

## **Geochemische Signaturen oberflächennaher Sedimente des Zafarraya-Poljes**

### **Geochemical signatures of shallow Zafarraya-Polje sediments**

Arbeit zur Erlangung des Grades

Bachelor of Science

**Markus Schramm**

281316

September 2010

Rheinisch – Westfälische Technische Hochschule Aachen, RWTH

Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik

Lehr- und Forschungsgebiet für Neotektonik und Georisiken

Betreuer: Prof. Dr. Klaus Reicherter

Dr. Martin Kehl

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Geochemische Signaturen oberflächennaher Sedimente des Zafarraya-Poljes“ selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Jegliche Quellen, aus denen direkt oder indirekt Informationen entnommen oder aus denen wörtlich zitiert wurde, sind als solche kenntlich gemacht.

---

Markus Schramm

(Ort, Datum)

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Bachelorarbeit thematisiert die Analyse der während der Feldkampagne 2010 in dem Zafarraya-Polje, Südspanien (Provinz Granada), erfassten Daten. Das Ziel war es, mit Hilfe der durch Rammkernsondierung gesammelten Ergebnisse, Aussagen hinsichtlich der dort vorherrschenden Paläoumweltbedingungen treffen zu können. Schwerpunktmäßig wurden die geochemischen Zusammensetzungen der Böden mit ihrer magnetischen Suszeptibilität korreliert. Die Rammkernsondierungen lieferten durchweg gute bis sehr gute Ergebnisse, sodass größtenteils detaillierte Aussagen hinsichtlich der Bodenbeschaffenheiten getroffen werden konnten. Demnach wurde aller Voraussicht nach verwitterter Mergelkalk aus dem Tertiär angebohrt. Des Weiteren zeigen sich in einigen Profilen deutliche Wechsellagerungen, die auf klimatische Schwankungen hindeuten, wobei die Daten jedoch erst in Verbindung mit einer Altersdatierung aussagekräftig werden.

## **Abstract**

The present Bachelor thesis deals with the analysis of the data collected in the Zafarraya-Polje, Spain (province Granada), during the field campaign 2010. The intention was to get conclusions about the palaeoenvironmental conditions based on the results of window sampling. The main emphasis was to correlate the geochemical soil composition with the magnetic susceptibility. The window samplings achieved promising results, so that detailed statements regarding to the ground conditions could be made. In all likelihood, weathered tertiary argillaceous limestone was drilled. Furthermore, in some profiles interbedded strata are shown which indicate climatic fluctuations. But these data would only become significant in conjunction to an age determination.

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse .....	5
1 Einleitung .....	8
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	8
1.2 Projektvorstellung .....	8
2 Charakteristiken des Untersuchungsgebietes.....	10
2.1 Geographische Einordnung .....	10
2.2 Zonobiom .....	11
2.2.1 Klima .....	11
2.2.2 Vegetation und Landnutzung .....	11
2.2.3 Boden.....	12
2.2.4 Relief .....	12
2.3 Geologie.....	13
2.3.1 Südspanien.....	13
2.3.2 Polje von Zafarraya .....	16
3 Methodik.....	18
3.1 Rammkernsondierung.....	18
3.2 Probenvorbehandlung .....	20
3.3 Röntgenfluoreszenzanalyse.....	21
3.4 Magnetische Suszeptibilität .....	25
4 Ergebnisse .....	27
4.1 Bohrkern 2 .....	27
4.2 Bohrkern 3 .....	31

4.3 Bohrkern 7 .....	33
4.4 Bohrkern 8 .....	36
4.5 Bohrkern 11 .....	38
4.6 Handproben .....	41
5 Auswertung .....	42
6 Diskussion .....	45
7 Fazit.....	48
8 Danksagung.....	49
9 Literaturverzeichnis.....	50
Anhang.....	52

# Verzeichnisse

## **1. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1.2-1, West- und Ostroute von Afrika nach Europa, Collaborative Research Center 806 (2010) .....	9
Abbildung 1.1-1, Spanien mit der Hauptstadt, dem Untersuchungsgebiet und den benachbarten Staaten im Überblick, Google Earth (2009) .....	10
Abbildung 2.3-1, geologische Unterteilung der Betischen Kordilleren, Reicherter und Peters (2005).....	11
Abbildung 2.3.2-1, geologische Übersichtskarte von Zafarraya, Daten von Elorza et al. (1978), verändert nach Schramm (2010) .....	16
Abbildung 2.3.2, -C zeigt die digitalisierte Zafarraya- Störung, -D zeigt ein Foto der Störung westlich von Ventas de Zafarraya, Galindo-Zaldívar, J. et al. (2003) .....	16
Abbildung 2.3.2-2, stratigraphische Einheit von Zafarraya, Daten von Elorza et al. (1978), verändert nach Schramm (2010) .....	17
Abbildung 3.1-1, Übersichtskarte von Zafarraya mit den Bohrpunkten 2,3,7,8 und 11, Google Earth (2009) .....	20
Abbildung 3.3-1, Emission der charakteristischen Röntgenstrahlung, Winklmaier (2009) .....	23
Abbildung 2.3-2, Auger-Effekt, Winklmaier (2009).....	23
Abbildung 3.3-3, Prinzip der RFA, Scheer (2009) .....	24
Abbildung 4.1-1, Bohrpunkt Zwei in der Mitte des Schwemmfächers, Koordinaten: 30S 398273, UTM:4093788, Google Earth (2009).....	27
Abbildung 4.2-1, Bohrpunkt Drei im Süden des Schwemmfächers, Google Earth (2009) .....	31
Abbildung 4.3-1, Bohrpunkt Sieben im Osten des Schwemmfächers, Rechtswert: W 4,13967°, Hochwert: N 36.08220 °, Google Earth (2009) .....	34

Abbildung 4.4-1, Bohrpunkt Acht südlich des Ponors, Rechtswert: W 4.15287°, Hochwert: N 36.98771°, Google Earth (2009)..... 36

Abbildung 4.5-1, Bohrpunkt Elf östlich von Ventas de Zafarraya, Rechtswert: W 4.10613°, Hochwert: N 36.96156°, Google Earth (2009) ..... 38

## 2. Diagramme

Diagramm 2.2.1-1, Klimadiagramm von Ventas de Zafarraya, nach Axarquía, El Medio Natural (2005)..... 11

Diagramm 4.1-2, Kaliumkonzentration im Bohrkern Zwei über die Teufe ..... 29

Diagramm 4.1-3, links die Strontiumkonzentration und rechts die Kalziumkonzentration im Bohrkern Zwei über die Teufe..... 29

Diagramm 4.1-4, MagSus im Bohrkern Zwei über die Teufe..... 30

Diagramm 4.2-2 Mangankonzentration in Bohrkern Drei über die Teufe ..... 32

Diagramm 4.2-3, Kalziumkonzentration im Bohrkern Drei über die Teufe..... 32

Diagramm 4.2-4, MagSus im Bohrkern Drei über die Teufe ..... 33

Diagramm 4.3-2, Titankonzentration im Bohrkern Sieben über die Teufe mit polynomischer Trendlinie ..... 34

Diagramm 4.3-3, Konzentrationsverhältnis von Eisen und Titan im Bohrkern Sieben über die Teufe ..... 35

Diagramm 4.3-4, MagSus im Bohrkern Sieben über die Teufe..... 35

Diagramm 4.4-2, Eisenkonzentration im Bohrkern Acht über die Teufe ..... 37

Diagramm 4.4-3, Kaliumkonzentration im Bohrkern Acht über die Teufe mit polynomischer Trendlinie ..... 37

Diagramm 4.5-2, Silizium- und Kalziumkonzentrationen im Bohrkern Elf über die Teufe ..... 39

Diagramm 4.5-3, Strontiumkonzentration im Bohrkern Elf über die Teufe.....	40
Diagramm 4.5-4, Titankonzentration im Bohrkern Elf über die Teufe .....	40
Diagramm 4.5-5, MagSus im Bohrkern Elf über die Teufe .....	40
Diagramm 4.6-1, Aluminiumkonzentrationen der verschiedenen Handproben .....	42
Diagramm 4.6-2, Eisenkonzentrationen der verschiedenen Handproben.....	42
Diagramm 4.6-3, MagSus der drei verschiedenen Probenarten.....	42



# **1 Einleitung**

## **1.1 Motivation und Zielsetzung**

Die vorliegende Bachelorarbeit behandelt die Untersuchung und Interpretation von Daten aus dem Polje von Zafarraya, Südspanien, welche während der Spanien-Geländekampagne vom 7. bis 26. März 2010 erhoben wurden. Sie wurden in diesem Zeitraum in Zafarraya (Provinz Granada), in der autonomen Gemeinschaft Andalusien, erfasst. Ziel sind insbesondere Schichtungen in oberflächennahen Sedimenten, aus welchen Rückschlüsse auf frühere Umweltbedingungen (Ziel ca. 10 000a) gezogen werden können.

Zur Analyse werden geophysikalische und sedimentologische Methoden eingesetzt.

Veranstalter war das Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Reicherter und Dr. Martin Kehl vom geographischen Institut der Universität zu Köln. Die Geländearbeiten wurden im Rahmen des Kölner Projektes „Sonderforschungsbereich 806 – Cluster C1“ durchgeführt.

## **1.2 Vorstellung des Projektes**

Der Sonderforschungsbereich 806 „Unser Weg nach Europa: Kultur-Umwelt-Interaktion und menschliche Mobilität im späten Quartär“ wird geleitet von der Universität zu Köln unter der Beteiligung der Universität Bonn, der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und des Neanderthal Museums in Mettmann, Nordrhein-Westfalen.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Projekt mit finanziellen Mitteln.

Ziel des Projektes ist es, sich mit der Mobilität von Populationen in den letzten 190 000a auseinanderzusetzen. Das Kernziel ist, präzisere Erkenntnisse über die Kultur-Umwelt-Interaktionen des modernen Menschen auf dem Weg von Afrika nach Europa zu erlangen. Der Fokus wird dabei auf die Wechselwirkungen von Umweltbedingungen, sozialen, demographischen und wirtschaftlichen Aspekten gelegt. Archäologische, terrestrische und aquatische Archive sollen bei den Untersuchungen dieser Wechselwirkungen behilflich sein. Die Korrelation von geowissenschaftlichen Untersuchungen mit geo-archäologischen Funden

soll mögliche Zusammenhänge aufdecken. Die Forschung ist ausgerichtet auf eine Zeitspanne zwischen der Ausbreitung des modernen Menschen aus Afrika (190 000 a v.H.) bis zu seiner dauerhaften Sesshaftigkeit in Zentraleuropa (40 000 a v.H.).

*Cluster C „The Western Mediterranean – Bridge or Barrier?“*

Das Cluster C beinhaltet Analysen über die Korrelation von kulturellen Veränderungen und Völkerwanderungen im Bezug auf klimatische Veränderungen, wozu sowohl geowissenschaftliche, als auch archäologische Methoden herbei gezogen werden. Das



Abbildung 1.2-1, West- und Ostroute von Afrika nach Europa, Collaborative Research Center 806 (2010)

Untersuchungsgebiet ist die West-Route über die Straße von Gibraltar, welches sich von Nord-Afrika bis Südwest-Europa erstreckt (Abb. 1.2-1, I.). Aufgrund der Klimavielfalt im Pleistozän und den geologischen Bedingungen dieser Region, ist dieses Gebiet hervorragend für die Erforschung von Umweltveränderungen und den daraus resultierenden Folgen für den Menschen geeignet.

*Cluster C1 „Continuity or Discontinuity? Patterns of Land Use and Climatic Changes in the Late Pleistocene of the Iberian Peninsula“*

Eine Vielzahl von Beweisen deutet darauf hin, dass die Iberische Halbinsel eine Schlüsselrolle im Wechsel vom Neandertaler zum anatomisch modernen Menschen in Europa spielt. Klimatisch diverse Regionen bildeten einen wichtigen Einfluss auf das Niederlassungsverhalten und die Bevölkerungsdynamik, wodurch der Neandertaler eine ökologische Nische besetzen konnte. Klimaveränderungen wurden in terrestrischen Geoarchiven gespeichert und dienen heute für Untersuchungen. Ziel ist es, ein dichtes Datennetz durch erneute Untersuchungen von stratigraphischen Sequenzen zu errichten.

Die Geländekampagne im Frühjahr 2010 ist ein Teilaspekt dieser Untersuchungen und fokussiert das Ziel, parallele Schichtungen, mithilfe von geophysikalischen und sedimentologischen Untersuchungsmethoden zu finden, um Aussagen über die Bodenbildung zu treffen.

## **2 Charakteristiken des Untersuchungsgebietes**

### **2.1 Geographische Einordnung**

Das Königreich Spanien (zwischen 36° und 43,5° nördlicher Breite sowie 9° und 3° östlicher Länge) mit einer Gesamtfläche von 504645 km<sup>2</sup> (FISCHER, 2009) liegt auf der Iberischen Halbinsel in Südeuropa. Im Nordosten grenzt es an Frankreich und Andorra, im Westen an Portugal und im Süden, getrennt durch die Straße von Gibraltar, an Marokko. Die größte Erhebung des Festlandes bildet der Mulhacén (3482 m ü. NN) in der Sierra Nevada. Den niedrigsten Punkt im Land liefert der Atlantische Ozean (0 m) (CIA, 2010).

Das Untersuchungsgebiet, das Polje von Zafarraya, gehört zur Provinz Granada und befindet sich in der autonomen Gemeinschaft Andalusien in Südostspanien (Abb. 2.1-1, u.). Es liegt südlich der Sierra Gorda auf etwa 890m ü. NN und weist eine Fläche von etwas 22km<sup>2</sup> auf. In der Länge (N-S) erreicht es eine maximale Ausdehnung von 3,5km, in der von Osten nach Westen verlaufenden Breite mit 10km sogar fast das Dreifache. Entwässert wird das stark



verkarstete Gebiet durch mehrere Ponore, welche das Wasser unterirdisch aus dem von Kalkstein umgebenen Gebiet leiten (LÓPEZ-CHICANO ET AL., 2002).

Abbildung 3.1-1, Spanien mit der Hauptstadt, dem Untersuchungsgebiet und den benachbarten Staaten im Überblick, Google Earth (2009)

## 2.2 Zonobiom

### 2.2.1 Klima

Das Klima im Untersuchungsgebiet kann den „winterfeuchten“ (mediterranen) Subtropen mit sommerlicher Trockenzeit aufgrund der subtropisch-randtropischen Hochdruckgebiete und winterlicher feuchter Abkühlung, zugeordnet werden. Im Winter verlagern sich Luftdruckzellen in Richtung des Äquators, so dass sich das Wettergeschehen der Mittelbreiten mit ergiebigem Niederschlag durchsetzt (SCHULTZ, 2000). Dies bedeutet, dass in Südspanien trockene Sommer und relativ milde, feuchte Winter mit wenig bis keinem Schneefall vorherrschen.

In Ventas de Zafarraya belaufen sich die Jahresdurchschnittstemperaturen auf 12,6°C und die durchschnittliche Niederschlagsmenge auf 84,6 mm/a (Diagr. 2.2.1-1, u.).

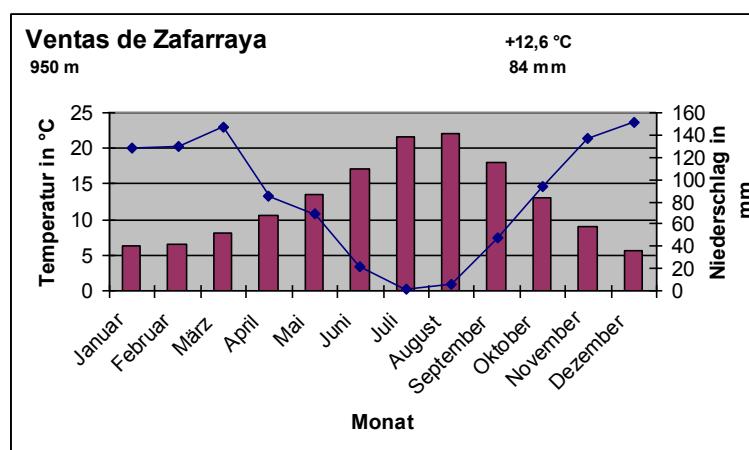


Diagramm 2.2.1-1, Klimadiagramm von Ventas de Zafarraya, Rafael Y. R. (2005)

### 2.2.2 Vegetation und Landnutzung

Die zonale Vegetation des mediterranen Raumes ist durch Klimaveränderungen im Tertiär entstanden. Ursprünglich vermutete man in Südspanien immergrüne Hartlaubgewächse und Nadelhölzer. Anthropogene Eingriffe erschweren allerdings die Bestimmung der ursprünglichen Vegetation. Olivenbäume und Mandelbäume dominieren das Landschaftsbild (SCHULTZ, 2000). An steilen Hängen mit flachgründigen Böden wachsen Macchien, eine sekundär entstandene Buschformation (WALTER & BRECKLE, 1999).

Das Polje von Zafarraya wird überwiegend für die Landwirtschaft genutzt. Mischkulturen wie Weizen, Artischocken, Oliven- und Mandelbäume prägen das Landschaftsbild des Poljes von Zafarraya. Wegen der sommerlichen Trockenheit muss ein Großteil der Pflanzen bewässert werden.

### 2.2.3 Boden

Bei den Böden in Südspanien handelt es sich hauptsächlich um braune mediterrane Böden wie Terra rossa (Chromic Cambisole). Diese lessivierten Böden bilden sich überwiegend auf Karbonatgestein und sind meist basenreich sowie humusarm. Weitere Merkmale dieser Böden sind die Entkalkung im Oberboden, die sekundäre Tonanreicherung im Unterboden sowie die durch Hämatit-Bildung verursachte Rotfärbung und ein enorm hoher Tongehalt (BLUME, 2010).

Negativaspekte sind die geringe Mächtigkeit, welche in Verbindung mit dem darunterliegenden Kalkstein und hoher Reliefenergie zu starker Erosion und vielen Rutschungen führt. Außerdem kann der Boden im Sommer leicht austrocknen.

### 2.2.4 Relief

Das untersuchte Gebiet umfasst ein Becken mit einer Ausdehnung von 10 km in der Länge und 3,5 km in der Breite mit einem fast ebenen Sohlenboden, welcher in Richtung Westen mit 0,4% Steigung abfällt. Umringt wird es von etwa 2100 m hohen Gebirgsformationen, der Sierra Tejada (LÓPEZ-CHICANO, 2001). Die Wannenform, die steilen Ränder sowie die Entwässerung durch Ponore, weisen eindeutig auf ein Polje hin (GAMS, 1978). Auch das Alluvium auf dem ebenen Sohlenboden kann als Charakteristikum eines Poljes hinzugefügt werden (GOUDIE, 2004).

## 2.3 Geologie

### 2.3.1 Südspanien

In der alpidischen Orogenese entstanden die Betischen Kordilleren während der Oberkreide und dem Tertiär aufgrund der Nord-Süd Konvergenz der eurasischen und der afrikanischen Platten. Sie erstrecken sich über etwa 600 km entlang der südlichen Küste der iberischen Halbinsel und werden in drei Segmente untergliedert, welche sich bezüglich Lithologie und

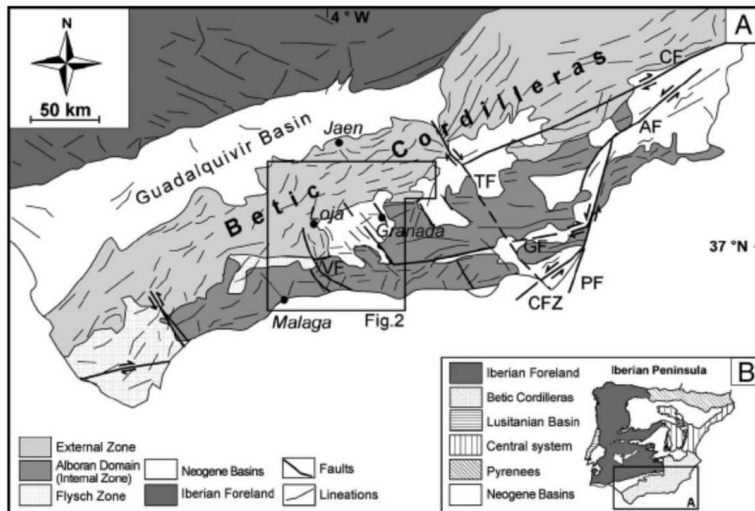


Abbildung 2.3-1, geologische Unterteilung der Betischen Kordilleren, Reicherter und Peters (2005)

tektonischer Stellung grundlegend voneinander unterscheiden (Abb. 2.3-1, I.): Die Internzone im Süden, die nördlich gelegene Externzone und die Neogenen Becken (AZANÓN et al, 2002).

Die Internzone kann aufgrund der unterschiedlichen Metamorphosegrade in drei

unterschiedliche Komplexe von Nord nach Süd aufgespalten werden: der Nevado-Filábride Komplex NFK (obere Grünschiefer-Amphibolitfazies), der Ballabona-Cucharon Komplex BCK, der Alpujárride Komplex AK (untere Grünschieferfazies) und der Maláguide Komplex MK. (AZANÓN et al., 2002). Die Metamorphose nimmt hierbei von Norden nach Süden immer mehr ab (ENGELER & SIMON, 1969).

Die Internzone gehört zu dem Mikrokontinent Alborán, welcher aber heute zum Iberischen Kontinent gezählt wird, da der Meeresarm der Tethys (im Mesozoikum) als Aulacogen angesehen wird und nicht von eigenständiger Natur ist (REICHERTER, 1994). Ein Großteil dieses Mikrokontinents ist zum heutigen Zeitpunkt stark ausgedünnt und von der Alborán-See überflutet.

Die Deckenkomplexe der Internzone haben sich durch die N-S – bzw. NW-SE gerichtete Kompression in der alpidischen Orogenese gebildet. Eine Hochdruck-Niedertemperatur Metamorphose beeinflusste zuerst im Liegenden den Nevado-Filábride Komplex, später

dann den Alpujarride Komplex AK (AZANÓN et al., 2002). Zusätzlich werden Spannungsverhältnisse im Süd-Iberischen Raum durch eine Wanderung des Alborán-Mikrokontinents seit dem Paläogen/unteres Miozän in westliche Richtung verändert (AZANÓN et al., 2002).

Für die Entstehung des Riff-Betikum-Orogenbogens um die Alborán-See gibt es mehrere Theorien, von welchen aktuell die höchste Akzeptanz die Theorie von PLATT & VISSERS (1989) erlangt. Sie geht von einem radialen Extensionskollaps im oberen Oligozän durch die krustale Delamination der stark verdickten Gebirgswurzel aus. Die Delamination ist verbunden mit einer Erhöhung der vulkanischen Aktivität, da die Asthenosphäre an Stelle der herabsinkenden Teile der Lithosphäre nahe an die Erdoberfläche tritt. Syn- und postorogene Vulkanite und Gangvorkommen belegen dies (TURNER et al., 1999).

Im frühen Miozän bildete sich ein Störungssystem mit Vulkanismus durch Extension (AZANÓN et al., 2002). Fortführende Extension im Miozän führte zu einer starken Ausdünnung und einer Rotation der Decken sowie zur Exhumierung der Komplexe.

Seit dem späten Torton steht die Interne Zone wegen der NW-SE – Kollision und der damit resultierenden Verkürzung unter dem Einfluss von kompressiven Kräften, welche eine Hebung und Faltung des Gebietes hervorrufen. Sichtbar ist dies an den heutigen Sierras. Die Spannungen der NE-SW – Haupttextensionsrichtung generieren Abschiebungen und Transformstörungen sowie starke Subsidenz der Alborán-See seit dem Neogen (PLATT & VISSERS, 1989).

Den Übergang der Internzone zur Externzone bildet die IEZB-Grenze (engl.: internal external zone boundary IEZB). Diese trennt die beiden Zonen. Im Osten der Kordilleren wird die Grenze von einer flach einfallenden Überschiebung in S-SSE-Richtung beschrieben (LONERGAN, PLATT & GALLAHER, 1994), in der Mitte durch eine flach einfallende Abschiebung in W-Richtung, welche im Westen die Richtung nach E-W ändert (REICHERTER et al., 2003). Eine Kombination einer schrägen, dextralen Blattverschiebung mit einer Konvergenz der Alborán-Platte seit dem unteren Miozän erklärt diese Verschiebung (LONERGAN, PLATT & GALLAHER, 1994).

Die nicht metamorphe Externzone, der nördliche Teil der Betischen Kordilleren, bildete im Mesozoikum den Südrand der Iberischen Halbinsel und kann in Präbetikum (Schelfserie), im nördlichsten Teil und Subbetikum (Beckenserie), welches im Süden anschließt, unterteilt werden. Das Subbetikum stellt einen Vorlandüberschiebungsgürtel dar, der im frühen Miozän durch eine Kollision mit dem Alborán-Mikrokontinent entstanden ist.

Aufgrund postorogener Blattverschiebungen und Abschiebungen wird die Geologie des Subbetikums sehr komplex.

Ab dem Miozän findet eine aktive kontinentale Subduktion der Externen Zone unter die Interne Zone und später unter die Alborán-See statt. Das Gebiet der Iberischen Halbinsel wird Richtung N-S verkürzt. Nach DEWEY (1998) wurden seit dem Oligozän bis zum oberen Miozän etwa 200 km Erdkruste subduziert bzw. verdickt. Dieser Prozess bewirkte, dass die Externzone zu dünnen Decken gestapelt, versetzt und stellenweise das Subbetikum auf das Präbetikum aufgeschoben wurde.

Aufgrund von Erdbeben im gesamten Bereich der Betischen Kordilleren und des Altlastees (N-Marokko), welche komplexe Störungssysteme entwickeln, lassen sich die Plattengrenzen kaum lokalisieren.

Heute wird das Spannungsfeld geprägt vom Mittelozeanischen Rücken und der schrägen NW-SE Konvergenz der afrikanischen und eurasischen Platten. Dies führt heute noch zu Hebungen der Betischen Kordilleren und zu Extensionsstörungen und zur Schrumpfung der Alborán-See.

Die Neogenen Becken entstanden am Ende der alpidischen Orogenese und sind Grabenstrukturen oder Synklinen, welche durch Transformstörungen und großflächige Abschiebungen hervorgerufen wurden. Während des Torton bedeckte das Alborán-Meer große Teile der Betischen Kordilleren und marine Sedimente wurden in intermontanen Becken abgelagert. In der messinischen Salinitätskrise entstanden Evaporite und später, nach dem Trockenfallen im Pliozän/Pleistozän, terrestrische Sequenzen. Die Neogenen Becken sind heute die seismisch aktivsten Zonen und befinden sich entlang der IEZB (MORALES et al., 1997).



### 2.3.2 Polje von Zafarraya

Das postorogen gebildete Polje von Zafarraya befindet sich im internen Subbetikum der externen Zone der betischen Kordilleren. Aus der geologischen Übersichtskarte (Abb. 2.3.2-1, u.) des Zafarraya-Poljes, dessen Grundlage eine Kombination eines digitalen Geländemodells mit geologischen Karten von

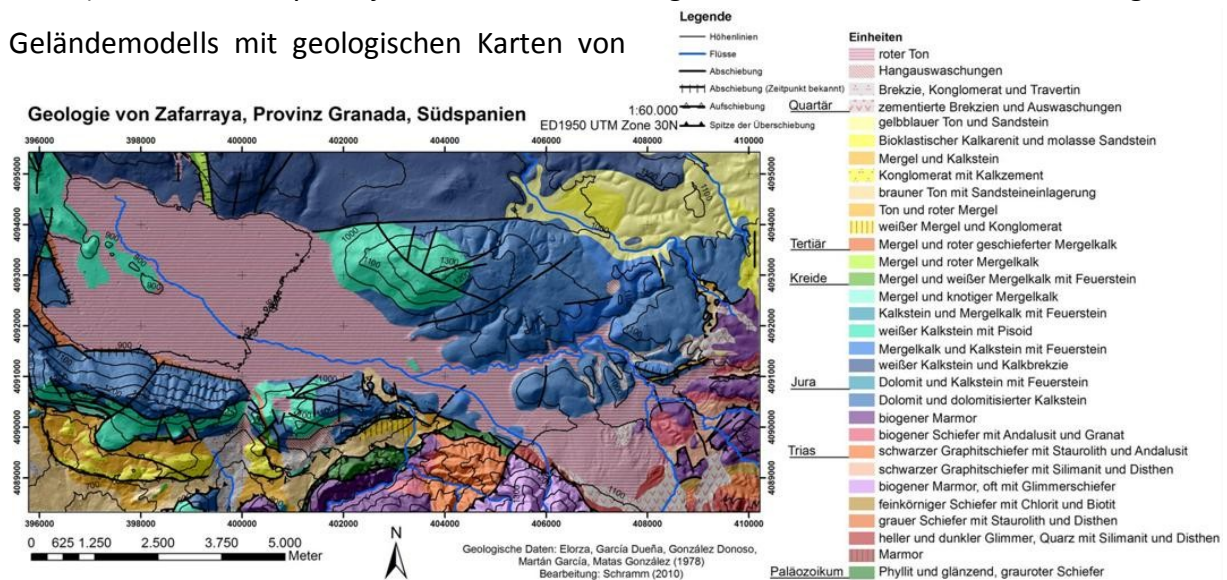


Abbildung 2.3.2-1, geologische Übersichtskarte von Zafarraya, verändert nach Schramm (2010)

ELORZA et al. (1978) bilden, geht hervor, dass das Gestein des Poljes von quartären Sedimenten überlagert wird.

Da sich das Polje in einem sehr störungsreichen Regime befindet, lassen sich nur bedingt detaillierte strukturelle und stratigraphische Geländeaufnahmen erstellen. Zur differenzierten Analyse der Störungspopulation wurde daher an mehreren Standorten das Schichteneinfallen mittels Geologenkompass gemessen. Die Ergebnisse bestätigen, dass die größte und zugleich wichtigste Verwerfung die von Osten nach Westen streichende

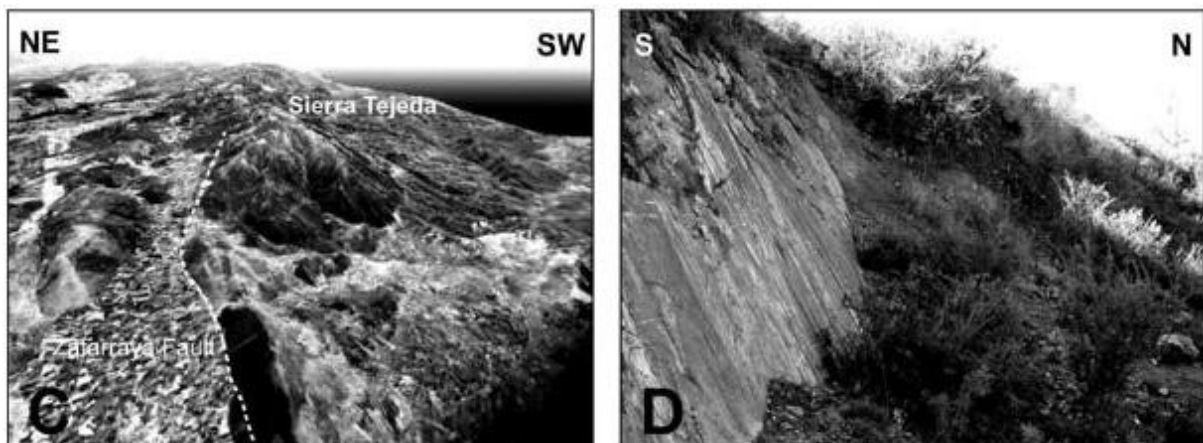


Abbildung 2.3.2, -C zeigt die digitalisierte Zafarraya- Störung, -D zeigt ein Foto der Störung westlich von Ventas de Zafarraya, Galindo-Zaldívar, J. et al. (2003)

Zafarraya-Störung (Abb. 2.3.2-D, o.) am Südrand des Poljes (REICHERTER ET AL., 2002) ist. Mit ihrer Länge von etwa 15Km ragt sie von ihrem Ursprung in der Sierra Tejada bis zum Westrand des Poljes (Abb. 2.3.2-C, o).

Es handelt sich um eine steile Abschiebung, wodurch sie als Grenze zwischen dem Polje im Norden und dem Kamm der Sierra Gorda im Süden fungiert. Aufgrund dessen entwickelte sich ein endorheisches Becken, die Zafarraya-Depression (LÓPEZ-CHICANO et al., 2002). Am Top des Beckens befinden sich quartäre bis tortonische Sedimente. Sie überlagern geschieferte rote Mergelkalke aus dem Tertiär (Abb. 2.3.2-2, u.) sowie weiße Mergelkalke aus der Kreide, die Einschlüsse von Feuersteinen aufweisen. Mit zunehmender Tiefe und Alter des Gesteins nimmt der Tongehalt ab. Die Basis der stratigraphischen Einheit besteht überwiegend aus triassischem Dolomit oder dolomitisiertem Kalkstein, wobei diese das Fundament für die jurassischen Kalksteine bilden, welche vorwiegend Feuersteine und Fossilien (größtenteils PISOIDE) mit sich bringen.

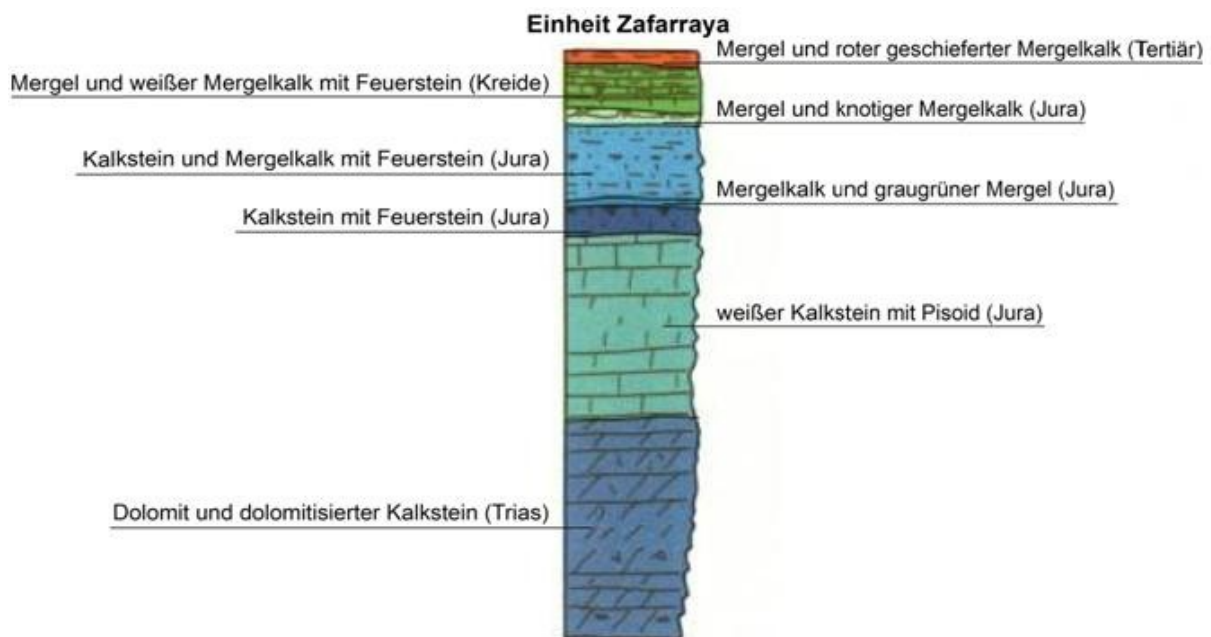


Abbildung 2.3.2-2, stratigraphische Einheit von Zafarraya, verändert nach Schramm (2010)

## **3 Methodik**

### **3.1 Rammkernsondierung**

#### a) Kurzbeschreibung

Mit Hilfe eines motorisierten Zweitaktbohrers (Hier: Cobra 248) werden Schlitzsonden (halbseitig offene Sonden) Meter für Meter bis zu einer Tiefe von rund 10m in den Boden gerammt. Die Eindringtiefe ist dabei stark von der Bodenart abhängig und wird durch Kiese und Kalkkonkretionen negativ beeinflusst. Die 30-80mm breiten Sonden besitzen einen Hohlraum, in dem sich durch die Bohrung ca. 1m frisches Sediment sammelt, welches dann als „Bohrkern“ bezeichnet wird. Dieser Bohrkern kann dann mit Hilfe eines motorisierten hydraulischen Hebeegerätes aus dem Boden geborgen werden.

#### b) Kernansprache

Zur ersten Analyse vor Ort werden die Bohrkerns allgemein nach lithologischen und ingenieurgeologischen Gesichtspunkten angesprochen und die Ergebnisse in einem Schichtenverzeichnis kartiert.

Bei der ingenieurgeologische Ansprache werden Korngröße, Bodenart (EN-ISO-14688-1, 2002) und eine Bodenklassifikation (DIN-18196, 2006) betrachtet. Für die lithologische Ansprache werden Mineralogie, Geologie, Schichtung/Gefüge und Kornform beschrieben. In das Schichtenverzeichnis wird zusätzlich die Farbe nach dem MUNSELL Farbsystem eingetragen.

#### c) Interpretationsansätze

Oxidationshorizonte (inklusive Rostflecken), Mangankonkretionen etc. im Bohrkern können Hinweise auf Grundwassereinflüsse geben. Ein negativer Aspekt ist, dass oftmals Teile des Kerns verloren gehen (unten abbricht/rausfällt) oder umliegendes Sediment in den Kern verschleppt wird, was die Proben verfälscht. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, lassen

sich die Bohrungen auch mit Linersonden (eine rundum geschlossenes Kunststoffrohr, welches in die normale Sonde eingeführt wird) durchführen. Dort entfällt das Problem der Verschleppung und des Sondenausschabens, allerdings muss öfters gebohrt werden, da das Material nicht komprimiert werden darf.

#### d) Anwendung

Im Zeitraum vom 07.03.2010 bis zum 19.03.2010 wurden die für diese Bachelorarbeit relevanten Bohrkerne 2,3,7,8 und 11 (Abb. 3.1-1, u.) sowie die drei Handproben, in dem Zafarraya-Polje gezogen.

Zur Vorbereitung für weitere physikalische, chemische sowie sedimentologische Untersuchungen wurden die Bohrkerne vor Ort, unter Berücksichtigung der ingenieurgeologischen und lithologischen Gesichtspunkte, in verschiedenen lange Lagen eingeteilt und in Tüten verpackt. Insgesamt wurden in dem Zafarraya-Polje rund 41,5m erbohrt und 203 Sedimentlagen erstellt.

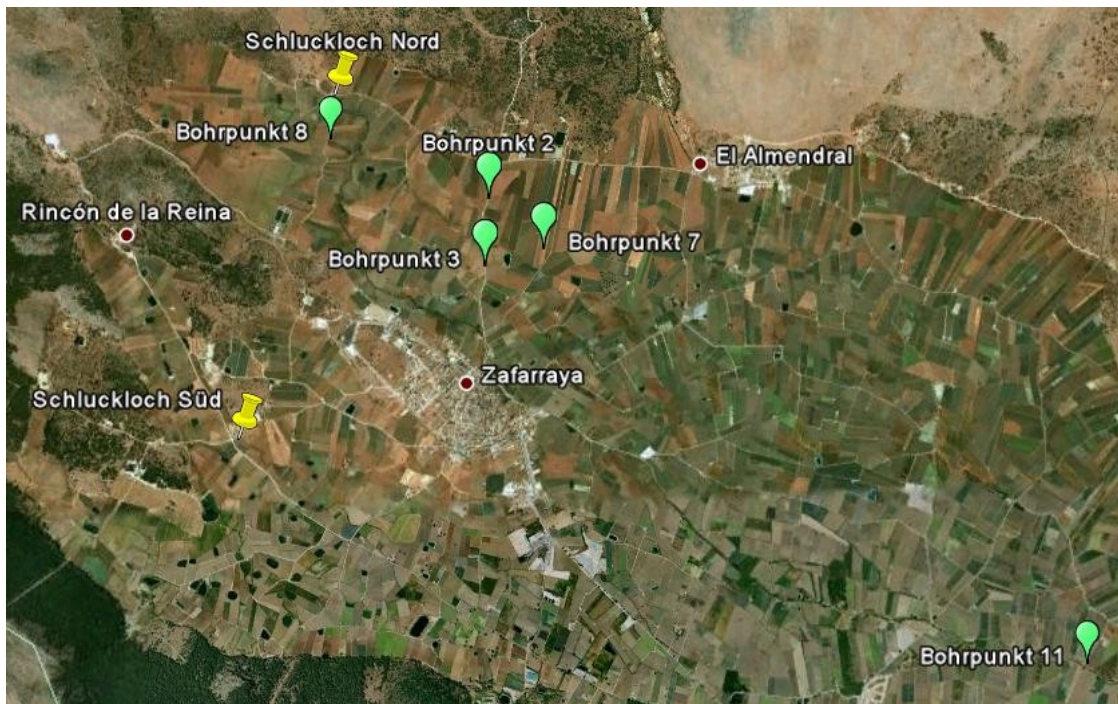


Abbildung 3.1-1, Übersichtskarte von Zafarraya mit den Bohrpunkten 2,3,7,8 und 11, Google Earth (2009)

## 3.2 Probenaufbereitung

Um fundierte Aussagen hinsichtlich der geochemischen Signaturen oberflächennaher Sedimente treffen zu können, bedarf es einer umfangreichen Probenaufbereitung.

### a) Farbbestimmung

Die Farbe der Proben wird allgemein nach dem MUNSELL-Farbsystem bestimmt. Dafür müssen sie im feuchten, dürfen aber nicht im nassen Zustand vorliegen. Hintergrund sind die Adhäsionskräfte der Teilchen, die im feuchten Zustand eine intensive Farbe erzeugen. Bei zu hohem Wassergehalt würde dieses durch die spezifische Lichtbrechung die Farbergebnisse beeinträchtigen. Eine bodencharakteristische Fingerprobe reicht, um die Farbvalenz durch die Merkmale Farbton, Sättigung und Helligkeit bestimmen zu können. Untergliedert wird das wichtigste Merkmal, der Farbton, in die Grundfarben (mit Ausnahme von Cyan), wobei auch Kombinationen möglich sind. Sättigung und Helligkeit werden Zahlenwerte von Null bis Zehn zugeteilt, wobei Null sehr hell bzw. blass ist und Zehn sehr dunkel bzw. intensiv.

### b) Trocknung

Oftmals sind Bodenproben nach ihrer Farbbestimmung oder durch klimatische Verhältnisse im Gelände noch bzw. wieder feucht, weshalb sie für die weiteren Untersuchungen getrocknet werden müssen. Dazu werden sie entweder über längere Zeit biologisch luftgetrocknet oder in einem kürzeren Zeitraum adsorptiv exsikkiert, vorzugsweise in einem Trockenschrank.

### c) Skelettgehalt

Der Skelettgehalt umfasst alle anorganischen Bestandteile (meist karbonatische Gesteinsfragmente) eines Bodens, deren Korndurchmesser  $\geq 2\text{mm}$  ist. Die groben Partikel müssen von der Feinfraktion  $< 2\text{mm}$  separiert werden, um potentielle Auswertungs- und Interpretationsergebnisse im Hinblick auf beispielsweise Wasserverfügbarkeit oder



Nährstoffverhältnisse nicht zu verfälschen. Um den Skelettgehalt zu ermitteln, werden die getrockneten Proben mit Hilfe von Werkzeugen (Hammer etc.) zuerst zerkleinert und anschließend gesiebt (Maschenweite nach DIN ISO 3310 < 2mm). Abschließend wird das Gewichtsverhältnis der differenzierten Grob- und Feinfraktionen gebildet.

#### d) Mörsern

Damit Bodenproben auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften untersucht werden können, ist es essentiell, dass sie möglichst feinkörnig sind. Die Proben werden entweder manuell oder maschinell mittels Mörser pulverisiert. Diese bestehen aus harten Materialien wie z.B. des Quarzderivates Achat (MOHSSCHE Härte 7), um möglichst alle Gesteinsfragmente zerkleinern zu können. Zu beachten ist, dass die Proben nicht in den Mörsern pulverisiert werden, welche aus einem in der Probe zu prüfenden Element bestehen.

### **3.3 Röntgenfluoreszenzanalyse**

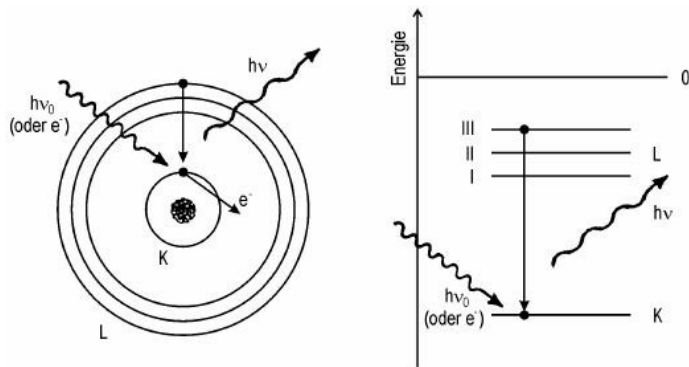
#### a) Kurzbeschreibung

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (im Folgenden: RFA) ist ein materialanalytisches Verfahren, mit dessen Hilfe sich qualitative und quantitative Aussagen über die elementaren Zusammensetzungen von festen, pulverförmigen, flüssigen und pastösen Proben treffen lassen, ohne diese zu zerstören. Da die RFA des Weiteren keine Aufschlüsse benötigt und sie eine Genauigkeit bis in den ppm-Bereich aufweist, ist sie eine der am häufigsten eingesetzten Analysemethoden und findet vor allem in der metallverarbeitenden Industrie Anwendung.

#### b) Charakteristische Röntgenfluoreszenzstrahlung

Bei der RFA wird die characterspezifische Fluoreszenzstrahlung der zu analysierenden Probe gemessen. Sie entsteht dadurch, dass die Probe mit Röntgenquanten (Photonen oder

Elektronen) beschossen wird, wodurch die Rumpfelektronen der Atome aus ihren Bindungsverhältnissen gerissen werden (Abb.1, u.) (WINKLMAIR, 2009). Die entstehenden primären Ladungslücken im ionisierten Atomrumpf werden innerhalb von  $10^{-12}$ s bis  $10^{-14}$ s durch Elektronenübergänge von Elektronen energiereicherer Orbitale wieder aufgefüllt, wodurch die freiwerdende Energie als Röntgenquant einer spezifischen Wellenlänge emittiert wird (WINKLMAIR, 2009). Dieser Energieverlust wird als Fluoreszenzstrahlung bezeichnet.



bezeichnet.

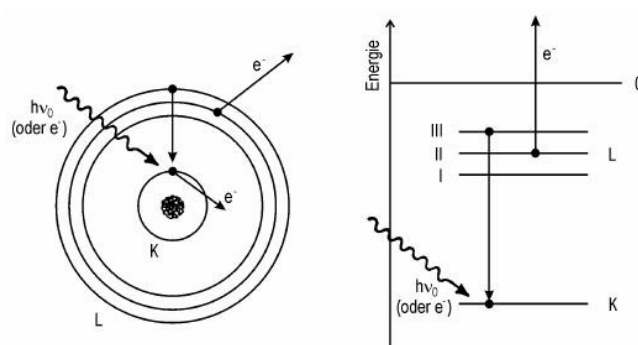
Elektron aus dem  $L_{III}$ -Orbital füllt die Lücke im K-Orbital. Das freiwerdende Quant besitzt die

$$\text{Wellenlänge } \lambda = \frac{hc}{W_{LIII} - W_K}$$

Abbildung 3.3-1, Emission der charakteristischen Röntgenstrahlung, Winklmaier (2009)

### c) Auger-Effekt

Wird die freiwerdende Energie nicht als Fluoreszenzstrahlung emittiert, sondern auf ein Elektron eines energieärmeren Orbitals übertragen (Abb. 2, u.), so wird dies als „Auger-Effekt“ (SCHEER, 2009) bezeichnet.



Elektron aus dem  $L_{III}$ -Orbital füllt die Lücke im K-Orbital. Die freiwerdende Energie wird auf ein Elektron des  $L_{II}$ -Orbitals übertragen, welches die Elektronenhülle mit der charakteristischen kinetischen Energie verlässt:

Abbildung 3.3-2, Auger-Effekt, Winklmaier (2009)

$$W_{\text{kin}} = (W_{\text{LIII}} - W_{\text{K}}) - (0 - W_{\text{LII}}) = W_{\text{LIII}} + W_{\text{LII}} - W_{\text{K}}$$

Bedingt dadurch, dass dieser Effekt bis zur vollständigen Reorganisation der Elektronenhülle des Atomrumpfes fortgeführt werden kann, geht die charakteristische Fluoreszenzstrahlung der verschiedenen Elemente teilweise verloren. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Auger-Effekts nimmt mit zunehmender Ordnungszahl  $Z$  gegenüber der konkurrierenden Emission des Röntgenquants ab (GÜNZLER 2003), da die Bindungskräfte nach MOSELEY (1913) mit höherer Atommasse stark zunehmen.

Gesetz von Moesely: 
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = K_1 (Z - K_2)$$

( $K_1$  und  $K_2$  sind empirische Konstanten,  $Z$  die Ordnungszahl und  $\lambda$  die Wellenlänge)

#### d) Messverfahren und Auswertung

Bei der RFA werden die verschiedenen Lagen der Proben durch Röntgenstrahlen angeregt, wodurch diese die für die unterschiedlichen Elemente charakteristischen Fluoreszenzstrahlen emittieren, welche detektiert und ausgewertet werden (Abb. 3, u.).

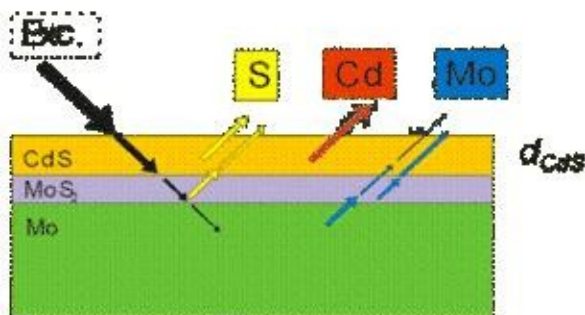


Abbildung 3.3-3, Prinzip der RFA, Scheer (2009)

Ein Röntgenstrahl dringt eine bestimmte Tiefe in die Probe ein. Die verschiedenen Elemente der Schichten emittieren ihre charakteristische Fluoreszenzstrahlung mit unterschiedlicher Intensität.

Alle RFA- Messgeräte funktionieren nach dem gleichen Prinzip, allerdings mit kleinen Unterschieden in der Durchführung und im Aufbau.

#### Totalreflexions-Röntgenfluoreszenzspektrometer (TRFA):

Bei der TRFA dringt der anregende Röntgenstrahl nur wenige Nanometer in die Probe ein, da es aufgrund des sehr flachen Einfallswinkels (kritischer Winkel  $\theta_c$ ) von nur wenigen Bogenminuten zur Totalreflexion kommt.



$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

(Winkel  $\theta_c$  laut Snelliusschen Brechungsindex,  $n_1$  und  $n_2$  sind Brechzahlen der Medien)

Durch die Totalreflexion kommt es nicht zu störenden Wechselwirkungen mit dem Trägermaterial der Probe, wodurch das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert wird und somit die Nachweisgrenze auf 0,01 Picogramm gesenkt werden kann.

#### Energie- und wellenlängendispersives-Röntgenfluoreszenzspektrometer (EDRFA/WDRFA):

Sowohl EDRFA als auch WDRFA verwenden einen anregenden Röntgenstrahl, dessen Einfallswinkel im Gegensatz zur TRFA nicht dem kritischen Winkel entspricht. Ihre einzige Differenzierung betrifft die Detektion der emittierten Fluoreszenzstrahlung. Während bei der EDRFA nur die Energie der emittierten Röntgenquanten detektiert wird (zur Reduzierung von Hintergrundrauschen kann ein Filter aus bestimmten Elementen zwischen die Strahlungsquelle und der Probe eingebaut werden), werden bei der WDRFA die emittierten Röntgenquanten zuerst durch einen Kollimator parallel ausgerichtet, anschließend durch einen Analysatorkristall gebeugt. Dieser Kristall beugt die polychromatische (weiße) Sekundärstrahlung, wodurch diese ihrer Wellenlänge (Farbe) nach aufgespalten wird. Die Intensität und der Beugungswinkel des Wellenspektrums werden detektiert und zur quantitativen sowie zur qualitativen Elementbestimmung genutzt.

#### e) Anwendung

Im Labor des geographischen Institutes der Universität zu Köln wurden die im Zeitraum vom 7.3. bis zum 26.3.2010 in dem Zafarraya-Polje gezogenen Bohrkern 2,3,7,8 und 11 sowie die 9 Handproben mit der RFA auf ihre qualitativen und quantitativen elementaren Zusammensetzungen untersucht. Die 203 pulverisierten Proben wurden mit der tragbaren RFA des Typs NITON XL3t (Hersteller: Analyticon Instruments) gemessen.

## 3.4 Magnetische Suszeptibilität

### a) Kurzbeschreibung

Bei der magnetischen Suszeptibilität (im Folgenden: MagSus) handelt es sich um eine physikalische Messgröße, welche die Magnetisierbarkeit  $\chi$  eines Materials in einem durch die magnetische Feldstärke  $H$  erzeugten externen Magnetfeld beschreibt. Da sie aus einem Verhältnis gebildet wird, ist sie dimensionslos und reicht von -1 (idealer Diamagnet) bis unendlich (HOLLEMANN et al., 1985)

### b) Proportionalität

Sie ist eine durch eine Vielzahl von Variablen abhängige Funktion, die in den einfachsten Fällen als eine Proportionalitätskonstante  $\chi_m$  aus dem linearen Verhältnis der Magnetisierung  $M$  und der magnetischen Feldstärke  $H$

$$\frac{M}{H} = \chi_m$$

beschrieben werden kann. Durch diesen Zusammenhang lässt sich die MagSus in konstanten Fällen in zwei Gruppen unterteilen:

#### 1. *Diamagnetismus ( $\chi_m < 0$ )*

Inkludiert alle Stoffe, die aufgrund ihres Bestrebens ihre inneren Magnetfelder nach außen verdrängen zu wollen, kein permanentes Dipolmoment besitzen. Durch ein extern angelegtes Dipolfeld, welches dem äußeren magnetischen Feld des Stoffes entgegen wirkt, stellt sich im Inneren des Stoffes eine reduzierte Feldstärke und somit eine negative Suszeptibilität ein. Verstärkt wird dieser Effekt durch Temperaturerniedrigung, was in Einzelfällen zu Diamagneten mit  $\chi_m = -1$  bzw. so genannten Supraleitern führt.

#### 2. *Paramagnetismus ( $\chi_m > 0$ )*

Gegensätzlich zu den diamagnetischen Stoffen haben sie nicht das Bestreben, ihr inneres Magnetfeld nach außen verdrängen zu wollen. Aufgrund dessen besitzen die paramagnetischen Stoffe dauerhafte magnetische Dipole (erzeugt z.B. durch thermische

Konvektion), welche sich parallel zum äußeren Feld ausrichten und somit das Magnetfeld des Inneren verstärken. Es entsteht eine positive Suszeptibilität (THOMPSON et al., 1986)

### c) Zweidimensionaler Tensor

Allgemeingültig lässt sich die MagSus durch eine Ableitung der Form

$$\chi_{ij} = \frac{\partial M_i}{\partial H_j}$$

als einen polaren Tensor zweiten Grades definieren, welcher ebenfalls die magnetische Anisotropie berücksichtigt. Bedingt ihrer magnetischen Ordnung sprechen bestimmte Materialien stark auf Magnetfelder an, zeigen dabei allerdings ein diversifiziertes Verhalten. Zur Differenzierung der unterschiedlichen Materialien werden sie in drei Klassen zusammengefasst.

#### *1. Ferromagnetismus*

Magnetische Momente richten sich in einer stark veränderten Weise parallel zum äußeren Magnetfeld aus, wodurch sie ein, in der Hystereseschleife beschriebenes, Gedächtnis erhalten.

#### *2. Ferrimagnetismus*

Magnetische Momente unterschiedlich großer Beträge richten sich innerhalb des Materials antiparallel zueinander aus. Dadurch entsteht ohne ein äußeres Magnetfeld eine innere Magnetisierung.

#### *3. Antiferromagnetismus*

Magnetische Momente hängen von der Festkörperorientierung ab. Je nach Ausrichtung können sie linear, aber auch nur temperaturabhängig sein. Ähnlich dem Ferrimagnetismus sind sie ebenfalls antiparallel ausgerichtet, besitzen jedoch gleich große Beträge, weshalb keine selbstständige Magnetisierung entsteht (HOLLEMANN et al., 1985)

#### d) Anwendung

Die im Zeitraum vom 7.3.2010 bis zum 23.3.2010 in dem Zafarraya-Polje gezogenen Bohrkern 2,3,7,11 (aufgrund technische Komplikationen mit Ausnahme des Bohrkerns Acht) sowie die neun Handproben wurden mit Hilfe des „MS2 K Sensor“ der Firma Bartington Instruments auf ihre MagSus hin analysiert. Bei den gemessenen Ergebnissen handelt es sich um SI-Einheiten, welche mit einer Genauigkeit von 0,1 bestimmt wurden. Vor einer jeden Messung wurde das Gerät neu kalibriert, indem die Messsonde in die Luft gehalten und eine Leermessung durchgeführt wurde. Im Anschluss daran wurde die Messsonde möglichst mittig auf die Proben aufgesetzt und leicht angedrückt, um Verfälschungen durch Lufteinschlüsse zu vermeiden. Pro Probe nahm eine Messung etwa drei bis fünf Sekunden in Anspruch. Der Messwert wurde dann mit der zugehörigen Teufe des Bohrkerns notiert. Bei der Messung war besonders auf den Abstand zu magnetischen Gegenständen zu achten, um Ergebnisverfälschungen vorzubeugen. Zudem wurde das Gerät nach jeder Messserie neu kalibriert sowie jede Probe dreimal gemessen und anschließend der Wert gemittelt, um potentielle Fehler so klein wie möglich zu halten.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Bohrkern 2



Abbildung 4.1-1, Bohrpunkt Zwei in der Mitte des Schwemmfächers, Koordinaten: 30S 398273, UTM:4093788, Google Earth (2009)

#### a) Kernbeschreibung

Die zweite Bohrung wurde am 11.03.2010 auf einem Acker des Schwemmfächers des Zafarraya-Poljes abgeteuft (Abb. 4.1-1, I.). Die Exposition der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist Süden und die Primärvegetation besteht aus Gras. Der 5,80m lange Bohrkern wurde hauptsächlich nach Farbe und

Körnung in 20 unterschiedlich große Lagen eingeteilt. Nach dem anfänglichen Kernverlust (0-44cm) weist das Bohrprofil eine dunkelbraune Färbung auf, die ab dem zweitem Bohrmeter in eine braungraue Färbung umschlägt. Das Profil ist bis dahin durchgängig von dunklen Eisen- sowie Manganflecken und -konkretionen durchzogen, wobei der Skelettgehalt (Grobboden  $\geq 2$  mm nach DIN 18196) vorherrschend auf einem niedrigen Niveau bleibt. Ab der deutlichen Schichtgrenze bei 2,52m ändert sich die Farbe ins gelblichrote. Der Skelettgehalt nimmt mit der kompakter werdenden Lagerung zu. Zu Beginn des dritten Bohrmeters nimmt die Größe der Eisen und Mangankonkretionen bei gleichzeitiger Abnahme der Fleckung stark zu (bis zu 6mm). Bis zur Teufe von 3,67m zeigen sich zudem stark verwitterte weiße Körner, die jedoch nicht mit Salzsäure interagieren. Fortan nimmt die Größe der Eisen- und Mangankonkretionen ab, wobei sich das Verhältnis der Zusammensetzung in Richtung Eisen verschiebt. Des Weiteren finden sich keine verwitterten weißen Körner mehr. Stattdessen ändert sich die mit zunehmender Tiefe abnehmende Fleckung in einen intensiven Orangeton und es kommen Marmorierungen hinzu. Die Bodenfeuchte wechselt von feucht zu trocken, wodurch sich das Gefüge von kohärent zu Kitt verschiebt. Der Kern weist zwar keine Fleckungen und Konkretionen von Eisen und Mangan mehr auf, dafür aber Kalk, wodurch der Karbonatanteil erstmalig ansteigt. Die Lagerung wird ab 5,80m so kompakt, dass sich die Rammkernsonde nicht weiter abteufen lässt.

#### b) Röntgenfluoreszenzanalyse

Der Bohrkern Zwei kann anhand der RFA grob in drei verschiedene Lagen eingeteilt werden. Die erste Lage reicht vom Anfang des Bohrprofils bis zu einer Teufe von 2,69m. Sie wird dominiert von hohen Siliziumgehalten (16-20%), gefolgt von 4,5 bis 6 prozentigen Eisen-Aluminiumgehalten. Kalzium hingegen bleibt auf einem durchweg schwachen Niveau von nur 0,5 bis 1%. Ausschlaggebend für die Untergliederung sind die starken Konzentrationsabnahmen vom Kalium (Diagr. 4.1-2, u.) und den Spurenelementen wie z.B. Zink, Strontium, Zirkon und Titan. Im Mittel reduzieren sie sich um 50%.

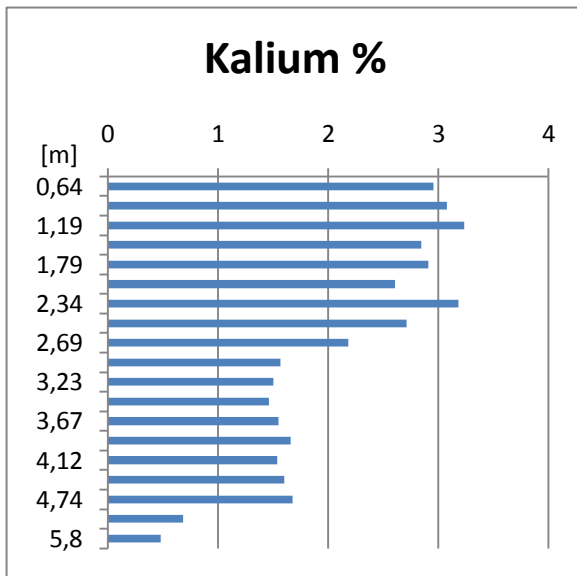


Diagramm 4.1-2, Kaliumkonzentration im Bohrkern Zwei über die Teufe

Ab der Teufe von 2,69m bis einschließlich Bohrmeter 4,74 befindet sich die zweite Lage des Kerns. Sie wird geprägt von der weiteren Verringerung der Elementkonzentrationen, allerdings dies auf einem weitaus geringeren Niveau bis hin zu Stagnation. Lediglich das Element Silizium hat einen leichten Anstieg um 3% aufzuweisen. Konträr zu allen Tendenzen folgt das Element Mangan keiner klaren Linie. Während die Konzentration zwischen 3,23m und 3,53m nur 0,04% beträgt, liegt sie zwischen 3,67m und 4m bei

hingegen 0,25% und ist somit ca. sechsmal höher.

Die dritte Lage inkludiert lediglich die letzten 1,06m bis zum Ende des Bohrprofils. Die

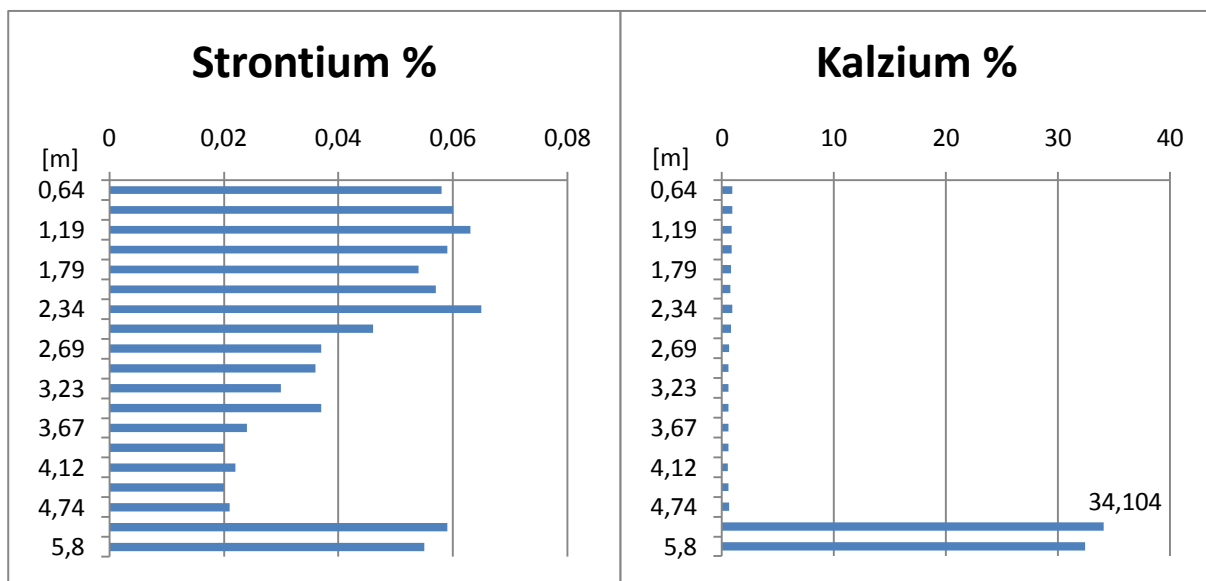


Diagramm 4.1-3, links die Strontiumkonzentration und rechts die Kalziumkonzentration im Bohrkern Zwei über die Teufe

Konzentrationen fast aller Elemente (z.B. Silizium, Eisen, Kalium etc.) fallen schlagartig ab. Reziprok dazu steigt sie beim Kalzium um das 45fache von im Schnitt nur 0,8% auf 33% an. Gekoppelt daran steigt auch der Gehalt des Strontiums im Vergleich zum Ende der Vorlage schlagartig um das 30fache an (Diagr. 4.1-3, o.). Des Weiteren zeigen sich zum einen erstmalig niedrige Phosphor- Schwefelgehalte, die zwischen 0,1% und 0,2% variieren und

zum anderen hohe Magnesiumgehalte, welche einen Anteil von sieben bis zehn Prozent erreichen.

### c) Magnetische Suszeptibilität

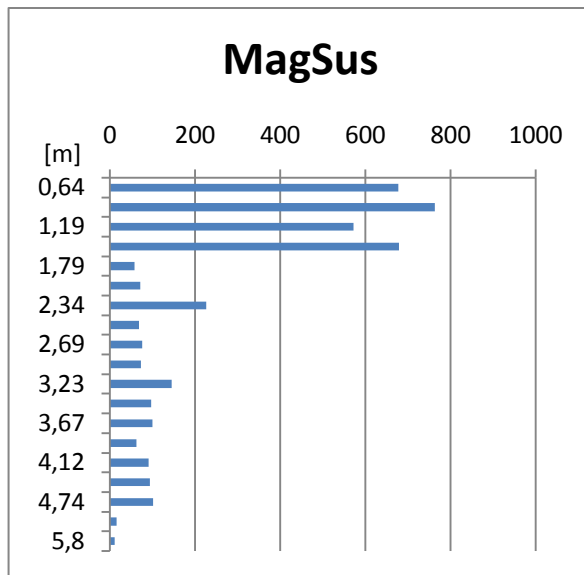


Diagramm 4.1-4, MagSus im Bohrkern Zwei über die Teufe

In Anlehnung an die Ergebnisse der RFA kann das Bodenprofil des zweiten Bohrkerns durch die MagSus ebenfalls in drei Lagen untergliedert werden, wobei nur die dritte Lage derer der RFA entspricht. Bis zur Teufe von 1,51m zeigen sich konstant hohe magnetische Werte die im Intervall von 572 bis 764 liegen (Diagr. 4.1.4, I.)

Die zweite Lage beginnt bei 1,51m mit einer MagSus von nur noch 58 und endet bei 4,74m nach einem leichten Anstieg bei 102.

Sie bleibt konstant auf einem schwachen Niveau, mit Ausnahme der ersten 34cm des dritten Bohrmeters, indem im Schnitt eine MagSus von 234 gemessen wurde. Von 4,74m bis zum Ende des Bohrkerns reicht die dritte Lage. Es zeigen sich infinitesimale Werte von maximal 16.

## 4.2 Bohrkern 3

### a) Kernbeschreibung



Abbildung 4.2-1, Bohrpunkt Drei im Süden des Schwemmfächers, Google Earth (2009)

In südlicher Verlängerung der Bohrung Zwei, Ende des Schwemmfächers, wurde am 12.03.2010 die dritte Bohrung abgeteuft (Abb. 4.2-1, I.). Der 9m lange Bohrkern wurde in 41 Lagen untergliedert. Die Farbe des Profils ist durchgängig braun, wird nach unten hin jedoch etwas heller, bis sie bei 8m ins weißliche mit leichten rötlichen Flecken umschlägt. Ab 8,86m färbt sich der

Bohrkern durchgehend weißgrau. Der Boden ist feucht, mit seltenen Ausreißern ins nasse oder sehr nasse. Bis zu einer Tiefe von 5m erhöht sich die Anzahl und Größe der Flecken stetig. Es zeigen sich mehrfach Eisen- und Mangankonkretionen, die mit einer kompakter werdenden Lagerung einhergehen. Zum einen zweigen sich zwischen 2,31m und (teils leichte) Marmorierungen und zum anderen im Bereich der sehr dichten Lagerung zwischen 2,31m und 3m graue Maserungen und Schlieren. Zudem beinhalten sie auffällige linsenförmige Skelette. Ab 6,12m zeigen sich nur noch wenige Flecken und Bänderungen. Reziprok proportional dazu steigt der Kies- und daran gekoppelt der Skelettgehalt bis zu einer Tiefe von 8,86m merklich an. Unterbrochen wird dieser Anstieg nur kurzzeitig im Bereich der dichten Lagerung von 7,12m bis 8m, wenn sich die Konsistenz des Bodens von sandig zu tonig ändert. Damit verbunden tritt in diesem Lagen vermehrt Mangan auf. Von 8,45, bis 8,86m wird die Lagerung dicht und es finden sich an Stelle der Manganflecken nur noch größere Mangankonkretionen. Im Anschluss an diese Lage befindet sich der weißgraue Horizont, welcher große Grusstücke besitzt, im Gegensatz dazu aber nur noch einen geringen Skelettanteil aufweist.



## b) Röntgenfluoreszenzanalyse

Zu Beginn zeigen sich neben den hohen Siliziumgehalten von bis zu 20% auch hohe Anteile von Aluminium und Eisen, deren Werte zwischen 4% und 7% liegen, sowie von Kalium,

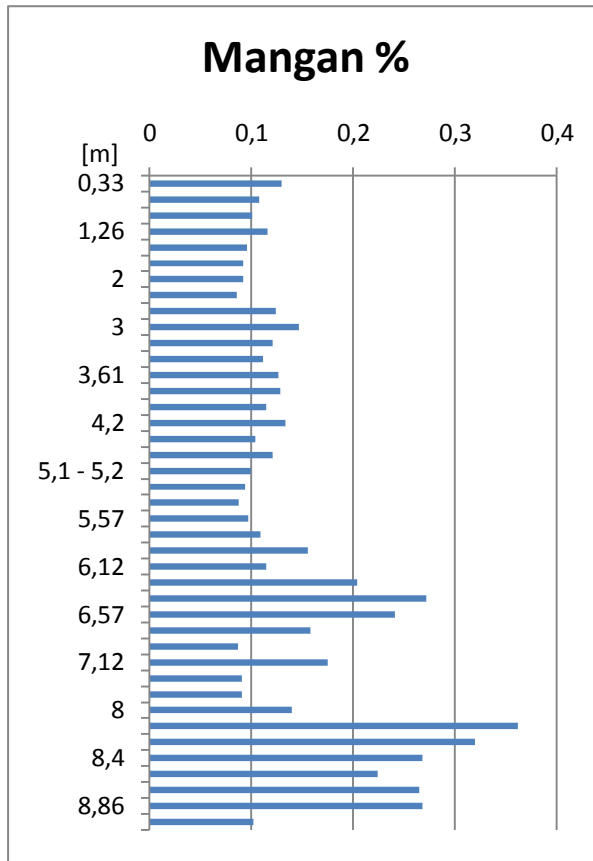


Diagramm 4.2-2 Mangankonzentration in Bohrkern Drei über die Teufe

dieses Mal um das Vierfache von 0,09% auf 0,36%. Zum Ende des Bohrprofils (8,86m bis 9m) sinkt der Mangangehalt wieder auf 0,1% ab. Im starken Kontrast zu den Variabilitäten der Mangankonzentrationen, zeigen Aluminium, Eisen und Kalium, aber auch Kalzium (Diagr. 4.2-3, r.) und Strontium über das komplette Bohrprofil (mit Ausnahme einer einzigen Lage) eine einheitlich negative

welches zwischen 2,7% und 3,7% variiert. Im Gegensatz dazu weist Mangan (Diagr. 4.2-2, l.) bis zu einer Teufe von 6,3m nur sehr geringe Konzentrationen von 0,08% bis 0,13% auf. Im Bereich von 6,3m bis 7,76m steigt der Mangananteil überdurchschnittlich auf einen Spitzenwert von 0,27% an, bis der danach wieder auf das Ausgangsniveau abflacht. Ab Teufe 8,45m steigt seine Konzentration abermals an,

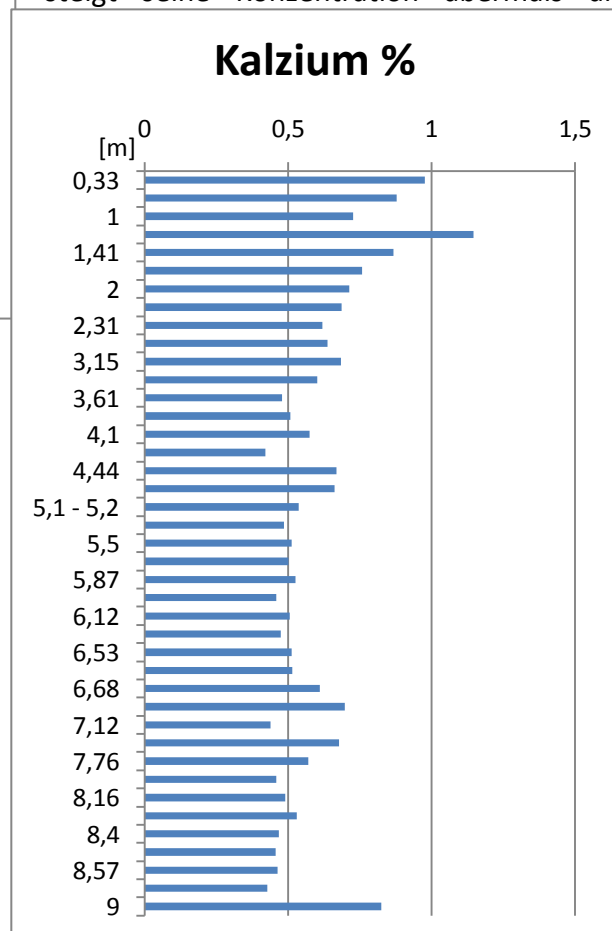


Diagramm 4.2-3, Kalziumkonzentration im Bohrkern Drei über die Teufe

Konzentrationsentwicklung. Im Schnitt fallen die Werte um 30% bis 50% ab. Gegenätzlich dazu steigt der Siliziumanteil von 17% auf 21% an. Lediglich in der letzten Lage des Bohrprofils von 8,86m bis 9m zeigen sich Anomalien zu den aufgezeigten Tendenzen. Beispielsweise hat das Element Kalzium, dessen Konzentrationen von Beginn an (1,1%) fast kontinuierlich auf 0,4% (zwischen 8,57m und 8,86m) sanken, einen sprunghaften Anstieg 0,9% zu verzeichnen. Korrespondierend dazu zeigen Strontium und Kalium ebenfalls die gleichen Neigungen.

### c) Magnetische Suszeptibilität

Die MagSus zeigt über die Teufe einen wellenförmigen Charakter (Diagr. 4.2-4, r.) Bis zur Teufe von 1,26m fällt die Magsus von anfänglich 75 auf nur noch 40. Danach steigt sie bogenförmig, ähnlich einer Normalverteilung auf knapp 200 (zwischen 3,61m und 4m) an und flacht dann wieder bis zur Teufe von 5,5m auf 60 ab. Dieser Kurvenverlauf ist auch ein zweites Mal ab 6,57m zu erkennen. Seinen Höhenpunkt hat sie zwischen 8,45m und 8,57m bei einem Wert von 189.

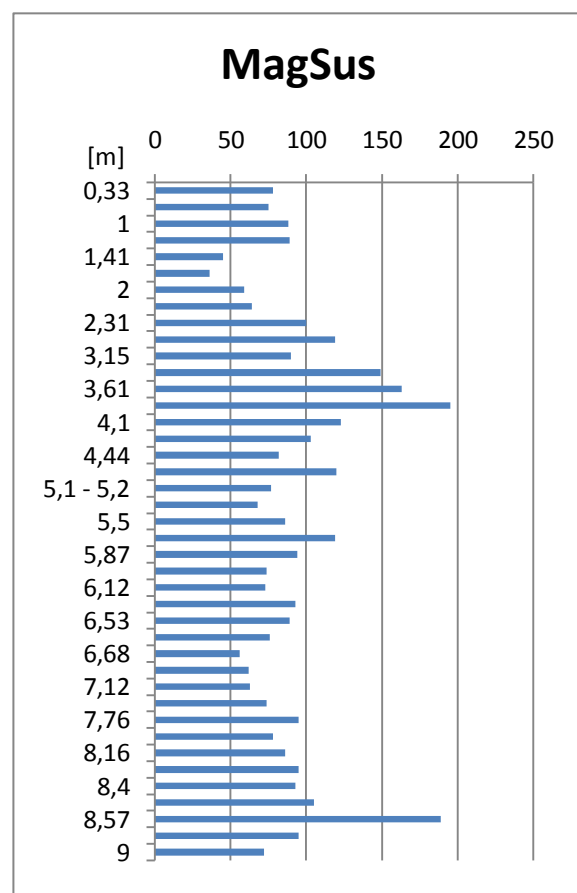


Diagramm 4.2-4, MagSus im Bohrkern Drei über die Teufe

## 4.3 Bohrkern 7

### a) Kernbeschreibung

Der siebte Bohrkern wurde am 16.03.2010 auf dem unteren Bereich des Schwemmfächers des Poljes, etwas nordöstlich von Bohrung zwei gelegen, gezogen (Abb. 4.3-1, u.). Er ist mit 10,64m der längste Bohrkern und wurde daher in 45 Lagen unterschiedlicher Länge eingeteilt. Da es sich bei dem Bohrgelände um eine landwirtschaftliche Nutzfläche handelt,



Abbildung 4.3-1, Bohrpunkt Sieben im Osten des Schwemmfächers, Rechtswert: W 4,13967°, Hochwert: N 36.08220°, Google Earth (2009)

ist der Oberboden sehr locker, wodurch bis zur Eindringtiefe von 0,44m ein Kernverlust zu verzeichnen ist. Das durchgängig feuchte und karbonatlose Profil besitzt bis zur Tiefe von 7,86m eine dunkelgraue bis dunkelbraune Färbung und zeigt nur einen zwischen keinen und gering wechselnden Skelettgehalt. Die Schichten mit Skelett werden von größeren, in Schluff eingebetteten, Gesteinsfragmenten dominiert. Ab der sechsten Lage (1,5m-1,75m) sind Mangan- und Eisenkonkretionen wechselnder Intensitäten erkennbar, welche sich bis zu 9,07m des Bohrprofils zeigen. Zwischen 2m und 2,34m findet sich mit Karbonatgrus der einzige Kalkeinfluss im Bohrprofil. Mit zunehmender Teufe nehmen der Tongehalt und damit verbunden auch die Dichte des Bodens zu. Bei einer Teufe von 8m färbt sich das Bohrprofil von Dunkelbraun zu Gelblichrot. Die Konsistenz ändert sich von sandig zu tonig und es ist kein Skelett mehr erkennbar. Ab 9,07m sind ebenfalls keine Eisen- und Mangankonkretionen mehr zu finden. Bis zum Ende des Bohrprofils wird der Boden rötlich und es werden Tonbeläge sowie Tonschlieren sichtbar.

#### b) Röntgenfluoreszenzanalyse

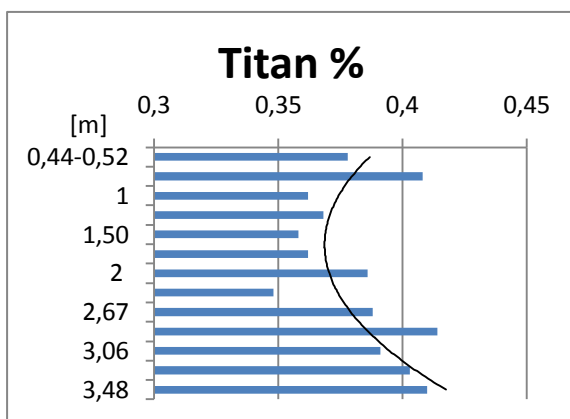


Diagramm 4.3-2, Titankonzentration im Bohrkern Sieben über die Teufe mit polynomischer Trendlinie

Aufgrund technischer Komplikationen konnte der Bohrkern sieben nur bis zur Teufe von 3,48m auf seine geochemischen Signaturen hin analysiert werden.

Zu Beginn des Bohrprofils (nach Kernverlust bei 0,44m) zeigt sich bis zur Teufe von 0,52m mit 1,1% eine verhältnismäßig hohe Kalziumkonzentration im Vergleich zum Rest

des Profils bis Bohrmeter 3,48, indem sie gemittelt nur 0,7% beträgt. Während die Mangan- und Titankonzentrationen (Abb. 4.3-2, o.) über den kompletten Ausschnitt stark variieren, zeigen sowohl Eisen als auch Aluminium leichte Wachstumstendenzen, wobei deren Konzentrationsverhältnis in der minimalen Spanne von 0,8% bis 1,0% bleibt. Auffallend ist die starke Varianz des Konzentrationsverhältnisses von Titan und Eisen in den ersten 1,75m

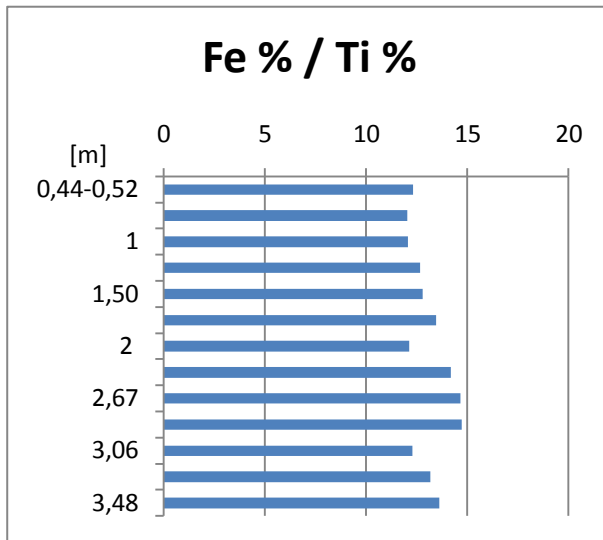


Diagramm 4.3-3, Konzentrationsverhältnis von Eisen und Titan im Bohrkern Sieben über die Teufe

(Diagr. 4.3-3, l.). Es steigt von anfänglich 14,5% auf den Maximalwert von 15,8%. Danach pendelt es sich zwischen 13% und 14% ein. Weiterhin ist die Abhängigkeit von Kalzium und Strontium zueinander deutlich sichtbar. Beide Elemente verlieren bis zur Teufe von 2,67m Anteile, um dann gemeinsam wieder anzusteigen. Durchschnittlich variieren die Werte der beiden Elemente trotz der oberflächlich hohen Konzentration des Kalziums nur um 10%.

### c) Magnetische Suszeptibilität

Ähnlich der Strontium-, Titan- und Kalziumkonzentrationen mit der Teufe differenziert die magnetische Suszeptibilität ebenfalls im gleichen Maße (Diagr. 4.3-4, r.). Zu Beginn zeigen sich Werte von 233 (0,52m bis 0,74m). Diese werden bis zur Teufe von 1,5m parabelförmig auf 59 reduziert, bis ab 2,34m mit der reziproken Intensität auf 207 wieder ansteigen.

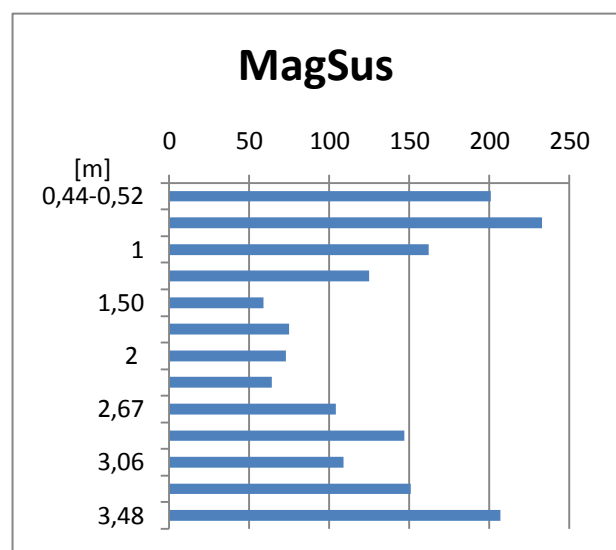


Diagramm 4.3-4, MagSus im Bohrkern Sieben über die Teufe

## 4.4 Bohrkern 8

### a) Kernbeschreibung

Am 17.03.2010 wurde südlich des Schlucklochs im Westen des Zafarraya-Poljes auf einem brachliegenden Acker die achte Bohrung abgeteuft (Abb. 4.4-1, u.). Das Bohrprofil ist 9,02m



Abbildung 4.4-1, Bohrpunkt Acht südlich des Ponors, Rechtswert: W 4.15287°, Hochwert: N 36.98771°, Google Earth (2009)

lang und wurde bis zur Teufe von 4,08m in 37 Lagen der jeweils gleichen Länge von 0,1m unterteilt (Kernverlust auf den ersten 0,3m) und von dort an in 14 verschieden lange Lagen. Ähnlich wie Bohrkern Sieben ist der Kern feucht, komplett ohne sichtbaren Karbonatgehalt und die Lagerung nimmt mit der Teufe zu. Lediglich der obere Teil des Kerns nahe der Bodenoberfläche ist leicht karbonatisch. Die Farbe des

schluffigen Bodens ist Graubraun und entwickelt sich bis zu einer Teufe von 4,08m ins Rötlichbraune. Bis zu diesem Punkt finden sich Eisen- und Mangankonkretionen, die dann jedoch verschwinden. An deren Stelle treten leichte, mit der Teufe zunehmende Skelettgehalte und die schon etwas früher einsetzenden rostfarbenden Flecken auf. Zudem treten leichte Marmorierungen im Bereich von 3m bis 4m auf. Die Farbe des Bohrprofils ändert sich weiter ins Rötliche, bis hin zum tiefem Rot mit gelblichen Verfärbungen. Ab dem Bohrmeter Sechs zeigen sich neben den sehr große schwarzen Manganflecken und – konkretionen auch kleine gelbliche Flecken. Von 8,30m bis zum Ende des Profils durchzieht den Boden mit jetzt toniger Konsistenz ein sehr hoher Skelettgehalt.

### b) Röntgenfluoreszenzanalyse

Zu Beginn des achten Bohrkerns zeigen sich bis Teufe 0,7m erhöhte Kalziumwerte. Es findet eine Reduzierung von 1,5% bis auf 0,75% statt, welches zugleich die Durchschnittskonzentration für den restlichen Verlauf des Bohrprofils darstellt. Konträr zum Abnehmen der Kalziumkonzentration nimmt die Eisenkonzentration (Diagr. 4.4-2, u.) zu. Sie

erhöht sich von 5,44% nach 0,4m auf 6,28% nach 3,07m. Von diesem temporären Maximum

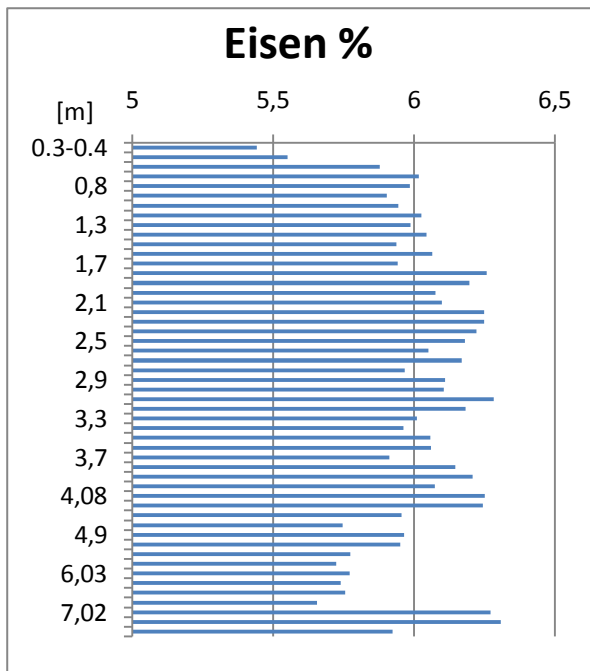


Diagramm 4.4-2, Eisenkonzentration im Bohrkern Acht über die Teufe

(Diagr. 4.4-3, r.) in starkem Kontrast. Während sie zu Beginn von 0,4m bis 0,5 kurzzeitig von 3,3% auf im Schnitt 2,8% zurückgeht, steigt sie bis zur Teufe von 4m polynomialisch bis auf 3,6% an. Fortan ist eine negative Konzentrationsentwicklung zu verzeichnen, die am Ende des Bohrprofils (8,02m) bei 2% ihr absolutes Minimum besitzt.

verringern sich die Eisenanteile stetig auf 5,66% bei Teufe 6,96m. Auffällig ist das absolute Maximum der Eisenkonzentration am Ende des Bohrprofils, welches zwischen Teufe 7,38m und 7,62m mit 6,31% am höchsten ist. Die Elemente Mangan und Strontium zeigen bei dieser Teufe ebenfalls die gleichen Anomalien. Beide haben im Schnitt eine Verdopplung ihrer Konzentration zu verzeichnen. Zu diesen Werten stehen die Kaliumkonzentrationen

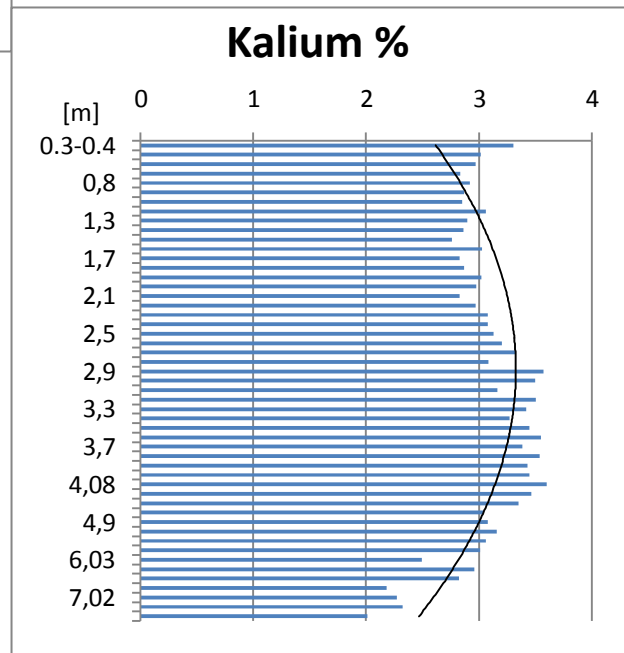


Diagramm 4.4-3, Kaliumkonzentration im Bohrkern Acht über die Teufe mit polynomialischer Trendlinie

### c) Magnetische Suszeptibilität

Konnte aufgrund technischer Komplikationen nicht gemessen werden.

## 4.5 Bohrkern 11

### a) Kernbeschreibung

Der Bohrkern Elf wurde 18.03.2010 auf einem brachen Acker, nordöstlich von Ventas de Zafarraya, in direkter Nähe zum Fluss Arroyo de la Mar gezogen (Abb. 4.5-1, u.). Der 7,02m



Abbildung 4.5-1, Bohrpunkt Elf östlich von Ventas de Zafarraya, Rechtswert: W 4.10613°, Hochwert: N 36.96156°, Google Earth (2009)

lange Bohrkern wurde in 30 Lagen eingeteilt. Der Skelettgehalt nimmt mit zunehmender Tiefe zu, wobei gleiches tendenziell auf die Lagerung zutrifft, die häufig zwischen locker und dicht schwankt. Die ersten 2m zeigt das feuchte Bohrprofil bei lockerer bis mittlerer Lagerung einen niedrigen Skelett- und Karbonatgehalt. Die braune Farbe wird durch vereinzelte Mangankonkretionen etwas verdunkelt.

Fortan nimmt der Skelettgehalt ab, während der Karbonatgehalt stark ansteigt. Es zeigen sich bis 4,41m deutliche Wechsellagerungen von tonigen, kiesigen und karbonatischen Materialien, wobei der Bohrbereich von 2m bis 3m von auffallenden Eisen- und Mangankonkretionen dominiert wird. Ab dem vierten Bohrmeter nimmt der Skelettgehalt (10-30%) wieder stark zu, Eisen- und Manganflecken sind hingegen nur noch sporadisch zu identifizieren. Insbesondere der Bereich von 3,44m bis 3,58m weist einen hohen Anteil an silikatischen sowie karbonatischen Gesteinsfragmenten auf. In der trockenen und lockeren Lagerung befinden sich vorzugsweise kleine Kiese. Ab der Tiefe von 4,41m variiert die Bodenfeuchtigkeit deutlich zwischen trocken und nass. Der Skelettgehalt steigt fast linear auf 70-80% an, wobei hingegen der Karbonatgehalt konstant auf dem gleich hohen Niveau bleibt. Zudem zeigen sich vereinzelt Eisen- und Mangankonkretionen. Von 6,34m an fallen der Skelett- sowie der Karbonatgehalt stark ab. Konträr dazu steigt die Lagerung bis zum Ende bei 7,02m auf mittel bis dicht an.



Die in Bohrkern Elf beobachtbaren Wechsellagerungen von tonigem und sandigem Material sind geprägt von stark wechselnden Silikat- und Karbonatgehalten (Salzsäuretest) sowie einer starken Varianz in der Skelettdichte.

### b) Röntgenfluoreszenzanalyse

Bohrkern Elf kann grundlegend in drei Lagen segmentiert werden (Diagr. 4.5-2, u.). Die erste

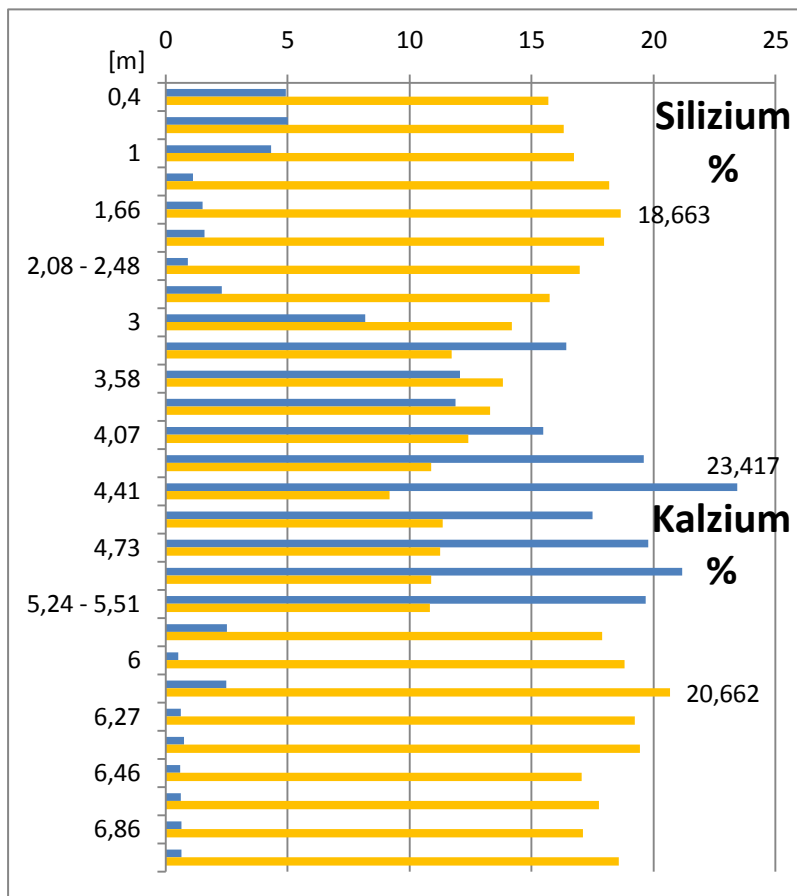


Diagramm 4.5-2, Silizium- und Kalziumkonzentrationen im Bohrkern Elf über die Teufe

Lage reicht bis zur Teufe von 2,85 m. Sie wird dominiert von Silizium (15,21% bis 18,66%), Eisen und Aluminium. Das Verhältnis der Eisen – zu Aluminiumkonzentrationen liegt beständig im Intervall von 75,7% bis 89,5%. Ähnlich verlaufen die Konzentrationskurven der Elemente Kalium, Mangan und Titan. Die zweite Lage beginnt mit der Teufe von 2,85m und reicht bis 5,51m.

Sie wird nicht mehr von Silizium, sondern von Kalzium

dominiert. Oberflächlich, bis zur Teufe von 1m, stagniert die Kalziumkonzentration in der ersten Lage bei ca. 5%. Danach fällt sie auf das Niveau von nur ein bis zwei Prozent ab. In der zweiten Lage hingegen steigen die Kalziumkonzentrationen fast potentiell an, bis sie bei 23,42% ihren Höhepunkt erreichen. Gekoppelt an diesen enormen Anteilsgewinn steigt in diesem Bereich ebenfalls die maximale Strontiumkonzentration (Diagr. 4.5-3, u.) von 0,08% auf 0,32% an, was eine Vervielfachung bedeutet. Gegenteilig dazu verringern sich Kalium, Eisen, Aluminium, Titan (Diagr. 4.5-4, u.) und Mangankonzentrationen schlagartig.



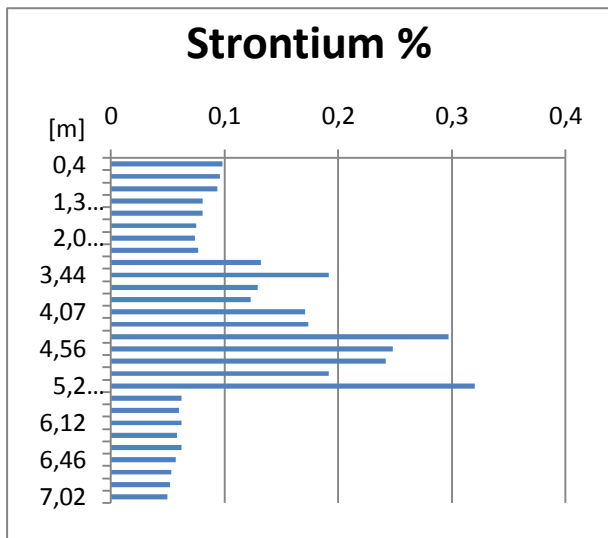


Diagramm 4.5-3, Strontiumkonzentration im Bohrkern Elf über die Teufe

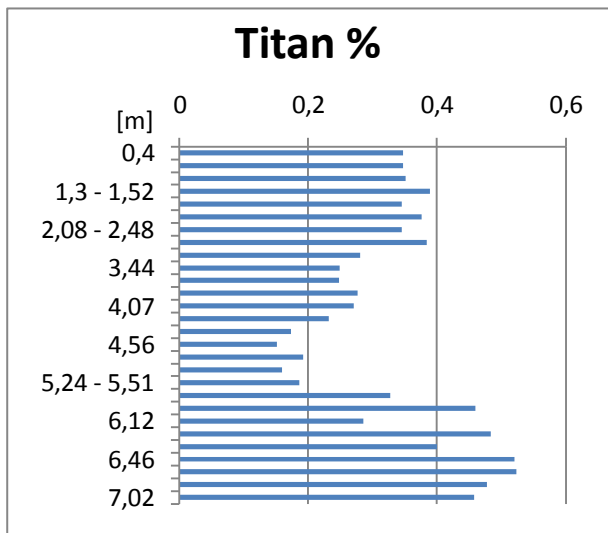


Diagramm 4.5-4, Titankonzentration im Bohrkern Elf über die Teufe

durchgängig gleiche oder sogar leicht höhere Konzentrationen.

### c) Magnetische Suszeptibilität

Der Bohrkern Elf kann nach Messung der MagSus (Diagr. 4.5-4, r.) ebenfalls in die drei vorher bestimmen Lagen eingeteilt werden. Bis zur Teufe von 2,85m zeigen sich tendenziell zunehmende Werte. Von 158 als

Durchschnittlich büßen sie rund 50% ihrer Elementkonzentrationen ein. Verbunden mit den steigenden Kalzium- und Strontiumkonzentrationen treten in der zweiten Lage auch geringe Phosphor- (0,11%) und Schwefelkonzentrationen (0,07%) auf, die im restlichen Kern nicht zu finden sind. Die dritte Lage beginnt bei Teufe 5,51m. Die vorher stark angestiegenen Kalzium- und

Strontiumkonzentrationen reduzieren sich abrupt um 80% bis 90%. Des Weiteren finden sich keinerlei Phosphor- oder Schwefelsignaturen mehr. Konzentrationssteigerungen sind hingegen bei den zuvor stark gesunkenen Elementen Kalium, Eisen, Aluminium, Titan und Mangan festzustellen. In Bezug zum Ausgangsniveau in Lage Eins erreichen sie

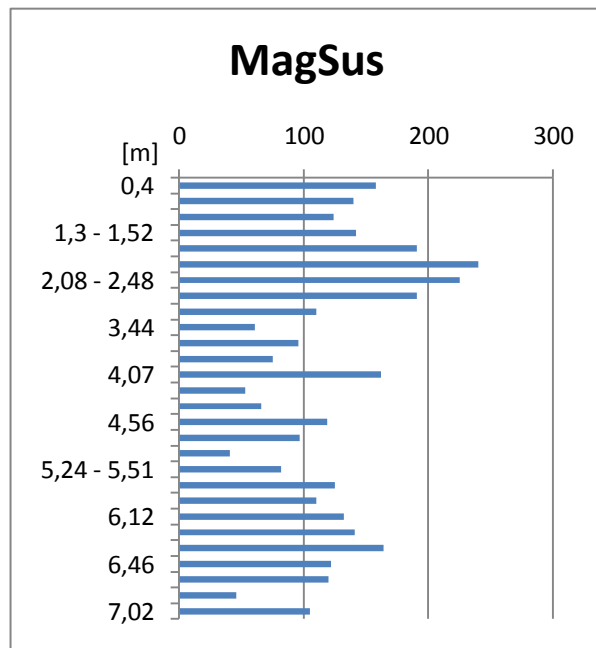


Diagramm 4.5-5, MagSus im Bohrkern Elf über die Teufe

Startwert ausgehend, steigt der Wert bis 1,96m des Bohrprofils auf 240 an. Mit Ausnahme der ersten sieben Zentimeter des vierten Bohrmeters, in denen die MagSus 162 beträgt, fallen die Werte der zweiten Lage gemittelt um 2/3 auf 80 ab. Proportional zur Eisenkonzentration steigt die MagSus in der dritten Lage ebenfalls an, bis sie einen Spitzenwert von 164 erreicht. Bis zum Ende des Bohrkerns reduziert sie sich nochmals auf ihr lokales Minimum von 46.

## 4.6 Handproben

### a) Kernbeschreibung

Am 22.3.2010 wurden in dem Zafarraya-Polje drei oberflächliche Bodenproben des Schwemmfächers sowie sechs Handproben aus dem Arroyo de la Madre (jeweils drei Proben aus dem Gerinnebett und aus feinen Flussablagerungen) per Hand entnommen.

Die Proben des Schwemmfächers sind feinkörnig (bis 2,0mm) und besitzen eine tiefrote Farbe. Vereinzelt finden sich etwas gröbere weiße Körner, die mit Salzsäure interagieren.

Die Beiden anderen Handproben sind fein- bis feinstkörnig und besitzen eine gelblichgraue Farbe. Auf den Salzsäuretest reagieren sie ebenfalls positiv.

### b) Röntgenfluoreszenzanalyse

In allen Proben schwankt der Kalziumgehalt lediglich um etwa ein Prozent zwischen 6,2% und 7,2%, Aluminium (Diagr. 4.6-1, r.) Titan und Eisen (Diagr. 4.6-2, u.) zeigen hingegen deutliche Tendenzen. Während beide Elemente im groben Gerinnebett klar die schwächsten Konzentrationen aufweisen, besitzt das Eisen mit durchschnittlich vier Prozent sein Maximum

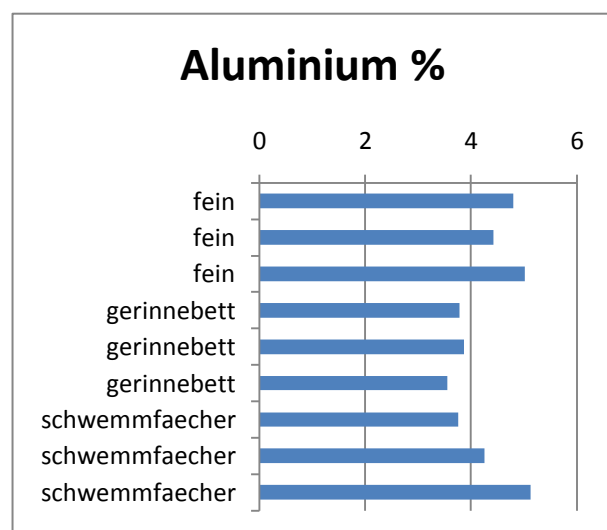


Diagramm 4.6-1, Aluminiumkonzentrationen der verschiedenen Handproben

in den Schwemmfächerproben, Aluminium indessen mit 4,7% und Titan mit 0,32% im feinen Gerinnebett. Ähnlich dieser Konzentrationsverteilungen sind die Gehalte der Elemente

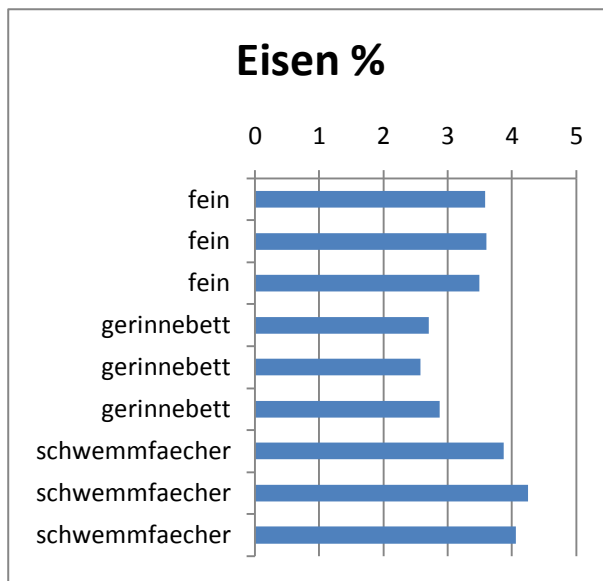


Diagramm 4.6-2, Eisenkonzentrationen der verschiedenen Handproben

Strontium und Kalium im groben Gerinnebett ebenfalls am niedrigsten.

Die Schwemmfächerproben zeigen als einzige geringe Gehalte von Phosphor und Schwefel, welche allerdings nur im Spektrum von 0,07% bis 0,15% variieren. Konträr dazu weisen diese Proben mit etwa 14,9% den geringsten Siliziumgehalt auf. Die Gerinnebettproben besitzen

Siliziumkonzentrationen von 17% (grob) bis 18% (fein).

### c) Magnetische Suszeptibilität

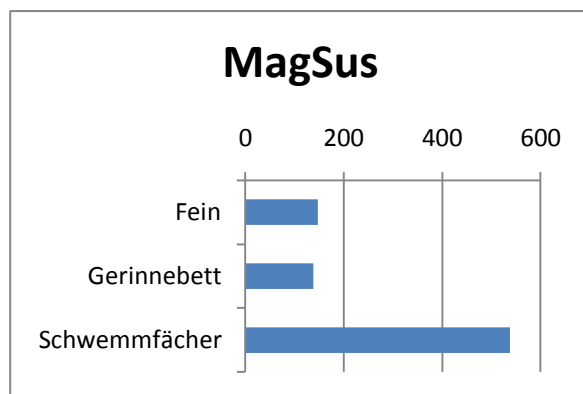


Diagramm 4.6-3, MagSus der drei verschiedenen Probentypen

Die MagSus ist bei den Schwemmfächerproben exorbitant höher als bei beiden Proben aus dem Gerinnebett (Diagr. 4.6-3, I.). Sie beträgt auf dem Schwemmfächer im Schnitt 538. Im Gegensatz dazu werden im Gerinnebett gemittelt lediglich Werte von 138 bis 140 erreicht, was nur knapp 1/3 entspricht.

## 5 Auswertung

Sowohl bei Bohrkern Zwei, als auch bei Bohrkern Drei zeigen sich ab einer Teufe von 3m, bei Bohrkern Acht ab einer Teufe von 7m, Farbumschwünge von Braun nach Gelblichrot. Einher

gehen diese mit einer kompakter werdenden Lagerung sowie einem Wechsel von tonig/lehmig zu sandig. Die Farbe ist wahrscheinlich auf den Zuwachs an den Eisenoxiden Goethit (gelb), Ferroxyhyt (orange) und Hämatit (rot) zurückzuführen. Unterstützt wird diese These durch erhöhte Eisengehalte, aber fallenden MagSus-Werten, was eine Oxidierung vom grauen und ferromagnetischen Magnetit zum schwächer magnetischen, rotem Hämatit unterstreicht. Des Weiteren finden sich große Eisen- und Mangankonkretionen, welche Merkmale für ein redoximorphes Milieu sind. Demnach könnten diese Veränderungen mit dem Einfluss von Stauwasser erklärt werden. Durch einen erhöhten Wasserspiegel gelangen die Elemente in anaerobes Milieu und werden dort durch Reduktion gelöst. Senkt sich der Wasserspiegel wieder ab, so können Eisen und Mangan als Konkretionen ausfallen und das Eisen kann zu höherwertigen Eisenoxiden oxidiert werden (z.B. Magnetit zu Hämatit oder Ferroxyhyt), was ebenfalls an den vermehrt auftretenden intensiven orangefarbenden Rostflecken sichtbar wird. Der Stauwassereinfluss wird ebenfalls durch die kompakter werdende Lagerung sowie durch leichte Marmorierungen angezeigt.

Bei den stark verwitterten weißen Körnern, welche sich nur zwischen 2,69m und 3,53m im zweiten Bohrkern befinden, könnte es sich um Kaolinit handeln. Durch den Einfluss des Stauwassers wurde Kalifeldspat unter Abtransport von Kalium (Reduzierung der Kaliumkonzentration in Bohrkern Zwei erkennbar) zum Tonmineral Kaolinit verwittert. Weitere verstärkende Indikatoren für diese These sind der steigende Silizium- und Aluminiumgehalt.

Mit zunehmender Teufe entwickeln die Böden in den Bohrkern Zwei und Drei einen Bleichhorizont (5m bis 7m). Dieser ist geprägt von reduziertem Milieu, ausgehend vom Grundwassereinfluss. Aufgrund dessen ist er sehr arm an Eisen, Aluminium, Titan und Kalium. Das Verhältnis von Aluminium zu Titan bleibt in allen Bohrkernen zwischen 11 und 28, was darauf schließen lässt, dass Aluminium nur sehr untergeordnet aus einer biogenen Quelle stammt. Die einzige Ausnahme zeigt sich auf den letzten 1,06m des zweiten Bohrkerns. In ihm steigt das Al/Ti Verhältnis auf 60 an, was auf verstärkten biogenen Eintrag hindeutet. Zudem findet sich in dieser Lage erstmalig Magnesium (7% bis 10%), welches mit sehr hohen Kalziumkonzentrationen einhergeht. Dies lässt den Schluss zu, dass sekundärangereicherter Dolomit angebohrt wurde. Nach ELORZA et al. geht hervor, dass es sich beim anstehenden Gestein um tertiären Mergelkalk handelt. Demnach kann die Lage als

eine Kalksteinverwitterungszone beschrieben werden, in welcher zuvor Magnesium durch das Grundwasser vollständig ausgewaschen wurde und dann in den tieferen Lagen vorwiegend mit Aragonit zu Dolomit reagierte. Gestützt wird diese Vermutung durch die hohen Strontiumgehalte, welche sich in Aragonit (bis zu 11% Gewichtsanteile) einlagern können (FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT, 1965). Die Theorie einer meterdicken Kalkkruste scheint damit unrealistisch.

Ähnlich der Bohrkerne Zwei und Drei entwickelt der Bohrkern Acht ebenfalls einen Stauwassereinflusshorizont. Die Merkmale des zunehmenden Skelettgehaltes kurz vor dem Horizont, des Farbumschwungs von Braun nach Gelblichrot sowie der Eisen- und Mangankonkretionen, werden auch dort sichtbar. Zu erkennen ist jedoch, dass der Stauwassereinflussbereich erst etwas tiefer beginnt, was hauptsächlich auf eine ausgereifere rezente Bodenbildung zurückzuführen ist. Des Weiteren folgt im Bohrkern acht nicht unmittelbar auf den Stauwassereinflussbereich ein Bleichhorizont, wie es in den Borkernen Zwei und Drei der Fall war. Gegensätzlich zu diesen färbt sich der Horizont sogar weiter orange bis hin ins Weinrote. Ursache dafür ist wahrscheinlich das seltene Eisenmineral Lepidokrokit. Unterstützt wird das durch die sprunghaft ansteigenden Eisengehalte in diesem Bereich. Hinzu kommt, dass, verbunden mit dem leicht ansteigenden Aluminiumgehalt und dem erstmaligen Auftreten des Phosphors, die Strontiumgehalte ebenfalls enorm ansteigen. Demzufolge muss sich das Mineral Goyazit allochthon mit dem Lepidokrokit gebildet haben.

Bohrkern Elf besitzt konträr zu den anderen Bohrprofilen in der zweiten Lage (Teufe 2,85m bis 5,51m), welche gegensätzlich zur ersten und dritten Lage nicht von Silizium, sondern von Kalzium dominiert wird, deutliche Wechsellagerungen von karbonat- und silikatreichen Schichten. In diesen Bereichen ist die Lagerung aufgrund der trockenen und sandigen Konsistenz recht locker. Dementsprechend ist die Kationenaustauschkapazität des Bodens stark beeinträchtigt, da der Gehalt an Metallen, welche vorwiegend an Tonmineralen gebunden sind, stark abnimmt. Durch das Ansteigen des Tongehaltes mit zunehmender Teufe und damit verbunden mit der kompakter werdenden Lagerung, zeigen sich beginnend ab Teufe 5,51m und endend bei Teufe 5,9m leichte Anzeichen eines Staueinflussbereiches. Typisch für den Stauwassereinfluss steigt der Skelettgehalt in den darüber liegenden Schichten der Wechsellagerung stark an. Er verändert sich proportional zum Anwachsen des

Kalzium- und Strontiumgehaltes, was den Schluss zulässt, dass es sich vorwiegend um Aragonit handeln muss.

Die Proben des groben Gerinnebettes des nahegelegenen Flusses „Arroyo de la Madre“ weisen ähnlich niedrige Eisen- und Aluminiumgehalte auf wie die karbonatreichen Schichten, was zeigt, dass die Sedimente fluviatil abgelagert wurden. Da jedoch die Kalziumgehalte in den Proben des groben Gerinnebettes sehr niedrig sind, muss der hohe Karbonatanteil durch Ausfällung bedingt sein.

## **6 Diskussion**

Bei dem Gebiet um Zafarraya handelt es sich nach der Definition von GOUDIE (2004) um ein „strukturelles Polje“. Das Hauptmerkmal des Zafarraya-Poljes ist, dass seine Bildung gegensätzlich zu den „Grenzpoljen“ und den „ebene Poljen“ ursächlich auf ein komplexes Störungssystem zurückgeht, welches seinerseits wiederum die Zafarraya-Depression formte. Eine weitere Charakteristik des Poljes ist, dass die tonreichen Sedimente der Beckenfüllung sehr impermeabel sind und damit als eine Art Staudamm fungieren. Die endorheische Entwässerung erfolgt daher in dem Zafarraya-Polje konträr zu den anderen Poljentypen über Flussschwinden, die in Ponoren münden. Anzunehmen ist, dass sich das Polje in einer durch Faltung entstandene Synklinale befindet. Die Zafarraya-Störung im Süden, nördlich der Antiklinale, verstärkt diesen Effekt durch eine steile Abschiebung. Dadurch bewegt sich das Hangende nach Norden, wodurch es zu einer Überschiebung kommt, was die oberflächlich nahen tertiären Mergelkalke erklären würde.

Die mit Hilfe der Rammkernsondierung gesammelten RFA- und MagSus-Ergebnisse zeigen einheitlich, dass das Polje von einer polygenetischen Bodenbildung geprägt wurde. Alle Bohrprofile zeigen, dass sich am Top der Poljenoberfläche ein rezenter, schwach pseudovergleyter Cambisol aus Kolluvium befindet. Indikatoren dafür sind die Verbraunung und Verlehmung sowie die leichten Marmorierungen. Darunter folgen in den Bohrprofilen Zwei, Drei, Sieben (optische Analyse) und Acht tonreichere und kompaktere Lockersedimentschichten, in denen mit dem Terra fusca ein Paläoboden erkennbar ist.

Merkmale dieses Bodens sind seine polyedrischen ockergelben bis rötlichbraunen Aggregate, der sehr hohe Tongehalt sowie der niedrige Karbonatgehalt. Er entsteht durch Lösung von Karbonaten, wodurch Ton und unlösliche Elemente wie Aluminium und Eisen zurückbleiben, welche die charakteristische Farbe (hauptsächlich bedingt durch das gelbliche Eisenoxid Goethit) erzeugen. In den Bohrprofilen zwei und drei zeigt sich, dass diese Böden die für einen Schwemmfächer repräsentativen Schwemmfächersedimente, bestehend aus sandigem und gebleichtem Material, überlagern. Durch Auswaschung der Minerale aus diesen Sedimenten konnte das darunter liegende Ausgangsgestein, der Mergelkalk aus dem Tertiär, verwittern und somit dolomitisieren.

Am Ponor (Bohrkern Acht) zeigt sich unter den tonreichen Lockersedimenten, in denen mit dem Terra fusca ein Paläoboden erkennbar ist, allerdings noch kein anstehendes Gestein, sondern mit einem Terra rossa, der ebenso wie der Terra fusca laut der europäischen Bodenkunde zu den Terra calcis zählt (laut FAO jedoch Luvisole), wahrscheinlich ein weiterer Paläoboden. Seine weinrote Farbe ist auf den hohen Gehalt des Eisenoxids Hämatit zurückzuführen. Da es sich bei den Terra calcis um Residualböden handelt und die Entkalkung der einzige pedogenetische Prozess ist, lassen sich zwei Theorien zur Bildung der verschiedenen Bodentypen aufstellen.

Da sich Terra calcis nur unter tropischen Bedingungen in semihumiden Klima bilden, stammen die Paläoböden wahrscheinlich aus dem Tertiär oder dem Jungpleistozän. Da das Gebiet des Zafarraya-Poljes im Pleistozän meist einem periglazialen Einfluss unterlag, sprechen die Fakten dafür, dass Terra calcis Material, insbesondere von den Hängen, als Fließerde durch Interstadiale akkumuliert wurde. Folglich hätten sich die Eisenminerale der Böden (Goethit und Hämatit) nicht autochthon gebildet, sondern wären äolisch und fluvial angereichert worden. Dadurch stünden sich die residuale Tonanreicherung und die Tonmineralneubildung gegenüber. Aufgrund dessen handelt es nicht um Reliktböden, sondern nur um reliktsche Böden.

Die deutliche Abgrenzung von Terra fusca zu Terra rossa wäre somit auf eine einschneidende Klimaveränderung zurückzuführen.

Einerseits ist es möglich, dass durch eine Klimaerwärmung, wie es zum Beispiel ab der Pleistozän/Holozän-Grenze der Fall war, weniger Eisenminerale akkumuliert und zu Hämatit oxidiert worden wären.

Andererseits ist es denkbar, dass der goethitreiche Terra fusca durch weitere Reduktion und organischer Komplexierung aus dem Terra rossa gebildet wurde.

Im Bohrkern Elf zeigen sich unter dem oberflächlichen, schwach pseudovergleyten Cambisol deutliche Wechsellagerungen von karbonatischen und silikatischen Sedimentschichten, welche das Ende der holozänen Bodenbildung markieren. Entstanden sind sie wahrscheinlich durch den Einfluss des nahegelegenen „Arroyo de la Madre“. Die Fakten weisen darauf hin, dass sich der Fluss vor allem in Warmphasen eingeschnitten haben muss, wodurch sich folglich eine komplexe Mäandrierung ausbildete. Aufgrund dessen wurden Flusssedimente akkumuliert, die nach einer Änderung des Flusslaufes von tonreichen Sedimenten überlagert wurden. Dieser Prozess muss sich demnach des Öfteren in unterschiedlich langen Zeitabschnitten wiederholt haben.

Unterstützt wird diese These zum einen durch den hohen Skelettgehalt, der nur fluviatil angelagert werden konnte und zum anderen durch den hohen Karbonatgehalt. Er ist das Resultat der Ausfällung des Kalziumkarbonates aus dem Fluss. Durch Temperaturerhöhung verringert sich der Kohlenstoffdioxidgehalt im Wasser, wodurch weniger Kalziumkarbonat in Form von Kalziumhydrogenkarbonat im Fluid gelöst werden kann. Demnach sollte es möglich sein, mittels der Isotopenverhältnisse des Kohlen- ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) und des Sauerstoffs ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), das Alter der Karbonate zu ermitteln (BOETTGER et al. 2009). Durch Korrelation dieser Daten mit der Mächtigkeit der karbonatdominierenden Schichten könnten in einer weiteren Analyse gezieltere Aussagen über das Paläoklima getroffen werden, da in trockenen und wärmeren Perioden mehr, hingegen in feuchteren und kühleren Perioden weniger Kalziumkarbonat ausgefällt.

Bei der Auswertung der diversifizierten Daten ist darauf zu achten, dass Fehlerkorrekturen durchgeführt werden. Aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung werden dort für die Artischockenkultivierung oftmals kalk- und phosphorhaltige Dünger verwendet. Zudem gingen Teile der Bohrkernkerne entweder verloren, wurden komprimiert oder es wurden Teile verschleppt, wodurch die Ergebnisse der Analysen verfälscht werden können.



## **7 Fazit**

Bei dem Gebiet um Zafarraya handelt es sich eindeutig um ein Polje, welches aufgrund der bildungsbeeinflussenden Zafarraya-Störung als „strukturelles Polje“ zu bezeichnen ist.

Mit der Rammkernsondierung konnten zwar durchweg gute Ergebnisse erzielt werden, allerdings reichen die gesammelten Daten nicht aus, um das Paläoklima rekonstruieren zu können. Genaue Altersdatierungen, Untersuchungen der Lumineszenzen sowie Analysen der Isotopenverhältnisse sind für gezielte Rückschlüsse auf das Paläoklima unabdingbar.

Zur Vervollständigung und Überprüfung der auszuwertenden Daten empfehlen sich weitere Explorationsmethoden, wie beispielsweise der Einsatz der Geoelektrik, da die Leitfähigkeit der oberflächlich mächtigen Schichten aus nassem Ton sehr hoch ist. Mit ihr ist es möglich, in tiefere Schichten zu blicken und sogar schwache Materialveränderungen zu lokalisieren.

## **8 Danksagung**

An dieser Stelle möchte mich ich besonders bei Herrn Professor Dr. Klaus Reicherter sowie bei Herrn Dr. Martin Kehl dafür bedanken, dass sie die Spanien-Feldkampagne 2010 verwirklicht und mich anschließend bei der Bachelorarbeit betreut haben.

Ein weiterer Dank geht an Nicole Höbig für ihre tatkräftige Unterstützung, für die kreativen Anregungen und für das Korrekturlesen meiner Bachelorarbeit.

Benedikt Ziegler danke ich für die nette Zusammenarbeit im Labor, die Klärung geographischer Verständnisfragen und die Bereitstellung vielseitiger Informationsquellen.

Ich möchte mich des Weiteren bei Hannah Hadler für die Durchführung der Röntgenfluoreszenzanalyse und der anschließenden Datenaufbereitung bedanken.

Der Spanien-Gruppe danke ich für die schönen ereignis- und ergebnisreichen Tage im Gelände.

Und nicht zuletzt geht ein großer Dank an meine Familie, meine Freunde und insbesondere an meine Freundin Jasmin, die mich zur Fertigstellung dieser Arbeit motiviert haben.

## 9 Literaturverzeichnis

AZANÓN, J. M., J. GALINDO-ZALDÍVAR, V. GARCÍA-DUENAS, & A. JABALOY:  
„Alpine tectonics II: Betic Cordillera and Balearic Islands. “In The Geology of Spain””, W.  
GIBBONS & T. MORENO, - London: The Geological Society, 2002

BLUME, H.-P.: „Bodenentwicklung und Bodensystematik“ , Lehrbuch der Bodenkunde  
(Scheffer & Schachtschabel), 2010

CIA: CIA World Factbook - SPAIN, 27.07.2010,

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/sp.html>

DEWEY, J.F., M.L. HELMAN, E. TURCO, D.H.W. HUTTON & S.D. KNOTT:  
„Kinematics of the western Mediterranean“, In Alpine tectonics, von M. COWARD, D.

DIETRICH D. & R.G. PARK, 45:65-283. London: Geological Society, London, Special  
Publications, 1989

ELORZA, J. J., V. GARCÍA DUEÑA, J. M. GONZÁLEZ DONOSA, L. MARTÍN GARCÍA,  
J. MATAS GONZÁLEZ: „Geologische Karte von Zafarraya“, Geologische und  
Mineralogisches Institut von Spanien, 1978

ENGELER C.G. & O.J. SIMON: “Orogenic evolution of the Betic Zone (Betic Cordilleras,  
Spain), with emphasis on the nappe structure. – Geol. & Mijnb“, Amsterdam, 1969

FISCHER: Fischer Weltalmanach 2009, Fischer Taschenbuch Verlag, 2009

FÜCHTBAUER, H. & H. GOLDSCHMIDT: „Beziehungen zwischen Calciumgehalt und  
Bildungsbedingungen der Dolomite“, Geologische Rundschau, 55, 29-40, Stuttgart, 1965

GALINDO-ZALDÍVAR, A.J. GIL, M.J. BORQUE, F. GONZÁLEZ-LODEIRO,  
A. JABALOYA, C. MARÍN-LECHADOC, P. RUANO, C. SANZ DE GALDEANOD: „  
Active faulting in the internal zones of the central Betic Cordilleras (SE, Spain), Journal of  
Geodynamics, 36, 2003

GAMS, I.: „The polje: The problem of definition (definition)“, Zeitschrift der  
Geomorphologie, 22:170-181, 1978

GOUDIE, A. S.: „Encyclopedia of Geomorphology“, Volume 2 J-Z. London: Routledge, 2004

- GÜNZLER, T. F.: "Element-specific X-ray Fluorescence Microtomography", 2003
- HOLLEMANN, A.F., E. WIBERG & N. WIBERG: „Lehrbuch der anorganischen Chemie“, Berlin, Walter De Gruyter, 1985
- LONERGAN, L., J.P. PLATT, & L. GALLAHER: „The Internal/External Zone Boundary in the Eastern Betic Cordillera“, *Journal of Structural Geology*, 16: 175-188, 1994
- LÓPEZ-CHICANO M., M.L. CALVACHE, W. MARTÍN-ROSALES, J. GISBERT: “Conditioning factors in flooding of karstic poljes - the case of the Zafarraya polje (South Spain)”, Elsevier Science B.V., 2002
- MORALES, J., I. SERRANO, F. VIDAL & F. TORCAL: „The depth of the earthquake activity in the Central Betics (Southern Spain).“ *Geophysical Research Letters*, 24: 3289-3292, 1997
- P. SCHEFFER et al., 273-362. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2010
- PLATT, J.P. & R.L.M VISSERS: „Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc“, *Geology*, 17:540 – 543, 1989
- RAFAEL Y. R. “Axarquía, El Medio Natural” Gráficas San Pancraccio, S.L. – Málaga, 84-689-5147-1, 2005
- REICHERTER, K.R.: „The Mesozoic tectono-sedimentary Evolution of the central Betic Seaway (External Betic Cordillera, southern Spain)“, *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten*, 20:265pp., 1994
- REICHERTER, K.R, A. JABALOY, J. GALINDO-ZALDÍVAR, P. RUANO, P. BECKER-HEIDMANN, J. MORALES, S. REISS, F. GONZ\_LEZ-LODEIRO.: „Repeated palaeoseismic activity of the Ventas de Zafarraya fault (S-Spain) and its relation with the 1884 Andalusian earthquake“, *International Journal of Earth Sciences*, 92:912–922, 2003
- Reicherter, K.R. & G. Peters: „Neotectonic evolution of the Central Betic Cordilleras (Southern Spain)“, *Tectonophysics*, 405:191–212, 2005
- SCHEER, R.: „Röntgenfluoreszenzanalyse an dünnen Schichten (RFA)“, Prinzip der Röntgenfluoreszenzanalyse, <http://www.helmholtz->

[berlin.de/forschung/enma/technologie/charakterisierung/rfa\\_de.html](http://berlin.de/forschung/enma/technologie/charakterisierung/rfa_de.html), Zugriff am  
28.08.2010

SCHULTZ, J.: Handbuch der Ökozonen, Verlag Eugen Ulmer GmbH, Stuttgart, 2000

THOMPSON, R. & F. OLDFIELD: "Environmental magnetism." London, 1986

TURNER, S.P., J.P. PLATT, R.M.M. GEORGE, S.P. KELLEY, D.G. PEARSON &  
G.M. NOWELL: „Magmatism associated with orogenic collapse of the Betic-Alboran  
Domain, SE Spain“ Journal of Petrology , 40,6:1011-1036, 1999

WALTER, H. & S.-W. BRECKLE: „Vegetation und Klimazonen“ - 7.Auflage. Stuttgart:  
Verlag Eugen Ulmer, 1999

WINKLMAIR, D.: „Röntgenspektrometrie“, 3.1.1 Charakteristische Röntgenstrahlung, 2009

## Anhang



Anhang 1: Foto der einzelnen Bohrmeter des Bohrkerns 2



Anhang 2: Foto der einzelnen Bohrmeter des Bohrkerns 3



Anhang 3: Foto der einzelnen Bohrmeter des Bohrkerns 7





Anhang 4: Foto der einzelnen Bohrmeter des Bohrkerns 8



Anhang 5: Foto der einzelnen Bohrmeter des Bohrkerns 11







Datum	Bohrpunkt							
12.03.2010	3							
Lage	Grenze	Fleckung	Feuchte	Skelett	Lagerung	Konzentration	Bemerkung	
1	0,33 De		nass	1	locker			
2	0,69 A	S, SF	feucht	0	mittel-hoch			
3	1	S, SF	feucht	2	hoch			
4	1,26 S	K	nass	3	locker		Verschleppung	
5	1,41 S	S, SF	feucht	2	hoch		unterer Teil von 5	
6	1,73 De	S	feucht	1	hoch			
7	2	S (Mangan)	feucht	1	hoch	Mangan		
8	2,16 S	K	nass	0	locker		Verschleppung	
9	2,31 A	S, SF (Mangan)	feucht	2	hoch		Verm. Teil von 7	
10	3	V, F (Eisen)	feucht	1	hoch-sehr hoch		graue Maserung/Schlieren + Stau/Bleichzone	
11	3,15 De	W, SF (Mangan)	nass	0	locker		Verschleppung	
12	3,42 A	V, F	feucht	0	mittel		leicht marmoriert	
13	3,61 S	V, F	feucht	0-1	mittel			
14	4	V, MG	feucht	0	hoch		marmoriert	
15	4,1	K	feucht	0-1	locker-mittel		Verschleppung	
16	4,2 S	K	feucht	2	mittel		Linse (?), Skelett auffällig	
17	4,44 A	V, MG	feucht	0	mittel			
18	5	V, MG	feucht	1	mittel-hoch			
19	5,1/5,2 A	V	nass	2	locker			
20	5,34	K	feucht	2	mittel			
21	5,5	K	feucht	0	mittel			
22	5,57 A	M, F	feucht	0	hoch			
23	5,87	V, F	feucht	0	hoch			
24	6	W, F	feucht	2	hoch			
25	6,12	K	nass	1	hoch			
26	6,3	K	feucht	2	mittel-hoch		mit kies	
27	6,53	K	nass	2	hoch		dunkel, mit kies	
28	6,57	W, F	feucht	2	mittel		mit kies	
29	6,68	W, F	feucht	1	mittel		mit kies	
30	7	V, (S?)	feucht	0	hoch			
31	7,12	k	feucht	1	mittel		vermutlich verschleppt	
32	7,44	S, FS	feucht	0-1	hoch	Mangan?		
33	7,76	W, F	feucht	0-1	hoch	Mangan		
34	8	W, F	feucht	1-2	hoch	Mangan	große Steine: Kies	
35	8,16	K	nass	2	locker-mittel			
36	8,3	K	sehr nass	2-3	locker			
37	8,4	K	feucht	1	locker-mittel			
38	8,45	K	nass	2	locker			
39	8,57	K	feucht	2	hoch		Mangankonkretionen	
40	8,86	W, F	feucht	3	hoch		Mangankonkretionen	
41	9	M, F	feucht	0-1	sehr hoch		große Grußtücke/ reduzierendes Milieu	

Anhang 7: Tabelle des Bohrkerns 3

Datum	Bohrpunkt	Rechtswert	Hochwert	Höhe ü NN	Nutzung	Vegetation				
16.03.2010	7	W 4,13967°	N 36,08220°	893 +- 12 ft	LW , Acker	keine / Gräser				
Lage	Grenze	Farbe fe.	Fleckung	Feuchte	Skelett	Carbonat	Lagerung	Konzentration	Bemerkung	
1	0,44-0,52 de		k	feucht	0	C0	gering		44 cm Kernverlust	
2	0,74 al		k	feucht	0-1	C0	hoch			
3	1,0		k	feucht	1-10	C0	hoch			
4	1,29 di		S; SF-F	feucht	0	C0	mittel			
5	1,50 al		S; SF	feucht	0	C0	hoch			
6	1,75 al		W; SF-F	feucht	0	C0	hoch	Mn, Fe		
7	2,0		M; SF-F	feucht	0-1	C0	hoch	Mn, Fe		
8	2,34 a		W; F	feucht	0	C0	hoch	Mn, Fe	Karbonatgrus	
9	2,675 di		M; SF-F	feucht	0	C0	hoch	Mn, Fe		
10	3,00+0,02		M; SF-F	feucht	0	C0	hoch	Mn, Fe		
11	3,06 a		SW; SF	feucht	0	C0	hoch	Fe, Mn	verschleppt?	
12	3,27 a		SW; SF-F	feucht	0-1	C0	hoch	Fe, Mn		
13	3,48 de		W; SF-F	feucht	0	C0	hoch	Fe, Mn		
14 o	3,72		SW; SF-F	feucht	1-10	C0	hoch	Fe, Mn		
14u	3,9 de		SW; SF-F	feucht	1-10	C0	hoch	Fe, Mn	Eigene Lage Fein-mittelkies	
15	4,00 +0,08		SW; SF	feucht	0	C0	hoch	Fe, Mn		
16	4,05 - 4,15 de		SW; F	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Mn, Fe	4,00-4,05 verschleppt	
17	4,3 de		SW; SF	feucht	0	C0	mittel hoch	Mn, Fe		
18	4,57 a		SW; SF	feucht	0	C0	mittel hoch	Mn, Fe		
19	4,66 de		k	feucht	1-10	C0	hoch			
20	4,88 de		W; SF-F	feucht	0	C0	hoch	Mn, Fe		
21	5,00 +0,001		M; F	feucht	0	C0	hoch	Mn!		
22	5,03 - 5,2 s		W; SF	feucht	0-1	C0	mittel	Fe, Mn	verschleppt?	
23	5,28 de		M; SF	feucht	0	C0	mittel	Fe, Mn	verschleppt?	
24	5,54 a		SV; SF-F	feucht	0	C0	sehr hoch	Mn! Fe		
25	5,76 a		V; SF	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn		
26	6,00 +0,05		V; SF	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn		
27	6,24 de		M; SF-F	feucht	0-1	C0	hoch	Fe, Mn	verschleppt?	
28	6,42 de		SW; SF	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Fe, Mn	verschleppt?	
29 o	6,62 di		SW; SF	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Fe, Mn		
29 u	6,82 de		SW; SF	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Fe, Mn		
30	7,00 +0,03		SW; SF	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Fe, Mn		
31	7,29 de		M; SF-F	feucht	0	C0	mittel hoch	Fe, Mn	verschleppt?	
32	7,48 al		W; SF-F	feucht	0-1	C0	mittel hoch	Fe, Mn		
33	7,63 al	sehr dunkel	SW; SF	feucht	0-1	C0	hoch	Mn		
34	7,86 s	sehr dunkel	V; SF-F	feucht	1-10	C0	hoch	Mn!	Fleckung unten zunehmend, verschleppt! Foto täuscht	
35	8,00 +0,04	orange	V; F	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn		
36	8,19 -8,43 a	ora, gelb, rot, schw	V; SF-F	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn	19 cm verschleppt, nicht beprobt	
37 o	8,45 - 8,64	rot orange	V; SF-F	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn	2cm leer	
37 m	-8,88	rot orange schwarz	V; SF-F	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn		
37 u	9,99 +9,07	rot orange schwarz	V; SF-F	feucht	0	C0	sehr hoch	Fe, Mn		
38	9,13 - 9,34 a	orange, gelb, rot	V; F	feucht	0	C0	sehr dicht		13 cm verschleppt, nicht beprobt	
39	9,81a	rot orange	M; SF-F	feucht	0	C0	dicht		Tongerölle? Tonbeläge?	
40	10,00 +0,02	rot orange	V; SF	feucht	0	C0	dicht		Tongerölle? Tonbeläge?	

40	10,00 +0,02	rot orange	V; SF	feucht	0	C0	dicht		Tongerölle? Tonbeläge?
41	10,00 +0,12	rot orange	V; SF	feucht	0	C0	dicht		Tongerölle? Tonbeläge?
42	10,05 - 10,25 de	rot orange	V; SF	feucht	0	C0	sehr dicht		Tonschlieren, MM 1
43	10,34 de	rot	M;SF-F	feucht	0	C0	sehr dicht		sehr tonreich
44	10,48	orange rot	V;SF-F	feucht	0	C0	sehr dicht		Tonschlieren
45	10,64	rot	M; SF-F	feucht	0	C0	sehr dicht		sehr tonreich, MM 2

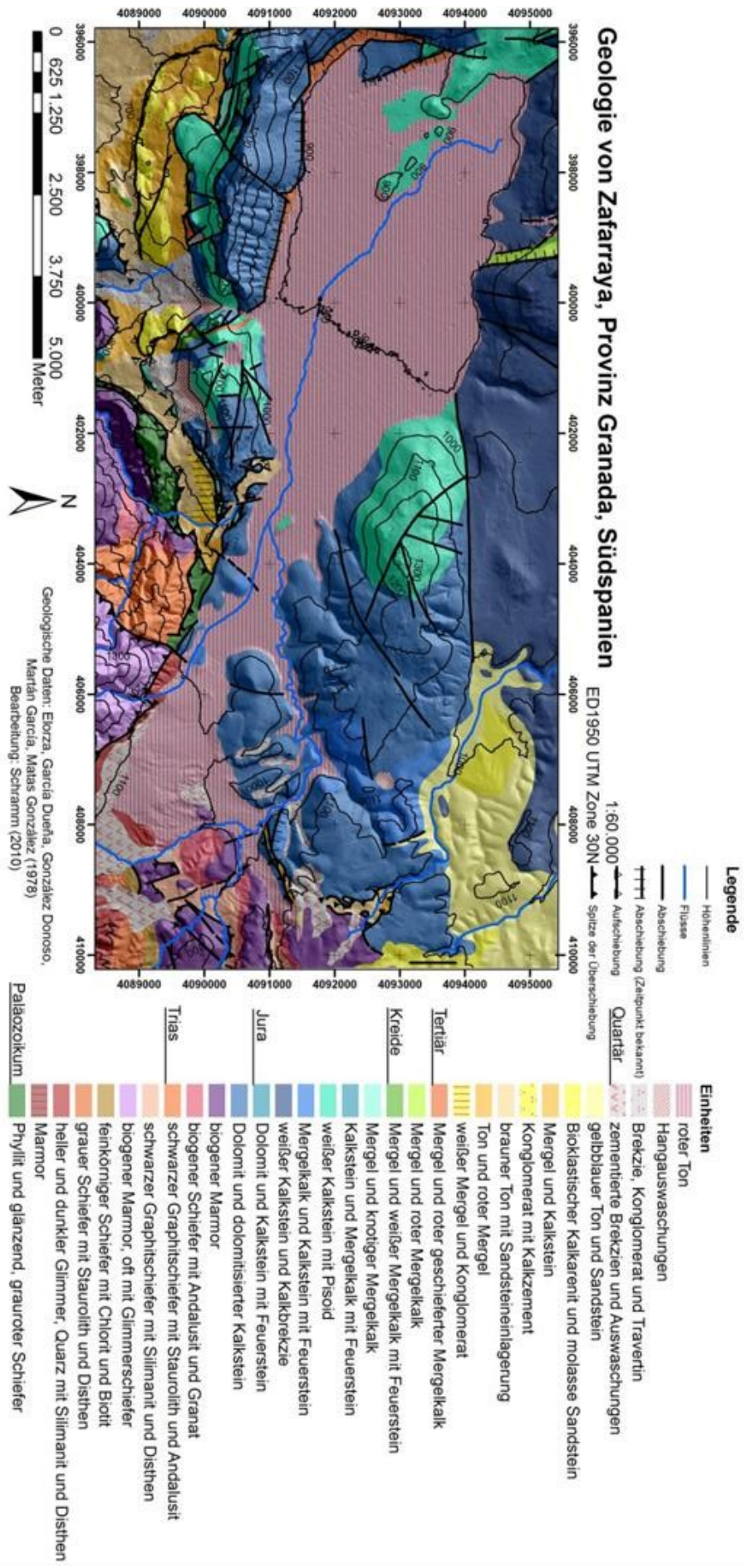
Anhang 8: Tabelle des Bohrkerns 7

Datum	Bohrpunkt	Rechtswert	Hochwert:	Nutzung	Höhe				
18.03.2010	11	W 004.10613	N 36.96156 +21ft	Ackerbrache	908m				
Lage	Grenze	Fleckung	Feuchte	Skelett	Carbonat	Lagerung	Konzentration	Bemerkungen	
1	0,4	K	fe	1	C1	locker		gepflügt	
2	0,64	K	fe	0	C1	mittel	Mn		
3	1	K	fe	0-1	C1	locker			
4	1,3								Kernverlust/Komprim.
5	1,52	K	fe	0	C0	mittel			komprimiert?
6	1,66	K	fe	0-1	C0-C1	locker			
7	2 (gemessen: 1,96m)	K	fe	1-2	C0-C1	mittel	Mn		
7a	2,0-2,08								verschleppt, keine Prob
8	2,48 A	S,F	fe	0	C0		Mn		
9	2,85 D	S,F	fe	0	C2		Mn		
10	3	S,SF-F	fe	0	C3		Mn,Fe		
11	3,16								Kernverlust
12	3,44 D	K	fe	1	C3	hoch			
13	3,58 D	K	trocken	5	C3	locker			Kiese
14	4	W,F	fe	2	C3	mittel	Fe		
15	4,07	K	fe	1	C3	locker			Verschleppt?
16	4,32	K	fe	0-1	C3	mittel			Verschleppt?
17	4,41	S,SF	fe	2	C3	dicht			Skelettgehalt nimmt zu
18	4,56	K	trocken	>50%	C3				(in einzelnen Lagen!)
19	4,73	S,SF	trocken-feucht	>50%	C3		Fe		Skelettgehalt nimmt zu
20	5	S,SF	trocken-feucht	>50%	C3		Fe		(in einzelnen Lagen!)
21	5,24-5,51	S,F	fe	>50%	C3	gering-mittel	Fe		bis 5,24m Kernverlust
22	5,9	W,F	nass	25-50%	C2	hoch			
23	6	W,SF	fe	2	C3	hoch			
24	6,12 D	S,SF	nass	70-80%		mittel-hoch	Mn, Fe		Eisenkonkretionen
25	6,27 D	K	fe	2		mittel			
26	6,34	K	fe	70-80%	C3	mittel-hoch			
27	6,46	K	fe	0-1		mittel			
28	6,6	S,SF	fe	0-1		mittel-hoch			
29	6,86	S,SF	fe	1		mittel-hoch			
30	7,02	S,F	fe	0-1			hoch		

Anhang 9: Tabelle des Bohrkerns 11

Datum	Bohrkern	Rechtswert	Hochwert	Nutzung	Höhe					
17.03.2010	8	W 004.15287	N 36.98771	Ackerbrache	892m					
Lage	Grenze	Übergang	Farbe	Fleckung	Feuchte	Skelett	Carbonat	Lagerung	Konzentration	Bemerkungen
1	0,5			S,F	fe	0	nur OF	hoch	Mn	30 cm Verlust, humose
2	2			W,SF	fe	1	0	hoch	Mn,Fe	
3	2,29			W,SF	fe	0	0	hoch	Mn,Fe	
4	3,00 +2		rostfarben	M,SF-F	fe	0	0	hoch	Mn,Fe	
5	3,07		grünl./braun	M,	fe	0	0	hoch	Mn,Fe	Marmorierung (Bleich
6	3,20 / 400 +8		braun	W,SF	fe	0	0	hoch	Mn,Fe	Marmorierung (Bleich
7	4,28	Di	raungescheck	M,SF-F	fe	0-1	0	mittel		Verschleppt?
8	4,48	Di	rötlich	W,SF	fe	0-1	0	hoch		
9	4,685	Di	rot	W,SF	fe	0-1	0	hoch		
10	4,9	De	rötlich	W,SF	fe	0-1	0	hoch		
11	5		braun	K	fe	0	0	hoch		
12	5,39	Di	rötlich	S,SF	fe	0-1	0	hoch		Verschleppt?
13	5,78	Di	rötlich	S,SF	fe	2	0	mittel-hoch		
14	6,03	Di	rötlich	S,SF	fe	2	0	hoch		
15	6,3	Di	rötlich	S,SF	fe	1	0	mittel	Mn,Fe	Marmoriert? Wenn ja,
16	6,75	Di/A	braun	W,SF	fe	1	0	mittel-hoch	Mn,Fe	
17	6,96		braun	M,F	fe	4-5	0	hoch	(viel),Fe Lepidokro	sehr große MN Flecke
18	7,02		rot	M,MG	fe	1	0	sehr hoch	Mn,Fe	
19	7,38		nicht beprobt							Verschleppung!
20	7,62	Di	rot	M,MG	fe	1-2	0	sehr hoch		
21	8,03		rot	V,F-MG	fe	2 größer	0	sehr hoch	Mn (viel)	große Mn Konkretione
22	8,3		nicht beprobt							Verschleppt
23	8,49	Di	rot	M,F-MG	fe	3	0	sehr hoch	epidokrokit), Mn	nicht beprobt
24	8,76	Di	rot	M,F-MG	fe	3	0	sehr hoch	epidokrokit), Mn	nicht beprobt
25	9,02	Di	rot	M,F-MG	fe	5	0	sehr hoch	epidokrokit), Mn	nicht beprobt

## Anhang 10: Foto des Bohrkerns 8



Anhang 11:  
Geologische Karte  
von Zafarraya