

Universität zu Köln
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Geologie und Mineralogie

Studiengang Geowissenschaften

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

**Korngrößenverteilung in der Sedimentabfolge
der Laguna de Medina, Südspanien**

Erstgutachter: Prof. Dr. Martin Melles
Zweitgutachter: Jasmijn van't Hoff

vorgelegt von:
Sandra Blanke
Matrikel-Nr. 5572886
E-Mail: Sandra.Blanke@gmx.net
Köln, 14. Juli 2015

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Ausführungen dieser Arbeit – einschließlich Abbildungen, Karten, Tabellen, etc. – die anderen Veröffentlichungen wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, habe ich mit einer Quellenangabe als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Behörde zur Prüfung vorgelegen und wurde weder ganz noch im Auszug veröffentlicht.

Bonn, der 14. Juli 2015

Zusammenfassung

Bei der Untersuchung von Proben des Sedimentbohrkerns CO1313 (N 36°37'04,380; W 06°03'12,720) aus der Laguna de Medina im Südwesten Spaniens wurde die Korngrößenverteilung ermittelt, um Aussagen über den klimatisch gesteuerten Eintrag der Sedimente zu treffen. Die Sedimentsequenz liefert eine kontinuierliche Abfolge von siltigen Tonen. Die enthaltenen feinen Sande wurden vermutlich durch äolische Einträge aus der Sahara geliefert und traten während kalter und arider Bedingungen mit verstärkten Winden aus südöstlicher Richtung auf. Basierend auf der Korrelation des Sedimentbohrkerns CO1313 mit der Datierung eines bereits früher erbohrten Kerns wurde ein Altersmodell übernommen, das zumindest eine teilweise Benennung von klimatischen Ereignissen ermöglicht. Auch wenn diese Datierung nur auf Vermutungen begründet ist, zeigt sich, dass die Sande mit größeren Kälteevents gegen Ende des Pleistozäns und im frühen Holozän in Verbindung gebracht werden können. So muss es unter anderem entsprechend der Korngrößenverteilung aus der Laguna de Medina während des Letzten Glazialen Maximums (23,5 – 17,5 cal. ka BP) und der Younger Dryas (12,5 – 11,5 cal. ka BP) zu verstärkter Windaktivität aus der Sahara gekommen sein. Demnach kann in Ansätzen eine Rekonstruktion des Klimas erfolgen.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	II
Zusammenfassung.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	7
2 Stand der Wissenschaft.....	9
3 Laguna de Medina, Südspanien.....	12
3.1 Lokation des Bohrkerns CO1313.....	12
3.2 Geographischer Überblick.....	13
3.3 Geologischer Überblick	14
3.3.1 Geologische Entwicklung der Betischen Kordilleren	14
3.3.2 Regionale Geologie des Subbetikums	16
3.3.3 Stratigraphie der Laguna de Medina.....	17
4 Methode	19
4.1 Probennahme.....	19
4.2 Probenaufbereitung.....	20
4.2.1 Lösung von Gips.....	20
4.2.2 Lösung von Karbonat	20
4.2.3 Entfernung der Organik	20
4.2.4 Lösung des biogenen Opals.....	21
4.2.5 Dispergieren der Probe	21
4.3 Korngrößenanalyse	21
4.4 Korngrößeneinteilung.....	22
5 Ergebnisse	23
6 Diskussion.....	26
7 Fazit.....	28
Danksagung	XXIX
Literaturverzeichnis	XXX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Our Way to Europe: Herkunft ("source"), Korridore der Ausbreitung ("trajectories"), Peripherie ("sink") und Schlüsselbereiche.....	8
Abbildung 2: Relative Seespiegelveränderungen der Laguna de Medina im Holozän	10
Abbildung 3: Lagekarte der Laguna de Medina, Cádiz	12
Abbildung 4: Lokation des Bohrkerns CO1313 im Zentrum der Laguna de Medina	12
Abbildung 5: Klimadiagramm von Jerez de la Frontera im Norden der Laguna de Medina...	13
Abbildung 6: Jährliche Variabilität der Wasserbilanz der Laguna de Medina.....	13
Abbildung 7: Beginn der Entstehung des Variszischen Gebirges im Karbon.....	14
Abbildung 8: Abspaltung der Iberischen von der Eurasischen Platte in der Kreide	15
Abbildung 9: Abschluss der Entwicklung der Betischen Kordilleren im Miozän	15
Abbildung 10: Schematische geologische Karte der Betischen Kordilleren	16
Abbildung 11: Geologie des Einzugsgebietes der Laguna de Medina	18
Abbildung 12: Funktionsweise eines Kolbenlots bei der Bohrung	19
Abbildung 13: Korngrößenverteilung aller Sedimentproben der Laguna de Medina.....	24
Abbildung 14: Zusammenfassung der Korngrößenverteilung in der Laguna de Medina	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korngrößeneinteilungen.....	22
--	----

Abkürzungsverzeichnis

BP	engl. „before present“, deut. „vor heute“; Internationaler festgelegter Bezugspunkt: 1. Januar 1950
cal.	Abk. für „kalibriert“; Kalibrierung der gemessenen ¹⁴ C-Daten
D/O-Events	Abk. für „Dansgaard/Oeschger-Events“
et al.	lat. „et alii“, deut. „und andere“
HE	Abk. für „Heinrich Event“
ka	lat. „kilo annos“, wissenschaftlich für 1000 Jahre
LGM	Abk. für „Letztes Glaziales Maximum“
MIS	Abk. für „Marines Isotopenstadium“
SFB 806	Sonderforschungsbereich 806 (engl. „CRC 806“; Abk. für „ Collaborative Research Centre 806)
YD	Abk. für „Younger Dryas“

1 Einleitung

Bereits 1830 hatte der britische Geologe Sir Charles Lyell erkannt, dass die physikalischen, chemischen und biologischen Gesetze stetig gültig sind und gefolgert, dass die geologischen Prozesse, die rezent zu beobachten sind, in der erdgeschichtlichen Vergangenheit ebenso abgelaufen sein müssen. Das sogenannte „Prinzip des Aktualismus“ beruht auf der Feststellung, dass „die Gegenwart der Schlüssel zur Vergangenheit ist“ (LYELL, 1865). Diese bildet heute die Grundlage zum Verständnis aller geologischen Prozesse.

In der Paläoklimatologie wird das „Prinzip des Aktualismus“ zur Rekonstruktion der klimatischen Veränderungen im Verlauf der Erdgeschichte verwendet. Dabei dienen die Aufzeichnungen von Klimaproxy aus natürlichen Archiven wie Baumringen, See- oder Ozeansedimenten als Informationsquelle über Veränderungen des Klimas.

Seesedimente werden als ideale Klimaarchive für die Rekonstruktion der kontinentalen Klimaentwicklung betrachtet, was sich damit erklären lässt, dass sie in der Regel kontinuierlich abgelagert werden und somit ungestörte Sedimentabfolgen beinhalten. Sie liefern zeitlich hochauflösende Aufzeichnungen der Klimageschichte. Für die Rekonstruktion der limnoökologischen Bedingungen wie Wassertemperaturen, Seespiegelständen und der umgebenden Vegetation sind vor allem die biologischen Überreste (Diatomeen, Pollen) von großer Bedeutung. Zudem eignen sich die mineralogischen Komponenten zur Rekonstruktion des klimatisch gesteuerten Eintrags von Staub und der partikulären Schwebfracht aus Flüssen (DIEKMANN, HERZSCHUH, 2007).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Laguna de Medina im Südwesten Spaniens.

Bisher wurde dieser See erst ein Mal im Rahmen der Studie von REED et al. (2001) untersucht. Basierend auf verschiedenen paläolimnologischen Daten (u.a. Pollen, Diatomeen, Lithologie) wurden die holozänen Seespiegelveränderungen der Laguna de Medina in den letzten 9 cal. ka BP Jahren ermittelt. Anhand der erhobenen Daten konnten die globalen Umweltbedingungen rekonstruiert werden. Damit füllte die Studie eine Lücke bei der Erforschung der holozänen Klimaveränderungen dieser Region (REED et al., 2001). Jedoch ist es unerlässlich, die Region weiter zu erforschen.

Dies wird nun im Rahmen des „Sonderforschungsbereichs 806 – Unser Weg nach Europa“ in Zusammenarbeit der Universität zu Köln, der Universität Bonn und der RWTH Aachen ermöglicht. SFB 806 befasst sich allgemein mit der Geschichte der Ausbreitung des modernen Menschen von Afrika nach Europa. Sein Ziel ist die Erfassung der Chronologie und der regionalen Strukturen der Ausbreitung in Abhängigkeit von den klimatischen, ökologischen

und soziokulturellen Bedingungen im Quellgebiet, den Korridoren und dem Zielgebiet (COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015a).

Die Forscher gehen davon aus, dass die Ausbreitung des modernen Menschen von Afrika über zwei Korridore nach Mitteleuropa erfolgte (COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015a). Deshalb gilt es, die unterschiedlichen Pfade auf dem Weg nach Europa zu untersuchen. Dies ist die Aufgabe von Projekt C3, welches sich mit dem Westkorridor der Ausbreitung über Nordwest-Afrika und die Iberische Halbinsel beschäftigt (Abbildung 1). Dabei sollen die möglichen Beziehungen zwischen den klimatischen



Abbildung 1: Our Way to Europe: Herkunft ("source"), Korridore der Ausbreitung ("trajectories"), Peripherie ("sink") und Schlüsselbereiche (Quelle: CRC 806, 2015a)

und ökologischen Veränderungen während des Oberen Pleistozäns bis Mittleren Holozäns anhand von langfristigen und möglicherweise kontinuierlichen Archiven geklärt werden. Das Ziel von Projekt C3 ist die weitere Füllung der regionalen Lücke in spätquartären Klimaarchiven, welche zwischen den marinen Aufzeichnungen aus dem Atlantik und dem Alborán-Meer sowie den terrestrischen Aufzeichnungen der Iberischen Halbinsel besteht. Hierfür werden sedimentäre Archive wie z.B. Seen der westlichen Iberischen Halbinsel im Hinblick auf die Rekonstruktion des Paläoklimas untersucht (COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015b). Zu den bei Projekt C3 untersuchten Seen zählt auch die Laguna de Medina bei Cádiz. Dafür wurden bei zwei Bohrkampagnen im September 2014 und im März 2015 Bohrungen durchgeführt und die dabei entnommenen Bohrkern für Untersuchungen ins Labor der Universität zu Köln gebracht (COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015c).

Für die vorliegende Arbeit wurden verschiedene Proben einer Sedimentsequenz aus der Laguna de Medina auf ihre Korngrößenverteilung untersucht, um Aussagen über den klimatisch gesteuerten Eintrag von Siliziklasitika im Quartär zu treffen. Hierfür gibt die Arbeit im ersten Schritt einen umfassenden Überblick über die bisherigen Untersuchungen zur klimatischen Entwicklung Spaniens (Kapitel 2). Anschließend wird das Untersuchungsgebiet vorgestellt, wobei besondere Rücksicht auf das rezente Klima und die regionale Geologie der Laguna de Medina genommen wird (Kapitel 3). Im nächsten Schritt wird die Methodik erläutert, die dieser Arbeit zugrunde liegt (Kapitel 4). Zuletzt werden die Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt und anschließend im Hinblick auf das Paläoklima diskutiert (Kapitel 5 + 6).

2 Stand der Wissenschaft

Im Rahmen von vielen bereits durchgeführten Studien an Seesedimenten der nördlichen, zentralen und östlichen Iberischen Halbinsel sowie marinen Sedimenten des Alborán-Meeres wurde die klimatische Entwicklung im Quartär untersucht.

Einen Überblick darüber gibt PÉREZ-OBIOL et al. (2011), der das Klima und die Vegetationsgeschichte im westlichen Mittelmeer und auf der Iberischen Halbinsel im Mittleren Holozän erforscht hat. Dazu wurden verschiedene Sedimentsequenzen aus Nordspanien, Zentralspanien und Ostspanien mittels Pollenanalysen untersucht (vgl. PÉREZ-OBIOL et al., 2011, Figure 1). Diese Untersuchungen ergaben, dass sich ab dem Beginn des Holozäns auf der südöstlichen Iberischen Halbinsel das Mittelmeerklima etabliert hatte. Die Einstellung des Mittelmeerklimas wurde durch einen Aridifikationsprozess reflektiert, wobei das Klima zuerst eine humide Phase (12 – 7 cal. ka BP) durchlief. In der Übergangsphase (7 – 5,5 cal. ka BP) begann sich das Klima zu verändern, was mit einer klimatisch bedingten Transformation der Vegetation (7 – 4 cal. ka BP) einherging. Die Aridifikationsphase (5,5 cal. ka BP – heute) schließt die Veränderung zum Mittelmeerklima ab. Nachdem sich das Mittelmeerklima in der südöstlichen Iberischen Halbinsel etabliert hatte, breitete es sich entlang eines Süd-Nord-Gradienten auch in der restlichen Iberischen Halbinsel aus (PÉREZ-OBIOL et al., 2011).

Eine Studie zur klimatischen Entwicklung in Zentralspanien liefern VEGAS et al. (2010). An einer Sedimentsequenz aus dem Fuentillejo-Maar (Campo de Calatrava Volcanic Field) wurden mithilfe geochemischer, palynologischer, mineralogischer und sedimentärer Analysen die paläoökologischen und paläoklimatischen Prozesse der letzten 50 cal. ka BP rekonstruiert, wobei vor allem aride Phasen betrachtet wurden. Dabei kommt die Studie zu dem Schluss, dass die ariden Phasen der letzten 50 cal. ka BP mit den Heinrich Events (HE) und den Dansgaard-Oeschger-Zyklen (D/O) korrelieren (VEGAS et al., 2010). Heinrich Events sind Phasen von südwärts gedrifteten Eisbergen im Nordatlantik während der Weichsel-Kaltzeit, durch welche charakteristische eisbeanspruchte Sedimentpartikel in den Ablagerungen zurückblieben. Als Dansgaard-Oeschger-Event werden kurzfristige starke Klimaschwankungen bezeichnet, die meist infolge der Heinrich-Events auftraten. Die Sedimente deuten darauf hin, dass während HE 5 (46,1 – 45 cal. ka BP), HE 4 (39,4 – 38,2 cal. ka BP) und HE 3 (31 – 29,3 cal. ka BP) verstärkt Winde auftraten, die zu äolischen Ablagerungen in Zentralspanien führten. Während HE 2 (24,8 – 23 cal. ka BP), HE 1 (17,5 – 16 cal. ka BP) und der Younger Dryas (YD; 12,5 – 11,5 cal. ka BP) etablierten sich kalte und aride Bedingungen in Zentralspanien. Weitere kurze aride Kälteevents traten im frühen Holozän von 9,2 – 8,6 cal. ka BP, 7,5 – 7 cal. ka BP und 5,5 – 5 cal. ka BP auf (VEGAS et al., 2010).

Im Süden der Iberischen Halbinsel wurden bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt. Eine Studie wurde von MARTÍN-PUERTAS et al. (2008) durchgeführt. Die Studie beschäftigt sich mit der Rekonstruktion der Humiditätsveränderungen in den letzten 4 cal. ka BP anhand von sedimentologischen, geochemischen und biologischen Proxys einer Sedimentsequenz aus dem Zoñar Lake. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass das Klima ständig zwischen ariden und humiden Phasen wechselte. Bis 2,9 cal. ka BP herrschten aride Bedingungen in Südspanien. Von 2,6 – 1,6 cal. ka BP war es bis auf eine 300-jährige aride Phase (2,1 – 1,8 cal. ka BP) humid. Danach folgte erneut eine aride Phase (1,3 – 0,6 cal. ka BP). Zuletzt markiert eine humide Periode von geringerer Intensität den Beginn der Kleinen Eiszeit vor 0,4 cal. ka BP (MARTÍN-PUERTAS et al., 2008).

Die für diese Arbeit wichtigste Studie für Südspanien stammt jedoch von REED et al. (2001), die sich mit den holozänen Seespiegelveränderungen der Laguna de Medina (Abbildung 2) befasst. Basierend auf paläolimnologischen Daten (u.a. Pollen, Diatomeen, Lithologie) aus einer Sedimentsequenz wurden diese Veränderungen für die letzten 9000 Jahre ermittelt.

Mithilfe der Seespiegelstände der Laguna de Medina lassen sich die klimatischen Veränderungen rekonstruieren. So kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass der See bis vor 7,985 cal. ka BP sehr niedrige Seespiegel aufwies, was sich damit erklären lässt, dass der See in einer Austrocknungsphase war, die mit dem 8,2 ka Event in Verbindung gebracht werden kann. Von ungefähr 8,7 – 8,31 cal. ka BP war er vollständig ausgetrocknet. Danach war der Seespiegel weiterhin sehr niedrig. Nach einer Austrocknungsphase von 7,18 – 6,69 cal. ka BP erreichte der See bis 5,53 cal. ka BP die maximalen Seespiegelstände. Den höchsten Seespiegel hatte er zwischen 6,96 – 6,68 cal. ka BP, was durch die verstärkte Humidität im frühen bis mittleren Holozän zu erklären ist. Innerhalb mehrerer Perioden (6,66 – 6,18 cal. ka BP; 6,54 cal. ka BP und 5,94 cal. ka BP) trocknete er dann wieder aus. Nachdem sich der See wieder gefüllt hatte, kam es zur graduellen Absenkung des Seespiegels. Im Zeitraum von 3,39 cal. ka BP bis heute durchlief der See mehrere Austrocknungsphasen, die durch anthropogenen Einfluss hervorgerufen wurden (Reed et al., 2001). Somit füllte die Studie eine Lücke in der Erforschung der holozänen Klimaentwicklung dieser Region.

Weitere Betrachtungen der klimatischen Entwicklung stammen aus dem Alborán-Meer südlich der Iberischen Halbinsel. FLETSCHER et al. (2008) und COMBOURIEU NEBOUT et al. (2009) untersuchten die Pollendaten von verschiedenen Sedimentbohrkernen. Während sich

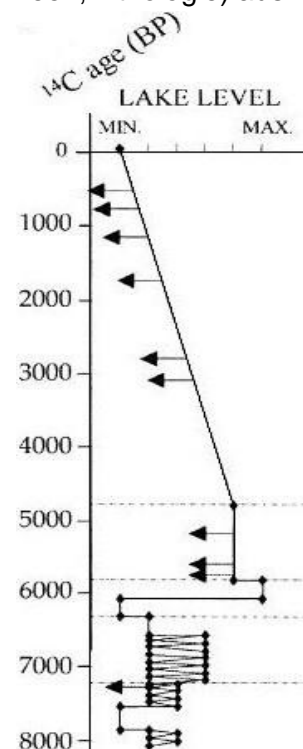


Abbildung 2: Relative Seespiegelveränderungen der Laguna de Medina im Holozän
(Quelle: REED et al., 2001, Figure 7, Bearbeitung: S. Blanke)

FLETSCHER et al. (2008) auf die Vegetation der letzten 48 cal. ka BP konzentrierte, untersuchte COMBOURIEU NEBOUT et al. (2009) anhand der Pollendaten das mediterrane Klima der letzten 25 cal. ka BP. Die Analyse der Pollendaten ergab, dass sich von MIS 3 bis MIS 2 langfristig Halbwüsten-Vegetation in den umgebenden Ländern des Alborán-Meeres ausbreitete. Dies reflektiert die klimatische Variabilität während der D/O-Events und den Heinrich Events. Während MIS 2 dominiert weiterhin die Halbwüsten-Vegetation, allerdings wird sie nun begleitet von einer Strauch-Vegetation. Dies deutet auf trockene und kalte Bedingungen während der MIS 2, HE 2 und 1, zwischen denen das Letzte Glaziale Maximum (LGM; 23,5 – 17,5 cal. ka BP) liegt (FLETSCHER, SÁNCHEZ GOÑI, 2008, COMBOURIEU NEBOUT et al. 2009). Während MIS 1 zur Zeit der Bölling-Allerød-Periode (14,7 – 12,5 cal. ka BP, Combourieu Nebout et al., 2009) begann die schnelle Aufforstung der angrenzenden Länder. Bölling und Allerød sind Interstadiale, die das Kälteevent der Older Dryas (14,12 – 13,8 cal. ka BP) umfassen (COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009). Insgesamt umfasst die Bölling-Allerød-Periode einen Trend zur Abkühlung. Im Anschluss daran folgte die Younger Dryas (12,5 – 11,75 cal. ka BP, COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009), in der sich aufgrund der kalten, trockenen Bedingungen die Halbwüsten-Vegetation ausbreitete (FLETSCHER, SÁNCHEZ GOÑI, 2008). Im Holozän kam es wiederholt zu Rückgängen der Waldbedeckung in den angrenzenden Ländern des Alborán-Meeres, die sich mit der zunehmenden Trockenheit erklären lässt (COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009).

Abschließend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass das Klima der Iberischen Halbinsel bereits häufig erforscht wurde. Jedoch lassen diese Studien eine geraume Lücke im Bereich von Süds Spanien offen, die bisher nur geringfügig untersucht wurde. Somit ist es unbedingt erforderlich, diese Region zu untersuchen, da das Klima der Iberischen Halbinsel sehr variabel ist und diese Region zusätzliche Informationen über die klimatischen Bedingungen der erdgeschichtlichen Vergangenheit liefern könnte.

3 Laguna de Medina, Südspanien

Im südlichsten Teil Spaniens befindet sich die autonome Gemeinschaft Andalusien, welche im Norden an Extremadura und Kastilien-La Mancha, im Osten an Murcia, im Süden an das Mittelmeer und den Atlantischen Ozean sowie im Westen an Portugal angrenzt. Andalusien

ist in acht Provinzen untergliedert (RUIZ, 2007), wobei sich in der südwestlich gelegenen Provinz Cádiz die Laguna de Medina befindet. Die Laguna de Medina ist mit einer Fläche von 1,2 km² der zweitgrößte, endorheische Salzsee in Andalusien (Reed et al., 2001). Im Nordwesten der Laguna de Medina liegt

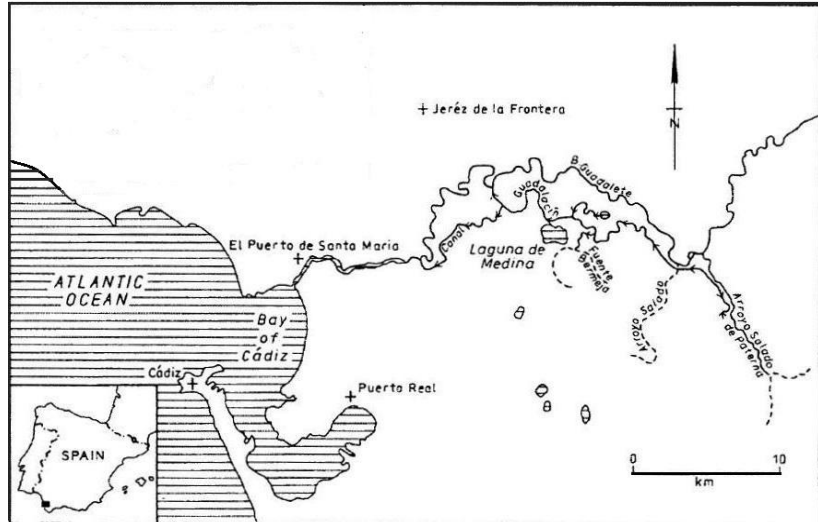


Abbildung 3: Lagekarte der Laguna de Medina, Cádiz (Quelle: REED et al., 2001, Figure 1; Bearbeitung: S. Blanke)

Jerez de la Frontera, im Nordosten Arcos de la Frontera, im Südosten Medina-Sidonia und im Südwesten Cádiz (Abbildung 3).

3.1 Lokation des Bohrkerns CO1313

Der Bohrkern CO1313 (N 36° 37' 04,380, W 06° 03' 12,720; Wassertiefe 1,70 m) mit einer Länge von 21,34 m wurde im Rahmen der ersten Bohrkampagne im September 2014 im zentralen Bereich der Laguna de Medina gezogen. Bei der zweiten Bohrkampagne im März 2015 wurde er bei einer Nachbohrung auf 25,66 m verlängert.

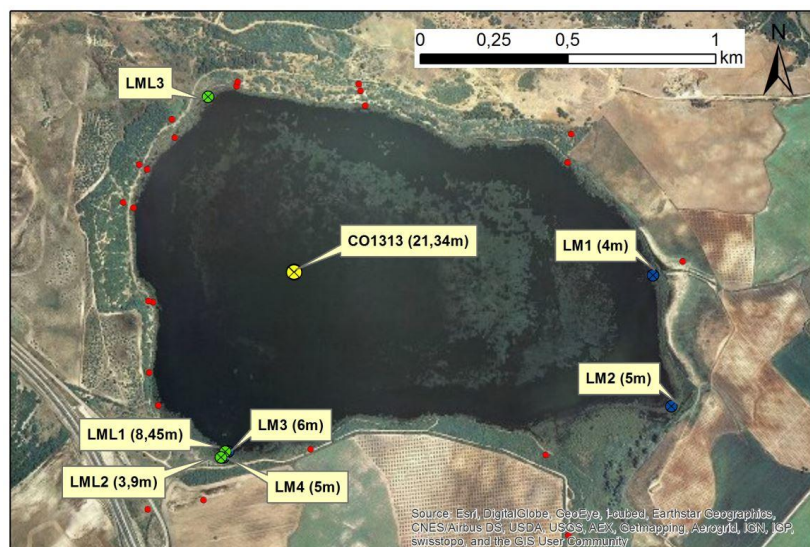


Abbildung 4: Lokation des Bohrkerns CO1313 im Zentrum der Laguna de Medina (Quelle: ESRI, Digital Globe)

3.2 Geographischer Überblick

Geographisch liegt die Laguna de Medina in der Subtropischen Zone, in welcher sie sich in einer Übergangsposition zwischen dem gemäßigten europäischen Klima und dem subtropischen afrikanischen Klima befindet (REED et al., 2001). Dort herrscht entsprechend der Klimaklassifikation nach KÖPPEN/GEIGER (1928) ein sommertrockenes, warmgemäßigtes Klima (SIEGMUND, FRANKENBERG, 2008), das auch als sommertrockenes Mittelmeerklima bezeichnet werden kann. In der Umgebung der Laguna de Medina definiert es sich durch warme, trockene Sommer von April bis September und milde, feuchte Winter von Oktober bis April. Charakteristisch für die Laguna de Medina sind die semi-ariden Verhältnisse mit

einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsrate von 525 mm/Jahr, wobei diese zwischen 250 – 975 mm/Jahr variiert (REED et al., 2001). Zudem herrschen jährliche Durchschnittstemperaturen von 17°C, wobei diese zwischen 11 – 24°C variieren. Die durchschnittlichen minimalen Temperaturen im Dezember und Januar liegen bei 6°C, während die Temperaturen im Juli und August maximal 33°C, oft aber auch bis zu 40°C, erreichen (REED et al., 2001). Abbildung 5 zeigt vergleichshalber das Klimadiagramm für Jerez de la Frontera, welches sich nördlich der Laguna de Medina befindet.

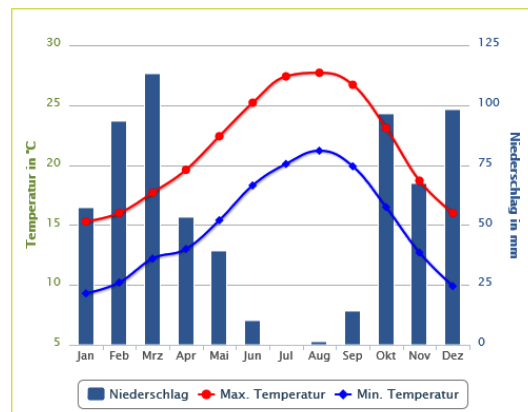


Abbildung 5: Klimadiagramm von Jerez de la Frontera im Norden der Laguna de Medina
Darstellung der minimalen/maximalen Temperaturen und der Niederschläge
(Quelle: wetter.net, Zugriff: 14. Mai 2015)

Die Trockenheit im Sommer wird vor allem durch heiße, trockene, aus Afrika kommende Südwinde begünstigt. Diese Winde treten nur bei bestimmten Wetterlagen auf und führen häufig Staub aus der Sahara mit sich. Man nennt sie deshalb auch synoptische Winde. Bei einem Sturm über Westafrika und Südspanien wehen solch heiße, trockene Winde aus östlicher und südöstlicher Richtung Staub aus der Sahara über Marokko und den Atlantik. Dieser Wind wird auch Leste genannt. Kreuzt der Wind allerdings das Mittelmeer, wird er als Leveche bezeichnet (AHRENS, HENSON, 2013).

Die strenge Saisonalität der Niederschläge und Temperaturen in der Laguna de Medina hat große Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit (ALVAREZ COBELAS et al., 2005). Abbildung 6 zeigt, dass in der fünfmonatigen Sommerperiode in der Laguna de Medina ein Wasserdefizit herrscht, was sich vor allem damit erklären lässt, dass die Evapotranspiration (ET)

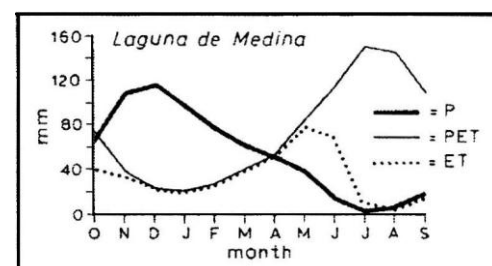


Abbildung 6: Jährliche Variabilität der Wasserbilanz der Laguna de Medina
(Quelle: REED et al., 2001, Figure 1; Bearbeitung: S. Blanke)

die Niederschläge (P) überwiegt, sodass mehr Wasser verdunstet, als durch Niederschläge eingetragen wird. Das Wasserdefizit in den Sommermonaten äußert sich vor allem in der episodischen Austrocknung des Sees, welcher im Wesentlichen durch Grundwasser gespeist wird. Im Südosten münden zudem die Bäche Arroyo de Fuente Bermaja und dem Arroyo de Martelilla in die Laguna de Medina (REED et al., 2001).

Für die Vegetation ist die Wasserverfügbarkeit ebenfalls von großer Bedeutung. Unter natürlichen Bedingungen wäre Spanien bis auf einige extrem trockene Regionen praktisch komplett bewaldet. Die Vegetation wird allerdings auch massiv durch menschliche Aktivitäten beeinflusst (LA MONCLOA, 2015). Im mediterranen Andalusien dominieren Buschländer, trockene Heideländer sowie ausgedünnte Waldgebiete als Anpassung an die Sommertrockenheit. Die mediterranen Wälder bestehen vor allem aus verschiedenen Laubbäumen, Hartlaubvegetation und montaner Vegetation. Zusätzlich wird dort Landwirtschaft betrieben, wobei diese vor allem durch Anbau, Viehzucht und Forstwirtschaft geprägt wird (MINISTRY OF THE PRESIDENCY, 2014).

3.3 Geologischer Überblick

Die Laguna de Medina befindet sich am westlichen Rand der Betischen Kordilleren (*Cordilleras Béticas*), einem Faltengebirge in Südspanien, welches sich vom Golf von Cádiz im Westen bis zum Cabo de la Nao in den Provinzen Valencia und Alicante im Osten erstreckt (BANTING, 1933). Die Betischen Kordilleren stellen den äußersten Bereich der europäischen Alpen dar (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984).

3.3.1 Geologische Entwicklung der Betischen Kordilleren

Die Betischen Kordilleren entstanden während der Alpidischen Orogenese bei der Kollision der Iberischen und der Afrikanischen Platte (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984). Die geologische Entwicklung der Betischen Kordilleren begann bereits im Devon als die Armorika-Gruppe, zu der auch Iberia gehörte, von Gondwana abgespalten wurde. Südspanien befand sich zu dieser Zeit im Rheia-Ozean. (BLAKEY, 2011b). Mit der Kollision von Gondwana und Laurussia begann im Karbon die



Abbildung 7: Beginn der Entstehung des Variszischen Gebirges im Karbon (Quelle: BLAKEY, 2011b; Bearbeitung: S. Blanke)

Variszische Orogenese (Abbildung 7), wobei der Rheia-Ozean vollständig geschlossen wurde. Dabei entstand der Westteil von Pangäa, an dessen östlichem Rand sich die Paläotethys öffnete (SCOTESE, 2010). Südspanien (Abbildung 7, gelber Punkt) hob sich bei der Kollision und Auffaltung des Variszischen Gebirges heraus. Teile des aufgefalteten Variszischen Gebirges sind bis heute im Grundgebirge der Iberischen Halbinsel zu finden. Entlang der Iapetus-Sutur, einer aus der Kaledonischen Orogenese hervorgegangenen Störungszone, entstand im späten Perm ein Grabenbruch, durch den Teile Mitteleuropas überflutet wurden. Bei der frühtriassischen Transgression wurde auch Südspanien überflutet (BLAKEY, 2011b). Während der Trias entwickelte sich schließlich die eigentliche Tethys (Blakey, 2011b; Scotese, 2010). Zu Beginn des Jura öffnete sich der Grabenbruch an der Iapetus-Sutur vollständig und Eurasien entstand. Südspanien war nun überwiegend kontinental geprägt, obwohl noch ein Teil im marinen Bereich lag (BLAKEY, 2011b). Durch die Kollision der Kimmeriden mit Eurasien schloss sich die Paläotethys. Mit der Öffnung einer Riftzone entlang der Rheia-Sutur, der aus der Variszischen Orogenese hervorgegangenen Störungszone, wurde im Unteren Jura der endgültige Zerfall von Pangäa eingeleitet. In den entstehenden Grabenbruch strömte die Tethys ein, was gegen Ende des Jura zur Öffnung des Nordatlantischen Ozeans führte. Während der Unteren Kreide begann zudem die Öffnung des Südatlantischen Ozeans (BLAKEY, 2011a). Beim weiteren Zerfall der Kontinente löste sich die Iberische Platte von der Eurasischen Platte (Abbildung 8) (MALDONADO et al., 1999). Aufgrund des niedrigen Meeresspiegels war Südspanien zu dieser Zeit kontinental geprägt. In der Oberen Kreide stieg der Meeresspiegel an und Südspanien lag erneut unter Wasser (BLAKEY, 2011b). Gleichzeitig begann die sukzessive Schließung der Tethys durch den Drift von Afrika, was den Beginn der Alpidischen Orogenese einleitete. Währenddessen hatte Spanien sich wieder an Eurasien angeschlossen. Im Eozän sank der Meeresspiegel dann wieder und weite Teile Spaniens waren kontinental. Die Schließung der Tethys war im Miozän abge-



Abbildung 8: Abspaltung der Iberischen von der Eurasischen Platte in der Kreide (Quelle: BLAKEY, 2011b; Bearbeitung: S. Blanke)



Abbildung 9: Abschluss der Entwicklung der Betischen Kordilleren im Miozän (Quelle: BLAKEY, 2011b; Bearbeitung: S. Blanke)

geschlossen (BLAKEY, 2011b). Bei der darauf folgenden Kollision der Afrikanischen und der Iberischen Platte im westlichen Mittelmeer kam es zur Auffaltung der Betischen Kordilleren im Randgebiet der heutigen Alpen. Diese Kollision äußert sich heute im Grenzgebiet zwischen der Inneren und der Äußeren Zone der Betischen Kordilleren. (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984).

3.3.2 Regionale Geologie des Subbetikums

Die Betischen Kordilleren werden in die Innere (*Zonas Internas*) und die Äußere Zone (*Zonas Externas*) untergliedert. Die Innere Zone der Betischen Kordilleren bildet den küstennahen Bereich beiderseits der Straße von Gibraltar und des Alborán-Meeres. Die Äußere Zone der Betischen Kordilleren befindet sich im Nordwesten der Inneren Zone (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984; PERRONE et al., 2006).

Die Laguna de Medina lässt sich geologisch dem Subbetikum (*Zona Subbética*) zuordnen, welches einen der Ablagerungsräume innerhalb der Äußeren Zone der Betischen Kordilleren darstellt (Abbildung 7). Das Subbetikum ist gekennzeichnet durch mesozoische Ablagerungen aus der Trias bis zur Kreide, die im marinen Bereich der Te-

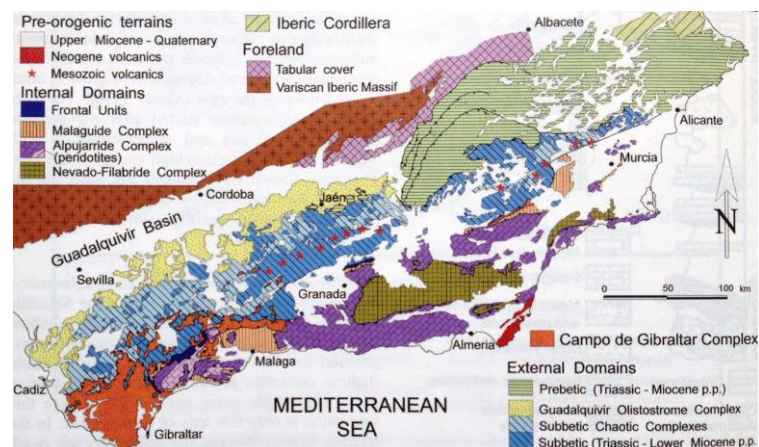


Abbildung 10: Schematische geologische Karte der Betischen Kordilleren
(Quelle: PERRONE et al., 2006)

thys entstanden. Diese enthalten pelagische Sedimente bestehend aus Mergeln, Knollenkalcken, Radiolarien und in einigen Bereichen auch turbiditischen Ablagerungen. Zusätzlich finden sich auch lokale Ablagerungen von submarinem Vulkanismus. Basierend auf den Charakteristika der Sedimentation während des Jura und Teilen der unteren Kreide kann das Subbetikum in drei Bereiche untergliedert werden. Das Äußere Subbetikum (*Subbética Externa*) enthält Teile von Schuttfächern, die sich mit dem Präbetikum, einem weiteren Ablagerungsraum der Äußeren Zone, korrelieren lassen. Das Mittlere Subbetikum (*Subbética Media*) wird dagegen durch tieferliegende Ablagerungen aus dem Oberen Lias (Jura) charakterisiert. Es enthält neben Radiolarien auch Hinweise auf submarinen Vulkanismus. Das Innere Subbetikum (*Subbética Interna*) weist die kalkige Fazies des Jura auf (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984).

3.3.3 Stratigraphie der Laguna de Medina

Die stratigraphische Abfolge des Einzugsgebietes der Laguna de Medina wird gekennzeichnet durch Gesteinseinheiten des Mesozoikums und des Känozoikums.

Ab der Trias, die den Beginn des Mesozoikums markiert, wurden bunt gemischte Tone (*arcillas abigarradas*), Sandsteine (*areniscas*), Dolomite (*dolomías*) und Gipse (*yesos*) abgelagert. Diese sind allochthone Ablagerungen, was anhand der Vermischung der lithologischen Elemente deutlich wird, die in gewisser Weise einer polygenetischen Brekzie ähneln kann. Zusätzlich gibt es auch Vorkommen von tatsächlichen polygenetischen Brekzien mit tonig-sandigem oder gipshaltigem Zement. An der Basis der triassischen Ablagerungen befindet sich eine tonige Serie aus der Unteren Trias mit Gips und dolomitischen Bänken, die nur seltene Linsen von Sandstein aufweisen. Die Gipse haben eine weiße bis rosenrote Färbung. Bei den Sandsteinen handelt es sich um feinkörnige, rötliche Sandsteine, wohingegen die Tone rot, violett oder gelb gefärbt sein können. Darüber liegen dolomitische Tone mit zwischengeschalteten karbonatischen Bänken, die u.a. Schillkalke (*lumaqueles*) enthalten. Sie lassen sich stratigraphisch dem Muschelkalk zuordnen. Im oberen Teil der Abfolge lagern gipshaltige Tone aus dem Keuper mit Horizonten von Dolomit und Sand, an deren Oberfläche sich Ophite finden (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984). Die triassischen Ablagerungen sind überwiegend im Einzugsgebiet zu finden (Abbildung 11). Neben den triassischen Ablagerungen gibt es im Einzugsgebiet der Laguna de Medina vor allem Ablagerungen aus der Kreide und dem Tertiär. Seit der Oberen Kreide bis ins Untere Eozän wurden gebankte Wechselfolgen von weißen, rötlichen und grünlichen Mergeln (*margas*), mergeligen Kalksteinen (*margo-calizas*) und den sogenannten „Capas Rojas“ abgelagert. Bei den „Capas Rojas“ handelt es sich um detritische Mikrite. Diese befinden sich überwiegend am Südufer der Laguna de Medina (Abbildung 11). Vom Mittleren Eozän bis Unteren Miozän wurden dunkelgrüne Tone (*arcillas verdes oscuras*), Mergel (*margas*), Kalksteine (*calizas*) und Kalksandsteine (*calcarenitas*) abgelagert. Direkt über die „Capas Rojas“ des Unteren Eozäns haben sich dunkelgrüne Tone mit Einschaltungen von turbiditischen Kalksandsteinen gelegt. In einigen Bereichen finden sich darin auch sekundäre Gipse oder eingeschaltete sandige Kalksteine. Darüber lagern fossilreiche Mergel und Kalksteine. Den basalen Teil dieser Ablagerungen bilden die Kalksteine, wobei es sich um Biomikrite handelt, die u.a. Nummuliten, Mollusken und Bryozoen enthalten. Sie lassen sich dem Oberen Eozän zuordnen. Während des Oligozäns setzte sich die Sedimentation fort, wobei mehr Mergel mit Einschaltungen von organogenen sowie weißen, sandigen Kalksteinen gebildet wurden. Diese Ablagerungen setzen sich bis ins Untere Miozän fort und befinden sich vor allem am nordöstlichen Ufer der Laguna de Medina (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984).

Im Quartär wurden die mesozoischen Ablagerungen von autochthonen Sedimenten überlagert. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um fluviale Ablagerungen von Flussterrassen aus dem Pleistozän sowie alluviale Sedimente aus dem Holozän. Die fluvialen Sedimente sind Ablagerungen des Río Guadalete, welcher auch als „wichtigste fluviale Arterie der Region“ (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984) bezeichnet wird. Sie bestehen überwiegend aus Sanden und Kiesen, welche sich als mehr oder weniger zementiertes Konglomerat in einer roten tonig-sandigen Matrix abgelagert haben. Solche fluvialen Sedimente finden sich nur in einem kleinen Bereich im Norden der Laguna de Medina (Abbildung 11). Die alluvialen Sedimente bestehen dagegen aus Kiesen, Sanden, Silten und Tonen. (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984).

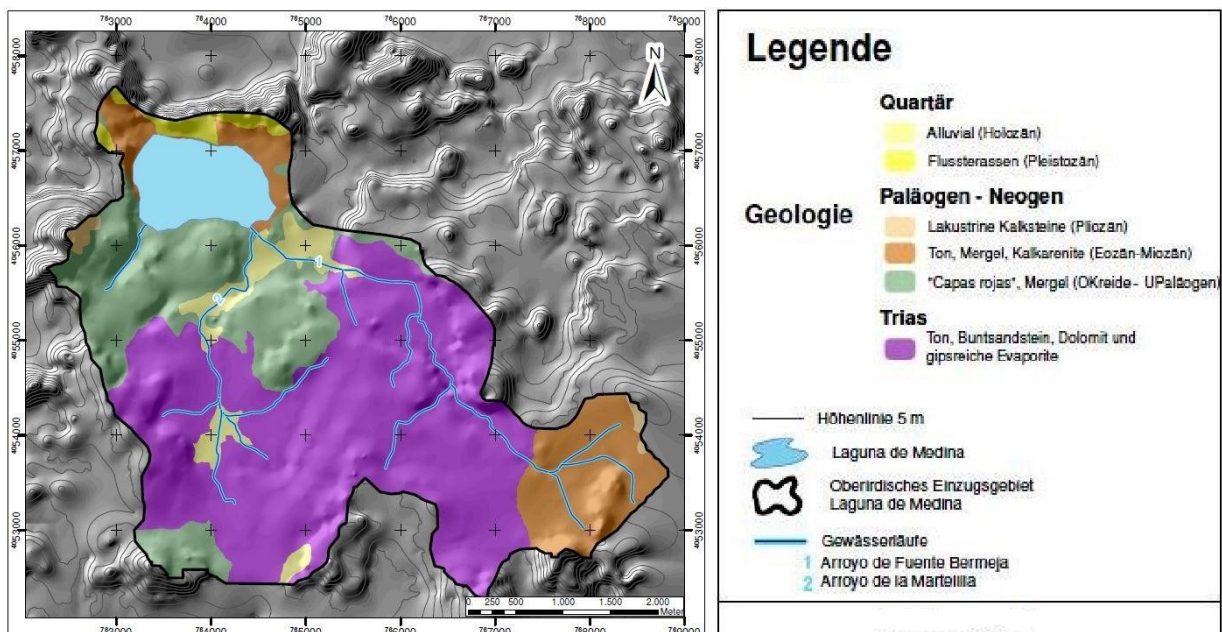


Abbildung 11: Geologie des Einzugsgebietes der Laguna de Medina
(Quelle: ESRI, Digitalglobe; Bearbeitung: S. Blanke)

4 Methode

Für Projekt C3 wurden bei zwei Bohrkampagnen im September 2014 sowie im März 2015 Bohrungen in der Laguna de Medina durchgeführt. Das Ziel der Bohrkampagnen bestand hauptsächlich darin, möglichst lange Sedimentsequenzen des Sees zu gewinnen. Diese sollten länger sein, als die bis dato erbohrten Sedimentbohrkerne aus der Laguna de Medina, die für die Rekonstruktion der holozänen Seespiegelveränderungen durch Jane M. Reed im Jahr 2001 untersucht wurden (COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015c).

Der Bohrkern CO1313 enthält eine 25,66 m lange Sedimentsequenz aus dem zentralen Bereich der Laguna de Medina. Erbohrt wurde er mit einem Kolbenlot, welches sich auf einer Bohrplattform in der Laguna de Medina befand.

Ein Kolbenlot ist eine lange, schwere Röhre, mit deren Hilfe es möglich ist, ungestörte Proben von schlammigen Sedimenten zu nehmen (WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION, 2015). Die drei Meter lange Bohrkammer des Kolbenlots wurde dazu mit einem Schlaggewicht in die passende Tiefe gebracht und dort ausgelöst, um die nächsten drei Meter des Sediments zu erbohren. Innerhalb der Röhre befand sich ein Plastikliner, in dem die erbohrten Sedimente durch einen Unterdruck festgehalten wurden (Abbildung 12).

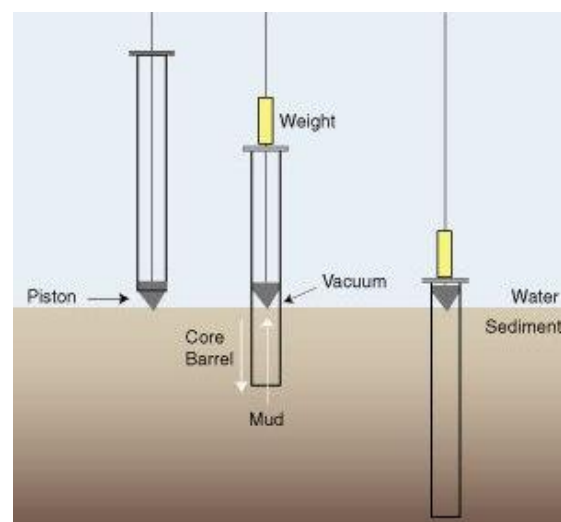


Abbildung 12: Funktionsweise eines Kolbenlots bei der Bohrung
(Quelle: USGS, 2013, Bearbeitung: S. Blanke)

Abschließend wurde der Kolben mit einem Kernfänger abgedichtet, um die Sedimentprobe darin einzuschließen (U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2013).

4.1 Probennahme

Nachdem der Bohrkern CO1313 geschlachtet worden war, wurden beginnend bei 0 cm alle 24 cm Proben entnommen. Insgesamt erhielt man auf diese Weise 107 Proben aus dem Bohrkern. Anschließend wurden sie gefriergetrocknet, um den Wassergehalt zu ermitteln. Das Verfahren ist besonders schonend für die Sedimente. Im weiteren Verlauf dienen die Proben zur Erforschung der Korngrößenverteilung, der Geochemie und anderen Analysen.

4.2 Probenaufbereitung

Unter der Probenaufbereitung versteht man die Abtrennung der nicht unmittelbar verwertbaren und für nachfolgende Bearbeitungen ungeeigneten Gemengteile aus einer Sedimentprobe. Das Vorgehen der Aufbereitung richtet sich nach dem angestrebten Ziel, der Art und der Beschaffenheit der Sedimente und vor allem nach den Eigenschaften der abzutrennenden Gemengteile (NEY, 1986). Für die Bestimmung der Korngrößenverteilung wurden die Sedimentpartikel dementsprechend möglichst vollständig von Gemengteilen abgetrennt, welche die Korngröße verändern konnten. Dafür wurden die Sedimentproben mit verschiedenen Chemikalien behandelt, welche jeweils einzelne Bestandteile aus den Proben herauslösten.

4.2.1 Lösung von Gips

Gips ist ein wesentlicher Bestandteil der Proben aus der Laguna de Medina. Für die Korngrößenanalyse wurde der Gips aus den Proben gelöst. Dafür wurden die Proben mit 5 – 10 ml gesättigter Natriumcarbonat-Lösung ($c = 210 \text{ g/l}$) behandelt und für 18 Stunden bei 60°C im Wasserbad belassen. Anschließend wurden diese zwei Mal gewaschen, um die Reste der Natriumcarbonat-Lösung zu entfernen.

4.2.2 Lösung von Karbonat

Neben Gips enthalten die Proben vor allem Karbonate. Diese wurden für die Korngrößenanalyse aus den Proben gelöst, indem die Proben vorsichtig mit 5 – 10 ml einer 10 %igen Salzsäure behandelt wurden. Danach blieben sie für zwei bis drei Stunden bei 50° im Wasserbad. Dieser Vorgang wurde drei Mal wiederholt. Anschließend wurden die Proben bis zur Neutralität (pH 5 – 6) gewaschen.

4.2.3 Entfernung der Organik

Die Entfernung der organischen Substanz aus den Proben war ein notwendiger Schritt zur Abtrennung der Sedimentpartikel von ungeeigneten Gemengteilen. Dafür wurden die Proben vorsichtig mit 5 – 10 ml einer 30 %igen Wasserstoffperoxid-Lösung behandelt und für 18 Stunden bei 50°C ins Wasserbad gegeben. Anschließend wurden die Proben bis zur Neutralität (pH 5 – 6) gewaschen.

4.2.4 Lösung des biogenen Opals

In den Proben vorhandene Diatomeen bestehen aus biogenem Opal. Dieser wurde im letzten Schritt der Aufbereitung aus den Proben entfernt, indem die Proben mit 5 – 10 ml Natriumhydroxid-Lösung ($c = 1 \text{ mol/l}$) behandelt und für 30 Minuten bei 90°C im Wasserbad belassen wurden. Währenddessen wurden sie zweimal geschüttelt, um die Reaktion des biogenen Opals mit der Natriumhydroxid-Lösung zu bewirken. Anschließend wurden die Proben bis zur Neutralität ($\text{pH } 7 - 8$) gewaschen.

4.2.5 Dispergieren der Probe

Beim Dispergieren der Proben wird eine Suspension hergestellt, die die Koagulation der Sedimentpartikel verhindern soll. Dafür wurden die Proben mit 4 Tropfen Graham'schen Salz ($c = 2,5 \text{ g/l}$) in entgastem Wasser versetzt. Anschließend wurden die Proben für mindestens 12 Stunden auf dem Horizontalschüttler gelagert, bevor sie für die Korngrößenanalyse verwendet wurden.

4.3 Korngrößenanalyse

Für die Korngrößenanalyse wurde der Laser-Partikelanalysator Saturn DigiSizer 5200 der Firma micromeritics verwendet. Dieser basiert auf dem Prinzip der Laserbeugung, nach dem alle Partikel einer Sedimentprobe das Licht eines monochromatischen Lichtstrahls abhängig von der Korngröße in verschiedenen Winkeln beugen. Partikel mit einem großen Korndurchmesser beugen den Laserstrahl in einem kleinen Winkel, während Partikel mit einem geringen Korndurchmesser den Laserstrahl in größeren Winkeln beugen. Die Daten der im Beugungsmuster beobachteten winkelabhängigen Lichtintensitäten dienen als Basis für die Berechnung der Korngröße der Partikel. Dafür wird die Theorie von Mie genutzt, die die elastische Streuung eines monochromatischen Lichtstrahls an kugelförmigen Partikeln beliebiger Größe beschreibt.

Für jede Messung wurde Graham'sches Salz ($c = 30 \text{ g/l}$) in den Analysebehälter gegeben. Dieses dient als Dispergierungsmittel für die nachfolgend einzugebende Probe. Die Menge der einzugebenden Probe ist abhängig davon, ob eine ausreichende Partikelkonzentration für die Analyse vorhanden ist. Im Anschluss erfolgte die Messung der Korngrößenverteilung. Das Programm gab die Volumenanteile der errechneten Partikeldurchmesser (z.B. $0,25 \mu\text{m}$) an. Diese wurden mithilfe der frei verfügbaren Software Gradistat, einem Excel-basierten Rechenprogramm für die Korngrößenanalyse, in die Gesamtvolumenanteile der einzelnen

Kornfraktionen (z.B. 40,5 % Ton) umgerechnet. Die Einteilung erfolgt nach international anerkannten Standards.

4.4 Korngrößeneinteilung

Die Größeneinteilung der Korngrößenverteilung basiert im Wesentlichen auf zwei logarithmischen Skalen (Tabelle 1). Im deutschen Sprachgebrauch ist die Einteilung und Benennung nach DIN 18 123 üblich, bei der eine logarithmische Skala zur Basis 10 genutzt wird. Die Unterteilung erfolgt nach Kies, Sand, Silt (Schluff) und Ton. International wird dagegen die Udden-Wentworth-Skala verwendet, bei der eine logarithmische Einteilung zur Basis 2 üblich ist. Dadurch ergeben sich andere Grenzen für die Kornfraktionen, deren grobe Einteilung auch nach Kies, Sand, Silt und Ton erfolgt (TUCKER, 1996). KRUMBEIN (1934) kennzeichnete diese Kornfraktionsgrenzen mithilfe der von ihm entwickelten Phi-Skala als ganze Zahlen. Die Einteilung basiert auf dem negativen Logarithmus der Skalenwerte der

Tabelle 1: Korngrößeneinteilung
Links: Udden-Wentworth-Skala
Rechts: DIN 18 123
(Quelle: TUCKER, 1996)

Phi	Steine		Steine	
-6	sehr grob	63 mm	Grob-	63 mm
-5	grob	32		
-4	mittel	16	Mittel-	20
-3	fein	8		6,3
-2	sehr fein	4	Fein-	
-1		2		2,0
0	sehr grob	1	Grob-	
1	grob	500 µm		0,63
2	mittel	250	Mittel-	0,20
3	fein	125	Fein-	
4	sehr fein	63		63 µm
5	sehr grob	32	Grob-	
6	grob	16		20
7	mittel	8	Mittel-	Silt (Schluff)
8	fein	4		6,3
9	sehr fein	2	Fein-	2,0
10				Ton

Udden-Wentworth-Skala. Es gilt $\phi = -\log_2 d$, wobei d der Korndurchmesser in mm ist (TUCKER, 1996). Für die Korngrößenanalyse der Sedimentproben aus der Laguna de Medina wurde dementsprechend die Udden-Wentworth-Skala verwendet.

5 Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse der Korngrößenanalyse der Sedimentproben aus der Laguna de Medina zeigen, dass die Sedimente überwiegend aus siltigem Ton zusammengesetzt sind, wobei eine kontinuierliche Zunahme von gröberen Bestandteilen (grober Silt – feiner Sand) bis zu einer Tiefe von 2088 cm zu beobachten ist. Das bedeutet, dass Sedimentproben an der Oberfläche des Bohrkerns CO1313 eher aus Ton mit fein- bis mittelkörnigem Silt (2 – 16 μm) bestehen, während die Sedimente aus den tieferen Bereichen tendenziell Ton mit grobem Silt sowie feinem Sand (16 – 250 μm) beinhalten. Abbildung 13 zeigt, dass es sich von 0 – 312 cm bei den größten enthaltenen Partikeln um geringe Mengen von grobem Silt (16 – 32 μm) handelt. Zwischen 336 – 552 cm gibt es Einschaltungen von sehr grobem Silt (32 – 63 μm), der allerdings nur in geringen Mengen auftritt. Probe 360 – 361 cm bildet dabei jedoch die Ausnahme, da sie den höchsten Tongehalt der gesamten Sedimentsequenz (>50 %) aufweist und selbst grober Silt nur in äußerst geringen Mengen (0,4 %) darin vorkommt. Der Median der Probe bestätigt dies. Bei 576 – 577 cm sowie 624 – 625 cm erhöht sich der Anteil des sehr groben Silts. Anschließend verschwindet der er vollständig aus den Sedimenten, ausgenommen bei den Proben 768 – 769 cm und 912 – 913 cm, wo er erneut in größeren Mengen auftritt. Ab 960 – 961 cm enthalten generell alle Proben einen geringen bis großen Anteil des sehr groben Silts. Zudem tritt bei 1008 – 1009 cm das erste Mal sehr feiner Sand (63 – 125 μm) in den Sedimenten auf. Dieser findet sich auch bei 1272 – 1273 cm mit einem höheren Anteil wieder. Den generell vorhandenen Anteil des sehr groben Silts behalten die Proben bis zu einer Tiefe von 1416 – 1417 cm bei, wo dieser dann vollständig verschwunden ist. Ab 1440 – 1441 cm steigt er jedoch, abgesehen von den Proben 1584 – 1585 cm und 1632 – 1633 cm, wieder an. Auch später folgen Rückgänge des sehr groben Silts bei den Proben 1896 – 1897 cm und 1920 – 1921 cm. Bemerkenswert hieran ist vor allem die darauf folgende Probe 1944 – 1945 cm. Sie enthält die größten Sedimente der gesamten Sedimentsequenz, da sie als einzige Probe feinen Sand (125 – 250 μm) aufweist. Bei den darauf folgenden Proben 1968 – 1969 cm und 1992 – 1993 cm verschwindet der sehr grobe Silt erneut aus den Sedimenten, um danach wieder 2088 – 2089 cm anzusteigen. Probe 2040 – 2041 cm weist dabei den geringsten Tongehalt (<20 %) der gesamten Sedimentsequenz auf und enthält stattdessen sehr feinen Sand. Der Median hat an dieser Stelle den höchsten Peak. Ab 2088 – 2089 cm geht der Anteil des sehr groben Silts dann komplett zurück. Die nachfolgenden Proben weisen nur noch geringe Mengen davon auf.

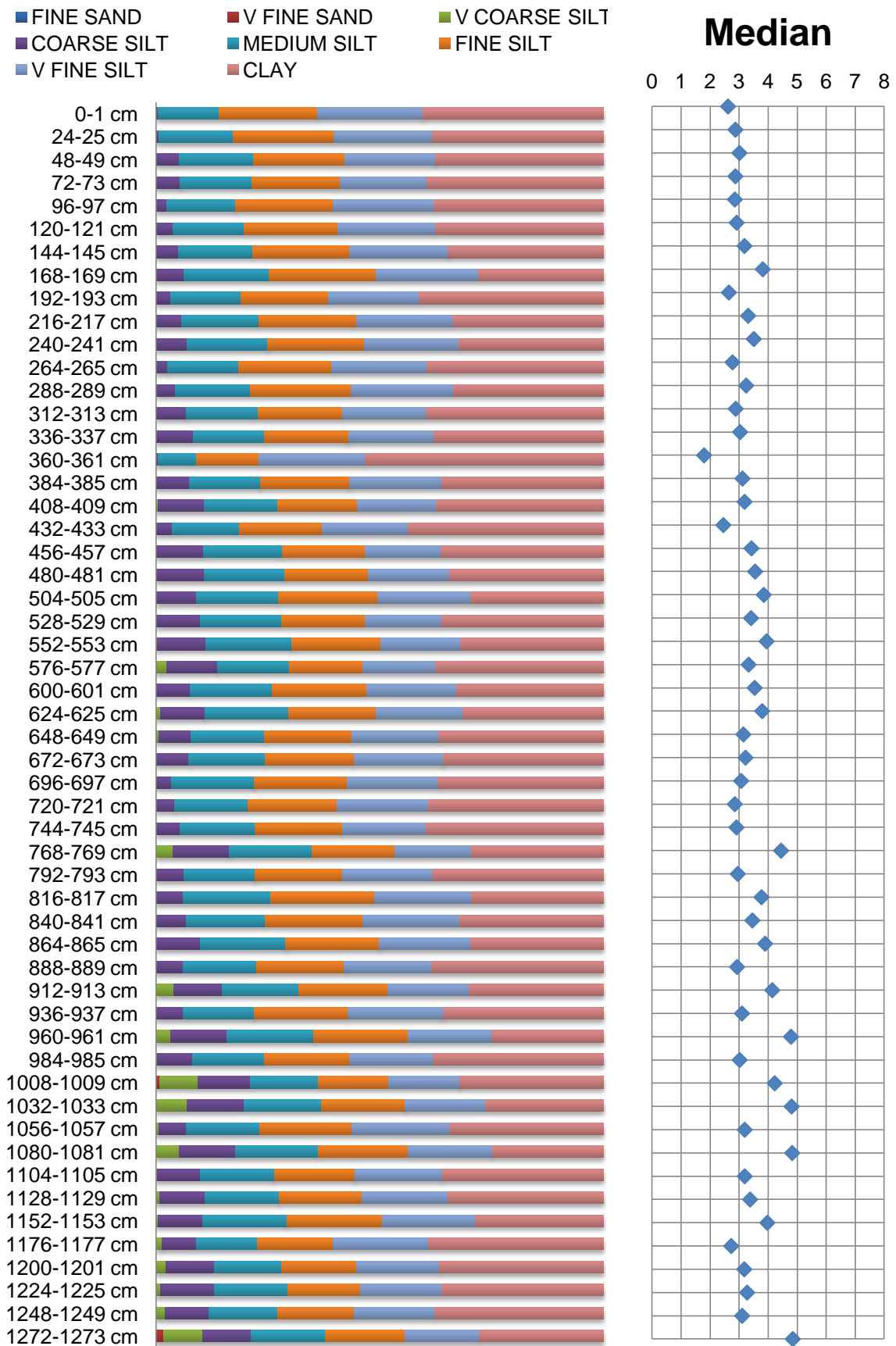


Abbildung 13: Korngrößenverteilung aller Sedimentproben der Laguna de Medina

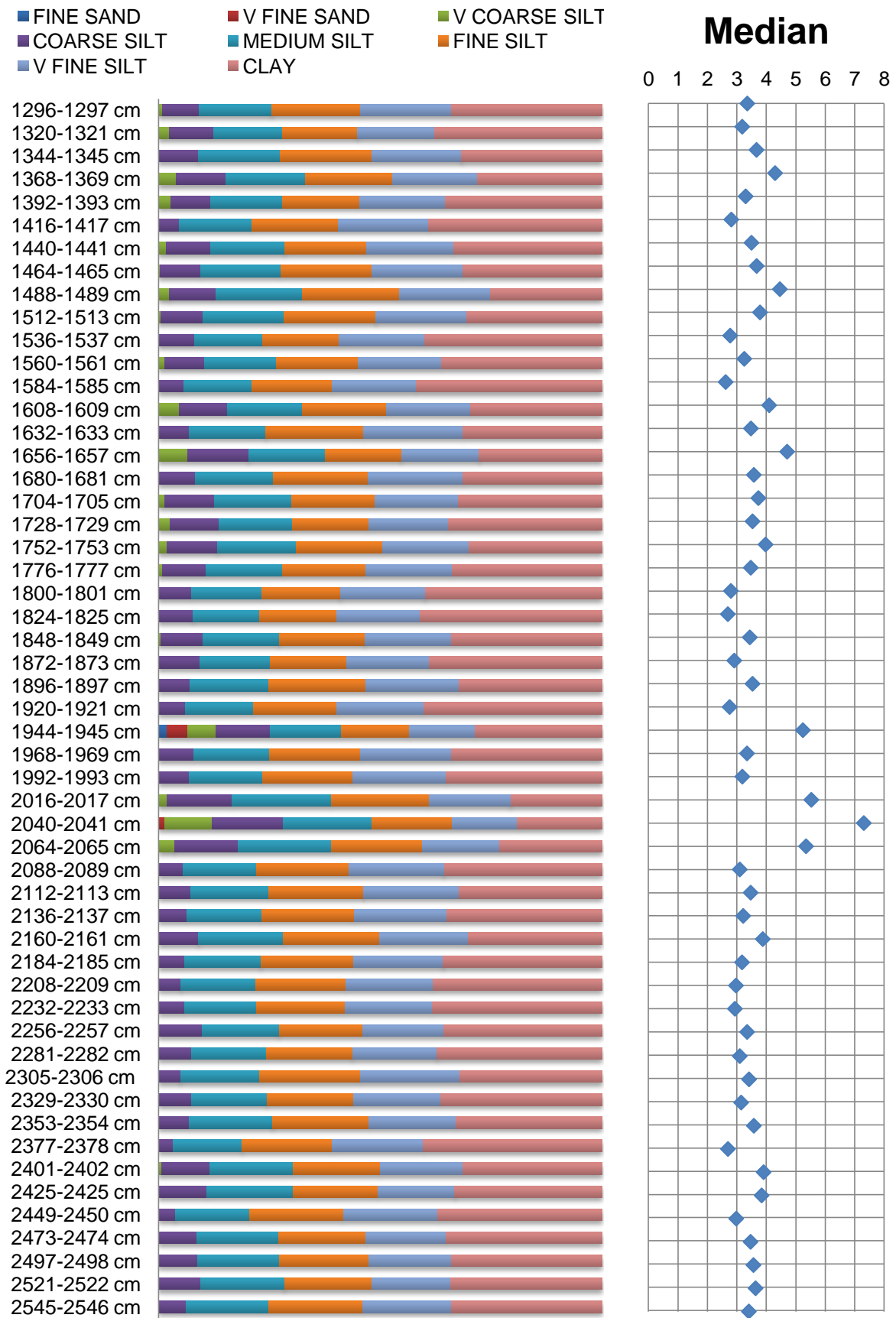


Abbildung 13: Korngrößenverteilung aller Sedimentproben der Laguna de Medina

6 Diskussion

Abbildung 14 zeigt in der Zusammenfassung der Korngrößenverteilungen der einzelnen Sedimentproben deutlich einen Peak bei den Proben mit dem höchsten (360 – 361 cm) und dem niedrigsten Tongehalt (2040 – 2041 cm) der gesamten Sedimentsequenz. Außerdem erkennt man minimale Peaks durch die Einschaltungen des sehr feinen Sandes bei 1008 – 1009 cm, bei 1272 – 1273 cm, bei 1944 – 1945 cm und bei 2040 – 2041 cm sowie einen Peak bei der Sedimentprobe mit dem feinen Sand (1944 – 1945 cm).

Unter der Annahme, dass die Sedimentsequenz aus dem durch REED et al. (2001) erbohrten Kern vom August 1993 und die Sedimentsequenz des im Rahmen von Projekt C3 erbohrten Kerns von 2014 trotz der unterschiedlichen Lage der Bohrungen eine identische Entwicklung durchlaufen haben, kann man davon ausgehen, dass die Ablagerungen identisch sind. Außerdem sollten in der Zeit zwischen den beiden Bohrungen kaum Sedimente abgelagert worden sein. Somit kann die Datierung des 10,33 m langen Bohrkerns von REED et al. (2001) auch für die im Rahmen dieser Arbeit erstellte Korngrößenverteilung des Bohrkerns CO1313 angenommen werden. Betrachtet man unter diesen Voraussetzungen die Korngrößenverteilung in den ersten 10,33 m von Bohrkern CO1313, so lässt sich mithilfe der Datierung ein relativer Trend für die letzten 9000 Jahre ermitteln.

Bei 1008 – 1009 cm trat das erste Mal sehr feiner Sand in den Sedimenten auf. Diese Probe lässt sich entsprechend REED et al. (2001) auf ein Alter von ca. 8,75 cal. ka BP datieren und somit dem frühen Holozän zuordnen. Da die Laguna de Medina durch Grundwasser gespeist wird und es auch keine nennenswerten Zuflüsse gibt, kann man davon ausgehen, dass die Sande nicht fluvial transportiert wurden. Stattdessen resultieren die Sande vermutlich aus äolischen Einträgen, welche durch Südostwinde aus der Sahara bis in den Südwesten Spaniens transportiert wurden. Sie deuten auf eine verstärkte Windaktivität im frühen Holozän hin, die sich mit kalten und ariden Bedingungen in Verbindung bringen lässt (VEGAS et al., 2010; COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009). Im weiteren Verlauf des Holozäns kann man einen Trend zur Abnahme der größeren Bestandteile beobachten. Das bedeutet, dass keine weiteren Einträge von Sand stattfanden und sich auch die Anteile des groben Silts deutlich reduzierten. Daraus lässt sich schließen, dass es offenbar keine weiteren Phasen von verstärkter Windaktivität im Verlauf des Holozäns gab und somit auch die Intensität der weiteren ariden Kälteevents abnahm (vgl. VEGAS et al., 2010; MARTÍN-PUERTAS et al., 2008). Bei 360 – 361 cm liegt die Probe mit dem höchsten Tongehalt vor. Sie ist die feinkörnigste Probe der gesamten Sedimentsequenz und lässt sich entsprechend REED et al. (2001) auf ca. 3,05 cal. ka BP datieren. Der hohe Tongehalt lässt sich nur damit erklären, dass sehr viel

feinkörniges Material aus der Umgebung in die Laguna de Medina eingetragen wurde. Er kann jedoch keinem Klimaereignis zugeordnet werden.

Unter der Annahme, dass die ersten 10,33 m von Bohrkern CO1313 entsprechend REED et al. (2001) ungefähr 9 cal. ka BP alt sind, kann man auch Rückschlüsse auf die Entwicklung in den unteren Bereichen des Bohrkerns ziehen. Bei 1272 – 1273 cm tritt nochmals sehr feiner Sand in den Proben auf. Der Sand resultiert vermutlich ebenfalls aus äolischen Einträgen, die während Phasen verstärkter Windaktivität abgelagert wurden. Dies deutet darauf hin, dass es sich hier um eine weitere kalte, aride Phase gehandelt haben muss, die im Vergleich mit der Datierung nach REED et al. (2001) ungefähr gegen Ende des Pleistozäns liegen sollte. Damit könnte der Sandeintrag auf die Younger Dryas (12,5 – 11,5 cal. ka BP) zurückzuführen sein (VEGAS et al., 2010; COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009). Die Probe mit den größten Sedimenten der gesamten Sedimentsequenz befindet sich bei 1944 – 1945 cm. Sie enthält neben sehr feinem Sand auch feinen Sand. Bei 2040 – 2041 cm liegt außerdem die Probe mit dem niedrigsten Tongehalt, die ebenfalls sehr feinen Sand aufweist. Auch bei diesen Proben muss man davon ausgehen, dass die Sande aus dem äolischen Eintrag durch Winde aus der Sahara stammen. Aufgrund dessen, dass in der Probe bei 1944 – 1945 cm die größten Sedimente vorliegen, muss der Wind deutlich stärker gewesen sein, als bei den bisher beschriebenen Proben. Man kann deshalb davon ausgehen, dass diese Sande aus einem sehr viel stärkeren Kälteevent resultierten, als die bisherigen. Entsprechend COMBOURIEU NEBOUT et al. (2009) könnte es sich bei diesem um das Letzte Glaziale Maximum (23,5 – 17,5 cal. ka BP) handeln. Da das LGM eine sehr lange Phase mit kalten und ariden Bedingungen darstellte, stammt vermutlich auch die Probe von 2040 – 2041 cm aus dieser Zeit. Da aber zwischen den beiden Proben keine Sande auftraten, muss man davon ausgehen, dass die Intensität des Windes zwischenzeitig abgenommen hat. Zwischen den Proben bei 1272 – 1273 cm und 1944 – 1945 cm treten ebenfalls keine Sande auf. In diesem Bereich kann dementsprechend also keine verstärkte Windaktivität aufgetreten sein. Dennoch muss man davon ausgehen, dass in dieser Zeit kalte und aride Bedingungen vorherrscht haben, da sie im späten Pleistozän dominierten (VEGAS et al., 2010; COMBOURIEU NEBOUT et al., 2009). Unterhalb der Probe 2040 – 2041 cm ist vor allem ein abnehmender Trend in der Korngrößenverteilung zu beobachten, was bedeutet, dass kaum noch gröbere Sedimente auftreten. Hieraus lässt sich schließen, dass es vor dem aus dieser Korngrößenverteilung angenommenen LGM ebenfalls keine verstärkte Windaktivität gab, die im Rahmen von Kälteevents hätte auftreten können.

Insgesamt kann man anhand der Korngrößenverteilung also festhalten, dass die Sande durch verstärkte Winde während arider Kälteevents resultierten, die durch Südostwinde aus der Sahara bis in den Südwesten Spaniens transportiert wurden. Weitere Rückschlüsse lassen sich nicht ziehen, da dafür die Datierung des Bohrkerns CO1313 benötigt wird.

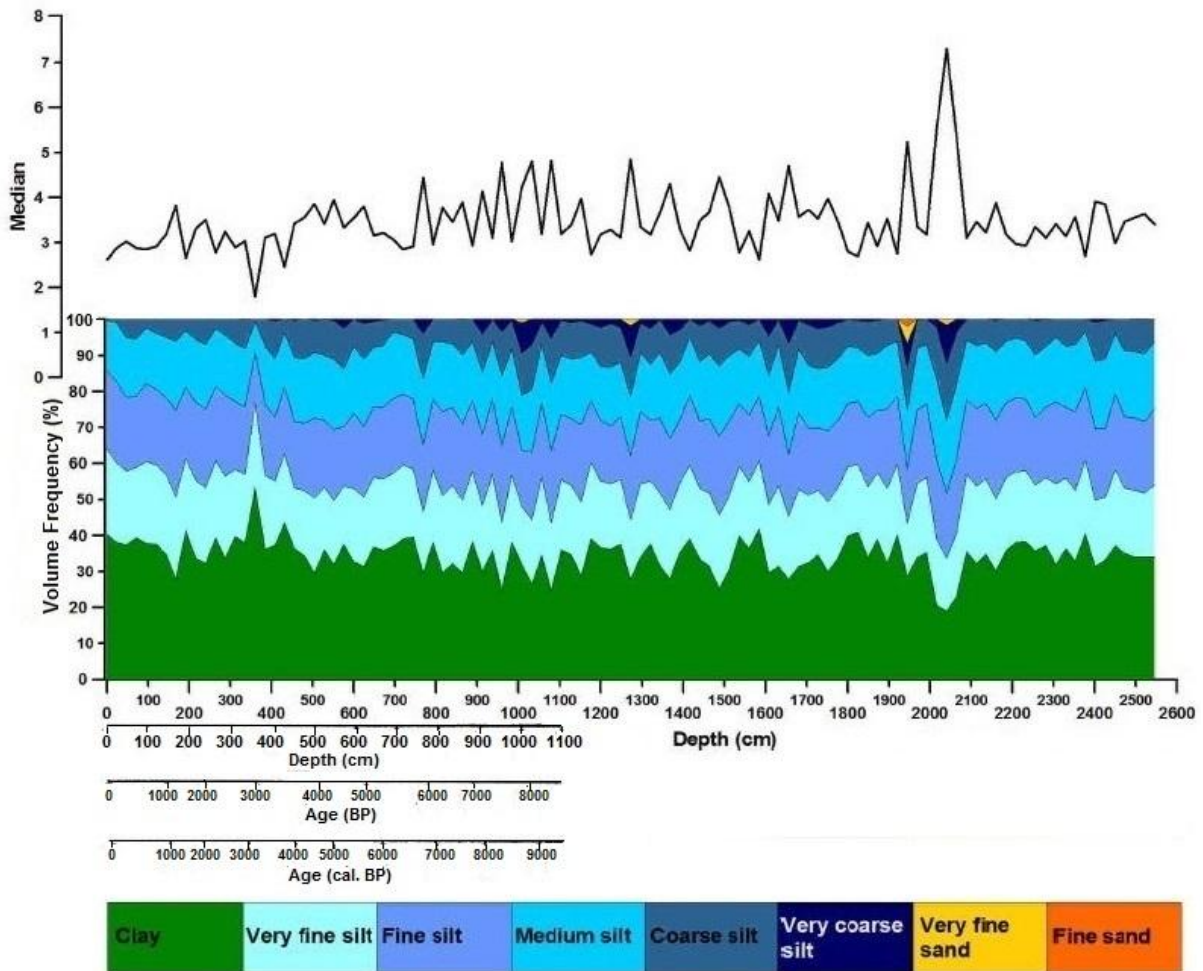


Abbildung 14: Zusammenfassung der Korngrößenverteilung in der Laguna de Medina

Die Abbildung zeigt die Korngrößenverteilung der gesamten Sedimentsequenz aus der Laguna de Medina. Diese wurde im unteren Bereich des Diagramms mit der Sedimentsequenz der von Jane M. Reed durchgeführten Bohrung aus dem Jahr 1993 korreliert, sodass man für die oberen 1033 cm des Bohrkerns eine Altersangabe machen kann. Diese basiert allerdings auf der Annahme, dass sich die Sedimentablagerungen nicht unterscheiden, obwohl sie an verschiedenen Stellen des Sees erbohrt wurden.

(Quelle: VAN'T HOFF, 2015; Bearbeitung: S. Blanke nach REED et al., 2001)

7 Fazit

Die Korngrößenverteilung des Bohrkerns CO1313 aus der Laguna de Medina liefert durch die Korrelation mit der Datierung des Bohrkerns von Jane M. Reed Informationen zu einigen Kälteevents, die im Laufe des Pleistozäns und des Holozäns auftraten. Allerdings muss dabei unbedingt berücksichtigt werden, dass diese Rekonstruktion ausschließlich darauf basiert, dass die Datierung eines anderen Bohrkerns auf diesen Bohrkern übertragen wurde. Sie kann niemals die Datierung dieses Bohrkerns ersetzen und somit sind alle angesprochenen klimatischen Ereignisse nur relativ, d.h. es handelt sich dabei um bloße Annahmen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt mein Dank Jasmijn van't Hoff, die meine Arbeit über die letzten Wochen betreut hat. Vor allem bei den Arbeiten im Labor hast du mich immer tatkräftig unterstützt, wenn ich allein aufgrund der Anzahl meiner Proben kurz vorm Verzweifeln war.

Darüber hinaus möchte ich Herrn Prof. Dr. Melles danken, ohne den diese Arbeit im Bereich der Quartärgeologie nicht möglich gewesen wäre.

Natürlich gebührt mein Dank auch den Mitarbeitern im Labor, vor allem jedoch Dorothea Klinghardt und Nicole Mantke, die mir immer wieder ihre Unterstützung anboten und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Außerdem möchte ich mich bei Gudrun Damm und Christian Klöckner bedanken, die sich die Zeit genommen haben, um meine Arbeit Korrektur zu lesen. Sie wiesen mich auf Fehler hin, die ich selbst nicht im Stande war zu finden und motivierten mich ständig, die bestmöglichen Ergebnisse aus mir herauszuholen.

Zuletzt möchte ich noch meinen Eltern danken, die mich in den letzten Jahren während des Studiums immer tatkräftig unterstützten.

Literaturverzeichnis

AHRENS, C. D., HENSON, R., 2013. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Boston, USA: Cengage Learning.

ALVAREZ COBELAS, M., ROJA, C., ANGELER, D.G., 2005. Mediterranean limnology: current status, gaps and the future. *Journal of Limnology* 64, pp. 13-29, doi: 10.4081/jlimnol.2005.13.

BANTING, A. H., 1933. Der Bau der Betischen Kordillere und ihre Stellung im Mediterranen Orogen. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, pp. 311-319, doi: 10.1007/BF01809730.

BLAKEY, R., 2011a. *Mollewide Plate Tectonic Maps*. [Online]
Available at: <http://cpgeosystems.com/mollglobe.html>
[Zugriff am 26 Juni 2015].

BLAKEY, R., 2011b. *Paleogeographic and Tectonic History of Europe*. [Online]
Available at: <http://cpgeosystems.com/europaleogeography.html>
[Zugriff am 26 Juni 2015].

COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015a. *Our Way To Europe - Introduction*. [Online]
Available at: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/about>
[Zugriff am 7 Juni 2015].

COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015b. *Project C3*. [Online]
Available at: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects/cluster-c/c3>
[Zugriff am 24 April 2015].

COLLABORATIVE RESEARCH CENTRE 806, 2015c. *Coring campaign in Laguna de Medina and Laguna Salada, Cádiz, Southern Spain*. [Online]
Available at: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/project-blog/174-c3/698-coring-campaign-in-laguna-de-medina-and-laguna-salada-cadiz-southern-spain>
[Zugriff am 24 April 2015].

COMBOURIEU NEBOUT, N., PEYRON, O., DORMOY, I., DESPRAT, S., BEAUDOUIN, C., KOTTHOFF, U., MARRET, F., 2009. Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past* 5, pp. 503-521, doi: 10.5194/cp-5-503-2009.

DIEKMANN, B., HERZSCHUH, U., 2007. *Seesedimente als Archive des Klima- und Umweltwandels*. [Online]
Available at: <http://epic.awi.de/20311/1/Die2007o.pdf>
[Zugriff am 27 Juni 2015].

FLETSCHER, W. J., SÁNCHEZ GOÑI, M. F., 2008. Orbital- and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research* 70, pp. 451-464, doi: 10.1016/j.yqres.2008.07.002.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1984. *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, Hoja 1062 - Paterna de Rivera*. [Online]
Available at: <http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp>
[Zugriff am 14 Mai 2015].

LA MONCLOA, 2015. *España hoy - País, Historia y Cultura - Geografía*. [Online]
Available at:
<http://www.lamoncloa.gob.es/espana/paishistoriaycultura/geografia/Paginas/index.aspx>
[Zugriff am 25 Juni 2015].

LYELL, C., 1865. *Principales of Geology; or, The modern changes of the earth and its inhabitants*. New York: D. Appleton & Co..

MALDONADO, A., SOMOZA, L., PALLARÉS, L., 1999. The Betic orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cádiz: geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology* 155, pp. 9-43.

MARTÍN-PUERTAS, C., VALERO-GARCÉS, B. L., PILAR MATA, M., GONZALÉZ-SAMPÉRIZ, P., BAO, R., MONERO, A., STEFANOVA, V., 2008. Arid and humid phases in southern Spain during the last 4000 years: the Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene* 18, pp. 907-921, doi: 10.1177/0959683608093533.

MINISTRY OF THE PRESIDENCY, 2014. *Spain Today 2014*. [Online]
Available at:
http://www.lamoncloa.gob.es/lang/en/espana/elestado/Documents/Spain_Today_2014.pdf
[Zugriff am 25 Juni 2015].

NEY, P., 1986. *Gesteinsaufbereitung im Labor*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

PÉREZ-OBÍOL, R., JALUT, G., JULIÀ, R., PÈLACHS, A., IRIARTE, J., OTTO, T., HERNÁNDEZ-BELOQUI, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21, pp. 75-93, doi: 10.1177/0959683610384161.

PERRONE, V., MARTÍN-ALGARRA, A., CRITELLI, S., DECANDIA, F. A., D'ERRICO, M., ESTEVEZ, A., IANNACE, A., LAZZAROTTO, A., MARTÍN-MARTÍN, M., MARTÍN-ROJAS, L., MAZZOLI, S., MESSINA, A., MONGELLI, G., VITALE, S., ZAGHLOUL, M. N., 2006. "Verrucano" and "Pseudoverrucano" in the Central-Western Mediterranean Alpine Chains: palaeogeographical evolution and geodynamic significance. In: G. C. A. Moratti, Hrsg. *Tectonics of the Western Mediterranean and North Africa*. London: Geological Society, pp. 1-45.

REED, J. M., STEVENSON, A.C., JUGGINS, S., 2001. A multi-proxy record of Holocene climatic change in southwestern Spain: the Laguna de Medina, Cádiz. *The Holocene* 11, pp. 707-719, doi: 10.1191/09596830195735.

RUIZ, A., 2007. *Vibrant Andalusia: The Spice of Life in Southern Spain*. New York: Algora Publishing.

SCOTESE, C. R., 2010. *Paleomap Project*. [Online]
Available at: <http://www.scotese.com/earth.htm>
[Zugriff am 22 Juni 2015].

SIEGMUND, A., FRANKENBERG, P., 2008. *Klimate der Erde nach Köppen/Geiger*. [Online] Available at: <http://www.diercke.de/content/klimate-der-erde-nach-köppengeiger-978-3-14-100700-8-229-3-0> [Zugriff am 15 Juni 2015].

TUCKER, M., 1996. *Methoden der Sedimentologie*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2013. *Piston Core*. [Online] Available at: <http://gec.cr.usgs.gov/archive/lacs/piston.htm> [Zugriff am 17 Juni 2015].

VEGAS, J., RUIZ-ZAPATA, B., ORTIZ, J. E., GALÁN, L., TORRES, T., GARCÍA-CORTÉS, Á., GIL-GARCÍA, M. J., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., GALLARDO-MILLÁN, J. L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 cal. ka BP from the Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *Journal of Quaternary Science* 25, pp. 1051-1062, doi: 10.1002/jqs.1262.

WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION, 2015. *Ocean Instruments - Piston Corer*. [Online] Available at: <http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=8087> [Zugriff am 4 Juni 2015].