	206560	1240	26710	83765	9794
ARD-11-21	4.82	254000	1017.5	60985	31535	3579

Proben-ID	Tiefe	Ti	Al	Na	Fe
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-11-1	0.545	4683	81790	4095	37100
ARD-11-2	0.72	--	--	--	--
ARD-11-3	0.91	4559.5	73265	3370	37850
ARD-11-4	1.56	4238.5	67755	3615	34935
ARD-11-5	1.695	4419	71215	3315	36145
ARD-11-6	1.91	--	--	--	--

ARD-11-7	2.35	4070.5	65010	3530	33095
ARD-11-8	2.57	3708.5	56675	3590	3.02E+04
ARD-11-9	2.74	4383	68460	3230	36910
ARD-11-10	2.85	--	--	--	--
ARD-11-11	2.95	3790.5	59090	3410	31980
ARD-11-12	3.1	4083	65200	3640	33420
ARD-11-13	3.21	3897	61215	3195	32245
ARD-11-14	3.515	3819	59035	3645	31525
ARD-11-15	3.785	--	--	--	--
ARD-11-16	3.915	--	--	--	--
ARD-11-17	4.1	3844	59875	3570	31855
ARD-11-18	4.28	3611	54500	3580	30085
ARD-11-19	4.515	--	--	--	--
ARD-11-20	4.565	2539.5	40180	3970	20755
ARD-11-21	4.82	915.45	15875	4660	8068.5

3.) Rohdaten ARD-21

Proben-ID	Tiefe	Median KG	Sand	Schluff	Ton
	m u. GOF	µm	%	%	%
ARD-21-1	0.225	16.85974	28.71624	59.69649	11.58727
ARD-21-2	0.44	15.74189	30.78265	56.47077	12.74658
ARD-21-3	0.805	10.87913	18.87473	67.0405	14.08476
ARD-21-4	1.175	11.20654	18.56367	67.57019	13.86613
ARD-21-5	1.425	11.78998	21.14489	67.6514	11.20371
ARD-21-6	1.6	15.51951	20.69056	71.25063	8.0588
ARD-21-7	1.725	16.54916	19.40463	70.51064	10.08473

Proben-ID	Tiefe	Mag Sus	CaCo3 %	black-white	green-red	yellow-blue
	m u. GOF	[cgs]		L*(C)	a*(C)	b*(C)
ARD-21-1	0.225	390.66667		57.07333	5.42667	17.63333
ARD-21-2	0.44	702	21.58378	51.5	6.22	16.38333
ARD-21-3	0.805	621		51.93333	6.85333	17.44333
ARD-21-4	1.175	594.33333	27.24952	54.90333	6.12333	16.76667
ARD-21-5	1.425	892		56.63333	6.57667	14.96
ARD-21-6	1.6	1066	17.84259	53.49333	8.28333	17.77667
ARD-21-7	1.725	9.66667	62.94795	75.93667	3.93333	23.75667

4.) Rohdaten ARD-22

Proben-ID	Tiefe	Ca	P	Mg	Si
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-22-1	0.235		--		
ARD-22-2	0.43	89375	1148.5	29875	151750
ARD-22-3	0.64	--	--	--	--
ARD-22-4	0.86	232050	651.9	27595	72925
ARD-22-5	1.15	270950	536.25	36290	42235
ARD-22-6	1.385	128800	6804.5	25080	186900
ARD-22-7	1.545	206850	2772.5	23845	82335
ARD-22-8	1.675	--	--	--	--
ARD-22-9	1.865	308350	695.95	26225	23355
ARD-22-10	2.125	--	--	--	--
ARD-22-11	2.31	321800	641.35	16065	27905
ARD-22-12	2.62	303350	740.75	9077.5	51870
ARD-22-13	2.935	283300	708.35	8671	66275

Proben-ID	Tiefe	K	Ti	Al	Na	Fe
	m.u. GOF	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ARD-22-1	0.235					--
ARD-22-2	0.43	20340	4168.5	71845	3485	38720
ARD-22-3	0.64	--	--	--	--	--
ARD-22-4	0.86	9103.5	2294.5	34845	3860	21335
ARD-22-5	1.15	4719	1123.5	18705	4630	10660
ARD-22-6	1.385	20375	4177.5	96500	6495	25424
ARD-22-7	1.545	11340	2700.5	42640	4500	25115
ARD-22-8	1.675	--	--	--	--	--
ARD-22-9	1.865	3242.5	748.9	12675	4725	8234
ARD-22-10	2.125	--	--	--	--	--
ARD-22-11	2.31	3619.5	914.5	14155	4720	8632
ARD-22-12	2.62	7466	1742.5	27835	4215	18345
ARD-22-13	2.935	9577	2082.5	35105	4065	19445

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, Sebastian Tobias Kock, dass die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.
