

# BACHELORARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades

## BACHELOR OF SCIENCE

Die Sedimentfüllung der mittelpaläolithischen  
Fundstelle Sima de las Palomas, Andalusien –  
Versuch einer lithostratigraphischen Gliederung auf  
Grundlage von Sedimentfarbe, Körnung und  
magnetischer Suszeptibilität.

Vorgelegt von

Felix Henselowsky (5041090)

Geographisches Institut

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Universität zu Köln

Abgabedatum 24.8.2012

Gutachter            1. Gutachter PD Dr. Martin Kehl  
                             2. Gutachter: Prof. Dr. Helmut Brückner

Tag der Abgabe: 24.08.2012



»Was ist das, ein Geograph?«

»Das ist ein Gelehrter, der weiß, wo sich die Meere, die Ströme, die Städte, die Berge und die Wüsten befinden.«

»Das ist sehr interessant«, sagte der kleine Prinz. »Endlich ein richtiger Beruf!«

*Antoine de Saint Exupéry 1943*

## I. Danksagungen

Diese Arbeit entstand im Rahmen des C1-Projektes des Sonderforschungsbereichs 806 „Our Way To Europe“ unter der Leitung von Dr. Martin Kehl. Ihm danke ich für die Inspiration dieser Arbeit, die gemeinsamen Geländearbeiten und die Unterstützung bei der Ausfertigung der Arbeit. Stellvertretend für das gesamte Team während der Geländekampagne im September 2011 danke ich Projektleiter Prof. Dr. Gerd-Christian Weniger, für die interessanten Einblicke in die Archäologie des Arbeitsgebiets und die Zusammenarbeit sowohl vor Ort als auch in Köln.

Die Farbbestimmung der Sedimentproben wurde in der Abteilung Bodenwissenschaften des Instituts für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Universität Bonn bei Frau Dr. Eckmeier durchgeführt. Auch hierfür bedanke ich mich sehr herzlich.

Für die zahlreichen guten Literaturhinweise bedanke ich mich bei Florian Steiniger.

Prof. Dr. Helmut Brückner danke ich für die Bereitschaft, diese Arbeit als Zweitgutachters zu lesen.

Zuletzt möchte ich mich bei all denjenigen Menschen bedanken, die mein Studium ermöglichen und allen Personen, die dafür sorgen, dass mein Studium sowohl inhaltlich als auch persönlich zu dem Besonderen geworden ist, wie es sich in den letzten drei Jahren entwickelt hat.

## II. Inhaltsverzeichnis

<b><i>I. Danksagungen</i></b> .....	<b><i>III</i></b>
<b><i>II. Inhaltsverzeichnis</i></b> .....	<b><i>IV</i></b>
<b><i>III. Abbildungsverzeichnis</i></b> .....	<b><i>V</i></b>
<b><i>IV. Hauptteil</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Fragestellung</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Der Höhlenkomplex las Palomas und die Region Guadelteba</b> .....	<b>4</b>
3.1. Geologie .....	6
3.2 Die Betische Kordillere .....	7
3.3 Geomorphologie .....	9
3.4 Klima .....	12
<b>4. Material &amp; Methoden</b> .....	<b>15</b>
4.1 Probenentnahme .....	15
4.2 Farbbestimmung.....	18
4.3 Magnetische Suszeptibilität.....	21
4.4 Laserdiffraktometer .....	22
<b>5. Ergebnisse</b> .....	<b>27</b>
5.1. Geländeergebnisse.....	27
5.2 Ergebnisse der Farbbestimmung .....	29
5.3 Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität .....	33
5.4 Ergebnisse der Körnungsanalyse .....	35
<b>6. Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>41</b>
<b>7. Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	<b>51</b>
<b>8. Zusammenfassung</b> .....	<b>54</b>
<b><i>V. Literaturverzeichnis</i></b> .....	<b><i>55</i></b>
<b><i>VI. Anhang</i></b> .....	<b><i>58</i></b>

### III. Abbildungsverzeichnis

- **Abbildung 1:** Logo des Sonderforschungsbereich 806 "Our Way To Europe"  
Quelle: [http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=999999&task=view.download&cid=3](http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=999999&task=view.download&cid=3)..... 1
  
- **Abbildung 2:** Lage las Palomas auf der iberischen Halbinsel, eigene Erstellung ..... 4
  
- **Abbildung 3: a)** Übersicht Höhlenplan las Palomas, ergänzt nach: MEDIANERO et al. 2011: 12; **b)** Eingang zur Sima/Sedimentprofil, HENSELOWSKY 2011; **c)** Blick auf die Doline HENSELOWSKY 2011..... 5
  
- **Abbildung 4:** Tektonische Großeinheiten der Betischen Kordillere und angrenzender Gebiete, Quelle: SUNTRUP 2010: 36..... 7
  
- **Abbildung 5:** Geomorphologische Karte der Umgebung von las Palomas, erstellt nach WMS Mapa Geomorfologico de Andalucia, Junta de Andalucia ..... 10
  
- **Abbildung 6:** weltweite Klimaklassifikation nach Köppen & Geiger nach Kottek, M., et al. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z., 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130. .... 12
  
- **Abbildung 7:** Klimadiagramm Malaga, erstellt nach: Ministro de Agricultura Alimentacion y Medio Ambiente: Valeros climatologicos normales. Malaga Aeropuerto ..... 13
  
- **Abbildung 8:** Orthofoto des Sedimentprofils mit einzeichnetem Probenverlauf, ergänzt nach PASTOORS 2012..... 16
  
- **Abbildung 9:** Probenentnahme am Profil, KOCK 2011..... 17
  
- **Abbildung 10:** Beispiel des 15-20cm breiten Probenverlauf, HENSELOWSKY 2011 ..... 18

- **Abbildung 11:** Farbbeschreibungen nach MUNSELL, Quelle: BLUMEL et al. 2010: 265 ... 19
- **Abbildung 12:** Spektralphotometer CM5 zur Messung der Farbwerte, HENSELOWSKY 2012 ..... 20
- **Abbildung 13:** Messung der magnetischen Suszeptibilität, HENSELOWSKY 2012 ..... 22
- **Abbildung 14:** Beckmann Coulter LS 13 320, HENSELOWSKY 2012 ..... 24
- **Abbildung 15:** Prinzip der Partikelgrößenmessung am Laser 13 320, Quelle: BLOTT 2004: 64..... 25
- **Abbildung 16:** Ausschnitt der Probenentnahme mit Unterschied zwischen rötlicherem und dunkleren Sediment, HENSELOWSKY 2011..... 28
- **Abbildung 17:** Ergebnisse der Farbanalyse nach MUNSELL..... 29
- **Abbildung 18:** Ergebnisse der Farbanalyse anhand des L\*-Wert (CIE-Farbraum)..... 31
- **Abbildung 19:** Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität ..... 33
- **Abbildung 20:** Beispielhafte Kontrollmessung der Probe CP3.3 ..... 37
- **Abbildung 21:** Ergebnisse der Korngrößenanalyse von D10-, D50- und D90-Wert nach GRADISTAT ..... 38
- **Abbildung 22:** Beispielhafte Darstellung der graphischen Korngrößenverteilung ausgewählter Proben ..... 45
- **Abbildung 23:** Einteilung aller Ergebnisse in potentielle lithostratigraphische Einheiten ..... 47

## IV. Hauptteil

### 1. Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit „Die Sedimentfüllung der mittelpaläolithischen Fundstelle Sima de las Palomas, Andalusien – Versuch einer lithostratigraphischen Gliederung auf Grundlage von Sedimentfarbe, Körnung und magnetischer Suszeptibilität.“ wurde im Rahmen des C1-Projekt des Sonderforschungsbereichs (SFB) 806 „Our Way To Europe“ der Universitäten Köln, Bonn und Aachen angefertigt. Der Sonderforschungsbereich beschäftigt sich mit den Mensch-Umwelt-Beziehungen und der menschlichen Mobilität von Afrika nach Europa im Spätquartär.

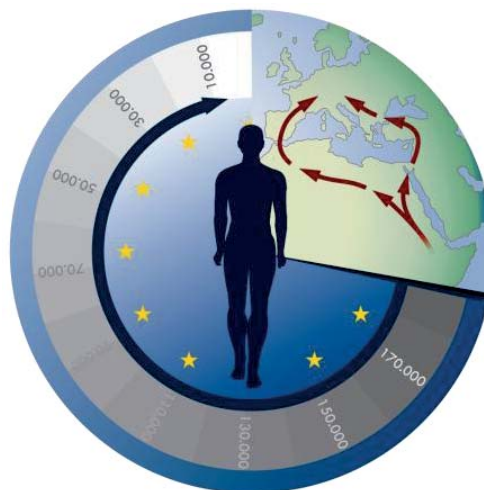


Abbildung 1: Logo des Sonderforschungsbereich 806 "Our Way To Europe"

Quelle: [http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=999999&task=view.download&cid=3](http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=999999&task=view.download&cid=3)

Der räumliche Schwerpunkt des C-Clusters ist der westliche Mittelmeerraum, speziell in Marokko, Portugal und Spanien, mit der Fragestellung, ob die Straße von Gibraltar während der Besiedlungsphase durch den Menschen als Brücke oder Barriere zwischen dem südwestlichen Europa und dem nordwestlichen Afrika zu verstehen ist. Das C1-Projekt, unter Leitung von Prof. Dr. Gerd-Christian Weniger und Prof. Dr. Klaus Reicherter, beschäftigt sich insbesondere mit der Frage „Kontinuität oder Diskontinuität? Hinweise auf Landnutzung und klimatischen Veränderungen auf der Iberischen Halbinsel im Spät-Pleistozän“. Ein Arbeitsgebiet des Projekts befindet sich in Südspanien, in der Provinz Malaga. Der Höhlenkomplex las Pa-



lomas, nahe dem Ort Teba, ist Gegenstand aktueller archäologischer und geomorphologischer Forschung und wird, unter der Leitung von Dr. Martin Kehl, innerhalb dieser Arbeit unter sedimentologischen Aspekten behandelt.

Die große Bedeutung von Höhlen jeglicher Art als Archive der Menschheitsgeschichte ist unumstritten. Lange vor der neolithischen Siedlungsphase wurden Höhlen als Schutz, Unterkunft, Grabstätte genutzt und boten viele weitere Funktionen für den prähistorischen Menschen. „Wandmalereien innerhalb der Höhlen und Grabungen in Sedimenten im Höhleneingangsbereich lieferten mit Skelettresten, Werkzeugen, Feuerstellen, Resten von Mahlzeiten und Kunstgegenstände wesentliche Epochen der Menschheitsgeschichte und sind Bausteine für die Rekonstruktion von prähistorischen Lebensräumen“ (PFEFFER 2010: 13).

Umso wichtiger ist es, die Entstehung, Sedimentation und Entwicklung von Höhlen einschließlich umliegender Gebiete zu verstehen, um, neben den archäologischen Befunden, das Gesamtbild des Archives verstehen und deuten zu können.

Diese Arbeit kann daher unter die verhältnismäßige junge wissenschaftliche Disziplin der Geoarchäologie gefasst werden. Nach BRÜCKNER & VÖTT (2008: 181) ist die Geoarchäologie die Wissenschaft der Erforschung von Geo-Bio-Archiven in einem archäologischen Kontext. Dabei soll die Geoarchäologie die Analyse der Stratigraphie sowie Entstehung, Veränderung und Erhaltungsbedingungen eines Fundplatzes erarbeiten (BRÜCKNER & GERLACH 2007: 513). Diese Arbeit soll als Teil der geomorphologisch/ sedimentologischen Arbeiten in las Palomas die geoarchäologischen Arbeiten unterstützen.

## 2. Fragestellung

Eine korrekte Einschätzung der historischen Entwicklung eines Bodens bzw. Sediment bedarf geowissenschaftlicher Arbeiten, um Fundorte in ihrem umweltbezogenen Kontext einordnen zu können.

Las Palomas wirft bezüglich seiner Genese eine Vielzahl von geomorphologischen Fragestellungen auf. Ein Ansatz der sedimentologischen Untersuchungen ist dabei eine potentielle Einteilung des Sedimentprofils der Dolinen-/Höhlenverfüllung in einzelne Abschnitte, als mögliche Hinweise auf die Stratigraphie. Das Sedimentprofil der Sima, welche in dieser Arbeit behandelt wird, erlaubt Studien über die Herkunft und Entwicklung des geologischen Komplex, sowie der menschlichen Besiedlung und Mensch-Umwelt-Interaktionen (MEDIANERO et al. 2011: 127). Eine erste korrekte Einschätzung in mögliche, voneinander abgrenzbare, Abschnitte ist daher zunächst Grundvoraussetzung zum Verständnis des Sedimentprofils, schlussendlich als Teil für den gesamten Höhlenkomplex Las Palomas.

Ob eine solche Einteilung auf Grundlage der gewählten Arbeitsmethoden möglich ist, soll anhand dieser Arbeit beantwortet werden. Dabei stellen die ausgewählten Methoden lediglich einen ersten Eindruck in die genauere Untersuchung des Profils da. Weitere potentielle Analysen, welche sich aus ergänzenden und erweiterten Fragestellungen im Anschluss an die ersten Ergebnisse ergeben, sollen in den Schlussfolgerungen diskutiert werden.

### 3. Der Höhlenkomplex las Palomas und die Region Guadelteba

Die geographische Einordnung von las Palomas erfolgt in die Region Guadelteba in Südspanien. Die Region befindet sich im Süden der Iberischen Halbinsel als Teil der Provinz Malaga, welche zu Andalusien gehört. Der Höhlenkomplex las Palomas befindet sich etwa 3km östlich von Teba und 8km nördlich von Ardales. Die geographische Position der Höhle liegt bei  $36^{\circ}58'58''$  N und  $4^{\circ}52'44''$  W (WGS84-Ellipsoid). Eine Übersicht der Iberischen Halbinsel und der Lage von las Palomas ist in Abbildung 2 einzusehen.

#### Übersicht Spanien / Umgebung Las Palomas



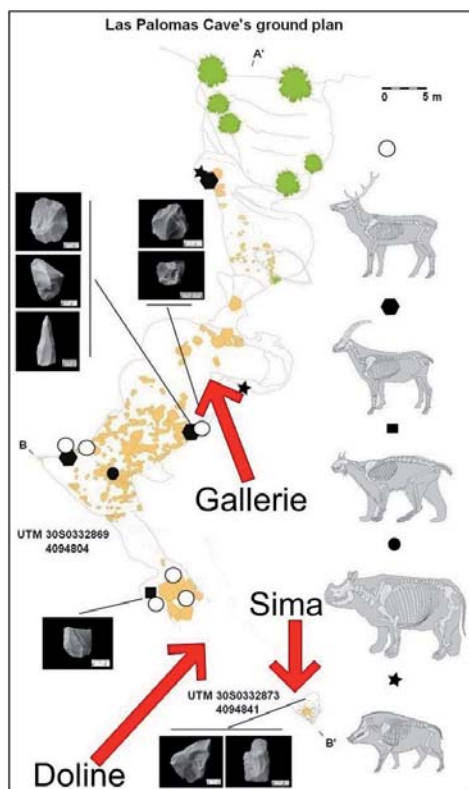
Abbildung 2: Lage las Palomas auf der iberischen Halbinsel, eigene Erstellung

Neben las Palomas verfügt der Süden Spaniens über zahlreiche weitere bedeutende archäologische (Höhlen-)Fundstellen, die ebenfalls Gegenstand aktueller Forschungen innerhalb des Sonderforschungsbereichs 806 sind.

Der Komplex las Palomas weist neben der eigentlichen (offenen) Höhle zusätzliche laterale Galerien auf, welche teils verschüttet, teils mit Sediment verfüllt sind, eine verfüllte Doline, sowie ein etwa sechs Meter hohes Sedimentprofil (Sima) (MEDIANERO et al. 2011: 130). Möglicherweise war der Komplex zu früheren Zeiten eine einheitliche offene Halbhöhle / Abri, welche durch Einsturz oder Verschüttungen rezent in die einzelnen Bereiche unterteilt ist.

Die Ausdehnung der Höhle beträgt etwa 100 Meter Länge, bei einer Breite von rund 20 Metern. Die Galerie besitzt eine Fläche von 600m<sup>2</sup> und ist rezent von der Sima durch die Doline getrennt. Der Ausgang der Galerie befindet sich oberhalb des Tajo de Molino (tajo: dt. Schlucht), einer, nach der tektonischen Hebung des Gebietes an dieser Stelle, vom La Venta River erzeugten Schlucht im Kalkgestein (MEDIANERO et al. 2011: 129). Für den Sedimenttransport durch, bzw. aus der Höhle heraus, hinunter in den Tajo de Molino, spielt der Fluss eine große Rolle.

Erste Arbeiten aus archäologischer Sicht waren sehr erfolgreich. So wurden im Jahr 2002 zunächst alle Bereiche gesäubert und durch die Konstruktion von Stahlgerüsten begehbar gemacht und verschlossen. An verschiedenen Stellen wurden *in situ* gelegene Artefakte dokumentiert und erbrachten eine Einschätzung auf die zeitliche Dimension der Fundstelle in das Mittelpaläolithikum.



**Abbildung 3:** a) Übersicht Höhlenplan las Palomas, ergänzt nach: MEDIANERO et al. 2011: 12; b) Eingang zur Sima/Sedimentprofil, HENSELOWSKY 2011; c) Blick auf die Doline HENSELOWSKY 2011

Eine Übersicht des Höhlenkomplexes mit Auswahl einiger Artefakte und tierischer Knochenfunde findet sich in Abbildung 3a. Abbildung 3b zeigt den Eingang zur Sima in las Palomas, welche durch ein Gerüst begehbar gemacht wurde. Desweiteren ist eine Übersicht auf die

Doline in Abbildung 3c zu sehen. Im rechten Teil des Bildes kann der Eingang zur Sima erkannt werden. Aufnahmerichtung dieses Foto entspricht dem eingezeichneten Pfeil der Doline im Höhlenplan. Deutlich ist auch das umliegende Kalkgestein zu erkennen.

Die naturräumlichen Gegebenheiten der Umgebung von las Palomas, durch das Vorhandensein von Rohmaterial und Fauna, erlaubten eine frühzeitige Besiedlung der Region durch den Menschen und führten zu einer (vermutlich) hohen Mobilität. Möglichkeiten einer Verknüpfung von Sequenzen, welche in weniger als 4km Entfernung am Guadelteba River gefunden wurden, sind nicht ausgeschlossen und könnten eine direkte Verbindung von unterschiedlichen Populationen darstellen. Desweiteren ist eine saisonale Mobilität zwischen Guadelteba und dem Turon River, sowie zwischen nahegelegenen Zonen möglich. Die gesamte Region Guadelteba besitzt in diesem Zusammenhang ein enormes Potential in der Untersuchung der menschlichen Aktivität und Besiedlung des Raumes, da ein direkter Bezug zu anderen Fundstellen (im Becken des Guadelhorce River, Cueva de Ardales, Axarquia/Malaga, Zafarraya, Cordoba) hergestellt werden kann (MEDIANERO et al. 2011: 134).

Schlussendlich sieht MEDIANERO et al. (2011: 134) aufgrund der möglichen Verbindungen der Populationen, einen potentiellen Zusammenhang zum Nordafrikanischen Raum.

### 3.1. Geologie

Die Region Guadelteba, in welcher las Palomas liegt, ist überregional in den westlichen Mittelmeerraum einzuordnen. Geologisch gesehen liegt der Mittelmeerraum in der tertiären eurasiatisch-afrikanischen Bruchzone. Charakteristisch ist die tektonische Dynamik im Tertiär, welche zu „räumlich eng benachbarter Hebungen mit Gebirgsbildung und Steilküsten sowie Einbrüche tiefer mariner Becken“ führte (WAGNER 2001: 213).

### 3.2 Die Betische Kordillere

Näher eingegrenzt liegt die Region des Standortes im westlichen Bereich der Betischen Kordillere. Dieses Faltengebirge entstand durch die Kollision der Iberischen Platte mit der Afrikanischen Platte, beginnend in der späten Kreidezeit und ist somit Teil der alpidischen Orogenese (REICHERTER & PETERS 2005: 193). Auf der Iberischen Halbinsel erstreckt sich die Betische Kordillere als einheitlicher Komplex von der Straße von Gibraltar im Süden nach Osten hin bis an das Cabo de La Nao bei Alicante (SUNTRUP 2010: 34). Dabei weist sie eine Länge von etwa 600 Kilometern auf. Neben der Ausprägung auf der Iberischen Halbinsel verläuft die Betische Kordillere bis in den Mittelmeerraum weiter nach Osten und tritt im Iberischen Meer in Form der Balearischen Inseln wieder an die Oberfläche. Auch kann ein Zusammenhang der Betischen Kordillere als Betikum-Rif-Bogen über die Straße von Gibraltar in das Rif-Gebirge im Norden Marokkos verfolgt werden (REICHERTER 2001). Somit bildet die Betische Kordillere „den südeuropäischen Hauptast des Alpin- Perimediterranen Orogen“ (SUNTRUP 2010: 34).

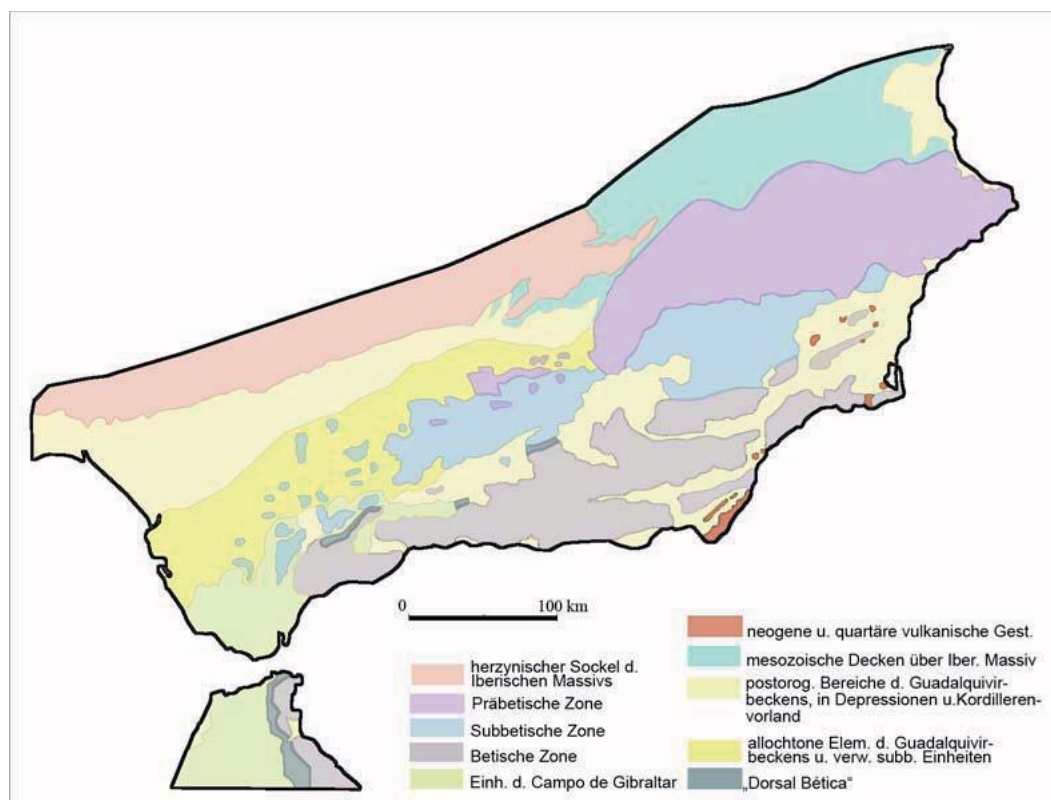


Abbildung 4: Tektonische Großeinheiten der Betischen Kordillere und angrenzender Gebiete, Quelle: SUNTRUP 2010: 36

Die Betische Kordillere ist sehr komplex aufgebaut und kann in unterschiedliche Hauptteile eingeteilt werden. „Zahlreiche Autoren haben dies mit einer Vielzahl verschiedener Unterteilungen von Gebieten, Zonen, Einheiten und Komplexen beschrieben“ (Suntrup 2010: 37). Aufgrund dieser Komplexität erfolgt an dieser Stelle eine erste Einteilung auf die übergreifenden Zonen nach GIBBONS & MORENO (2002: 401). Diese sind Teil der dargestellten tektonischen Großeinheiten in Abbildung 4. Die Haupteinteilung der Betischen Kordillere erfolgt in die Interne Zone, die Externe Zone, sowie die Flysch Zone. Die Externe Zone zeigt die ehemaligen Ränder der Iberischen und Afrikanischen Platte. Sie ist aus einer mesozoisch und tertiären Auflage auf einem variszischen Sockel aufgebaut und während der alpidischen Gebirgsbildung verfaltet. Die höchste Erhebung Andalusiens, der Mulhacen (3481 m ü. NN.), welcher zugleich die höchste Erhebung der Iberischen Halbinsel ist, gehört zur Sierra Nevada, welche sich in der Internen Zone der Betischen Kordillere befindet. Innerhalb der Internen Zone findet man drei Zonen mit Metamorphiten unterschiedlichen Grades. Diese drei Einheiten sind der Nevado-Filabride, der Alpujarride- und Malaga-Komplex (GIBBONS & MORENO 2002: 401). Südwestlichste und zugleich kleinste der drei tektonischen Einheiten ist die Flysch Zone. Sie erfasst kreide- bis miozänzeitliche Flysch-Tiefenwassersedimente. Das Guadalquivir-Becken begrenzt die Betische Kordillere nach Norden (GIBBONS & MORENO 2002: 401).

Las Palomas liegt im Subbetikum der Externen Zone. Das Subbetikum und Präbetikum ist die allgemeine weitere Unterteilung der Externen Zone. Das Präbetikum tritt hauptsächlich im östlichen Teil der Kordillere, mit einem kleinen Ausleger im zentralen Bereich, auf. Weiter südwestlich tritt das Subbetikum in ENE-WSW Orientierung hervor. Das Gestein ist hauptsächlich triasischen bis früh burdigalianen Alters (bis ~16 Mio. Jahre vor heute) und besteht weitestgehend aus Karbonat, mit vereinzelt Basalt (GIBBONS & MORENO 2002: 402). Karbonate des Subbetikums sind in mariner Fazies entstanden, kontinentale und flachmarine Karbonate treten weiter nördlich in der Provinz Jaen und Granada auf. Las Palomas liegt innerhalb des marinen Kalkgesteins des Subbetikums.

Die lokale Geologie der Umgebung des Höhlenkomplex las Palomas ist am intrabetischen Rücken lokalisiert, welcher im westlich-zentralen Teil der Provinz Malaga verläuft. Er bildet den Kontakt zwischen dem Antequera Becken zum Ronda Becken und dem Iberischen Plateau (MEDIANERO et al. 2011: 3).

Hydrogeologisch gehört dieser Bereich zum Guadalhorce River. Der Einzugsbereich dieses Flusses kann in der Zusammenfassung aller Wassereinzugsgebiete im südlichen Spanien zwischen der Betischen Kordillere und dem Mittelmeer zur sogenannten Cuenca Hidrográfica del Sur gefasst werden (SUNTRUP 2010: 42). Der la Venta River, welcher im Zusammenhang der Tajo de Molino bereits erwähnt wurde und direkt unterhalb las Palomas fließt, mündet in den Stauseekomplex Guadálteba-Guadalhorce, der aus dem Zusammenfließen der drei Flüsse Río Guadalhorce, Río Guadálteba und Río Turón besteht und ein Einzugsgebiet von 1431 km<sup>2</sup> Fläche aufweist (SUNTRUP 2010: 30).

Eine geologische Besonderheit der Region um las Palomas bildet der „El Chorro“, welcher als letzter nördlicher atlantisch-mediterraner Zugang einen Austausch zwischen der Thetys (Mittelmeer) und dem Atlantischen Ozean gebildet hat. Nach der Evaporit-Ausbildung im Mittelmeer, aufgrund vom Zusammenspiel des weltweit absinkenden Meeresspiegels und gleichzeitiger tektonischer Hebung vor rund 6 Millionen Jahren, ist die Verbindung von Mittelmeer zum Atlantischen Ozean die Straße von Gibraltar (MARTIN et al. 2001: 418). Geologisch gesehen ist die Straße von Gibraltar heutzutage geschlossen. Sie weist lediglich eine Tiefe von etwa 200m auf. Der Messinian-Guadalhorce-Gateway kontrollierte die Zirkulationen im Mittelmeer vor diesem Zeitpunkt und war ein wichtiger Faktor in der prae-Evaporit Phase (MARTIN et al. 2001: 418). Der heutige „El Chorro“ steht beispielhaft für die große tektonisch-geologische Aktivität der Region, da der Gateway an dieser Stelle besonders verdeutlicht und belegbar ist.

### 3.3 Geomorphologie

Ein kleiner Ausschnitt der geomorphologischen Umgebung von las Palomas ist in Abbildung 5 einzusehen.. Der Höhlenkomplex las Palomas ist übergeordnet in ein Karstgebiet einzuordnen (Abbildung 5 Nr.33: Modelado karstico superficial). Die umgebenden Gebiete sind geprägt von denudativen Massenbewegungen (Abbildung 5: bräunlich/ flieder eingefärbte Bereiche).



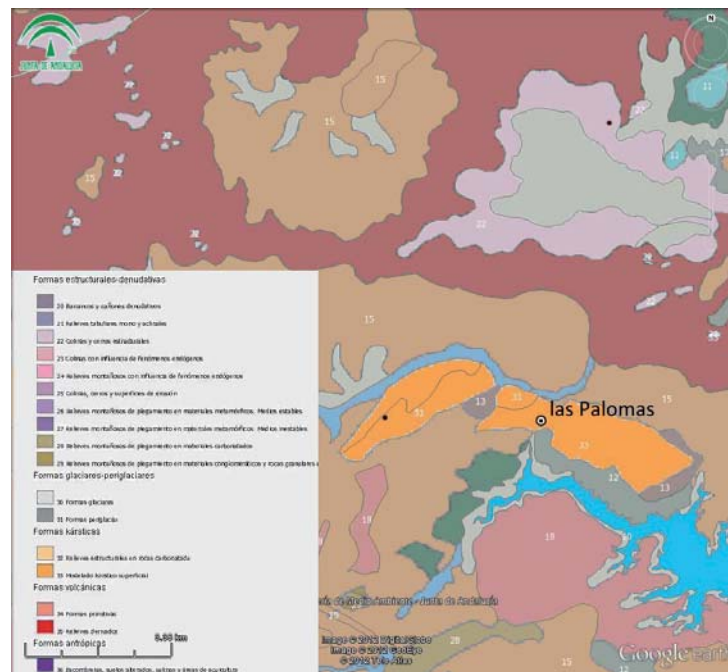
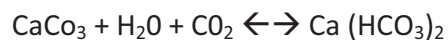


Abbildung 5: Geomorphologische Karte der Umgebung von las Palomas, erstellt nach WMS Mapa Geomorfologico de Andalucía, Junta de Andalucía

„Der Begriff Karst bezeichnet in der Geomorphologie Landformen, die durch die vorherrschende Lösungsverwitterung und –abfuhr entstanden sind“ (SPONHOLZ 2007:309). Speziell der Begriff des „Mediterranen (dinarischen) Karst“ hat sich, neben dem tropischen Karst, als wesentlicher Grundtyp innerhalb des Phänomens Karst etabliert. „Der mediterrane (oder dinarische) Karst ist durch Dolinen, Trockentäler, Poljen, und Korrosionsebenen geprägt, d.h. der durch Hohlformen bestimmte Karst der alpidisch gefalteten und an das Mittelmeer angrenzenden Kalksteingebirge.“ (PFEFFER 2005: 12). Ursachen für diese Landschaftsausprägung sind in der geologischen und geomorphologischen Landschaftsgenese seit dem mittleren Tertiär zu suchen. Speziell im Zusammenhang mit potentiellen Höhlen innerhalb von Karstgebieten, welche wiederum aus archäologischer Sichtweise sehr wichtig sind, besitzen Karstregionen eine große Bedeutung. Die geologischen Bedingungen in Südspanien, mit dem bereits angesprochenen massiven Auftreten von Kalkstein, bieten ideale Karstbedingungen, sodass man auch von Karstgestein spricht. Der Kalkstein, per Definition ein Gestein, welches mehr als 50% Karbonate enthält (PFEFFER 2010: 58), ist wie angesprochen durch marine  $\text{CaCO}_3$  Ablagerungen entstanden. Nicht nur regional in Südspanien, sondern auch global treten Karbonatgesteine sehr häufig auf. So bildet Karbonatgestein Schätzungen nach etwa 16-20% der globalen Landoberfläche und trägt daher eine große Bedeutung (PFEFFER 2010: 38). Das

rezente Landschaftsbild Andalusiens ist, wie in weiteren Regionen des Mittelmeerraumes, häufig geprägt von offenen Felshängen und freiliegendem Kalkgestein. Die vielfach offene Vegetation geht dabei auf den menschlichen Einfluss, beginnend bei der neolithischen Roudungsphase, zurück. Wälder wurden oft vollständig beseitigt und boten dem Boden somit keinen Schutz vor Starkregenereignissen und führten zu einer massiven Bodenerosion, die häufig erst am erosionsfesten Kalkgestein endet (PFEFFER 2005: 13). In diesem Zusammenhang spricht man auch von Badland-Bildung. Die (vermutete) Doline des Höhlenkomplexes las Palomas bildet den Sedimentationsbereich der Verfüllung, welcher in dieser Arbeit bearbeitet wird. Dolinen, „schüssel-oder trichterförmige, gelegentlich auch schachtartige Hohlformen“ (PFEFFER 2005: 13) können in unterschiedliche Typisierungen zusammengefasst werden. Diese Typisierungen sind hauptsächlich nach der Dolinenform gekennzeichnet und mit entsprechenden Zusätzen beschrieben. (PFEFFER 2010: 189). Gemeinsamkeit aller Genesen ist jedoch das Lösen von Kalkgestein durch Wasser in Anwesenheit von CO<sub>2</sub>. Das CO<sub>2</sub> wird hierbei aus der Luft in das Wasser diffundiert und schließlich gelöst. Durch eine chemische Reaktion von CO<sub>2</sub> und CaCO<sub>3</sub> in Anwesenheit von Wasser wird der Kalkstein gelöst und abgeführt. Die Menge des in Lösung gehenden CaCO<sub>3</sub> ist dabei abhängig vom CO<sub>2</sub>-Gehalt (PFEFFER 2010: 60). Die Summengleichung der chemischen Reaktion lautet:



Die aufgezeigte geologische/geomorphologische Situation des Raumes soll einen Eindruck in Lage las Palomas in Andalusien bieten. Zu sehen ist, dass der Raum tektonisch-geologisch sehr aktiv war, was zu seinem heutigen Erscheinungsbild inklusive der Verkarstung und schließlich zum Entstehen des Höhlenkomplexes las Palomas geführt hat.

Im Bezug auf die Geoarchäologie sind Karstgebiete von großer Bedeutung, da es in diesen Gebieten viele Archive der Menschheitsgeschichte gibt (vgl. PFEFFER 2010: 13: Karst und Mensch- von der Vorzeit bis heute). Las Palomas als kleines archäologisches Mosaikteilchen innerhalb der Besiedlung der Iberischen Halbinsel kann hierzu gezählt werden.

### 3.4 Klima

Die geographische Lage Andalusiens ist ein Hauptkriterium für die Charakteristika seines Klimas und Wetters.

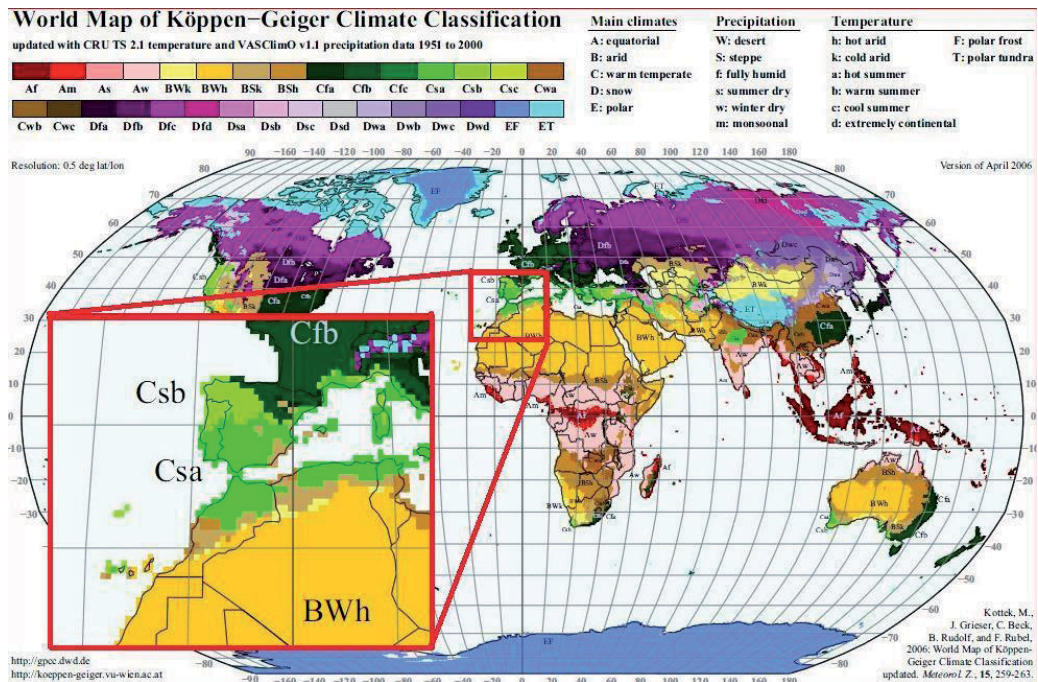


Abbildung 6: weltweite Klimaklassifikation nach Köppen & Geiger nach Kottke, M., et al. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z., 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

Die Einordnung der Region nach der effektiven Klimaklassifikation von Köppen & Geiger (1961) ist ein Csa-Klima (siehe Abbildung 6). Das beispielhaft aufgezeigte Klimadiagramm von Malaga (Abbildung 7) verdeutlicht dies. Die Daten der Klimastation stellen alle charakteristischen Eigenschaften eines Csa-Klima dar. Nach MACKNIGHT & HESS (2009: 295) beruhen diese Eigenschaften für C-Klimate auf einer Temperatur des kältesten Monats zwischen +18 und -3°C (warm-gemäßigtes-Klima), mit gleichzeitigen Niederschlagssummen oberhalb der Trockengrenze. Die Einteilung in ein Cs-Klima (sommertrocken) bedeutet, dass der trockenste Sommermonat weniger als 40mm Niederschlag und weniger als ein Drittel der Niederschlagssummen des feuchtesten Wintermonats hat. Durch eine Mitteltemperatur des wärmsten Monats über +22°C gehört die Region zu den Klimaten mit heißem Sommer (Csa-).

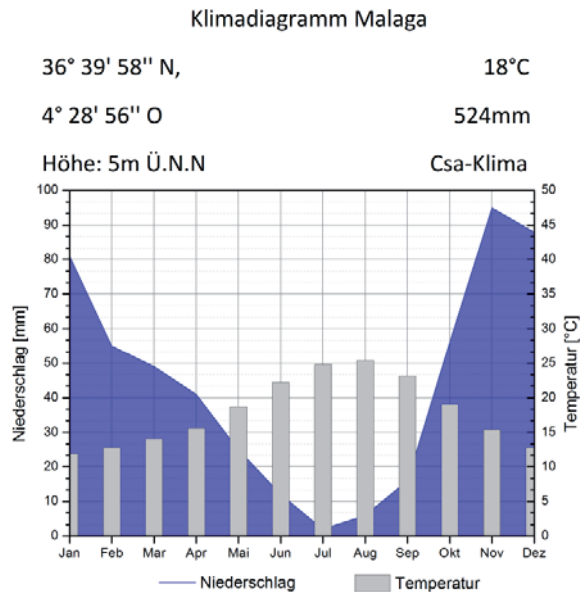


Abbildung 7: Klimadiagramm Malaga, erstellt nach: Ministro de Agricultura Allementacion y Medio Ambiente: Valeros climatologicos normales. Malaga Aeropuerto

Das Klima der Region kann somit als ein typisches Mittelmeerklima mit Winterregen charakterisiert werden. MACKNIGHT & HESS (2009: 293) legen den Schwerpunkt dieses Klimas global gesehen auf einen Breitenkreis bei 35°N und 35°S. Las Palomas, mit einer geographischen Breite von 36°58' N kann ohne Ausnahme hierzu gezählt werden. Die dominierenden Einflussgrößen auf dieses Klima sind westliche Winde und zyklonale Stürme im Winter und ein stabiler Luftabstieg aus dem subtropischen Hoch im Sommer (MACKNIGHT & HESS 2009: 293). Neben der geographischen Lage, bezogen auf die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre, wirkt sich auch die maritime Lage Andalusiens auf das Klima aus. Deutlich sichtbar wird dies an der Verschiebung des monatlichen Temperaturmaximums von Juni (kontinental) zu Juli/August. Die hohe spezifische Wärmespeicherkapazität von Wasser führt zu einer stetigen Erwärmung der Luftmassen, selbst nach dem eigentlichen Höchststand der Sonne und somit zu der beschriebenen Verschiebung des monatlichen Temperaturmaximums. Im Gegensatz hierzu würde ein kontinental geprägtes Klima sein monatliches Temperaturmaximum zeitgleich mit dem höchsten Sonnenstand (Zenitstand) der Sonne (auf der Nordhalbkugel im Juni) aufweisen.

Strahlungsklimatisch liegt der Raum in den Subtropen und besitzt ein Jahreszeitenklima. Auch in den winterlichen Monaten werden mittlere Sonnenhöchststände von 22,5°-45° erreicht. Im Sommer steht die Sonne mittags fast senkrecht (67,5°-90°) am Horizont. Der Subtropen-

sommer ist zeitlich deutlich ausgeprägter als der Sommer in dem mittleren Breiten. Dies liegt am ausgeprägten Einfluss der Niederschlags- und Bewölkungsarmut und führt zu vier ungleich langen Jahreszeiten (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 153f).

Geprägt von der Verschiebung der Allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre und dem Mäandrieren des Polarjets kommt es zu unterschiedlicher Ausprägung von Wetterlagen, da Andalusien genau in diesem Einflussbereich liegt. Die angesprochene Lage der Subtropisch-Randtropischen-Hochdruckzelle führt zu einer autochthonen Witterungsgestalt im Sommer, welches hauptsächlich „sonniges und bewölkungsarmes, strahlungsreiches und heißes Wetter von großer Beständigkeit“ (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 156) bringt. Der Druckgegensatz zwischen Subtropischer- und Polarfront ist in dieser Zeit strahlungsbedingt nicht so groß und führt dazu, dass der Zirkulationsindex des Westwinddrifts, neben der deutlich nach Norden verschobenen Lage, verhältnismäßig schwach ist und es zu beständigen Wetterlagen mit lediglich kleinen Westwinddrifteinflüssen kommt (WEISCHET & ENDLICHER 2000: 156). Die zyklonal bedingten Wetterlagen treten hauptsächlich während des Winters und verstärkt gegen dessen Ende und zu Beginn des Frühjahrs auf. Je nach Lage der Druckgebilde und dem Verlauf des Polarjets (High-Index – Low-Index) kommt es hier zu unterschiedlichen Einflüssen. Die Etablierung eines Kaltlufttropfens (Levante-Zirkulation) während einer Low-Index Phase des Polarjets kann dabei zu torrentiellen Regenfällen im südlichen Spanien führen. (SUNTRUP 2010: 54ff).

Antriebskraft, dieses stark jahreszeitlich-wechselnden Klimas, ist die Verschiebung der Allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre. Während des Nordsommers verschiebt sich die Lage der Innertropischen Konvergenz Zone (ITC) auf der Erdhalbkugel zum nördlichen Wendekreis, aufgrund des wandernden Zenitstandes der Sonne. Dies bewirkt die heißen, trockenen Sommer, da die Subtropisch-Randtropische Hochdruckzelle (für Andalusien gesehen das relativ gesehen stabile Azorenhoch) zu dieser Zeit ebenfalls nach Norden verlagert ist. Während des Nordwinters liegt die ITC auf der südlichen Halbkugel. Somit verschiebt sich die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre ebenfalls nach Süden und Andalusien liegt im Bereich der Westdriftzone, welche den Niederschlag in den Wintermonaten durch feuchte Atlantikluft herbeiführt.

## 4. Material & Methoden

Der Hauptfokus von zahlreichen sedimentologischen Untersuchungen heutzutage ist die Gewinnung von möglichst hochauflösenden Paläoklimatischen-/Paläoumweltdaten anhand unterschiedlicher Proxys. Hierfür gibt es geochemische und sedimentologische Untersuchungen, welche jedoch teilweise sehr zeitintensiv und destruktiv sind. Durch die Erweiterung des Probenintervalls kann die zeitliche Dimension der Analysen zwar verringert werden, eine hochauflösende Datengewinnung über ein Profil oder einen Bohrkern ist dann jedoch nicht mehr möglich. Non-destruktive, detaillierte Analysemethoden (beispielsweise ein XRF-Scanner) sind sehr teuer und bedürfen eines speziellen Equipments (DEBRET et al. 2011: 2).

Die Fragestellungen der Arbeiten am Sedimentprofil in las Palomas benötigen eine ausreichende Gewinnung an Probenmaterial in kleinen Abschnitten, um eine möglichst hochauflösende Datengewinnung zu gewährleisten. Durch die Mächtigkeit des Profils und der daraus resultierenden hohen Anzahl von Proben wurden die Analyseverfahren dieser Arbeit so gewählt, dass eine große Datenmenge in verhältnismäßig kurzer Zeit gewonnen werden konnte. Nachfolgend werden diese Methoden, welche in dieser Arbeit benutzt wurden, vorgestellt.

### 4.1 Probenentnahme

Sämtliche Proben des Profils aus las Palomas wurden im Rahmen der SFB-Geländekampagne zwischen dem 11.-24 September 2011 genommen.

Das Sediment wurde mittels Kittmesser dem Profil entnommen. Problematisch hierbei sind zum Einen die fels-/steinartigen Komponenten innerhalb des Profils, welche eine durchgängige Probenentnahme entlang eines Abschnittes von oben nach unten unmöglich macht, sowie die Vielzahl von Artefakten, da diese zunächst exakt ein gemessen werden müssen. Der Probenverlauf im Profil wird in Abbildung 8 dargestellt.

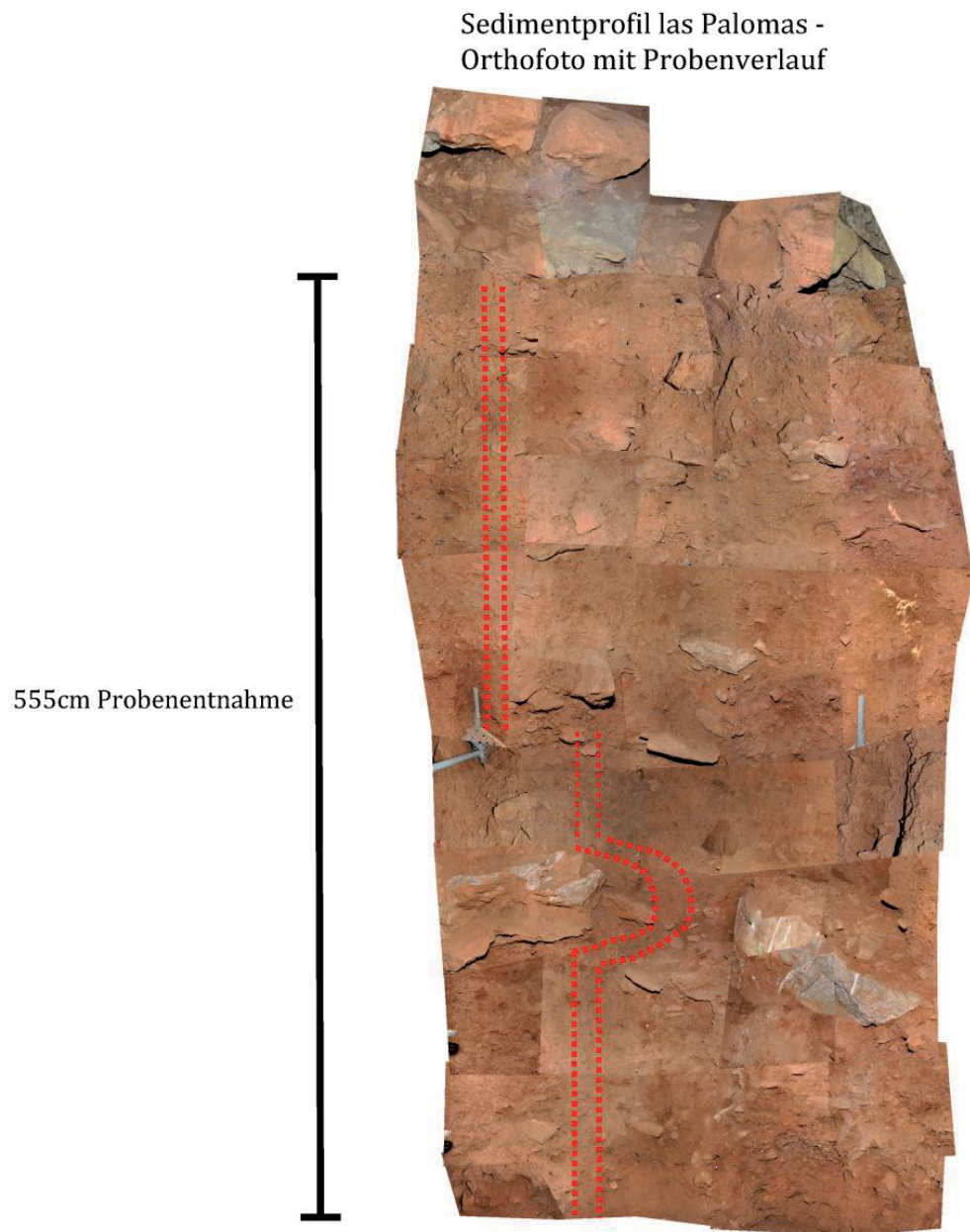


Abbildung 8: Orthofoto des Sedimentprofils mit einzeichnetem Probenverlauf, ergänzt nach PASTOORS 2012

Aufgrund der zeitlich und räumlich nicht durchgehenden Probenentnahme entstanden die Probenbezeichnungen CP1.1 – CP1.29, CP2.1 – CP2.31 und CP3.1 – CP3.49.

Zusätzlich hat sich im Laufe der Zeit eine „Schmutztapete“ auf dem Profil festgesetzt. Soweit wie möglich wurde diese vor der Probenentnahme gereinigt, insbesondere im Bezug auf die Farbbestimmung ist jedoch eine leichte Verunreinigung der Proben nicht ausgeschlossen, da

eine vorherige komplette Säuberung und ein Abstich des Profils, wiederum aufgrund der Vielzahl an Artefakten, innerhalb des Arbeitszeitraum nicht zu bewerkstelligen war.



Abbildung 9: Probenentnahme am Profil, Kock 2011

Abbildung 9 zeigt die Arbeiten am Profil, mit Einblick in die vielen Grobkomponenten des Sediments und den daraus resultierenden genannten Schwierigkeiten, welche bei der Sedimententnahme zu bewältigen waren. Um eine möglichst hochauflösende Probenentnahme zu gewährleisten wurden insgesamt 109 Proben in einem Abstand von 5cm genommen. Diese wurden in Probenütten mit fortlaufender Beschriftung verpackt. Die Menge des gewonnenen Probenmaterials wurde dabei so abgeschätzt, dass eventuell nachfolgende Laboruntersuchungen, neben denen dieser Arbeit, ebenfalls durchgeführt werden können.

Einen Ausschnitt des etwa 15-20cm breiten Probenverlaufs ist in Abbildung 10 einsehbar. Hier können ebenfalls viele der groben Sedimentanteile gesehen werden. Ebenso ist der Farbunterschied zwischen entnommenem Sediment und der Schmutztapete des Sediments deutlich.



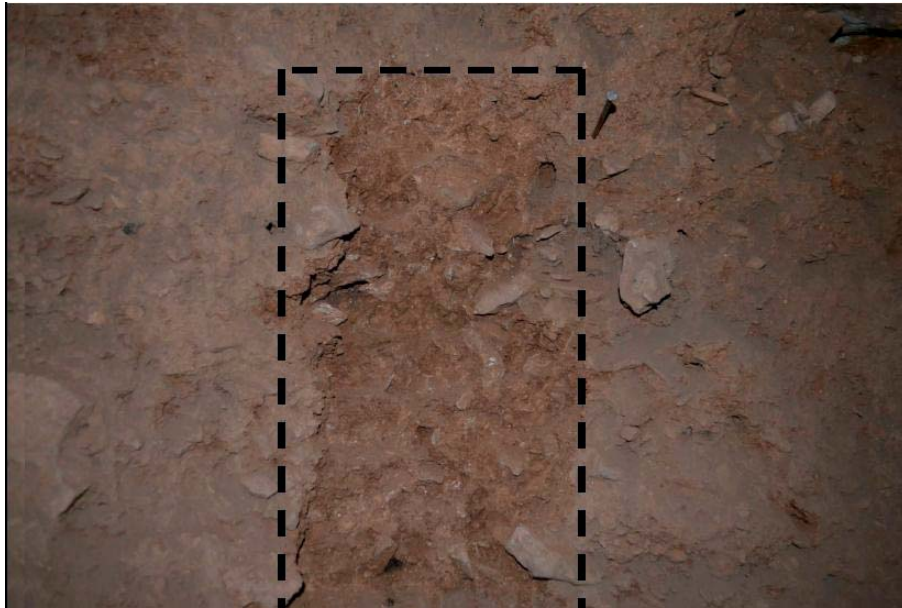


Abbildung 10: Beispiel des 15-20cm breiten Probenverlauf, HENSELOWSKY 2011

Im Labor wurden alle Proben zunächst im Trockenschrank bei 40°C 2 Tage getrocknet, um sie anschließend auf <2mm zu sieben.

## 4.2 Farbbestimmung

Die reine Sedimentfarbe ist bereits ein guter Proxy, welchen man verhältnismäßig schnell beschreiben kann und aus dem einige Ableitungen der Sedimentzusammensetzung durchgeführt werden können (DEBRET et al. 2011: 2).

Bereits im Gelände kann eine kurze Farbensprache zu ersten Eindrücken der Sedimentabfolge eingesetzt werden. Um eine vergleichbare Farbensprache unter Ausschluss von subjektiven Farbeindrücken aufgrund von unterschiedlicher Beleuchtung, Größe der Farbfläche, Verteilungsform, Umgebungs- und Hintergrundfarbe zu erreichen, ist die Benutzung von Farbtafeln unumgänglich. Die „Munsell Soil Color Charts“ haben sich in der Bodenkunde bewährt. Die MUNSELL-Farbtafeln definieren ein Sediment/Boden nach Farbe (Hue), Helligkeit/Grauwert (Value) und Farbintensität (Chroma) (vgl. Abbildung 11). Dabei sind auf einem Farbkreis die Komplementärfarben gegenüber angeordnet und es kann zwischen allen

Grundfarben ein Übergangsbereich definiert werden. Die Helligkeit des Sediments kann auf einer Achse, die den Farbkreis zentral schneidet, dargestellt werden (BLUME et al. 2010: 265f)

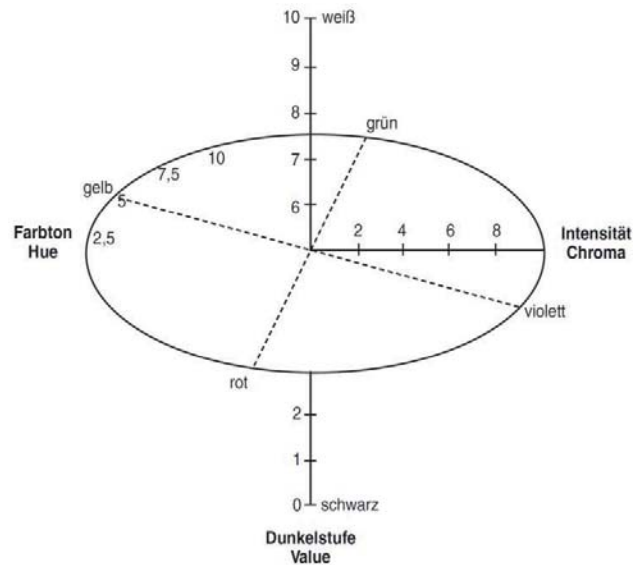


Abbildung 11: Farbbeschreibungen nach MUNSELL, Quelle: BLUMEL et al. 2010: 265

Dabei legen Buchstaben und Zahlen den Wert fest (TORRENT & BARRON 1993: 25, Bodenkundliche Kartieranleitung 2005: 108f). Dieser Wert kann, unter Beachtung einer korrekten Farbansprache, direkt im Gelände oder im Labor bestimmt werden. Da dieser Farbbestimmung, trotz möglichst einheitlicher Farbansprache, zwangsweise subjektive Fehler unterlaufen, werden in den Geo-/Bodenwissenschaften heutzutage Labormethoden zur Farbbestimmung herangezogen. Dabei können die gewonnenen Farbdaten nicht nur beschreibend sein und Unterschiede im Sediment kennzeichnen, sondern auch genauere Hinweise auf die mineralogische Zusammensetzung der Probe geben.

Für diese Arbeit wurde die Farbbestimmung mittels eines automatischen Spektralphotometers gewählt. Für die Fragestellung dieser Arbeit entspricht dieses Analyseverfahren den Anforderungen, da neben den MUNSELL-Farbwerten, ein breiter Datensatz, bei einer schnellen und non-destruktiven Messung, gewonnen werden kann. Die gewonnenen Daten sind durch eine Konvertierung mittels Tabellen, Graphen oder Computerprogrammen in andere Farbsysteme, beispielsweise das CIE-Farbnormsystem, korrelierbar (TORRENT & BARRON 1993: 26).

Innerhalb des CIE-Farbnormsystem gibt es die Werte  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ . So repräsentiert die  $a^*$ -Achse den Rot-Grün Anteil der Farbe, die  $b^*$ -Achse den Gelb-Blau Anteil, sowie der  $L^*$  für die Helligkeit einer Farbe. Dieses Farbnormsystem eignet sich gut zum visualisieren von unter-

schiedlichen Farben (TORRENT & BARRON 1993: 25) und bietet zusammen mit den MUNSELL-Farbwerten bereits eine erste gute Ergebnisgrundlage.

Die Messungen erfolgten am Spektralphotometer CM5 der Firma KONICA MINOLTA und wurden in der Abteilung Bodenwissenschaften des Instituts für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Universität Bonn vorgenommen.



Abbildung 12: Spektralphotometer CM5 zur Messung der Farbwerte, HENSELOWSKY 2012

Das Spektralphotometer CM5 (siehe Abbildung 12) misst im Wellenlängenbereich von 360 bis 740nm, bei einer Auflösung von 10nm.

Der Sensor der Messung besteht aus einer Silizium-Photodiode (2 x 40 Photodioden). Lichtquelle ist eine Xenon-Blitzlampe. Für die eigentliche Messung wird die Probe in eine hohe Petrischale gegeben und auf die Linse des Geräts gestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Probenmenge ausreichend ist und der Boden der Petrischale gleichmäßig gut bedeckt ist. Die Messung läuft automatisch und die Daten werden in eine Excel-Arbeitstabelle des angeschlossenen Laptops übertragen.

Das Prinzip der Messung beruht darauf, dass der größte Teil des ausgesendeten Lichtstrahls in das Sediment eindringt und an der Oberfläche von Mineralen sowie organischen Anteilen Reflexion und Beugung unterliegt. Dieser Prozess verteilt das Licht und kann als diffus reflektiertes Licht beschrieben werden. Die Farbe dieses Licht ist das Resultat der unterschiedlichen Fähigkeit der Sedimentkomponenten, Licht unterschiedlicher Wellenlängen mehr oder

weniger zu absorbieren (TORRENT & BARRON 1993: 22) wodurch, die farblichen Eigenschaften des Sediments gemessen werden können.

### 4.3 Magnetische Suszeptibilität

Neben der Sedimentfarbe und Körnung sind auch die magnetischen Eigenschaften eines Sedimentes von großer Bedeutung. Während der 1970er und 1980er Jahre wuchs das Verständnis in den (Geo-)Wissenschaften, dass die magnetischen Eigenschaften nicht nur für Gesteine, sondern auch für sämtlichen anderen Materialien der Umwelt, eine Beschreibung und Klassifizierung sehr gut ermöglichen (DEARING 1999: 4). Ein Proxy der magnetischen Eigenschaften ist die magnetische Suszeptibilität. Sie beschreibt die Magnetisierbarkeit des gemessenen Materials. Hierbei ist insbesondere der Fe-Einfluss entscheidend. Neben diesem Einfluss gibt es weitere spezifische Minerale, welche sehr sensibel gemessen werden können, wie z.B. besonders ferromagnetische Minerale wie Magnetit (MAHER 1998: 26). Somit kann die magnetische Suszeptibilität einzelne Sedimenttypen unterscheiden und einen eventuell vorhandenen „environmental fingerprint“ des Sediments darstellen. Desweiteren können eine Vielzahl von anderen Hinweisen anhand der magnetischen Suszeptibilität gewonnen werden. Insbesondere in Löss-Sequenzen wird die magnetische Suszeptibilität als Unterscheidungskriterium angewendet und kann als Proxy für klimatische Schwankungen dienen. Die Messung der magnetischen Suszeptibilität ist relativ schnell und ermöglicht eine detaillierte erste Analyse von Sedimentprofilen, charakterisiert durch eine hohe mögliche Probenuntersuchung (MAHER 1986: 91). Dies macht die Messung der magnetischen Suszeptibilität zu einer geeigneten Untersuchungsmethode für die Proben dieser Arbeit mit dem Ziel, zunächst potentielle Unterschiede der magnetischen Suszeptibilität festzustellen.

Die eigentliche Messung erfolgte anhand des Magnetic Susceptibility Meter M32 der Firma Bartington im Labor des geographischen Instituts der Universität zu Köln. Dieses Handgerät ermöglicht eine hohe Probenbearbeitung in verhältnismäßig kurzer Zeit.

Um den Einfluss anderer magnetischer Materialien möglichst gering zu halten, wird die Messung im Labor auf einem Kunststofftablett durchgeführt, auf welchem die Probenbeutel liegen, vgl. Abbildung 13.

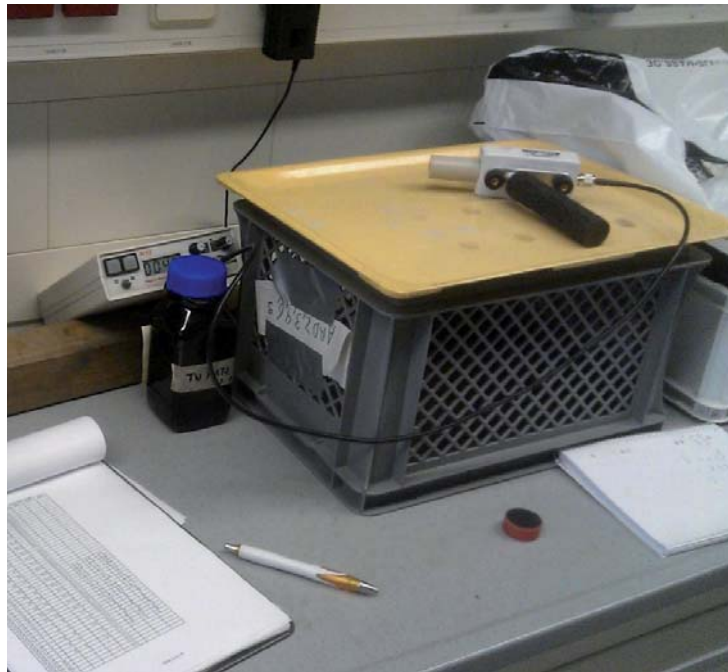


Abbildung 13: Messung der magnetischen Suszeptibilität, HENSELWSKY 2012

Bei der Messung muss beachtet werden, dass das Probenmaterial gleichmäßig kompakt vorliegt. Zur Kontrolle wurde jede Probe dreimal gemessen, um anschließend den Mittelwert zu bestimmen.

Das Funktionsprinzip der Messung beruht auf der Induktion eines magnetischen Feld durch den Sensor des Handgeräts. Unter diesem Einfluss kann die Magnetisierbarkeit des Sediments gemessen werden, da die magnetischen Komponenten des Materials das magnetische Feld beeinflussen. Dieser Einfluss und das Verhältnis zum induzierten Magnetfeld werden gemessen und in die magnetische Suszeptibilität umgerechnet.

#### 4.4 Laserdiffraktometer

Eine sehr wichtige Sedimenteigenschaft ist die Korngrößenverteilung der zu behandelnden Proben. Sie kann die Sedimenttextur definieren und sowohl physikalische, als auch chemische Eigenschaften des Sediments aufgreifen (ESHEL et al. 2004: 736). Korngrößen können

einen Hinweis auf Transport, Verlagerung und Sedimentherkunft geben und desweiteren auch als Vergleichsgröße („fingerprinting“) von Nutzen sein (BLOTT et. al 2004: 1). Änderungen der Korngrößenverteilung können somit Hinweise auf unterschiedliche Schichten und Ablagerungsmilieus bieten.

„Die „Korngrößenverteilung“ eines Korngemisches beschreibt den Anteil der einzelnen Korngrößen an dessen Zusammensetzung“ (WALGER 1964: 978). Dabei ist zu beachten, dass der Anteil von Korngrößen in unterschiedlichen Maßen ausgedrückt werden kann. WALGER (1964: 978) stellt als Maße der Korngrößenverteilung die Korngrößen-Kornzahl, -Oberfläche, -Volumen, und -Gewicht da. Welche Verteilung letztlich relevante Aussagen innerhalb der Interpretation von Ergebnissen trifft, ist im Einzelfall je nach Fragestellung verschieden.

Neben der klassischen Sedimentationsanalyse zur Körnung des Substrats nach KÖHN gibt es weitere Methoden zur Bestimmung der Korngrößenverteilung (BARSCH et al. 2000: 302), wie z.B. die Aräometermethode nach CASAGRANDE (1932), De LENNHERR, VAN RUYNBEKE & MEAS (1955); die Sedimentationsanalyse nach ATTERBERG (1921); das Spülverfahren nach KOPECKY-KRAUS (Sauer 1956/1957). In den letzten 15 Jahren erlangte die Methode mittels Laserdiffraktometer als Analyse der Körnung eine steigende Bedeutung (BLOTT & PYE 2006: 671).

Die Laserdiffraktometrie weist gegenüber den klassischen Körnungsanalysen eine Reihe von Vorteilen auf, welche sie, insbesondere für diese Arbeit, als gut geeignete Labormethode erscheinen lässt.

Exemplarisch für die klassischen Körnungsanalysen steht die Sieb- und Schlämmanalyse nach KÖHN. Diese Analyse ist eine Kombination aus Nasssieben, durch genormte Siebe unterschiedlicher Maschenweiten der unterschiedlichen Korngrößenbereichen,  $>63 \mu\text{m}$  und der Pipettanalyse der Schluff- und Tonfraktion, aufgrund der unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten der Partikel innerhalb einer Suspensionsprobe. In einem Messzylinder wird hierbei in festgelegten Zeitabständen aus einer vorgegebenen Tiefe mittels einer Pipette eine Menge der Bodensuspension entnommen, anschließend getrocknet und gewogen. Somit misst die Sieb- und Schlämmanalyse das prozentuale Korngrößengewicht der definierten Korngrößenklassen (BEUSELINCK et al. 1998: 195).

Gegenüber den Sieb- und Schlämmverfahren, welche eine hohe Menge von mindestens 10g an Probenmaterial benötigen (BEUSELINCK et al. 1998: 194), reichen bei der Messung mittels

Laserdiffraktometrie Probenmengen von 0,2 bis 4g für übliche Böden und Sedimente aus, um eine Korngrößenverteilung zu messen (PYE & BLOTT 2004: 21). Desweiteren ist die Korngrößenanalyse basierend auf Sedimentationsraten für die Feinfraktion und das Sieben für die Sandfraktion sehr zeitaufwendig, bei gleichzeitig limitierender Einteilung der Korngrößenklassen (ESHEL et al. 2004: 736), und daher für eine große Anzahl an Proben nicht geeignet. Somit bietet die Laserdiffraktometrie ein großes Potential innerhalb der Bodenkunde (BEUSELINCK et al. 1998: 194) und wird aufgrund ihrer Vorteile für diese Arbeit angewendet. Dennoch müssen alle neuen Methoden auf ihre Reproduzierbarkeit untersucht werden und insbesondere beim Vergleich von Ergebnissen der „klassischen“ Analysen kritisch hinterfragt werden. Aufgrund dieser Tatsache ist auch die Vielzahl an Publikationen, welche sich mit dem Vergleich der Messmethoden beschäftigen, auf diesem Arbeitsgebiet zu deuten.

Die Korngrößenanalyse erfolgte am Laser Diffraction Particle Size Analyser LS 13 320 der Firma Beckmann Coulter im Geographischen Institut der Universität zu Köln (Abbildung 14). Das Gerät besteht aus einer optischen Bank, in welcher die eigentliche Messung stattfindet, dem Aquius liquid module, sowie einer automatischen Proben-Präparier Station und ist zusätzlich zur Steuerung und Datenspeicherung an einem Computer angeschlossen. Die Software zur Steuerung und Datenaufbereitung und ist das LS 13 320 Control Program.

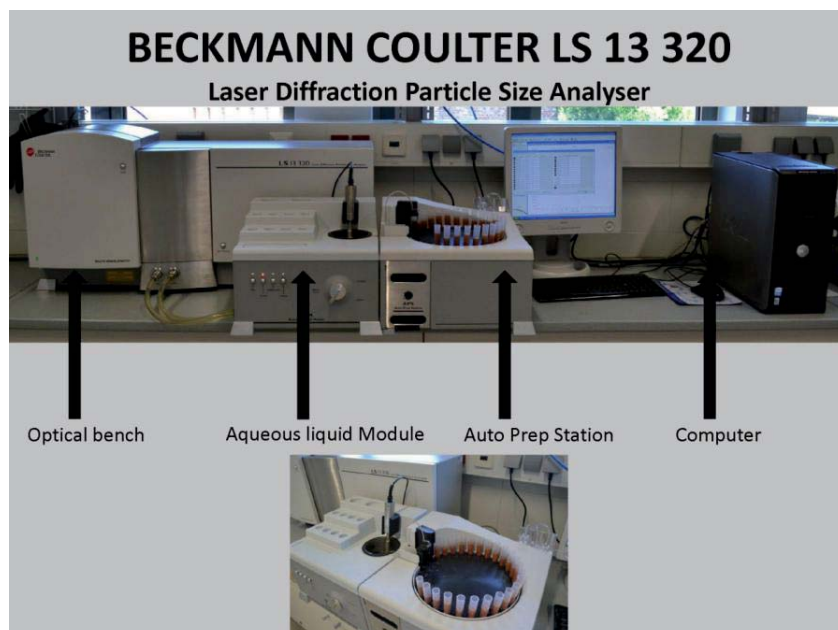


Abbildung 14: Beckmann Coulter LS 13 320, HENSELOWSKY 2012

Die Messung der Korngrößen beruht auf der Wechselwirkung von elektromagnetischen Strahlen und Sedimentpartikeln. Dabei lenken Partikel einer festen Größe die Strahlen in einem festen Winkel ab (BEUSELINCK et al. 1998: 195). Dieser Winkel der Strahlenbeugung ist invers zur Partikelgröße (ESHEL et al. 2004: 736).

Ein Strahl monochromatischen Lichtes der Wellenlänge  $\lambda$  750nm (Laser) wird dabei zunächst durch zwei Linsen gestrahlt, um anschließend durch die Suspensionslösung geführt zu werden (siehe Abbildung 15).

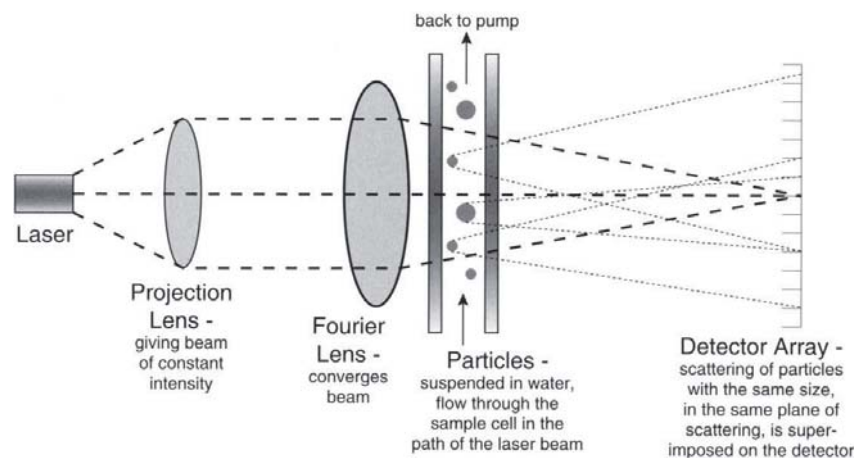


Abbildung 15: Prinzip der Partikelgrößenmessung am Laser 13 320, Quelle: BLOTT 2004: 64

Der Winkel, der von den Teilchen erzeugten Abstrahlung des Lasers, wird von Detektoren gemessen. 126 solcher Detektoren stehen dabei zur Messung der verschiedenen Korngrößen zur Verfügung (BEUSELINCK et al. 1998: 195). Routinemäßig wird hiermit der Korngrößenbereich zwischen  $2000\mu\text{m}$  -  $0,4\mu\text{m}$  gemessen (BLOTT et al. 2004: 64). Für den Korngrößenbereich  $<0,4\mu\text{m}$  ist optional das PIDS-System (polarization intensity differential scattering) verfügbar, welches bei Ton-haltigen Proben angewandt werden kann. Hier können durch einen zusätzlichen polarisierten Laserstrahl und weiteren Detektoren Partikel bis zu einer Größe von  $0,04\mu\text{m}$  gemessen werden.

Für die Berechnungen der Korngrößen können zwei optische Modelle angewandt werden. Zum Einen die Berechnung nach der Mie-Theorie, und zum Anderen das Modell der Fraunhofer-Streuung. Dabei beruht die Fraunhofer-Theorie darauf, dass ausschließlich Diffraktion und keine Refraktion der Partikel ausgesendet wird (BEUSELINCK et al. 1998: 195).

Für alle Messungen dieser Arbeit wurde das Fraunhofer-Modell mit PIDS-System benutzt. Die Messzeit einer Probe lag bei 90 Sekunden, bei zweimaliger Messung einer Probe.



„Wichtig ist sich vor Augen zu führen, dass viele primäre Mineralpartikel oft nicht als isolierte Partikel, sondern zu einem Verband aus unterschiedlich vielen und großen Primärpartikeln zusammengeballt sind“ (MANSFELDT 2007: 105). Um die primären Partikel messen zu können muss der Korngrößenverbund vor der Messung aufgelöst werden. Für organische Anteile der Proben kann eine Humuszerstörung mittels  $\text{H}_2\text{O}_2$  durchgeführt werden. Kalkhaltige Proben werden mit HCL behandelt, um eine  $\text{CaCO}_3$ -Zerstörung durchzuführen.

Um alle Ionen aus der Lösung zu isolieren, werden alle Proben nach Behandlung mit HCL mit destilliertem Wasser dreimal zentrifugiert.

Zuletzt werden alle Proben vor der Messung mit einem Dispergierungsmittel ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) und destilliertem Wasser mind. 12 Stunden in einen Überkopfschüttler gegeben, um eine gute Suspension zu gewährleisten und Kornverbände aufzulösen, sodass die einzelnen Partikelgrößen gemessen werden können.

## 5. Ergebnisse

Nachfolgend werden die erhobenen Daten dargestellt und beschrieben, um sie anschließend in der Diskussion der Ergebnisse miteinander zu vergleichen und zu analysieren. Alle Tiefenangaben beziehen sich auf die durchschnittliche Tiefe der Proben.

### 5.1. Geländeergebnisse

Bereits bei den Arbeiten am Profil im Gelände konnten einige erste Eindrücke des Profils gewonnen werden. Zunächst fallen die vielen fels-/steinartigen Komponenten innerhalb des Profils auf, welche bereits bei der Beschreibung der Probenentnahme, aufgrund der damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Beprobung, genannt wurden. Abbildung 8, 9 und 10 haben bereits einen Einblick in die Vielzahl der groben Komponenten gegeben. Auffallend im Orthofoto (Abbildung 8) sind zwei große Steinbrocken, welche etwa das untere Drittel des Profils kennzeichnen. Weitere Komponenten, die eine klare Gruppierung von Komponenten kennzeichnen würde, konnten nicht ausgemacht werden. Bei dem im Profil vorhandenen Gestein handelt es sich fast ausschließlich um Kalkgestein. Auffallend war die Vielzahl an vorhandenen Artefakten innerhalb des Profils. Hier konnten Bereiche mit einer deutlich höheren und geringeren Anzahl an Artefakten ausgemacht werden, die jedoch Teil laufender archäologischer Arbeiten sind.

Desweiteren konnten erste Farbunterschiede des Sediments beobachtet werden. Das Orthofoto des Profils (Abbildung 8) kann diese vertikalen Farbunterschiede nicht darstellen und soll lediglich als Einblick gelten, da eine Untersuchung anhand des Orthofoto, beispielsweise auf Farbunterschiede, eine spezielle Nachbearbeitung der Fotos benötigt. Im Gelände konnte im oberen Bereich des Profils bis in eine Tiefe von etwa einem Meter ein gräuliches Sediment festgestellt werden. Vereinzelt treten in diesem Bereich Wurzelreste oder ähnliche

organische Teile auf. Mit zunehmender Tiefe wechselte das Sediment in ein rötliches Sediment, welches phasenweise leicht erhöhte gräuliche Komponenten aufweist. Im unteren Bereich konnte ein deutlich dunkleres Sediment ausgemacht werden. Abbildung 16 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Bereich. Hierbei wird der genannte Farbunterschied zwischen eigentlichem Sediment und Schmutzüberzug sehr deutlich.



Abbildung 16: Ausschnitt der Probenentnahme mit Unterschied zwischen rötlicherem und dunklerem Sediment, HENSELOWSKY 2011

Eine kleine „Tasche“ dieses dunkleren, gräulichen Sediments zieht sich bis etwa 60cm oberhalb des Profilsendes nach oben. Die unteren 20cm des Profils im Bereich der Probenentnahme bestehen ausschließlich aus diesem dunkleren Sediment, welches eine weichere Konsistenz aufweist, als das rötliche Sediment. Insgesamt ist dieser dunkle Bereich des Sediments nicht über die gesamte Breite des Profils vollständig vorhanden, was ihn zu einem interessanten Bereich, speziell für den unteren Teil macht. Erste Vermutungen im Gelände lassen diesen Bereich als eine ehemalige Feuerstelle erscheinen, da hier ebenfalls besonders viele Holzkohlereste gefunden wurden.

Aufgrund der teilweise sichtbaren Farbunterschiede, welche jedoch sehr subjektiv und geprägt von schlechten Lichtverhältnissen innerhalb der Sima am Profil sind, bedarf es für eine potentielle Einteilung des Profils, unter anderem anhand von Farbunterschieden, einer genaueren Untersuchung der Farbeigenschaften des Sediments. Die nachfolgenden Ergebnisse der Farbbestimmung durch einen Spektralphotometer sind daher von großer Bedeutung, da eine klare Gliederung des Profils aufgrund der Geländeergebnisse nicht möglich ist.

## 5.2 Ergebnisse der Farbbestimmung

Die Ergebnisse der Farbbestimmung sollen zunächst anhand der MUNSSELL-Farbwerte Hue (Farbe), Value (Helligkeit / Grauwert) und Chroma (Farbintensität), einzusehen in Abbildung 17, beschrieben werden, da die MUNSSELL-Farbwerte in der Bodenkunde von größter Bedeutung sind (vgl. Kapitel 4.2 Farbbestimmung). Eine Auflistung der dargestellten Ergebnisse des Spektralphotometers befindet sich im Anhang, Tabelle 1.

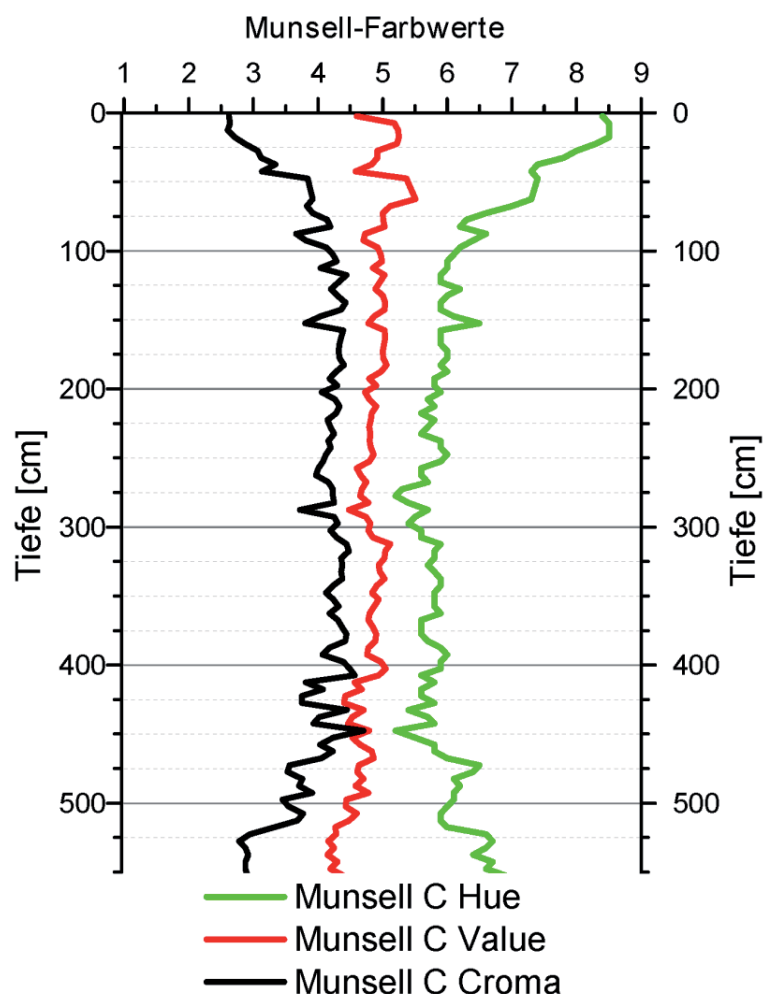


Abbildung 17: Ergebnisse der Farbanalyse nach MUNSSELL

Der Chroma-Wert variiert zwischen 2,60 (2,5cm) und 4,70 (447,5cm), bei einem Mittelwert von 3,95. Der Verlauf der Farbintensität der Proben, gemessen am Chroma-Wert, steigt vom Wert 2,60 bis in eine Tiefe von etwa 110cm auf den Wert etwa 4,40. Nachfolgend ist der

Wert relativ konstant, schwankt bis in eine Tiefe von 400cm lediglich leicht um den Wert von 4,20. Zwei kleine negative Peaks in diesem Bereich liegen in einer Tiefe von 152,5 mit einem Chroma-Wert von 3,80 und einem Wert von 3,72 bei 287,5cm. Größere Schwankungen sind ab einer Tiefe von 400cm abwärts zu erkennen. Hier schwankt der Wert zunächst zwischen 3,75 und dem Maximum von 4,70 bei 447,5cm, bis der Wert einen abnehmenden Trend zum Ende des Profils auf Werte um 2,90 aufweist. Somit können innerhalb des Chroma-Wertes drei größere Bereiche voneinander abgegrenzt werden: 1. 0-110cm mit einer steigenden Tendenz des Wertes, 2. von 110cm- 400cm mit relativer Konstanz und 3. ab 400cm-bis zum Ende des Profils bei 555cm mit sinkendem Chroma-Wert.

Der Hue-Wert variiert zwischen 5,20 (447,5cm) und 8,50 (17,5cm), bei einem Mittelwert von 6,13. Er besitzt die größte Variabilität der drei dargestellten Werte. Ähnlich zum Chroma-Wert lassen sich auch hier drei größere Bereiche innerhalb des Verlaufes festmachen. Zunächst sinkt der Wert von seinem Maximum innerhalb der obersten 100cm von 8,5 auf etwa 6,0. Der nachfolgende Bereich ist weiterhin gekennzeichnet von einem leicht sinkenden Wert, welcher jedoch deutlich flacher ausfällt. Bis in eine Tiefe von etwa 280cm ist diese leichte Tendenz zu erkennen. Überlagert wird dieser Trend jedoch von kleineren Schwankungen und einem kleinen Peak in einer Tiefe von 152,5cm (Wert 6,5). Im Bereich zwischen etwa 300cm und 400cm erfolgt kein Ab- oder Aufwärtstrend. Die einzelnen Schwankungen in diesem Bereich befinden sich innerhalb eines konstanten Trends ( $5,8 \pm 0,2$ ). Ab 400cm sinkt der Wert in der Tendenz leicht bis auf sein Minimum von 5,20 in 447,5cm Tiefe, bevor die Werte wiederum im unteren Bereich des Profils einen ansteigenden Trend aufweisen. Diesen Trend ist zwischen 447,5cm bis 470cm von 5,2 auf 6,5, einem darauffolgenden leicht absteigenden Trend auf 5,9 in 507,5cm Tiefe und einem weiteren Anstieg der Werte auf etwa 6,6 in den untersten 50cm des Profils. Die drei größeren Einteilungen, stark sinkender Wert bis etwa 100cm Tiefe, leicht sinkender bis konstanter Wert zwischen 100cm und etwa 430cm, sowie steigendem Verlauf in den unteren 120cm ist den drei größeren Einteilungen des Chroma-Wertes sehr ähnlich.

Der Value-Wert weist deutlich geringere Schwankungen auf, als die Werte der Farbe (Hue) und der Farbintensität (Chroma). Sein Maximum liegt in einer Tiefe von 62,5cm mit 5,51, bei einem Minimum des Wertes von 4,15 in einer Tiefe von 537,5cm. Der Mittelwert beträgt 4,8.

Somit weist der Value-Wert im Vergleich aller drei Parameter die geringste Variabilität auf. Eine sichtbare Tendenz ist hierbei nur in den untersten 150cm zu erkennen, in welchen der Wert von 5 auf etwa 4,2 sinkt. Die obersten 80cm sind von den größten Schwankungen des Value-Wertes betroffen.

Insgesamt kann man in den drei Werten mehrere auf- und absteigende Trends erkennen, die über das gesamte Profil verteilt, aber jeweils von kleineren Schwankungen geprägt sind. Die drei übergeordneten Trends lassen sich in allen drei Werten erkennen. Kleinere Schwankungen und Peaks einzelner Proben sind teilweise in allen drei Werten zu erkennen, beispielhaft ist hier der kleine Peak innerhalb aller drei Werte der Probe CP1.29 in einer Tiefe von 152,5cm (kleinerer Chroma-Wert, kleinerer Value-Wert, größerer Hue-Wert bezogen auf die umgebenden Werte). Welche kleineren Schwankungen im Einzelnen auf welche Ursache zurückzuführen sind und warum einzelne Schwankungen der unterschiedlichen Werte mal mehr und weniger in das Gewicht fallen ist nachfolgend zu interpretieren.

Da bei der Geländeansprache die Helligkeitsunterschiede des Sediments aufgefallen sind, wird desweiteren der L\*-Wert des CIE-Farbraums dargestellt werden (siehe Abbildung 18 und Tabelle 1 im Anhang).

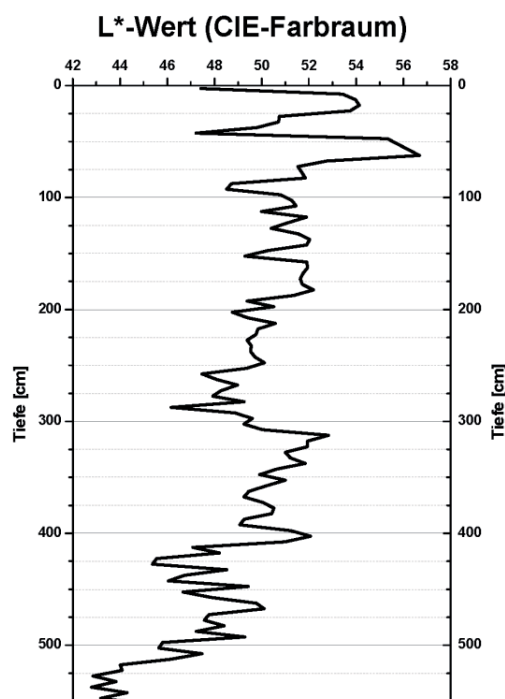


Abbildung 18: Ergebnisse der Farbanalyse anhand des L\*-Wert (CIE-Farbraum)

Ein L\*-Wert von 100 steht für die Farbe Weiß, ein L\*-Wert von 0 steht für die Farbe Schwarz. Zwar gibt auch der Value-Wert der MUNSSELL-Farbwerte die Helligkeit des Sediments an, doch kann durch die Darstellung eines weiteren Helligkeitswertes dieser exakter gefasst werden. Die Werte zeigen deutliche Schwankungen an. Sie belaufen sich zwischen dem Maximalwert von 56,68 in einer Tiefe von 62,5cm und den Minimalwert von 42,79 in 537,5cm Tiefe. Somit ist die Spannweite des L\*-Wertes 13,89. Zwei große Schwankungen sind im Bereich von 0-100cm Tiefe zu finden. Nach einem Wert von 47,42 der ersten Probe steigt der Wert der zweiten Probe spontan auf 53,43 und sinkt annähernd kontinuierlich bis in eine Tiefe von 42,5cm auf 47,22. Nachfolgend steigt der Wert wiederum spontan zwischen zwei Proben benachbarter Tiefe an (47,22 in 42,5cm zu 55,33 in 47,5cm), um mit zunehmender Tiefe wieder bis auf einen Wert von 48,52 zu sinken. Im weiteren Verlauf ist es aufgrund der zahlreichen kleineren Schwankungen schwierig klar definierte Abschnitte auszumachen. Einzelne Trends lassen sich dennoch festlegen. Zwischen einer Tiefe von 100cm und 197,5cm schwanken die Werte zwischen 51 bis 52 mit drei vereinzelt Werten, welche knapp unterhalb dessen liegen (Bsp. 49,25 in 152,5cm Tiefe). Übergeordnet lässt sich dieser Bereich, aufgrund der geringen Schwankungen, als konstant einteilen.

Demgegenüber lässt sich der Bereich zwischen 197,5cm (50,52) und 287,5cm (46,16) anhand von tendenziell sinkenden Werten charakterisieren, wenngleich auch hier kurzzeitig steigende Werte einzelner Proben zu beobachten sind.

Diesem Bereich anschließend erhöhen sich die Werte in einem 25cm tiefen Bereich auf 52,83 (312,5cm).

Nachfolgend ist, übergeordnet auf das gesamte Profil bezogen, ein klarer Abwärtstrend des L\*-Wertes zwischen der Tiefe von 312,5 bis zum Ende des Profils in 552,5cm Tiefe zu beobachten. Der Peak um die Tiefe von 400cm besteht aus zwei Proben, welche entgegen dem Abwärtstrend auffallend höher sind (CP3.18: 397,5cm, L\*-Wert:51,24 & CP3.19: 402,5cm, L\*-Wert: 52,07). Der weitere Verlauf grenzt einen kleinen Bereich aus, welcher einen konstanten, bis minimal steigenden L\*-Wert aufweist (zwischen 410cm und 470cm). Aufgrund der Schwankungen kann dieser Bereich aber nicht als explizit ausgenommener Bereich gesehen werden, sondern lediglich als Teilbereich innerhalb des übergeordneten Abwärtstrends des L\*-Wertes ab 400cm Tiefe. Im letzten Bereich des Profils wird der Abwärtstrend wieder deut-

lich. Der Wert sinkt von 50,10 (467,5cm) auf den Minimumwert von 42,79 (537,5cm). Die untersten Proben des Profils haben, nach einem Abwärtstrend ab etwa 310cm Tiefe, somit den geringsten L\*-Wert. Im Gegensatz zu den MUNSELL-Farbwerten weist der L\*-Wert des CIE-Farbraums deutlich größere Schwankungen auf. Dennoch können Trends, die im MUNSELL-Farbbereich aufgefallen sind, auch im L\*-Wert wiedergefunden werden. Ob und welche Zusammenhänge hier vorhanden sind, eventuell auch mit anderen gemessenen Proxys, lässt sich in der Diskussion der Ergebnisse beurteilen.

### 5.3 Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität

Die Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität sind in Abbildung 19 (Anhang Tabelle 2) einsehbar.

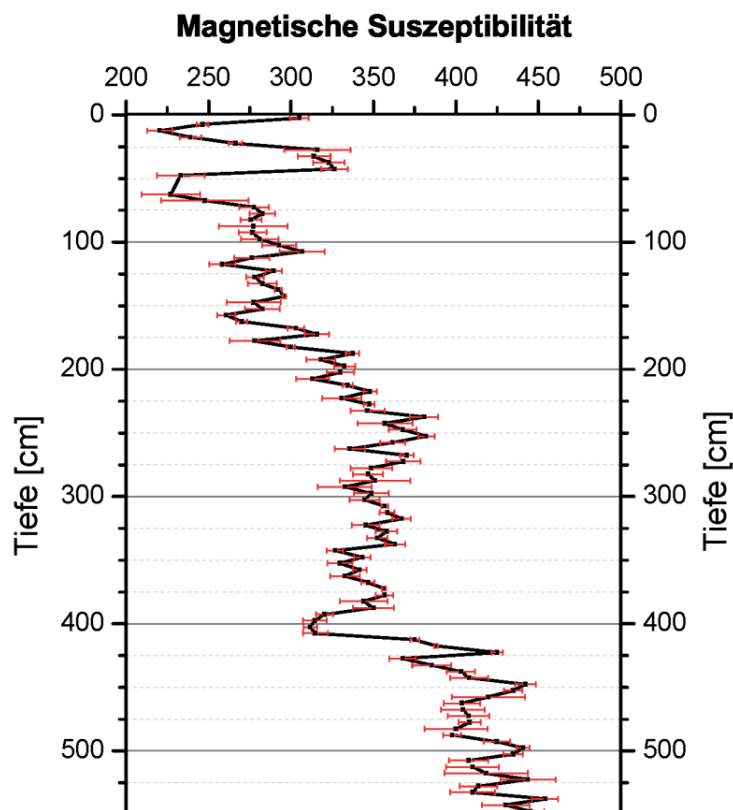


Abbildung 19: Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität



Die angegebenen Werte sind jeweils der Mittelwert der drei Einzelmessungen einer Probe. Es lassen sich fünf unterschiedliche Bereiche ausmachen. Der erste Bereich lässt sich von 0 bis 72,5cm abgrenzen, der zweite von 72,5cm bis 157,5cm, der dritte von 157,5cm bis 252,5cm, sowie der vierte Bereich zwischen 252,5cm bis 407,5cm und schließlich dem letzten Bereich zwischen 407,5cm bis zum Ende des Profils in 552,5cm Tiefe. Aufgrund der kontinuierlichen Schwankungen auch innerhalb eines Bereiches, können die Grenzen nicht an einer Probe festgehalten werden, daher sollen die exakten Tiefenangaben der Bereichsgrenzen lediglich eine Eingrenzung der Bereiche darstellen, da die kleineren Schwankungen eine exakte Tiefenangabe als Grenze nicht zulassen. Entscheidend hierbei ist ebenfalls die Standardabweichung der Werte, welche mit einem kleinen roten Balken dargestellt werden. Teilweise ist die Standardabweichung der drei Einzelmessungen einer Probe recht hoch. Dennoch sind die Bereiche auch unter der Berücksichtigung der Standardabweichung gültig.

Der minimale Wert liegt bei 220,3 in 12,5cm Tiefe und der maximale Wert bei 445,3 in 547,5cm Tiefe. Die Spannweite der Werte liegt somit bei 225.

Der erste Bereich zeichnet sich durch große Schwankungen in einem kleinen Abschnitt aus. Innerhalb von 70cm Tiefe sinkt der Wert am Beginn des Profils von 305 auf 220,3 (12,5cm Tiefe), steigt wiederum stark an auf 362,3 bei 42,5cm Tiefe und sinkt ein weiteres Mal stark ab auf 227 (62,5cm). Nachfolgend steigt der Wert leicht auf 277,6 (72,5cm) an und die extremen Schwankungen stoppen und zeigen somit den Unterschied zum zweiten ausgewählten Bereich. Dieser Bereich ist charakterisiert durch eine größere Kontinuität der Werte. Im Bereich zwischen 72,5cm und 157,5cm Tiefe sind die Werte recht konstant um einen Wert von etwa 277, mit Ausnahme von zwei kleineren Peaks (CP1.20 107,5cm: 306,6 und CP1.22 117,5cm: 258,3).

In Abgrenzung dazu weisen die Werte im dritten Bereich einen steigenden Trend auf. Von 260,6 in 157,5cm Tiefe steigen die Werte bis auf 382 in 252,5cm Tiefe an. Dieser Anstieg innerhalb dieses Bereiches stellt die charakteristische Unterscheidung zwischen Bereich zwei und drei dar. Der vierte Bereich stellt wiederum einen Bereich von größerer Kontinuität der Werte ohne größeren Trend da. Die Werte in diesem Bereich schwanken zwischen 370,3 (CP2.23 267,5cm) und 311,6 (CP3.19 402,5cm). Diese Schwankungen sind deutlich geringer, der Mittelwert dieses Bereiches liegt bei 345,1. Tendenziell kann ein minimal sinkender Wert

der magnetischen Suszeptibilität gesehen werden, aufgrund der Schwankungen der einzelnen Proben lässt sich jedoch kein klarer Trend ausmachen, sodass dieser Bereich als weitestgehend konstant angesehen werden kann.

Der unterste Bereich wird durch einen Anstieg der magnetischen Suszeptibilität gekennzeichnet. Dieser Anstieg ist zunächst sehr stark (CP3.20 407,5cm: 341,7 zu CP3.23 422,5cm: 425) und fällt danach schwächer aus, ebenfalls bedingt durch Schwankungen innerhalb des Anstiegs. Neben dem starken Anstieg der magnetischen Suszeptibilität zeichnet sich dieser Bereich auch durch die absolut höchsten Werte des gesamten Profils aus.

Die Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Bereiche des Profils, auf Grundlage der magnetischen Suszeptibilität, erfasst werden können, da einzelne Trends vorhanden sind. Die teilweise großen Schwankungen zwischen zwei benachbarten Proben sind sehr auffällig. Ebenso muss die verhältnismäßig große Standardabweichung der gemessenen Werte beachtet werden.

Dennoch können Aussagen über die Ergebnisse der Messung der magnetischen Suszeptibilität gemacht werden, welche auf einzelne Bereiche hinweisen und in der zusammenfassenden Diskussion der Ergebnisse beachtet werden.

#### **5.4 Ergebnisse der Körnungsanalyse**

Die Ergebnisse der Messungen am Laserdiffraktometer sind weitaus differenzierter zu betrachten, als die der Farbanalyse und der magnetischen Suszeptibilität, da mehrere Schritte nötig sind, um letztlich einen Überblick über die Korngrößenverteilung des Sedimentprofils zu erreichen.

Zunächst muss die nötige Einwaage der Proben festgestellt werden, um in den optimalen Konzentrationsbereich zur Analyse der Körnung zu gelangen. Neben der Darstellung der Korngrößenverteilung befinden sich in den Rohdaten des LS 13 320 Control Program Metadaten, die Informationen über die abgelaufene Messung liefern. Der Konzentrationsbereich während der Messung wird registriert und in den Ergebnissen der Metadaten dargestellt. Der optimale Messkonzentrationsbereich liegt bei 8-12%. Der bestimmte Konzentrationsbereich

einer Messung wird innerhalb der Metadaten in Klassen von LOW, Low, OK, High und HIGH eingeteilt. Die Klassen LOW und HIGH zeigen, dass der Konzentrationsbereich für die optimale Messungen zu niedrig bzw. zu hoch liegt. Dementsprechend muss in diesem Fall die Sediment-Einwaage höher oder niedriger ausfallen, um repräsentative Ergebnisse zu erreichen.

Beispielhaft für alle Bereiche des Profils wurden vier Proben (CP1.10, CP2.10, CP3.10 und CP3.49) ohne Karbonatzerstörung durch HCL jeweils dreimal eingewogen (0,2g, 0,3g und 0,4g) und jeweils zwei weitere Male eingewogen (0,3g und 0,4g), um anschließend eine Karbonatzerstörung durch HCL an diesen durchzuführen, und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Für die Messungen ohne Karbonatzerstörung liegt der optimale Konzentrationsbereich bei einer Einwaage von etwa 0,2g pro Probe und 0,25g mit Karbonatzerstörung.

Um den Einfluss von kleinen Kalkabsplitterungen auf die Korngrößenverteilung auszuschließen, wurden alle nachfolgende Messungen, die Grundlage der Ergebnisse sind, nach Karbonatzerstörung durch eine Probenbehandlung mit HCL durchgeführt. Alle dargestellten Ergebnisse der Korngrößenanalyse beziehen sich somit auf die silikatische Feinfraktion des Sediments.

Die Mittelwerte der Körnungsanalyse wurden vom LS 13 320 Control Program in das Programm GRADISTAT (BLOTT & PYE 2001) transferiert. Dieses Programm ermöglicht eine schnelle Berechnung und tabellarisch, sowie graphische Darstellung von Korngrößenstatistiken, nach Eingabe der prozentualen Anteile der Korngrößenklassen, welche der Laserdiffraktometer misst (BLOTT & PYE 2001: 1240). Für diese Arbeit wurden zunächst die statistischen Ergebnisse des Medianwert (D50), D10-Wert und D90-Wert aller Proben ausgewertet, da diese einen guten ersten Einblick in die Korngrößenverteilung bieten.

Beim Test einzelner Proben auf die Reproduzierbarkeit der gemessenen Korngrößenverteilungen fiel auf, dass die Ergebnisse einzelner Proben teilweise sehr gut übereinstimmen, teilweise Abweichungen voneinander aufwiesen. Die Variationen innerhalb der Reproduzierbarkeit einer Probe können durch die Messung mehrerer Sub-Proben zu einem besseren Vergleich führen (PYE & BLOTT 2004: 23). Abbildung 20 zeigt beispielhaft eine solche Probe, welche in den separaten Einzelmessungen zwei sehr gute Übereinstimmungen und eine Abweichung aufweist. Hier weisen die rote und grüne Kurve der Messungen CP.3.3.\_1 und

CP.3.3\_3 eine gute Reproduzierbarkeit der Messung auf, die blaue Kurve der Messung von CP.3.3.\_2 ist leicht abweichend und wurde somit nicht in die Mittelwertberechnung eingeschlossen. In Ergebnissen, welche keine Übereinstimmung miteinander aufwiesen, wurde die Probe erneut dreimal eingewogen und neu gemessen.

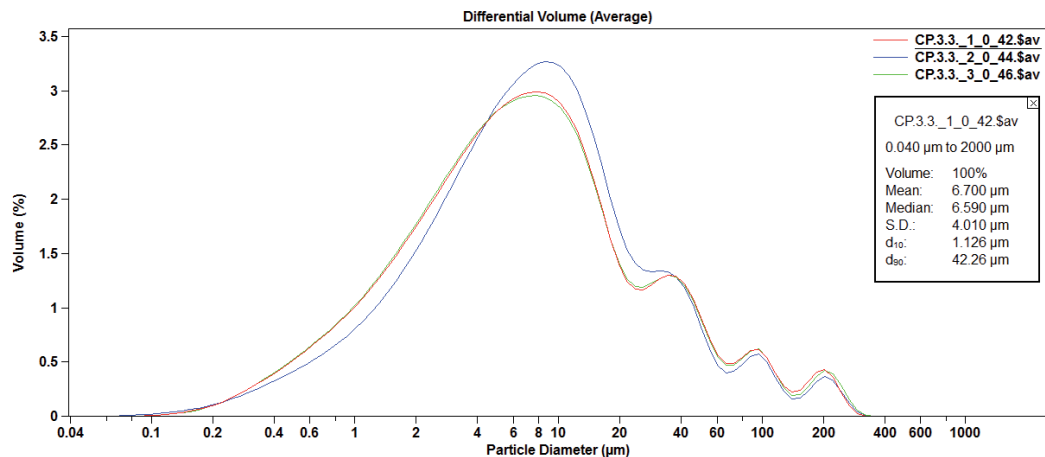


Abbildung 20: Beispielhafte Kontrollmessung der Probe CP3.3

PYE & BLOTT (2004: 26) zeigen, dass die Reproduzierbarkeit einzelner Proben sinkt, je schlechter das Sediment in seiner Korngrößenverteilung sortiert ist. Oben gezeigtes Beispiel deutet diese ungleiche Sortierung an, in vielen anderen Fällen zeigt die Korngrößenverteilung eine deutlich bi- bis trimodale Korngrößenverteilung und wird in Sortierungsklassen innerhalb der Berechnungen nach GRADISTAT in schlecht bis sehr schlecht sortiert eingestuft.

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten wurde festgelegt, dass jede Probe dreimal mit gleicher Einwaage und gleicher HCL-Behandlung zu messen, um mindestens zwei Übereinstimmungen der Ergebnisse zu einem Mittelwert der Probe zusammenzuführen.

Die nachfolgenden Ergebnisse sind somit alle Mittelwerte von mindestens 2 unabhängigen Messungen einer Probe.

In Abbildung 21 (Anhang Tabelle 3) sind diese Ergebnisse der Körnungsanalyse des D50-Wert (Medianwert), des D10-Werts und des D90-Wert dargestellt. Für die Abgrenzung unterschiedlicher Korngrößenverteilungen zwischen Proben sind diese Werte am aussagekräftigsten (PYE & BLOTT 2004: 23). Der D50-Wert steht für den Median-Wert der Korngrößenverteilung. D10 bedeutet, dass 10% der Partikel kleiner sind als der jeweils angegebene Wert, der

D90-Wert bestimmt dementsprechend die Größe der Partikel, bei dem 90% unterhalb des Wertes liegen. Eine Vielzahl weiterer Werte können diese Aussagen detaillierter ausführen, für das Ziel dieser Arbeit sind jedoch die ausgewählten Daten ausreichend.

### Korngrößenverteilung

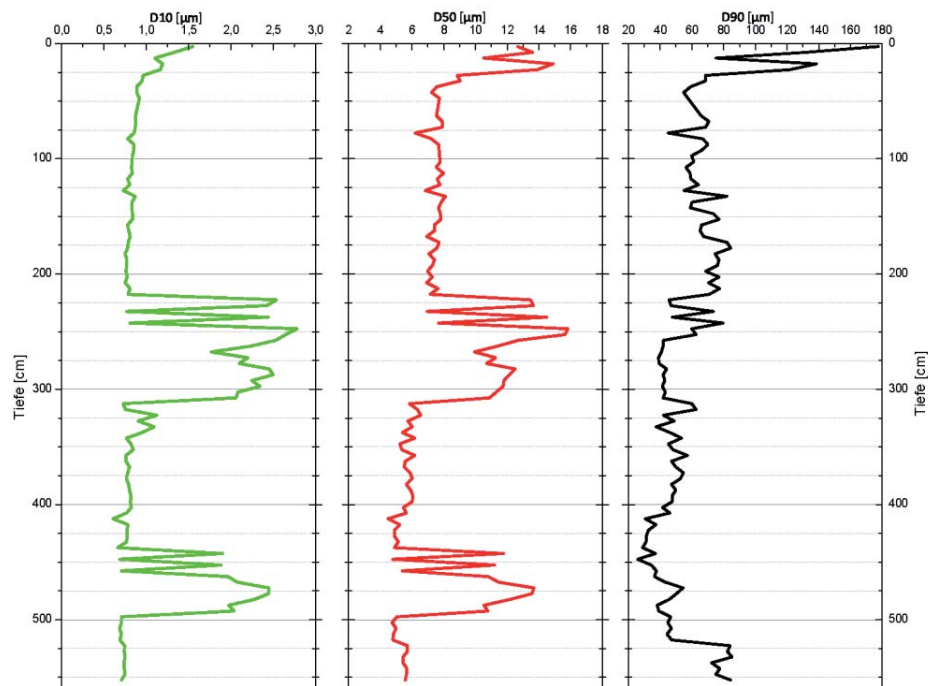


Abbildung 21: Ergebnisse der Korngrößenanalyse von D10-, D50- und D90-Wert nach GRADISTAT

Die Medianwerte schwanken in dem Bereich von 15,8  $\mu\text{m}$  (247,5cm) und 4,5  $\mu\text{m}$  (412,5cm). Der Medianwert der ersten Probe liegt bei 12,6 $\mu\text{m}$ . Innerhalb der ersten 30cm schwankt der Wert stark, ist nachfolgend bis in eine Tiefe von 217,5cm recht konstant um einen Wert von 7,0 $\mu\text{m}$ . Die Schwankungen in diesem Bereich sind sehr gering. Zwei kleinere Peaks in diesem Bereich liegen bei 77,5cm: 6,2 $\mu\text{m}$  und 127,5cm: 6,8 $\mu\text{m}$ . Zwischen der Probe CP2.13 (217,5cm) und CP2.14 (222,5cm) steigt der Medianwert der Korngrößenverteilung sprunghaft von 7,1 $\mu\text{m}$  auf 13,5 $\mu\text{m}$  an und kennzeichnet einen neuen Bereich, welcher bis in eine Tiefe von 312,5cm verläuft. In diesem Abschnitt sind wiederum starke Schwankungen zwischen einzelnen Proben zu beobachten, liegen insgesamt aber mit Ausnahmen der zwei Peaks von CP2.16 (232,5cm) mit 7 $\mu\text{m}$  und CP2.18 (242,5cm) mit 7,7 $\mu\text{m}$  deutlich über den Medianwerten des darüber liegenden Bereichs. Weiter kann dieser Bereich in zwei Teilberei-

che untergliedert werden. Der oberste Teil ist von den angesprochenen Peaks beeinflusst und weist mit  $15,8\mu\text{m}$  (247,5cm) den höchsten Medianwert des gesamten Profils auf. Ab einer Tiefe von 275cm sinkt der Medianwert auf Bereiche um  $11,5\mu\text{m}$  ab, um zwischen der Tiefe von 307,5cm und 312,5cm sprunghaft von  $10,9\mu\text{m}$  auf  $5,8\mu\text{m}$  abzusinken und bis in eine Tiefe von 437,5cm wiederum recht konstant zu bleiben. Dieser konstante Abschnitt sinkt, ohne große Schwankungen, im Trend geringfügig von Werten um  $6\mu\text{m}$  auf Werte um  $5\mu\text{m}$  und reicht bis in eine Tiefe von 437,5cm.

Ein zweiter Bereich mit deutlich erhöhten Werten befindet sich zwischen 442,5cm und 497,5cm. Der maximale Wert in diesem Bereich liegt bei  $13,7\mu\text{m}$  (472,5cm). Wie bereits im oberen Bereich mit höheren Werten fallen auch in diesem Bereich die Peaks zweier Proben mit Werten von  $4,8\mu\text{m}$  (CP3.28 447,5cm) und  $5,4\mu\text{m}$  (CP3.30 457,5cm) auf.

Der letzte abgrenzbare Bereich erschließt sich in den untersten 55cm des Profils an die höheren Werte an. Wiederum ist die Grenze dieses Abschnittes zwischen zwei Proben (CP3.37, 492,5cm:  $10,8\mu\text{m}$  zu CP3.38, 502,5cm:  $4,7\mu\text{m}$ ) sehr scharf. Dieser Abschnitt erscheint wieder recht konstant um einen Wert von etwa  $5\mu\text{m}$ , mit einer kleinen Erhöhung der Werte in den letzten Proben des Profils.

Die zweite statistische Maßzahl der Auswertung der Korngrößenanalyse ist der D10-Wert. Der Verlauf der Ergebnisse dieses Wertes kann in die gleichen Abschnitte des D50-Wertes eingeteilt werden. Absolut gesehen sind die Schwankungen der Werte jedoch nicht so groß, wie die Schwankungen des D50-Wertes. Der maximale D10-Wert liegt bei  $2,8\mu\text{m}$  in 247,5cm Tiefe, beschreibt somit die gleiche Probe, wie der maximale D50-Wert. Der minimale D10-Wert mit  $0,6\mu\text{m}$  liegt ebenfalls in der gleichen Tiefe (412,5cm), wie der minimale D50-Wert.

Da der D10-Wert jedoch absolut gesehen deutlich geringer ist, als der D50-Wert sind die absolut geringeren Schwankungen relativ gesehen ähnlich wie die des D50-Wertes.

Die Ergebnisse des dritten Wertes der Körnungsanalyse, der D90-Wert, unterscheiden sich in ihrem Verlauf deutlich zu den sehr ähnlich verlaufenden Werten von D50 und D10.

Der Wert schwankt zwischen  $177,4\mu\text{m}$  (2,5cm) und  $25,8\mu\text{m}$  (447,5cm), weist somit eine große Spannweite auf. Der Bereich mit den höchsten Werten ist in einer Tiefe von 2,5cm bis 27,5cm zu finden. Innerhalb dieser sechs Proben sinkt der Wert stark von  $177,4\mu\text{m}$  auf

68,6 $\mu\text{m}$  ab. Probe CP1.3 in einer Tiefe von 12,5cm fällt in dieser Tendenz heraus und liegt bei 75,2 $\mu\text{m}$ .

Im weiteren Verlauf schwankt der Wert deutlicher, als die beiden vorherigen Werte und erlaubt somit keine klare Einteilung in einzelne Bereiche. Lediglich einzelne Trends können aus den Ergebnissen gelesen werden. Ab einer Tiefe von 27,5cm bis 217,5cm beläuft sich der Wert aufgrund der Schwankungen zwischen etwa 44 $\mu\text{m}$  und 77 $\mu\text{m}$  und es lässt sich ein geringer ansteigender Trend feststellen, welcher jedoch durch die Schwankungen stark überlagert wird. Nachfolgend ist ein Bereich mit größeren Schwankungen in geringeren Abständen (222,5cm bis 252,5cm). Gefolgt von diesem Bereich lässt sich ein konstanter Bereich über 50cm ausmachen. Der Wert hier liegt bei etwa 41 $\mu\text{m}$  und wird durch keine starken Schwankungen unterbrochen. Anschließend erhöht sich der Wert nur leicht, kann somit zum vorherigen Bereich gezählt werden, unterscheidet sich jedoch grundsätzlich durch wieder verstärkt auftretende Schwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Proben. Insgesamt sind die Ergebnisse des D90-Werts in diesem Bereich, bis in eine Tiefe von etwa 410cm, weiterhin geringer als in den obersten 250cm des Profils.

Zwischen etwa 410cm und etwa 460cm finden sich die niedrigsten D90-Werte über das gesamte Profil gesehen. Eine klare Abgrenzung ist aufgrund der Schwankungen jedoch nicht möglich. In diesem Bereich befindet sich auch der oben bereits erwähnte genannte minimale D90-Wert von 25,8 $\mu\text{m}$ . Eine deutliche Abgrenzung befindet sich zwischen den Proben CP3.42 und CP.3.43 in einer Tiefe von 520cm. Zuvor steigt der Wert leicht an und weist einen Peak in 472,5cm Tiefe mit 50,3 $\mu\text{m}$  auf. Der Sprung in 520cm Tiefe lässt den untersten Bereich des Profils, auf Grundlage des D90-Wertes, von dem vorherigen Bereich nochmals abgrenzen. Die Werte hier liegen zwischen 72,3 $\mu\text{m}$  (537,5cm) und 84,6 $\mu\text{m}$  (552,5cm). Somit sind in diesem Bereich zwar ebenfalls Schwankungen in den Ergebnissen vorzufinden, die Werte dessen liegen jedoch deutlich höher, als in den vorherigen Bereichen und lassen daher einen separaten Bereich abgrenzen.

## 6. Diskussion der Ergebnisse

Nach der Darstellung aller Ergebnisse soll im folgenden Teil versucht werden, einzelne Aussagen und Hinweise zu den jeweiligen Ergebnissen treffen zu können. Diese Hinweise können dazu benutzt werden eine erste lithostratigraphische Gliederung auf Basis der gewonnenen Ergebnisse zu erstellen

Bevor auf einzelne Bereiche näher eingegangen wird, sollen die Ergebnisse zunächst allgemein auf ihre Repräsentierbarkeit diskutiert werden.

Über die gesamten Ergebnisse verteilt finden sich Peaks einzelner Proben, welche aus dem Trend der Ergebnisse herausstechen oder stark entgegengesetzt sind. Beispielhaft für solche „Sprünge“ finden sich sowohl in den Farbergebnissen, in der Körnungsanalyse (vgl. Peaks einzelner Proben CP2.16, CP2.18 und CP3.28, CP3.30) und in den Ergebnissen der magnetischen Suszeptibilität (vgl. CP1.20 und CP1.22). Diese Tatsache zeigt, dass solche Sprünge nicht ausschließlich auf einzelne Messmethoden / Messfehler zurückzuführen sind, da sie charakteristisch für die gesamten Ergebnisse sind und einzelne auffallende Peaks in allen drei Messmethoden vorkommen. Im oberen Bereich ist die Probe CP1.3 ein solches Beispiel. Hier ist ein gegen den Trend verlaufender Ausschlag sowohl in der Korngrößenverteilung, als auch im Wert der magnetischen Suszeptibilität zu erkennen. Dies lässt darauf schließen, dass es sich hierbei nicht um einen Messfehler der Laserdiffraktometrie handelt, sondern eine auffällige Probe mit unterschiedlicher Zusammensetzung des Sediments repräsentiert wird, da der Peak in zwei unterschiedlichen Messmethoden auftritt.

Diese Auffälligkeiten können zwei unterschiedlichen Ursachen haben. Durch das heterogene Sediment, gestört von zahlreichen Grobkomponenten wie kleinen Steinen oder größere Felsbrocken, kann es zu einer subjektiven Probenentnahme kommen, da teilweise versucht wurde solche Grobkomponenten auszuschließen, um ausreichend Probenmaterial zu gewinnen. Peaks, welche in der magnetischen Suszeptibilität und in der Körnungsanalyse dieser Probe zu erkennen sind, können Hinweis auf eine solch gestörte Probenentnahme sein, da sie im Vergleich zum benachbarten Sediment deutlich veränderte Eigenschaften aufweisen.

Desweiteren können auch sehr kleine Lagen differenzierten Sediments vorliegen, welche von einer einzigen 5cm Probenlage repräsentiert werden. Insbesondere im obersten Abschnitt



des Profils kann der organische Anteil der Proben (z.B. kleine Wurzelreste) auch nach dem Sieben <2mm kurzfristig stärker schwanken, welche die Körnungsanalyse und die magnetische Suszeptibilität beeinflussen. Welche Ursache letztlich für solche Peaks stehen, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Anhand der sehr starken Schwankungen der Korngrößenverteilung, insbesondere in den obersten 30cm und in starken Schwankungen der Werte der magnetischen Suszeptibilität bis etwa 72,5cm, kann vermutet werden, dass es sich in dem obersten Bereich um einen gestörten Bereich des Profils handelt. Ursache hierfür kann im rezenten Einfluss menschlicher Aktivität liegen, da das gesamte Profil der Sima las Palomas zu einem ungeklärten Zeitpunkt ausgehoben wurde und durch die Installation des Gerüsts beeinflusst und gestört werden konnte. Dies kann insbesondere im obersten Bereich des Profils zu gestörten Befunden im Sediment führen.

Neben den deutlichen Schwankungen der Farbwerte über das gesamte Profil, welche zu den einzeln eingeteilten dargestellten Bereichen in der Beschreibung der Ergebnisse geführt hat, sind die kleineren Schwankungen der Ergebnisse auffällig. Ausschlaggebend hierfür kann der Schmutzüberzug des Profils sein. Trotz möglichst reiner Säuberung des Profils vor Probenentnahme konnte dieser Einfluss nicht vollständig ausgegrenzt werden und kann sich somit in den Ergebnissen der Farbanalyse widerspiegeln, was letztlich zu kleinen Schwankungen führt, da die feinen Schmutzpartikel mit gemessen werden. Solche „unnatürlichen“ Partikel können nach der Probenentnahme nicht mehr ausgesondert werden, da sie auch nach dem <2mm Sieben des Sediments in der Probe vorhanden sind. Der schwankende Anteil dieser Schmutzpartikel pro Probe kann somit zu kleinen Schwankungen innerhalb der Farbwerte führen. Ebenfalls wird die Farbmessung durch kleine Absplitterungen von Grobkomponenten des Profils beeinflusst. Da auch diese nicht kontinuierlich gleich über das Profil verteilt sind, beeinflussen sie die Farbanalysen in geringen Anteilen, was wiederum zu kleinen Schwankungen in den Ergebnissen führen kann.

Durch die Messung der Korngrößenverteilung nach Karbonatzerstörung konnten kleinste Absplitterungen des Kalkgesteins zerstört werden und die rein silikatische Feinfraktion des Sediments gemessen werden. Somit ist eine Beeinflussung der Ergebnisse der Korngrößenver-

teilung durch unterschiedlich hohe Anteile an (Kalk-) Absplitterungen, im Gegensatz zu den Ergebnissen der Farbanalyse, welche ohne Kalkzerstörung durchgeführt werden, ausgeschlossen.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die erzielten Ergebnisse unter dem Einfluss einzelner Faktoren zu berücksichtigen sind. Durch die Tatsache, dass einzelne Auffälligkeiten nicht rein auf mögliche Messfehler zurückzuführen sind und in unterschiedlichen Proxys auftauchen, kann vermutet werden, dass durchaus sehr schmale Bereiche mit differenzierten Eigenschaften des Sediments im Profil vorhanden sein können und durch einzelne Proben dargestellt werden.

Die Ergebnisse der magnetische Suszeptibilität können von geringen Konzentrationen eines stark ferromagnetischen Minerals beeinflusst werden. Hierfür reichen Konzentrationen von  $<0,1\%$  besonders feiner ( $< \approx 20\text{nm}$ ) Minerale aus, um die Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität stark zu verändern (MAHER 1998: 28).

In Bezug auf die Korrelation von Gesamtergebnissen einzelner Daten kann ein guter Vergleich des  $L^*$ -Wertes mit den Ergebnissen der magnetischen Suszeptibilität herangezogen werden. Auffällig ist, dass beide Kurven in einem ähnlichen Trend schwanken. Steigende  $L^*$ -Werte korrelieren hierbei mit sinkenden Werten der magnetischen Suszeptibilität, sowie sinkende  $L^*$ -Werte mit steigender magnetischen Suszeptibilität. Beispielhaft für diese Korrelation steht der Bereich 0-50cm Tiefe und ein Peak beider Werte in einer Tiefe von 400cm. Die Korrelation von Veränderungen beider Werte innerhalb gleicher Proben kann über das gesamte Profil beobachtet werden. Es kann somit ausgesagt werden, dass in diesem Fall ein helleres Sediment, bezogen auf den  $L^*$ -Wert des Sediments, eine geringere magnetische Suszeptibilität aufweist, dunklere Sedimentabschnitte eine höhere magnetische Suszeptibilität. Verantwortlich für diese Korrelation kann die Anwesenheit eines Minerals im Sediment sein, welches zum Einen eine dunklere Färbung des Sediments bewirkt und zum Anderen eine erhöhte Magnetisierbarkeit aufweist. So lässt sich ebenfalls erkennen, dass die dunkelsten Sedimentbereiche, ab einer Tiefe von 400cm abwärts, die höchste magnetische Suszeptibilität aufweisen. Im Bezug auf eine potentielle ehemalige Feuerstelle in diesem Bereich des Profils ist die

quantitative Farbbestimmung, neben den Geländebefunden, sehr wichtig. EVANS & HELLER (2003: 232) diskutieren in diesem Zusammenhang die stark steigende magnetische Suszeptibilität eines Sediments durch den Einfluss von Feuer. Insbesondere in archäologischen Fundstellen konnte dieser Zusammenhang erkannt werden. Durch Feuereinfluss und den daraus resultierenden anaeroben Bedingungen kann Hämatit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) durch eine Oxidation zu Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) reduziert werden. Während der nachfolgenden Abkühlung unter aeroben Bedingungen kann der entstandene Magnetit wiederum zu Maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) reoxidiert werden. Dieses entstandene Maghemite ist im Gegensatz zum anfangs vorhandenen Hämatit deutlich stärker magnetisch (EVANS & HELLER 2003: 232) und führt somit zu höheren Werten der magnetischen Suszeptibilität. Die hohen Werte der magnetische Suszeptibilität im vermuteten Bereich der ehemaligen Feuerstelle im untersten Bereich des Profils können somit als weiterer Hinweis für die Existenz dieser Feuerstelle dienen, ebenso wie das deutlich dunkler werdende Sediment, gekennzeichnet durch einen sinkenden  $L^*$ -Wert der Farbanalyse.

Die Schwankungen der Sediment-Helligkeit kann ebenso innerhalb des Value-Wertes der MUNSELL-Farbwerte beobachtet werden. Da sowohl der Value-Wert, als auch der  $L^*$ -Wert ein Proxy für die Helligkeit des Sediments ist, weisen beide Kurven die gleichen Schwankungen auf. Aus den  $L^*$ -Werten wird dies jedoch deutlicher und bietet einen Kontrollwert für diese Schwankungen.

Der Eindruck des im Gelände beobachteten dunkleren Sediments im untersten Teil des Profils konnte somit quantitativ dargestellt werden und durch eine eventuell ehemalige Feuerstelle erklärt werden. Hierbei ist zu beachten, dass es sich teilweise um Mischproben des rötlicheren und dunkleren Sediments handelt. Die senkrechte Probenentnahme verläuft entlang des Kontakts zwischen den beiden abgrenzbaren Sedimenten. Dadurch, dass sich das dunklere Sediment in den untersten 20cm ausbreitet, kann die höchste magnetische Suszeptibilität, gemeinsam mit den niedrigsten  $L^*$ -Werten des gesamten Profils, durch den Einfluss des dunkleren Sediments in diesen Bereich erklärt werden. Die Schwankungen beider Werte in diesem Bereich lassen sich in Folge dessen so erklären, dass durch die Mischproben der Einfluss des dunkleren Sediments nicht kontinuierlich ist und eine exakte Abgrenzung dieses Bereichs nicht möglich macht. Der allgemeine Zusammenhang wird jedoch sehr deutlich.

Die Korngrößenanalyse zeigt, dass der Medianwert des Sediments über das gesamte Profil im Bereich der Korngröße von Schluff liegt. Aus der statistischen Auswertung der Ergebnisse konnten einzelne Abschnitte voneinander getrennt werden. Nachfolgend ist aus sechs unterschiedlichen Bereichen des Profils die Korngrößenverteilung jeweils einer Probe graphisch dargestellt (Abbildung 22). Diese Proben stehen exemplarisch für einzelne Bereiche und sollen einen Einblick in die unterschiedliche graphische Verteilung der Korngrößen aus verschiedenen Tiefen des Profils geben. Sie stehen keinesfalls vollkommen repräsentativ für den gesamten Abschnitt. Hierfür müssten mehr Kornverteilungskurven aus einzelnen Abschnitten miteinander verglichen werden.

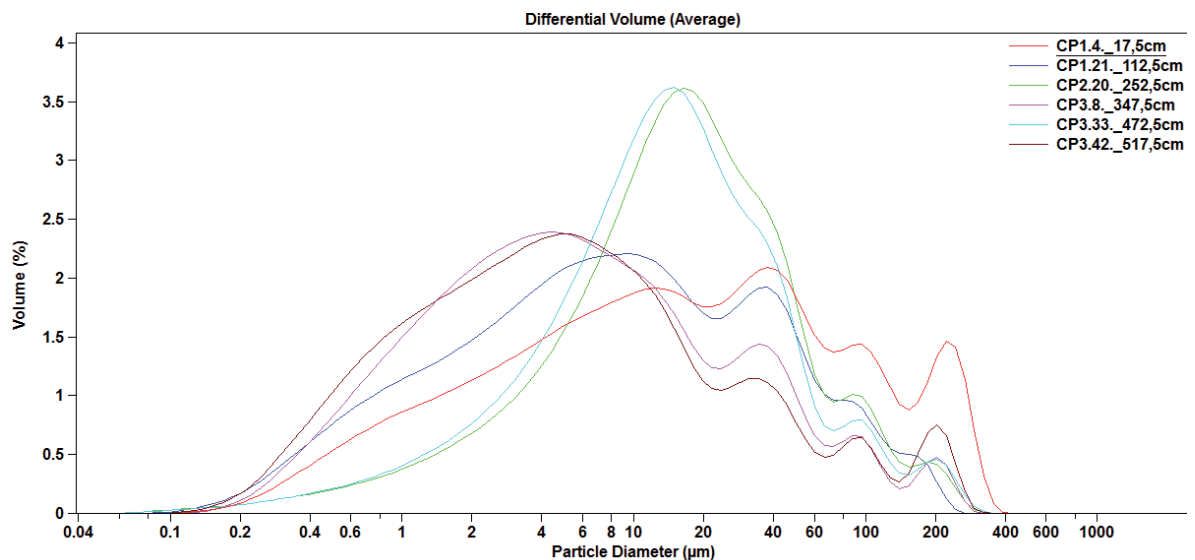


Abbildung 22: Beispielhafte Darstellung der graphischen Korngrößenverteilung ausgewählter Proben

Die X-Achse zeigt die Partikelgröße auf einer logarithmischen Skala in  $\mu\text{m}$  an. Auf der Y-Achse kann das prozentuale Volumen der einzelnen Korngrößen abgelesen werden.

Zunächst fällt die polymodale Verteilung, insbesondere der Proben CP1.4, CP1.21, CP3.8 und CP3.42 auf.

Die Probe CP1.4, als Sediment aus dem obersten Bereich des Profils, zeigt mehrere Peaks im Feinsand-Anteil. Insgesamt wird hier die schlechte Sortierung des Sediments deutlich, da keine glatte Korngrößenverteilungskurve des Sediments vorliegt. Dadurch, dass die Y-Achse das prozentuale Volumen anzeigt, können diese Peaks von quantitativ geringen Sedimentpartikeln, mit verhältnismäßig großem Volumen verursacht werden. Auch in den Verteilungskurven von tieferen Proben werden diese Peaks und die polymodale Korngrößenverteilung des

Sediments deutlich. Die zwei Proben CP.2.20 und CP3.33 geben einen Eindruck in die graphische Darstellung der Bereiche, welche zwischen 222,5 und 312,5cm 442,5 und 497,5cm, durch die dargestellten Ergebnisse, abgegrenzt wurden. Diese zeigen, neben den deutlich erhöhten D10- und D50-Werten, eine charakteristische Veränderung der graphischen Korngrößenverteilung. Sie besitzen einen klaren Peak zwischen 10 und 20 $\mu$ m und sind im Vergleich miteinander sehr ähnlich. Diese Vermutung konnte bereits aus den Graphen der Ergebnisdarstellung geschlossen werden. Der Anstieg zwischen den Tonpartikeln und den Schluffpartikeln ist deutlich steiler, als bei den anderen dargestellten Korngrößenverläufen. Dies lässt auf eine verschiedene Sedimentzusammensetzung schließen.

Im Gegensatz hierzu kann eine Verlagerung zu deutlich tonhaltigeren Proben mit zunehmender Tiefe aus den vier anderen Kurven abgelesen werden, was ebenfalls in den statistischen Ergebnissen zu sehen ist. Auffallend ist, dass die Peaks der polymodalen Verteilung mit zunehmender Tiefe zwar geringer, aber in ähnlichen Korngrößenbereichen auftreten. Hier handelt es sich vermutlich hierbei um einen Sedimentbestandteil, beispielsweise ein bestimmtes Mineral, welches über das gesamte Profil in unterschiedlicher Konzentration im Sediment vorhanden ist.

Die Schwierigkeiten bei der Analyse von den Korngrößenverteilungen des Sediments in las Palomas wird hier deutlich. Aus der exemplarischen graphischen Darstellung einzelner Proben lässt sich ableiten, dass es sich um sehr heterogene Sedimente handelt. Dies erschwert die Interpretation der Ergebnisse. PYE & BLOTT (2004: 23) weisen im Zusammenhang auf nicht unimodale Korngrößenverteilungen auf solche Schwierigkeiten hin. Desweiteren muss beachtet werden, dass alle Methoden der Korngrößenanalyse durch Partikelform und die Partikeldichte, sowie in manchen Fällen von optischen Eigenschaften der Partikel beeinflusst werden (Blott & Pye 2001: 1246).

Aus diesen Beobachtungen lässt sich schließen, dass die Körnungsanalyse über das gesamte Sedimentprofil nicht als sicherer Proxy für eine potentielle lithostratigraphische Gliederung dienen kann, da innerhalb der Körnungsanalyse- und -verteilung Schwierigkeiten auftreten. Die Notwendigkeit alle Proben, aufgrund teils instabiler Reproduzierbarkeit, dreimal zu messen unterstreicht dies. Dennoch bieten die Ergebnisse eine Orientierung, um was für ein Sediment es sich handelt und welche Unterschiede auftreten.

Aus den dargestellten ersten Einzelbeobachtungen, steht die potentielle Einteilung des Profils in einzelne lithostratigraphische Abschnitte als Kernfrage dieser Arbeit und kann nun auf den Ergebnissen aufbauend dargestellt werden.

Abbildung 23 (Anhang Grafik 1) zeigt einen Überblick aller Ergebnisse und die daraus resultierende erste lithostratigraphische Einteilung in einzelne Abschnitte, welche nachfolgend erklärt werden.

Insgesamt können anhand der Ergebnisgrundlage sieben Abschnitte des Profils voneinander abgegrenzt werden.

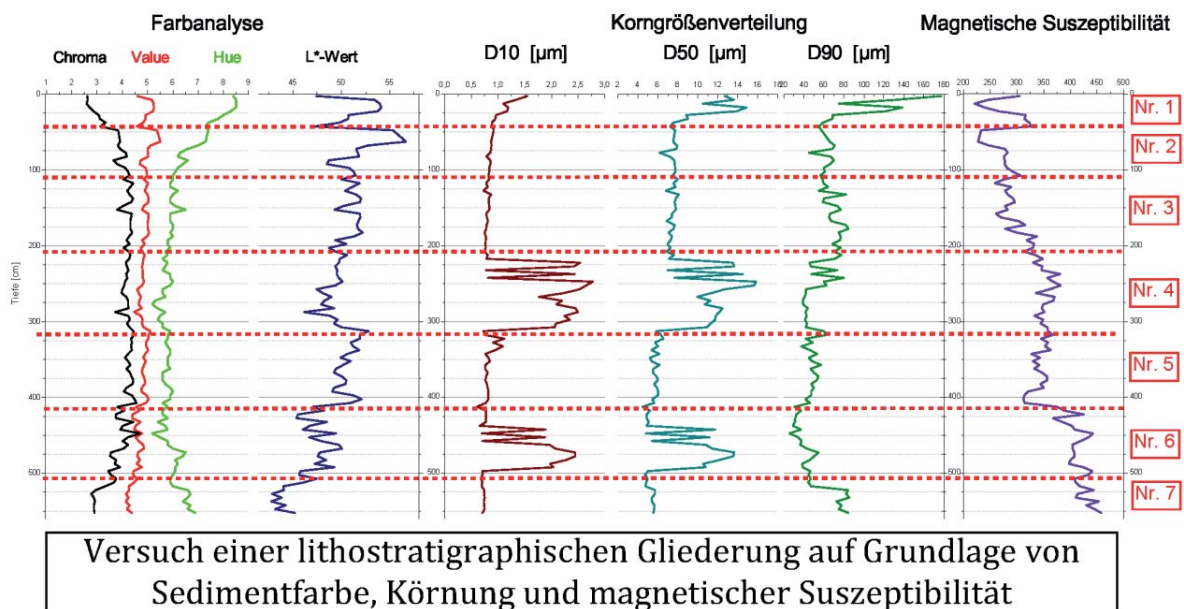


Abbildung 23: Einteilung aller Ergebnisse in potentielle lithostratigraphische Einheiten

Innerhalb der ersten 110cm des Profils können in den Chroma-, Value- und Hue-Werten deutliche Veränderungen gesehen werden. Die Farbwerte in diesem Bereich zeigen durch steigende Chroma-Werte und sinkende Hue-Wert eine intensivere Färbung des Sediments, bei verändertem Farbton an. Aus den Geländeergebnissen ist bereits deutlich geworden, dass hier eine Farbveränderung von gräulichem zu rötlicherem Sediment erfolgt. Der L\*-Wert, als Proxy für die Helligkeit des Sediments, konnte innerhalb der Ergebnisse dieses Bereiches in zwei große Schwankungen eingeteilt werden. Der erste Abschnitt sinkt bis 42,5cm,

der zweite Abschnitt sinkt nach einem erhöhten Peak durch zwei Proben (42,5cm und 47,5cm) bis in eine Tiefe von etwa 100cm.

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung konnten im obersten Bereich in einer Tiefe von etwa 30cm abgegrenzt werden. In den Ergebnissen wurde diese Grenze zwischen stark schwankenden Ergebnissen, im Verhältnis zu konstanteren Werten um  $7,0\mu\text{m}$ , ab einer Tiefe von 30cm deutlich. Zu Beginn ist die Korngrößenverteilung des Profils breiter als in den nachfolgendem Bereich ab etwa 30cm. Hinweis hierfür ist der deutlich erhöhte D90-Wert. Je weiter D10 und D90 auseinander liegen, desto breiter ist die Korngrößenverteilung.

Zusätzlich erscheint ein Peak der magnetischen Suszeptibilität bei 32,5 - 42,5cm, welcher einen kleinen Abschnitt darstellt.

Aufgrund der Korngrößenverteilung und den Peaks des  $L^*$ -Wertes und der magnetischen Suszeptibilität, kann eine erste Abgrenzung in einer Tiefe von etwa 40cm in den Abschnitt Nr.1 vorgenommen werden. Die durch die teils stark schwankenden Ergebnisse aufgestellte Vermutung, eines teilweise gestörten Sediments in diesem Bereich, unterstützt diese Abgrenzung.

Eine weitere potentielle lithostratigraphische Unterscheidung (Abschnitt Nr.2) innerhalb der Farbwerte kann aufgrund der Einteilungen und Veränderung der Farbwerte in einer Tiefe von 110cm gezogen werden. Dies ist ebenfalls die Grenze, in der ein Wechsel von breiteren Schwankungen zu dichter liegenden Schwankungen der magnetischen Suszeptibilität gesehen werden kann. Dieser Abschnitt kann jedoch nicht in allen Ergebnissen reproduziert werden. Aus der Körnungsanalyse abgelesen liegt diese Grenze in einem Bereich recht konstanter D10- und D50-Werten. Da in diesem Teil des Profils die Farbwerte nach steigenden Chroma- und sinkenden Hue-Werten jedoch deutlicher konstanter verlaufen und eine klare Abgrenzung darstellen, ist eine Grenze in dieser Tiefe vorzunehmen.

Eine klare Abgrenzung eines einzelnen Abschnittes des Profils in einer exakten Tiefe ist aufgrund der Heterogenität des Sediments nicht möglich.

Die nächste Grenze (Abschnitt Nr. 3) lässt sich in einer Tiefe von etwa 210cm ziehen. Hier beginnt der Abschnitt, welcher einen deutlichen Sprung in der Korngrößenverteilung aufweist. Die aufgezeigte graphische Darstellung einer Probe aus diesem Bereich zeigt die deutlich veränderte Korngrößenverteilung neben dem sprunghaften Anstieg des D10- und D50-

Wert. Auch sinkt der D90-Wert in dieser Lage leicht, was eine engere Korngrößenverteilung bei steigendem D10-Wert anzeigt. Der L\*-Wert sinkt leicht und korreliert, wie bereits festgestellt, mit einer leicht steigenden magnetischen Suszeptibilität. Eine Abgrenzung des Sediments zwischen der Grenze bei 210cm und des nächsten Abschnittes, beginnend bei etwa 315cm Tiefe (Nr. 4), ist in dieser Lage in allen drei Parametern sichtbar.

Der anschließend abgegrenzte Bereich Nr. 5, zwischen 315 und 410cm, besitzt ähnliche Ergebnisse wie Abschnitt Nr.3. Die Helligkeit des Sediments liegt leicht höher als im Bereich der erhöhten D10- und D90-Werten. Die MUNSELL-Farbwerte Chroma und Value sind über die Abschnitte Nr.3, Nr.4 und Nr.5, ausgenommen von kleinen Schwankungen, recht konstant.

Der Übergang zwischen Abschnitt Nr.5 und Nr.6 wird in der sprunghaft gestiegenen magnetischen Suszeptibilität bei sinkender Helligkeit des Sediments deutlich. Der zweite spontane Anstieg von D10 und D90 korreliert nicht mit dieser Veränderung. Anhand dessen kann keine direkte Korrelation zwischen der Körnung des Sediments und seiner magnetischen Suszeptibilität und Helligkeit in diesem Bereich geschlossen werden. Eine sich leicht ändernde Sedimentfarbe hin zu wechselnden Farbton und sinkender Farbintensität wird aus den Chroma- und Value-Werten deutlich

Die unterste Abgrenzung des Sediments in zwei potentielle lithostratigraphische Einheiten liegt in einer Tiefe von etwa 505cm. Merkmal ist der Sprung in der Körnungsstruktur des Sediments in diesem Bereich. Die Tendenz des dunkler werdenden Sediments wird zwar auch an dieser Stelle deutlich, doch ist es schwierig dies als Proxy für eine lithostratigraphische Einheit zu nutzen, da im untersten Teil der Sedimentproben der beschriebene Einfluss von Mischproben zwischen deutlich dunklerem Sediment mit rötlicherem Sediment nicht exakt zu fassen ist. Neben dem im Gelände deutlich sichtbaren Einfluss des sich taschenförmig nach oben ziehenden dunkleren Sediments in diesem Bereich, kann der in Abschnitt Nr. 6 beobachtete Farbwechsel bis in den letzten Abschnitt verfolgt werden und ist nicht alleine auf den differenzierten klar sichtbare Einfluss des dunkleren Sediments zurückzuführen.

Daher lassen sich die untersten 60cm des Profils auch nur eingeschränkt als eigene potentielle lithostratigraphische Einheit abgrenzen und werden daher nur beschrieben und nicht in die Gesamtübersicht aller Ergebnisse eingezeichnet. Da es sich bei den deutlich niedrigeren Helligkeits-Werten um den Einfluss des Sediments handelt, welches sich nicht horizontal über



das gesamte Profil erstreckt, sondern als Sedimenttasche vorliegt, kann dies nicht als vertikale Profilgliederung angesehen werden. Es konnte bereits vermutet werden, dass es sich bei diesem Sediment um den Bereich einer ehemaligen Feuerstelle handelt. Die sichtbaren Schwankungen der Ergebnisse sind somit wahrscheinlich nicht sedimentologischen Ursprungs und können unter Einfluss menschlichen Handelns entstanden sein.

Die unterste Grenze für eine potentielle lithostratigraphische Einheit ist daher in diesem Fall in der Tiefe von 500cm durch die spontan sinkenden D10- und D50-Werte zu ziehen.

## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die ersten Eindrücke während der Geländearbeiten eines recht heterogenen Sediments spiegeln sich in den Ergebnissen wieder. Die teils starken Schwankungen in allen Ergebnissen verdeutlichen dies. Dennoch konnte anhand unterschiedlicher Kriterien eine erste lithostratigraphische Gliederung für das Sedimentprofil in Las Palomas erstellt werden. Diese Gliederung benötigt jedoch weitere Proxys, um Grenzen eventuell klarer fassen zu können, oder neue Abschnitte sichtbar zu machen.

Die ausgewählten Methoden dieser Arbeit konnten eine gute Datengrundlage liefern, da sie unterschiedliche Sedimenteigenschaften erfassen. Schwierigkeiten erbrachte die Körnungsanalyse, aufgrund der Heterogenität des Sediments. Dieser makroskopisch erfasste Befund scheint sich auch in den mikroskopischen Befunden wieder zu spiegeln. Einige Aspekte können bei der Laserdiffraktometrie nur schwer dargestellt werden. Dies ist unter anderem die Sensibilität der Technik zu Partikeln, welche außerhalb der schwerpunktmäßigen Verteilung liegen (BLOTT & PYE 2006: 672). Die polymodale Korngrößenverteilung liefert dafür Anhaltspunkte, dass Schwierigkeiten bei der Messung vorliegen.

Die Korngrößenverteilung nach Laserdiffraktometrie kann auf unterschiedliche Weise berechnet werden. Zwischen den Berechnungen nach der Fraunhofer-Streuung und der Mie-Theorie kann es beispielsweise zu Unterschieden in der Darstellung des Ton-Anteils der Probe kommen. Die Rohdaten der Laserdiffraktometrie können in eine Körnungsanalyse nach der Mie-Theorie umgerechnet werden, sodass ein Vergleich der beiden Theorien und dessen Auswirkungen auf die Korngrößenverteilung gesehen werden kann. Eine weitere Schwierigkeit ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit konventionellen Messmethoden der Korngrößenanalyse. Es wird deutlich, dass alleine die Korngrößenanalyse von sehr vielen Faktoren abhängt. ESHEL et al. (2004:742) stellen in diesem Zusammenhang passend fest, dass keine Methode der Korngrößenanalyse als Universallösung für alle auftretenden Probleme zu finden ist.

Desweiteren kann eine mögliche Ursache im Verlauf der Probenentnahme zu finden sein. Das sehr komplex aufgebaute Profil verhindert eine konstant vertikale Probenentnahme und da-

her können auch horizontale Schwankungen in den Sedimenteigenschaften einen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Der Zusammenhang zwischen Helligkeit und der magnetischen Suszeptibilität des Sediments konnte dargestellt werden.

Eine karstökologische Besonderheit und typisch für den Mittelmeerraum ist die Terra Rossa Bildung (PFEFFER 2005: 12f). Da es sich bei dem Sedimentprofil jedoch nicht um einen gewachsenen Bodentyp handelt, ist die Bezeichnung Terra Rossa in Bezug auf das Sedimentprofil zunächst irreführend. Das in vielen Bereichen rötliche Sediment des Profils, erlaubt die Vermutung, dass sich ein hoher Eisen-Anteil im Sediment befindet. Die Ergebnisse der MUNSSELL-Farbwerte in Bereichen um 6 YR bestätigen den rötlichen Anteil der Sedimentfarbe. Somit kann die häufig rötliche Farbe von Sedimenten und Böden (Terra Rossa) des Mittelmeerraums und in dessen Karstgebieten auch im Sedimentprofil in las Palomas gefunden werden. Thematisch anschließend an diese Erkenntnis gibt es weitere Möglichkeiten zur Untersuchung am Sediment, neben den dargestellten ersten Ergebnissen und der daraus resultierenden ersten lithostratigraphischen Gliederung.

Teilweise können diese nachfolgenden Arbeiten mit den bereits gewonnenen Daten dieser Arbeit durchgeführt werden.

Die magnetische Suszeptibilität kann nicht nur als rein quantitatives Unterscheidungskriterium eingesetzt werden, sondern gibt darüber hinaus auch Hinweise auf die mineralogische Zusammensetzung eines Sediments. Solche Minerale sind Minerale mit Eisenoxiden (MAHER 1896: 78). Die angesprochene rötliche Farbe des Sedimentprofils in vielen Bereichen und die aufgrund dessen vermuteten recht hohen Eisenanteile im Sediment, eignen sich somit gut für weiterführende Untersuchungen an den Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität über diese Arbeit hinaus. Die hierfür untersuchten Minerale sind oft Hämatit und Goethit. Diese können Auskunft über Paläoumweltverhältnisse geben. Die Anwesenheit von Hämatit kann beispielsweise für recht trockene Umweltverhältnisse und Gebiete mit erhöhten Temperaturschwankungen stehen und die von Goethit für gut entwässerte Boden-/ Umweltverhältnisse (MAHER 1896: 78).

Weitere nachfolgende Interpretationen der Ergebnisse in Bezug auf die mineralogischen Komponenten des Sediments, speziell Hämatit und Goethit, können ebenfalls durch „redness ratings“ erreicht werden. Hämatit weist aufgrund des hohen Pigment-Einfluss eine gute Korrelation zwischen seiner Konzentration und sogenannten „redness“-indices auf (BARRON & TORRENT 1986: 499). Das „Q7/4-Diagramm“ (DEBRET et. al 2001: 1) erlaubt die Klassifizierung in unterschiedliche Sedimentkomponenten und ermöglicht die Bildung von fünf differenzierten Klasse: Tonreiche-, organisch geprägte-, eisenreiche-, umgelagerte organische-, sowie karbonatreichen- Ablagerungen, anhand von Farbanalysen durch Photospektrometrie.

Desweiteren stehen die Ergebnisse weiterer Untersuchungen und Proben des Profils, welche auf den Geländekampagnen gewonnen wurden, noch aus. Die Auswertung der Mikromorphologie-Proben (Dr. Martin Kehl) ist hierbei von großer Bedeutung. Zu Datierungszwecken wurden Lumineszenz-Proben in unterschiedlichen Bereichen des Profils genommen. Ebenso wurde eine Vielzahl an Holzkohleresten gefunden, welche durch Archäologen mit der Radiokohlenstoffmethode datiert werden. Diese liegen jedoch möglicherweise über der Nachweisgrenze dieser Methode von etwa 60.000 Jahren.

Innerhalb einer stratigraphischen Gliederung des Profils kann auch die Korrelation einzelner lithostratigraphischer Abschnitte in Bezug auf die Fundverteilung von Artefakten und dessen Hinweise erfolgen und diese können ergänzt werden.

## 8. Zusammenfassung

Die mittelpaläolithische Fundstelle las Palomas im Süden Spaniens ist ein gutes Beispiel für geoarchäologische Arbeiten im Sonderforschungsbereich 806. Sie wird unter archäologischen, geophysikalischen und geomorphologischen Aspekten untersucht. Dabei besteht ein enger Austausch zwischen allen Disziplinen.

Für die sedimentologischen Untersuchungen am Profil der Sima las Palomas konnte innerhalb dieser Arbeit eine erste Datenerfassung mit dem Versuch einer anschließenden ersten Einteilung von potentiellen lithostratigraphischen Abschnitten des Profils erreicht werden. Dabei konnten sieben Abschnitte in eine lithostratigraphische Gliederung auf Grundlage von Sedimentfarbe, Körnung und magnetischer Suszeptibilität erarbeitet werden. Die Grenzen dieser sieben Abschnitte können nicht exakt festgelegt werden, da die Ergebnisse hierfür zu starken Schwankungen unterliegen. Als übergeordnete Abschnitte können diese Bereiche sehr gut dienen.

Desweiteren ergaben die Ergebnisse der Farbuntersuchungen und der magnetischen Suszeptibilität Hinweise für eine vermutete ehemalige Feuerstelle im unteren Bereich des Profils, welche bereits bei ersten Interpretationen des Sediments im Gelände vermutet wurden.

Die ausgewählten Methoden konnten dabei einen sehr detaillierten Eindruck in das Sediment geben, auch wenn Schwierigkeiten bei der Korngrößenanalyse aufgetreten sind, welche auf ein sehr heterogenes Sediment zurückzuführen sind. Die Ergebnisse werfen aber auch weitere Fragen auf, die in nachfolgenden Untersuchungen geklärt werden müssen und gemeinsam mit den ausstehenden Untersuchungen und potentiellen weiteren Analyseverfahren zu ein Gesamtbild des Sedimentprofils der Sima las Palomas führen.

Letztlich kann nur ein Austausch aller Disziplinen die gesammelten Einzelaspekte zu einem übergeordneten Befund zusammensetzen, als Hinweis auf die Besiedlung des Höhlenkomplexes las Palomas. Übergeordnet ergeben sich so weitere Indizien der Mensch-Umwelt-Beziehungen und der menschlichen Mobilität im Spätquartär, als Teil des gesamten Sonderforschungsbereich 806 „Our Way To Europe“.

## V. Literaturverzeichnis

- Barron, V. & Torron, J. 1986. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. In: *Journal of Soil Science*, 37, 499-510
- Barsch, H., Billwitz, K., Bork H-R. (Hrsg.), 2000. *Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie*. Klett-Perthes, Gotha
- Beuselinck, L. et al. 1998. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* 32, 193-208
- 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
- Blumel, H.P. et al. 2010. *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg<sup>16</sup>
- Brückner, H., Gerlach, R., 2007. Geoarchäologie. In: Gebhardt et al. (Hrsg.), *Geographie*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 513 – 516
- Brückner, H., Vött, A., 2008. Geoarchäologie – eine interdisziplinäre Wissenschaft par excellence. In: Kulke, E., Popp, H. (Hrsg.), *Umgang mit Risiken. Katastrophen - Destabilisierung - Sicherheit*. Tagungsband Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth, Deutsche Gesellschaft für Geographie, Bayreuth, Berlin, 181-202.
- Eshel, G. et al. 2004. Critical Evolution of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. *Soil Sci. Am. J., Madison*, 736-743
- Evans, M. F. & Heller, F. 2003. *Environmental Magnetism*. International Geophysics Series 86, Elsevier Science, Oxford
- Dearing, J. A. 1999. *Environmental magnetic susceptibility - using the bartington MS2 system*. British Library Calatoguin in Publication Data. Oxford<sup>2</sup>

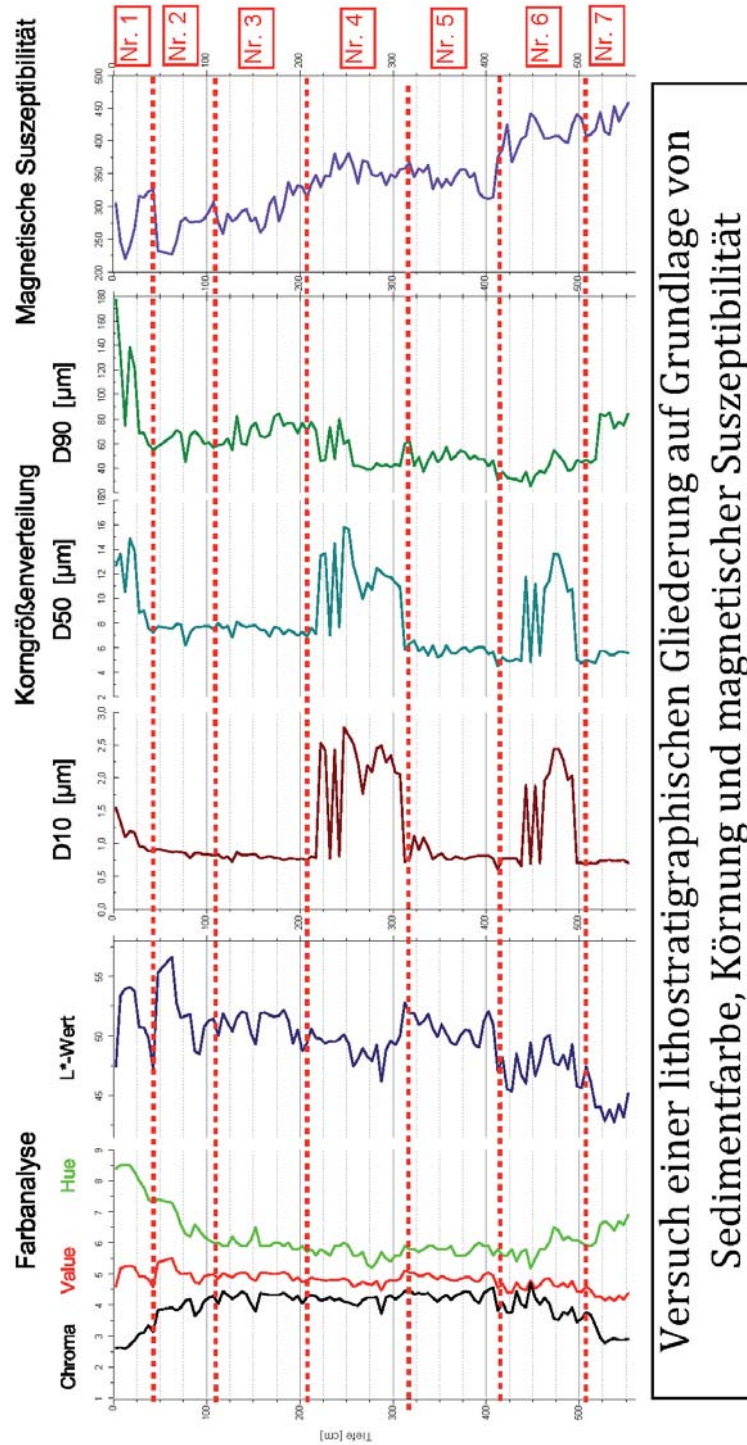
- Debret, M. et al. 2011. Spectrocolorimetric interpretation of sedimentary dynamics: The new "Q7/4 diagram". *Earth-Science Reviews* 109, 1-19
- Gibbons, W. & Moreno, M., 2002. *The geology of Spain*. The Geological Soc., London
- Lauer, W. & Frankenberg, P., 1988. *Klimaklassifikation der Erde*. Geographische Rundschau 40, Westermann Verlag, Braunschweig
- MacKnight, T.L., Hess, D., 2009. *Physische Geographie*. Pearson Studium, München<sup>9</sup>.
- Maher, B.A. 1986. Characterisation of soils by mineral magnetic next term measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42 76-92
- Maher, B.A. 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137, 25-54
- Mansfeldt, T. 2007. Labormethoden. In: Gebhardt et al. (Hrsg.), *Geographie*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 102-109
- Martin, J. et al. 2001. The Messinian Guadalhorce corridor: the last northern, Atlantic-Mediterranean gateway. In: *Terra Nova* 13 (6), 418-424
- Medianero, F.J. et al., 2011. The karst site of Las Palomas (Guadalteba County, Málaga, Spain): A preliminary study of its Middle–Late Pleistocene archaeopaleontological record. *Quaternary international* 243 (1), 127-136
- Pfeffer, K-H., 2005. *Mediterraner Karst und tropischer Karst*, Geographische Rundschau 57 (6), 12-18
- Pfeffer, K-H., 2010. *Karst. Entstehung - Phänomene – Nutzung*. Borntraeger, Stuttgart.
- Bodenkundliche Kartieranleitung*. Schweizerbart, Stuttgart<sup>5</sup>
- 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*. Unpubl. Habilitationsschrift, Univ. Hamburg
- Reicherter, K. & Peters, G. 2005. Neotectonic evolution of the Central Beltic Cordilleras. *Tectonophysics* 405: 191-212
- Sponholz, B., 2007. *Formbildung durch Lösungsprozesse*. In: Gebhardt et al. (Hrsg.), *Geographie*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 309-312

- Suntrup, A., 2010. Geomorphologisch-sedimentologische und satellitenbildbasierte Analyse der Einflüsse auf die Landschaftsentwicklung im Einzugsgebiet des Arroyo del Alforzo. Ph.D.Thesis. 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
- Wagner, H.-G., 2001. Mittelmeerraum - Wissenschaftliche Länderkunden der Wissenschaftlichen Buchgesellschaft, Darmstadt
- Walger, E., 1964. Zur Darstellung von Korngrößenverteilungen. Geol. Rundschau 54 (2), 976-1002



## VI. Anhang

Grafik 1: Einteilung aller Ergebnisse in potentielle lithostratigraphische Einheiten



Versuch einer lithostratigraphischen Gliederung auf Grundlage von Sedimentfarbe, Körnung und magnetischer Suszeptibilität

Tabelle 1: Ergebnisse der Farbanalyse

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	L*(C)	Munsell	Hue - Wert	Value- Wert	Chroma- Wert
CP 1.1	0-5	2,5	47,42	8,4YR	8,40	4,60	2,62
CP 1.2	5-10	7,5	53,43	8,5YR	8,50	5,18	2,64
CP 1.3	10-15	12,5	53,97	8,5YR	8,50	5,24	2,60
CP 1.4	15-20	17,5	54,13	8,5YR	8,50	5,25	2,71
CP 1.5	20-25	22,5	53,75	8,3YR	8,30	5,22	2,87
CP 1.6	25-30	27,5	50,75	8,0YR	8,00	4,92	3,07
CP 1.7	30-35	32,5	50,71	7,8YR	7,80	4,92	3,12
CP 1.8	35-40	37,5	49,80	7,4YR	7,40	4,83	3,34
CP 1.9	40-45	42,5	47,22	7,3YR	7,30	4,58	3,13
CP 1.10	45-50	47,5	55,33	7,4YR	7,40	5,37	3,84
CP 1.11	60-65	62,5	56,68	7,3YR	7,30	5,51	3,92
CP 1.12	65-70	67,5	52,75	7,0YR	7,00	5,12	3,83
CP 1.13	70-75	72,5	51,53	6,6YR	6,60	5,00	3,92
CP 1.14	75-80	77,5	51,70	6,3YR	6,30	5,01	4,14
CP 1.15	80-85	82,5	51,84	6,2YR	6,20	5,03	4,19
CP 1.16	85-90	87,5	48,73	6,6YR	6,60	4,73	3,66
CP 1.17	90-95	92,5	48,52	6,4YR	6,40	4,70	3,81
CP 1.18	95-100	97,5	50,80	6,2YR	6,20	4,92	4,13
CP 1.19	100-105	102,5	51,28	6,1YR	6,10	4,97	4,23
CP 1.20	105-110	107,5	51,46	6,0YR	6,00	4,99	4,29
CP 1.21	110-115	112,5	49,99	6,0YR	6,00	4,85	4,04
CP 1.22	115-120	117,5	51,90	5,9YR	5,90	5,03	4,44
CP 1.23	120-125	122,5	51,13	5,9YR	5,90	4,96	4,32
CP 1.24	125-130	127,5	50,41	6,2YR	6,20	4,89	4,20
CP 1.25	130-135	132,5	51,55	6,0YR	6,00	5,00	4,30
CP 1.26	135-140	137,5	52,03	5,9YR	5,90	5,04	4,43
CP 1.27	140-145	142,5	51,91	5,9YR	5,90	5,03	4,36
CP 1.28	145-150	147,5	50,25	6,1YR	6,10	4,87	4,04
CP 1.29	150-155	152,5	49,28	6,5YR	6,50	4,78	3,80
CP 2.1	155-160	157,5	51,91	5,9YR	5,90	5,03	4,39
CP 2.2	160-165	162,5	51,95	5,9YR	5,90	5,04	4,36
CP 2.3	165-170	167,5	51,76	5,9YR	5,90	5,02	4,33
CP 2.4	170-175	172,5	51,63	6,0YR	6,00	5,00	4,32
CP 2.5	175-180	177,5	51,72	6,0YR	6,00	5,01	4,33
CP 2.6	180-185	182,5	52,19	5,9YR	5,90	5,06	4,40
CP 2.7	185-190	187,5	51,35	6,0YR	6,00	4,98	4,28

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	L*(C)	Munsell	Hue - Wert	Value-Wert	Chroma-Wert
CP 2.8	190-195	192,5	49,39	5,8YR	5,80	4,79	4,18
CP 2.9	195-200	197,5	50,52	5,8YR	5,80	4,90	4,30
CP 2.10	200-205	202,5	48,76	5,9YR	5,90	4,73	4,06
CP 2.11	205-210	207,5	49,41	5,7YR	5,70	4,79	4,26
CP 2.12	210-215	212,5	50,58	5,8YR	5,80	4,90	4,33
CP 2.13	215-220	217,5	49,85	5,6YR	5,60	4,83	4,28
CP 2.14	220-225	222,5	49,76	5,8YR	5,80	4,82	4,15
CP 2.15	225-230	227,5	49,39	5,7YR	5,70	4,79	4,19
CP 2.16	230-235	232,5	49,56	5,6YR	5,60	4,81	4,25
CP 2.17	235-340	237,5	49,54	5,9YR	5,90	4,80	4,16
CP 2.18	240-245	242,5	49,72	5,9YR	5,90	4,82	4,20
CP 2.19	245-250	247,5	50,12	6,0YR	6,00	4,86	4,12
CP 2.20	250-255	252,5	49,36	5,9YR	5,90	4,79	4,08
CP 2.21	255-260	257,5	47,47	5,6YR	5,60	4,60	4,01
CP 2.22	260-265	262,5	48,09	5,6YR	5,60	4,66	3,97
CP 2.23	265-270	267,5	48,98	5,7YR	5,70	4,75	4,16
CP 2.24	270-275	272,5	48,28	5,3YR	5,30	4,68	4,23
CP 2.25	275-280	277,5	47,93	5,2YR	5,20	4,65	4,23
CP 2.26	280-285	282,5	49,26	5,4YR	5,40	4,78	4,25
CP 2.27	285-290	287,5	46,16	5,7YR	5,70	4,48	3,72
CP 2.28	290-295	292,5	48,87	5,5YR	5,50	4,74	4,25
CP 2.29	295-300	297,5	49,61	5,4YR	5,40	4,81	4,31
CP 2.30	300-305	302,5	49,25	5,6YR	5,60	4,78	4,19
CP 2.31	305-310	307,5	50,03	5,6YR	5,60	4,85	4,29
CP 3.1	310-315	312,5	52,83	5,9YR	5,90	5,12	4,44
CP 3.2	315-320	317,5	51,94	5,8YR	5,80	5,04	4,48
CP 3.3	320-325	322,5	51,93	5,8YR	5,80	5,03	4,36
CP 3.4	325-330	327,5	51,00	5,7YR	5,70	4,94	4,38
CP 3.5	330-335	332,5	51,21	5,8YR	5,80	4,96	4,36
CP 3.6	335-340	337,5	51,85	5,9YR	5,90	5,03	4,38
CP 3.7	340-345	342,5	50,65	5,9YR	5,90	4,91	4,23
CP 3.8	345-350	347,5	49,92	5,8YR	5,80	4,84	4,12
CP 3.9	350-355	352,5	51,00	5,8YR	5,80	4,94	4,24
CP 3.10	355-360	357,5	50,21	5,8YR	5,80	4,87	4,32
CP 3.11	360-365	362,5	49,46	5,9YR	5,90	4,80	4,18
CP 3.12	365-370	367,5	49,25	5,6YR	5,60	4,78	4,31
CP 3.13	370-375	372,5	50,05	5,6YR	5,60	4,85	4,37

Probe	abs. Tiefe	ø-Tiefe	L*(C)	Munsell	Hue - Wert	Value-Wert	Chroma-Wert
CP 3.14	375-380	377,5	50,52	5,6YR	5,60	4,90	4,44
CP 3.15	380-385	382,5	50,43	5,7YR	5,70	4,89	4,42
CP 3.16	385-390	387,5	49,26	5,9YR	5,90	4,78	4,18
CP 3.17	390-395	392,5	49,07	6,0YR	6,00	4,76	4,07
CP 3.18	395-400	397,5	51,24	5,9YR	5,90	4,97	4,39
CP 3.19	400-405	402,5	52,07	5,9YR	5,90	5,05	4,49
CP 3.20	405-410	407,5	50,99	5,6YR	5,60	4,94	4,57
CP 3.21	410-415	412,5	47,08	5,8YR	5,80	4,57	3,81
CP 3.22	415-420	417,5	48,21	5,6YR	5,60	4,68	4,08
CP 3.23	420-425	422,5	45,55	5,6YR	5,60	4,42	3,75
CP 3.24	425-430	427,5	45,37	5,8YR	5,80	4,40	3,75
CP 3.25	430-435	432,5	48,53	5,4YR	5,40	4,71	4,45
CP 3.26	435-440	437,5	46,74	5,7YR	5,70	4,53	4,02
CP 3.27	440-445	442,5	46,05	5,8YR	5,80	4,47	3,93
CP 3.28	445-450	447,5	49,44	5,2YR	5,20	4,79	4,70
CP 3.29	450-455	452,5	46,67	5,5YR	5,50	4,53	4,24
CP 3.30	455-460	457,5	47,90	5,8YR	5,80	4,65	4,03
CP 3.31	460-465	462,5	49,77	5,8YR	5,80	4,83	4,23
CP 3.32	465-470	467,5	50,10	6,0YR	6,00	4,86	4,05
CP 3.33	470-475	472,5	47,77	6,5YR	6,50	4,63	3,56
CP 3.34	475-480	477,5	47,57	6,4YR	6,40	4,61	3,53
CP 3.35	480-485	482,5	48,42	6,1YR	6,10	4,70	3,76
CP 3.36	485-490	487,5	47,24	6,2YR	6,20	4,58	3,71
CP 3.37	490-495	492,5	49,28	6,1YR	6,10	4,78	3,91
CP 3.38	495-500	497,5	45,80	6,1YR	6,10	4,44	3,45
CP 3.39	500-505	502,5	45,64	6,0YR	6,00	4,43	3,55
CP 3.40	505-510	507,5	47,47	5,9YR	5,90	4,60	3,77
CP 3.41	510-515	512,5	46,14	5,9YR	5,90	4,48	3,68
CP 3.42	515-520	517,5	44,02	6,0YR	6,00	4,27	3,33
CP 3.43	520-525	522,5	44,09	6,6YR	6,60	4,28	2,95
CP 3.44	525-530	527,5	42,86	6,7YR	6,70	4,16	2,78
CP 3.45	530-535	532,5	43,84	6,6YR	6,60	4,25	2,88
CP 3.46	535-540	537,5	42,79	6,4YR	6,40	4,15	2,92
CP 3.47	540-545	542,5	44,30	6,7YR	6,70	4,30	2,88
CP 3.48	545-550	547,5	43,18	6,6YR	6,60	4,19	2,88
CP 3.49	550-555	552,5	45,23	6,9YR	6,90	4,39	2,91

Tabelle 2: Ergebnisse der magnetischen Suszeptibilität

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	Mag.sus_ 1	Mag.sus_ 2	Mag.sus_ 3	Mittel- wert	STDW
CP 1.1	0-5	2,5	300	311	304	305,00	4,55
CP 1.2	5-10	7,5	243	246	250	246,33	2,87
CP 1.3	10-15	12,5	213	220	228	220,33	6,13
CP 1.4	15-20	17,5	246	238	233	239,00	5,35
CP 1.5	20-25	22,5	267	270	262	266,33	3,30
CP 1.6	25-30	27,5	304	339	305	316,00	16,27
CP 1.7	30-35	32,5	322	317	303	314,00	8,04
CP 1.8	35-40	37,5	313	324	332	323,00	7,79
CP 1.9	40-45	42,5	319	335	325	326,33	6,60
CP 1.10	45-50	47,5	245	217	237	233,00	11,78
CP 1.11	60-65	62,5	243	230	208	227,00	14,45
CP 1.12	65-70	67,5	221	248	274	247,67	21,64
CP 1.13	70-75	72,5	269	287	277	277,67	7,36
CP 1.14	75-80	77,5	276	281	291	282,67	6,24
CP 1.15	80-85	82,5	269	276	282	275,67	5,31
CP 1.16	85-90	87,5	254	282	295	277,00	17,11
CP 1.17	90-95	92,5	281	282	267	276,67	6,85
CP 1.18	95-100	97,5	268	287	288	281,00	9,20
CP 1.19	100-105	102,5	281	300	297	292,67	8,34
CP 1.20	105-110	107,5	316	313	291	306,67	11,15
CP 1.21	110-115	112,5	286	278	265	276,33	8,65
CP 1.22	115-120	117,5	257	267	251	258,33	6,60
CP 1.23	120-125	122,5	290	294	284	289,33	4,11
CP 1.24	125-130	127,5	280	282	272	278,00	4,32
CP 1.25	130-135	132,5	273	285	290	282,67	7,13
CP 1.26	135-140	137,5	293	294	290	292,33	1,70
CP 1.27	140-145	142,5	296	297	295	296,00	0,82
CP 1.28	145-150	147,5	296	269	267	277,33	13,22
CP 1.29	150-155	152,5	294	273	281	282,67	8,65
CP 2.1	155-160	157,5	257	267	258	260,67	4,50
CP 2.2	160-165	162,5	268	274	268	270,00	2,83
CP 2.3	165-170	167,5	303	298	308	303,00	4,08
CP 2.4	170-175	172,5	310	324	313	315,67	6,02
CP 2.5	175-180	177,5	295	274	265	278,00	12,57
CP 2.6	180-185	182,5	302	300	297	299,67	2,05

Probe	abs. Tiefe	ø-Tiefe	Mag.sus_ 1	Mag.sus_ 2	Mag.sus_ 3	Mittel- wert	STDW
CP 2.7	185-190	187,5	342	334	336	337,33	3,40
CP 2.8	190-195	192,5	322	324	308	318,00	7,12
CP 2.9	195-200	197,5	337	325	335	332,33	5,25
CP 2.10	200-205	202,5	337	332	321	330,00	6,68
CP 2.11	205-210	207,5	311	304	324	313,00	8,29
CP 2.12	210-215	212,5	337	331	335	334,33	2,49
CP 2.13	215-220	217,5	352	344	348	348,00	3,27
CP 2.14	220-225	222,5	337	317	338	330,67	9,67
CP 2.15	225-230	227,5	346	345	351	347,33	2,62
CP 2.16	230-235	232,5	358	338	343	346,33	8,50
CP 2.17	235-340	237,5	372	381	389	380,67	6,94
CP 2.18	240-245	242,5	372	360	339	357,00	13,64
CP 2.19	245-250	247,5	374	371	358	367,67	6,94
CP 2.20	250-255	252,5	377	382	387	382,00	4,08
CP 2.21	255-260	257,5	369	362	354	361,67	6,13
CP 2.22	260-265	262,5	346	328	333	335,67	7,59
CP 2.23	265-270	267,5	369	367	375	370,33	3,40
CP 2.24	270-275	272,5	374	356	374	368,00	8,49
CP 2.25	275-280	277,5	351	360	335	348,67	10,34
CP 2.26	280-285	282,5	337	348	355	346,67	7,41
CP 2.27	285-290	287,5	358	368	327	351,00	17,45
CP 2.28	290-295	292,5	349	333	316	332,67	13,47
CP 2.29	295-300	297,5	349	359	338	348,67	8,58
CP 2.30	300-305	302,5	354	344	336	344,67	7,36
CP 2.31	305-310	307,5	359	355	356	356,67	1,70
CP 3.1	310-315	312,5	354	358	363	358,33	3,68
CP 3.2	315-320	317,5	361	368	372	367,00	4,55
CP 3.3	320-325	322,5	336	352	348	345,33	6,80
CP 3.4	325-330	327,5	365	352	357	358,00	5,35
CP 3.5	330-335	332,5	346	353	358	352,33	4,92
CP 3.6	335-340	337,5	370	360	359	363,00	4,97
CP 3.7	340-345	342,5	331	321	328	326,67	4,19
CP 3.8	345-350	347,5	340	341	349	343,33	4,03
CP 3.9	350-355	352,5	334	321	334	329,67	6,13
CP 3.10	355-360	357,5	338	346	341	341,67	3,30
CP 3.11	360-365	362,5	343	328	327	332,67	7,32
CP 3.12	365-370	367,5	351	346	343	346,67	3,30
CP 3.13	370-375	372,5	355	357	357	356,33	0,94

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	Mag.sus_ 1	Mag.sus_ 2	Mag.sus_ 3	Mittel- wert	STDW
CP 3.14	375-380	377,5	363	353	354	356,67	4,50
CP 3.15	380-385	382,5	332	340	360	344,00	11,78
CP 3.16	385-390	387,5	355	359	336	350,00	10,03
CP 3.17	390-395	392,5	318	326	317	320,33	4,03
CP 3.18	395-400	397,5	306	318	319	314,33	5,91
CP 3.19	400-405	402,5	311	316	308	311,67	3,30
CP 3.20	405-410	407,5	315	307	322	314,67	6,13
CP 3.21	410-415	412,5	373	378	374	375,00	2,16
CP 3.22	415-420	417,5	388	389	387	388,00	0,82
CP 3.23	420-425	422,5	428	426	421	425,00	2,94
CP 3.24	425-430	427,5	360	367	376	367,67	6,55
CP 3.25	430-435	432,5	399	379	378	385,33	9,67
CP 3.26	435-440	437,5	394	404	411	403,00	6,98
CP 3.27	440-445	442,5	397	407	420	408,00	9,42
CP 3.28	445-450	447,5	441	449	437	442,33	4,99
CP 3.29	450-455	452,5	440	429	435	434,67	4,50
CP 3.30	455-460	457,5	399	417	443	419,67	18,06
CP 3.31	460-465	462,5	411	391	409	403,67	8,99
CP 3.32	465-470	467,5	389	411	413	404,33	10,87
CP 3.33	470-475	472,5	416	414	393	407,67	10,40
CP 3.34	475-480	477,5	405	416	404	408,33	5,44
CP 3.35	480-485	482,5	422	388	390	400,00	15,58
CP 3.36	485-490	487,5	395	394	404	397,67	4,50
CP 3.37	490-495	492,5	419	434	421	424,67	6,65
CP 3.38	495-500	497,5	437	445	440	440,67	3,30
CP 3.39	500-505	502,5	433	430	441	434,67	4,64
CP 3.40	505-510	507,5	398	404	421	407,67	9,74
CP 3.41	510-515	512,5	428	398	404	410,00	12,96
CP 3.42	515-520	517,5	391	441	423	418,33	20,68
CP 3.43	520-525	522,5	425	457	449	443,67	13,60
CP 3.44	525-530	527,5	401	423	417	413,67	9,29
CP 3.45	530-535	532,5	397	409	424	410,00	11,05
CP 3.46	535-540	537,5	445	460	457	454,00	6,48
CP 3.47	540-545	542,5	435	414	442	430,33	11,90
CP 3.48	545-550	547,5	440	441	455	445,33	6,85
CP 3.49	550-555	552,5	469	453	452	458,00	7,79

Tabelle 3: Ergebnisse der Körnungsanalyse

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	D10	D50	D90
CP 1.1	0-5	2,5	1,55	12,66	177,44
CP 1.2	5-10	7,5	1,33	13,61	132,04
CP 1.3	10-15	12,5	1,10	10,51	75,22
CP 1.4	15-20	17,5	1,19	14,89	138,51
CP 1.5	20-25	22,5	1,17	13,90	121,75
CP 1.6	25-30	27,5	0,96	8,85	68,59
CP 1.7	30-35	32,5	0,95	9,05	68,51
CP 1.8	35-40	37,5	0,89	7,57	59,31
CP 1.9	40-45	42,5	0,89	7,23	54,89
CP 1.10	45-50	47,5	0,92	7,74	57,57
CP 1.11	60-65	62,5	0,87	7,55	65,87
CP 1.12	65-70	67,5	0,88	7,91	70,75
CP 1.13	70-75	72,5	0,87	7,90	68,72
CP 1.14	75-80	77,5	0,86	6,20	44,91
CP 1.15	80-85	82,5	0,78	7,22	66,84
CP 1.16	85-90	87,5	0,86	7,67	70,11
CP 1.17	90-95	92,5	0,85	7,72	66,24
CP 1.18	95-100	97,5	0,84	7,72	59,79
CP 1.19	100-105	102,5	0,83	7,78	61,18
CP 1.20	105-110	107,5	0,82	7,52	56,36
CP 1.21	110-115	112,5	0,84	7,99	58,86
CP 1.22	115-120	117,5	0,78	7,59	59,41
CP 1.23	120-125	122,5	0,80	7,77	64,22
CP 1.24	125-130	127,5	0,73	6,83	55,03
CP 1.25	130-135	132,5	0,87	8,11	82,27
CP 1.26	135-140	137,5	0,83	7,83	60,12
CP 1.27	140-145	142,5	0,83	7,68	59,07
CP 1.28	145-150	147,5	0,83	7,79	73,63
CP 1.29	150-155	152,5	0,84	7,82	77,11
CP 2.1	155-160	157,5	0,78	7,42	66,25
CP 2.2	160-165	162,5	0,79	7,41	65,16
CP 2.3	165-170	167,5	0,81	6,92	67,42
CP 2.4	170-175	172,5	0,79	7,72	82,01
CP 2.5	175-180	177,5	0,78	7,57	84,54
CP 2.6	180-185	182,5	0,75	7,08	74,57



Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	D10	D50	D90
CP 2.7	185-190	187,5	0,77	7,42	77,16
CP 2.8	190-195	192,5	0,77	7,29	76,13
CP 2.9	195-200	197,5	0,76	6,96	68,64
CP 2.10	200-205	202,5	0,77	7,29	77,15
CP 2.11	205-210	207,5	0,75	6,92	70,57
CP 2.12	210-215	212,5	0,81	7,64	77,46
CP 2.13	215-220	217,5	0,78	7,15	70,95
CP 2.14	220-225	222,5	2,54	13,47	45,71
CP 2.15	225-230	227,5	2,42	13,66	46,90
CP 2.16	230-235	232,5	0,77	6,97	73,71
CP 2.17	235-340	237,5	2,44	14,50	47,56
CP 2.18	240-245	242,5	0,81	7,67	79,86
CP 2.19	245-250	247,5	2,78	15,82	59,93
CP 2.20	250-255	252,5	2,65	15,65	62,71
CP 2.21	255-260	257,5	2,53	12,70	42,07
CP 2.22	260-265	262,5	2,23	11,39	41,88
CP 2.23	265-270	267,5	1,76	9,93	40,86
CP 2.24	270-275	272,5	2,20	11,27	39,00
CP 2.25	275-280	277,5	2,10	10,71	39,42
CP 2.26	280-285	282,5	2,45	12,50	44,08
CP 2.27	285-290	287,5	2,50	12,13	41,81
CP 2.28	290-295	292,5	2,25	11,79	42,95
CP 2.29	295-300	297,5	2,34	11,74	41,29
CP 2.30	300-305	302,5	2,08	11,31	43,29
CP 2.31	305-310	307,5	2,06	10,89	41,94
CP 3.1	310-315	312,5	0,73	5,83	60,00
CP 3.2	315-320	317,5	0,75	6,34	62,66
CP 3.3	320-325	322,5	1,12	6,54	42,02
CP 3.4	325-330	327,5	0,90	5,74	48,74
CP 3.5	330-335	332,5	1,09	6,02	37,44
CP 3.6	335-340	337,5	0,95	5,40	46,32
CP 3.7	340-345	342,5	0,76	6,18	53,56
CP 3.8	345-350	347,5	0,82	5,22	45,15
CP 3.9	350-355	352,5	0,84	5,36	48,05
CP 3.10	355-360	357,5	0,76	6,17	57,26
CP 3.11	360-365	362,5	0,76	5,58	47,10
CP 3.12	365-370	367,5	0,80	5,50	49,94
CP 3.13	370-375	372,5	0,78	5,89	54,63

Probe	abs. Tiefe	Ø-Tiefe	D10	D50	D90
CP 3.14	375-380	377,5	0,76	6,02	52,91
CP 3.15	380-385	382,5	0,79	5,63	47,25
CP 3.16	385-390	387,5	0,80	5,92	49,93
CP 3.17	390-395	392,5	0,82	6,05	47,55
CP 3.18	395-400	397,5	0,81	6,02	47,54
CP 3.19	400-405	402,5	0,82	5,45	41,51
CP 3.20	405-410	407,5	0,77	5,65	46,04
CP 3.21	410-415	412,5	0,61	4,49	30,51
CP 3.22	415-420	417,5	0,78	5,22	37,26
CP 3.23	420-425	422,5	0,77	4,89	32,66
CP 3.24	425-430	427,5	0,77	4,91	31,31
CP 3.25	430-435	432,5	0,77	5,13	31,17
CP 3.26	435-440	437,5	0,66	4,88	28,97
CP 3.27	440-445	442,5	1,90	11,75	37,18
CP 3.28	445-450	447,5	0,69	4,80	25,76
CP 3.29	450-455	452,5	1,88	11,21	34,48
CP 3.30	455-460	457,5	0,70	5,39	37,67
CP 3.31	460-465	462,5	1,97	10,81	36,38
CP 3.32	465-470	467,5	2,07	11,46	43,13
CP 3.33	470-475	472,5	2,45	13,68	54,48
CP 3.34	475-480	477,5	2,44	13,57	50,30
CP 3.35	480-485	482,5	2,28	12,16	45,74
CP 3.36	485-490	487,5	1,97	10,55	38,13
CP 3.37	490-495	492,5	2,04	10,78	39,13
CP 3.38	495-500	497,5	0,70	5,04	46,56
CP 3.39	500-505	502,5	0,70	4,74	44,85
CP 3.40	505-510	507,5	0,68	4,99	47,13
CP 3.41	510-515	512,5	0,71	4,83	44,22
CP 3.42	515-520	517,5	0,69	4,79	47,43
CP 3.43	520-525	522,5	0,74	5,72	84,16
CP 3.44	525-530	527,5	0,74	5,71	82,43
CP 3.45	530-535	532,5	0,75	5,44	85,34
CP 3.46	535-540	537,5	0,74	5,43	72,30
CP 3.47	540-545	542,5	0,74	5,69	77,73
CP 3.48	545-550	547,5	0,75	5,65	75,07
CP 3.49	550-555	552,5	0,71	5,58	84,61