

# Geochemische Untersuchung rezenter lakustriner Sedimente der Laguna de Medina, Südspanien

---

Geochemical investigation of recent lacustrine sediments of the  
Laguna de Medina, southern Spain

## **Bachelorarbeit**

vorgelegt

von

**Christian Steffens**

geboren am 23.06.1993

in Aachen

Matrikelnummer: 318428

Email: christian.steffens1@rwth-aachen.de

Eingereicht am Institut für Neotektonik und Georisiken, RWTH Aachen

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B. Sc.)  
im Studienfach Angewandte Geowissenschaften an der RWTH Aachen

Erstgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Klaus Reicherter

Zweitgutachterin: Dr. rer. nat. Margret Mathes-Schmidt

Betreuerin: Tabea Schröder, M.Sc.

Abgabe: 30.11.2015 in Aachen

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Christian Steffens, geboren am 23.06.1993 in Aachen, an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Fassung noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Abstract

The Laguna de Medina is a semi-permanent salt lake in southern Spain. As part of a drilling campaign in March 2015, 47 samples of recent lacustrine sediments were taken of the lake by using a gravity corer. In addition the lake depth was measured at each sampled point.

The taken samples were analyzed for their content of carbon, nitrogen and sulfur (CNS).

Also the sediment was tested for it's amount of total organic and inorganic carbon.

It turns out that the recent lake sediment, specially on the northern shore, contains comparatively small amounts of carbon with 1.82 to 3.39 wt.-%. Samples from the southern shore in contrast, show carbon contains with more than 10.5 wt.-%.

With the help of the measured lake depths, a three dimensional model of the Laguna de Medina is created.

## Kurzfassung

Bei der Laguna de Medina handelt es sich um einen semipermanenten Salzsee im Süden Spaniens. Im Zuge einer Bohrkampagne im März 2015 wurden den rezenten lakustrinen Sedimenten des Sees, mit Hilfe eines Schwerelots, 47 Proben entnommen. Zusätzlich wurde an jeder beprobten Stelle in der Laguna de Medina die Seetiefe gemessen.

Die genommenen Proben wurden auf ihre Anteile an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel (CNS) untersucht. Außerdem wurde das Sediment auf seine Menge an organischen und anorganischen Kohlenstoff getestet.

Dabei kommt heraus, dass das rezente Seesediment speziell am nördlichen Ufer mit 1,82 bis 3,39 Gew.-% vergleichsweise geringe Mengen an Kohlenstoff aufweist. Proben vom südlichen Ufer hingegen weisen Kohlenstoffanteile von mehr als 10,5 Gew.-% auf.

Mit Zuhilfenahme der gemessenen Seetiefen wird ein dreidimensionales Modell der Laguna de Medina erstellt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
SFB 806 – Our way to Europe .....	1
Bohrkampagne .....	4
Laguna de Medina .....	5
Seebodenproben .....	6
<b>Geographie</b> .....	<b>7</b>
Geographischer Überblick der iberischen Halbinsel .....	7
Arbeitsgebiet .....	8
Rezentes Klima im Arbeitsgebiet.....	10
<b>Geologie</b> .....	<b>12</b>
Geologie der iberischen Halbinsel.....	12
Geologie Andalusiens .....	15
Sierra Morena.....	15
Betische Kordillere.....	15
Guadalquivir-Becken .....	16
Geologie der Laguna de Medina .....	17
<b>Methodik</b> .....	<b>19</b>
Methodik im Feld .....	19
Probenahme .....	19
Bathymetrie.....	22
Methodik im Labor .....	24
Probenaufbereitung .....	24
CNS – Analyse .....	25
TIC/TOC – Analyse .....	26
<b>Ergebnisse</b> .....	<b>28</b>
CNS – Analyse .....	28
TIC/TOC – Analyse .....	31
Bathymetrie.....	33
<b>Interpretation</b> .....	<b>36</b>
<b>Fazit</b> .....	<b>37</b>

<b>Quellen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>IX</b>
<b>Datenträger mit E-Version der Arbeit.....</b>	<b>XVI</b>

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Forschungsregionen des SFB 806 .....	2
<b>Abbildung 2:</b> Organisationskonzept des SFB 806.....	3
<b>Abbildung 3:</b> Bohrplattform.....	5
<b>Abbildung 4:</b> Iberische Halbinsel.....	7
<b>Abbildung 5:</b> Geographische Lage der Laguna de Medina .....	9
<b>Abbildung 6:</b> Klimadiagramm von Jerez de la Fronter .....	10
<b>Abbildung 7:</b> Schematische Darstellung Spanien.....	12
<b>Abbildung 8:</b> Geologische Karte Spaniens .....	13
<b>Abbildung 9:</b> Geologische Karte des Einzugsgebietes .....	17
<b>Abbildung 10:</b> Konglomerat am nördlichen Ufer der Laguna de Medina.....	18
<b>Abbildung 11:</b> Schwerelot.....	19
<b>Abbildung 12:</b> Detailansicht des Schwerelots.....	20
<b>Abbildung 13:</b> Im Seesediment steckender Liner .....	21
<b>Abbildung 14:</b> Entnahme eines beprobten Liners .....	22
<b>Abbildung 15:</b> Das bei den Untersuchungen in der Laguna de Medina verwendete Hand-Echolot ....	22
<b>Abbildung 16:</b> Schematische Darstellung der Laguna de Medina .....	23
<b>Abbildung 17:</b> Aufteilung des im Arbeitsgebiet abgefüllten Sediment .....	24
<b>Abbildung 18:</b> Analysegerät "Vario MICRO Cube .....	25
<b>Abbildung 19:</b> Das für die TOC-Messungen verwendete Analysegerät DIMATOC 200.....	27
<b>Abbildung 20:</b> Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Kohlenstoffs (C) .....	28
<b>Abbildung 21:</b> Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Stickstoffs (N) .....	29
<b>Abbildung 22:</b> Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Schwefels (S).....	30

<b>Abbildung 23:</b> Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen gesamten anorganischen Kohlenstoffs (TIC).....	31
<b>Abbildung 24:</b> Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) .....	32
<b>Abbildung 25:</b> Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Südwesten betrachtet.....	33
<b>Abbildung 26:</b> Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Südosten betrachtet. ....	34
<b>Abbildung 27:</b> Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Nordwesten betrachtet.....	34
<b>Abbildung 28:</b> Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Nordosten betrachtet. ....	35

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Koordinaten aller in der Laguna de Medina genommenen Seebodenproben, samt der Wassertiefe an jener Stelle. An den in rot markierten Koordinaten war eine Probenahme nicht möglich.....	VIII
<b>Tabelle 2:</b> Ergebnisse der CNS-Analyse.....	X
<b>Tabelle 3:</b> Ergebnisse der Messung an gesamten anorganischen Kohlenstoff (TIC).....	XII
<b>Tabelle 4:</b> Ergebnisse der Messung an gesamten organischen Kohlenstoff (TOC).....	XIII
<b>Tabelle 5:</b> Darstellung der TOC/TN - und TOC/TS – Verhältnisse.....	XIV



# Einleitung

SFB 806 – Our way to Europe

Das Forschungsprojekt „Our way to Europe“ (engl. „Unser Weg nach Europa“) ist zentrales Thema des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Sonderforschungsbereich 806 (SFB).

In diesem Sonderforschungsbereich wird mit Hilfe von geo- und kulturwissenschaftlichen Methoden die inter- und transkontinentale Ausbreitung des modernen Menschen im jüngeren Quartär untersucht. Die untersuchte Zeitspanne umfasst dabei die letzten 190 000 Jahre – von der ersten Ausbreitung des modernen Menschen bis zur Sesshaftwerdung in Zentraleuropa. Dies beinhaltet die vorletzte Eiszeit, den letzten Interglazial-Glazial-Zyklus, sowie das Holozän.

Ein besonderes Hauptaugenmerk liegt dabei in der Erforschung der Mobilität und Bevölkerungsdynamik in frühen menschlichen Gesellschaften, den regionalen Klimaverhältnissen, den Umweltfaktoren und dem gesellschaftlichen sowie kulturellen Kontext der Migrationsereignisse.

Insgesamt konzentrieren sich 7 Arbeitsgruppen auf zwei mögliche Ausbreitungsrouten des modernen Menschen vom Ursprungsgebiet in Ostafrika nach Zentraleuropa:

Zum einen in Richtung Westen über die zentrale Sahara, die Straße von Gibraltar und die iberische Halbinsel und zum anderen nach Osten über den Vorderen Orient und den Balkan nach Zentraleuropa.

Bei der Untersuchung dieser Fragestellung wird der Fokus auf die drei folgenden Themen gelegt:

## Thema 1:

Die klimatischen, kulturellen und umweltgeschichtlichen Bedingungen während der primären Expansion des modernen Menschen vor 190.000 Jahren aus dem östlichen Afrika bis zu seiner Ankunft in Europa vor 40.000 Jahren.

Thema 2: Sekundäre Expansionen und Rückzüge unserer Spezies, bedingt durch klimatische, umweltgeschichtliche oder kulturelle Änderungen, z.B. die Wiederbesiedlung des Nahen Ostens während des mittleren Weichselglazials oder von ausgedehnten Teilen Europas nach dem Ende des letzten Kältemaximums, die letztendlich die Verbreitung und Durchsetzung der neolithischen Wirtschaftsweise in ganz Europa zur Folge hatte.

Thema 3: Bevölkerungsaustausch, Mobilität und Migration in miteinander verknüpften kulturellen und ökologischen Systemen, hervorgerufen durch den wachsenden Einfluss menschlichen Handelns auf die Umwelt, besonders die Ausbreitung, der Rückzug und die interne Mobilität innerhalb sesshafter prähistorischer Gesellschaften.<sup>1</sup>

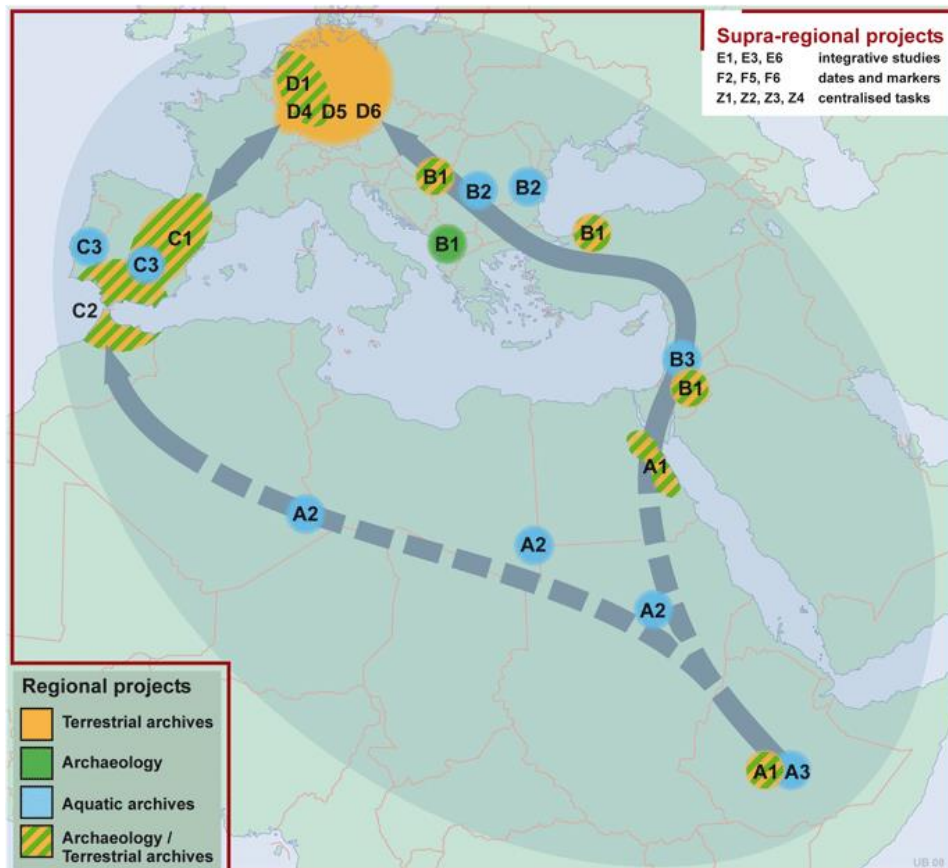


Abbildung 1: Forschungsregionen des SFB 806 entlang der beiden möglichen Ausbreitungsrouten des modernen Menschen in Richtung Zentraleuropa  
 [Quelle: SFB 806 – Webseite;  
 URL: [www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/about](http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/about) (Aufruf: 22.09.2015)]

Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, sind die Arbeitsgruppen des SFB entsprechend den zu untersuchenden Regionen aufgeteilt.

So beschäftigt sich das „Cluster A“ in Äthiopien, Ägypten und dem Sudan mit dem afrikanischen Raum. Der östliche Mittelmeerraum sowie die Balkan-Halbinsel wird von dem „Cluster B“ hauptsächlich in Jordanien, der Türkei, Mazedonien und Rumänien untersucht.

Durch das „Cluster C“ wird in Marokko und auf der iberischen Halbinsel die Straße von Gibraltar auf eine mögliche Route des modernen Menschen nach Zentraleuropa hin untersucht.

Zentraleuropa selbst wird durch das „Cluster D“ erforscht.

<sup>1</sup> Vgl. Collaborative Research Centre 806, Our Way to Europe – Introduction  
 URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/about> (Aufruf: 22.09.2015)

Des Weiteren sind die „Cluster E und F“ ebenfalls Teil des SFB 806 – sie beschäftigen sich vornehmlich mit Modellierungs- und Datierungsaufgaben.

„Cluster Z“ widmet sich organisatorischen Aufgaben. Es beinhaltet unter anderem die „Integrated Research Training Group“ (IRTG) und ist für die Verwaltung der gesammelten Daten verantwortlich.<sup>2</sup>

Die nachstehende Abbildung 2 zeigt das Organisationskonzept des Sonderforschungsbereichs 806. In blauer Farbe sind die regional arbeitenden Arbeitsgruppen A-D markiert (siehe auch Abbildung 1). Die Cluster E und F sind in gelb und rot dargestellt.

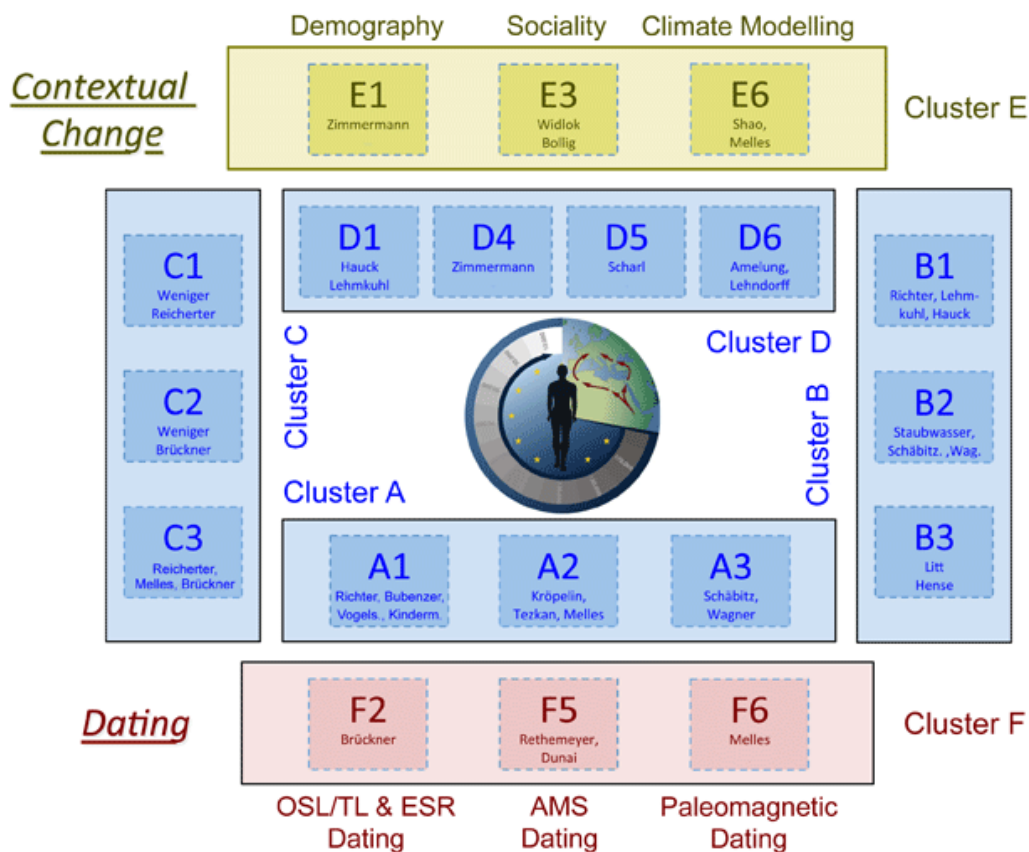


Abbildung 2: Organisationskonzept des SFB 806. „Cluster Z“ wird in der Abbildung nicht dargestellt.

[Quelle: SFB 806 – Webseite;

URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects> (Aufruf: 29.10.2015)]

Der Sonderforschungsbereich 806 versucht somit sowohl die Umweltfaktoren zu erforschen, die diese Entwicklung vorantreiben als auch die daraus resultierenden Auswirkungen auf das kulturelle System.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Vgl.: Collaborative Research Centre 806, Overview – Projects

URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects> (Aufruf: 22.09.2015)

## Bohrkampagne

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes C3 verfasst. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, liegt das Arbeitsgebiet des von Prof. Reicherter, Prof. Melles und Prof. Brückner geleitete Projekt auf der iberischen Halbinsel und befasst sich dementsprechend mit der möglichen westlichen Route des anatomisch modernen Menschen über die heute rund 14 km breite Straße von Gibraltar nach Zentraleuropa.

Während des späten Pleistozäns betrug jene Strecke zwischen der nordafrikanischen Küstenlinie und dem spanischen Festland aufgrund des niedrigen Meeresspiegels dieser Zeit rund 5 km.

Die verschiedenen Klimazonen zwischen Nordafrika und den nördlichen Ausläufern der Pyrenäen bieten eine ideale Grundlage Kulturveränderungen im Zusammenhang mit klimatischen Ereignissen zu untersuchen. Insbesondere aride Klimazonen reagieren besonders empfindlich auf Umweltveränderungen.

Die Iberische Halbinsel ist dabei eine der interessantesten Regionen um der Frage nach der Verdrängung der Neandertaler durch den modernen Menschen vor etwa 45.000 bis 25.000 Jahren nachzugehen. In diesem Zusammenhang werden eine Vielzahl von Modellen bezüglich der Bevölkerungsentwicklung und Siedlungsstrukturen diskutiert. Jedoch gibt es deutliche Anzeichen, dass klimatische Veränderungen einen wichtigen Einfluss auf diesen Prozess hatten.<sup>3</sup>

Vor diesem Hintergrund ist die Aufgabe des C3-Projektes aquatische Klimaarchive in Form von lakustrinen Sedimenten auf der iberischen Halbinsel zu untersuchen, mit deren Hilfe es möglich ist das Klima der damaligen Zeit zu rekonstruieren.

Dabei sollen in verschiedenen Seen Sedimentkerne erbohrt werden, um ein möglichst komplettes, detailliertes Sedimentarchiv zu erhalten, da bislang nur ungenaue und oberflächliche Informationen über die Klimageschichte der iberischen Halbinsel vorliegen.

---

<sup>3</sup> Vgl. Overview Cluster C: The Western Mediterranean – Bridge or Barrier?

URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects/cluster-c> (Aufruf: 22.09.2015)

## Laguna de Medina

Auf der Suche nach geeigneten Gewässern stieß man auf die „Laguna de Medina“, einem See unweit der andalusischen Stadt Jerez de la Frontera. Dieser See wurde bereits im Jahre 2001 durch die englische Geographin Jane M. Reed untersucht. Sie erbohrte Sediment bis hin in eine Tiefe von rund 10 Metern, welches ein Alter von circa 8.700 Jahren aufwies (Reed et al. 2001).

Die Laguna de Medina bietet sich besonders für paläolimnologische Untersuchungen an, da sie in den letzten Jahrtausenden bis auf wenige Ausnahmen kontinuierlich mit Wasser bedeckt war. Somit kann eine regelmäßige Erosion wichtiger Daten durch Austrocknung des Sees ausgeschlossen werden.

Eine erste Bohrkampagne in der Laguna de Medina im Rahmen des C3-Projektes fand vom 5. bis zum 22. September 2014 statt. Das Bohrungsteam, bestehend aus Doktoranden und Studenten der Universität zu Köln und der RWTH Aachen, erbohrte unter der Leitung von Tabea Schröder (RWTH Aachen) und Jasmijn van t’Hoff (Universität zu Köln) von einer Bohrplattform aus (siehe Abbildung 3) Sedimentkerne bis zu einer Tiefe von 22,29 Metern.



Abbildung 3: Bohrplattform auf der Laguna de Medina; Foto: Eigenes Foto

---

<sup>4</sup> Vgl. Collaborative Research Centre 806; Coring campaign in Laguna de Medina and Laguna Salada, Cádiz, Southern Spain  
URL: <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> (Aufruf: 22.09.2015)

Die zweite Bohrkampagne an der Laguna de Medina, in deren Rahmen auch die vorliegende Arbeit entstanden ist, fand vom 02. bis zum 22. März 2015 statt. Ziel dieser Kampagne war in erster Linie die im März angefangene Bohrung zu beenden und alle im See vorhandenen lakustrinen Sedimente für weitere Untersuchungen zu sichern.

#### Seebodenproben

Für die Anfertigung dieser Arbeit wurden im Zuge der zweiten Bohrkampagne des C3-Projektes im März 2015 dem Seegrund zum Teil mit Hilfe eines Schwerelots systematisch 47 Oberflächenproben entnommen.

Zudem wurde an jeder beprobten Stelle des Sees und an 8 weiteren Punkten die Tiefe der Laguna de Medina gemessen, so dass es im Folgenden möglich ist die Bathymetrie des Sees graphisch darzustellen.

Vordergründiges Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der entnommenen Seebodenproben die rezente Geochemie der Laguna de Medina anschaulich darzustellen und im Zusammenhang mit dem aktuellen Klima und den derzeitigen Umweltbedingungen zu interpretieren.

# Geographie

## Geographischer Überblick der iberischen Halbinsel

Bei der iberischen Halbinsel handelt es sich um jenen Teil Europas der südwestlich der Pyrenäen liegt. Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, umfasst sie die Staaten Spanien, Portugal, Gibraltar sowie das Fürstentum Andorra. Mit einer Fläche von 492.712 km<sup>2</sup> nimmt Spanien dabei mit 85 % der gesamten Festlandsfläche der iberischen Halbinsel ein.



Abbildung 4: Iberische Halbinsel mit den in weiß dargestellten Staatsgrenzen (Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen)

Die Küstenlinie der Halbinsel umfasst rund sechs Siebtel der gesamten Außengrenzen. Lediglich die Pyrenäen bilden im Nordosten einen 700 km breiten Korridor, welcher die Grenze zu Zentraleuropa bildet (Breuer 2008).

An der östlichen und südöstlichen Küstenlinie der iberischen Halbinsel liegt das Mittelmeer. Im Westen und entlang der nördlichen Küstenlinie befindet sich der Atlantische Ozean.

Am südlichen Ende der iberischen Halbinsel liegt Gibraltar. An diesem Punkt trennt die Straße von Gibraltar den europäischen Kontinent vom afrikanischen Kontinent und bildet den Übergang vom Mittelmeer im Osten zum Atlantik im Westen.

Über die iberische Halbinsel erstrecken sich eine Vielzahl von Gebirgsregionen. Besonders hervorzuheben sind dabei die bereits angesprochen Pyrenäen, welche im Norden die Grenze zu Frankreich bilden, sowie die Betische Kordillere und die Sierra Morena, welche im Süden Spaniens liegen und somit dem näheren Umfeld des Arbeitsgebietes zuzuordnen sind.

## Arbeitsgebiet

Bei dem Arbeitsgebiet des C3 Projektes, aus welchem die in dieser Arbeit untersuchten Proben stammen, handelt es sich um die Laguna de Medina, einem Salzsee im Südwesten Spaniens (siehe Abbildung 5).

Mit einer Größe von 1,2 km<sup>2</sup> handelt es sich bei der Laguna de Medina um den größten See der Provinz Cadiz und den zweitgrößten See Andalusiens<sup>5</sup>. Er befindet sich rund 10 km südöstlich von „Jerez de la Frontera“ entfernt.

Im Jahre 1987 wurde die Laguna de Medina zum Naturschutzgebiet ernannt, da sie vor allem im Winter als Überwinterungsplatz für zahlreiche Zugvogelarten dient.

Nördlich der Laguna de Medina liegt im Abstand von rund 3 km der Fluss Guadete. Etwa 6 km südlich ist der Fluss Arroyo Salado zu finden.

Das Einzugsgebiet der Laguna de Medina umfasst eine Fläche von 16 km<sup>2</sup> (Reed et al. 2001). Ein direkter Wasserzufluss in den See ist in Form von zwei kleinen Bachläufen vorhanden (siehe Abbildung 9).

Einen direkten Abfluss in Form eines Oberflächengewässers besitzt die Laguna de Medina jedoch nicht. Entsprechend gut kann die sie ihre Wasserreserven halten.

---

<sup>5</sup> Ventana del Visitante; Nature Reserve Laguna de Medina

URL: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/ventana/mostrarFicha.do?idEspacio=7365&lg=EN> (Aufruf: 28.09.2015)



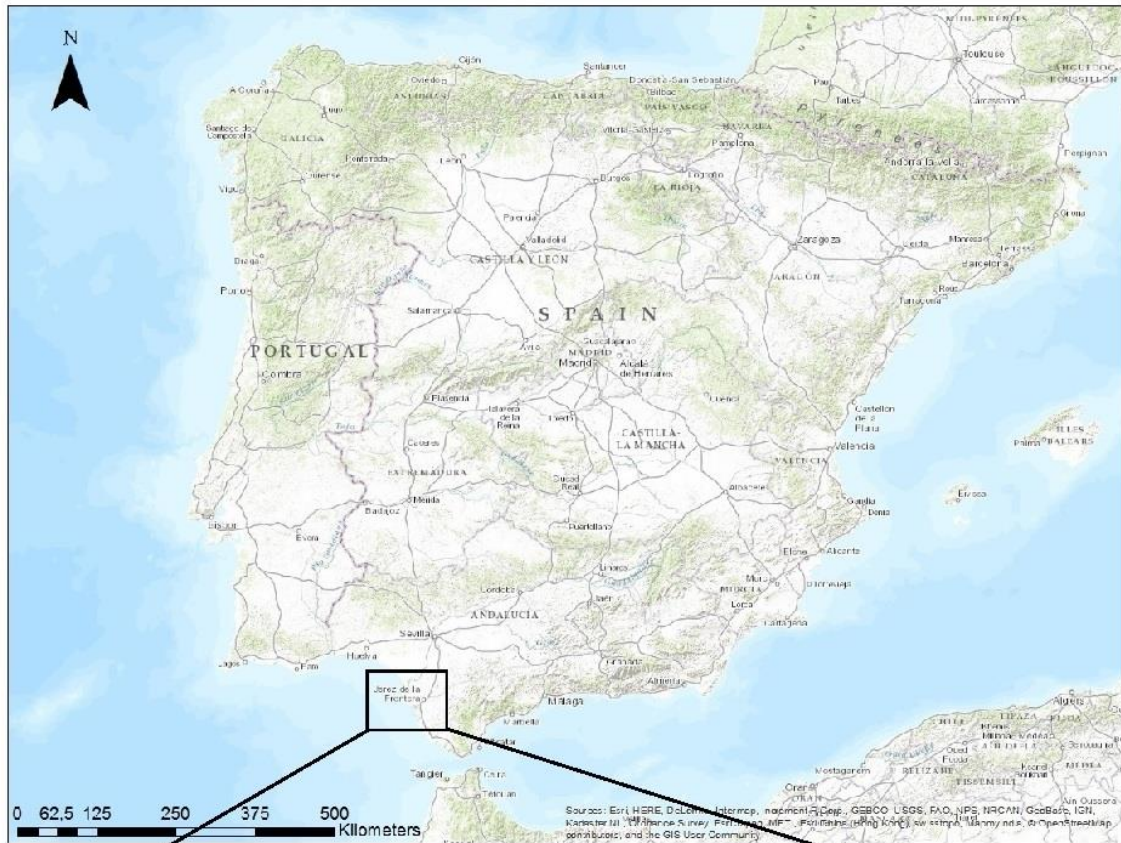


Abbildung 5: Geographische Lage der Laguna de Medina auf der iberischen Halbinsel. Auf der unteren Karte ist das Arbeitsgebiet markiert. (Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen)

## Rezentes Klima im Arbeitsgebiet

Das heutige, semiaride Klima im Arbeitsgebiet ist von heißen, trockenen Sommern geprägt, welche von April bis September andauern. Die unten dargestellte „Abbildung 6“ zeigt das Klimadiagramm von Jerez de la Frontera, welches sich rund 10 km nordöstlich der Laguna de Medina befindet.

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, reichen die durchschnittlichen Temperaturen während des Sommers von 15°C im April bis 25°C im Juli und August. In den Monaten Juli und August werden oftmals Temperaturen von über 40°C erreicht.

Die Wintermonate dauern von Oktober bis April an. In dieser Zeit liegen die Durchschnittstemperaturen der feuchten Winter zwischen 11°C und 15°C.

Wie ebenfalls der Grafik zu entnehmen ist, handelt es sich bei den Wintermonaten auch um die regenreichste Zeit des Jahres.

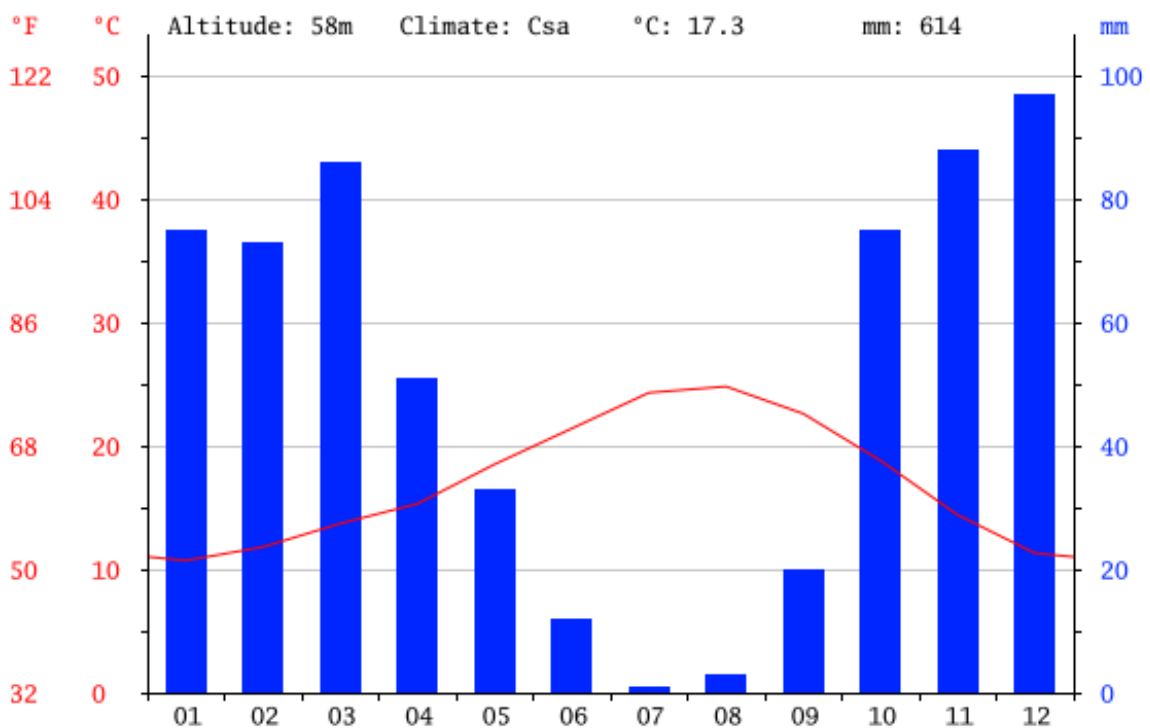


Abbildung 6: Klimadiagramm von Jerez de la Frontera – in blau dargestellt ist die durchschnittliche, monatliche Niederschlagsmenge. Die rote Linie veranschaulicht die monatlichen Durchschnittstemperaturen.

[Quelle: [climate-data.org](http://climate-data.org), Klima: Jerez de la Frontera

URL: <http://images.climate-data.org/location/764492/climate-graph.png> (Aufruf: 25.10.2015)]

Die trockenen Sommermonate führen häufig dazu, dass der Seespiegel bis auf ein Minimum reduziert wird. Jane Reed, welche die Laguna de Medina bereits im Jahr 2001 untersuchte, stellte in den Sedimentkernen Salzgehalte fest, welche sich je nach Tiefe stark voneinander unterschieden. Vorherigen Untersuchungen ist zu entnehmen, dass sich der Salzgehalt bei einem hohen Wasserspiegel im März 1965 bei rund  $1,5 \text{ g l}^{-1}$  befand. Über die folgenden Jahrzehnte stieg der Salzgehalt im Jahre 1992 und 1993 auf einen Wert von rund  $10 \text{ g l}^{-1}$  an. Dieser Effekt ist zum Teil auf die Reduktion des Seespiegels zurückzuführen (Reed et al. 2001).

Die Schwankungen des Seespiegels werden dabei im Falle der Laguna de Medina auch über ein Jahr betrachtet sehr deutlich.

Im Zuge der Bohrkampagne im September 2014 wurde eine maximale Seetiefe von 1,7 m festgestellt. Während der letzten Kampagne im März 2015, wies die Laguna de Medina eine maximale Tiefe von 3,3 m auf.

# Geologie

## Geologie der iberischen Halbinsel

Die Geologie der iberischen Halbinsel ist außerordentlich vielfältig. Sie enthält eine der vollständigsten paläozoischen Sedimentfolgen in ganz Europa und weist eine hervorragende Dokumentation der Auswirkungen der variszischen Gebirgsbildung am Rande des ehemaligen Superkontinents Gondwana auf. Mesozoische und känozoische Schichten, welche nach dem Varisikum abgelagert wurden, sind über weite Teile der östlichen Hälfte der iberischen Halbinsel offengelegt und reichen vom Kantabrischen Gebirgen und den Pyrenäen im Norden bis hin zur Betischen Kordillere im Süden (Abbildung 7).

Die heutige Geomorphologie Spaniens wurde hauptsächlich durch känozoische Deformationsevents gebildet, welche der alpidischen Gebirgsbildung zuzuordnen sind (Gibbons & Moreno 2002).

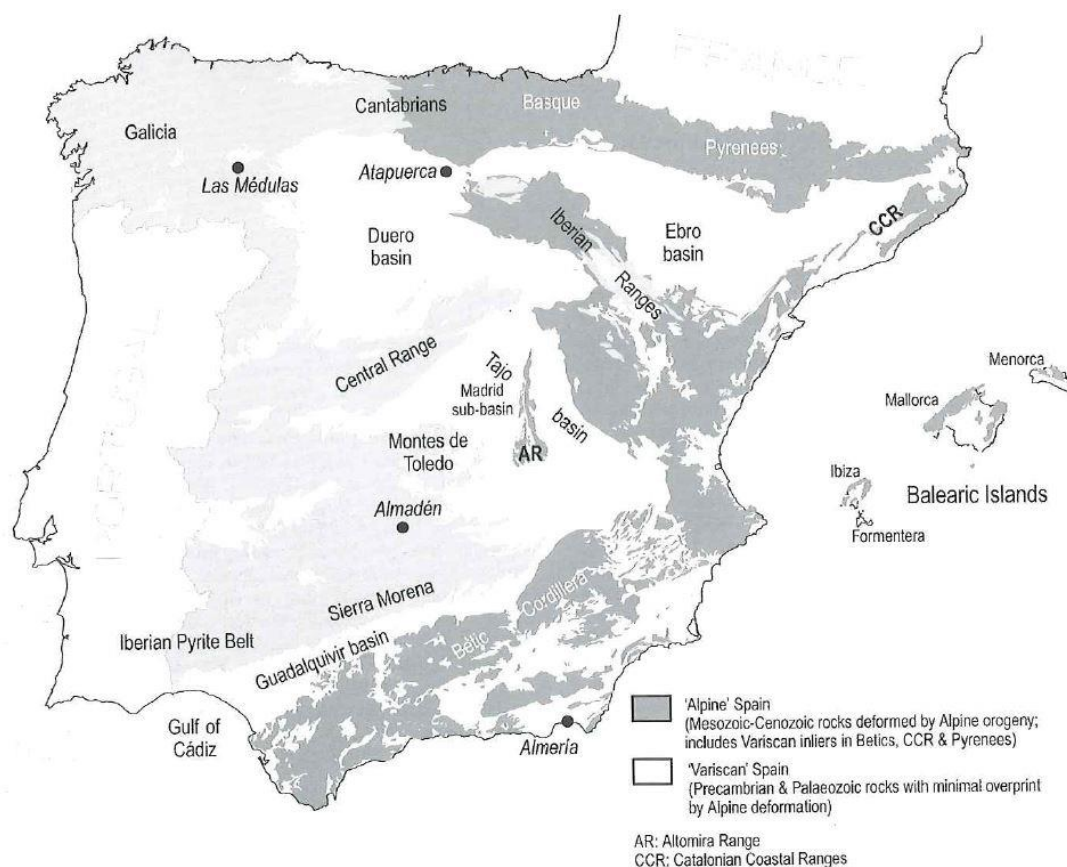


Abbildung 7: Schematische Darstellung Spaniens mit den in dunklen Farben markierten alpidischen Gebirgen und den in grau markierten variszischen Gebirgen. Bei den weißen Bereichen handelt es sich um känozoische Becken.

Quelle: Gibbons & Moreno, 2002 – *The Geology of Spain*

Den Kern der iberischen Halbinsel bildet ein variszischer, kratonischer Block, auch bekannt als „Iberisches Massiv“. Dieses besteht aus dem ehemaligen iberischen Mikrokontinent „Meseta“ (Gibbons & Moreno 2002).

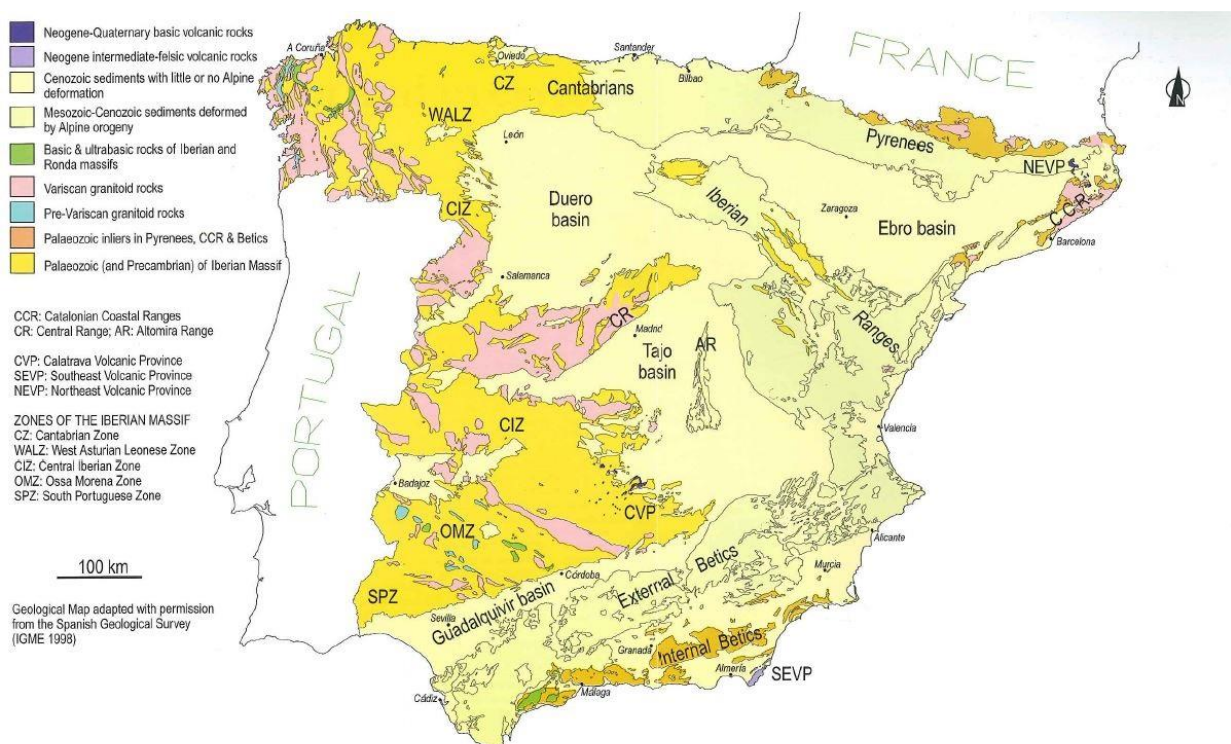
Das iberische Massiv befindet sich zwischen der eurasischen und der afrikanischen Platte und bewegt sich um Zuge der atlantischen Öffnung seit der Trias in Richtung Osten. Mit dem Wechsel des Spannungsregimes am Ende der Kreide und den entstehenden kompressiven Bedingungen der alpidischen Orogenese kam es zur Bildung verschiedener Gebirgszüge wie der Pyrenäen und der Betischen Kordillere (Casas-Sainz & de Vicente 2009).

Während der Iberischen Phase im Paläogen und Neogen entstanden die Pyrenäen im Nordosten Spaniens an der Grenze zu Frankreich. Die Betische Kordillere im Südosten des Landes wurde etwas später, seit dem Miozän in der Betischen Phase, gebildet.

Bei beiden Orogenesen herrschte ein in etwa N-S wirkendes Kompressionsmilieu (Cloetingh, 2002).

Das Iberische Massiv besteht zum größten Teil aus vorpermischen Gesteinen und kann in fünf verschiedene Zonen unterteilt werden, welche sich in Stratigraphie und Struktur unterscheiden.

Der iberische Mikrokontinent Meseta wurde dabei vermutlich im Verlauf der variszischen Orogenese aggregiert. In bestimmten Regionen sind auch kaledonische Einflüsse erkennbar (Dallmeyer & Martínez-García 1990).



## GEOLOGY OF SPAIN

Abbildung 8: Geologische Karte Spaniens

Quelle: Gibbons & Moreno 2002 – *The Geology of Spain*

Bei den Zonen, welche das iberische Massiv aufbauen handelt es sich um Kantabrische Zone, die Westasturisch-Leonische Zone, die Zentraliberische Zone, die Ossa-Morena Zone, sowie die Südportugiesische Zone (siehe Abbildung 8).

Dabei ist die Kantabrische Zone hauptsächlich aus nicht-metamorphen Gesteinen des älteren Paläozoikums, insbesondere des Karbons, aufgebaut. Gesteine des jungen Paläozoikums, des Kambriums sowie des Ordoviziums sind die wesentlichen Bestandteile der Westasturisch-Leonischen Zone. Daneben sind auch wenige Formationen zwischen Silur und Karbon aufzufinden.

Weiter südlich liegt die Zentraliberische Zone. Sie wird im Wesentlichen aus kambrischen Ortho- und Paragneisen aufgebaut.

Die ältesten Gesteine des iberischen Massivs sind in der Ossa-Morena Zone zu finden, welche östlich von Lissabon liegt. Diese besteht vorwiegend aus präkambrischen Schichten.

Gesteine des Devons bis hin zum Karbon sind der Hauptbestandteil der Südportugiesischen Zone. Zusammen sind es diese fünf Zonen, welche den größten europäischen aufgeschlossenen Komplex präpermischer Gesteine bilden. Dabei repräsentieren die Zentraliberische Zone, die Westasturisch-Leonische Zone und die Kantabrische Zone die ehemalige Grenze Gondwanas (Palomeras et al. 2009).

Die Geologie Zentralspaniens wird durch zwei großen känozoischen Sedimentbecken dominiert, welche die alten Gesteine des iberischen Massivs überdecken.

Dabei handelt es sich, wie Abbildung 8 zu entnehmen ist, um das Duero-Becken und das Tajo-Becken. Bei dem Ebro-Becken im Norden handelt es sich um das bei der alpidischen Orogenese entstandene Vorlandbecken der Pyrenäen.

Im Süden entstand, ebenfalls im Zuge der Gebirgsbildung der Alpen, das Vorlandbecken der Betischen Kordillere mit dem Namen „Guadalquivir-Becken“ (siehe Abbildung 8) (Gibbons & Moreno 2002).

Die Laguna de Medina ist Teil dieses Vorlandbeckens.

## Geologie Andalusiens

Um die Geologie der Laguna de Medina zu verstehen, ist es von Nöten zunächst die Regionale Geologie Andalusiens zu verstehen. Im Folgenden werden daher die für das Arbeitsgebiet wichtigen Geologischen Großstrukturen, welche in direkter Umgebung zur Laguna de Medina liegen, im Detail betrachtet.

Dazu zählt in erster Linie die Betische Kordillere, die Sierra Morena und das Guadalquivir-Becken, zu dem auch die Laguna de Medina gehört.

### Sierra Morena

Wie der Abbildung 7 zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Sierra Morena um ein bei der variszischen Orogenese entstandenes Mittelgebirge.

Geologisch bildet die Sierra Morena den Südrand des iberischen Massivs.

Während der alpidischen Gebirgsbildung stellte die Sierra Morena ein Widerlager für die sich unter dem Druck der afrikanischen Platte aufgefalteten Gesteine dar. In diesem Zeitraum hob sie sich entlang der Guadalquivirflexur, so dass eine Senkung des Guadalquivir-Beckens gegenüber der Sierra Morena die Folge war (Gibbons & Moreno 2002).

Entsprechend der Entstehungszeit der Sierra Morana ist das Gebirge überwiegend aus präkambrischen und paläozoischen Gesteinen aufgebaut. Häufige Gesteinstypen sind dabei Schiefer und Gneise (Gibbons & Moreno 2002).

### Betische Kordillere

Bei der Betischen Kordillere in Südspanien handelt es sich um das westlichste Segment der alpidischen Gebirgssysteme in Europa. Sie wurde im Zuge der Kollision der afrikanischen Platte mit der eurasischen Platte zwischen dem späten Mesozoikum und dem frühen Tertiär gebildet (Platt & Behrmann 1986).

Die Lithologie der Betischen Kordillere setzt sich vorwiegend aus mesozoischen Sedimenten zusammen, welches in der Thetys abgelagert wurde. Aufgrund der marinen Herkunft ist das Gestein dieses Gebirges äußerst kalk- und fossilreich.

Die Hauptstreichrichtung der Betischen Kordillere ist WSE – ENE. Die nordwestliche Begrenzung der Kordillere bildet das Guadalquivir-Becken. Dabei lässt sich das Faltengebirge in vier große geologische

Einheiten untergliedern, die sich hinsichtlich der Petrologie, des Metamorphosegrads und der Tektonik unterscheiden. Bei den vier geologischen Haupteinheiten handelt es sich um die Innenzonen, die Außenzonen, die Flyschzone von Gibraltar sowie das Känozoische Becken (Schöneberg & Neugebauer 1997).

#### Guadalquivir-Becken

Geologisch gesehen ist das Guadalquivir-Becken ein jungtertiäres Molassebecken. Im Norden grenzt es an die Sierra Morana und im Süden an die Betische Kordillere (Abbildung 7).

Bei den Ablagerungen im Becken handelt es sich überwiegend um Gebirgsablagerungen aus dem Miozän und dem Pliozän. Darüber hinaus wird die Lithologie des Beckens auch durch marine Sedimente aus dem Neogen bestimmt. Grund dafür ist, dass es sich bei dem Guadalquivir-Becken noch im Tertiär um eine Seestraße handelt – vergleichbar mit der heutigen Straße von Gibraltar.

Als Vorlandbecken der Betischen Kordillere wird das Guadalquivir-Becken von zahlreichen Flüssen durchzogen (Schöneberg & Neugebauer 1997).



## Geologie der Laguna de Medina

Wie der nachstehenden Abbildung 9 zu entnehmen ist, weist die Laguna de Medina in ihrem Einzugsgebiet eine Vielzahl an geologischen Schichten auf.

Bei den ältesten Gesteinstypen handelt es sich triassischen Tone, Buntsandsteine, Dolomite sowie gipsreiche Evaporite, welche südöstlich des Sees zu finden sind.

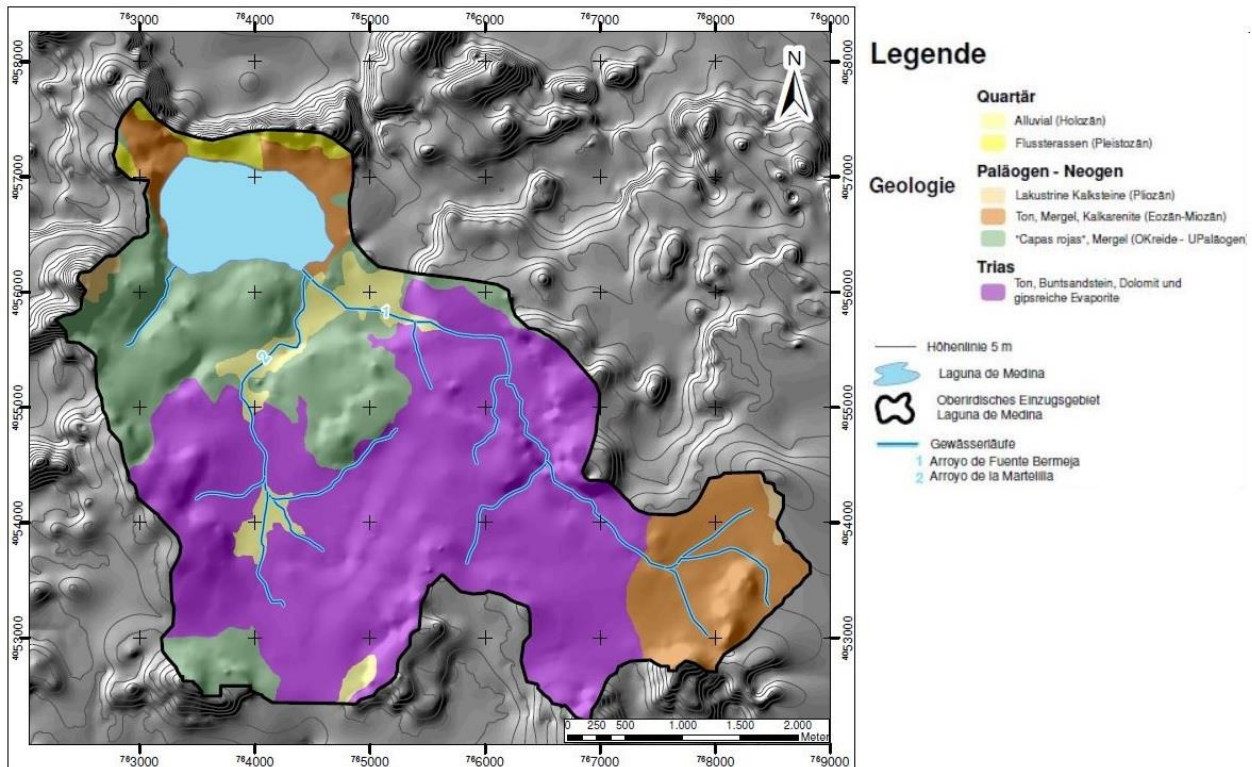


Abbildung 9: Geologische Karte des Einzugsgebietes der Laguna de Medina  
Quelle: A.-S. Mreyen (RWTH Aachen, unveröffentlichte Arbeit)

Sedimente aus dem Paläogen sowie dem Neogen sind dagegen im direkten Uferbereich der Laguna de Medina zu finden. Weite Bereiche des südlichen Ufers sind von Mergeln aus der Oberkreide und dem Unterpaläogen dominiert. Am nordöstlichen und nordwestlichen Uferbereich hingegen sind Tone, Mergel und Kalkarenite abgelagert, welche dem Eozän zuzuordnen sind.

Zu den jüngeren Gesteinstypen an der Laguna de Medina gehören die Konglomerate am nördlichen Ufer des Sees (siehe Abbildung 10).

Diese wurden während des Pleistozäns in Form von Flussterrassen abgelagert.



Abbildung 10: Konglomerat am nördlichen Ufer der Laguna de Medina. Als Maßstab dient ein Handdehlot.  
Quelle: Eigenes Foto

# Methodik

## Methodik im Feld

Im Zuge der Bohrkampagne des Projektes C3 des Sonderforschungsbereichs 806 wurden im März 2015 dem Seegrund in der Laguna de Medina systematisch 47 Oberflächenproben entnommen sowie die Wassertiefen gemessen. Die Untersuchungen erfolgten mit Hilfe der Verwendung eines motorisierten Schlauchbootes, einem Schwerelot, einem GPS-Empfänger sowie einem Hand-Echolot. Die Methoden mit denen diese Verfahren erfolgten werden im Folgenden beschrieben.

## Probenahme

Die Entnahme der Seebodenproben in der Laguna de Medina erfolgte mittels eines Schwerelots. Bei einem Schwerelot handelt es sich um ein geologisches Messinstrument mit dem es möglich ist Sedimentkerne aus dem Meeresboden, oder im Falle der Laguna de Medina aus dem Seeboden zu „stanzen“ und an die Oberfläche zu befördern.



Abbildung 11: Schwerelot welches bei der Probenahme in der Laguna de Medina verwendet wurde. Quelle: Eigenes Foto

Das in der Laguna de Medina verwendete Schwerelot ist der Abbildung 11 zu entnehmen.

Es besteht aus einem Gewichtssatz in Form von zwei Blei- beziehungsweise Stahlscheiben, welche möglichst weit unten am Gestänge befestigt werden.

Zwischen die beiden in der Abbildung 11 zu erkennenden Stangen wird eine PVC Röhre, auch „Liner“ genannt, gesteckt. Mittels eines Schraubmechanismus wird diese Röhre, in dem sich später das Probenmaterial unter einer Wassersäule befindet, fixiert, so dass sie nicht im Sediment stecken bleibt.

Um das Schwerelot „scharf“, und bereit für die Probenahme zu machen, wird das in Abbildung 11 oben erkennbare rote Seil unter Zug gesetzt.

Eine entscheidende Rolle bei diesem Messinstrument spielt der schwarz-weiße Ball, welcher in der Abbildung direkt an den Gewichten zu erkennen ist. Dieser ist auf der einen Seite über ein Seil mit einem beweglichen Haken am oberen Teil des Schwerelots befestigt und auf der anderen Seite mit Hilfe eines Gummibandes auf Spannung gehalten.



*Abbildung 12: Detailansicht des Schwerelots. Links ist das an dem Haken befestigte Seil zu erkennen. Auf der rechten Seite des blauen Stahlrohrs ist das unter Spannung stehende Gummiband zu sehen. Quelle: Eigenes Foto*

Ist das rote Seil unter Zug, so lässt sich das graue Seil des Balls am beweglichen Haken befestigen.

Der nun unter Zugspannung stehende Ball wird anschließend in den Wasserkörper gelassen und fällt auf den Seegrund. Aufgrund der Tatsache, dass die Gewichte sehr weit unten befestigt sind, wird durch den tiefen Schwerpunkt einem Schlingern des Schwerelots auf dem Weg zum Grund entgegengewirkt. Trifft das Schwerelot auf den Seegrund, so füllt sich der bereits komplett mit Wasser gefüllte Liner an der Basis mit Sediment. Eine nach oben hin bewegliche Scheibe auf der Oberseite der Röhre sorgt dafür, dass das Wasser den Liner auf dem Weg zum Grund ungehindert

durchströmen kann und nicht etwa für Auftrieb sorgt.

Mit dem Auftreffen des Schwerelots auf dem Grund des Sees steht das rote Seil nicht mehr unter Zug, so dass sich der Haken an welchem der Ball befestigt ist nach unten bewegt. Dieser Mechanismus sorgt dafür, dass der Ball durch das noch unter Zug stehende Gummiband auf den Seegrund befördert wird.

Zieht man das Schwerelot ruckartig aus dem Sediment heraus, so verschließt der Ball den Liner von unten, so dass das Sediment auf dem Weg zur Wasseroberfläche nicht wieder absinken kann.

Die bewegliche Scheibe auf der Oberseite der Röhre versiegelt diese ebenfalls und sorgt für den nötigen Unterdruck, der das Herausrutschen des Sediments unter der Wassersäule verhindert.

Hat man den mit Sediment gefüllten Liner wieder geborgen, so lässt sich dieser dem Schwerelot entnehmen und die Sedimentprobe kann genommen werden.

In flachen Bereichen der Laguna de Medina war eine Beprobung ohne das Schwerelot möglich. In diesem Fall wurde der Liner von Hand in das Sediment gedrückt und von oben mit einer für den Unterdruck sorgenden Kappe verschlossen (siehe Abbildung 13).



*Abbildung 13: Im Seesediment steckender Liner. Die gelbe Kappe sorgt für einen Unterdruck, welcher verhindert, dass das Sediment im Boden stecken bleibt.*

*Quelle: Eigenes Foto*

In der nachfolgenden Abbildung 14 ist zu erkennen, wie der Liner (auch im Schwerelot) nach dem Herausziehen aus dem Wasser aussieht:



Abbildung 14: Entnahme eines beprobten Liners aus dem Uferbereich der Laguna de Medina.  
Quelle: Eigenes Foto

Insgesamt wurden dem Grund der Laguna de Medina in systematischer Ordnung 47 Proben entnommen (siehe Abbildung 16). Die Koordinaten jedes Punktes wurden in dem GPS-Empfänger „eTrex Vista HCx“ der Firma Garmin für die spätere Auswertung gespeichert (siehe Tabelle 1 – Anhang).

#### Bathymetrie

Für die Vermessung der topographischen Gestalt der Laguna de Medina wurden über den See verteilt an jedem der 47 Beprobungspunkten sowie an 8 weiteren Stellen, an denen eine Probenahme nicht möglich war, die Wassertiefe gemessen (Abb. 16). Für die Messung der Wassertiefe wurde das Hand-Echolot „ECHOTEST II“ der Firma „Plastimo“ verwendet (Abb. 15).



Abbildung 15: Das bei den Untersuchungen in der Laguna de Medina verwendete Hand-Echolot "ECHOTEST II". Quelle: Eigenes Foto

Die Funktionsweise eines Hand-Echolots beruht darin, dass dieses beim Aufsetzen auf die Wasseroberfläche Schallimpulse durch das Wasser sendet. Die Zeit, welche die Schallwellen auf dem Weg zum Grund und wieder zurück benötigen wird vom Gerät gemessen.

Daraus errechnet das Hand-Echolot unmittelbar die an dieser Stelle vorhandene Wassertiefe und zeigt sie auf einem Display an.

Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt den Grundriss der Laguna de Medina mit allen Punkten an denen eine Tiefe des Sees gemessen wurde.

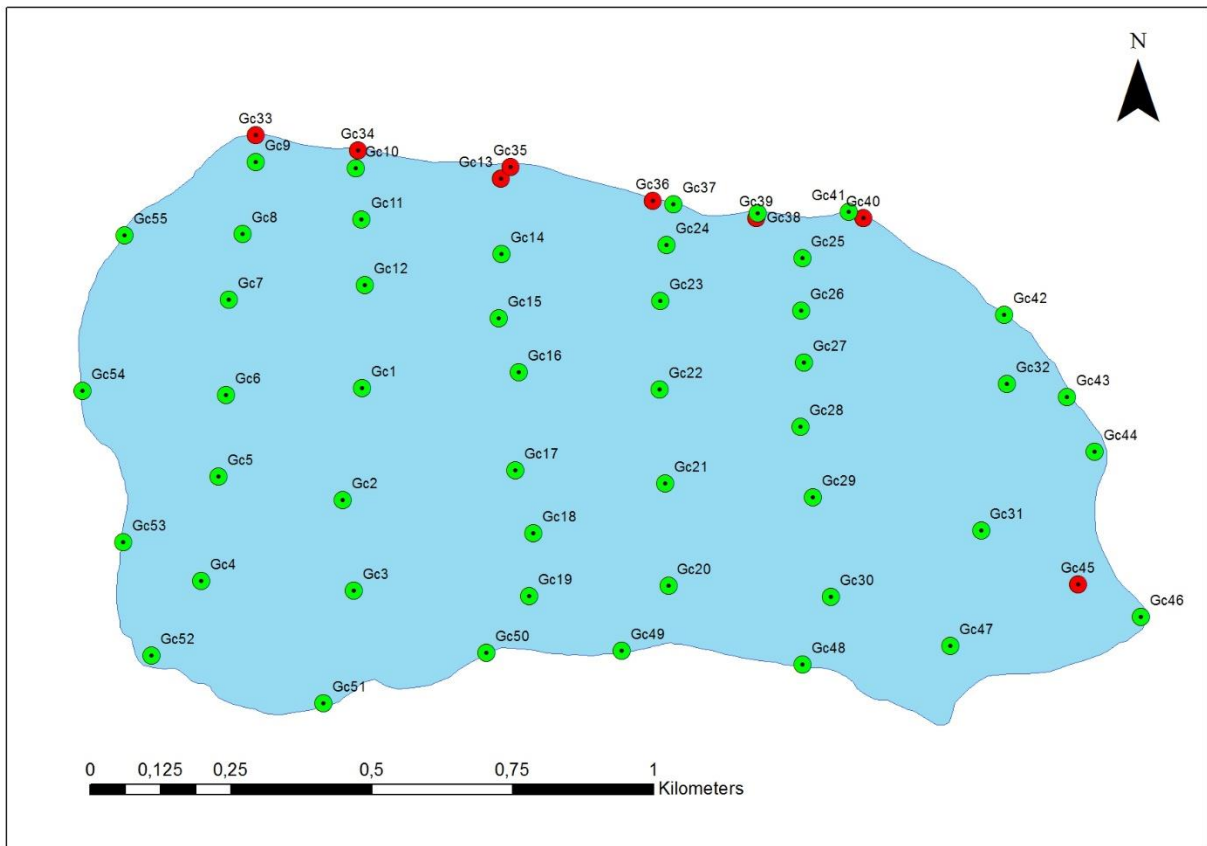


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Laguna de Medina mit allen Stellen an denen die Seetiefe gemessen wurde. In grün sind die Stellen markiert an denen eine Probenahme möglich war. Die roten Punkte zeigen die Stellen an denen keine Probe genommen werden konnte.

Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen

Die große Anzahl an bemessenen Punkten lässt darauf hoffen, dass sich die Bathymetrie der Laguna de Medina aufgrund dieser hohen Auflösung recht genau darstellen lässt.

## Methodik im Labor

Alle 47 in der Laguna de Medina entnommenen Seebodenproben wurden für die weiteren Untersuchungen in die Labore der Universität zu Köln gebracht.

Dort sollten mit Hilfe von Analyseverfahren die Anteile an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel (CNS) sowie der Anteil am gesamten organischen Kohlenstoff (Total Organic Carbon = TOC) sowie anorganischen Kohlenstoff (Total Inorganic Carbon = TIC) in jeder Probe gemessen werden.

### Probenaufbereitung

Bevor die Proben auf ihre CNS- und TOC-Gehalte untersucht werden konnten, bedurfte es zunächst einer fachgerechten Aufbereitung der Proben.

Zunächst wurde jede Probe zweigeteilt (siehe Abbildung 17). Das Sediment der einen Hälfte sollte für die geochemischen Untersuchungen verwendet werden. Die Untersuchungen, inclusive der Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

Die andere Hälfte der Probe wird für Korngrößenmessungen benötigt, welche jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit sind.

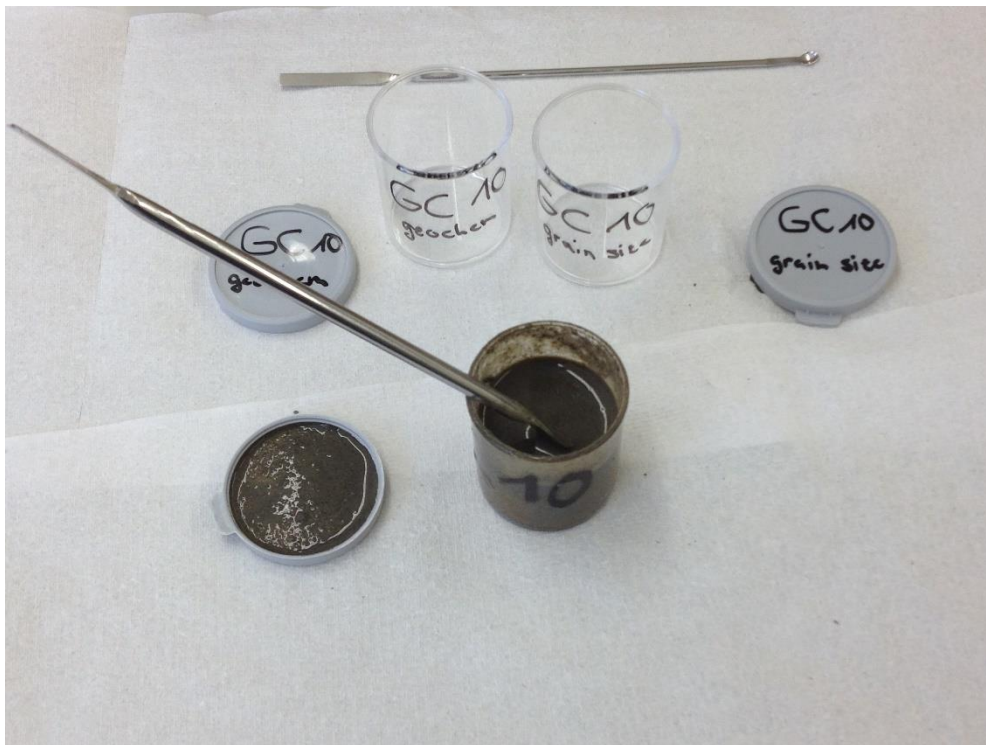


Abbildung 17: Aufteilung des im Arbeitsgebiet abgefüllten Sediments in das für die geochemischen Untersuchungen bestimmte Material und das für die Korngrößenmessungen vorgesehene Sediment im Labor der Universität zu Köln.

Quelle: Eigenes Foto



Die für die geochemischen Messungen bestimmten Proben werden zunächst für mindestens 24 Stunden eingefroren, bevor sie gefriergetrocknet werden können.

Beim Gefrier Trocknen handelt es sich um eine schonende Trocknung, bei der die Eiskristalle des im Probenmaterial enthaltenen Wassers unmittelbar vom festen Aggregatzustand in den gasförmigen Zustand übergehen. Nach rund 72 Stunden enthalten die Proben kein Wasser mehr.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wurde das Probenmaterial auf eine Korngröße von Schluff (0,063 – 0,002 mm) gemahlen. Hierfür wurde ein Achatmörser verwendet.

### CNS – Analyse

Zur Bestimmung des gesamten Gehaltes an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel wurden jeder Probe rund 5 mg Probenmaterial entnommen. Diese wurden in Zinnschiffchen eingewogen und mit 20 mg Wolfram(VI)-Oxid versetzt. Die Zugabe von Wolfram(VI)-Oxid soll später im Analysegerät die Verbrennung des Probenmaterials beschleunigen. Die Zinnschiffchen werden würfelförmig zusammengefaltet und anschließend in den Autosampler des Analysegerätes gegeben.

Bei dem Analysegerät handelt es sich um den Vario MICRO Cube Mikro-Verbrennungs-Elementaranalysator der Firma „elementar“ (siehe Abbildung 18).

Um das Gerät während der Messung regelmäßig neu zu kalibrieren werden alle 10 Proben so genannte „Standards“ eingefügt. Dabei handelt es sich um Stoffe mit einer bekannten chemischen Zusammensetzung. Bei den in den CNS-Messungen genutzten Standards handelte es sich um die Standards EM2, EM3, EM4, EM5 sowie LKSD3.



Abbildung 18: Analysegerät "Vario MICRO Cube" der Firma "elementar".  
Quelle: Eigenes Foto

Das System der CNS-Analyseverfahren beruht darauf, dass die zu beprobende Substanz durch Verbrennung aufgeschlossen wird. Dabei wird die im Zinnschiffchen eingeschlossene Probe mittels automatischem Probengeber über einen Kugelhahn in das aus Quarzglas bestehende Verbrennungsrohr befördert. Die katalytische Verbrennung erfolgt bei einer permanenten Temperatur von bis zu 1200 °C.

Bei der Verbrennung entstehen aus den Elementen C, H, N und S die gasförmigen Verbrennungsprodukte CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> sowie flüchtige Halogenverbindungen, sofern die Probe Halogene enthält. Das im Zinnschiffchen enthaltene Zinn verbrennt zu SnO<sub>2</sub> und wird im Aschefinger des Verbrennungsrohrs gesammelt.

In einem zweiten, nachgeschaltetem, Verbrennungsrohr erfolgt anschließend die Reduktion der Verbrennungsgase an heißem Kupfer, so dass im He-Trägergasstrom die Analysengase N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und SO<sub>2</sub> verbleiben.

Über eine Trennsäule erfolgt die anschließende Auftrennung der einzelnen Bestandteile. Als Detektionseinheit dient eine hochempfindliche Wärmeleitfähigkeitsmesszelle, welche die einzelnen Signale später digitalisiert (Vario MICRO Cube – Anleitung).

#### TIC/TOC – Analyse

Ähnlich wie bei der CNS-Analyse wird auch für die Messung des gesamten organischen und anorganischen Kohlenstoffs (TIC und TOC) jeder Probe das für die Analyse notwendige Probenmaterial entnommen.

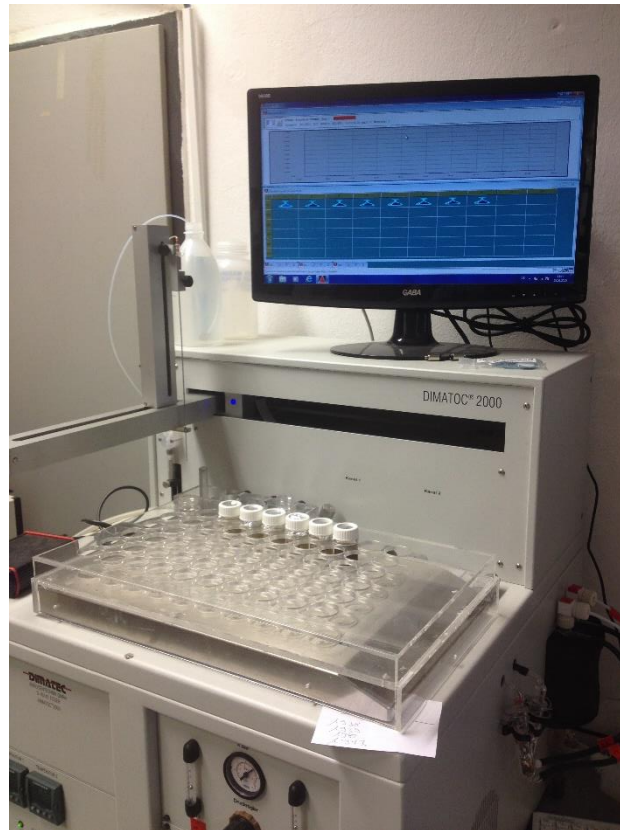
Für die Messungen werden jeweils 30 bis 40 mg gemahlene Sediment benötigt. Dieses wird abgewogen und in ein Schraubdeckelglas gefüllt. Anschließend wird das Sediment mit rund 10 ml destilliertem Wasser versetzt.

Die Analyse der Proben erfolgt mit dem Analysegerät DIMATOC 2000 der Firma Dimatec Analysetechnik GmbH (siehe Abbildung 19). Für die regelmäßige Kalibrierung und möglichst hohe Genauigkeit der Messungen wurden den zu untersuchenden Proben erneut Standards beigelegt. Bei den genutzten Standards handelte es sich um EM2, EM4, EM5 und LKSD3.

Das Prinzip der TOC-Analyse im Falle des DIMATOC 2000 beruht auf der sogenannten NDIR-Detektion. Dabei entnimmt das Gerät jeder Probe eine kleine Menge des sich in Suspension befindlichen Probenmaterial. Dieses wird durch Erhitzung auf über 900 °C in einen gasförmigen Zustand gebracht und gelangt anschließend in den Detektor.

Bei dem Detektor handelt es sich um einen nichtdispersiven Infrarotsensor (NDIR-Sensor), ein spektroskopisches Messgerät. Der Sensor wird dabei kontinuierlich von dem TOC/TIC-haltigem

Trägergas durchströmt. Die durch den Detektor gemessene Konzentration wird in Abhängigkeit von der Zeit erfasst. Das resultierende Integral aus CO<sub>2</sub>-Konzentration über die Zeit ist das Maß für den aus der Probe freigesetzten Kohlenstoff (Bernard et al. 2004). Das Gerät ist dabei in der Lage zwischen dem gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) und dem gesamten anorganischen Kohlenstoff (TIC) zu unterscheiden. Zusammen addiert bilden sie den gesamten Kohlenstoff (TC). Alle organischen Bestandteile werden von dem Gerät automatisch digitalisiert und auch in den Ergebnissen vorgestellt.



*Abbildung 19: Das für die TOC-Messungen verwendete Analysegerät DIMATOC 2000 der Firma Dimatec Analysegeräte GmbH*

*Quelle: Eigenes Foto*

# Ergebnisse

## CNS – Analyse

Die Abbildungen 20, 21 und 22 im Folgenden stellen dar, wie viel Gew.-% Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Schwefel (S) in den rezenten Sedimenten der Laguna de Medina enthalten sind. Die hellen Symbole stellen geringe Konzentrationen dar, während die dunkleren die hohen Werte repräsentieren (vgl. Legende der Abbildung 20).

Wie in Abbildung 20 dargestellt, besitzen die Kohlenstoffanteile in den Oberflächenproben des Seebodens eine hohe Diversität. Bei dem niedrigsten Kohlenstoffwert handelt es sich um 1,82 Gew.-%. Der höchste Wert liegt bei 42,61 Gew.-%.

Am gesamten nördlichen Ufer ist zu erkennen, dass die Proben dort einen recht geringen Kohlenstoffanteil im Bereich von 1,82 – 5,54 Gew.-% aufweisen. Ähnliche Gew.-% - Anteile sind auch im südöstlichen Bereich des Sees in den Proben „Gc31“, „Gc46“ und „Gc47“ zu finden.

Das südliche Ufer hingegen weist eine deutlich höhere Konzentration auf (siehe „Gc49“, „Gc50“ und Gc51“).

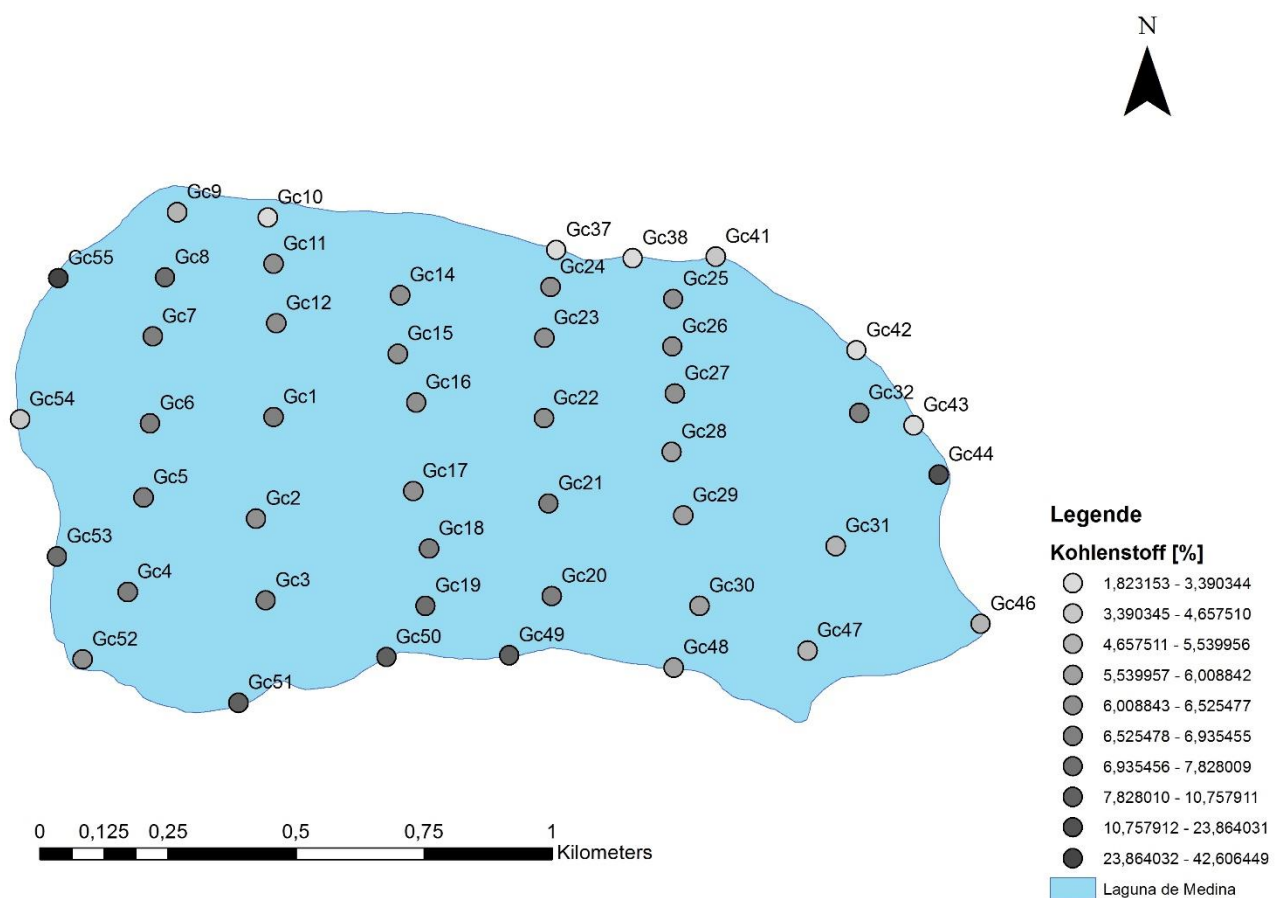


Abbildung 20: Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Kohlenstoffs (C)  
Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen

Bei den Proben „Gc44“ am östlichen Ufer und „Gc55“ am nordwestlichen Ufer der Laguna de Medina handelt es sich um Proben die einen vergleichsweise hohen Anteil an Kohlenstoff aufweisen. Die Werte liegen im Fall von Probe „Gc44“ bei 23,86 Gew.-% Kohlenstoff und Probe „Gc55“ bei 42,61 Gew.-% Kohlenstoff (siehe Tabelle 2 - Anhang). Eine mittlere Konzentration zwischen 5,54 Gew.-% und 7,82 Gew.-% ist im zentralen Bereich des Sees zu erkennen.

Die Abbildung 21 zeigt die entsprechenden Stickstoffkonzentrationen in den Seebodenproben. Auch hier ist zu erkennen, dass es sich bei den Proben, welche am nördlichen und nordöstlichen Ufer des Sees entnommen wurden, um Proben handelt, die einen geringen Stickstoffanteil aufweisen (0,08 – 0,26 Gew.-%). Das selbige gilt für den südöstlichen Teil der Laguna de Medina. Auch in diesem Bereich weisen die Proben eine geringe Stickstoffkonzentration auf. Werte zwischen 0,35 Gew.-% und 0,43 Gew.-% werden vorwiegend in der westlichen zentralen Hälfte des Sees erreicht. Außerordentlich hohe Werte bilden erneut die Proben „Gc44“ mit 1,46 Gew.-% und Probe „Gc55“ mit 1,54 Gew.-% (siehe Tabelle 2 – Anhang).

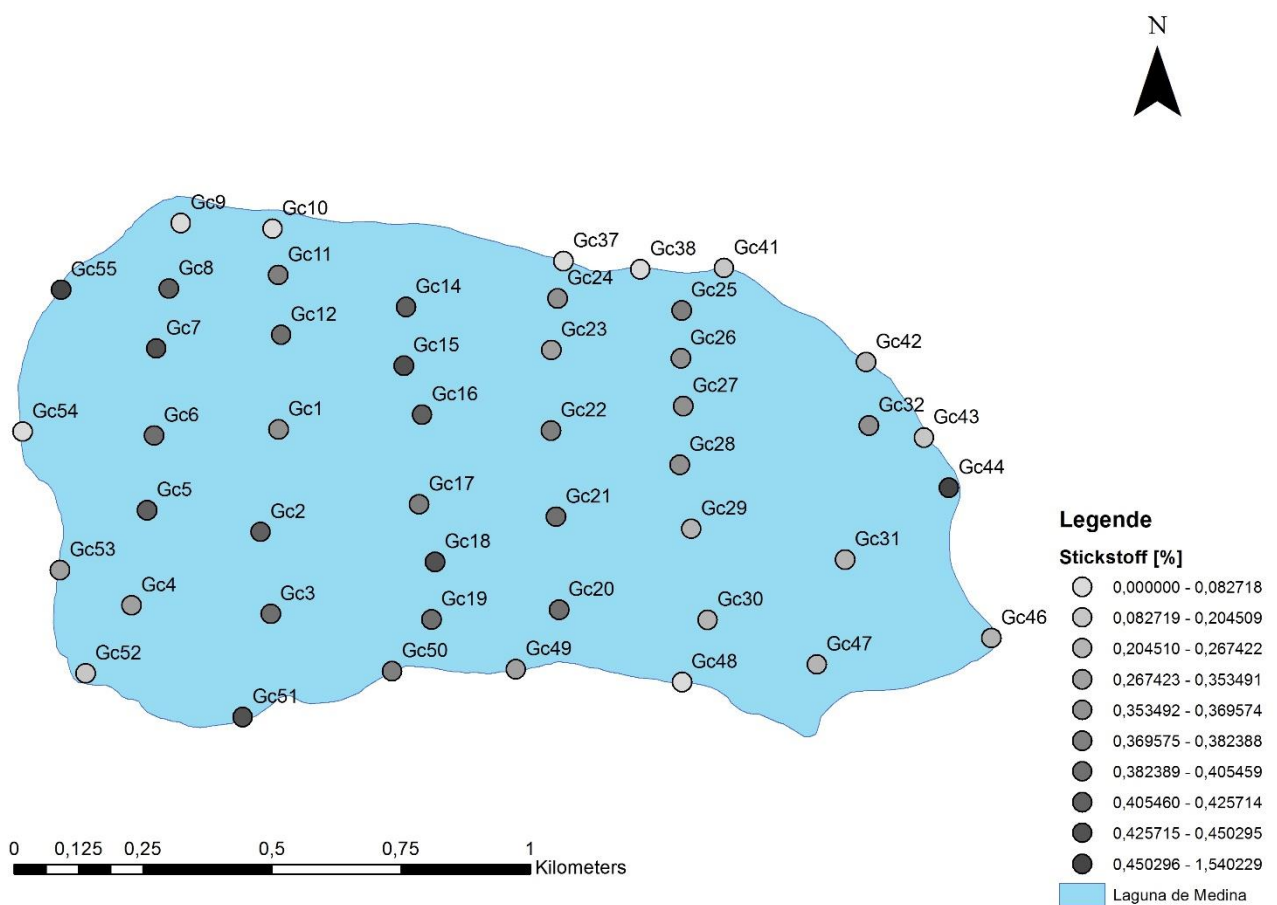


Abbildung 21: Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Stickstoffs (N)  
(Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen)

Wie auch im Fall von Kohlenstoff und Stickstoff weist das nördliche, das nordöstliche sowie das südöstliche Ufer der Laguna de Medina eine recht geringe Konzentration des zu untersuchenden Stoffs auf (siehe Abbildung 22). Der Wertebereich in diesen Gebieten des Sees liegt zwischen 0,07 Gew.-% („Gc48“) und 0.245 Gew.-% („Gc30“).

Hohe Schwefelgehalte werden erneut von den Proben „Gc44“ (1,03 Gew.-%) und „Gc55“ (1,32 Gew.-%) erreicht. Den höchsten Wert vertritt jedoch Probe „Gc53“ mit 1.59 Gew.-% Schwefel.

Im zentralen Bereich der Laguna de Medina liegen die Schwefelkonzentrationen am Grund des Sees zwischen 0,24 Gew.-% und 0,9 Gew.-%.

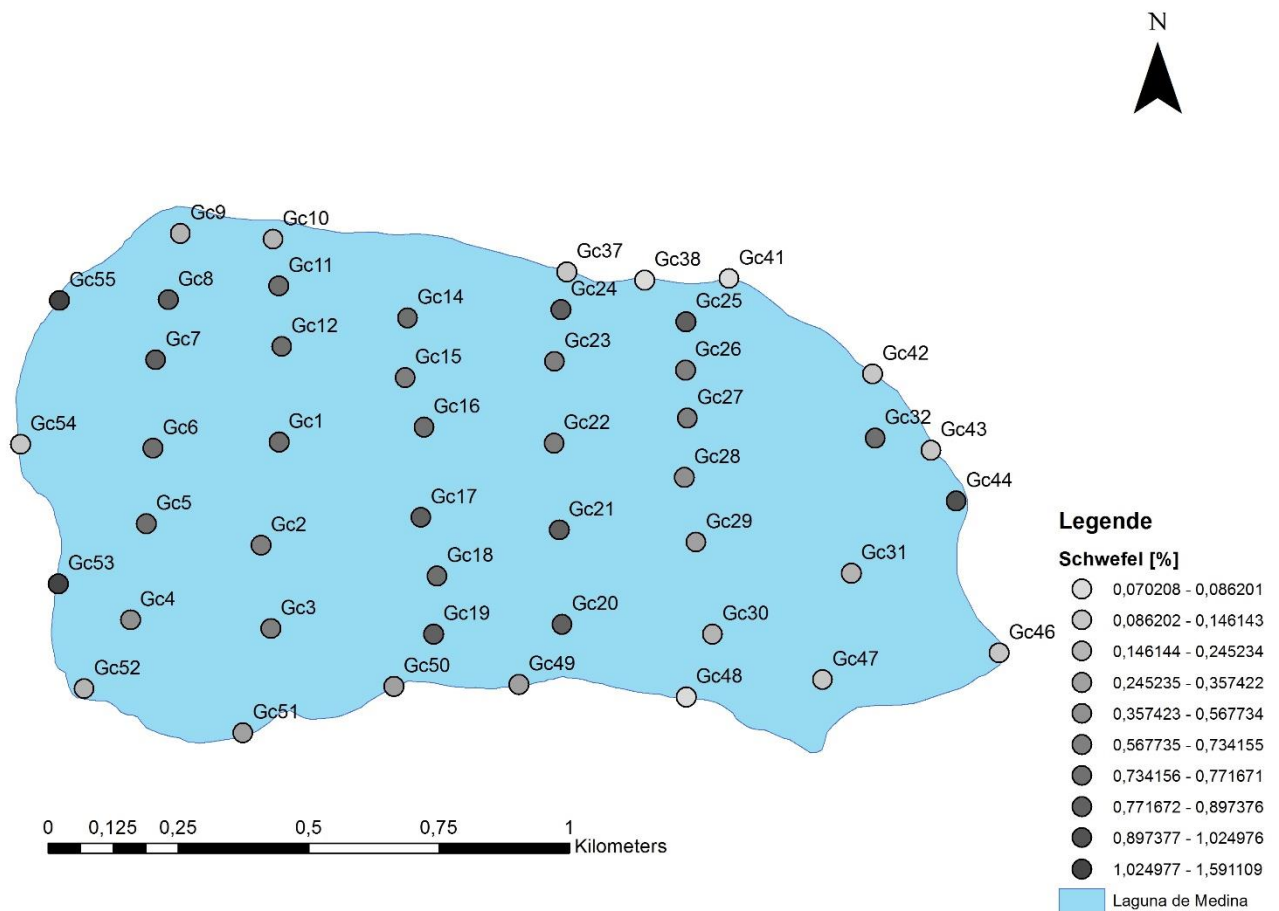


Abbildung 22: Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen Schwefels (S)  
Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen

## TIC/TOC – Analyse

Die Ergebnisse, welche bei den Messungen des organischen sowie des anorganischen Kohlenstoffs gemessen wurden, sind den Abbildungen 23 und 24 zu entnehmen.

Ebenso wie bei der CNS-Analyse stellen die hellen Symbole Proben einer geringen Konzentration dar, während die dunklen Symbole hohe Konzentrationen bedeuten.

Die vorliegende Abbildung 23 zeigt den Anteil des anorganischen Kohlenstoffs der in der Laguna de Medina genommenen Proben.

Dabei fällt auf, dass die Proben des nördlichen sowie des östlichen Uferbereichs einen recht geringen Anteil an anorganischen Kohlenstoff aufweisen (0,49 Gew.-% bis 2,34 Gew.-%).

Hohe TIC-Werte erreichen die Proben „Gc48“, „Gc49“ sowie „Gc50“ mit 5,49 bis 6,18 Gew.-% am südlichen Seeufer (siehe Abbildung 23 & Tabelle 3 im Anhang).

In der Seemitte liegen die Spanne der gemessenen Werte zwischen 2,34 und 4,62 Gew.-% anorganischen Kohlenstoff.

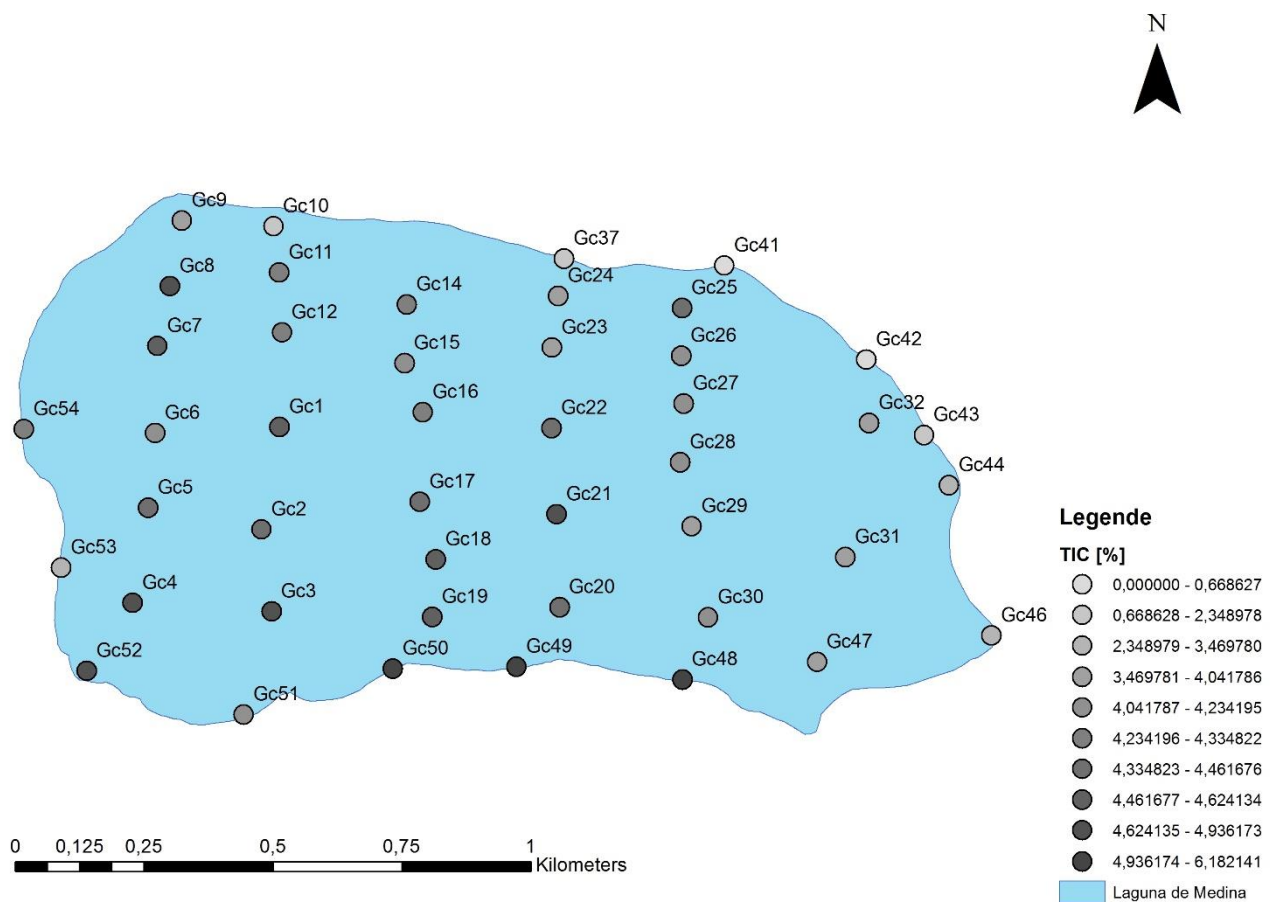


Abbildung 23: Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen gesamten anorganischen Kohlenstoffs (TIC).

Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen

In Abbildung 24 sind die in den Proben gemessenen Anteile am gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) abgebildet.

Das nördliche Ufer weist erneut sehr geringe prozentuale Anteile auf (vgl. „Gc9“, „Gc10“ und „Gc37“ in Tabelle 4 – Anhang). Die Werte liegen hier zwischen 0,59 und 0,74 Gew.-%.

Im Vergleich zu den niedrigen TIC-Werten am nordöstlichen Ufer sind die organischen Anteile der gleichen Proben, speziell Probe „Gc44“, mit 24,81 Gew.-% äußerst hoch. Ebenso weisen die im Süden und Südwesten des Sees entnommenen Proben mit bis zu 5,58 Gew.-% (Probe „Gc51“) hohe Werte auf.

Die Anteile des organischen Kohlenstoffs im Zentrum der Laguna de Medina liegen zwischen 1,95 und 2,96 Gew.-%.

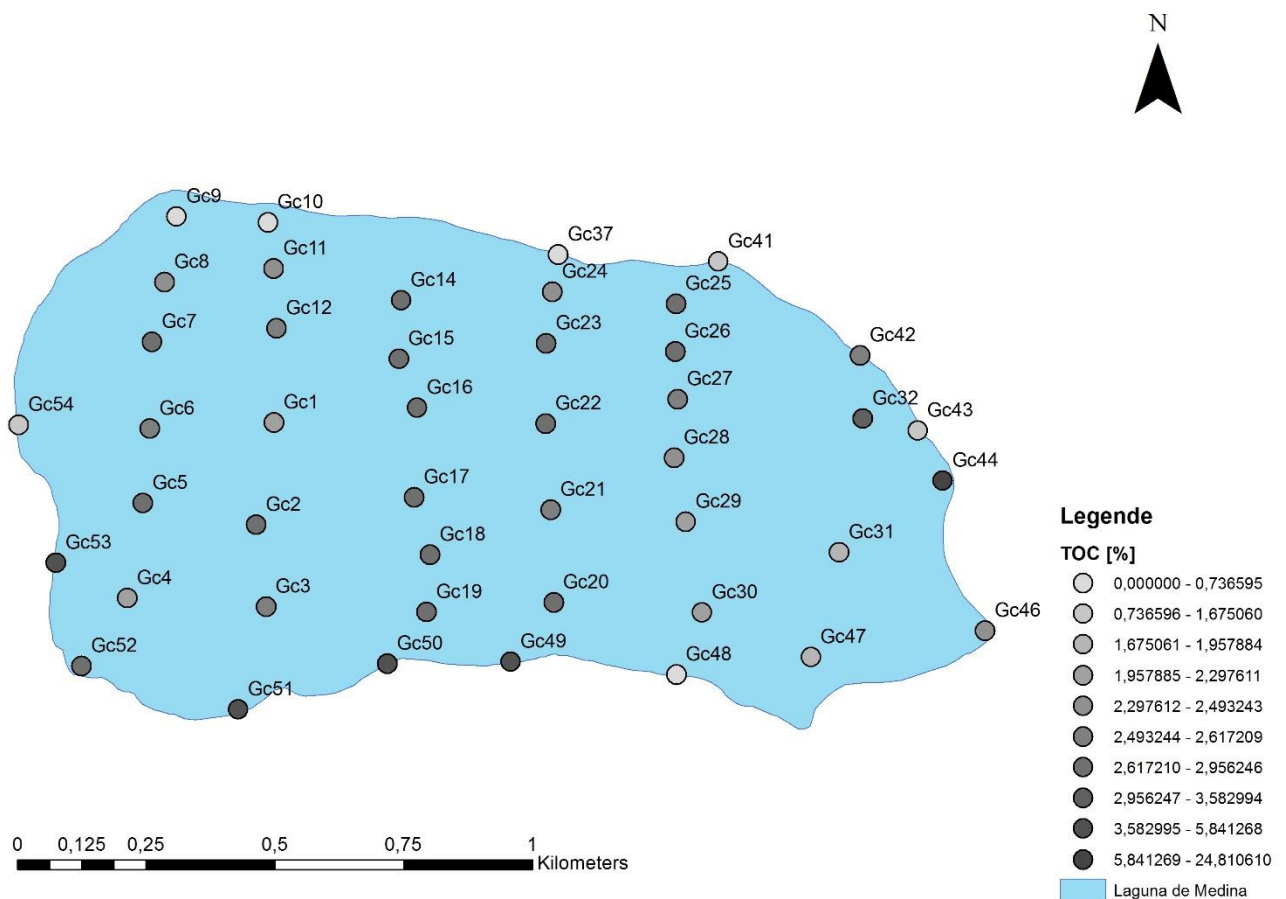


Abbildung 24: Darstellung des in den Oberflächenproben der Laguna de Medina enthaltenen gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC).

Quelle: Eigene Darstellung, mit „ArcGIS“ entworfen



## Bathymetrie

Die in der Laguna de Medina gemessenen Wassertiefen haben es ermöglicht ein recht genaues dreidimensionales Modell des Untergrundes zu erstellen.

Wie in den folgenden Abbildungen 25 bis 28 zu erkennen ist, weist die Laguna de Medina ein sehr flaches Becken mit steilen Uferbereichen auf. Lediglich der südwestliche Teil des Sees läuft nicht steil, sondern eher flach aus.

Die gemessenen Seetiefen im Zentrum des Sees variieren von 2,4 m bis zu den tiefsten Stellen von 3,4 m (siehe Tabelle 1 – Anhang).

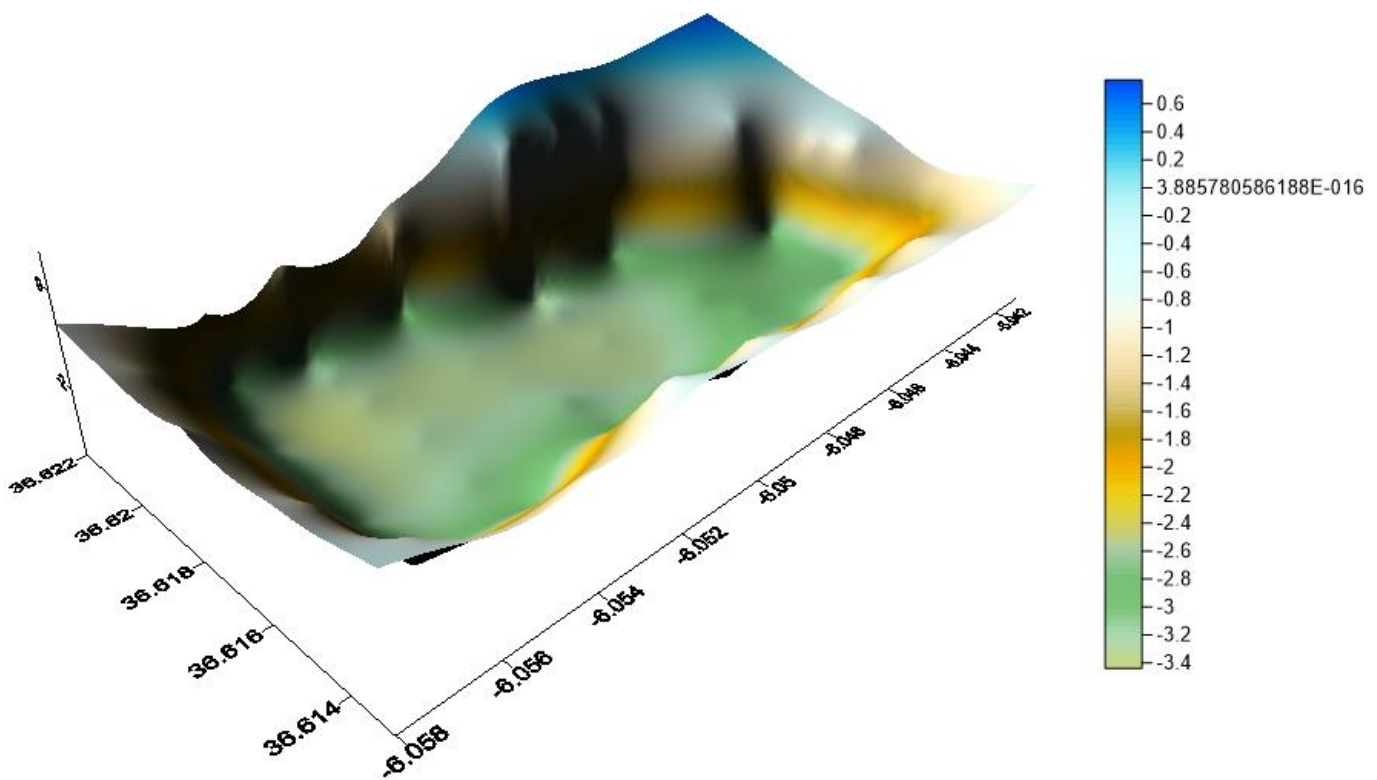


Abbildung 25: Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Südwesten betrachtet.

Quelle: Eigene Darstellung, mit „Surfer“ entworfen

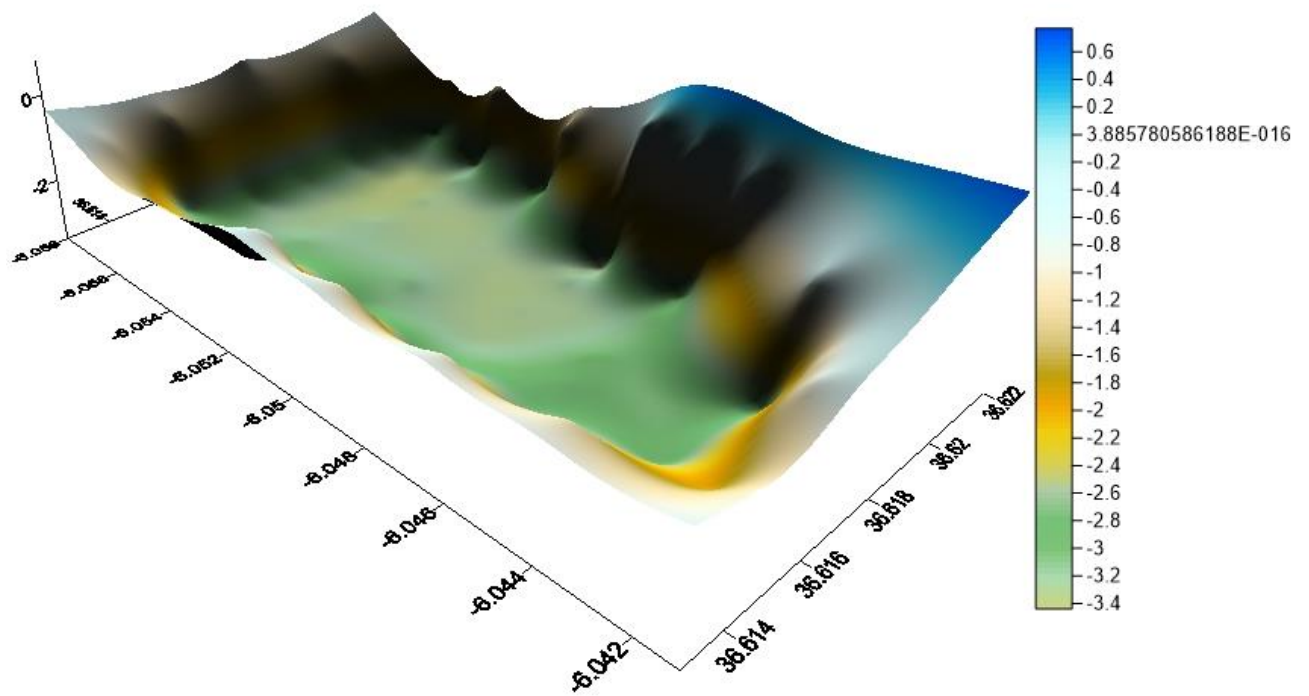


Abbildung 26: Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Südosten betrachtet.

Quelle: Eigene Darstellung, mit „Surfer“ entworfen

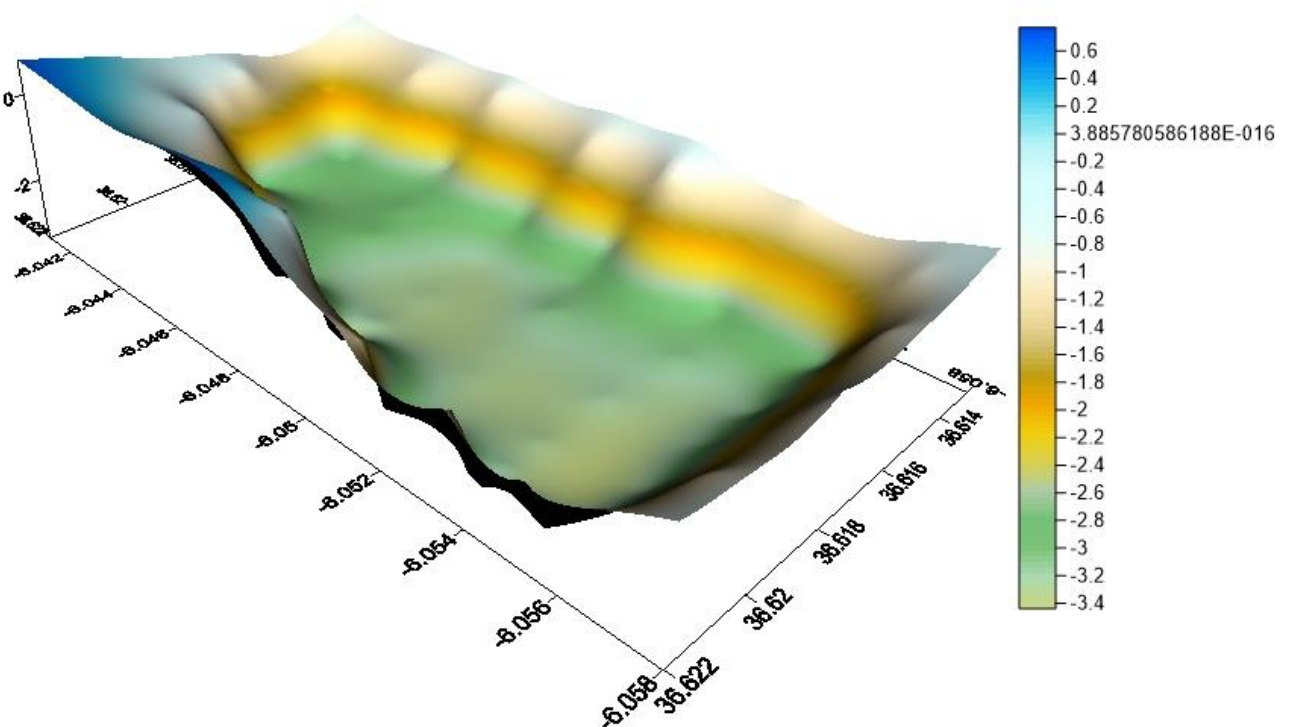


Abbildung 27: Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Nordwesten betrachtet.

Quelle: Eigene Darstellung, mit „Surfer“ entworfen

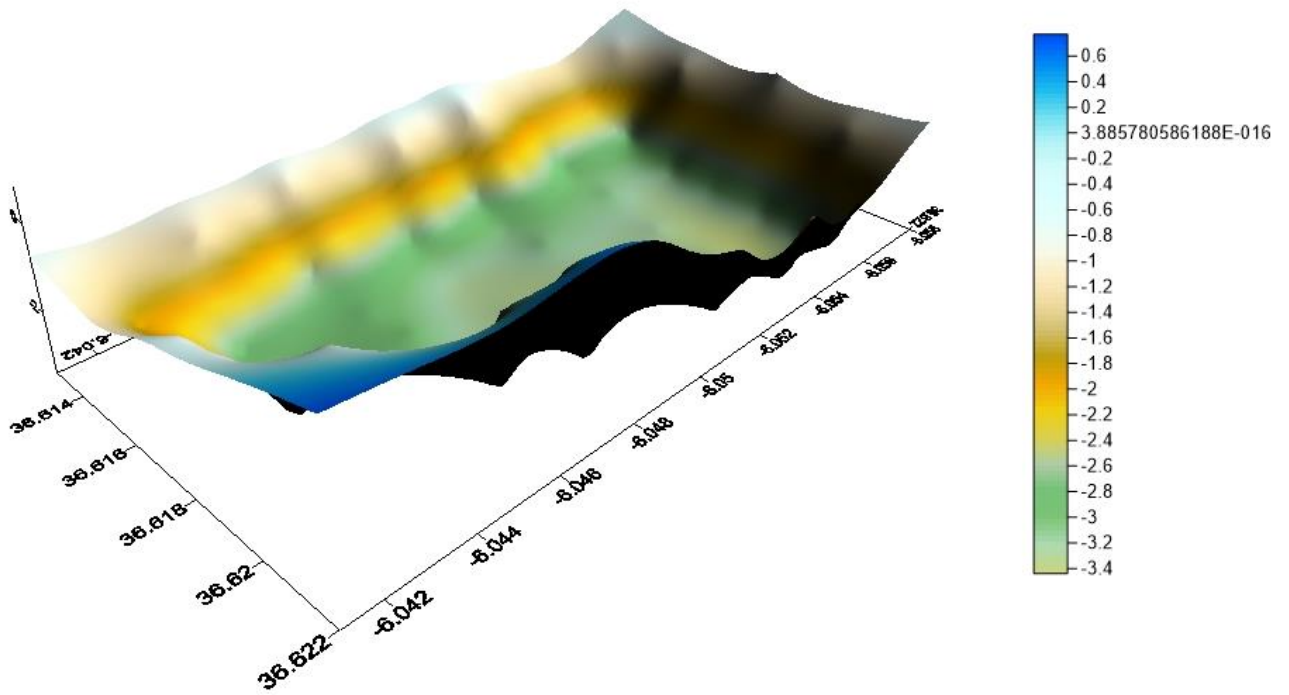


Abbildung 28: Bathymetrische Karte der Laguna de Medina mit Schattenrelief. Der See wird in der Abbildung von Nordosten betrachtet.

Quelle: Eigene Darstellung, mit „Surfer“ entworfen

## Interpretation

Betrachtet man die in die Laguna de Medina geplotteten Ergebnisse der CNS-Untersuchungen, so wird deutlich, dass die einzelnen Elemente auf der gesamten Fläche des Seebodens in keiner regelmäßigen Konzentration vorkommen.

Vielmehr wird deutlich, dass sich die Proben der Uferbereiche stellenweise deutlich von denen aus Mitte des Sees unterscheiden. Um dies zu verstehen, liegt es nahe, auch den Aufbau und das geologische Umfeld der Laguna de Medina zu betrachten.

Sowohl die Kohlenstoffgehalte in den Proben als auch die Stickstoffgehalte stehen in direktem Zusammenhang mit der Menge an organischem Material in den rezenten Seesedimenten, da Stickstoff in den mineralischen lakustrinen Sedimenten für gewöhnlich nicht vorkommt.

Hohe Kohlenstoff- und Stickstoffwerte sind somit ein direkter Indikator für eine hohe Menge an organischem Material (Meyers & Lallier-Vergès 1999).

Die Herkunft dieses organischen Materials lässt sich aus dem Verhältnis von organischem Kohlenstoff (TOC) zu Stickstoff ermitteln (siehe Tabelle 5 – Anhang). Dabei kann es sich sowohl um autochthone als auch um allochthone organische Materialien handeln. Bei autochthonen organischen Stoffen handelt es sich vorwiegend um Landpflanzen, während es sich bei den allochthonen Sedimentbestandteilen hauptsächlich um Algen oder organisches Material handelt welches durch beispielsweise durch Erosion in den See gelangte, auf den Seegrund sedimentierte und dort abgebaut wurde.

Die Verhältnisse von TOC und Stickstoff (TOC/TN) liegen dabei für allochthone Sedimentbestandteile zwischen 3 und 12 und für autochthone Materialien bei über 20 (Francke et al. 2013).

Demzufolge handelt es sich bei den organischen Stoffen in den meisten Proben um Material allochthoner Substanzen. Lediglich vereinzelte Proben, wie „Gc9“, „Gc10“ und „Gc54“ weisen Verhältnisse auf die 20 weit übersteigen (siehe Tabelle 5 – Anhang).

Betrachtet man die Lage, an denen diese Proben der Laguna de Medina entnommen wurden, so fällt auf, dass es sich dabei um Uferbereiche handelt, die auch unter Wasser von starken Pflanzenbewuchs überzogen sind. Dies erklärt das hohe Verhältnis von TOC und Stickstoff.

Die stellenweise hohen Kohlenstoffwerte im See sind dabei typisch für das semiaride Klima der Region, da es zu einem erhöhten Eintrag an organischem Material in den See führt (Meyers & Lallier-Vergès 1999).

Niedrige Verhältnisse von organischem Kohlenstoff und Schwefel lassen auf ein anoxisches Milieu schließen. Besonders hohe Verhältnisse, wie beispielsweise in den Uferproben „Gc41“, „Gc44“, „Gc46“ und „Gc50“, weisen auf sauerstoffreiches Sediment hin (Francke et al. 2013).

Hohe Schwefelgehalte einiger Seebodenproben sind hauptsächlich auf das im Sediment enthaltene Gips ( $\text{CaSO}_4$ ) zurückzuführen.

Betrachtet man die geologische Karte des Einzugsgebietes (Abbildung 9 – Seite 17), so stellt man fest, dass es sich bei den Triassedimenten um gipsreiche Evaporite handelt, welche durch Erosion in den See gespült werden.

Besonders gut ist die Auswirkung der Terrassensedimente, am nördlichen Ufer der Laguna de Medina, auf die Ergebnisse der Messungen zu erkennen.

Dieses Ufer weist im Gegensatz zum zentralen Bereich des Sees einen grobsandigen bis feinkiesigen Untergrund auf. Entsprechen wenige organische Bestandteile finden sich daher in den Proben aus diesem Teil des Sees (z.B. „Gc10“ und „Gc37“).

## Fazit

Ziel der Arbeit war es, die rezenten geochemischen Untersuchungsparameter sowie die Bathymetrie der Laguna de Medina, einem Salzsee in Südspanien, anschaulich darzustellen und zu interpretieren.

Diese Ziele wurden im Rahmen der angewendeten Methoden erreicht.

Die Erkenntnis über die chemische Zusammensetzung der rezenten lakustrinen Sedimente beim heutigen Klima lässt Vergleiche mit tieferen Schichten des Klimaarchivs des Sees zu. So ist es möglich, die chemische Zusammensetzung von Schichten aus den vergangenen Jahrtausenden mit der heutigen zu vergleichen und so Rückschlüsse über mögliche klimatische Veränderungen zu ziehen.

Zudem ergänzen die Informationen der Oberfläche die Daten der stratigraphischen Bohrung und bilden so ein räumliches Informationssystem im Hinblick auf die Geochemie der Laguna de Medina.

Im Folgenden wäre es aufschlussreich, die im Zusammenhang mit dieser Arbeit genommenen Proben auf ihre Korngröße zu untersuchen. Dies war nicht Thema dieser Arbeit, könnte aber im Vergleich mit entnommenen Bodenproben aus dem nahen Umfeld des Sees Informationen darüber geben, von wo wie viel Sediment aus der Umgebung durch Erosion in den See gelangt.

## Quellen

- Bernard, B., Bernard, H. & Brooks, J., 2004. Determination of Total Carbon, Total Organic Carbon and Inorganic Carbon in Sediments. *TDI-Brooks International/B&B Lab ...*, pp.1–5. Available at: [http://www.tdi-bi.com/analytical\\_services/environmental/NOAA\\_methods/TOC.pdf](http://www.tdi-bi.com/analytical_services/environmental/NOAA_methods/TOC.pdf).
- Breuer, T., 2008. Iberische Halbinsel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Casas-Sainz, a. M. & de Vicente, G., 2009. On the tectonic origin of Iberian topography. *Tectonophysics*, 474(1-2), pp.214–235.
- climate-data.org, Klima: Jerez de la Frontera  
URL: <http://images.climate-data.org/location/764492/climate-graph.png> (Aufruf: 25.10.2015)]
- Collaborative Research Centre 806; Coring campaign in Laguna de Medina and Laguna Salada, Cádiz, Southern Spain  
URL: <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> (Aufruf: 22.09.2015)
- Collaborative Research Centre 806, Our Way to Europe – Introduction  
URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/about> (Aufruf: 22.09.2015)
- Collaborative Research Centre 806, Overview – Projects  
URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects> (Aufruf: 22.09.2015)
- Collaborative Research Centre 806 -Overview Cluster C: The Western Mediterranean – Bridge or Barrier? URL: <http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php/projects/cluster-c> (Aufruf: 22.09.2015)
- Cloetingh, S. (2002). Lithospheric folding in Iberia. *Tectonics*. doi:10.1029/2001TC901031
- Elementar vario MICRO cube – Anleitung.  
URL:[http://www.gerberoutlook.ch/outlook2/docu\\_deutsch/elementar\\_vario\\_micro\\_cube\\_prospekt\\_d.pdf](http://www.gerberoutlook.ch/outlook2/docu_deutsch/elementar_vario_micro_cube_prospekt_d.pdf)
- Dallmeyer, R. D., Martinez-Garcia, E., & IGCP Project 233--Terranes in the Circum-Atlantic Paleozoic Orogens. (1990). Pre-Mesozoic geology of Iberia. Berlin: Springer-Verlag.
- Francke, a. et al., 2013. A Late Glacial to Holocene record of environmental change from Lake Dojran (Macedonia, Greece). *Climate of the Past*, 9(1), pp.481–498. Available at: <http://www.clim-past.net/9/481/2013/>.
- Gibbons, W. & Moreno, T., 2002. The Geology of Spain. *The Geological Society*.
- NATURE RESERVE LAGUNA DE MEDINA  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/ventana/mostrarFicha.do?idEspacio=7365&lg=EN> (Aufruf: 28.09.2015)
- Meyers, P. a. & Lallier-Vergès, E., 1999. Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21(3), pp.345–372.

- Palomeras, I. et al., 2009. Nature of the lithosphere across the Variscan orogen of SW Iberia: Dense wide-angle seismic reflection data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(2), pp.1–29.
- Platt, J.P. & Behrmann, J.H., 1986. Structures and fabrics in a crustal-scale shear zone, Betic Cordillera, SE Spain. *Journal of Structural Geology*, 8(1), pp.15–33.
- 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(6), pp.707–719.
- Schöneberg, R. & Neugebauer, J., 1997. Einführung in die Geologie Europas. Freiburg: Rombach Verlag.

## Anhang

Tabelle 1: Koordinaten aller in der Laguna de Medina genommenen Seebodenproben, samt der Wassertiefe an jener Stelle.  
An den in rot markierten Koordinaten war eine Probenahme nicht möglich.

ID	Hochwerte	Rechtswerte	Seetiefe
Gc1	36°37'04.4" N	006°03'12.8" W	3.25 m
Gc2	36°36'58.3" N	006°03'13.9" W	3.10 m
Gc3	36°36'53.1" N	006°03'13.3" W	2.90 m
Gc4	36°36'53.7" N	006°03'22.0" W	2.80 m
Gc5	36°36'59.7" N	006°03'21.0" W	3.10 m
Gc6	36°37'04.3" N	006°03'20.6" W	3.10 m
Gc7	36°37'09.8" N	006°03'20.4" W	3.20 m
Gc8	36°37'13.6" N	006°03'19.7" W	3.20 m
Gc9	36°37'17.7" N	006°03'18.9" W	2.90 m
Gc10	36°37'17.3" N	006°03'13.2" W	3.10 m
Gc11	36°37'14.4" N	006°03'12.8" W	3.20 m
Gc12	36°37'10.7" N	006°03'12.6" W	3.30 m
Gc13	36°37'16.8" N	006°03'04.8" W	2.90 m
Gc14	36°37'12.4" N	006°03'04.8" W	3.20 m
Gc15	36°37'08.7" N	006°03'04.9" W	3.30 m
Gc16	36°37'05.7" N	006°03'03.8" W	3.30 m
Gc17	36°37'00.0" N	006°03'04.0" W	3.10 m
Gc18	36°36'56.4" N	006°03'03.0" W	3.10 m
Gc19	36°36'52.8" N	006°03'03.2" W	2.70 m
Gc20	36°36'53.4" N	006°02'55.2" W	2.80 m
Gc21	36°36'59.3" N	006°02'55.4" W	3.30 m
Gc22	36°37'04.7" N	006°02'55.7" W	3.30 m
Gc23	36°37'09.7" N	006°02'55.7" W	3.20 m
Gc24	36°37'12.9" N	006°02'55.3" W	3.30 m
Gc25	36°37'12.2" N	006°02'47.5" W	2.90 m
Gc26	36°37'09.2" N	006°02'47.5" W	3.00 m
Gc27	36°37'06.2" N	006°02'47.4" W	3.10 m
Gc28	36°37'02.5" N	006°02'47.6" W	3.00 m
Gc29	36°36'58.5" N	006°02'46.9" W	2.90 m
Gc30	36°36'52.8" N	006°02'45.8" W	2.60 m
Gc31	36°36'56.6" N	006°02'37.2" W	2.90 m
Gc32	36°37'05.0" N	006°02'35.8" W	2.90 m
Gc33	36°37'19.3" N	006°03'18.9" W	1.60 m
Gc34	36°37'18.4" N	006°03'13.0" W	1.40 m
Gc35	36°37'17.4" N	006°03'04.3" W	1.40 m
Gc36	36°37'15.5" N	006°02'56.1" W	1.20 m
Gc37	36°37'15.3" N	006°02'54.9" W	0.20 m
Gc38	36°37'14.8" N	006°02'50.1" W	0.30 m
Gc39	36°37'14.5" N	006°02'50.2" W	1.10 m
Gc40	36°37'14.5" N	006°02'44.0" W	1.00 m



Gc41	36°37'14.9" N	006°02'44.8" W	0.30 m
Gc42	36°37'08.9" N	006°02'35.9" W	0.65 m
Gc43	36°37'04.2" N	006°02'32.3" W	1.15 m
Gc44	36°37'01.1" N	006°02'30.7" W	0.85 m
<b>Gc45</b>	<b>36°36'53.5" N</b>	<b>006°02'31.6" W</b>	<b>1.90 m</b>
Gc46	36°36'51.6" N	006°02'28.1" W	1.00 m
Gc47	36°36'50.0" N	006°02'39.0" W	1.15 m
Gc48	36°36'48.9" N	006°02'47.5" W	1.00 m
Gc49	36°36'49.7" N	006°02'57.9" W	1.10 m
Gc50	36°36'49.5" N	006°03'05.7" W	0.85 m
Gc51	36°36'46.7" N	006°03'15.0" W	0.95 m
Gc52	36°36'49.4" N	006°03'24.9" W	0.95 m
Gc53	36°36'55.9" N	006°03'26.5" W	1.15 m
Gc54	36°37'04.6" N	006°03'28.8" W	0.70 m
Gc55	36°37'13.5" N	006°03'26.4" W	1.20 m

Tabelle 2: Ergebnisse der CNS-Analyse. In gelb sind die Proben gekennzeichnet, welche ungewöhnlich hohe Konzentrationen aufweisen die eventuell nicht repräsentativ sind.

Run	Name	Einwaage	N-%	C-%	S-%	N-Blank	C-Blank	S-Blank
1	Blank	1	0.00	0.00	0.000	18.5	40.7	1199.354
2	EM3	5.01	0.03	1.43	0.034	18.5	40.7	1199.354
3	EM3	5.088	0.12	1.52	0.021	18.5	40.7	1199.354
4	<b>GC 1</b>	5.096	0.37	6.62	0.762	18.5	40.7	1199.354
5	<b>GC 2</b>	5.081	0.42	6.37	0.718	18.5	40.7	1199.354
6	<b>GC 3</b>	4.993	0.40	6.83	0.668	18.5	40.7	1199.354
7	<b>GC 4</b>	5.021	0.35	6.70	0.552	18.5	40.7	1199.354
8	<b>GC 5</b>	5.058	0.41	6.83	0.750	18.5	40.7	1199.354
9	<b>GC 6</b>	4.977	0.40	6.73	0.763	18.5	40.7	1199.354
10	<b>GC 7</b>	5.04	0.45	6.94	0.822	18.5	40.7	1199.354
11	<b>GC 8</b>	5.007	0.42	7.14	0.806	18.5	40.7	1199.354
12	<b>GC 9</b>	4.996	0.02	5.54	0.225	18.5	40.7	1199.354
13	<b>GC 10</b>	5.031	0.02	3.39	0.191	18.5	40.7	1199.354
14	ausheizen	1	0.07	0.00	0.110	18.5	40.7	1199.354
15	Blank	1	0.00	0.00	0.000	8.589991	64.44004	730.9913
16	EM2	5.012	0.69	8.83	0.620	8.589991	64.44004	730.9913
17	EM2	5.02	0.59	8.78	0.655	8.589991	64.44004	730.9913
18	ausheizen	1	0.09	0.04	0.171	8.589991	64.44004	730.9913
19	ausheizen	1	0.09	0.00	0.103	8.589991	64.44004	730.9913
20	<b>GC 11</b>	4.995	0.38	6.46	0.758	8.589991	64.44004	730.9913
21	<b>GC 12</b>	4.998	0.39	6.46	0.749	8.589991	64.44004	730.9913
22	<b>GC 14</b>	4.997	0.43	6.40	0.741	8.589991	64.44004	730.9913
23	<b>GC 15</b>	5	0.44	6.41	0.728	8.589991	64.44004	730.9913
24	<b>GC 16</b>	5.014	0.41	6.45	0.748	8.589991	64.44004	730.9913
25	<b>GC 17</b>	4.99	0.37	6.35	0.796	8.589991	64.44004	730.9913
26	<b>GC 18</b>	5.036	0.45	6.71	0.772	8.589991	64.44004	730.9913
27	<b>GC 19</b>	4.973	0.39	7.07	0.809	8.589991	64.44004	730.9913
28	<b>GC 20</b>	4.983	0.41	6.78	0.814	8.589991	64.44004	730.9913
29	<b>GC 21</b>	5	0.39	6.66	0.856	8.589991	64.44004	730.9913
30	ausheizen	1	0.12	0.00	0.284	8.589991	64.44004	730.9913
31	Blank	1	0.00	0.00	0.000	19.28999	69.22998	869.7585
32	LKSD3	5.003	0.43	4.74	0.172	19.28999	69.22998	869.7585
33	LKSD3	5.002	0.44	4.75	0.179	19.28999	69.22998	869.7585
34	ausheizen	1	0.08	0.00	0.136	19.28999	69.22998	869.7585
35	ausheizen	1	0.09	0.00	0.000	19.28999	69.22998	869.7585
36	<b>GC 22</b>	4.993	0.38	6.43	0.730	19.28999	69.22998	869.7585
37	<b>GC 23</b>	4.995	0.35	6.34	0.731	19.28999	69.22998	869.7585
38	<b>GC 24</b>	5.002	0.37	6.21	0.897	19.28999	69.22998	869.7585
39	<b>GC 25</b>	5.003	0.37	6.43	0.828	19.28999	69.22998	869.7585
40	<b>GC 26</b>	4.998	0.36	6.31	0.728	19.28999	69.22998	869.7585
41	<b>GC 27</b>	4.99	0.36	6.27	0.734	19.28999	69.22998	869.7585
42	<b>GC 28</b>	4.998	0.37	6.01	0.568	19.28999	69.22998	869.7585
43	<b>GC 29</b>	5.012	0.27	5.69	0.303	19.28999	69.22998	869.7585
44	<b>GC 30</b>	4.981	0.26	5.78	0.245	19.28999	69.22998	869.7585
45	<b>GC 31</b>	4.997	0.22	5.30	0.193	19.28999	69.22998	869.7585
46	ausheizen	1	0.00	0.00	0.000	19.28999	69.22998	869.7585
47	Blank	1	0.00	0.00	0.000	28.12002	64.77002	1118.545
48	EM5	5.019	1.20	15.16	0.423	28.12002	64.77002	1118.545
49	EM5	4.995	1.21	15.10	0.419	28.12002	64.77002	1118.545
50	ausheizen	1	0.00	0.01	0.000	28.12002	64.77002	1118.545
51	ausheizen	1	0.07	0.00	0.000	28.12002	64.77002	1118.545

52	<b>GC 32</b>	5.011	<b>0.36</b>	<b>6.58</b>	<b>0.768</b>	28.12002	64.77002	1118.545
53	<b>GC 37</b>	5.001	<b>0.00</b>	<b>1.82</b>	<b>0.115</b>	28.12002	64.77002	1118.545
54	<b>GC 38</b>	5.018	<b>0.08</b>	<b>1.86</b>	<b>0.086</b>	28.12002	64.77002	1118.545
55	<b>GC 41</b>	5.016	<b>0.15</b>	<b>4.65</b>	<b>0.080</b>	28.12002	64.77002	1118.545
56	<b>GC 42</b>	5.014	<b>0.25</b>	<b>3.03</b>	<b>0.115</b>	28.12002	64.77002	1118.545
57	<b>GC 43</b>	4.992	<b>0.17</b>	<b>3.32</b>	<b>0.138</b>	28.12002	64.77002	1118.545
58	<b>GC 44</b>	5.004	<b>1.46</b>	<b>23.86</b>	<b>1.025</b>	28.12002	64.77002	1118.545
59	<b>GC 46</b>	5.013	<b>0.25</b>	<b>5.25</b>	<b>0.137</b>	28.12002	64.77002	1118.545
60	<b>GC 47</b>	4.991	<b>0.23</b>	<b>5.47</b>	<b>0.145</b>	28.12002	64.77002	1118.545
61	<b>GC 48</b>	4.997	<b>0.00</b>	<b>5.69</b>	<b>0.070</b>	28.12002	64.77002	1118.545
62	ausheizen	1	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.000</b>	28.12002	64.77002	1118.545
63	Blank	1	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.000</b>	2.83999	58.14004	694.6219
64	EM4	5.005	<b>0.27</b>	<b>2.27</b>	<b>0.044</b>	2.83999	58.14004	694.6219
65	EM4	5.004	<b>0.22</b>	<b>2.17</b>	<b>0.046</b>	2.83999	58.14004	694.6219
66	<b>GC 49</b>	4.996	<b>0.35</b>	<b>9.30</b>	<b>0.357</b>	2.83999	58.14004	694.6219
67	<b>GC 50</b>	5.04	<b>0.38</b>	<b>10.76</b>	<b>0.307</b>	2.83999	58.14004	694.6219
68	<b>GC 51</b>	4.983	<b>0.44</b>	<b>10.51</b>	<b>0.292</b>	2.83999	58.14004	694.6219
69	<b>GC 52</b>	4.988	<b>0.20</b>	<b>6.53</b>	<b>0.204</b>	2.83999	58.14004	694.6219
70	<b>GC 53</b>	4.991	<b>0.35</b>	<b>7.83</b>	<b>1.591</b>	2.83999	58.14004	694.6219
71	<b>GC 54</b>	5.002	<b>0.02</b>	<b>4.66</b>	<b>0.146</b>	2.83999	58.14004	694.6219
72	<b>GC 55</b>	5.011	<b>1.54</b>	<b>42.61</b>	<b>1.323</b>	2.83999	58.14004	694.6219

Tabelle 3: Ergebnisse der Messung an gesamten anorganischen Kohlenstoff (TIC)

TIC					Resultat	
	Probenname	Einwaage Probe	Einwaage Dest. Wasser	Messwert	mg/kg	[%]
1	blank	0.0mg	0.00	0.41	#DIV/0!	#DIV/0!
2	EM4-1	38.4mg	10.12	9.49	2500	0.25
3	GC1	33.0mg	10.33	144.76	45306	4.53
4	GC2	34.5mg	10.31	148.24	44318	4.43
5	GC3	35.3mg	10.21	163.1	47196	4.72
6	GC4	35.2mg	10.76	158.34	48404	4.84
7	GC5	35,0mg	10.13	152.09	44014	4.40
8	Ge6	35,8mg	10.02	148.16	41486	4.15
9	GC7	33.0mg	10.00	152.63	46241	4.62
10	GC8	35.4mg	10.06	173.65	49362	4.94
11	EM4-2	35.8mg	10.07	10.26	2887	0.29
12	GC9	37.6mg	10.18	146.61	39688	3.97
13	GC10	35.0mg	10.76	76.43	23490	2.35
14	GC11	32.8mg	10.01	142.06	43348	4.33
15	GC12	32.1mg	10.00	138.47	43156	4.32
16	GC14	32.8mg	10.36	135.96	42923	4.29
17	GC15	37.3mg	10.00	156.44	41920	4.19
18	GC16	34.1mg	9.99	145.35	42582	4.26
19	GC17	35.7mg	10.06	155	43673	4.37
20	EM2-1	34.0mg	10.03	7.02	2070	0.21
21	GC18	35.2mg	10.32	153.37	44980	4.50
22	GC19	37.7mg	10.01	172.59	45838	4.58
23	GC20	34.8mg	10.04	154.6	44617	4.46
24	GC21	34.5mg	10.69	154.58	47886	4.79
25	GC22	34.4mg	10.01	149.5	43486	4.35
26	GC23	34.4mg	10.01	135.7	39478	3.95
27	GC24	35.9mg	10.39	136.1	39397	3.94
28	GC25	34.2mg	10.02	148.69	43557	4.36
29	GC26	34.7mg	10.06	146.12	42342	4.23
30	EM2-2	34.0mg	10.35	5.69	1732	0.17
31	GC27	36.1mg	10.03	149.42	41497	4.15
32	GC28	34.9mg	10.28	143.78	42341	4.23
33	GC29	37.2mg	10.11	147.36	40033	4.00
34	GC30	38.0mg	10.00	160.52	42260	4.23
35	GC31	35.1mg	10.01	132.89	37910	3.79
36	GC32	35.1mg	10.05	141.13	40418	4.04
37	GC37	36.0mg	10.00	53.26	14793	1.48
38	EM5	34.0mg	9.99	7.72	2268	0.23
39	Ge41	36.0mg	10.00	24.06	6686	0.67
40	GC42	36.3mg	10.05	17.83	4936	0.49
41	GC43	36.0mg	10.08	58.97	16513	1.65
42	GC44	35.9mg	10.01	104.71	29193	2.92
43	GC46	36.0mg	10.03	124.5	34698	3.47
44	GC47	34.4mg	10.43	123.5	37436	3.74
45	GC48	37.3mg	9.99	230.76	61821	6.18
46	LKSD3	33.6mg	10.01	1.92	572	0.06
47	GC49	34.9mg	10.02	191.11	54895	5.49
48	GC50	35.3mg	10.19	207.28	59825	5.98
49	GC51	36.8mg	10.35	149.89	42164	4.22
50	GC52	36.9mg	10.16	173.18	47681	4.77
51	GC53	35.2mg	10.17	116.78	33749	3.37
52	GC54	32.8mg	10.02	139.46	42609	4.26
53	GC55	35,7mg	10.02	10.49	#WERT!	#WERT!

Tabelle 4: Ergebnisse der Messung an gesamten organischen Kohlenstoff (TOC)

TOC					Resultat	
	Probenname	Einwaage Probe	Einwaage Dest. Wasser	Messwert	mg/kg	[%]
	blank	0.0mg	0.00	0.64	#DIV/0!	#DIV/0!
	EM4-1	38.4mg	10.12	73.97	19489	1.95
	GC1	33.0mg	10.33	73.11	22881	2.29
	GC2	34.5mg	10.31	90.12	26942	2.69
	GC3	35.3mg	10.21	90.27	26121	2.61
	GC4	35.2mg	10.76	75.16	22976	2.30
	GC5	35.0mg	10.13	93.00	26913	2.69
	GC6	35.8mg	10.02	91.30	25565	2.56
	GC7	33.0mg	10.00	88.88	26927	2.69
	GC8	35.4mg	10.06	87.71	24932	2.49
	EM4-2	35.8mg	10.07	74.94	21084	2.11
	GC9	37.6mg	10.18	27.21	7366	0.74
	GC10	35.0mg	10.76	19.16	5889	0.59
	GC11	32.8mg	10.01	80.00	24411	2.44
	GC12	32.1mg	10.00	82.50	25713	2.57
	GC14	32.8mg	10.36	87.03	27475	2.75
	GC15	37.3mg	10.00	101.38	27166	2.72
	GC16	34.1mg	9.99	95.77	28057	2.81
	GC17	35.7mg	10.06	95.76	26981	2.70
	EM2-1	34.0mg	10.03	283.19	83504	8.35
	GC18	35.2mg	10.32	100.80	29562	2.96
	GC19	37.7mg	10.01	109.12	28981	2.90
	GC20	34.8mg	10.04	95.47	27552	2.76
	GC21	34.5mg	10.69	84.22	26090	2.61
	GC22	34.4mg	10.01	95.52	27784	2.78
	GC23	34.4mg	10.01	94.71	27553	2.76
	GC24	35.9mg	10.39	83.05	24041	2.40
	GC25	34.2mg	10.02	99.08	29024	2.90
	GC26	34.7mg	10.06	92.88	26914	2.69
	EM2-2	34.0mg	10.35	301.12	91641	9.16
	GC27	36.1mg	10.03	94.24	26172	2.62
	GC28	34.9mg	10.28	83.71	24651	2.47
	GC29	37.2mg	10.11	78.38	21293	2.13
	GC30	38.0mg	10.00	82.63	21754	2.18
	GC31	35.1mg	10.01	67.72	19319	1.93
	GC32	35.1mg	10.05	125.11	35830	3.58
	GC37	36.0mg	10.00	22.73	6313	0.63
	EM5	34.0mg	9.99	564.96	165999	16.60
	GC41	36.0mg	10.00	53.34	14823	1.48
	GC42	36.3mg	10.05	91.87	25433	2.54
	GC43	36.0mg	10.08	59.82	16751	1.68
	GC44	35.9mg	10.01	889.90	248106	24.81
	GC46	36.0mg	10.03	89.46	24932	2.49
	GC47	34.4mg	10.43	64.59	19579	1.96
	GC48	37.3mg	9.99	12.36	3311	0.33
	LKSD3	33.6mg	10.01	176.16	52458	5.25
	GC49	34.9mg	10.02	164.48	47246	4.72
	GC50	35.3mg	10.19	187.61	54148	5.41
	GC51	36.8mg	10.35	198.46	55827	5.58
	GC52	36.9mg	10.16	100.64	27709	2.77
	GC53	35.2mg	10.17	202.12	58413	5.84
	GC54	32.8mg	10.02	47.77	14595	1.46
	GC55	35,7mg	10.02	1283.79	#WERT!	#WERT!

Tabelle 5: Darstellung der TOC/TN - und TOC/TS - Verhältnisse

ID	TOC/TN	TOC/TS
Gc1	6.23071827	3.00188694
Gc2	6.49126764	3.75120541
Gc3	6.60910904	3.91078675
Gc4	6.49976915	4.15872228
Gc5	6.52049196	3.58883562
Gc6	6.38946977	3.35026503
Gc7	5.97994586	3.27472471
Gc8	5.94093887	3.09334665
Gc9	34.2350488	3.27823835
Gc10	31.3395308	3.08112485
Gc11	6.383891	3.22013662
Gc12	6.54787618	3.43195433
Gc14	6.45397071	3.70720163
Gc15	6.20787184	3.7319246
Gc16	6.79709719	3.74944211
Gc17	7.2021334	3.39076354
Gc18	6.62441134	3.83096938
Gc19	7.3524265	3.58296352
Gc20	6.79529194	3.3846871
Gc21	6.70935349	3.04725972
Gc22	7.29621647	3.80600726
Gc23	7.84823297	3.76975336
Gc24	6.57434176	2.67900916
Gc25	7.7554871	3.50493218
Gc26	7.47241941	3.69783222
Gc27	7.2108592	3.56492507
Gc28	6.67012645	4.34200313
Gc29	7.96240393	7.03818375
Gc30	8.24695649	8.87073228
Gc31	8.83710917	9.98951138
Gc32	9.85771992	4.66467918
Gc37	ungültig	5.50548335
Gc41	9.69272685	18.5729113
Gc42	10.1525521	22.1537023
Gc43	9.90610888	12.1408527
Gc44	16.9464649	24.2060511
Gc46	10.0507435	18.1783902
Gc47	8.68364483	13.4824638
Gc48	ungültig	4.71642533
Gc49	13.4547093	13.2185113
Gc50	14.176389	17.6435389
Gc51	12.8261189	19.095208
Gc52	13.5489197	13.5976595
Gc53	16.8614429	3.67119195
Gc54	61.2057782	9.98685533

Datenträger mit E-Version der Arbeit