



Der Laacher-See-Vulkan und das mittlere Lahnggebiet.
Geoarchäologische Untersuchungen zu den Auswirkungen des
Vulkanausbruchs auf Mensch und Umwelt vor 12.900 Jahren

betreut durch
Prof. Dr. Andreas Müller-Karpe

vorgelegt von
Thomas Birndorfer
am 13. November 2015

Thomas Birndorfer
Goethestraße 34
35043 Marburg

Danksagung

Mein Dank gilt allen Personen, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Im Besonderen möchte ich mich bedanken bei:

Herrn Prof. Dr. Andreas Müller-Karpe der mir die Bearbeitung des überaus interessanten Themas ermöglichte und bei offenen Fragen zur Seite stand.

Herrn Dr. Steffan Harnischmacher für die Unterstützung bei den Feldarbeiten und Interpretationsmöglichkeiten des physisch geographischen Themenkomplexes.

Herrn Prof. Dr. Masberg der die Durchführung der mineralogischen Untersuchungsmethoden ermöglichte und als Ansprechpartner für die Interpretation der Ergebnisse behilflich war.

Herrn Dr. Ralf Urz für die fachliche Unterstützung bei den geomorphologischen Untersuchungen im Gelände sowie der Hilfestellung in Bezug auf die Ableitung von Schlussfolgerungen.

Meiner Lebensgefährtin Frau Johanna Wischka für die Unterstützung bei den Untersuchungen im Gelände, das Korrekturlesen und den emotionalen Beistand während der Arbeitsphase.

Katharina Berghof und meinem Onkel Manfred Zeiselmaier fürs Korrekturlesen.

Ganz besonders danke ich meinen Eltern Josef und Brigitte Birndorfer, die mir das Studium der Geoarchäologie durch die emotionale und finanzielle Unterstützung ermöglichten.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Anhangsverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung	1
1.1 Problem- und Zielstellung	1
1.2 Untersuchungsansatz	2
2. Die Vorstellung der Untersuchungsgebiete Amöneburger Becken und Marburger Lahntalsenke	4
2.1 Naturräumliche Gegebenheiten	4
2.1.1 Geologischer Bau	4
2.1.2 Klima	7
2.1.3 Fließgewässer	10
2.1.4 Potentiell natürliche Vegetation	10
2.1.5 Böden	12
2.2 Spätpaläolithische Fundplätze im mittleren Lahngebiet	15
3. Grundlagen	19
3.1 Gewässermorphologie	19
3.1.1 Steuerungsfaktoren der fluvialen Geomorphodynamik	19
3.1.2 Sedimenttransport in Fließgewässern	21
3.1.3 Gewässerstrukturen	23
3.1.3.1 Verzweigte Fließgewässer	23
3.1.3.2 Mäandrierende Fließgewässer	24

3.2	Die Eruption des Laacher-See-Vulkans	26
3.2.1	Definitionen und Begrifflichkeiten	26
3.2.2	Geologische Grundlagen	27
3.2.3	Zeitpunkt, Dauer und Hergang der Eruption	27
3.2.4	Der Fallout	30
3.2.5	Mineralische Zusammensetzung der Tephralagen	31
3.2.6	Akkumulation, Umlagerung und Identifikation der Tephra im Gelände	34
3.3	Denudationsprozesse	35
3.3.1	Abtragung und Transport durch fließendes Wasser	35
3.3.2	Äolische Abtragungs- und Transportvorgänge	36
4.	Forschungsstand zur Paläoumwelt und dem Spätpaläolithikum	38
4.1	Relief- und Talentwicklung	38
4.2	Fließgewässergeschichte	40
4.3	Paläoklima und Vegetation	42
4.4	Das Spätpaläolithikum	45
4.4.1	Vom Magdalénien zu den spätglazialen Rückenspitzen-Gruppen	45
4.4.2	Rückenspitzen-Gruppen	47
4.4.2.1	Behausungen	48
4.4.2.2	Die Jagd	48
4.4.2.3	Artefakte	49
4.4.2.4	Ausgewählte Fundstellen	51
5.	Arbeitsmethodik	55
5.1	Feldarbeiten	55
5.1.1	Bohrtransekt im Amöneburger Becken	55
5.1.2	Profilaufnahme im Marburger Lahntal	55
5.2	Laborarbeiten	55

5.2.1	Vorbehandlung der Proben	56
5.2.2	Bestimmung der Bodenart und Korngrößenverteilung	56
5.2.3	Organische Substanz	57
5.2.4	Magnetische Suszeptibilität	57
5.2.5	Rasterelektronenmikroskop Analyse	58
5.3	Kartierung der spätpaläolithischen Fundorte	59
6.	Darstellung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse	60
6.1	Niederwald	60
6.1.1	Profil 1 - Anomalie	61
6.1.2	Profil 2 - Innenfläche	64
6.1.3	Profil 3 - Außenbereich	67
6.2	Argenstein	70
6.2.1	Profil 1	70
6.2.2	Profil 2	75
6.2.3	Profil 3	78
6.2.4	Profil 4	81
6.3	Ergebnisse der Rasterelektronenmikroskop Analyse	84
6.4	Standortfaktoren der spätpaläolithischen Fundstellen im Untersuchungsgebiet	86
7.	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	87
7.1	Korngrößenanalyse, Wassergehalt und organische Substanz zur Interpretation der Fluvialmorphologie	87
7.2	Zur Aussagekraft der magnetischen Suszeptibilität in Bezug auf die Auswertung der stratigraphischen Befunde	90
7.3.1	Niederwald	90
7.3.2	Argenstein	91

7.3 Die chemische Zusammensetzung der Honblenden und ihre Interpretationsmöglichkeiten	92
7.4 Die Störung der natürlichen fluvialen Geomorphodynamik durch den Eintrag der Tephra	93
8. Die Auswirkungen des Vulkanausbruchs auf Mensch und Umwelt	98
9. Ausblick	101
10. Zusammenfassung	102
Quellenverzeichnis	104
Anhang	117
Plagiatserklärung	146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm zur Darstellung des Untersuchungsansatzes	3
Abbildung 2: Geologischer Bau der Untersuchungsgebiete	6
Abbildung 3: Klimawerte aus Argenstein	8
Abbildung 4: Klima im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal	9
Abbildung 5: Vegetation im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal	11
Abbildung 6: Böden im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal	14
Abbildung 7: Spätpaläolithische Fundorte im Untersuchungsgebiet	18
Abbildung 8: Modell der komplexen Wechselbeziehungen von Einflussgrößen der fluvialen Geomorphodynamik	20
Abbildung 9: Hjulström-Diagramm	21
Abbildung 10: Transportkörper-Grundformen in schematischer Darstellung	22
Abbildung 11: Ausschnitt aus einer Stromebene mit einem verzweigten Fluss	23
Abbildung 12: Modell der Fließstrukturen und der Flußbettform in mäandrierenden Gewässern	24
Abbildung 13: Laufverlagerung und Bildung von Altarmen	25
Abbildung 14: Ausschnitt aus einer Stromebene mit einem mäandrierenden Fluss	25
Abbildung 15: (a) Flächenverteilung, (b) Isopatchen Karte der Hauptfächer in Mitteleuropa	31
Abbildung 16: Vereinfachtes Modell der Laacher-See Magmenkammer vor dem Ausbruch.	32
Abbildung 17: Kompositionelle Zonierung der LST-Ablagerungsphasen in Bezug auf die Tiefe der Magmenkammer. Konzentration der Haupt- (%) und Spurenelemente (ppm) in Bimsen (Punkte)	33
Abbildung 18: Funktionale Zusammenhänge der Bodenerosion durch Regen	36
Abbildung 19: Schematisches Talquerprofil der Lahn bei Marburg	39
Abbildung 20: Späteiszeitliche Wiederbewaldung in Mitteleuropa anhand von Pollenanalysen aus Seesedimenten	44

Abbildung 21: Gliederung der Spitzen in räumlich-zeitliche Gruppen	46
Abbildung 22: Gliederung des Spätglazials und Entwicklungsabfolge des mitteleuropäischen Rückenspitzen-Kreises	47
Abbildung 23: Typen-Gliederung der Rückenspitzen	50
Abbildung 24: Graustufendarstellung der Magnetometerprospektion M. 1:1000	60
Abbildung 25: Profil 1 Niederwald – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	63
Abbildung 26: Profil 2 Niederwald – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	66
Abbildung 27: Profil 3 Niederwald – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	69
Abbildung 28: Profilplan aus Argenstein	70
Abbildung 29: Profil 1 Argenstein – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	74
Abbildung 30: Profil 2 Argenstein – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	77
Abbildung 31: Profil 3 Argenstein – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	80
Abbildung 32: Profil 4 Argenstein – Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität	83
Abbildung 33: Elementzusammensetzung (Gew%) der Hornblenden aus Argenstein	85
Abbildung 34: Streudiagramm über die chemische Zusammensetzung der Hornblenden	85
Abbildung 35: Rekonstruktion des Paläomänders bei Niederwald	89
Abbildung 36: Zeitliche Abfolge der Profile in Argenstein	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimawerte aus Kirchhain	8
Tabelle 2: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 1	62
Tabelle 3: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenart und Bodenfarbe aus Niederwald Profil 1	62
Tabelle 4: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 2	65
Tabelle 5: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenart und Bodenfarbe aus Niederwald Profil 2	65
Tabelle 6: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 3	68
Tabelle 7: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenart und Bodenfarbe aus Niederwald Profil 3	68
Tabelle 8: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 1	73
Tabelle 9: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 1	73
Tabelle 10: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 2	76
Tabelle 11: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 2	76
Tabelle 12: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 3	79
Tabelle 13: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 3	79
Tabelle 14: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 4	82
Tabelle 15: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 4	82

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Übersichtskarte der im Text erwähnten Fundorte	117
Anhang 2: Endpaläolithikum verschiedener Fundstellen in Hessen	118
Anhang 3: Friedensdorf am „Böttig“	119
Anhang 4: Endpaläolithikum Neustadt und Oberrosophe	120
Anhang 5: Cölbe-Bürgeln, Kr. Marburg-Biedenkopf. Kiesgrube „Am Roten Wasser“	121
Anhang 6: Ronhausen und Rauschenberg	122
Anhang 7: Die Profile von Rüsselsheim 122A (oben) und 122B (unten)	123
Anhang 8: Rüsselsheim Fundplatz A	124
Anhang 9: Mühlheim-Dietesheim, Kr. Offenbach. Profil an der Feuerstelle (links) und Schwermineralanalyse (rechts)	125
Anhang 10: Profil Rothenkirchen	126
Anhang 11: Rothenkirchen. Rückenspitzen und -fragmente mit konvexer und gerader Retusche (1-78). M 2:3	127
Anhang 12: Bad Breisig. Profil an der Fundstelle. 0 allerödzeitlicher Boden; 1-5 primäre und verlagerte LST Ablagerungen; 6 Hochflutablagerungen	128
Anhang 13: Bad Breisig, Werkzeuge	129
Anhang 14: Bohrungen 1 bis 3 aus Niederwald (Bohrung 1 links, 2 mittig, 3 rechts) (01.03.2014)	130
Anhang 15: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 1 bis 3 aus Niederwald	131
Anhang 16: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 1 und 2 aus Argenstein	132
Anhang 17: Profil 1 aus Argenstein	133
Anhang 18: Profil 2 aus Argenstein	133
Anhang 19: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 3 und 4 aus Argenstein	134
Anhang 20: Profil 3 aus Argenstein	135

Anhang 21: Profil 4 aus Argenstein	135
Anhang 22: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden Ref. 1 und Ref. 2 aus der Eifel	136
Anhang 23: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 1 und 2 aus Argenstein	137
Anhang 24: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 3 und 4 aus Argenstein	138
Anhang 25: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 5 und 6 aus Argenstein	139
Anhang 26: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 7 und 8 aus Argenstein	140
Anhang 27: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 9 und 10 aus Argenstein	141
Anhang 28: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 11 und 12 aus Argenstein	142
Anhang 29: Chemische Zusammensetzung der Hornblende 13 aus Argenstein	143
Anhang 30: Spezifische magnetische Suszeptibilität einiger Materialien, zusammengestellt nach (Thompson, R & Oldfield, F. 1986)	143
Anhang 31: Grenzflächenklassifikation nach Miall (1996)	143
Anhang 32: Architektur-Element-Klassifikation nach Miall (1996)	144
Anhang 33: Faziesklassifikation i.w. nach Miall (1996)	144
Anhang 34: Profilzeichnung und zeitliche Einordnung der Profile aus Argenstein	145
Anhang 35: Ergebnisse der REM-Analyse (links) im Vergleich mit den von Wörner und Schmincke (1984, S. 817) veröffentlichten Mittelwerten der chemischen Zusammensetzung von Hornblenden (rechts)	145

Abkürzungsverzeichnis

a	annum
A	Ampere
alC	C- (Untergrund-) Horizont durch Auendynamik und Schotter geprägt
Ah	A- (Oberboden-) Horizont, humos
Al	A- (Oberboden-) Horizont, lessiviert
Ap	A- (Oberboden-) Horizont, Bodenbearbeitung

BC	before christ
Bt	B- (Unterboden-) Horizont, tonig
Bv	B- (Unterboden-) Horizont, verbraunt
BP	before present
C	Ausgangsgestein
EDX	energy dispersive X-ray spectroscopy
EZG	Einzugsgebiet
fAh	fossiler Oberbodenhorizont, humos
Fmu	F- (Gewässergrund-) Horizont, Schluffmudde
Go	G- (grundwasserbeeinflusster) Horizont, oxidiert
Gor	Übergangs-Gr-Horizont, überwiegend reduzierende Verhältnisse
Gr	G-Horizont, reduziert
LLST	Lower Laacher See-Tephra
LST	Laacher See-Tephra
LSV	Laacher-See-Vulkan
M-Go	Übergangshorizont eines im Holozän entstandenen sedimentiertem Solummaterial durch Grundwassereinfluss geprägt
MLST	Middle Laacher See-Tephra
REM	Raster-Elektronen-Mikroskop
Sd	Staukörper
SI	Internationale Einheitensystem
Sw	Stauzone
ULST	Upper Laacher See-Tephra
UTM	Universal Transverse Mercator

1. Einleitung

Vor etwa 12.900 Jahren im Alleröd eruptierte der Laacher-See-Vulkan in der Eifel. Der Vulkan schleuderte gewaltige Massen an Magma aus dem Erdinneren in die Atmosphäre.

Immense Mengen an Asche und Bims verbreiteten sich fächerartig über Deutschland bis nach Schweden und Italien.¹ Die Eruption des Laacher-See-Vulkans im Spätquartär zählt zu den gewaltigsten in ganz Mitteleuropa. Dabei dienen die Fallablagerungen Archäologen, Geologen und Paläoumweltforschern als gesicherte Zeitmarker im Landschaftsbild. Neben zahlreichen anderen Regionen in Deutschland sind auch in Hessen eine Vielzahl von Aufschlüssen bekannt, in denen Laacher-See Tephra abgelagert wurde.² Die Ablagerungen des Fallouts sind aber nicht nur wichtige Zeitmarker, sondern führten ebenso zu erheblichen Veränderungen des Naturraums. Hier anzuführen sind unter anderem die Veränderung der klimatischen Verhältnisse, der Eintrag in Fließgewässer und damit einhergehende Folgen für Fauna und Vegetation. Außerdem mussten die Auswirkungen auch für den prähistorischen Menschen spürbar gewesen sein. Die spannende Frage nach den Auswirkungen des Fallouts auf Mensch und Umwelt war und ist immer noch Gegenstand unterschiedlicher Fachdisziplinen. Die Geoarchäologie befasst sich mit derartigen Fragestellungen und versucht, hierauf Antworten zu geben.

1.1 Problem- und Zielstellung

In der vorliegenden Arbeit sollen mögliche Auswirkungen des Fallouts sowohl auf den Naturraum als auch auf den Menschen untersucht werden. Ausgangspunkt der Arbeit ist das Auffinden ehemaliger Flussrinnen in zwei unterschiedlichen Gebieten. Diese befinden sich im mittleren Lahntal bei Argenstein und in der Ohmniederung nahe Kirchhain. So werden die Einflüsse des Fallouts auf den Naturraum durch Analysen zu sog. Paläorinnen untersucht. Dabei konnten Tephralagen, die sich in den ehemaligen Rinnen akkumulierten, festgestellt werden.

Der zweite Aspekt in der vorliegenden Arbeit ist der Einfluß des Fallouts auf den damalig lebenden Menschen in der näheren Umgebung von Marburg. Es ergeben sich dadurch folgende Fragestellungen:

¹ Schmincke 2000, 170ff

² Riede 2012, 54

- Welche Prozesse führten zur Entstehung der vorgefundenen Profile, d.h. welchen Einfluss besitzen die LST-Lagen auf das Abflussverhalten spätglazialer, naturnaher Fließgewässer im mittleren Lahnggebiet?
- Kann durch die unterschiedlichen Schichtungen eine zeitliche Abfolge rekonstruiert werden, d.h. sind diese Ablagerungen auf einen längeren oder kürzeren Entstehungsprozess zurückzuführen?
- Gibt es Anzeichen für eine Beeinflussung des Fallouts auf den damaligen Menschen?

Ziel ist es also, die naturräumlichen Gegebenheiten und die anthropogene Lebensweise zur Zeit des Allerödinterstadials aufzuzeigen sowie durch das Extremereignis des Vulkanausbruches mögliche Folgen abzuleiten.

1.2 Untersuchungsansatz

Um diese Fragen beantworten zu können, finden in dieser Arbeit vor allem naturwissenschaftliche Methoden Verwendung. Zum einen werden fluvialmorphologische Untersuchungen zur Genese der Paläorinnen herangezogen. Des Weiteren sollen chemische Analysen dazu beitragen, den Vulkanismus der Eifel in den Ascheablagerungen zu identifizieren. Außerdem wurden spätpaläolithische Fundplätze, die in die Zeit des Vulkanausbruchs datieren, kartiert. Ein weiterer Aspekt, der vor allem in der Geoarchäologie Verwendung findet, ist die Einbettung der Fundstellen in die Landschaft d.h. sind bei den Fundstellen Standortfaktoren wie z.B. Nähe zu Fließgewässern, Hochlagen oder Talstandorte ausschlaggebend. Abschließend soll durch die Zusammenführung der archäologischen Fundstellen und Artefakte mit den naturwissenschaftlichen Untersuchungen sowie dem bisherigen Forschungsstand zur Paläoumwelt die Mensch-Umwelt Beziehungen im Spätpaläolithikum dargestellt werden. Begrenzt wird dieses Bild durch einen geographischen Rahmen, der sich auf den Umkreis von Marburg zur Zeit des Fallouts bezieht und somit nur bedingt auf andere Gebiete übertragbar ist. Da der Mensch in der Zeit des Spätpaläolithikums seine Umwelt nur im geringen Maße beeinflusste, soll in dieser Arbeit der Untersuchungsansatz aus Sicht der Umweltverhältnisse, die auf den damaligen Menschen wirkten, angegangen werden (vgl. Abb. 1). Dennoch ist es

unumgänglich, auch die Zeit vor dem Spätpaläolithikum zu thematisieren, um Veränderungen im Kulturgesehen aufzuzeigen.

Im Folgenden werden zuerst die Untersuchungsgebiete und dort vorgefundene archäologische Fundstellen vorgestellt. Zudem werden der Vulkanismus der Eifel sowie theoretische Grundlagen zur Fluvialmorphologie erörtert. Weiter wird der Forschungsstand zur Paläoumwelt und zum Spätpaläolithikum aufgezeigt. Im Anschluss daran werden die Arbeitsmethodik und die jeweiligen Untersuchungsmethoden vorgestellt. Kapitel 6 befasst sich mit der Darstellung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Diese werden anschließend zur Diskussion gestellt und hieraus Schlussfolgerungen abgeleitet. Im Kapitel 9 wird ein Ausblick gegeben und abschließend folgt eine Zusammenfassung.

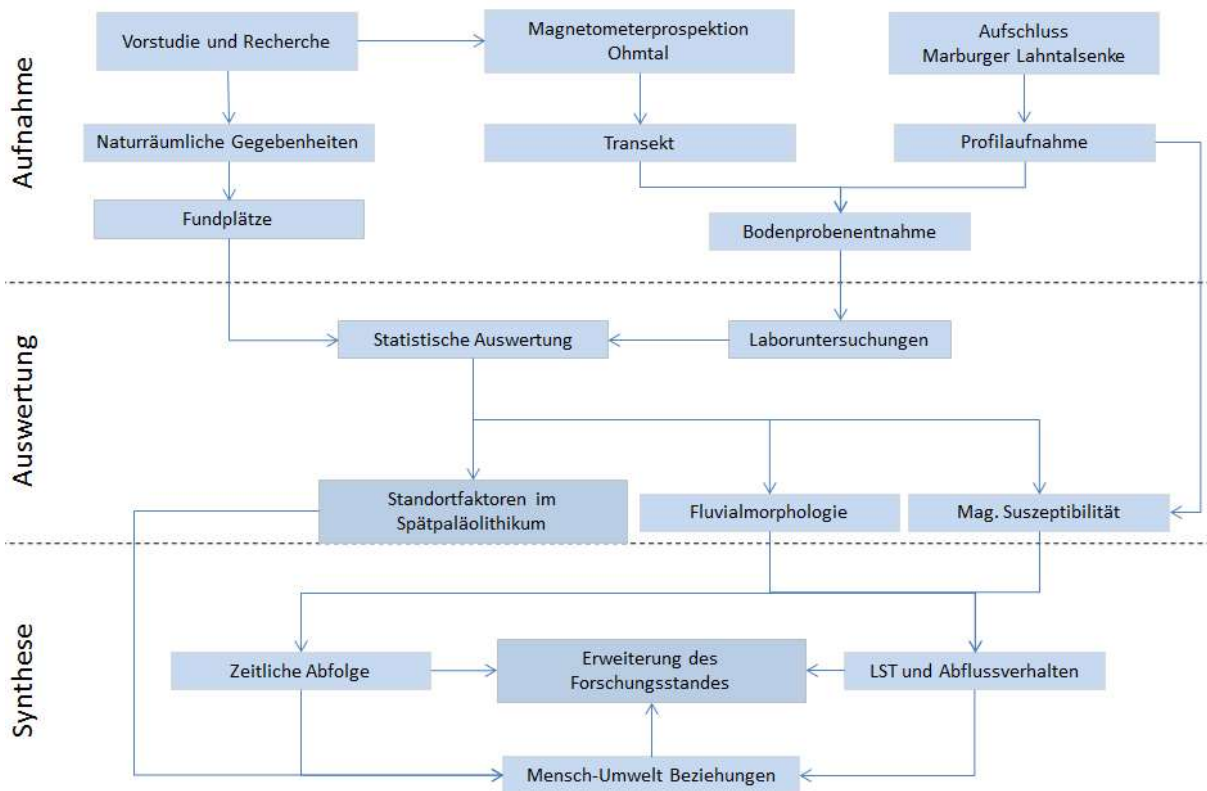


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Darstellung des Untersuchungsansatzes (Quelle: eigene Darstellung)

2. Die Vorstellung der Untersuchungsgebiete Amöneburger Becken und Marburger Lahntalsenke

Naturräumlich sind beide Untersuchungsgebiete in das Westhessische Berg- und Senkenland einzugliedern. Beide befinden sich in einer Tiefenzone, die aus dem Oberrheingraben über die Wetterau in das Gießener Becken sowie durch den Ebsdorfer Grund verläuft. Die Ohmniederung liegt in einem Teilbereich des Amöneburger Beckens, das von Buntsandsteinbergen und -plateaus sowie im Süden von den Ausläufern des Vogelsberges begrenzt wird.³

Das zweite Untersuchungsgebiet befindet sich unmittelbar südlich des Amöneburger Beckens. Die Marburger Lahntalsenke verläuft als Mittelachse zwischen dem Marburger Rücken und dem Salzbödetal im Westen sowie den Lahnbergen im Osten.⁴

2.1 Naturräumliche Gegebenheiten

2.1.1 Geologischer Bau

Der geologische Bau des Lahntales und Amöneburger Beckens (vgl. Abb. 2) ist geprägt durch einen großen Sedimentationstrog (Saar-Selke-Trog), der sich während des Mesozoikums mit mächtigen Sedimentschichten auffüllte. Dabei stellt das Rotliegende die älteste Schicht dar. Im Gegensatz zum Ostabhang des Rheinischen Schiefergebirges, hier dominieren vor allem die Ablagerungen des Zechsteins. Diese kommen weiter östlich im Gebiet von Kinzig, Fulda und Werra in Form von marinen Kalken, Dolomiten und Sulfatgesteinen zum Vorschein, in denen die Salz- und Kalilager der Werraserie eingelagert sind. Mit dieser Formation stehen ebenso die Solquellen am Rande des Vogelsberges in genetischem Zusammenhang.⁵ Der Vogelsberg sowie die vorgelagerten Basaltkuppen der Amöneburg sind auf tektonische Bewegungen im Tertiär und damit vermehrter Vulkanaktivität, welche die Mittelgebirgslandschaft überprägte, zurückzuführen.⁶ Das Amöneburger Becken liegt im Schnittpunkt mehrerer Störungszonen und stellt keine tektonische Einheit dar, sondern besteht aus unterschiedlichen tektonischen Elementen.⁷ Ein wesentlicher Bestandteil des Untersuchungsgebietes ist der Buntsandstein, der vielerorts von oben genannten Basalten durchschlagen wurde und mit seinem flächenhaften

³ Eugen & Klingensporn 1969, 67

⁴ Klausning 1988, o.S.

⁵ Pletsch 1991, 3f

⁶ Rittweger 1997, 12f

⁷ Hölting & Steengel-Rutkowski 1964, 16

Auftreten ein prägendes Element bildet.⁸ Der Buntsandstein erreicht in der Hessischen Senke bis zu 1.000m Mächtigkeit, wobei die Materialzusammensetzung Unterschiede aufweist. Dies ist durch einen mehrfachen Wechsel zwischen terrestrischen und marinen Ablagerungsbedingungen während der Buntsandsteinzeit begründet.⁹ Zur Zeit des mittleren Trias (Muschelkalks) und des Juras sowie im Oligozän stellte die Senke eine wichtige Meeresverbindung zwischen Nord- und Süddeutschland dar. In einigen Bereichen der Hessischen Senke finden sich Aufbrüche paläozoischer Gesteine, wie oberdevonische Grauwacken, Schiefer und Karbonatgesteine, die um 500m gegenüber dem Perm und Mesozoikum herausgehoben wurden. Dem Einbruch der Senke durch großräumige Hebung bis zum Oligozän folgte ein erneuter Einbruch im Tertiär, was dazu führte, dass sich das Meer von Norddeutschland bis in den südlichen Oberrheingraben ausbreiten konnte. Dadurch wurden im Miozän limnische und fluviale Sedimente in kleineren Teilsenken abgelagert. Durch deren Entstehung und einer erneuten Bruchtektonik bildeten sich vielfach Nord-Süd verlaufende Grabenstrukturen.¹⁰ Diese verfüllten sich noch während des Tertiärs mit Lockersedimenten, die als Verwitterungsprodukte mit überwiegend hellen eozänen bis miozänen Sanden und Tonen der umliegenden Gebirge, eingetragen wurden.¹¹ Mit dem Beginn des Quartärs änderte sich auch das Relief, welches sich von einem Flach- zu einem Talrelief wandelte. Dabei ist neben den Abtragungen an den Hängen – und der damit verbundene Kiesschüttung in den Flusstälern – vor allem die Eintiefung der Flussläufe anzuführen. Durch den Wechsel von tektonischer Absenkung, Aufschotterung und Eintiefung entstanden die pleistozänen Terrassenlandschaften.¹² Hier anzuführen ist außerdem, das nach LANG (1955) die Lahn im Jungtertiär und möglicherweise noch im Altpleistozän das Amöneburger Becken und den Ebsdorfer Grund durchquerte.¹³

⁸ Rothe 2006, 162

⁹ Pletsch 1991, 4

¹⁰ Rothe 2006, 163

¹¹ Pletsch 1991, 7

¹² Rittweger 1997, 12ff

¹³ Hölting & Steengel-Rutkowski 1964, 14

Untersuchungsgebiete

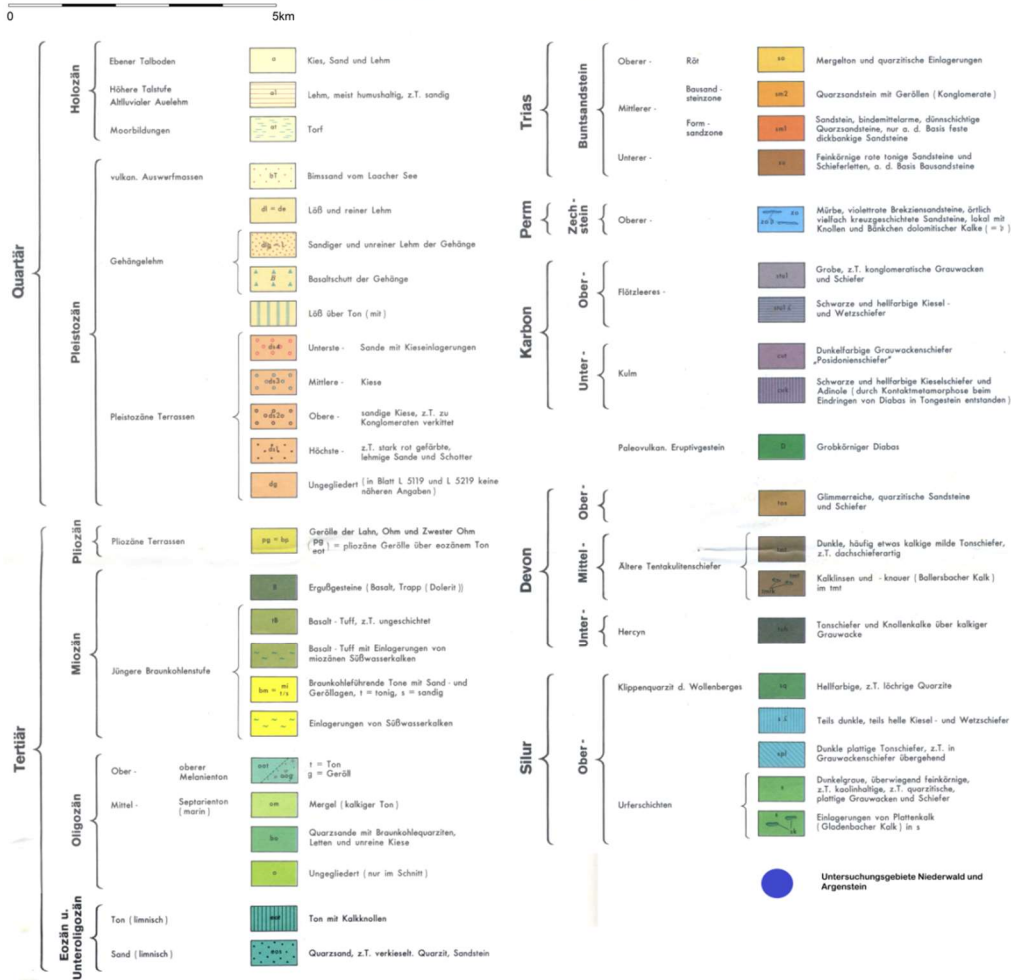
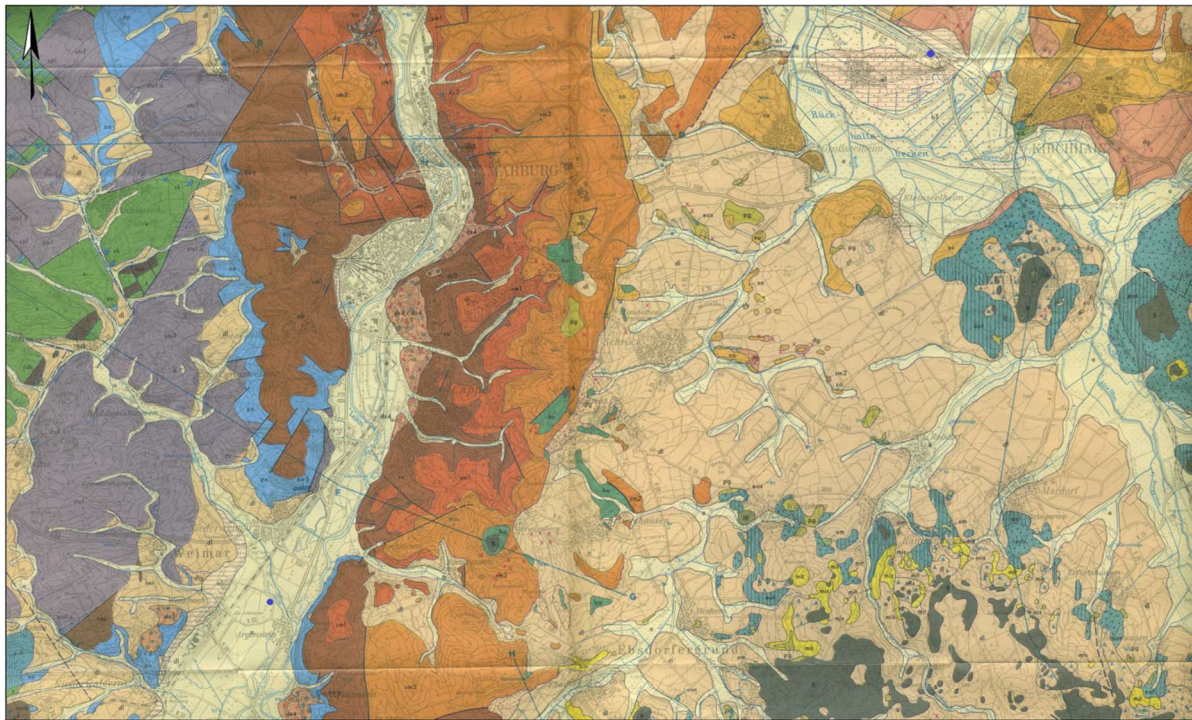


Abbildung 2: Geologischer Bau der Untersuchungsgebiete (Quelle: verändert nach Geologische Karte von Marburg und Umgebung 1990 M. 1:50.000)

2.1.2 Klima

Beide Untersuchungsgebiete, in denen Westwinddrift vorherrscht, sind geprägt durch das Feuchtklima der kühlgemäßigten Mittelbreiten.¹⁴ Der Klimabezirk des Lahntales wird maßgeblich von den wechselnden Einflüssen des Meeres und des Kontinentes beeinflusst. Während Nordwestdeutschland durch feuchte Meeresluft geprägt ist, kennzeichnet Süd- und Mitteldeutschland die vorherrschende Festlandluft.¹⁵

Weitere Faktoren, die das Klima in Mittelhessen steuern, sind die morphologischen Strukturen. So kühlen Westlagen, die vom Atlantik das Festland erreichen, durch deren Aufstieg am Rheinischen Schiefergebirge ab. Damit verbundene Niederschläge haben zur Folge, dass an der Westabdachung eher kontinentaleres Klima vorherrscht. Durch die Lee-Effekte sinken die atlantischen Luftmassen und werden erwärmt; dies führt zu föhnartigen Effekten, die mit Abnahme der Wolkenintensität und höherer Sonneneinstrahlungsdauer einhergehen.¹⁶ Durch den Windschatten der Gebirge sind in der Hessischen Senke des Weiteren weniger Niederschläge zu verzeichnen. Grundsätzlich liegen die typischen klimatischen Charakteristika in der Trockenheit und Wärme der Senken sowie dem Regenreichtum und der Kühle in den Gebirgen (vgl. Tab. 1).¹⁷

Neben den Hauptfaktoren zur Beschreibung des Klimas in Mittelhessen sind unter anderem Besonderheiten des Niederschlagsanges und der Intensität der Niederschlagsereignisse anzuführen, die den Erosionsabfluss maßgeblich steuern. Durch die starke Aufheizung der Beckenlandschaften in den Sommermonaten entstehen konvektive Luftbewegungen, die für vermehrte Gewitterhäufigkeiten und Starkregenereignisse verantwortlich sind. Dagegen bilden sich in den Wintermonaten sog. Kaltluftseen (vgl. Abb. 4). Durch diese Absinkinversionen im Winter können einerseits infolge der Sperrwirkung Smogeffekte und Strahlungsnebel auftreten, andererseits werden hierdurch die niedrigsten Temperaturen nicht in den Höhenlagen, sondern in den Beckenlagen gemessen (vgl. Abb. 3).¹⁸

¹⁴ Lauer & Bendix 2006, 237

¹⁵ Schönhals 1954, 33

¹⁶ Pletsch 1991, 14ff

¹⁷ Blume 1951, 10

¹⁸ Pletsch 1991, 16f

Tabelle 1: Klimawerte aus Kirchhain (**Quelle:** Ingenieurbüro Zillinger 2004, S. 22)

Mittlere Jahrestemperatur	7,5 bis 8,5°C je nach Höhenlage
Mittlere Jahresschwankungen der Lufttemperatur	ca. 17,5°C
Monatsmittel der Temperatur	Januar 0°C, Juli 15°C
Mittlere Anzahl der Sommertage	20 bis 30 Tage
Mittlere Anzahl der Frosttage	80 bis 100 Tage
Mittlere Niederschlagshöhe	600 bis 700 (mm) / Jahr je nach Höhenlage
Mittlere Zahl der Tage mit einer Schneedecke	45 bis 50 Tage
Mittlerer Anteil der Schneemenge am gesamten Jahresniederschlag	10 bis 15%
Mittlere Zahl der Nebeltage	30 bis 50 Tage (Hochlagen, 50 bis 70 Tage (Ohmbecken))
Windrichtung	Vorherrschend aus Südwest, zweites Maximum aus Nord
Vegetationsperiode im langjährigen Durchschnitt	Ca. 200 Tage (Hochlagen, ca. 225 Tage (Ohmbecken))

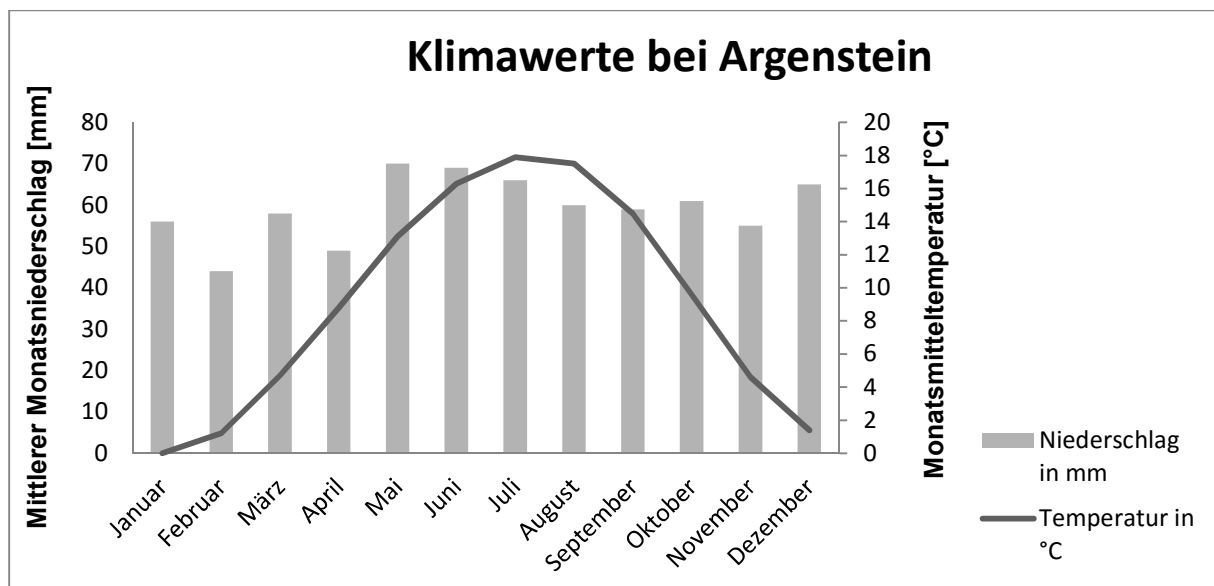


Abbildung 3: Klimawerte aus Argenstein (**Quelle:** eigene Darstellung nach climate-data 2015)

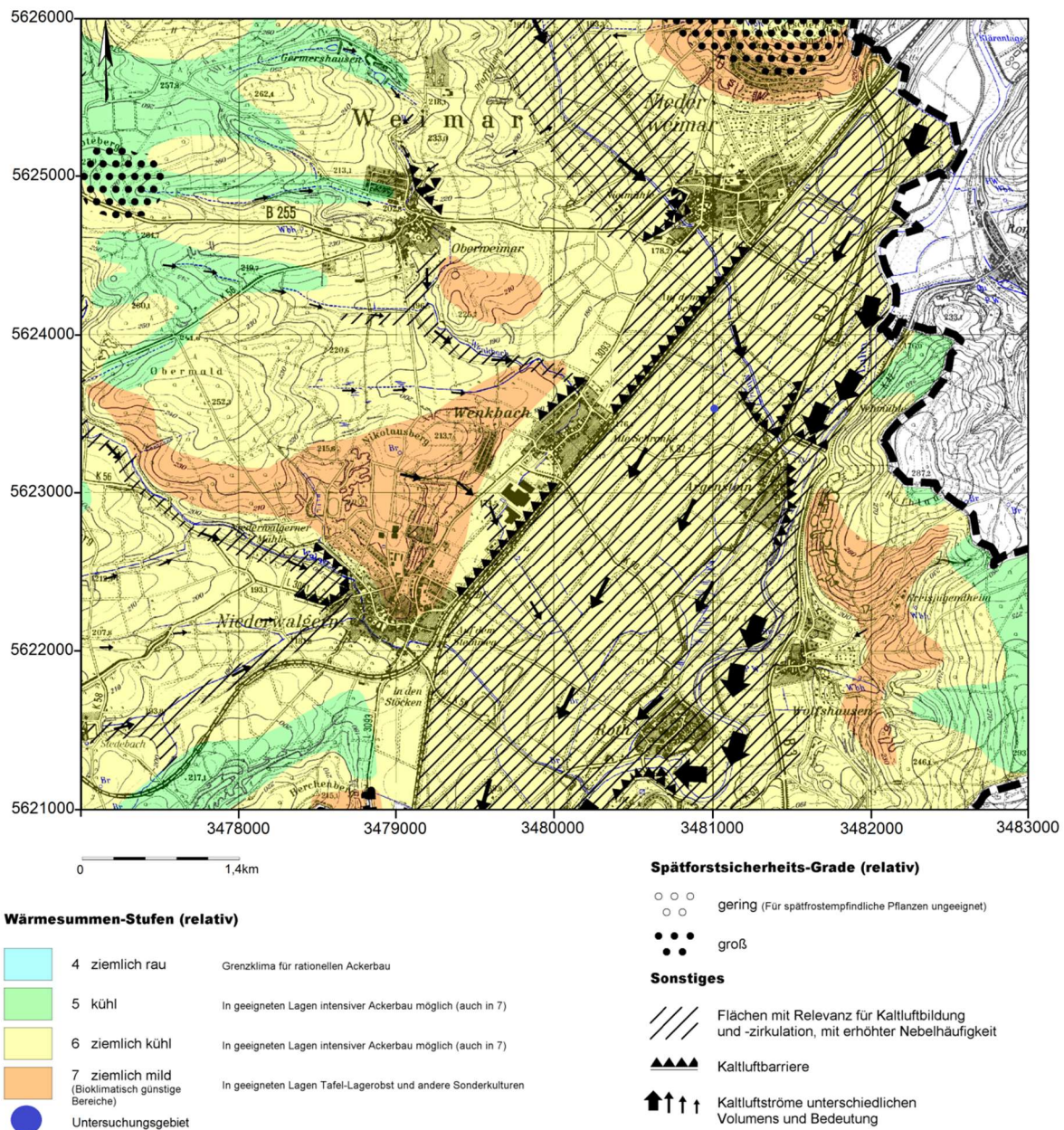


Abbildung 4: Klima im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal (Quelle: verändert nach Ingenieurbüro Zillinger 2003, o.S.)

2.1.3 Fließgewässer

Das Untersuchungsgebiet bei Argenstein wird von der Lahn durchquert, die im Rothaargebirge entspringt und das größte Flussgebiet des rechtsrheinischen Schiefergebirges darstellt. Von ihrem Quellgebiet aus führt der Oberlauf der Lahn entlang der Südost-Abdachung des Rheinischen Schiefergebirges. Hier passiert der Fluss paläozoische Gesteine aus dem Unterdevon bis Unterkarbon. Sedimente des Buntsandsteins durchquert die Lahn bei Sarnau in der Hessischen Senke.

Der größte Nebenfluss, der südlich von Cölbe in die Lahn mündet, ist die Ohm. Diese durchquert das zweite Untersuchungsgebiet und besitzt ihren Ursprung im Vogelsberg. Nach dem Basaltgebiet fließt die Ohm in Richtung Norden an Homberg (Ohm) vorbei und anschließend in Richtung Nordwesten durch das Amöneburger Becken. Nach der Einmündung der Ohm am Cölber-Knie erreicht die Lahn das Senkungsgebiet zwischen den Buntsandstein-Schollen des Marburger Rückens und der Lahnberge.¹⁹ So durchquert die Lahn bei Wehrda Sandsteine des höheren Mittleren Buntsandsteins und noch im Stadtgebiet von Marburg Gesteine des unteren Buntsandsteins.²⁰ Südlich von Marburg tritt der Fluss aus dem Buntsandsteingebiet heraus. Bei Argenstein mündet die Allna von Nordwesten her kommend in die Lahn. Noch vor der Öffnung des Lahntales zum Gießener Becken durchquert die Lahn paläozoische Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges und tertiäre Sedimente sowie Vulkanite des Vogelsberges. Als typischer Durchbruchfluss mündet die Lahn nach 245km im Mittelrhein-Tal bei Lahnstein in den Rhein.²¹

2.1.4 Potentiell natürliche Vegetation

Durch die vorhandenen klimatischen Gegebenheiten (vgl. Kap. 2.1.2) würden sich in trockenen und wärmeren Tälern vor allem Eichen-Hainbuchen-Mischwälder (*Querceto-Carpinetum*) entwickeln. Im Untersuchungsgebiet ist dies durch den Stieleichen-Hainbuchen-Auenwald ersichtlich, der mit flußbegleitenden Erlen- oder Knackweiden-Uferwald einhergeht. Im Gegensatz dazu würden in den höheren Lagen Hessens Berg-Buchenwälder (*Fagetum silvaticae*) entstehen. Dabei sind diese beiden Waldformen an basenreiche und nährstoffreiche Böden gebunden (vgl. Abb. 5).²² Auen- und Quellwälder würden natürlich an allen Flüssen und Bächen ihre Verbreitung finden, dabei würden die niedrigsten Lagen und der maximale

¹⁹ Urz 1995, 6

²⁰ Hölting & Steengel-Rutkowski 1964, 8

²¹ Urz 1995, 6

²² Storkebaum 1989, 71f

Überschwemmungsbereich bevorzugt. Der Ulmen-Mischwald nimmt die größte Fläche dieser Areale ein und wächst vor allem auf den nicht regelmäßig überfluteten Gebieten. Im regelmäßig überfluteten Überschwemmungsbereich der Auen kann die Schwarzerle in den Ulmen-Mischwald eindringen und vorherrschend sein. An den Ufern der Flüsse und Bäche mit starkem Gefälle und an, durch hohe Fließgeschwindigkeiten, geprägten Standorten würde der Weiden-Auwald (*Salicetum albae*) Verbreitung finden.²³ Die Auen- und Quellwälder wurden jedoch nicht zuletzt im Zuge der Landwirtschaft durch den Menschen zurückgedrängt. Am stärksten davon betroffen ist die Eiche, die nur noch in klimatisch begünstigten Gebieten, wie der unteren Werra oder den Randbereichen des Amöneburger Beckens, vertreten ist. So tritt die Eiche auf den Plateauflächen des Hessischen Berglandes fast völlig zurück.²⁴

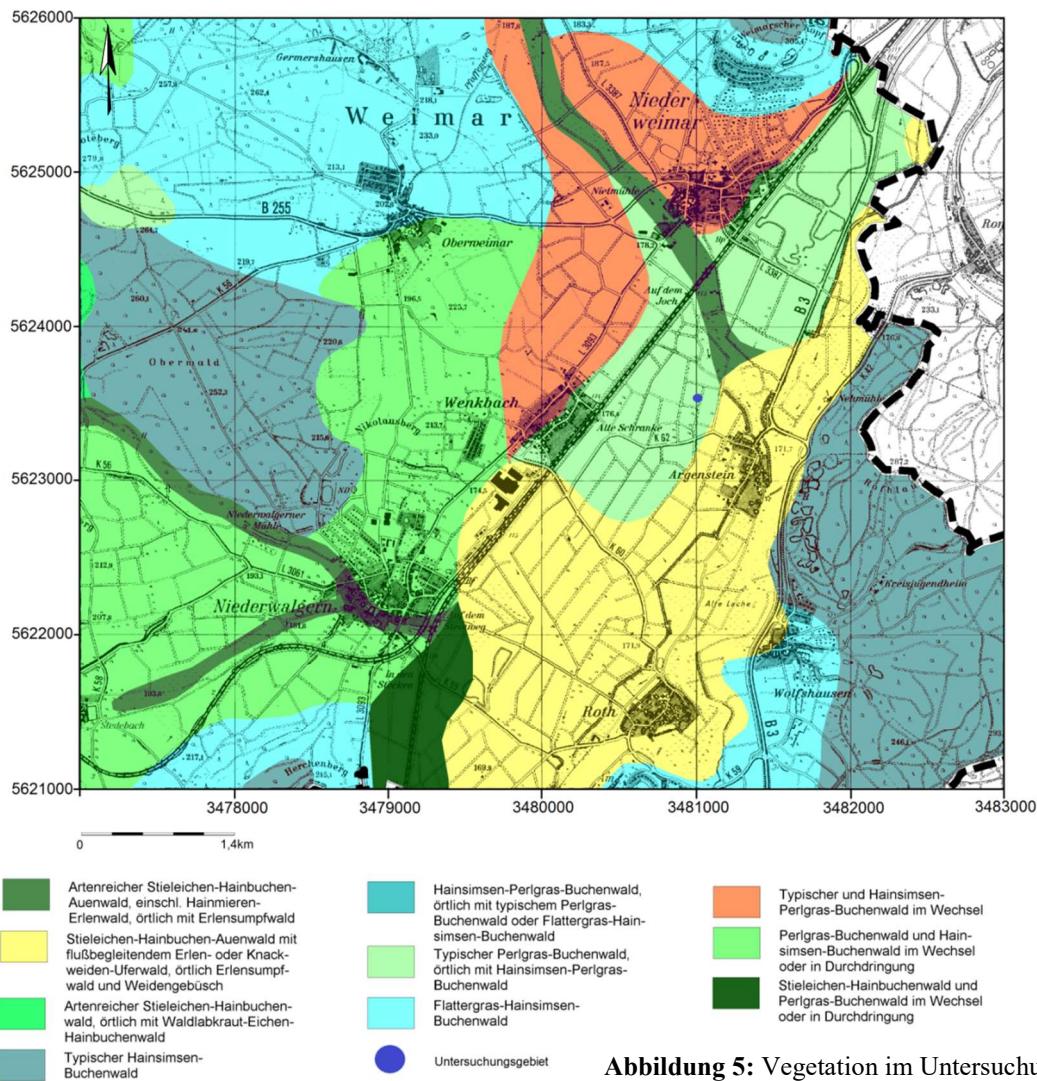


Abbildung 5: Vegetation im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal (**Quelle:** verändert nach Ingenieurbüro Zillinger 2003, o.S.)

²³ Sabel 2005, 45f

²⁴ Storkebaum 1989, 72

2.1.5 Böden

Ausschlaggebend für die Bodenbildung in den Flussniederungen und Beckenlandschaften Hessens sind vor allem der geologische Bau sowie Auen- und Hochflutablagerungen, Löss, Sandlöss, Flugsand und Solifluktsdecken.²⁵ Ein weiterer bodenbildender Faktor ist das Klima der letzten 70.000 Jahre, das durch eine wesentliche Veränderung der Verwitterungsprozesse auf den Boden einwirkte. Während im Pleistozän die physikalische Verwitterung, die durch wechselndes Gefrieren und Auftauen eine Frostschuttdecke aus scherbigem Schutt bildete, auf die Bodenbildung einwirkte, trat mit dem Beginn des Holozäns die chemische Verwitterung in den Vordergrund. Durch äolische Lössverwehungen im Pleistozän kam es zur Vermischung und Ablagerung mit den gebildeten Frostschuttdecken.

Im Untersuchungsgebiet konnten sich aufgrund der eher geringen Niederschläge (<600mm) und Jahresdurchschnittstemperaturen (>8°C) unter anderem Braunerden und Parabraunerden bilden (vgl. Abb. 6).²⁶

Braunerden bilden sich aus Böden, die einen Oberbodenhorizont sowie einen Untergrundhorizont (A-C Böden) aufweisen. Durch fortschreitende Verwitterung entsteht ein charakteristischer verbraunter und z.T. verlehmteter Unterbodenhorizont, der B(v)-Horizont. Weiter wird die basenreiche Braunerde, die sich aus kalkreichen Pararendzinen bildet, und die saure Braunerde, die überwiegend aus basenarmen Rankern und Regsolen gebildet wird, unterschieden (vgl. Abb. 6). Es entsteht eine Horizontabfolge mit Ah/Bv/C.

Die Parabraunerde ist gekennzeichnet durch eine vertikale Tonverlagerung, die infolge leichter Dispergierbarkeit und Durchschlammbarkeit im pH-Bereich von 4,5-6,5 auftritt. Die Wanderung der Tonsubstanz hat zur Folge, dass der Oberbodenhorizont (A-Horizont) eine Tonverarmung aufweist, während der Unterbodenhorizont (Bt-Horizont) mit Ton angereichert wird. Die typische Horizontabfolge lautet Ah/Al/Bt/Bv/C.²⁷

In den Beckenlandschaften überwiegen Braunerden und Parabraunerden, die mit einer guten Gefügestruktur über hinreichende Anteile an organischer Substanz und mittlere bis hohe Basengehalte verfügen. Neben diesen Bodentypen sind aber vor allem Auen-, Stauwasser- und Gleyeböden im Untersuchungsgebiet entwickelt, die in starkem Maße von Grundwasser beeinflusst werden. Zu ihnen zählen vor allem Gleye und Pseudogleye. Beide Untersuchungsgebiete befinden sich im Überschwemmungsbereich laufender Fließgewässer

²⁵ Sabel 2005, 21

²⁶ Müller 1984, 10f

²⁷ Mückenhausen 1993, 436ff

(vgl. Kapitel 2.1.3). Dies begünstigt die Verdichtung und Vernässung des Bodens und lässt folgende charakteristische Merkmale erkennen: So zeigen Gleye in Auenstandorten eine große Schwankungsamplitude des Grundwassers an.²⁸ Den Übergangsbereich vom Grundwasser zur Luft kennzeichnen die gelösten zweiwertigen Eisen- und Manganverbindungen, die in höherwertige überführt werden. Der so entstehende rostgelbe, rostbraune, schwarzbraune und grau gefleckte Go-Horizont weist diese Böden aus. Dagegen bildet sich in sauerstoffarmen Grundwasserbereichen der Reduktionshorizont Gr, der meist grau, grünlich oder blau gefärbt ist. Die Horizontabfolge des Normgleyes lautet Ah/Go/Gr. Der Genese von Pseudogleyen gemein ist, dass diese durch einen Wechsel von unzureichendem Wasserabfluss gekennzeichnet sind, der zu einer zeitweiligen Übersättigung der oberen Horizonte führt und mit temporärer Austrocknung des Bodens einhergeht. Besonders feinkörnige Substrate (feinsandig, ton- und schluffreich) sowie die Lagerungsdichte, die durch den Verdichtungsprozess hervorgerufen wurde (Toneinschlammung, Lösung und Wiederausfällung von Stoffen oder Solifluktion), neigen zu diesem Bodentyp. Für diesen Dichteunterschied im Boden sind geologische Schichtungen und Tonumlagerungsprozesse verantwortlich. Die Horizontabfolge eines Pseudogleyes ist Ah/Sw/Sd.²⁹

²⁸ Pletsch 1991, 26,ff

²⁹ Mückenhausen 1993, 454ff

Untersuchungsgebiete

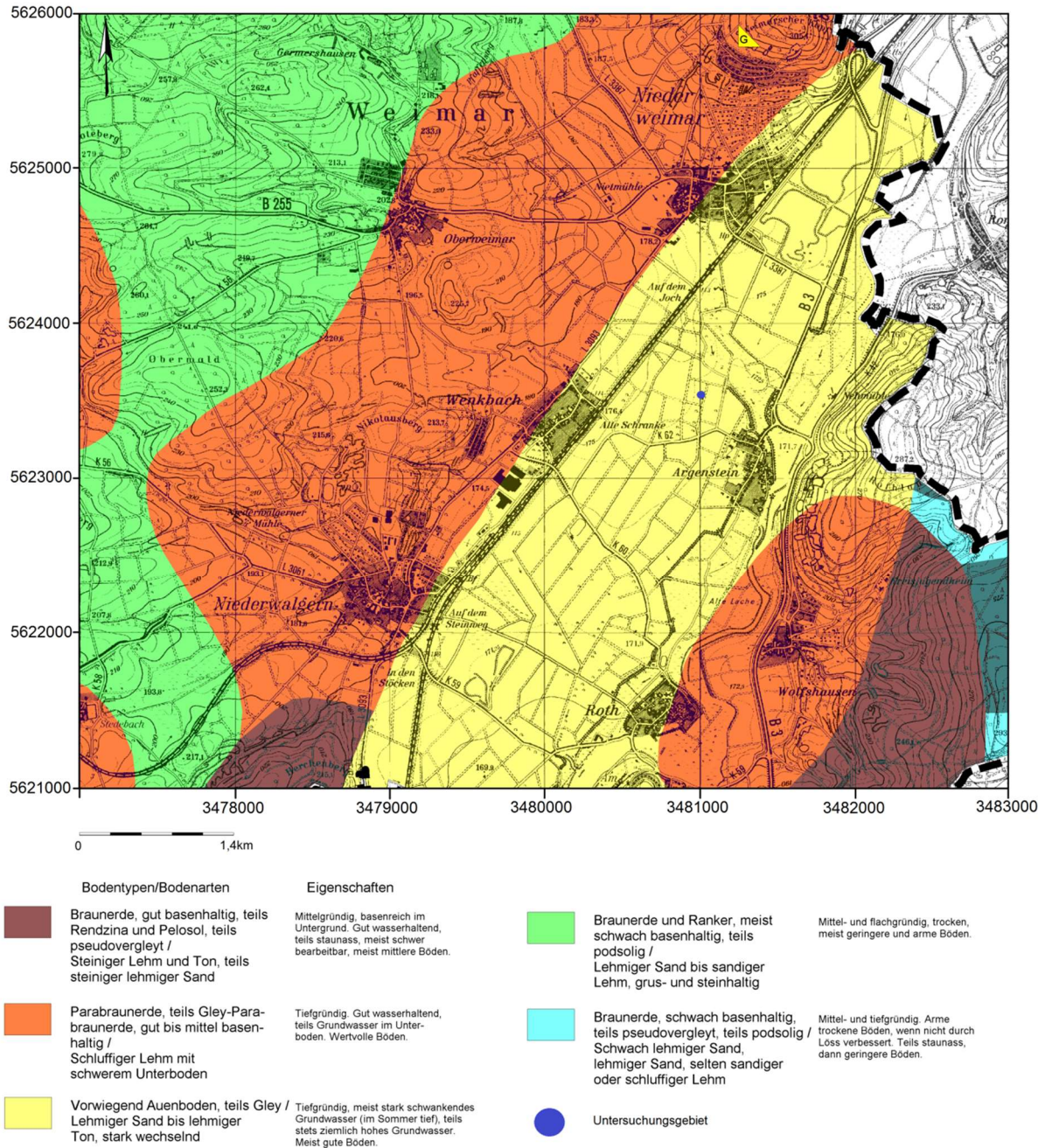


Abbildung 6: Böden im Untersuchungsgebiet Marburger Lahntal (Quelle: verändert nach Ingenieurbüro Zillinger 2003, o.S.)

2.2 Spätpaläolithische Fundplätze im mittleren Lahnggebiet

Insgesamt konnten im näheren Umkreis des Untersuchungsgebietes sieben spätpaläolithische Fundplätze kartiert werden und sind im Folgenden aufgeführt. Die Fundplätze befinden sich in den meisten Fällen an oder auf erhöhten Geländepositionen (vgl. Abb. 7). Bei den Artefakten handelt es sich ausnahmslos um Lesefunde, die auf Äckern gemacht wurden und somit also nicht in einen stratigraphischen Kontext zu bringen sind. Weiter ist festzustellen, dass bei der Mehrzahl der Fundorte Zeithorizonte vom Mittel- über das Spätpaläolithikum bis ins Mesolithikum datierte Artefakte auftraten. Vorangestellt sei der Fundort Anzefahr; hier ist die Lage nicht genau bekannt und konnte somit nicht in die Kartierung einfließen. Der Fund ist jedoch von Interesse, da im näheren Umkreis weitere in der Typologie ähnliche Funde gemacht wurden. Es handelt sich um eine schlanke Rückenspitze aus Feuerstein (vgl. Anhang 2). Die Rückenspitze aus Anzefahr ist dem Typ 1jI (nach IKINGER 1998) entsprechend und ist somit in den Zeitraum von der Dryas 2 bis zum späten Alleröd einzuordnen.³⁰

Bürgeln	Mittelpaläolithikum, Spätpaläolithikum, Mesolithikum
Höhe ü. NN: 181m	UTM: 32U 50°85'84,9" N / 08°81'43,7" E

In der Kiesgrube am „Roten Wasser“ bei Bürgeln fanden sich zahlreiche Artefakte in umgelagerter Position. Kleine Abschlüge in Levalloistechnik aus Kieselschiefer und größere Retuschierabsplisse von flächig bearbeiteten Geräten belegen ein spätes Mittelpaläolithikum. Zum Spätpaläolithikum zählen Rückenspitzen, kurze Kratzer, kleine Klingen und rückengestumpfte Lamellen sowie Kerne mit gegenüberliegenden Schlagflächen. Des Weiteren konnten einige Mikrolithen und Lamellenkerne sowie das Fragment eines kleinen Scheibenmeißels freigelegt werden, die möglicherweise ein selbständiges Mesolithikum repräsentieren.³¹ Weiter reicht das Fundspektrum über das Neolithikum bis in das Mittelalter.³² Die Spitze 3 aus Bürgeln (vgl. Anhang 5) entspricht dem Typ 1d (Spitze mit Rückenkerbe) und ist somit in das frühe bis mittlere Alleröd zu stellen.³³

³⁰ Ikinger 1998, 210

³¹ Fiedler 1994, 47

³² Kriesel 2001, 7

³³ Ikinger 1998, 214

Friedensdorf	Spätpaläolithikum
Höhe ü. NN: 263m	UTM: 32U 50°85'96,4" N / 08°56'92,0" E

Am Böttig bei Friedensdorf, auf einer terrassenartigen Anhöhe über der Lahn, wurden zahlreiche Kernsteine, Abschläge und Lamellen aus Kieselschiefer entdeckt (vgl. Anhang 3). Zwar sind unter den Funden retuschierte Formen selten, aber das Fragment einer rückengestumpften Lamelle datiert die Funde in das späte Jungpaläolithikum. Dabei zeigen die Kerne und Klingen eine nicht besonders spezialisierte Abschlagtechnik. Dies ist für den Rückenspitzen-Kreis charakteristisch.³⁴

Oberrosphpe	Spätpaläolithikum, Mesolithikum
Höhe ü. NN: 311m	UTM: 32U 50°86'44,4" N / 08°79'66,5" E

Auf der Sandsteinkuppe „Eibenhardt“ bei Oberrosphpe konnten neben neolithischen Artefakten auch einige des Spätpaläolithikums geborgen werden. Diese bestehen überwiegend aus Kieselschiefer und sind gekennzeichnet durch rückenretuschierte Lamellen, kleine Kerne und eine schlichte Abschlagtechnik. Die Funde wurden unter einer 5cm dicken Humusschicht geborgen; dies legt den Schluss nahe, dass die Funde umgelagert wurden.³⁵ Die Rückenspitze 7 aus Oberrosphpe (vgl. Anhang 4) ist eindeutig dem Typ 5b nach IKINGER (1998) zuzuordnen. Die Spitzen mit partieller Schrägretusche datieren in die Zeit vom mittleren bis späten Alleröd und in den Übergang zur Dryas 3.³⁶

Neustadt	Spätpaläolithikum, Mesolithikum, Neolithikum
Höhe ü. NN: 239m	UTM: 32U 50°86'32,7" N / 09°12'03,8" E

Auf dem Gelände der „Hainmühle“ bei Neustadt, konnten Artefakte auf der sandigen Anhöhe „Judenfriedhof“ vorgefunden werden. Es handelt sich um mehrere Steingeräte aus Quarzit, Kieselschiefer und Feuerstein. Dabei reicht das Fundspektrum vom Mittelpaläolithikum bis zum Neolithikum. Aufgelesene Rückenmesser bezeugen die Anwesenheit spätpaläolithischer

³⁴ Fiedler 1994, 50; Janke 1973, 34

³⁵ Fiedler 1994, 73

³⁶ Ikinge 1998, 245

Menschen. Dagegen wurden Mikrolithen und Kerbbruchreste in die Mittelsteinzeit datiert.³⁷ Die Rückenspitze 1 (vgl. Anhang 4) entspricht dem Typ 1eIII nach IKINGER (1998) und ist in Mitteleuropa während des gesamten Alleröd-Interstadials vorzufinden. Die Rückenspitze 2 entspricht dem Typ 1jI (gebogene Spitze mit medialer Bucht) und datierten in den Zeitraum von der Dryas 2 bis zum späten Alleröd.³⁸

Rauschenberg	Mittelpaläolithikum, Spätpaläolithikum, Mesolithikum
Höhe ü. NN: 217m	UTM: 32U 50°86'57,3" N / 08°92'45,2" E

Auf einem Acker am Hangfuß südlich von Rauschenberg konnten durch Begehungen spätpaläolithische und mesolithische Artefakte aus Kieselschiefer und Feuerstein geborgen werden. Zu den Funden zählen ein Basisfragment einer Kerbschaftspitze (krakeliert), eine Schrägendlamelle, ein Rückenmesser mit ventralretuschierter Spitze, eine große einfache Spitze, eine beidkantig retuschierte Spitze, ein gleichschenkliges Dreieck, eine Schrägendklinge, zwei kurze Kratzer sowie eine spätmittelpaläolithisches-frühjungpaläolithisches Klingenbruchstück aus Opalchalzedon.³⁹ Die Spitze 12 asymmetrisch gebogenen Typs (1aIII) datiert nach IKINGER vor bzw. in das frühe Alleröd (vgl. Anhang 6). Die Spitze 13 dagegen ist dem Typ 1jII zuzuordnen und tritt im gesamten Alleröd auf.⁴⁰ Zum Typ 3c zählt die Spitze 14, diese ist ebenfalls im gesamten Alleröd vertreten.⁴¹

Ronhausen	Spätpaläolithikum
Höhe ü. NN: 225m	UTM: 32U 50°75'18,4" N / 8°75'04,9" E

Spätpaläolithische Artefakte konnten auf einer sandigen Anhöhe bei Ronhausen in der Nähe der Profile (1-4) aus Argenstein, im Untersuchungsgebiet geborgen werden. Es handelt sich um Rückenspitzen, Federmesserchen und Kratzer. Die Artefakte wurden aus Kieselschiefer und Flint gefertigt.⁴² Ebenfalls in den Zeitraum von der Dryas 2 bis zum späten Alleröd datiert die Spitze 1 (vgl. Anhang 6) aus Ronhausen. Sie entspricht dem Typ 1jI nach IKINGER.⁴³

³⁷ Schmidt & Schwitalla 1992, 24

³⁸ Ikinger 1998, 210

³⁹ Kriesel 2001, 44

⁴⁰ Ikinger 1998, 210, 214

⁴¹ Ikinger 1998, 239

⁴² hessenArchäologie 2015, Fst. 3

⁴³ Ikinger 1998, 210

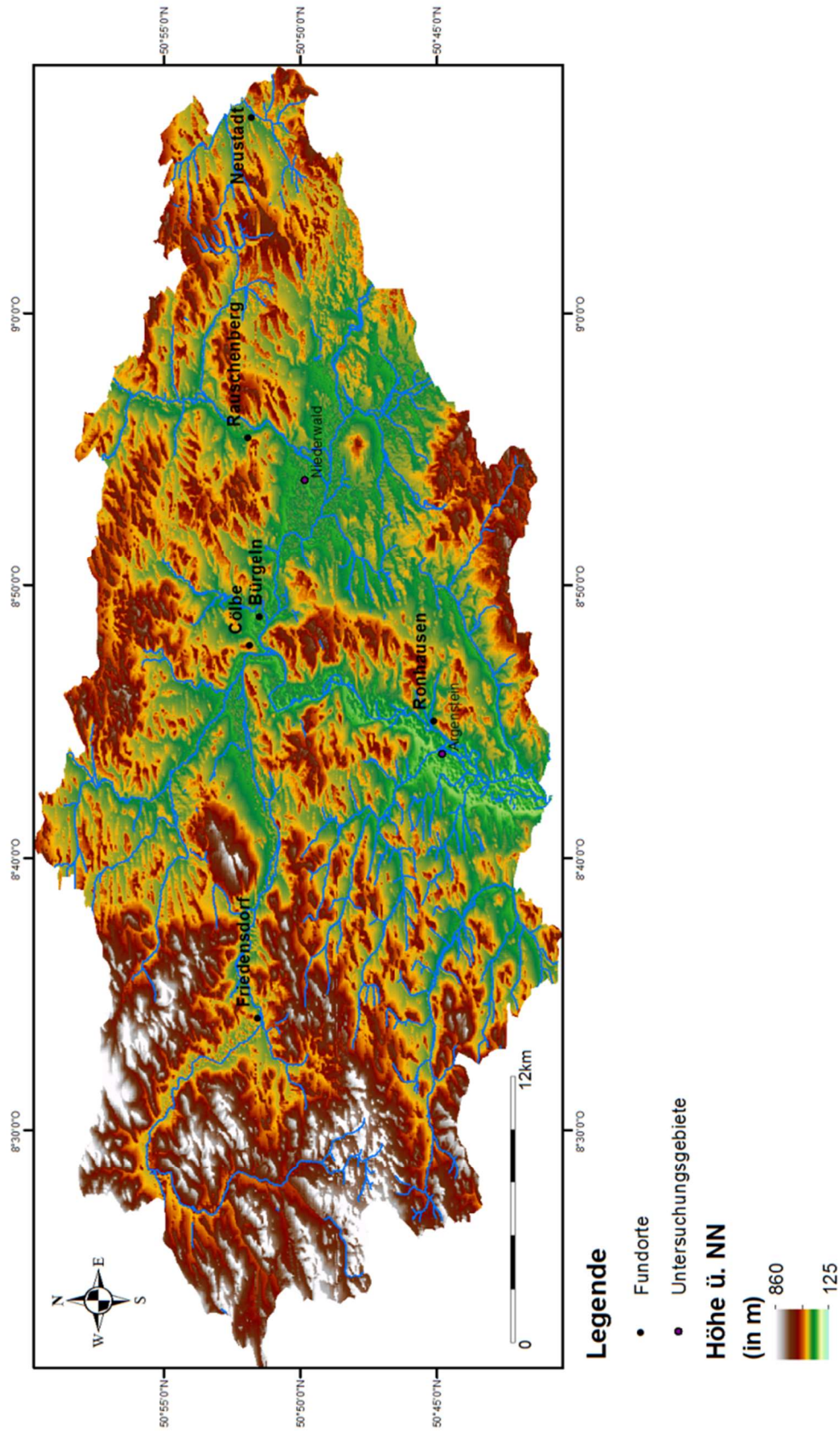


Abbildung 7: Spätpaläolithische Fundorte im Untersuchungsgebiet (**Quelle:** eigene Darstellung)

3. Grundlagen

Dieses Kapitel umfasst zum einen Grundlagen der physischen Geographie; darin werden Steuerungsfaktoren zur fluvialen Geomorphodynamik, dem Sedimenttransport und den Gewässerstrukturen gegeben. Zum anderen werden Grundlagen zum Laacher-See-Vulkanismus sowie Denudationsprozesse dargestellt.

3.1 Gewässermorphologie

Oberflächengewässer bilden mit ihrer Umgebung ein komplexes Wirkungsgefüge. So beeinflussen sich Abflussprozesse und morphologische Abläufe wechselseitig. Geomorphologisch sind folgende Prozesse ausschlaggebend: Tiefenerosion, Transportfunktion, Korrasion, Sedimentation und Akkumulation.⁴⁴

3.1.1 Steuerungsfaktoren der fluvialen Geomorphodynamik

Die schematische Darstellung der exogenen und endogenen Steuergrößen und -mechanismen (vgl. Abb. 8) verdeutlicht die komplexen Abläufe im Wirkungsgefüge der fluvialen Geomorphodynamik. Oft wird das Klima als bedeutendster Faktor, der die Flussaktivität steuert, gewertet.⁴⁵ Jedoch ist die Flussentwicklung keine triviale Funktion des Klimas, sondern resultiert aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren im Einzugsgebiet (EZG), beeinflusst durch endogene und exogene Prozesse.⁴⁶ So sind weitere markante Steuergrößen der Abfluss, die Sedimentfracht, das Sohl- und Ufersubstrat, das Talgefälle und die flussbegleitende Ufervegetation. Dabei können die unterschiedlichen Einflussfaktoren räumlich und zeitlich variieren sowie in Abhängigkeit vom Zeitmaßstab eine unterschiedliche Gewichtung erreichen. VANDENBERGHE (1995c: 637) verdeutlicht, wodurch fluviale Systeme über einen gewissen zeitlichen Rahmen gesteuert werden:

10⁵ a Glazial/Interglazial-Phasen sind wesentlich und innerhalb der tektonischen Rahmenbedingungen durch das Klima gesteuert.

⁴⁴ Zepp 2004, 137

⁴⁵ Dambeck 2005, 9

⁴⁶ Dambeck 2005, 11

10⁴ a Singuläre Kalt-Warm-Zyklen sind als Folge von Klimaschwankungen durch klimatische Ableitungen d.h. zeitverzögerte Zustandsänderungen der Vegetation, Bodenstabilität und Abflussverhältnisse gekennzeichnet.

10³ a Einzelne Aktivitätsphasen werden durch die interne Flussentwicklung gesteuert.

10² a Geringere klimatische Änderungen werden von Schwellenwerten (z.B. Flussgradient, Dauer und Intensität klimatischer Veränderungen, Relief, Korngröße und Menge an verfügbarem Sediment) gesteuert.

Neben dem Klima ist die Vegetation eine weitere entscheidende Einflussgröße der fluvialen Geomorphodynamik. Die Vegetation beeinflusst das Abflussgeschehen und die Sedimentation durch ihr einwirken auf z.B. die Evapotranspiration, den Oberflächenabfluss und die Bodenstabilität.⁴⁷

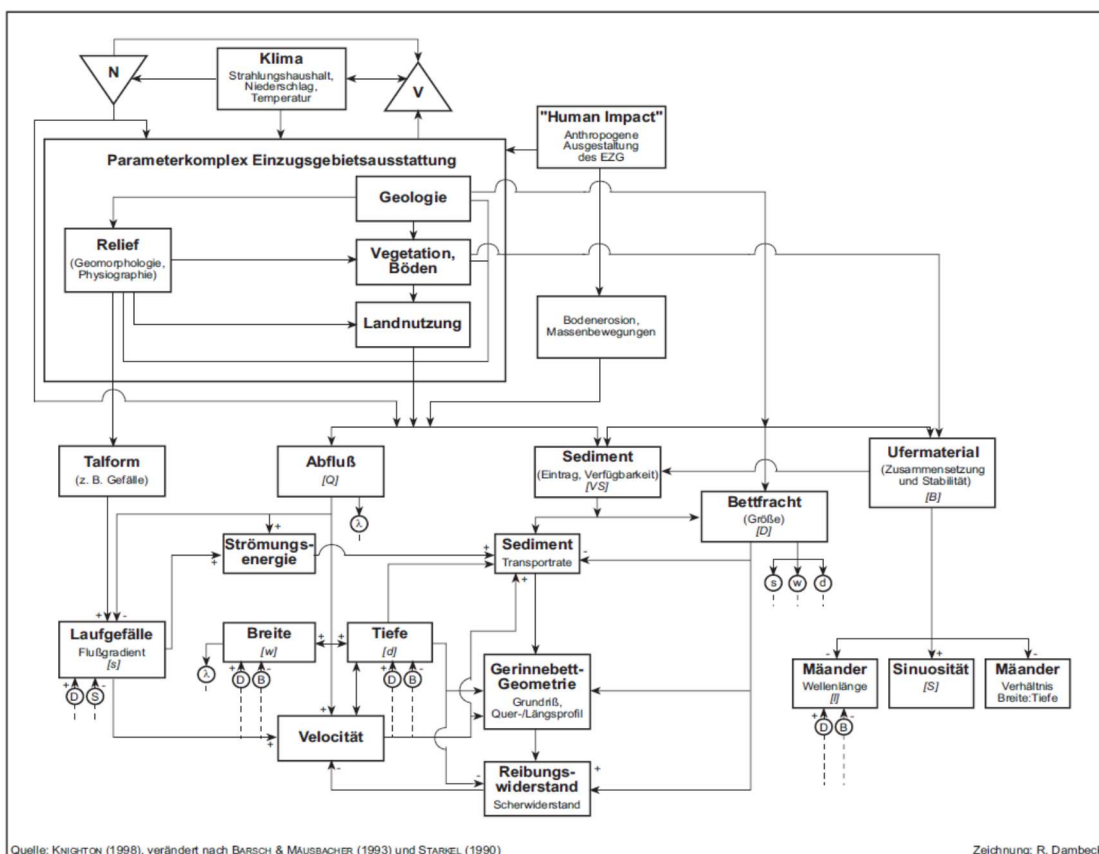


Abbildung 8: Modell der komplexen Wechselbeziehungen von Einflussgrößen der fluvialen Geomorphodynamik (Quelle: Dambeck 2005, S. 9, KNIGHTON 1998: 2; verändert nach BARSCH & MÄUSBACHER 1993 und STARKEL 1990)

⁴⁷ Dambeck 2005, 12

3.1.2 Sedimenttransport in Fließgewässern

Der Sedimenttransport in Fließgewässern ist abhängig von den mitgeführten Feststoffen, der Feststoffbewegung und dem Transportkörper. Zu den Feststoffen zählen alle festen Stoffe, die von Wasser fortbewegt oder abgelagert werden, ausschließlich Eis.⁴⁸ Sie werden unterteilt in Schwebstoffe, Sinkstoffe, Geschiebe und Schwimmstoffe, wobei die Schwebstoffe den Großteil der Feststoffe einnehmen.⁴⁹

Die Feststoffbewegung kann durch das von HJULSTRÖM (1935) entwickelte Konzept zur Grenzggeschwindigkeit erfasst werden (vgl. Abb. 9). Das Diagramm zeigt die Relation der drei entscheidenden Prozesse Erosion, Transport und Ablagerung in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit und Korngröße an. Das empirische Konzept ist zwar nur bedingt auf eigene Analysen anwendbar, da von einer mittleren Fließgeschwindigkeit ausgegangen wird sowie homogene Quarzkörner mit gleicher Körnung bei den Laborexperimenten verwendet wurden, aber es zeigt dennoch den fundamentalen Zusammenhang zwischen Erosion, Transport und Ablagerung in Abhängigkeit zu den maßgeblichen Streuergößen.⁵⁰

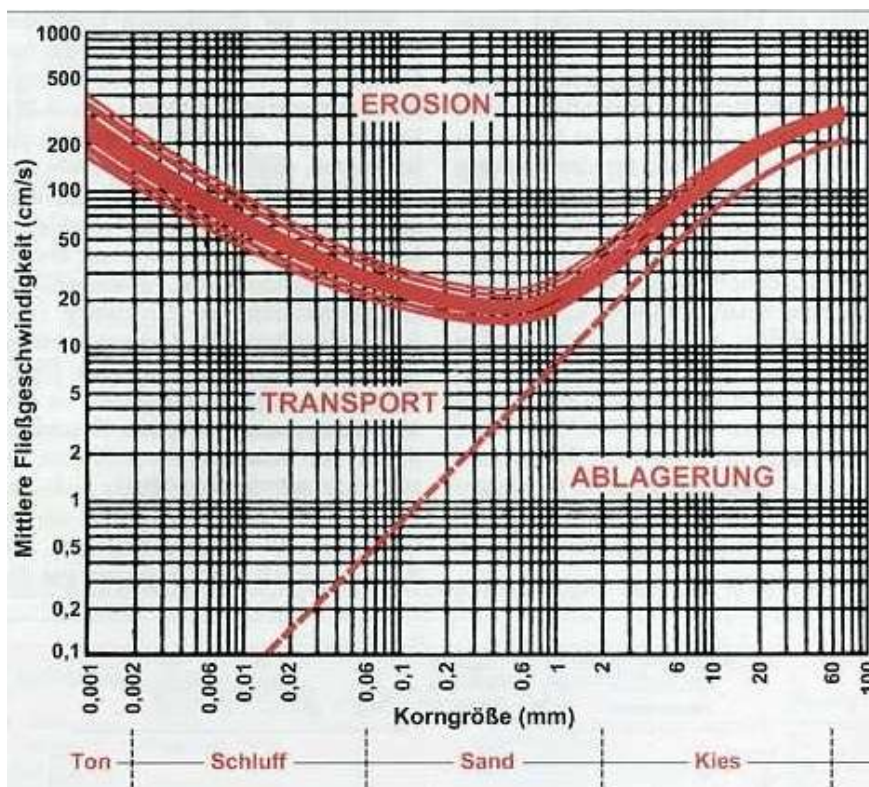


Abbildung 9: Hjulström-Diagramm (Quelle: Zepp 2004, S.142)

⁴⁸ Maniak 1992, 507

⁴⁹ Wischka 2012, 5

⁵⁰ Zepp 2004, 141f

Als Transportkörper werden Unebenheiten an der Gewässersohle, die sich durch das Einsetzen der Geschiebebewegung bilden bezeichnet. Dabei können diese Unebenheiten bis zu einem Drittel der Wassertiefe gebildet werden. Es werden bis zu drei Transportkörperformen unterschieden (vgl. Abb. 10):

- Riffel/Rippel: sind kleine und unregelmäßige Sohlunebenheiten von dreidimensionaler Form.⁵¹ Sie bewegen sich mit der Strömung. Ihre Höhe steht nicht mit der Wassertiefe in Zusammenhang. Dabei nehmen sie keinen Einfluss auf die Strömung an der Oberfläche.⁵²
- Dünen: sind dagegen größere, regelmäßige Sohlwellen, die zwar ebenso mit der Strömung bewegt werden, jedoch ist ihre Höhe von der Wassertiefe abhängig und sie ragen bis an die Oberfläche.⁵³
- Antidünen: sind wellige Sohlformen, die bei überkritischer Strömung auftreten. Diese bewegen sich phasengleich mit den Oberflächenwellen entgegen der Strömung.

Rippel und Dünen treten z.T. überlagert auf, während Antidünen selten und im Zuge überkritischer Strömung ausgebildet werden.⁵⁴

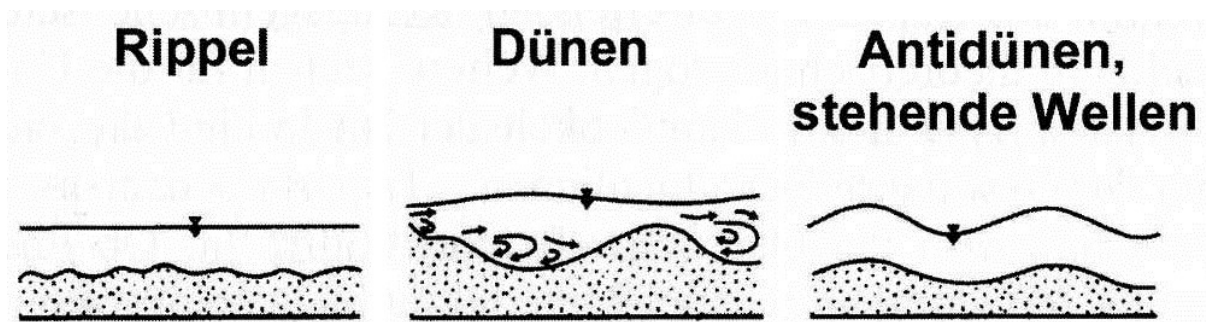


Abbildung 10: Transportkörper-Grundformen in schematischer Darstellung
(Quelle: verändert nach Zepp 2004, S. 144)

⁵¹ Vollmers & Wolf 1969, 292

⁵² DVWK 1992, 14

⁵³ DVWK 1992, 14

⁵⁴ Vollmers & Wolf 1969, 292

3.1.3 Gewässerstrukturen

Gewässer passen ihren Grundriss an zeitliche Veränderungen des Abflusses, an das Talgefälle, die Korngrößenzusammensetzung der Uferbereiche und die zum Transport bereitstehenden Feststoffe, an (vgl. Kap. 3.1.1). Zu den drei Grundtypen des Fließmusters zählen gerade, mäandrierende und verzweigte (braided) Fließgewässer. Geradlinige Fließgewässerstrecken sind an ein großes Talgefälle gebunden und werden in der vorliegenden Arbeit nicht thematisiert.⁵⁵

3.1.3.1 Verzweigte Fließgewässer

Verzweigte Gewässer (vgl. Abb. 11) kennzeichnet Abflussdivergenz d.h. der Abfluss teilt sich auf mehrere Stromfäden auf. Diese Verzweigungen sind vor allem bei stark sedimentführenden Flüssen erkennbar, da diese bei sinkendem Wasserstand Sand- oder Kiesbänke ablagern und diese dann umflossen werden. Diese Strominseln (channel bars oder braid bars) sind in länglicher oder eckiger Form ausgebildet.⁵⁶ Die Sedimentfracht besteht aus überwiegend grobkörnigen Sedimenten und führt Kies und Geröll (bed load) als Bodenfracht. Durch Strömung suspendierte, mittel- und feinkörnige Sande lagern sich als Transportkörper in Form von Großrippeln ab. Durch eine Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit bilden sich in kleineren, seitlichen Rinnen Kleinrippel. Schwebstoffe sedimentieren weitgehend außerhalb der Rinnen, in strombegleitenden Flussniederungen als flächenhafter schlammiger Absatz (overbank fines). Begünstigt werden die Abflussverzweigungen durch hohe Abflussschwankungen z.B. glaziale Abflussregime. Im Allgemeinen bilden „braided river“ Systeme keine lagekonstante Strukturen aus und nehmen die gesamte Stromebene von Tälern ein.⁵⁷

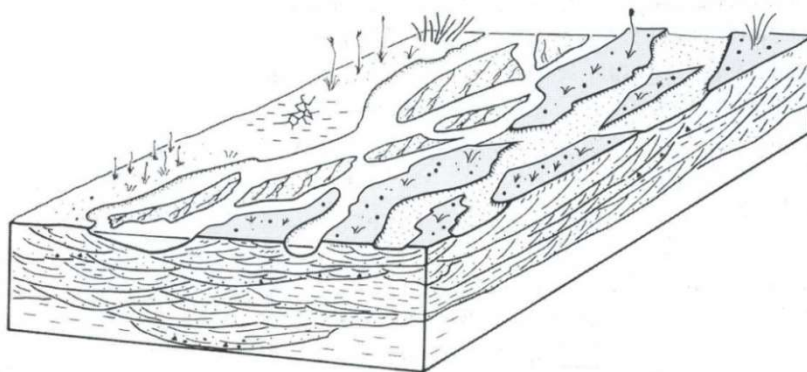


Abbildung 11: Ausschnitt aus einer Stromebene mit einem verzweigten Fluss (**Quelle:** verändert nach Schäfer 2005, S. 75)

⁵⁵ Zepp 2004, 146

⁵⁶ Zepp 2004, 148f

⁵⁷ Schäfer 2005, 74ff

3.1.3.2 Mäandrierende Fließgewässer

Mäandrierende Flüsse (vgl. Abb. 12 & 14) bedecken im Gegensatz zu verzweigten Flüssen nur einen kleinen Teil der Talebene.⁵⁸ Es handelt sich um wassergefüllte Rinnen mit nur einem einheitlichen Stromstrich. Je flacher und ausgedehnter die Alluvialebene ist, desto intensiver ist die Ausbildung von Mäandern.⁵⁹ Dennoch ist die Ursache des Mäandrierens noch nicht vollständig geklärt, da eine sehr große Anzahl verschiedener potentieller Einflußfaktoren zu berücksichtigen sind. Es ist jedoch anzunehmen, dass Mäander ein stabiles energetisches Gleichgewicht zwischen Gewässer und Gerinnebett widerspiegeln. So unterliegen stark gewundene oder mäandrierende Flüsse permanenten

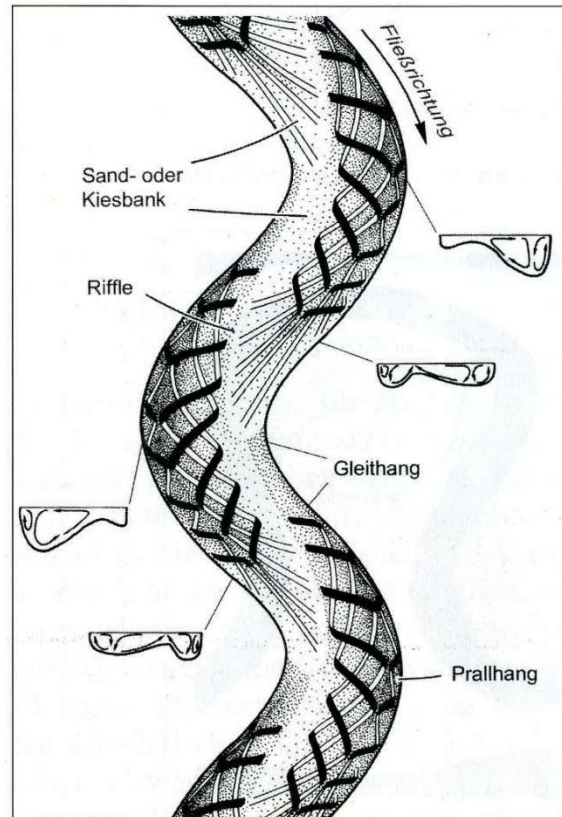


Abbildung 12: Modell der Fließstrukturen und der Flussbettform in mäandrierenden Gewässern
(Quelle: verändert nach Zepp 2004, S. 148)

Lageveränderungen und weisen enorm vielfältige Grundrissmuster auf.⁶⁰ Mit der Form des Mäanders steht ein entsprechend angepasster Rinnenquerschnitt in Zusammenhang. In den Mäanderbögen drückt der Stromstrich nach außen und erodiert entlang deren Außenkanten. Die Seitenerosion bewirkt die Auslenkung der Mäanderbögen und es bildet sich ein relativ steiles Relief, das als Prallhang bezeichnet wird.⁶¹ Durch Akkumulation am Gleithang wird der Sedimentverlust ausgeglichen. Bei fortschreitender Seitenerosion werden Mäanderbögen am Mäanderhals durchbrochen (vgl. Abb. 13). Dies wird durch die Bildung neuer Mäanderbögen in weiteren Abschnitten des Gewässers oder durch die weitere Auslenkung eines vorhandenen Mäanders ausgeglichen.⁶²

⁵⁸ Tucker 1985, 68

⁵⁹ Schäfer 2005, 86

⁶⁰ Zepp 2004, 146

⁶¹ Schäfer 2005, 86

⁶² Zepp 2004, 146

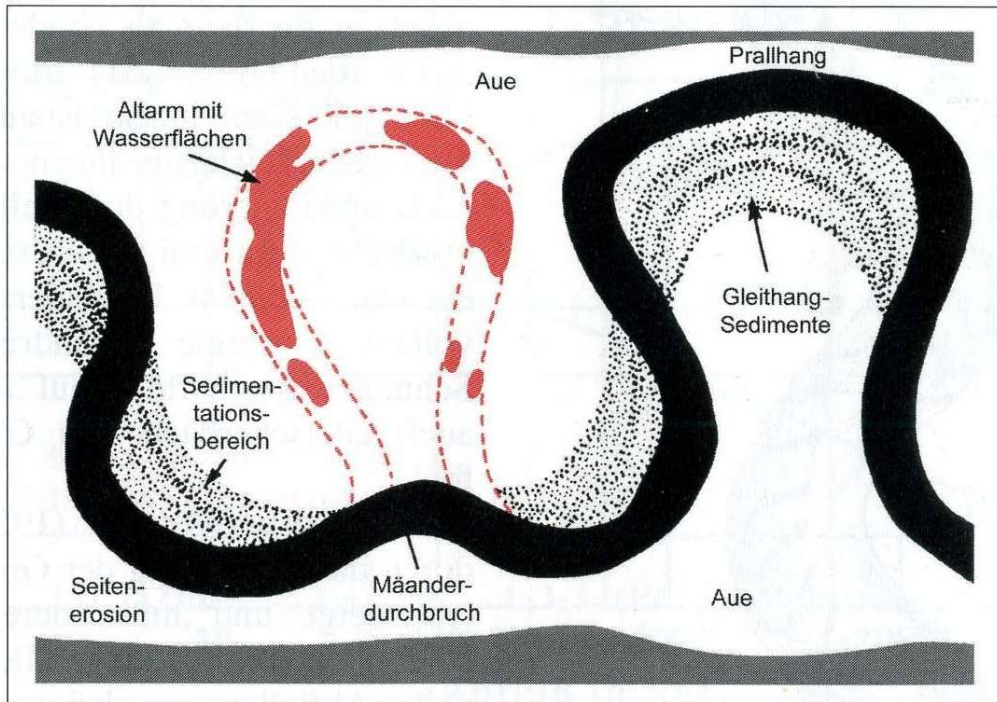


Abbildung 13: Laufverlagerung und Bildung von Altarmen (Quelle: verändert nach Zepp 2004, S. 147)

Durch die Verlagerung des Stromstrichs auf die gegenüberliegende Seite bildet sich ein spiegelverkehrtes Prall-Gleithang-Paar. Die maximale Transportkraft des Flusses befindet sich wenig unterhalb des Flusswasserspiegels im Stromstrich. Auf der Rinnensohle akkumuliert grobkörniges Sohlenpflaster (channel lag), bestehend aus Geröll, Kies und Grobsand. Weiter sind dort erodierte Komponenten des Prallhangs sowie Baumstämme und Holz vorzufinden. Im Gleithangbereich tritt flächenhafte Sedimentation auf und bildet eine schräg stehende Sedimentationsebene, die bis über die Wasseroberfläche hinausragt.⁶³

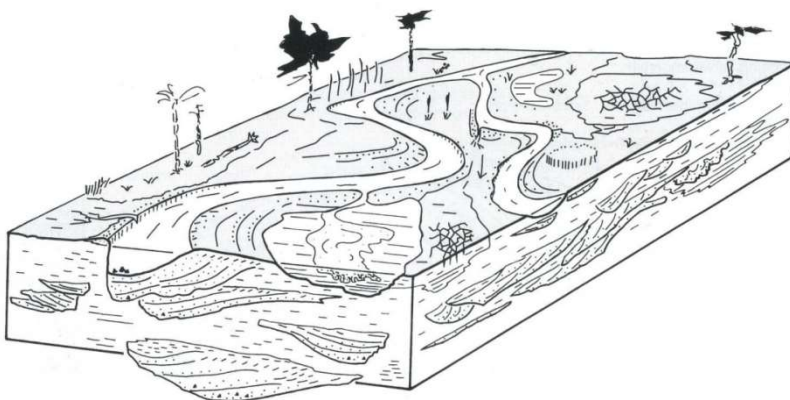


Abbildung 14: Ausschnitt aus einer Strömebene mit einem mäandrierenden Fluss (Quelle: verändert nach Schäfer 2005, S. 86)

⁶³ Schäfer 2005, 86ff

3.2 Die Eruption des Laacher-See-Vulkans

Der Laacher-See-Vulkan ist Teil eines größeren Vulkanfeldes in der Osteifel in der Nähe von Koblenz (vgl. Anhang 1). Das Vulkanfeld grenzt im Westen an das Neuwieder Becken und ist Teil des sich noch hebenden Rheinischen Grundgebirges.⁶⁴

3.2.1 Definitionen und Begrifflichkeiten

Vorab werden kurz einige Begrifflichkeiten zum Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen dargelegt. Auch im Hinblick auf die folgenden Untersuchungsmethoden sowie die Ansprache der Vulkanablagerungen im Gelände ist dies notwendig.

Tephra ist ein Sammelbegriff der für unverfestigte, Pyroklastite verwendet wird und je nach Korngröße und Art der einzelnen Pyroklasten zu unterteilen ist:

Zu den feinsten Ablagerungen zählen *Vulkanische Aschen*; dies sind staubfeine bis sandige Lockerstoffe, die durch eine mittlere Korngröße bis $< 2\text{mm}$ geprägt sind. Diese Aschen bestehen aus zerspratzter Schmelze oder aus feinst zerriebenen Partikeln der Schlotwandungen sowie aus einer Vermischung beider.

Als *Bims* bezeichnet werden stark aufgeblähte, hochporöse und glasig erstarrte Lavafetzen. Durch seine geringe Dichte schwimmt Bims auf Wasser und wird weiter unterteilt in Bimsaschen, Bimslapilli sowie Bimssteine.

Weiter treten *vulkanische Tuffe*, die aufgrund sekundärer Verfestigung von Pyroklastiten entstehen, in Erscheinung. So werden Bimse zu Bimstuffe verfestigt, als Folge von vulkanischer Dampftätigkeit, von Verwitterungsprozessen oder durch Diagenese. Dabei wird Poren-Zement zugeführt oder aber entsteht bei der Umwandlung von glasigen Bestandteilen, wobei es zur Neubildung von Tonmineralen, unterschiedlichen Zenolithen oder/und SiO_2 -Mineralen kommt.

Tuffite bezeichnen umgelagerte Pyroklastika und entstehen bei auftretenden Erosionsprozessen mit der Vermengung von pelitischem Material entlang eines Transportweges und gemeinsamer anschließender Sedimentation.⁶⁵

⁶⁴ Wörner & Schmincke 1984b, 837

⁶⁵ Okrusch & Matthes 2009, 225

3.2.2 Geologische Grundlagen

Die meisten Vulkane der Erde sind an magmatische Prozesse gebunden, die durch divergierende und konvergierende Plattengrenzen auftreten. Weiter sind aber auch im Inneren der Platten vereinzelte oder linear angeordnete Vulkane oder Vulkanzentren sowohl auf den kontinentalen, als auch ozeanischen Platten, nachgewiesen. Diese Vorgänge werden als Intraplatten-Vulkanismus bezeichnet.⁶⁶ Neben dem bekanntesten Beispiel für Intraplattenvulkanismus, dem Hawaii-Archipel auf der Pazifischen Platte, zählt die Vulkanregion der Osteifel zu einem der prägendsten in Mitteleuropa.⁶⁷ Ausschlaggebend für den Intraplattenvulkanismus ist ein sog. Hot Spot. Dieser entsteht durch punktuell auftretende Wärmeentwicklung an der Oberfläche des Erdkernes. Dadurch wird der darüber liegende Erdmantel erhitzt und es folgt der Aufstieg heißer Mantel-Materie (sog. Mantel-Diapire), die Aufwölbung des oberen Mantels (Mantle plumes) sowie der Schmelzbildung im obersten Mantel. Weiter ist anzunehmen, dass es sich bei Hot Spots um ortsfeste geothermische Strukturen handelt.⁶⁸

Möglicherweise ist das Aufdringen des Manteldiapirs in der Vulkaneifel die Folge einer Bruchschollenbildung, die von den Alpen ausgelöst wurde.⁶⁹ Unterlagert wird das Vulkanfeld von tertiären Sedimenten, devonischen Schiefern, Sandsteinen und Grauwacken. Unter den devonischen Schichten finden sich grünschiefer-fazielle Gesteine und eine amphibolit-fazielle Basis.⁷⁰

3.2.3 Zeitpunkt, Dauer und Hergang der Eruption

Neue Datierungsansätze nach JÖRIS und WENINGER (2000b) weisen auf einen Zeitpunkt des Ausbruchs um 10.966 v. Chr. hin. Zur Altersbestimmung zählen neben radiometrischen Datierungen auch Untersuchungen zu den Jahresschichten einiger Eifelmaare sowie verschiedener Seen. Die Korrelation der erstellten Warvenchronologie sowie paläobotanische Indizien und diverse Abdrücke von Jungtieren in der Tephra, weisen auf das späte Frühjahr oder den Frühsommer hin.⁷¹

Da bei den stratigraphischen Untersuchungen in der Eifel keine größeren Erosionsanzeichen sowie zwischengeschaltete Bodenhorizonte in den Tephraablagerungen zu finden waren, ist

⁶⁶ Jacobshagen et. al. 2000, 395

⁶⁷ Baales 2003, 47

⁶⁸ Jacobshagen et. al. 2000, 395

⁶⁹ Liedtke & Marcinek 2002, 475

⁷⁰ Wörner & Schmincke 1984a, 806

⁷¹ Baales, Jöris & Street 2002, 276

davon auszugehen, dass die Eruption innerhalb weniger Tage oder Wochen abgeschlossen war.⁷² Vergleiche mit anderen plinianischen Eruptionen und die Menge an Förderraten bestätigen dies ebenfalls.⁷³

Die Eruption des Laacher-See-Vulkans ist ein klassisches Beispiel für eine komplexe plinianische Eruption⁷⁴, deren Mechanismus in den wenigen Tagen mehrfach wechselte. Die markantesten Änderungen des Eruptionsmechanismus, die in Phasen eingeteilt wurden, sind folgende:

- Phreatomagmatische Initialphase
- Plinianische Hauptphase
- Phreatomagmatische Endphase

Aus den Eruptionsphasen erfolgte eine dreifache Gliederung der LST in Untere (Lower = LLST), Mittlere (Middle = MLST) und Obere (Upper = ULST), die auf der Lithologie, den Eruptionsmechanismen, der chemischen und mineralogische Zusammensetzung sowie der Verbreitung im Gelände begründet ist.⁷⁵ Eine weitere Phase ist die Umgelagerte Laacher See Tephra (Reworked = RLST). SCHMINCKE 2000 gibt drei Faktoren für den komplexen Aufbau der Laacher-See Tephra Ablagerungen an:

- Eine punktuell geschichtete Magmasäule mit einem oberen Teil, der überwiegend kristallfrei, reich an Volatilen und somit niedrig viskos in Erscheinung trat und an der Basis, etwa 3 bis 4km unter der Erdoberfläche, gasarmes, kristallreiches und daher hoch viskoses Magma aufweist. Bei der Eruption wurde vermutlich nur ein Teil des gesamten Magmas entleert.
- Zu allen Eruptionsstadien spielt der Kontakt mit Grundwasser und auftretender Verdampfung eine entscheidende Rolle.

⁷² Frechen 1953, 59

⁷³ Wörner & Schmincke 1984a, 831

⁷⁴ Baales 2003, 62f Der Begriff leitet sich von Plinius dem Jüngeren (*Gaius Plinius Caecilius Secundus*) ab, der im Alter von 17 Jahren den Ausbruch des Vesuvs am 24. August 79 n. Chr. miterlebte. Die Schilderungen der Eruption sind in den Briefen an Tacitus nachzulesen.

⁷⁵ Schumacher & Schmincke 1990, 273

- Ein weiterer, bedeutender Faktor ist die Wandlung der Kratermorphologie während der Eruption. So kann eine Verbreiterung und Vertiefung durch Erosion und der Schloteinbruch sowie eine Kraterverlagerung konstatiert werden.⁷⁶

In der Initialphase erfolgte durch aufsteigendes Magma mit geringerer Dichte und heißer Gase, die auf Deckschichten aus tertiären Tonen, Schotterlagen, älteren Tuffen und einer lockeren Vegetationsdecke trafen, die Ausbreitung hochenergetischer Druckwellen. Dabei wurden abgeschrecktes Magma, Nebengestein, Bäume und Vegetationsreste abgelagert. In dieser Phase beginnt bereits die Entstehung der Magmasäule, die unter der Erdoberfläche durch Gasexpansion und Scherung fragmentierte. In der plinianischen Hauptphase entstand der Krater durch laterale Erosion der Oberfläche. Ausgelöst wurde diese Erosion durch den Mündungsdruck von magmatischem Gas und Pyroklasten sowie durch den noch verstärkenden Dampfdruck des oberflächennahen Kluft- und Porenwassers.⁷⁷ Damit verbundene Explosionen legten den Förderschlot frei und eine erste plinianische Eruptionssäule, die etwa 30km in die Atmosphäre aufstieg, folgte.⁷⁸

Die Förderprodukte beider geschilderten Phasen sind der LLST zuzuordnen. Die nachfolgende MLST wird in drei Stadien unterteilt: So sind in der MLST-A wechselnde phreatomagmatische Phasen mit einzeln auftretenden plinianischen Eruptiva vorherrschend, die sich durch Lapilli und Aschelagen sowie klastenreiche Brekzienlagen auszeichnet.⁷⁹

Daran anschließend ist die Nordverlagerung des Hauptschlotes, die der MLST-B-Einheit zugeordnet wird. Es folgten nun pyroklastische Ströme, Surges und intermittierende Fallout-Phasen. Massive Ingnimbrite (= Trass) entlang der Flusstäler zeugen von diesen geförderten Bimsen und Aschen, die radial vom Eruptionszentrum zur Ablagerung kamen.⁸⁰

Daran anschließend folgt eine erneute plinianische Eruption, die sich durch die Ablagerung einiger Wechsellagen von gut sortierten Bimsen mit Aschelagen als MLST-C von der vorigen Phase abhebt.⁸¹

Die letzte Phase des Ausbruchs (ULST) zeigt magmatische Partikel, die grau, extrem kristallreich, dicht und durch einen hohen Anteil an Nebengestein gekennzeichnet sind. Die Schichten zeichnen sich durch eine Vielzahl massiger, mittelkörniger, schräggeschichteter

⁷⁶ Schmincke 2000, 172

⁷⁷ Schmincke 2000, 173

⁷⁸ Urbanski 2003, 44

⁷⁹ Urbanski 2003, 45

⁸⁰ Schumacher & Schmincke 1990, 273

⁸¹ Urbanski 2003, 45

Dünenablagerungen sowie groben Brekzienlagen aus. Es ist anzunehmen, dass diese letzte pyroklastische Eruption durch eine Wasserzufuhr in den teilentleerten Herd ausgelöst wurde. Gründe dafür sind die hohe Viskosität und der niedrige Gasgehalt, die für eine erneute Eruption nicht ausgereicht hätten.⁸²

3.2.4 Der Fallout

Insgesamt wurden durch die Eruption etwa 20km^3 Tephra gefördert, das entspricht ca. $6,3\text{km}^3$ phonolithischem Magma. Davon wurde der größte Teil radial in der Nähe des Eruptionszentrums in östlicher Richtung abgelagert. Die komplexen Schichtenabfolgen der einzelnen Eruptionsstadien erreichen hier bis zu 50m Mächtigkeit. Dabei nimmt die Dicke der Ablagerungen von proximal zu distal deutlich ab. So erreichen die Schichten in 5km Entfernung eine Mächtigkeit von 10m, während im Neuwieder Becken 4m Mächtigkeiten anzutreffen sind.⁸³ Die enormen Ablagerungen am nördlichen Ende des Neuwieder Beckens, im Gebiet der Andernach Pforte, führten zur Aufstauung des Rheins, wodurch sich ein Stausee bildete. Dieser wurde nach kurzer Zeit durchbrochen und löste eine riesige Flutwelle aus, die sich rheinabwärts ausbreitete.⁸⁴

Außerhalb der geschlossenen Tephra decke konnten die Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans in Böden, Mooren und Seen in ganz Mitteleuropa nachgewiesen werden. Die LST reicht im Süden bis Norditalien, im Osten bis Polen und im Westen bis Zentralfrankreich. Richtung Nordosten sind bis Schweden Aschenablagerungen festzustellen.⁸⁵

Abbildung 15 verdeutlicht die fächerartige Ausbreitung der LST in Mitteleuropa. Die Ausrichtung der Fächer ist durch das Zusammenspiel der variierenden Eruptionssäulenhöhe sowie durch Änderungen der Windstärke und Windrichtung in unterschiedlichen Höhenlagen bestimmt. Dabei ist der Nordost-Fächer des Fallouts auf südwestlich kommende Höhenwinde, in der Tropopause über 10km Höhe, zurückzuführen. Aufgrund der Nord- und Nordostwinde gelangten die Aschen in Richtung Süden und Südwesten.⁸⁶

Die Zuordnung der distalen Fallablagerungen konnte durch chemische Analysen vulkanischer Gläser erstmals durch BOGAARD und SCHMINCKE (1985) ermöglicht werden.⁸⁷ Die derzeitige

⁸² Schmincke 2000, 176

⁸³ Schmincke et. al. 1999, 64

⁸⁴ Park & Schmincke 2009, 80

⁸⁵ Baales, Jöris & Street 2002, 276

⁸⁶ Schmincke et. al 1999, 65

⁸⁷ Bogaard & Schmincke 1985, 1554ff

stratigraphische Gliederung der LST ist wie folgt aufgebaut: Im Nordostfächer sind die Ausbruchsphasen LLST, MLST-B und MLST-C1 vertreten. Der Südfächer beinhaltet Aschen der MLST-A, MLST-C2 und ULST, der Südwestfächer besteht ausschließlich aus der ULST Phase (vgl. Abb. 15).

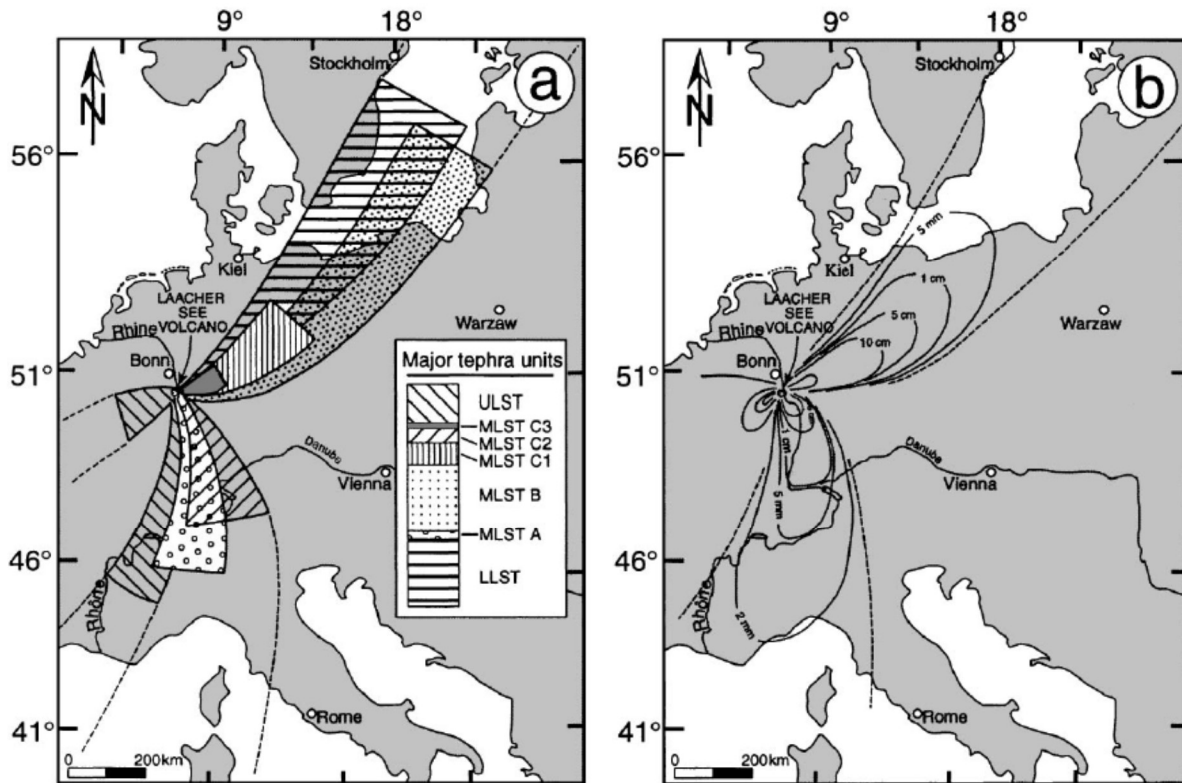


Abbildung 15: (a) Flächenverteilung, (b) Isopatchen Karte der Hauptfächer in Mitteleuropa (Quelle: Schmincke et. al. 1999, S. 66)

3.2.5 Mineralische Zusammensetzung der Tephralagen

Wie im vorangegangenen Kapitel geschildert, erfolgte die Eruption des Laacher-See Vulkans aufgrund eines Mantel-Diapirs unter der Erdoberfläche. Innerhalb der speisenden Magmenkammer ist eine fortlaufende Differentiation des Magmas anzunehmen (vgl. Abb. 16). Dabei kann die Zonierung der Förderprodukte in ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung auf die Zonierung der Magmenkammer zurückgeführt werden.⁸⁸ Bei der fraktionierten Kristallisation kommt es durch die Gravitation zu einer Entfernung der Erstkristallite aus dem Magma, d.h. die schweren Erstkristallite sinken auf den Boden der Magmenkammer. Die Zusammensetzung der Schmelze ändert sich mit fortschreitenden bereits

⁸⁸ Wörner & Schmincke 1984b, 831

kristallisierten Mineralphasen, mit denen sie nicht mehr in Reaktion treten kann. Es verändert sich also die chemische Zusammensetzung des Restmagmas:

Magma = Erstkristallisate + Restschmelze

Gemäß der Rosenbusch-Bowen-Reihe der magmatischen Ausscheidungsabfolge zählen zu den Frühausscheidungen vor allem mafische Minerale (Olivin, Pyroxen) und basische Plagioklase. Es entsteht dabei ein Gestein mit einer höheren basischen Zusammensetzung als die Stammschmelze. Die Restschmelze erstarrt zu einem intermediären bis sauren Gestein. Die Abtrennung der Fröhkristallisate erfolgt über Konvektionsströme im Magma und durch Abseigerung von schweren Mineralen (vgl. Abb. 16).⁸⁹

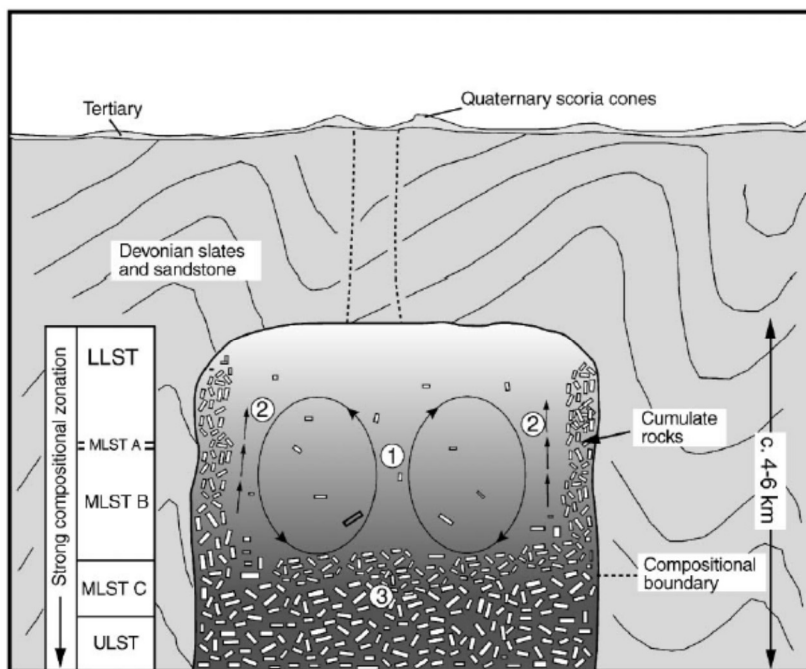


Abbildung 16: Vereinfachtes Modell der Laacher-See Magmenkammer vor dem Ausbruch. (1) Schmelzkonvektion, Umverteilung und Absetzen der Kristalle, (2) Schwimmfähige Magma und Kristalle steigen in den oberen Teil der Magmenkammer, (3) Kristallreiche Magma im unteren Bereich. (**Quelle:** Schmincke et. al. 1999, S. 65)

Die LST Ablagerungen spiegeln diese Differentiation wieder: So dominieren an der Basis (LLST) kristallarme, hochdifferenzierte, phonolithisch weiße Bimse, während in den oberen Lagen kristallreiche, mafisch-phonolithisch graue Bimse Präsenz zeigen.⁹⁰

⁸⁹ Jacobshagen et. al. 2000, 283

⁹⁰ Schmincke et. al. 1999, 64

Insgesamt bestehen die LST-Lagen nach FRECHEN (1953) aus drei Komponenten:

Dazu zählen vulkanische Gläser phonolithischer Zusammensetzung; diese sind als Leichtminerale Sanidin, Plagioklas und Hauyn, als Schwerminerale Klinopyroxen, Amphibole, Titanit und Titanomagnetit sowie akzessorische Minerale wie Apatit, Phlogopit, Zirkon und Olivin zu finden. Außerdem sind Bimskörner mit oder ohne Einsprenglinge und Einschlüsse vertreten. Des Weiteren sind Kristalle oder Kristallsplitter und unterschiedliche lithische Fragmente, bestehend aus Tonschiefer und Grauwacke als Xenolithe eingelagert, vertreten.⁹¹ Die Förderung der Bimsstein-Tuffe dokumentiert das Aufschäumen der Schmelze als Folge der Gasentmischung im Schlot.⁹² So sind in den einzelnen Ausbruchsphasen unterschiedliche Gehalte an Gasbläschen (Volatilen) der Bimsgläser zu erkennen: Bläschenfrei ist die ULST, bläschenarm sind LLST, MLST-A, MLST-C und ULST und bläschenreich sind LLST2 und ULST. Im Mineralbestand treten im Übergang zu den Schichten MLST-C3 und ULST charakteristische Änderungen auf (vgl. Abb. 17). Es zeigen sich abrupte Anstiege in den MgO, CaO, TiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅ und K₂O-Gehalten innerhalb dieser Tephralagen.⁹³

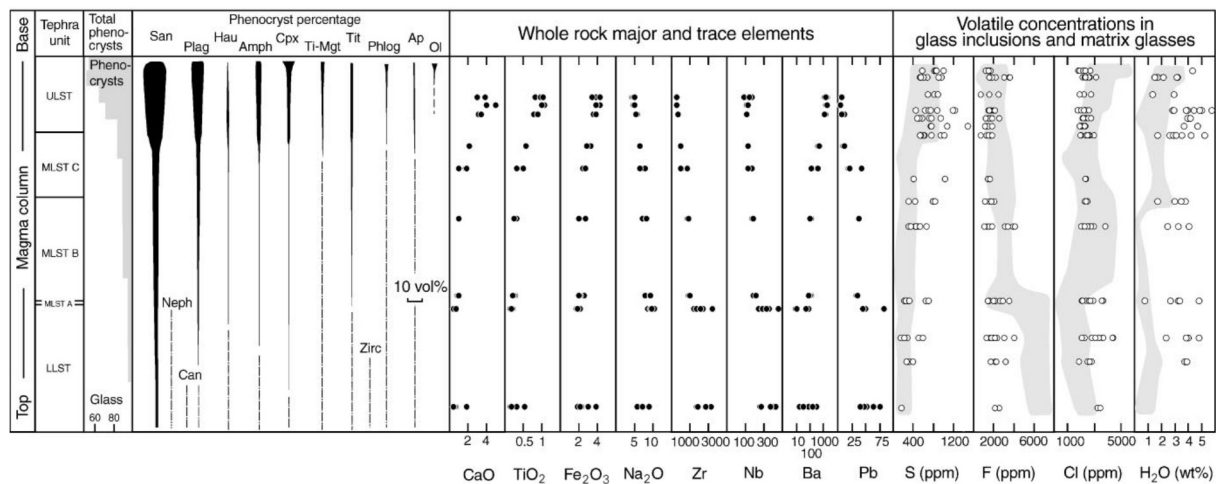


Abbildung 17: Kompositionelle Zonierung der LST-Ablagerungsphasen in Bezug auf die Tiefe der Magmenkammer. Konzentration der Haupt- (%) und Spurenelemente (ppm) in Bimsen (Punkte). San (Sanidin), Plag (Plagioklas), Hau (Hauyn), Amp (Amphibol), Cpx (Klinopyroxen), Ti-Mg (Titanomagnetit), Tit (Titanit), Phlo (Phlogopit), Ap (Apatit), Ol (Olivin). (Quelle: Schmincke et. al. 1999, S. 64)

⁹¹ Poetsch 1975, 116

⁹² Jacobshagen et. al. 2000, 301

⁹³ Wörner & Schmincke 1984a, 819

3.1.2.6 Akkumulation, Umlagerung und Identifikation der Tephra im Gelände

Die Mächtigkeiten der isolierten Tephraablagerungen schwanken je nach Lage im Relief und Sedimentationsgeschehen. Durch äolischen Transport verbreitete sich die LST über die angrenzenden Mittelgebirgsräume und kam vor allem in erosionsgeschützten Gebieten, kam aber auch im Windschatten liegenden Ost- und Nordhängen zur Ablagerung. So ist die unterschiedliche Ausprägung der LST vor allem im Hessischen Berg- und Senkenland dem vorhandenen Relief geschuldet.⁹⁴ Anzunehmen ist, dass es durch den Fallout in Mittelhessen kurzzeitig zu einer flächenhaften Verbreitung der LST von einigen Dezimetern Mächtigkeit kam.⁹⁵ Aufgrund von Sortierungsvorgängen während des äolischen Transports sind Unterschiede im Mineralbestand der LST von entfernten Gebieten zu denen der Laacher-See- Region auszumachen.⁹⁶ Die Sortierung ist mit zunehmender Entfernung vom Eruptionszentrum durch die Unterschiede des Raumgewichtes, des spezifischen Gewichtes und der Sedimentkörnerform geprägt. Demnach weisen die Bimskörner eine höhere Porosität mit zunehmender Entfernung zum Ausbruchsort auf, während eine Abnahme des spezifischen Gewichtes der Gläser sowie die Menge an Fremdgestein von proximal zu distal zu verzeichnen ist.⁹⁷

Im Untersuchungsgebiet tritt die LST häufig in Form von kleinen Dünen, die durch äolische Prozesse gebildet wurden, in Erscheinung. Außerdem können zusammenschwemmte, in Auenlehm eingeschaltete Bimskornnester auftreten.⁹⁸ So spielt die Erosion und Umlagerung im Gebiet der mittleren Lahn während und kurz nach der Eruption sowie in der Jüngerer Dryas eine bedeutende Rolle, da in diesen Zeitabschnitten die Vegetationsbedeckung weniger Schutz vor Erosionsprozessen bot. Es wird angenommen, dass der Großteil der LST noch während des Alleröds durch Oberflächenwasser abgetragen wurde und sich in den Tälern und damit in dort verlaufende Flussrinnen akkumulierte.⁹⁹ Dies soll im nächsten Kapitel genauer untersucht werden.

Die Identifikation der LST im Gelände kann in manchen Fällen ein Problem darstellen. Vor allem in entfernten Gebieten des Laacher-See-Vulkans kann die Tephra mit anderen Sedimenten vermischt, verbraunt sowie der vulkanische Glasanteil komplett durch Verwitterungsprozesse

⁹⁴ Poetsch 1975, 14

⁹⁵ Poetsch 1975, 125

⁹⁶ Poetsch 1975, 111

⁹⁷ Frechen 1953, 30ff

⁹⁸ Poetsch 1975 14; Lang 1954, 362

⁹⁹ Hahn 2009, 15

zerstört werden.¹⁰⁰ Ebenso ist das Vorkommen älterer Tuffe aus vulkanischen Gebieten, wie z.B. dem Westerwald, Vogelsberg und der Röhn, im Untersuchungsgebiet belegt.¹⁰¹ Diese könnten durch äolische Prozesse dort zur Ablagerung gekommen sein. Nach einsetzenden Verwitterungsprozessen ist in Böden nur noch der glasfreie Tuffanteil vorzufinden, der überwiegend aus transportierten Gesteinsbruchstücken, Feldspäten und Schwermineralen wie Titanit, Pyroxen und Hornblenden besteht.¹⁰²

3.3 Denudationsprozesse

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erläutert kommt der Ablagerung und Umlagerung der LST eine besondere Bedeutung zu. So werden nun wesentliche Denudationsprozesse vorgestellt, die maßgeblich zur Ab- und Umlagerung der Tephra beitragen.

3.3.1 Abtragung und Transport durch fließendes Wasser

Die flächenhaft wirkende Abtragung und Umlagerung von Regolithmaterial durch die Arbeit des fließenden Wassers an der Landoberfläche wird in der Geomorphologie als Spüldenudation bezeichnet. Dabei wirkende Prozesse beschränken sich auf Flächen ohne geschlossene Vegetationsbedeckung und spielen für bewaldete Hangstandorte keine bedeutende Rolle.¹⁰³ Da es jedoch aufgrund des Fallouts zur flächenhaften Ablagerung von Lockermaterial kam sowie während der Jüngerer Dryas eine lichte Vegetationsbedeckung vorherrschend war, ist die spülaquatische Denudation sehr wohl für die Umlagerung der Tephra entscheidend.

Durch Niederschlags- oder Schneeschmelzwasser, das oberflächlich abfließt, erfolgt die Ablösung und der Transport von Partikeln an der Bodenoberfläche (vgl. Abb. 18). Es sind zwei Typen des Oberflächenabflusses zu unterscheiden: Der Horton-Abfluss und der Sättigungsabfluss. Der Horton-Abfluss (over-land flow) tritt auf, wenn der Boden nicht wassergesättigt ist, d.h. ist die Niederschlagsrate höher als die mögliche Infiltrationsrate der obersten Bodenschicht, fließt das überschüssige Wasser an der Oberfläche ab. Dagegen ist beim Sättigungsabfluss der Boden bereits vor dem Beginn des Niederschlages wassergesättigt. Daher sind nur geringe Mengen an Niederschlag ausreichend, um Abfluss zu erzeugen. Er tritt häufig in

¹⁰⁰ Juvigne 1980, 991; Semmel 2003, 98

¹⁰¹ Schönhals 1959, 315ff

¹⁰² Juvigne 1980, 990

¹⁰³ Zepp 2004, 129

humiden Gebieten und an Unterhangstandorten auf, da hier die höher liegenden Hangstandorte bereits Wasser zuführen.¹⁰⁴

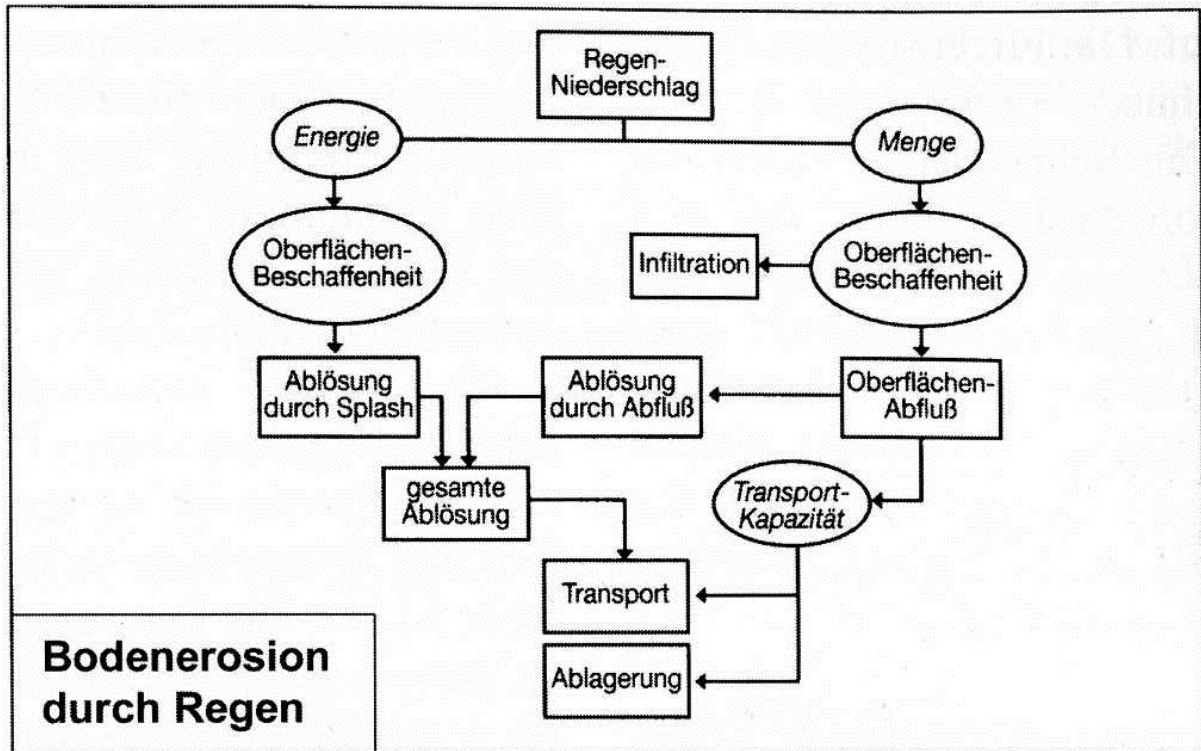


Abbildung 18: Funktionale Zusammenhänge der Bodenerosion durch Regen (Quelle: verändert nach Zepp 2005, 131)

3.3.2 Äolische Abtragungs-, Transport- und Ablagerungsvorgänge

Im Wesentlichen werden zwei Arten der Abtragungs- und Transportmechanismen durch Wind unterschieden. Zum einen ist dies bei gröberer Partikeln die Saltation; hier werden die Mineralkörner vom Boden abgehoben und bewegen sich in flach gestreckten Kurvenbahnen springend in Windrichtung vorwärts. Der Aufprall verursacht durch Energieabgabe bei den am Boden liegenden Körnern eine Kriechbewegung, auch Reptation genannt.¹⁰⁵ Kleine Korngrößen (Schluffe und Tone) werden in Suspension transportiert, deren Transportweg von der Turbulenzintensität abhängig ist. So spielt die Deflation sicherlich eine bedeutende Rolle in Bezug auf die Verlagerung der Vulkanablagerungen. Dabei setzt die Ausblasung der Mineralkörner unvermittelt ein ohne einer zuvor rollenden Bewegung, wenn die aufwärts- und

¹⁰⁴ Ahnert 2003, 154

¹⁰⁵ Ahnert 2003, 161

vorwärtsgerichteten Kräfte (Schubkraft der Luftströmung, Unterschiede im Luftdruck bedingt durch die Bodenrauigkeit sowie die Geschwindigkeitsverteilung in der Umgebung eines Einzelkorns) das Gewicht des Mineralkorns und die Kohäsion zwischen den Partikeln übersteigen. Aus diesem physikalischen Zusammenhang ist die kritische Schubspannungsgeschwindigkeit formuliert:

$$U_{krit} = A \cdot \sqrt{g \cdot d \cdot \frac{\rho_P - \rho_0}{\rho_0}}$$

A = empirischer Koeffizient (-)

ρ_P, ρ_0 = Dichte der Partikel und der Luft ($g \cdot cm$)

g = Schwerebeschleunigung ($m \cdot s^{-2}$)

d = Partikeldurchmesser (cm).¹⁰⁶

Ablagerung findet statt, sobald die Transportkapazität des Windes nicht mehr ausreicht, um die Körner zu bewegen. Grundsätzlich sind dabei zwei Akkumulationsformen zu unterscheiden. Zu den kleinsten Formen zählen Windrippel; diese besitzen einen parallelen Verlauf der Käme und eine Wellenlänge von einigen Zentimetern bis wenigen Dezimetern. Entstehen durch die Ablagerung oder durch Anwehung Sandhügel, werden diese als Dünen bezeichnet. Dünen besitzen eine flach geneigte Luvseite und eine steile Leeböschung; auch eine abnehmende Korngröße zum Kamm ist für Dünen charakteristisch. Während die Luvseite durch den Aufprall der Körner eine dichte und kompakte Oberfläche bildet, fallen die Sandkörner vom Dünenkamm über die Kante den Leehang hinab. Dem entspricht der Schichtenaufbau im Inneren der Düne: So werden die steil in Leerichtung parallel zueinander einfallenden Schüttungsschichten überprägt von den flach entgegengesetzt einfallenden Deckschichten der Luvseite. Damit zeigen die Schichtungen eine fortschreitende Orbitalbewegung der Sandkörner in Leerichtung an. Durch eine Wiederholung dieser Prozesse bewegen sich Dünen als Ganzes immer weiter fort.¹⁰⁷

¹⁰⁶ Zepp 2004, 173

¹⁰⁷ Ahnert 2003, 162ff

4. Forschungsstand zur Paläoumwelt und dem Spätpaläolithikum

Um die eigenen Untersuchungen zur Fluss- und Talgeschichte unter dem Einfluss der LST im Raum Marburg rekonstruieren zu können, wird im folgenden Kapitel der bisherige Forschungsstand in dieser Region aufgezeigt.

4.1 Relief- und Bodenentwicklung

Untersuchungen zu Befunden in den Tälern durch LANG (1955: 88f), HÖLTING & STENGEL-RUTKOWSKI (1964: 18f), HEINE (1979: 46) und LIPPS (1985: 59) weisen auf Schotterkörper im Ohmtal bei Kirchhain mit 11m Mächtigkeit und einem die Schotter bedeckenden, Auenlehm mit 5m Mächtigkeit hin. Auch an der mittleren Lahn im Stadtgebiet Marburg beträgt die Mächtigkeit quartärer Sedimente bis zu 14m. Datiert wurden die Schotterkörper in der Umgebung von Marburg durch LANG (1955: 177) und HEINE (1970: 47). Diese werden wärmzeitlich eingeordnet. Befunde in der Kiesgrube Weimar-Niederweimar zeigen nahe der Quartärbasis etwa 1,2m über Letten des Zechsteines Mudden und Seggen-Torfe. Nach Pollenanalysen durch HUCKRIEDE (1972) sind die Ablagerungen in das Eem-Interstadial einzuordnen. So ist der Beginn der Talfüllung durch Sedimente der letzten Warmzeit auszumachen. Über den Tuffen der Eemzeit weisen Florenreste auch auf das Weichsel-Hochglazial hin.¹⁰⁸

Im Mittellahntal konnten im Raum Marburg sieben verschiedene Terrassenkomplexe ausgewiesen werden, die morphologisch klar herauszustellen sind. Abbildung 19 zeigt die vertikale Abfolge der Terrassen im Querprofil. Dabei traten fluviale Schotterablagerungen nur in den Terrassengruppen von der Talfüllung bis zur 40-60m Terrasse auf, während die 70-80m Terrasse als Felsterrasse ausgebildet ist.¹⁰⁹

Untersuchungen von HEINE (1970) belegen eine glazial-klimatische Terrassenaufschotterung im Untersuchungsgebiet. Zu der jüngsten Terrassenbildung zählen die Schotter der Talfüllungen (vgl. Abb. 19). Diese sind unverwittert und weisen eine graue, graubraune oder rötlichbraune Färbung auf, die je nach Grundwassereinfluss, d.h. der Intensität der Ausscheidung von Eisenoxiden und -hydroxiden, variiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Tonanteil der Schotter unter 1% liegt und Hydroglimmer, Quarz und Illit als Hauptbestandteile sowie Kaolinit, Montmorillonit und Vermiculit als Nebenbestandteile auftreten. Außerdem sind die Schotter kalk- und humusfrei, reagieren schwach sauer und besitzen eine mäßige hydrolytische Azidität

¹⁰⁸ Urz 1995, 8

¹⁰⁹ Heine 1971, 17

und Austauschkapazität. Über den Schottern der Talfüllungen sind Auenlehme, die durch Phasen der Akkumulation, Erosion und Bodenbildung gekennzeichnet sind, anzutreffen (vgl. Kap. 2.1.5).

Anders als die Schotter der Talfüllungen sind die Schotter der 2-4m Terrasse zwar ebenfalls unverwittert, jedoch mit umgelagertem Löß bedeckt. Auf den Deckschichten führte die holozäne Verwitterung zur Ausbildung von Braunerdeböden. Damit entsprechen die Schotter der oberen (=älteren) Niederterrasse des Mittelrheintals. Kiesige Ablagerungen kennzeichnen die 8-12m Terrasse und heben diese deutlich von den unteren ab. Dabei werden diese Sedimente von Solifluktionsschutt und Schwemmlöß oder Löß überdeckt. Es bilden sich post-pleistozäne, vorwiegend oligotrophe Braunerden auf dem Soliflutionsedimenten des Buntsandsteins sowie eutrophe Braunerden auf Schwemmlöß. Die 8-12m Terrassen der Lahn werden als rißzeitliche Bildungen angesprochen und entsprechen der unteren Mittelterrasse des Mittelrheins.¹¹⁰

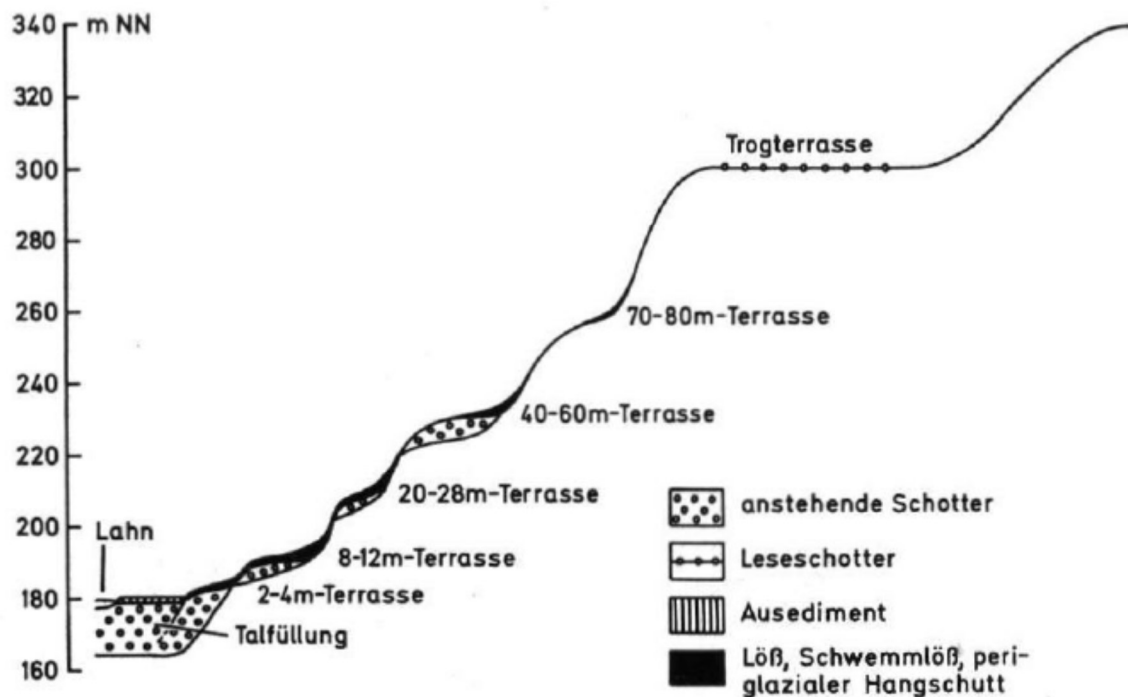


Abbildung 19: Schematisches Talquerprofil der Lahn bei Marburg (Quelle: Heine 1971, S. 17)

¹¹⁰ Heine 1971, 18ff

4.2 Flussgeschichte

Ein entscheidender Wandel des Flusssystemes ist im Weichsel-Spätglazial auszumachen: Das braided river-System, das sich durch eine vertikale Aufschotterung eines kaltzeitlichen Flusses bildete, wandelt sich nun zu einem holozänen Flusssystem, das durch Mäander und laterale Akkumulation der Schotter gekennzeichnet ist. Die flächenhafte Sedimentation bei Hochflutereignissen ist ein weiteres Charakteristikum, das diese Flusssysteme kennzeichnet. Dazu wurde in Kapitel 3 bereits die Bildung dieser Systeme thematisiert. Untersuchungen von LANG (1955: 73) zeigen diese Veränderung der Flusssysteme von der Älteren Dryaszeit zum Alleröd im Ohmtal. Gründe für diese Umstellung sind nach HEINE und LANG (1970: 46) tektonische Prozesse, nach URZ (1995: 8) und DAMBECK (2005: 12) seien jedoch klimatische Veränderungen und damit eine Umstellung im Abflussverhalten sowie einer veränderten Vegetation ausschlaggebend. Die Erwärmung zwischen 15.000-8.000 BP habe zu höheren Niederschlägen und aufgrund des hierdurch bedingten Vegetationsaufkommens zu einer Erhöhung der Evapotranspirationsrate geführt. Gleichzeitig auftretende Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse werden als Ursache für den Wandel vom „braided river“ zum mäandrierenden System angesehen.¹¹¹

Zu Beginn des Spätglazials¹¹², jedoch vermehrt durch Klimaveränderungen im Alleröd kam es in den Paläorinnen zur Ablagerung von Stillwassersedimenten, die über den pleistozänen Terrassenschottern liegen und zur Verlandung dieser Abschnitte führten. Vor allem das Auftreten der LST über den spätglazialen Niedertorfmooren ist hier ausschlaggebend, z.B. untersuchte RITTWEGER (1992) eine Kalkmudde unter LST. LANG (1954) konnte Torfe unter LST dem Alleröd zuordnen. In Rinnenpositionen können die LST-Lagen bis zu 2,65m erreichen.¹¹³

Untersuchungen zur jungquartären Flussgeschichte der Lahn in der Gießener Talweitung wurden von MÄCKEL (1969) durchgeführt. Er vergleicht eigene Untersuchungen mit denen anderer Flussgebiete, um Gesetzmäßigkeiten jungquartärer Flussarbeit zu finden. So erreicht die LST im Gießener Lahntal eine Mächtigkeit von ca. 130cm (Heuchelheim), 170cm (Lollar) und 265cm (Allendorf/Lahn). Einige Merkmale der untersuchten Aufschlüsse werden nachfolgend genauer beschrieben.

¹¹¹ Dambeck 2005, 12

¹¹² Schirmer 1998, 164

¹¹³ Urz 1995, 8f

Diese zeigen Kreuzschichtungen im Bimshorizont, wellenförmige Ablagerungen und die größte Mächtigkeit des Bimses in alten Flussrinnen. Unterlagert wird der Bimshorizont von Auensedimenten aus sandig bis tonigem Schluff oder fluvialen Sanden. Weiter gibt MÄCKEL (1969) an, dass der weiße, grobkörnige Bims und der schwarze, feinkörnige Bims oft ineinander verschwemmt aufgefunden wurden. Seinen Untersuchungen zur Folge müsse die sekundäre Umlagerung noch im Alleröd, also unmittelbar nach dem Fallout stattgefunden haben. Dies belegt MÄCKEL (1969) durch die Mächtigkeit der Horizonte sowie den guten Erhaltungszustand der vulkanischen Gläser und der geringen Vermischung mit anderen Sedimenten.¹¹⁴

Ein Beweis für einen direkten Eintrag in Altarme oder Überschwemmungsseen konnte jedoch nicht erbracht werden. LANG (1954) untersuchte ein Alleröd-Profil mit eingelagerter LST im Amöneburg-Kirchhainer Becken; hier konnte eine Unterscheidung von primären und sekundären Ablagerungen getroffen werden.

Bei den Bohrungen zeigten sich über einem Torfhorizont zwei Abfolgen von grauweißen Bimskörnern mit einer Mächtigkeit von ca. 15cm, die von dunkelgrau zu hellgrau wechselnden Tuffen überlagert wurden. In den Abfolgen treten in den unteren Bereichen 3-4mm große Bimskörner auf und in den oberen Bereichen wurden feinstaubartige hellgraue bis graugelbe Substrate angetroffen. Korngrößenanalysen zeigen ein Amplitudenmaximum im Bereich von 0,2 bis 1mm. Der Autor führt an, dass es sich hier um ein typisch äolisches Sediment handeln müsse. Weiter stellt LANG (1954) durch Schwermineralanalysen fest, dass die Hornblendenkonzentration mit abnehmender Korngröße korreliert. In den Abfolgen, d.h. den primären Ablagerungen ist außerdem eine gravitative Aufteilung der vulkanischen Gläser nachzuweisen. Es fanden sich zuerst dunkle und darüber helle Gläser in den Abfolgen wieder, während bei den umgelagerten Tuffen eine Vermischung beider auftrat.¹¹⁵

¹¹⁴ Mäkel 1969, 140

¹¹⁵ Lang 1954, 362f

4.3 Paläoklima und Vegetation

Gegen Ende der letzten Kaltzeit vor etwa 14.700 Jahren führte erhöhte Sonneneinstrahlungsintensität zu einer Zunahme der Luft- und Meeresoberflächentemperaturen des Nordatlantiks. Dies konnte durch die ^{10}Be -Konzentration in den grönländischen Eisbohrkernen nachgewiesen werden. Außerdem zeigte sich bei den Bohrkernen ein Anstieg des CO_2 -Gehaltes in der Atmosphäre. Weiter änderten sich ebenso die Druckverhältnisse in Mitteleuropa durch die Luftmassenzufuhr aus den Subtropen, die auf atlantische Strömungen zurückzuführen sind. Während des spätglazialen Interstadials (Gl 1) vollzog sich eine kontinuierliche Abnahme der Temperaturen, die zu Beginn mit den heutigen vergleichbar waren (vgl. Abb. 20). Weiter ist auch belegt, dass es im spätglazialen Interstadialkomplex zu mehreren Kälteeinbrüchen kam. Durch diese Kälteeinbrüche, die nur wenige Jahre oder Jahrzehnte andauerten, gliedert sich der Komplex in Meiendorf-, Bölling- und Allerödinterstadial.¹¹⁶ Die zeitweiligen Temperatureinbrüche werden auf kurzfristige Veränderungen ozeanischer Strömungen zurückgeführt. Das Zurückziehen der Gletscher in der Nordhemisphäre führte zur Bildung von Schmelzwasserseen, wie z.B. dem Baltischen Eisstausee im Gebiet der heutigen Ostsee oder dem Agassiz-See im Norden Amerikas. Liefen diese Seen über, so strömten enorme Mengen an Süßwasser in den Nordatlantik und führten zur zeitweiligen Störung des Tiefenwassers, was zur Folge hatte, dass der Golfstrom weit nach Süden abgedrängt wurde. Das Resultat waren vermehrt kontinentale Hochdruckgebiete. Diese führten zu einem trockenen Klima mit ausgeprägten kalten Wintermonaten.¹¹⁷

Während sich in der älteren Dryaszeit überwiegend tundrenähnliche Steppengemeinschaften ausbreiteten,¹¹⁸ unter anderem Pflanzen der Strauch- und Zwergstrauchtundren (z.B. *Arctostaphylos uva-uris*, *Betula nana* und *Silax*-Arten) sowie Kräutersteppen, die auf eine weitgehend offene Landschaft hindeuten, begann mit dem Alleröd-Interstadial eine Wärmeperiode.¹¹⁹

Dies zeigt sich durch eine lichte Bewaldung an den Auenstandorten der mittleren Lahn und Ohm im Pollenspektrum einiger untersuchter Profile. Darunter findet sich eine Baum-Strauchvegetation aus Weiden, Strauch- und Baum-Birken sowie die Traubenkirsche. In den Profilen dominieren Florenelemente mit heute nordosteuropäisch-eurasischer Verbreitung. Dazu

¹¹⁶ Jöris, Street & Sirocko 2010, 93

¹¹⁷ Jöris & Street 2014, 19

¹¹⁸ Jöris, Street & Sirocko 2010, 95

¹¹⁹ Urz 1995, 177

zählen *Filiendula ulmaria*, *Geum sp.*, *Heracleum sphondylium* und *Rubus saxatilis*. In den Verlandungs- und Flachmoorstandorten konnten direkt unter der LST Röhrichte und Seggenriede nachgewiesen werden.¹²⁰

Zwar macht die Birke den Großteil des Baumpollenspektrums zu Beginn des Interstadials aus, diese wird jedoch zunehmend bis zum Ende des Alleröds durch die Kiefer zurückgedrängt (vgl. Abb. 20).¹²¹

Auf die Alleröd-Wärmeschwankung folgte um 10.730 v. Chr. die kalte Jüngere Dryaszeit, in der sich eiszeitähnliche Klimaverhältnisse in Mitteleuropa einstellten.¹²² Dies ist ebenfalls auf den Überlauf von Schmelzwasserseen zurückzuführen. Damit verbunden ist eine tiefgreifende Veränderung der nordatlantischen Strömungsmuster.¹²³ Der Dichteunterschied von Schmelzwasser und Salzwasser führte dazu, dass sich auf dem Meer eine Süßwasserschicht ausbreitete. Die weitere Folge war, dass es im Norden zu einem Abbruch der Tiefenwasserzufuhr kam und der Golfstrom nicht mehr so weit nach Norden ausbreitete, wie dies im Alleröd der Fall war. Das Ergebnis waren in Mitteleuropa kalte Temperaturen mit einhergehender relativ hoher Feuchtigkeit zu Beginn der Jüngeren Dryaszeit. Dagegen entwickelte sich im jüngeren Abschnitt der Kaltzeit ein trockeneres und zugleich wärmeres Klima. Die Temperaturen lagen im Jahresmittel etwa 13°C unter den heutigen.¹²⁴ Pollenanalytische Untersuchungen an der mittleren Lahn und Ohm sowie im Gießener Becken zeigen eine übereinstimmende Florenzusammensetzung, die der Älteren Dryas zum Teil entsprechen. Demnach wurden in der Jüngeren Dryaszeit vor allem offenheitsliebende Pflanzen der Strauch- und Zwergstrauchtundren, z.B. *Arctostaphylos uva-ursi*, *Betula nana*, *Empetrum nigrum* etc. und der Kräutersteppen, z.B. *Biscutella laevigata*, *Centaurea cf. Scabiosa*, *Linaria vulgaris* etc. nachgewiesen. Weiter sind auch arktisch-alpine Florenelemente im Untersuchungsgebiet beheimatet.¹²⁵

¹²⁰ Urz 1995, 178f

¹²¹ Jöris, Street & Sirocko 2010, 96

¹²² Clark et. al. 2001, 283f

¹²³ Latif 2009, 74

¹²⁴ Jöris, Street & Sirocko 2010, 100

¹²⁵ Urz 1995, 179

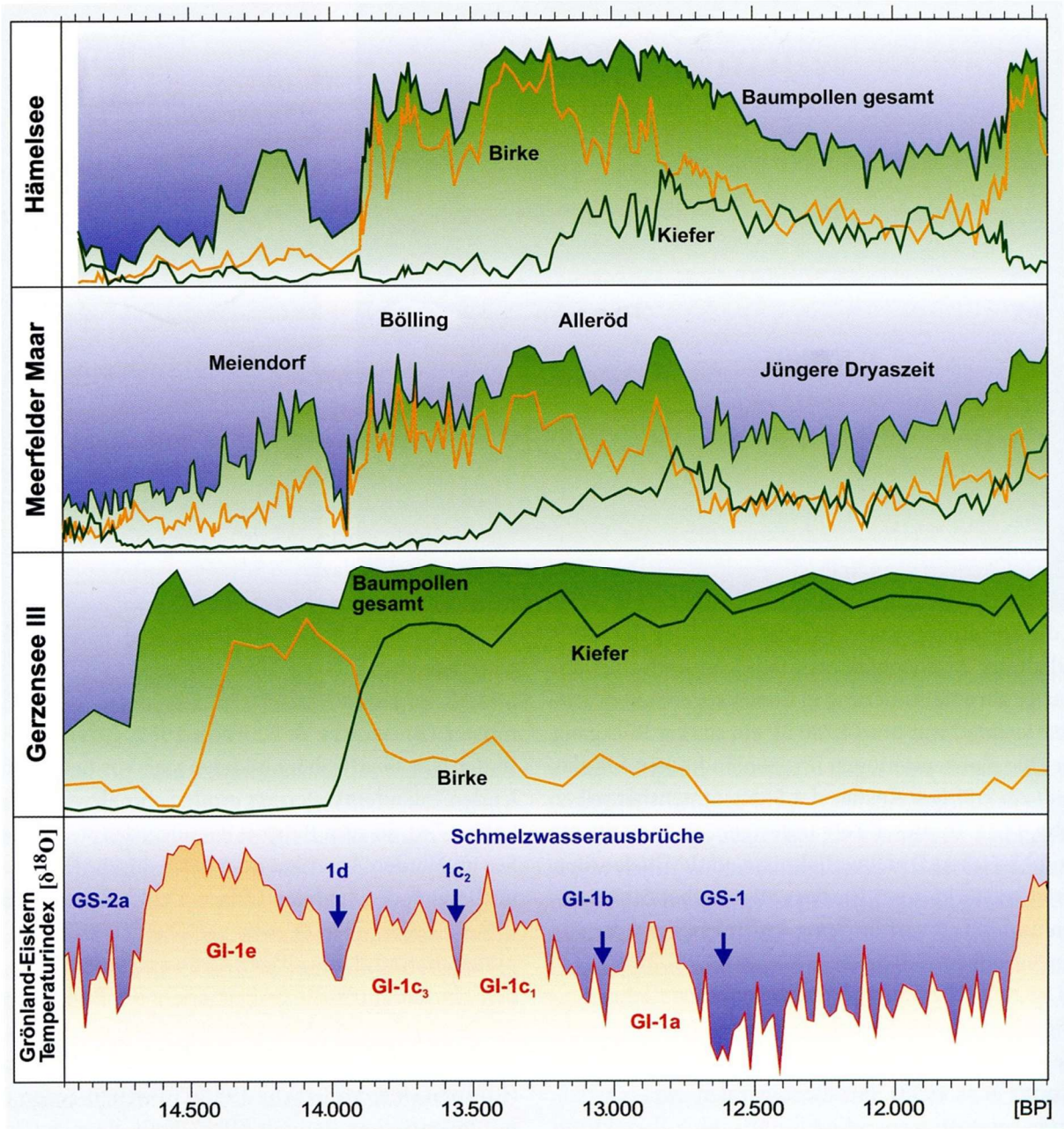


Abbildung 20: Späteiszeitliche Wiederbewaldung in Mitteleuropa anhand von Pollenanalysen aus Seesedimenten (Quelle: Jöris, Street & Sirocko 2010, S. 94)

4.4 Das Spätpaläolithikum

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick zum Forschungsstand des Spätpaläolithikums. Es soll Einblick gewähren in die Entwicklung, Gliederung und Ausbreitung der in Mitteleuropa und speziell in Hessen auftretenden anthropogenen Hinterlassenschaften vor, im und nach dem Alleröd-Interglazial. Allem voran ist zu erwähnen, dass hier die Bezeichnung Rückenspitzen-Gruppen oder -Kreis Verwendung findet (oft allgemein bezeichnet als Federmesser-Gruppen), da nach derzeitigem Forschungsstand eine Einteilung der als Federmesser-Gruppen bekannten Wehlener-, Rissener-, Tjonger- und Atzenhofer-Gruppe keine eigenständige Fazies mehr darstellen.¹²⁶

4.4.1 Vom Magdalénien zu den spätglazialen Rückenspitzen-Gruppen

Das Magdalénien bezeichnet den jüngsten Technokomplex des Jungpaläolithikums und beginnt in Westeuropa, vor allem in Südwestfrankreich und Nordspanien, um etwa 18.000 v. Chr. Eine schnelle Ausbreitung bis in das östliche Mitteleuropa wurde durch milde klimatische Bedingungen begünstigt. Artefakte des Magdalénien finden sich sowohl in Höhlen (z.B. Maszycka-Höhle in Süd-Polen, Le Mas-d'Azil in Südwest-Frankreich und Niaux in Süd-Frankreich), als auch im Freiland (z.B. Pincevent und Gönnersdorf).¹²⁷

Als Lebensgrundlage dienten den Jägern und Sammlern des Magdalénien vor allem saisonal wandernde Tierherden aus Pferden und Rentieren. Zur Jagd verwendet wurden Speerschleudern, die durch das Auffinden von Teilen des Hakenendes sowie die Geschosspitze des Speeres aus Geweih und Elfenbein nachgewiesen wurden. Der Hauptbestand der Waffe wurde aus Holz gefertigt.¹²⁸

Aus dem Magdalénien entwickelte sich um 13.000 v. Chr. in Nordeuropa, vor allem in Schleswig-Holstein und Süd-Dänemark, die Hamburger Kultur. Diese fand später auch in den Niederlanden, Südschweden, Teilen Polens und im gesamten norddeutschen Tiefland ihre Verbreitung. Während in Westeuropa das Magdalénien in das spätpaläolithische Azilien überging, entwickelte sich in Mitteleuropa aus dem End-Magdalénien, noch im Meienedorf-Interstadial, der Technokomplex der Rückenspitzen-Gruppen. Vor allem in Frankreich ist der Übergang typologisch gut nachzuweisen. Hier zeigte sich eine kontinuierliche Entwicklung, die

¹²⁶ Iking 1998, 281f

¹²⁷ Gaede 2007, 573

¹²⁸ Baales 2014, 51

von zunächst schlanken, segmentartigen Rückenspitzen, sog. bipointes, die etwa um 12.600 v. Chr. auftraten, zu darauffolgenden Inventaren mit Rückenspitzen, die nur noch eine Spitze (monopointes) aufweisen.¹²⁹

Durch eine formenkundliche Herleitung in Verbindung mit gesicherten C¹⁴-Daten einiger Fundorte, die in Mitteleuropa ausgewertet und analysiert wurden, ist die Herkunft, Entwicklung und Ausbreitung der Rückenspitzen-Gruppen relativ gut fassbar (vgl. Abb. 21): So zeigen gebogene Spitzen einen südwesteuropäischen Ursprung des Magdaléniens und Azilliens an, während geknickte und gerade Spitzen aus dem Gebiet des nordwesteuropäischen Jung-/Endpaläolithikums (Creswellian) entstammen.¹³⁰

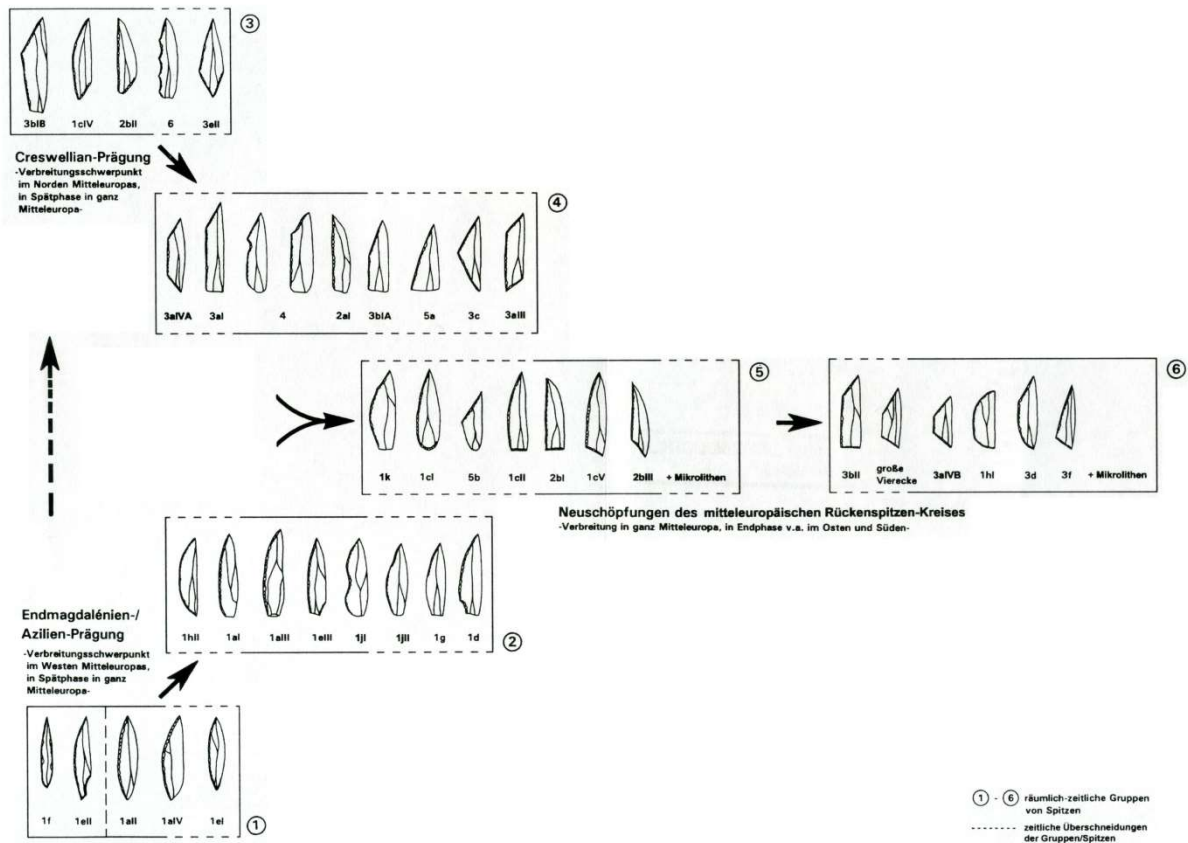


Abbildung 21: Gliederung der Spitzen in räumlich-zeitliche Gruppen (Quelle: verändert nach Iking 1998, S. o.S. Beilage 3)

¹²⁹ Baales 2014, 52ff

¹³⁰ Iking 1998, 273

4.4.2 Rückenspitzen-Gruppen

Vereinzelte Rückenspitzen treten ab der Dryas 1 (bis ca. 12.500 cal BC) und dem Bölling (ca. 12.500-12.100 cal BC) auf (vgl. Abb. 22). Die Rückenspitzen entstammen den typischen Magdalénien-Inventaren. Einerseits stellen sie eine autochthone Entwicklung dar, andererseits weisen sie Einflüsse des westeuropäischen, rückenspitzenführenden Endmagdaléniens auf. Eine für den Rückenspitzen-Kreis typische Verkleinerung der Geräte ist ab der Dryas 2 auszumachen. Außerdem wird das Formenrepertoire der Rückenspitzen erweitert. Ausschließlich den Rückenmesser-Gruppen zugehörige Inventare treten erst ab dem mittleren und späten Alleröd auf. Die Inventare beinhalten sehr vielfältige Rückenspitzen, kurze Kratzer oder Daumennagel-Kratzer, kleine Stichel, relativ breite Rückenmesser und heterogene Bohrer. Ein gesichertes Vorkommen dieser Gruppen ist bis in die frühe Dryas 3 nachgewiesen.¹³¹

STREET ET AL. 1994 (cal BC)	Gliederung in vorliegender Arbeit			datierte Fundplätze mit Rückenspitzen	Entwicklung des Rückenspitzen-Kreises	
	(cal BC)	(uncal BC)	(uncal BP)			
PRÄBOREAL ~ 9.550	PRÄBOREAL ~ 9.550	~ 8120	~ 10.070	FP 241 Robenhäuser ? * FP 208 Grellingen/Wachtfels ? * FP 265a Abri Rochedane ?	?	
DRYAS 3 ~ 10.750	DRYAS 3 späte ~ 10.500 frühe	~ 8570	~ 10.520	* FP 240 Fürstener ? * FP 246 Neumühle ? FP 347 Jägerhaus 15	Endphase	
				* FP 265b Abri Rochedane B FP 84D Zigeunerfels D FP 266R Abri Manniefels R		Spätphase
LST ~ 11.000 / 10.950 ALLERÖD	ALLERÖD spätes LST ~ 11.000 / 10.950 mittleres ~ 11.575 frühes	~ 10.750	~ 8820	~ 10.770	FP 67 Mähheim-D. FP 70 Rothelkirchen FP 79 Rüsselheim * FP 80 Sarching FP 167 Bornack-W FP 168 Bornack-M. FP 265c Abri Rochedane C * FP 269 Abri Gigot	
		~ 9090 / 9030	~ 11.040 / 10.980		* FP 20 Urbar * FP 21 Niederbieber * FP 23 Andernach * FP 51 Rissen 14 FP 265d Abri Rochedane D	
		~ 9645	~ 11.595		* FP 11a Westerkappeln * FP 166A Klein-Nordende A * FP 361 Grotte du Bisson	Frühphase
BÖLLING ~ 11.750	DRYAS 2 ~ 11.800/11.750	~ 9.850 / 9.800	~ 11.800 / 11.750	* FP 242 Kohlerhöhle * FP 166CR Klein-Nordende CR FP 84F Zigeunerfels F FP 85c Dietfurt FP 201 Burckhardtshöhle ?	Entstehung	
	BÖLLING ~ 12.100	~ 10.100	~ 12.050	* FP 238b Felställe IIIB	(einzelne Rückenspitzen in Magdalénien-Inventaren)	
DRYAS 1 ~ 12.500	DRYAS 1 ~ 12.500	~ 10.410	~ 12.360	* FP 362 Monruz * FP 199 Hohlenstein Stadel III		

LST = Laacher See Tephra * = Fundplatz mit verlässlichen ¹⁴C-Daten (andere Fundplätze anhand von Fauna-, Flora- und/oder Sediment-Abfolgen datiert)

Abbildung 22: Gliederung des Spätglazials und Entwicklungsabfolge des mitteleuropäischen Rückenspitzen-Kreises (FP = Fundplatz) (Quelle: verändert nach Ikinger 1998, S. 7)

¹³¹ Ikinger 1998, 9f

4.4.2.1 Behausungen

IKINGER (1998) gibt eine Zusammenschau der Rückenspitzen-Gruppen in Mitteleuropa. Sie beschreibt in Bezug auf die Standortwahl eine bestimmte Regelmäßigkeit. So befinden sich die meisten Fundplätze auf Kuppen oder Hängen mit leichter Bodenerhebung (Bergspornen oder Dünen). Charakteristisch hierbei ist die südlich ausgerichtete Lage der Fundplätze.

Im Gegensatz zum Magdalénien sind für die Rückenspitzen-Gruppen fast keine langfristig genutzten Behausungen nachzuweisen. Nur in seltenen Fällen sind Pfostenlöcher, Pflasterungen oder grubenartige Eintiefungen feststellbar. Oft werden anhand von rundlichen Artefaktstreuungen, die eng begrenzt sind, Rundzelte rekonstruiert. Diese Annahme erscheint jedoch unsicher, da keine eindeutigen Befunde vorliegen und diese somit auch Arbeitsplätze unter freiem Himmel darstellen könnten.¹³²

Weiter treten bei vielen Fundorten (Bsp. Urbar, Niederbieber, Andernach-Martinsberg, Ketting) rundliche Artefaktkonzentrationen um eine zentrale Feuerstelle auf. Die Artefaktkonzentrationen, die nur wenige Meter im Durchmesser aufweisen, umfassen nicht mehr als ein- bis zweitausend Artefakte. Diese werden als spezielle Werkplätze angesprochen, die zur Verrichtung unterschiedlicher Tätigkeiten interpretiert werden.¹³³ In der Regel sind es also eher kleine Behausungen leichter Bauart, die nur für kurze Zeit von wenigen Menschen bewohnt wurden.¹³⁴

4.4.2.2 Die Jagd

Wie in Kapitel 4.3 ausgeführt, ist mit dem Beginn des Alleröds eine zunehmende Bewaldung verbunden. So ist während des Interglazials eine schnelle Anpassung der Rückenspitzen-Jäger an die Jagd in bewaldeten Gebieten festzustellen. Erkennbar wird dies an der gravierenden Umstellung der Jagdtechniken mit Pfeil und Bogen. Zwar treten Pfeilspitzen erstmals während der Dryas 1 auf; diese lösten aber nicht die Speerschleuder, der vor allem im Magdalénien verwendeten Jagdwaffe, ab.¹³⁵

Bei den vorgefundenen Rückenspitzen handelt es sich um Pfeilbewehrungen, die aufgrund von Gebrauchsspuren als solche ausgewiesen wurden. Weitere Belege für eine derartige Verwendung sind die Pfeilschaftglätter, mit denen die hölzernen Pfeilschäfte glatt geschliffen wurden. Diese

¹³² Ikinger 1998, 15

¹³³ Gelhausen, Kegler, Wenzel 2004, 18f

¹³⁴ Ikinger 1998, 20

¹³⁵ Baales 2014, 55

besitzen eine sorgfältig herausgearbeitete, etwa 1cm breite Rille und konnten u.a. in Niederbieber nachgewiesen werden. Hölzerne Schäfte sind jedoch aus dieser Zeit nicht bekannt und somit ist es noch unklar, wie die Schäftungen der steinernen Einsetze, die Pfeile oder die Bögen aussahen. Nach LUND (1993) sind die Spitzeneinsätze entweder durch eine feste Umwicklung (z.B. Sehnen) oder durch Klebung (mit harzartiger Klebmasse) mit dem Schaft denkbar.¹³⁶

Der Fundplatz Ketting liefert jedoch den Nachweis über unterschiedliche Schäftungsarten, bei denen die Spitzen mit Birkenpech angeklebt wurden. Zum einen konnte hier eine parallele Schäftung anhand der lateral erhaltenen Birkenpechresten auf den Spitzen rekonstruiert werden und zum anderen weisen einige Spitzen an der Basis selbige Reste auf, nachdem diese wohl auf die Spitze des Pfeilschaftes gesetzt worden waren.¹³⁷

Des Weiteren waren im Rückenspitzen-Kreis auch Knochengeräte als Jagdwaffen in Gebrauch. Die Inventare bestehen aus Widerhakenspitzen, Harpunen, Angelhaken und einfache Spitzen aus Geweih oder Knochen.¹³⁸

Durch den guten Erhaltungszustand Aufgrund der konservierenden Bimsdecke konnte die Fauna des Alleröd Interglazials rekonstruiert werden: Die Fauna setzte sich vor allem aus warmzeitlichen und montanen Arten zusammen. Zu den typischen Jagdtieren des Spätpaläolithikums zählen Rothirsch, Elch, Reh, Pferd, Biber sowie Steinbock, Gämse, Wildschwein, Auerhahn und Birkhuhn.¹³⁹

4.4.2.3 Artefakte

Im Gegensatz zu den Artefakten des Magdaléniens sind die Steingeräte des Rückenspitzen-Kreises wesentlich kleiner und weniger sorgfältig ausgearbeitet.¹⁴⁰ Eine Tradierung ist dennoch erkennbar: So treten in der Frühphase der Rückenspitzen-Gruppen noch lange Kratzer, große Stichel und große Bohrer auf, die im Laufe der Zeit aber durch eine jeweilige Verkleinerung dieser, im späten Alleröd das Geräte-Inventar darstellen.¹⁴¹ Bis auf die zuvor genannten Jagd-Geräte, die aus Knochen gefertigt wurden, sind nur in wenigen Fällen Nähnadeln oder Pfieme

¹³⁶ Ikinger 1998, 21

¹³⁷ Baales 1999, 57f

¹³⁸ Ikinger 1998, 24

¹³⁹ Koenigswald 2002, 48; Jöris, Street & Sirocko 2010, 97

¹⁴⁰ Fiedler 1994, 119

¹⁴¹ Ikinger 1998, 35

bekannt.¹⁴² So bilden die Mehrheit der Artefakte Rückenspitzen: Die Rückenspitzen besitzen einen komplett durchretuschierten bzw. gestumpften Rücken. Dabei verläuft die Rückenretusche in der Regel über mehr als zwei Drittel der Projektillänge. Die Rückenretusche ist oft lateral und seltener auf oder nahe dem Mittelgrat angebracht und variiert je nach Dicke der Grundform. Im Gegensatz zu Rückenmessern enden die Rückenspitzen in einer deutlichen Spitze. Dabei verläuft der Rücken mit der gegenüberliegenden (meist unretuschierten) Lateralkante in einem max. Winkel von 50° zusammen. In Bezug auf die Formgebung konnten insgesamt sieben morphologische Hauptgruppen (mit verschiedenen, kleineren Typen-Gruppen) von Rückenspitzen unterschieden werden (vgl. Abb. 23), mit:

1. gebogenem, retuschiertem Rücken
2. geraden, retuschiertem Rücken
3. ein- oder zweifach geknicktem Rücken
4. betontem Rückenknick (bzw. Dorn)
5. schräg-gerade retuschiertem Rücken
6. gezähntem Rücken
7. individuell geformtem Rücken (Einzelstücke).¹⁴³

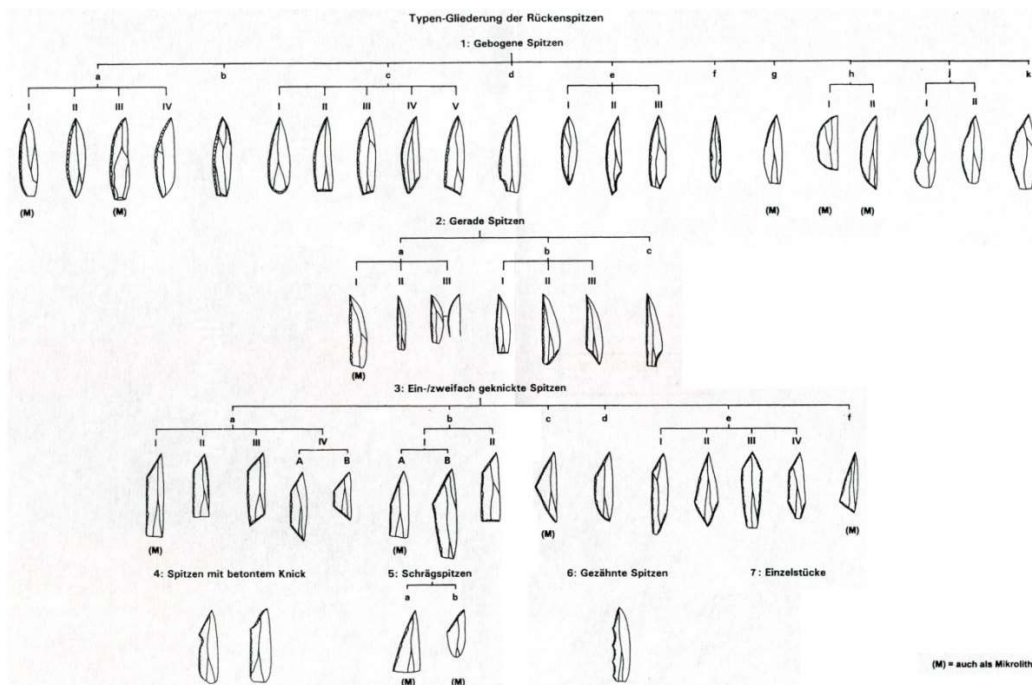


Abbildung 23: Typen-Gliederung der Rückenspitzen (Quelle: verändert nach Ikinger 1998, S. o.S. Beilage 2)

¹⁴² Ikinger 1998, 36

¹⁴³ Ikinger 1998, 41f

4.4.2.4 Ausgewählte Fundstellen

Bislang konnten drei Fundstellen, die dem Spätpaläolithikum und damit den Rückenspitzen-Gruppen zuzuordnen sind, in Hessen ausgegraben werden. Dabei handelt es sich um die Fundplätze Rothenkirchen, Rüsselsheim und Mühlheim-Dietesheim (vgl. Anhang 1), die im Folgenden dargestellt werden.

Der Fundplatz Rüsselsheim befindet sich etwa 3km südlich des heutigen Mains sowie etwa 10km östlich der Mainmündung auf einer Flugsanddüne im Randbereich der Niederterrasse. Seit dem letzten Kältemaximum entwickelte sich hier ein verzweigtes Flusssystem mit zahlreichen Nebenarmen. Die Rinnen kennzeichnet eine geringe Mächtigkeit und in Verbindung mit vorgefundenen Hochflutlehmen wird eine zeitweilige Überschwemmung des Niederterrassenbereiches bei Hochwasser konstatiert.¹⁴⁴

Der Fundplatz besteht aus zwei Fundkonzentrationen (A: 50m² und B: 30m² Ausdehnung) in 25m Entfernung zueinander (vgl. Anhang 7 & 8). Beide Plätze weisen eine Vielzahl von Steinartefakten und Sandsteingeröllen auf, die unter einer 1,20m bis 1,50m mächtigen Deckschicht angetroffen wurden. Die Basis der Profile bilden die Prä-Riß Schotter. Diese stellen somit die ältesten Terrassenkomplexe des Mains dar. Sie werden überlagert von einem Eemzeitlichen rotbraunen, stark lehmigen Interglazialboden. Darauf folgen Flugsand-Ablagerungen, die der Älteren Dryaszeit angehören. Die Flugsandabfolge wird abgeschlossen durch einen bräunlichen Bims-Tuff-Horizont.¹⁴⁵ Es handelt sich hierbei um einen 20cm mächtigen Hochflutlehm, in dem Tephra des allerödzeitlichen Laacher-See-Fallouts eingelagert wurde. Direkt unterhalb des olivgrünen Lehm-Tuff-Horizontes befindet sich die 20cm mächtige muldenförmige Fundschicht (A). Jedoch sind einige Funde sowohl im Hochflutlehm als auch darüber anzutreffen. Unklar bleibt, wie diese Funde dort hingelangten. FIEDLER (1995) hält es für fraglich, dass die Lehm-Tuff-Schicht natürlich abgelagert ist oder während der Besiedlung als Nässeschutz eingebracht wurde, da er nahe der Grabungsstelle ein Profil, das LST enthielt, stratigraphisch tiefer lag und von anderer Konsistenz war, untersuchte. So sei die Tuffschicht im Befund B „verknetet“ und zur Mitte hin dünner werdend. Auch dass die LST nicht über die Befundgrenzen hinaus gehe, sei eher unnatürlich.¹⁴⁶ Die Zeitstellung betreffend ist es also noch unklar, ob Rüsselsheim vor den Ausbruch, also in das ausgehende Alleröd oder aber in die

¹⁴⁴ Loew 2006, 3f

¹⁴⁵ Loew 2006, 5ff

¹⁴⁶ Loew 2006, 8f Hier ist anzumerken, dass dieses Gebiet, so wie es rekonstruiert wurde, eine Auenlandschaft mit verzweigten Flusssystemen darstellt. Daher ist es wohl wahrscheinlich, dass es sich bei dem LST-Horizont um umgelagerte LST handelt. So könnten vereinzelt Funde auch im oder über dem Lehm-Tuff-Horizont auftreten.

Jüngere Dryaszeit datiert. Da das Gros der Funde unter LST begraben liegt, ist eine Besiedlung vor dem Fallout wahrscheinlich. Auch die formenkundliche Einordnung des Fundplatzes lässt eine genaue Datierung der Fundstelle offen. Zwar treten als Leitformen kurze Kratzer und gebogene Rückenspitzen (Federmesser) auf, doch eine typologische Zuordnung verweist auf einen längeren Zeitraum zwischen der Älteren und der Jüngeren Dryaszeit.¹⁴⁷

Fundplatz A umfasst 2426 Steinartefakte, die überwiegend aus Abschlügen, Klingen und Lamellen bestehen. 262 Artefakte wurden modifiziert, davon sind 51% Kratzer, 16% Rückenstumpfunen, 12% Endretuschen, 8% Stichel, 0,4% Bohrer, 1,5% Kombinationswerkzeuge und 10% Sonderformen. Befund B weist 1772 Steinartefakte auf mit 40% Abschlügen, wovon ein Drittel aus Klingen und Lamellen besteht. 144 Formen wurden modifiziert, die zu 43% aus Kratzern, 21% rückengestumpften Formen, 19% Stichel, 10% Endretuschen und 0,7% Bohrern sowie 6% Sonderformen bestehen.¹⁴⁸

Der Fundplatz ist geprägt durch eine enorme Rohmaterialvielfalt, die sich aus Gesteinen lokaler, regionaler und überregionaler Herkunft zusammensetzt. Zu den Hauptrohmaterialien zählen Kieselschiefer, Chalcedon, Tertiärquarzit und Keuperhornstein. Kleine Rohmaterial-Inventare sind Feuerstein, Hornstein, Quarz, Keratophyr, Tuff und Diorit.¹⁴⁹

Die Herkunft der Tuffartefakte ist möglicherweise in den nahen Vulkanregionen der Eifel oder des Vogelsberges zu suchen.¹⁵⁰

Etwa 30km mainaufwärts von Rüsselsheim befindet sich der Fundplatz Mühlheim-Dietesheim.¹⁵¹ Der Fundplatz lag im ausgehenden Spätglazial auf einer kleinen, halbinselförmigen Erhebung über dem Überschwemmungsgebiet auf der älteren Niederterrasse des Mains. Auch hier ist die Profilanalyse der Grabungsfläche entscheidend (vgl. Anhang 2 & 9): So zeigten die bodenkundlichen Analysen, dass bis in einer Tiefe von 30cm ein humoser Pflughorizont (a) auftrat, in dem ein Teil der Artefakte eingearbeitet wurde. Darunter, mit einer scharfen Abgrenzung zum Ap-Horizont, folgte eine feinkörnige, gelbbraune, 30cm mächtige Schicht aus Sand (b). In dieser Schicht lagen Gesteinsanhäufungen sowie ein Teil der Funde. Darunter folgte eine geringmächtige rötliche, tonige Schicht mit Sandlinsen vermischt (c), unter welcher keine Funde mehr zu Tage traten.¹⁵² Bei den etwa 10.000 Artefakten handelt es sich überwiegend um Abschlüge, Absplisse und andere Abfälle der Geräteherstellung. Unter den

¹⁴⁷ Loew 2006, 9f

¹⁴⁸ Loew 2006, 11f

¹⁴⁹ Loew 2006, 12ff

¹⁵⁰ Loew 2006, 70

¹⁵¹ Furth 1994, 2

¹⁵² Furth 1994, 6

Funden sind 150 retuschierte Werkzeuge, von denen zehn als Federmesser anzusprechen sind. Weiter sind Kratzer und Stichel vertreten, die somit den Fundplatz in das Spätpaläolithikum datieren. Die Artefakte wurden aus Kieselschiefer und Chalzedon gefertigt.¹⁵³

Durch Schwermineralanalysen konnte eine geochronologische Einordnung vorgenommen werden. So zeigte sich ein Maximum des Vulkananteils (als LST identifiziert) im Profilabschnitt C. Da auch die maximale Funddichte im Profilabschnitt C auftritt, datiert der Autor den Fundplatz in die Mitte des Alleröd-Interstadials oder kurz davor.¹⁵⁴

Der spätpaläolithische Fundplatz Rothenkirchen befindet sich an der Haune, einem Zufluss der Fulda zwischen Bad Hersfeld und Fulda (vgl. Anhang 10 & 11). Die Fundstelle liegt auf einem Geländesporn in Südwestlich exponierter Hanglage zwischen 286 und 284m Höhe ü. NN.¹⁵⁵ Insgesamt konnten 13.969 Steinartefakte geborgen werden, die überwiegend aus schwarzem und grünschwarzem Kieselschiefer gefertigt wurden. Das Gesamtinventar beinhaltet vor allem Absplisse, kleine Abschläge, kleine Klingen und Lamellen sowie Kerne; dabei ist die Klingentechnik wenig ausgeprägt.¹⁵⁶ Zu den dominierenden Stücken zählen rückengestumpfte Formen, wie einfache Rückenmesser und Rückenspitzen. Weiter treten kurze Kratzer, Einfach- und Doppelstichel sowie Bohrer auf.¹⁵⁷ Die Mehrheit der Funde verteilte sich in den oberen 20cm einer gelblich-braunen, sandigen Schicht, die unter einem 20cm mächtigen Pflughorizont auftritt. Am höchsten und tiefsten Punkt des Areals wird dieser sandige Horizont von einem humos-tonigem Horizont begrenzt. Weiter treten am Unterhang humos-tonige Bänder auf, die nach gesicherten C¹⁴-Datierungen (ca. 1.650 n. Chr.) durch das Tiefpflügen entstanden sind. Unterhalb des sandigen Horizontes schließt sich ein violettbrauner Horizont mit erhöhtem Tonanteil an.¹⁵⁸ Eine Nachuntersuchung des Fundplatzes mittels Mikrotephra-Analyse zeigte ein Auftreten von LST in den obersten 40cm, vermehrt aber in den obersten 10cm des Areals. Dadurch ist der Fundort Rothenkirchen vor den Fallout einzuordnen.¹⁵⁹

Bislang ist nur ein Fundort bekannt, der sicher in die letzten 200 Jahre des Alleröd-Interstadials und damit nach dem Fallout datiert. Dieser befindet sich zwar wesentlich außerhalb des

¹⁵³ Furth 1979, 263

¹⁵⁴ Furth 1994, 7 Hier sind widersprüchliche Angaben zur Datierung festzustellen: LOEW (2006) und IKINGER (1998) stellen den Fundplatz in das späte Alleröd, während RIEDE (2012) ebenso wie FURTH (1979, 1994) Mühlheim-Dietesheim in das frühe oder mittlere Alleröd datieren. Es ist also noch unklar ob der Fundplatz vor oder nach dem Fallout datiert.

¹⁵⁵ Hofbauer 1992, 329

¹⁵⁶ Fiedler 1979, 267

¹⁵⁷ Hofbauer 1992, 333

¹⁵⁸ Hofbauer 1992, 330

¹⁵⁹ Riede 2012, 61

Untersuchungsgebietes, ist aber aufgrund seiner Einzigartigkeit hier vorzustellen: Es handelt sich um den Fundort Bad Breisig, der wenige Kilometer nördlich des Neuwieder Beckens in der linksrheinischen Talweitung der „Goldenen Meile“ verortet ist. Vorgefunden wurde eine Feuerstelle mit einer umliegenden Fundstreuung und einer Ausdehnung von 50m². Insgesamt konnten 2267 Steinartefakte geborgen werden. Das Fundspektrum reicht von Kernen über kurze Kratzer und Stichel bis zu rückenretuschierten Artefakten. Typologisch sind die Projektile den jüngeren Rückenspitzen-Gruppen zuzuordnen. Von besonderer Bedeutung sind drei vorgefundene Feuersteinspitzen, die dem aus Frankreich stammenden Malaurie-Typ entsprechen. Ihre Form (gerade Rückenstumpfung mit senkrecht dazu stehender Basisretusche) stellt den Fundplatz in das Ende des Alleröd (vgl. Anhang 13). Weiter konnten Tierzähne von Rotwild, Reh und Pferd nachgewiesen werden. So weist die Fauna auf Fundstellen hin, die unter LST begraben liegen.¹⁶⁰ Zur Stratigraphie des Fundortes ist eine dreifache Gliederung auszumachen (vgl. Anhang 12): Eine präeruptive (Schicht 0, vor dem Ausbruch), eine syneruptive (Schicht 1-4/5, während des Ausbruchs) und eine posteruptive Ablagerung (Schicht 5/6, nach dem Ausbruch). Dabei besteht der präeruptive Abschnitt aus rotbraunen Bodenbildungen des Alleröd. Vier, evtl. fünf Straten sind dem Ausbruch zuzuschreiben, wobei Schicht 1 (grünliche Asche) als Fallout der mittleren Ausbruchsphase zugeordnet wird. Schicht 2 und 3 kennzeichnen weißlich-graue Rheinsande, Bimslapilli, verrundete Bimskörner sowie umgearbeitetes vulkanisches Material. Beide Schichten weisen auf den Ausfluss des Neuwieder-Rhein-Stausees hin. Schicht 3 zeigt die Ablagerungen des Bimsteppichs, der am Ufer angeschwemmt wurde. Schicht 5 und 6 bestehen aus Hochflutablagerungen sowie aufgearbeitetem vulkanischen Material. Die Fundkonzentration liegt etwa in der Mitte der Schicht 6. Über dem Fundhorizont finden sich kleine Ansammlungen von Flussgeröllen, die durch Hochwasserereignisse abgelagert wurden. Ein Indiz dafür, dass die Einschneidung des Rheins noch nicht begonnen oder zumindest noch nicht sehr weit fortgeschritten war.¹⁶¹

C¹⁴ Datierungen wurden an Knochen und Hölzern durchgeführt. Die gewonnenen Daten lauten: 10.840±60 BP Holzkohle (Pinus), 10.480±80 BP Holzkohle (Laubholz) und 10.220±60 BP Knochen, calziniert.

So stützt nur die Kiefernholzkohle die Einordnung des Fundplatzes in das späte Alleröd und damit nach der Eruption des Laacher-See-Vulkans.¹⁶²

¹⁶⁰ Baales & Jöris 2001, 280ff

¹⁶¹ Grimm 2004, 13f

¹⁶² Baales, Grimm & Jöris 2001, 71

5. Arbeitsmethodik

5.1 Feldarbeiten

5.1.1 Bohrtransekt im Amöneburger Becken

Ausgehend von der geomagnetischen Prospektion, die von Posselt und Zickgraf Prospektionen im Auftrag des Landesamtes für Denkmalpflege in Marburg durchgeführt wurde, wurde ein Transekt mit drei Bohrpunkten durch die Anomalie gelegt (vgl. Abb. 24). Mittels eines Tachymeters und Maßbandes wurden die Bohrpunkte eingemessen und anschließend erfolgte die Bodenprobenentnahme durch die Rammkernsondierung (vgl. Anhang 14). Dabei betrug die Bohrtiefe jeweils 3m.

5.1.2 Profilaufnahme im mittleren Lahntal

Die Profile bei Argenstein (vgl. Abb. 28) wurden vor ihrer Aufnahme geputzt und photographisch festgehalten (vgl. Anhang 17, 18, 20, 21). Es folgte die Einmessung der Profile mit einem Tachymeter sowie eine erste bodenkundliche Ansprache. Anschließend erfolgten die Messungen der magnetischen Suszeptibilität. Abschließend wurden aus unterschiedlichen Schichten Bodenproben für Laboranalysen entnommen.

5.2 Laboranalysen

Vor den Laboranalysen wurden die Bohrkerne aus Niederwald und Bodenproben aus Argenstein im Fachbereich Geographie in Marburg bodenkundlich angesprochen. Die Einteilung der verschiedenen Horizonte erfolgte aufgrund der Farbe, Körnung und Bindigkeit sowie der Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005). Dabei wurde die Bodenfarbe mithilfe der Munsell-Farbtabelle (Munsell® Color 2000) bestimmt sowie auftretende Hydromorphie Merkmale notiert.

5.2.1 Vorbehandlung der Proben

Zur Vorbehandlung der Proben, welche für die Laboruntersuchungen verwendet wurden, diente die Anleitung von HARTGE & HORN (1992). Demnach wurde der zu untersuchende Boden an der Luft getrocknet und die dabei entstehenden Klüten zerkleinert. Um den Skelett- vom Feinboden zu trennen, erfolgte die Siebung mit einer Maschenweite von 2mm.

5.2.2 Bestimmung der Bodenart und Korngrößenverteilung

Mit der Korngrößenanalyse kann die Zusammensetzung eines Gesteins, eines Lockersediments oder eines Bodens - also eines Mineralkörnergemisches - nach Größengruppen festgestellt werden.¹⁶³ Die Korngrößenverteilung gibt zwar nur einen groben Überblick über die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Böden; dennoch können anhand von Vergleichswerten innerhalb eines Bodenprofils oder zwischen Bodenprofilen und dessen Ausgangsgestein Anhaltspunkte zur Herkunft des Bodens festgestellt und damit verbundene Prozesse analysiert werden.¹⁶⁴

Die Arbeitsmethodik erfolgte nach DIN ISO 11277 (2002). Demnach wurden von den Anteilen < 2mm der Bodensubstanz (Feinerde) Aliquote von 20g je Probe auf 0,0001g genau in einer Abdampfschale eingewogen. Danach wurden die Proben, die kaum organische Substanz enthalten (B- und C-Horizonte), mit 25ml Natrium-Pyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) übergossen, zu einer Suspension zerrieben und kurz aufgeköcht. Bei Anteilen über 2% organischer Substanz (A-Horizonte) mussten diese vor der Dispergierung zerstört werden. Dies wird durch die Zugabe von 40ml Wasserstoffperoxid (H_2O_2) auf 20g eingewogenem Boden erreicht. Nach 24 Stunden wird der Rest H_2O_2 durch Aufkochen entfernt. Danach wird der Schlämmszylinder bis zur Eichmarke mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Anschließend wird der Gehalt an Schluff und Ton anhand der Pipettenmethode nach KÖHN (1929) bestimmt. Mittels Nasssiebung wird anschließend der Gehalt der jeweiligen Sandfraktion ermittelt. Die Berechnung erfolgte, nachdem von der Einwaage der Humus- und Wassergehalt sowie die Rückstände des Suspensionsmittels (0,013g) abgezogen wurden.

¹⁶³ Leser 1977, 255

¹⁶⁴ Rowell 1997, 43

5.2.3 Organische Substanz

Die Gesamtheit der organischen Substanz wird als Humus bezeichnet. Zum einen ist der Humus im Boden mit dem Mineralkörper vermischt und zum anderen bildet er zusammen mit den Streustoffen den Auflagehumus. Durch Gefügebildung und Aggregation sorgt der Humus für eine stabile Bodenstruktur.¹⁶⁵ Mit Hilfe des Glühverlustes gemäß DIN 19684-3 wurde der Gehalt an organischer Substanz bestimmt. Hierfür musste der Bodenwassergehalt bestimmt werden. Dies geschah durch Trocknung von 5g luftgetrocknetem Boden über 24 Stunden bei 105°C und darauffolgendes Einwiegen. Weiter erfolgte das Glühen der Proben über zwei Stunden im Muffelofen bei 550°C.¹⁶⁶ Nach einer eintägigen Abkühlphase im Exsikkator wurden die Proben erneut ausgewogen. Der Gewichtsunterschied zwischen ofengetrocknetem und geglühtem Material ergibt die Menge organischer Substanz der jeweiligen Probe. Hierbei entstehen jedoch methodische Fehlerquellen, die zu berücksichtigen sind. Einerseits kann es zur Zersetzung von Karbonatverbindungen kommen, wodurch sich Kohlendioxid bildet und entweicht. Andererseits kann es bei tonreichen Böden zum Verlust von Kristallwasser kommen, welches erst bei über 105°C von den Tonmineralen abgegeben wird.¹⁶⁷

5.2.4 Magnetische Suszeptibilität

Um die Suszeptibilität zu messen, wurde das tragbare MS2 von der Firma Bartington verwendet. Die magnetische Suszeptibilität (MS) gibt die Magnetisierbarkeit von Materie durch den Einfluss eines externen oder temporären Magnetfeldes an. Dabei hängt die Fähigkeit zur Magnetisierung bei Gesteinen vor allem von gesteinsbildenden Mineralkomponenten ab. So ist der atomare Aufbau der einzelnen Minerale für die magnetische Suszeptibilität ausschlaggebend. Durch die Orbitalbewegung und den axialen Spin erfährt jedes Elektron ein magnetisches Moment. Somit gilt jedes Mineral bzw. Gestein oberhalb des absoluten Nullpunkts von 0K als magnetisierbar. Dabei unterscheidet man zwischen dia-, para- und ferromagnetischen Eigenschaften, die sich aus der Elektronenkonfiguration, d.h. der Verteilung der Elektronen auf den Orbitalen oder Schalen ergeben.

Diamagnetisches Materialverhalten stellt sich ein, wenn alle Orbitale eines Atoms mit Elektronenpaaren belegt sind. Das Anlegen eines äußeren Magnetfeldes bewirkt eine

¹⁶⁵ Scheffer & Schachtschabel 2002, 51

¹⁶⁶ Rowell 1997, 77f

¹⁶⁷ Barsch, Billwitz & Scholz 1984, 76

Ausrichtung der Elektronenspins in dieselbe Richtung, die der angelegten Kraft entgegenwirken und somit nimmt die Suszeptibilität negative Werte an.

Dagegen treten bei Materialien, deren Orbitale nicht voll besetzt sind, paramagnetische Eigenschaften auf. Durch das Anlegen eines Magnetfeldes führt dies zu einer parallelen Ausrichtung der magnetischen Momente zur Feldrichtung, wodurch eine schwache temporäre Magnetisierung erzeugt wird.

Bei ferromagnetischem Verhalten ist kein externes Magnetfeld für die Magnetisierung notwendig, da bei diesen Substanzen eine Wechselwirkung zwischen benachbarten magnetischen Momenten stattfindet. Ferromagnetismus tritt sowohl bei ungeladenen Atomen als auch bei Ionen auf.¹⁶⁸

Somit ist die magnetische Suszeptibilität (κ) eine dimensionslose Konstante bzw. ein Material charakterisierender Parameter, der sich proportional zum angelegten Feld (H) auf die Magnetisierung (M) auswirkt¹⁶⁹:

$$M = \kappa \cdot \mu_0 \cdot H$$

M = Magnetische Flussdichte (Vs/m^2) oder (Tesla)

H = Externes magnetisches Feld (A/m)

μ_0 = Induktionskonstante ($1.256 \cdot 10^{-6}Vs/Am$)

Bei der Messung der magnetischen Suszeptibilität kann es vereinzelt zu Abweichungen im Messergebnis kommen. Um dennoch ein möglichst genaues Ergebnis der einzelnen Messungen zu erhalten, wurden jeweils drei Messungen durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet (vgl. Anhang 15, 16 & 19). Weiter wurde darauf geachtet, die Messsonde nur leicht an die Profilwand anzudrücken, um einer Verfälschung der Ergebnisse entgegenzuwirken.

5.2.5 Rasterelektronenmikroskop Analyse

Für die Analyse unter dem Rasterelektronenmikroskop mussten die Proben zuerst speziell präpariert werden. Dazu wurden die Bodenproben nassgesiebt mit einer Maschenweite von 0,2 - 0,063mm und anschließend getrocknet. Es erfolgte die Aussortierung der Hornblenden unter einem Binokular mittels Präpariernadel. Anschließend wurden die Hornblenden auf einen Objektträger aufgebracht und mit Kohlenstoff unter Vakuum bedampft, da die freien Elektronen,

¹⁶⁸ Janetschke & Willmsen 2013, 157f

¹⁶⁹ Pirrung 2013, 1

die durch den Elektronenstrahl auf die Probe treffen, abgeleitet werden müssen. Dabei ist die 10 - 15mm dicke Kohlenstoffschicht für Elektronenstrahlen durchlässig und einfallendes Licht wird nicht reflektiert.¹⁷⁰

Um die Elementzusammensetzung der Hornblenden zu erfassen, wurde mit einem gebündelten Elektronenstrahl über die Probe hinweggefahren. Trifft der Elektronenstrahl auf die Probenoberfläche, wird ein Teil der Elektronen als sog. Rückstreuielektronen zurückgeworfen, während der andere Teil setzt Sekundärelektronen niedriger Energie aus der Probe frei. Das heißt wenn die einfallenden Elektronen mit den Atomen der Probenoberfläche kollidieren, werden Elektronen von einer inneren auf eine äußere Elektronenschale (K- L-, M-Schale) gehoben. Fallen diese Elektronen zurück auf die innere Schale, wird Energie in Form von Röntgenstrahlung frei.¹⁷¹ Durch elektronische Filter- und Detektorensysteme, hier ein EDX-Detektor des Fachbereiches Geowissenschaften in Marburg (energiedispersive-Röntgenstrahlen-Analyse), werden die freigesetzten Energien gemessen und geben so Aufschluss über die Elementzusammensetzung der Hornblenden.¹⁷²

5.3 Kartierung der Spätpaläolithischen Fundplätze

Die vorliegende Karte (vgl. Abb. 7) wurde mit dem Programm ArcGis v.10.3 erstellt. Als Grundlage für die Kartierung der Fundplätze diente ein digitales Geländemodell (SRTM-3) mit einer Rasterweite von 3 Bogensekunden, etwa 90m (vgl. The CGIAR Consortium of Spatial Information). Als Begrenzung des Kartenausschnittes diente die Verwaltungsgrenze des Landkreises Marburg-Biedenkopf (vgl. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). Das Gewässernetz wurde durch eine Shape-Datei eingefügt (vgl. Geofabrik). Die exakten Koordinaten der Fundorte wurden von den Ortsakten des Landesamtes für Denkmalpflege in Marburg entnommen und auf das DGM kartiert. Die Höhenangaben erfolgten mittels Auswertung der in den Akten beiliegenden topographischen Karten.

¹⁷⁰ Jones 1997, 130

¹⁷¹ Tucker 1996, 215f

¹⁷² Jones 1997, 134

6. Darstellung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die im Labor gewonnenen Ergebnisse sowie der bodenkundlichen Profilaufnahmen im Untersuchungsgebiet bei Niederwald (vgl. Abb. 24 bis 27) und Argenstein (vgl. Abb. 28 bis 33 & Anhang 34). Dabei wurden einzelne Proben (n.b.) mittels Fingerprobe nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) bestimmt. Zur Gliederung und Darstellung der Profile aus Niederwald wurden Horizontsymbole verwendet. Die Darstellung der fluvialen und äolischen Ablagerungen der Profile aus Argenstein erfolgte durch die Bezeichnung A bis Z in Klammern sowie dem zugehörigen Architekturelement ebenfalls in Klammern.

6.1 Niederwald

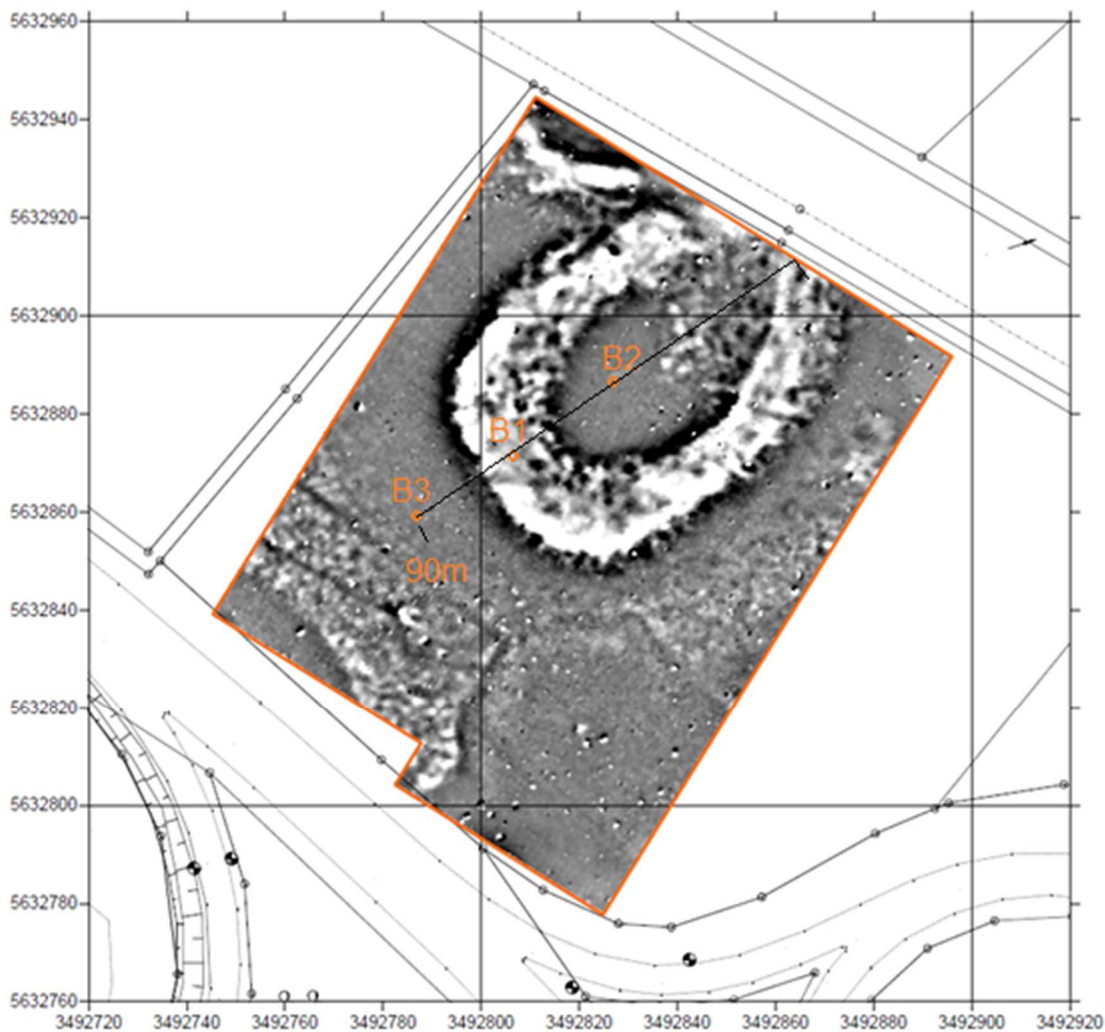


Abbildung 24: Graustufendarstellung der Magnetometerprospektion M. 1:1000 (Quelle: verändert nach Posselt & Zickgraf Prospektionen GBR 2013, o.S.)

6.1.1 Profil 1 - Anomalie

Lage: Innerhalb der Anomalie; Rechtswert: 3492805,808; Hochwert: 5632870,734;
Höhe: 195m ü. NN

Das Profil 1 (vgl. Tab. 2, 3 & Abb. 25) befindet sich in der Mitte der Anomalie und 74,29m vom Radweg entfernt. Es zeigt eine Zunahme der Tonfraktion bis in 1m Tiefe, während die Sandfraktionen abnehmen und die Schluffgehalte leicht schwanken. Der Ap-Horizont ist ein schluffiger Lehm mit 4,99% organischer Substanz. Der braune M-Go-Horizont weist einige Mangankonkretionen auf und der darunterliegende fAh-Horizont ist schwarz gefärbt. Ab 80cm Tiefe folgt der graugebleichte Gor-Horizont. Bis in eine Tiefe von 90cm sind niedrige Werte der magnetischen Suszeptibilität festzustellen, die von 3,67 bis 7,0SI schwanken. Im Bereich von 90 bis 100cm steigen die Werte auf 21,0SI an. Mit dem Beginn des zweiten Meters ändert sich die Bodenart in einen sandigen Schluff, der durch eine Abnahme der Tonfraktionen sowie einer Zunahme der Sandfraktionen bis 190cm Tiefe geprägt ist. Weiter ist festzustellen, dass der Gehalt an organischer Substanz auch in dieser Tiefe noch leicht erhöhte Werte zeigt. Ab 190cm Tiefe ändert sich die Zusammensetzung der Kornfraktionen mit einer stetigen Zunahme der Schluff- und Tonanteile bis in eine Tiefe von 253cm, während die Sandfraktionen abnehmen. Weiter ist bis 113cm Tiefe ein Wert der magnetischen Suszeptibilität von 38,67SI vorherrschend. Ab 113cm sind dann sehr hohe Werte erkennbar, die bis 190cm auf 138,67SI ansteigen und ab 190cm wieder auf 71,67SI fallen. Ab einer Tiefe von 200cm ist ein Gor-Horizont ausgebildet, der stark gebleicht und rotfleckige Marmorierungen aufweist und als stark toniger Schluff anzusprechen ist. Der darunter liegende grauschwarze Fmu-Horizont weist hohe Werte an organischer Substanz, Tongehalten sowie Schluffgehalten auf. Den Untergrund bildet der Schotter mit hohen Skelett- und Sandfraktionen sowie niedrigen Konzentrationen an Schluff- (25-18%) und Tonfraktionen (3-4%). Der alC-Horizont weist mit 0,66% geringe Werte an organischer Substanz auf. Leichte Schwankungen der magnetischen Suszeptibilität sind im Untergrund-Horizont mit Werten von 1 bis 3,33SI festzustellen.

Tabelle 2: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 1

Horizont	Tiefe cm	Skelett %	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)				
			gS	mS	fS	U	T
Ap	0 - 35	2,44	2,28	3,38	14,08	60,88	19,38
M-Go	35 - 58	0,70	2,94	2,75	11,66	61,88	20,78
fAh	58 - 80	1,08	1,10	1,31	12,36	49,46	35,77
Gor	80 - 100	2,53	2,02	2,28	14,44	56,86	24,40
Gro	100 - 113	0,40	15,72	11,56	7,84	58,28	6,60
Gr1	113 - 190	0,24	7,54	14,53	12,66	58,74	6,52
Gr2	190 - 200	32,24	4,09	6,73	9,99	68,71	10,47
Gor	200 - 213	0,38	0,06	0,25	2,79	76,94	19,96
Fmu	213 - 253	3,62	0,50	0,58	7,56	76,22	15,14
aCl1	253 - 275	78,59	11,15	41,29	17,71	25,81	4,04
aCl2	275 - 300	80,01	21,36	32,19	24,48	18,63	3,34

Tabelle 3: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenfarbe und Bodenart aus Niederwald Profil 1

Horizont	Tiefe (in cm)	Glühverlust (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe	Bodenart
Ap	0 - 35	3,99	5,33	5YR 3/2	Lu
M-Go	35 - 58	3,00	4,33	7,5YR 3/4	Lu
fAh	58 - 80	2,97	7,00	7,5YR 3/1	Lt3
Gor	80 - 100	2,30	21,00	5YR 4/2	Lu
Gro	100 - 113	3,36	38,67	7,5YR 4/2	Us
Gr1	113 - 190	2,89	111,00	10YR 4/2	Us
Gr2	190 - 200	2,95	71,67	7,5YR 4/3	Ut2
Gor	200 - 213	1,08	3,67	2,5Y 6/1	Ut4
Fmu	213 - 253	2,75	1,00	2,5YR 3/1	Ut3
aCl1	253 - 275	0,66	3,33	2,5YR 3/2	Su3
aCl2	275 - 300	0,66	1,17	2,5YR 3/2	Su2

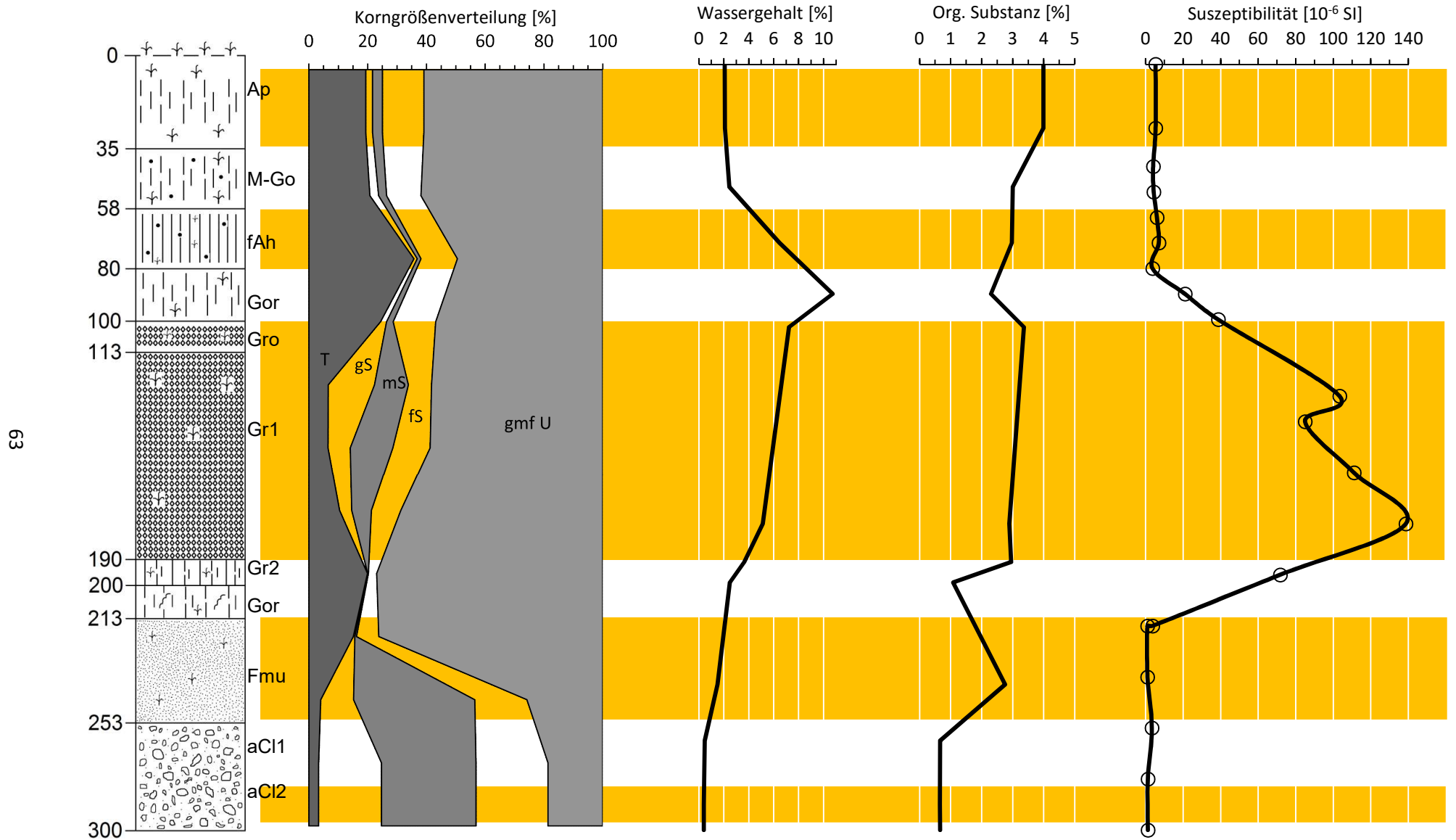


Abbildung 25: Profil 1 Niederwald - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.1.2 Profil 2 - Innenfläche

Lage: Innenfläche der Anomalie; Rechtswert: 3492792,009, Hochwert: 5632856,404;
Höhe: 195m ü. NN

Das Profil 2 (vgl. Tab. 4, 5 & Abb. 26) befindet sich im Inneren der Anomalie und liegt 30,59m nordöstlich des Profils 1. Unter dem Ap-Horizont ist ein Bv-Go-Horizont ausgebildet, der sich durch eine Zunahme der Tonfraktionen und hohe Schluffgehalte (37,48%) auszeichnet. Dieser Horizont ist mittelhumos und weist Mangankonkretionen auf. Die magnetische Suszeptibilität ist auch hier im Oberboden leicht erhöht mit Werten von bis zu 4,67SI. Der darunterliegende Gro-Horizont ist ein mittelsandiger Lehm, der eine graurostfleckige Marmorierung aufweist. Im Gro-Horizont sind dann wieder Mangankonkretionen sowie eine Abnahme der Ton- und Sandfraktionen nachzuweisen. Mit zunehmender Tiefe ist festzustellen, dass die Schluff- und Tonanteile deutlich abnehmen, während die Sandfraktionen sowie die Skelettanteile deutlich zunehmen. So sind im Go1-alC-Horizont ab 133cm nur noch 7,98% Schluff und 7,29% Ton anzutreffen, der damit als schwach toniger Sand anzusprechen ist. Dieser Sachverhalt ist bis 200cm nachzuweisen, jedoch ändert sich die Bodenart ab 2m Tiefe in einen stark lehmigen Sand mit schwachem Humusgehalt (1,67%), der etwas höher ist als dies bei den darüber liegenden Horizonten (Werte von 1,18 bis 0,89%) ermittelt werden konnte. Die magnetische Suszeptibilität ist mit Werten von 1,0 bis 2,33SI bis in einer Tiefe von 200cm leichten Schwankungen unterworfen. Der Sd-alC-Horizont zeigt leicht erhöhte Werte der magnetischen Suszeptibilität mit Werten von 5,33SI. Ab 221cm ist dann der alC-Horizont mit hohen Skelettanteilen (69,98 bis 74,75%) und hohen Sandgehalten anzutreffen. Hier sinken die Werte der magnetischen Suszeptibilität auf 1,0 bis 1,33SI ab. Generell weist dieses Profil sehr hohe Sandgehalte sowie ab einer Tiefe von 100cm einen Skelettgehalt von bis zu 40% auf.

Tabelle 4: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 2

Horizont	Tiefe cm	Skelett %	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)				
			gS	mS	fS	U	T
Ap	0 - 43	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Bv-Go	43 - 83	0,53	0,29	3,70	30,29	37,48	28,24
Gor	83 - 100	0,76	0,11	8,06	42,40	30,21	19,22
Gro	100 - 133	1,43	0,57	18,83	46,29	23,05	11,27
Go1-a1C	133 - 160	41,98	10,65	61,99	12,08	7,98	7,29
Go2-a1C	160 - 190	66,55	13,91	64,48	10,91	7,40	3,30
Sw-a1C	190 - 200	59,82	12,25	60,56	16,06	9,26	1,88
Sd-a1C	200 - 221	85,42	4,06	17,93	30,77	30,52	16,73
a1C1	221 - 250	74,75	12,15	34,21	27,22	21,75	4,67
a1C2	250 - 300	69,98	15,63	33,00	23,83	22,86	4,67

Tabelle 5: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenfarbe und Bodenart aus Niederwald Profil 2

Horizont	Tiefe (in cm)	Glühverlust (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe	Bodenart
Ap	0 - 43	n.b.	4,67	7,5YR 3/3	n.b.
Bv-Go	43 - 83	2,00	1,67	7,5YR 4/4	Lt2
Gor	83 - 100	1,83	1,00	7,5YR 4/4	Ls3
Gro	100 - 133	1,18	1,67	5YR 4/4	Sl3
Go1-aCl	133 - 160	0,76	2,00	5YR 4/4	St2
Go2-aCl	160 - 190	0,80	1,00	5YR 4/4	Ss
Sw-aCl	190 - 200	0,89	2,33	5YR 4/6	Ss
Sd-aCl	200 - 221	1,67	5,33	7,5YR 3/4	Sl4
aCl1	221 - 250	0,72	1,33	7,5YR 3/4	Su2
aCl2	250 - 300	0,95	1,00	7,5YR 3/4	Su2

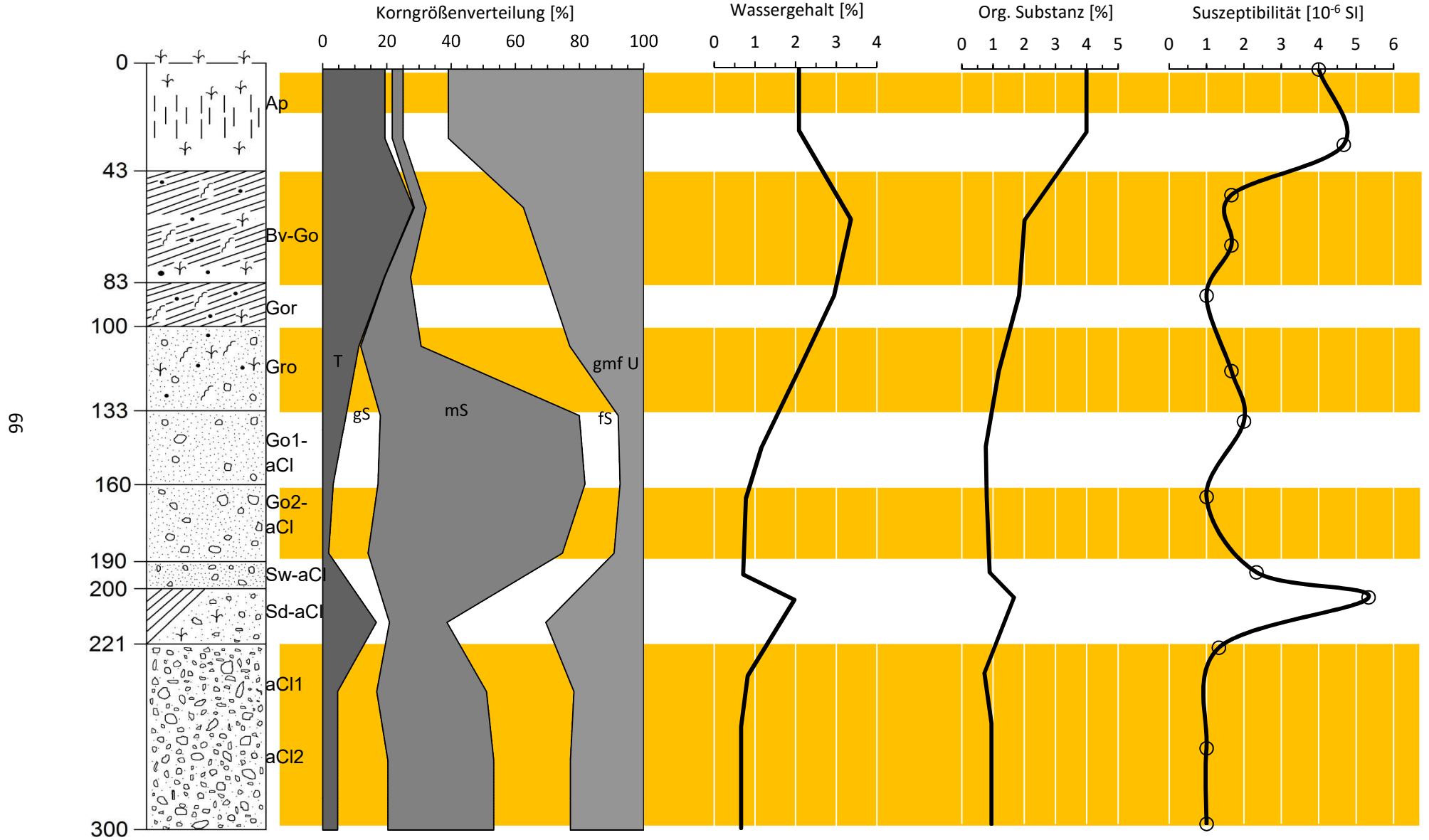


Abbildung 26: Profil 2 Niederwald - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.1.3 Profil 3 - Außenbereich

Lage: Außerhalb der Anomalie

Rechtswert: 3492827,037, Hochwert: 5632892,76;

Höhe: 195m ü. NN

Das Profil 3 (vgl. Tab 6, 7 & Abb. 27) liegt außerhalb der Anomalie und ist 19,89m südwestlich von Profil 1 entfernt. Der Bv-Go-Horizont ist geprägt durch hohe Schluff- und Tongehalte sowie mittlere Humusgehalte (3,07%). Weiter wird er geprägt durch Mangankonkretionen sowie schwache Rostfleckung. Die Bodenart ist als schluffiger Lehm anzusprechen. Der darunter liegende dunkle fAh-Horizont weist eine leichte Zunahme der Tonfraktionen sowie hohe Werte an organischer Substanz (3,49%) auf. Bis in eine Tiefe von 150cm ist eine Abnahme der Ton- und Sandfraktionen erkennbar, während die Schluffgehalte ansteigen. Die Messung der magnetischen Suszeptibilität schwankt in diesen Horizonten zwischen 1 bis 5,33SI. Im Sw2-Horizont (ab 120cm) konnten geringe Werte der Sandfraktionen mit 6,75% festgestellt werden. Weiter sind einzelne Mangankonkretionen sowie eine graue Marmorierung charakteristisch. Im Sd1-Horizont ab 150cm nehmen die Schluffgehalte etwas ab (69,60%), während die Tonfraktionen zunehmen (24,67%). In diesem Horizont sind viele Mangankonkretionen sowie eine Nassbleichung und Rostfarben erkennbar. Die Zunahme der Tonfraktionen könnte zur Stauung des Bodenwassers in diesem Horizont geführt haben. In einer Tiefe von 173cm ist dann wieder eine Zunahme der Sandgehalte (22,18%) festzustellen und die Bodenart als schluffiger Lehm anzusprechen. Dieselbe Bodenart sowie Hydromorphiemerkmale treten im darunterliegenden Horizont auf. Auch hier konnte ein relativ hoher Wert an organischer Substanz (1,66%) nachgewiesen werden. Der darunterliegende Gor2-Horizont ist ein stark schluffiger Sand mit geringen Tongehalten (6,29%). Ab einer Tiefe von 240cm folgt der alC-Horizont. Dieser weist hohe Skelettanteile (63,78%) sowie mit 82,28% hohe Sandanteile auf und ist als sandiger Kies anzusprechen. Die magnetische Suszeptibilität zeigt geringe Werte von 0,67 bis 1,0SI bis in eine Tiefe von 300cm.

Tabelle 6: Korngrößenergebnisse aus Niederwald Profil 3

Horizont	Tiefe cm	Skelett %	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)				
			gS	mS	fS	U	T
Ap	0 - 31	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Bv-Go	31 - 67	0,48	2,30	2,19	12,63	54,48	28,40
fAh	67 - 86	1,45	0,31	1,18	15,51	51,50	31,50
Gor	86 - 100	0,41	0,07	1,16	23,59	47,09	28,10
Sw1	100 - 120	0,23	0,10	0,90	20,86	60,07	18,07
Sw2	120 - 150	0,40	0,28	0,26	6,21	76,16	17,09
Sd1	150 - 173	0,35	0,93	1,60	3,20	69,60	24,67
Sd2	173 - 200	0,18	0,96	7,49	13,73	60,30	17,52
Gor1	200 -220	0,85	0,45	6,95	13,39	58,83	20,38
Gor2	220 - 240	0,12	0,40	12,52	37,97	42,81	6,29
aIC	240 - 300	63,78	20,49	34,29	27,51	15,60	2,12

Tabelle 7: Glühverlust, magnetische Suszeptibilität, Bodenfarbe und Bodenart aus Niederwald Profil 3

Horizont	Tiefe (in cm)	Glühverlust (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe	Bodenart
Ap	0 - 31	n.b.	2,33	7,5YR 3/3	n.b.
Bv-Go	31 - 67	3,07	1,00	7,5YR 4/4	Lu
fAh	67 - 86	3,49	4,33	7,5YR 4/4	Tu3
Gor	86 - 100	1,86	2,00	7,5YR 4/4	Lt2
Sw1	100 - 120	1,59	5,33	7,5YR 4/6	Lu
Sw2	120 - 150	1,49	1,67	7,5YR 4/6	Ut4
Sd1	150 - 173	1,80	0,67	7,5YR 5/4	Ut4
Sd2	173 - 200	1,16	0,67	10YR 6/1	Lu
Gor1	200 -220	1,66	1,00	7,5YR 4/4	Lu
Gor2	220 - 240	0,75	0,67	5YR 4/4	Su4
aCI	240 - 300	0,62	0,67	7,5YR 4/4	Su2

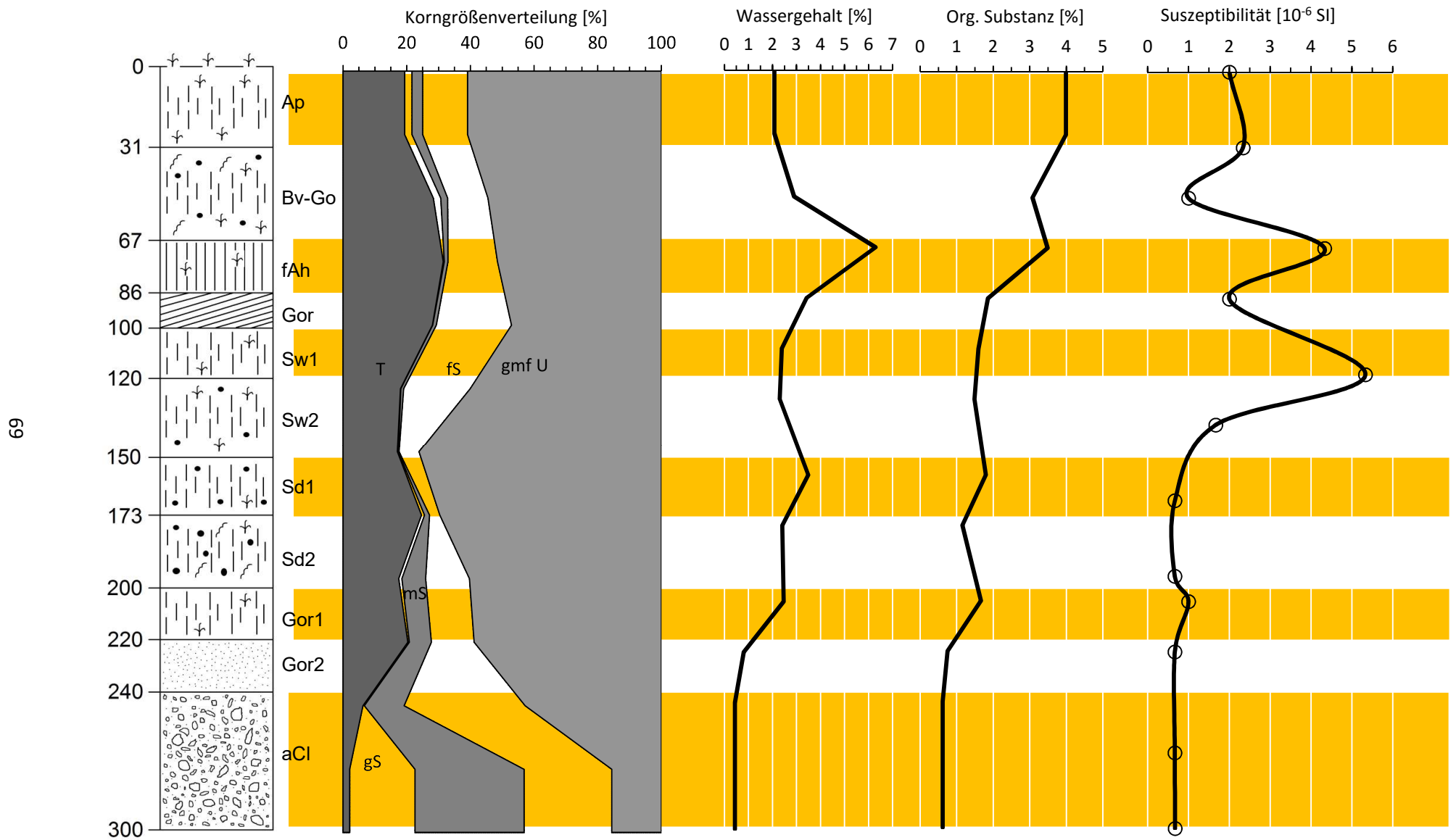


Abb. 27: Profil 3 Niederwald - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.2 Argenstein

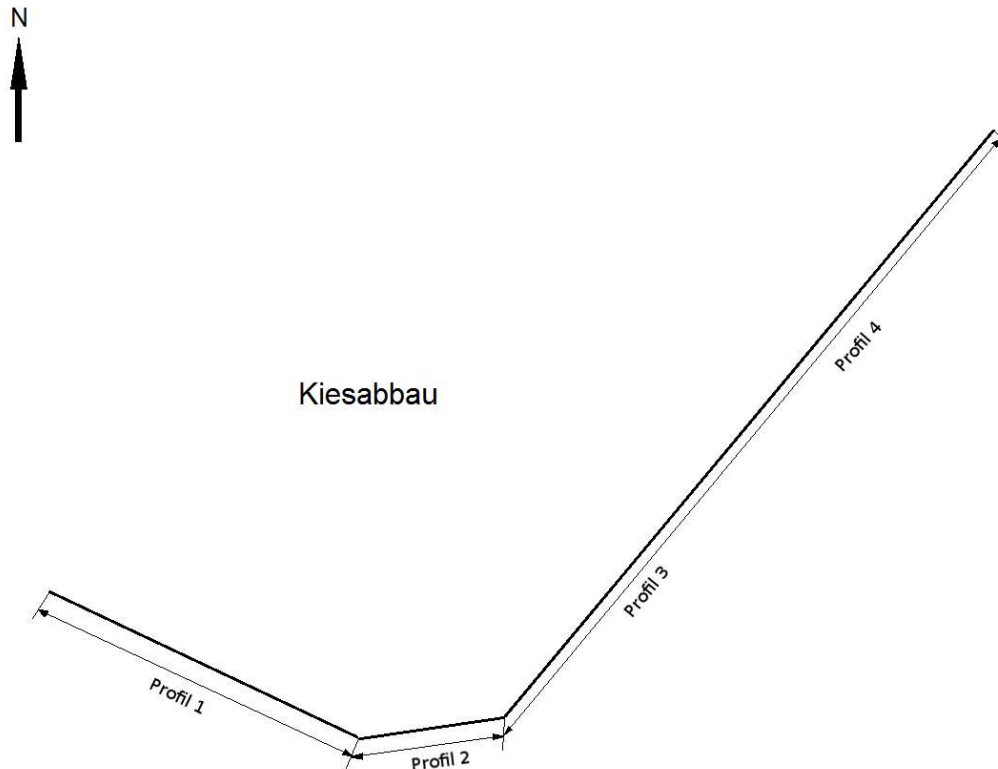


Abb. 28: Profilplan aus Argenstein (**Quelle:** eigene Darstellung)

6.2.1 Profil 1

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen von Profil 1 sind in den Tabellen 8 und 9 sowie der Abbildung 29 zu finden. Die Profilbasis (sk) bei 170m ü. NN bildet ein gelblich-brauner schwach schluffiger Sand mit einem hohen Sandanteil sowie geringen Schluffgehalten. Das Maximum des Schluffes liegt mit 7,13% im Grobschluffbereich und das Minimum stellt der Mittelschluff mit 1,81% dar. In den Sandkorngößen dominiert der Anteil des Mittelsandes mit 58,89%. Den kleinsten Anteil nimmt dabei der Feinsand ein, der mit 7,04% vertreten ist. An der Profilbasis liegt ein Tongehalt von 1,21% vor. Der Wassergehalt ist mit 0,78% an der Basis sehr gering und auch der Anteil an organischer Substanz mit 1,00% stellt den niedrigsten Wert dieses Profils dar. Weiter zeigt die Messung der Subszeptibilität mit 2,33SI einen geringen Wert (vgl. Abb. 29).

Unmittelbar über den Schottern befindet sich die erste Rinnenstruktur (Z). Es handelt sich um einen sandigen Sedimentkörper (SB) mit planarer Schrägschichtung (Sp). Hier wechseln dunkle (schwarz bis grau) und helle Sedimente (bräunlich-gelb) im Aufbau. Ebenfalls unmittelbar über

den Schottern sind Ablagerungen vorzufinden (ÄO), die in vier Horizonte (Proben 1.15, 1.16 und 1.17) unterteilt wurden. Der Schotterbasis aufliegend, ist ein weißlich-gelber, grobkörniger mittel schluffiger Sand (Su3) vorzufinden. Die Probe 1.15 weist ein Maximum im Mittelsandbereich auf mit 54,08%, während das Minimum der Mittelschluff mit 6,12% darstellt. Zudem konnte ein Wassergehalt mit Werten von 4,96% und ein Anteil an organischer Substanz mit 7,18% gemessen werden. Die magnetische Suszeptibilität zeigt einen Wert von 12,67SI. Darüber folgt eine hellgraue homogene Schicht (Probe 1.16). Diese zeigt einen Anstieg der Schlufffraktionen wobei das Maximum der Feinschluff (26,38%) darstellt. Auch hier dominiert der Mittelsand (16,82%) in den Sandfraktionen. Die untersuchte Probe weist einen überaus hohen Wassergehalt mit 22,57% auf. Die organische Substanz zeigt einen Wert von 6,07% und eine gemessene magnetische Suszeptibilität mit 16,00SI. Den Abschluss der Schicht ÄO bildet ein mittel schluffiger Sand graubrauner Farbe. Der Feinsand ist mit einem Wert von 40,29% das Maximum der Sandfraktionen, während das Schluffmaximum der Grobschluff mit einem Wert von 18,13% darstellt. Der Wassergehalt nimmt einen Wert von 4,74% ein und die Messung der organischen Substanz zeigt einen Wert von 3,92%. Die Messung der magnetischen Suszeptibilität ist mit einem Wert von 135,33SI gegeben. Über den Schichten Z und ÄO folgt ein Wechsel der planaren zu trogförmigen Schichtungen (St), wobei ein sandiger Sedimentkörper erhalten bleibt (X, Y). Die dunklen Sedimente zeigen sehr hohe Sandgehalte von 93,02 bis 98,67%, wobei die Feinsande mit Werten von 62,68 bis 77,45% dominieren. Bei den hellen Sedimenten hingegen tritt der Sandgehalt mit 63,31% gegenüber den Schluffgehalten mit 33,45% zurück. Dominante Größe des Schluffes ist der Grobschluffanteil mit 18,63%. Auch der Tongehalt zeigt Unterschiede. Während die dunklen Schichten keinen Ton führen, sind in den hellen Schichten bis zu 3,25% Ton enthalten. Weiter ist festzustellen, dass der Wassergehalt und der Anteil organischer Substanz in den dunklen Schichten geringer ist, als dies bei den hellen Sedimenten der Fall ist. So weisen die hellen mittelschluffigen Sande 9,03% organische Substanz und 9,27% Wassergehalt auf. Demgegenüber beinhalten die dunklen Reinsande 1,04 bis 2,00% Wassergehalt sowie 1,95 bis 3,70% organische Substanz.

Auch die Messung der Suszeptibilität zeigte erhebliche Unterschiede zwischen den Wechsellagen. So zeigen die hellen Sedimente Werte von 8,00 bis 22,67SI, während die dunklen Schichten zwischen 20,33 und 57,00 SI schwanken.

Über den trogförmigen Ablagerungen folgt ein schräggeschichteter, massiger bis schwach planar laminiertes Sand aus grauen Sedimenten (W). Die Korngrößenverteilung zeigt dominierende Sandgehalte und zurücktretende Schluffkonzentrationen. Auffallend ist die steigende

Suszeptibilität mit Werten bis zu 66,33SI. An der Grenzfläche zur nächsten Schichtenabfolge sind kleine Dünen erkennbar, die zum einen aus dem gleichen Sediment aufgebaut sind und am unteren Ende zur Schotterbasis auftreten und zum anderen aus überwiegend gelblich-weißem Bims bestehen. Die Korngrößenverteilung dieser Dünen zeigt einen maximalen Anteil der Bimssteinkörner mit einer Größe zwischen 0,63 und 0,2mm. Der Wassergehalt liegt bei 4,06% und der Glühverlust zeigt einen Anteil von 8,34% an organischer Substanz.

Darüber folgt das nächste Schichtpaket (T). Dieses weist die maximale Ausdehnung aller vorgefundenen Rinnen auf (Profil 1 und 2). Die Makroform dieser Struktur ist als Gleithangablagerungen (LA) ausgebildet. Das sedimentologische Charakteristikum ist vor allem die erkennbare flachwinklige Schrägschichtung (Sl), in der die oben beschriebenen dunklen und hellen Schichten wechselseitig eingelagert sind. Auch hier weisen die dunklen Schichten höhere Werte der magnetischen Suszeptibilität auf. Diese schwanken zwischen 49,47 und 142,67SI. Die Zitterkurve der Suszeptibilität verdeutlicht die Unterschiede zwischen den hellen und dunklen Schichten. Über den Wechsellagen ist ein Schichtpaket (Sm) ausgebildet, das durch dunkelgraue Sedimente und einer Zunahme der Schlufffraktionen gekennzeichnet ist (S). Der Schluffanteil beträgt in dieser Schicht 32,77%, wobei der Großteil aus Grobschluff besteht. Die Mehrheit der Sandfraktionen bildet der Feinsandanteil mit 59,40%. Die Werte des Wassergehalts mit 0,98% und der organischen Substanz mit 2,10% sind gering. Weiter ist ein Anstieg der magnetischen Suszeptibilität zu verzeichnen mit Werten von 130SI. Es folgt ein mittelschluffiger Sand (Su3), der durch eine Abnahme des Grobschluffes sowie eine Zunahme der Wassergehalte mit 1,71% und der organischen Substanz mit 3,56% gekennzeichnet ist (R). Die magnetische Suszeptibilität fällt hier auf einen Wert von 34,33SI ab.

Über der Schicht R folgt wieder eine dunkelgraue bis schwarze Schicht (P) aus massigem Sand (Sm) mit erhöhten Suszeptibilitätswerten bis zu 185,00SI.

Im Folgenden tritt eine horizontal laminierte Schicht (Sh) auf, die eine Vermischung heller und dunkler Sedimente aufweist (O). Die gemessene Suszeptibilität zeigt Werte bis 126,67SI.

Im Anschluss zeigt Profil 1 eine gelblich-braune Schicht (M) mit horizontal verlaufenden, dünn laminierten dunklen Sedimenten (Fl). Charakteristisch ist der hohe Schluffgehalt mit 43,50% sowie ein Tonanteil von 4,46%. Außerdem konnte ein Wassergehalt von 11,07% und ein Anteil an organischer Substanz von 11,50% gemessen werden.

Das Schichtpaket wird begrenzt durch einen planar horizontal- (Sh) und kreuzgeschichteten Horizont (Sp), bestehend aus dunklen Sedimenten (C, L) sowie der Schicht I (Sp). Die Korngrößenverteilung zeigt hier auffällige Ähnlichkeit zu Probe 1.6 mit 93,54% Sandgehalt und

6,46% Schluff. Ebenso sind die Werte des Wassergehaltes mit 2,25% und 2,82% sehr ähnlich. In dieser Schicht liegt das Maximum der gemessenen magnetischen Suszeptibilität bei 292,00SI.

Über dieser Schicht konnten Reste einer dunkelbraunen bis roten horizontal laminierten Schicht freigelegt werden (B). Diese Struktur weist 24,98% Schluffgehalt sowie 74,41% Sandanteil auf. Die organische Substanz beträgt 8,09% und der Wassergehalt zeigt Werte bis 10,16%. Die magnetische Suszeptibilität zeigt einen Wert von 135,33SI.

Tabelle 8: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 1

Probe	Schicht	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							Bodenart
		gU	mU	fU	T	gS	mS	fS	
1.2	Z	3,19	0,93	0,46	0,00	1,72	31,04	62,67	Ss
1.4	Y	3,21	0,16	1,04	0,00	0,53	21,98	73,09	Ss
1.5	X	18,63	4,30	10,51	3,25	5,13	24,62	33,55	Su3
1.6	V	4,45	0,76	1,52	0,25	0,09	15,47	77,45	Ss
1.7	W	1,33	0,00	0,00	0,00	0,16	32,05	66,45	Ss
1.8	Düne	1,74	0,00	3,58	0,00	54,53	23,37	16,78	Ss
1.9	S	29,50	0,00	3,27	0,00	0,62	7,22	59,40	Su3
1.10	R	22,84	0,15	5,57	0,00	0,29	11,91	59,23	Su3
1.11	I	24,41	5,08	14,00	4,46	4,01	16,86	31,17	Su4
1.12	C	5,16	0,00	1,30	0,00	0,22	16,82	76,50	Ss
1.13	B	15,09	3,01	6,88	0,61	1,30	19,49	53,62	Su2
1.14	sk	7,13	1,81	4,57	1,21	19,35	58,89	7,04	Su2
1.15	ÄO	9,41	6,12	11,44	0,00	12,65	54,08	6,30	Su3
1.16	ÄO	19,88	11,00	25,38	1,56	10,68	16,82	14,68	Us
1.17	ÄO	18,13	2,89	17,12	0,00	4,91	16,66	40,29	Su3

Tabelle 9: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 1

Probe	Schicht	Glühverlust (in %)	Wassergehalt (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe	
1.2	Z	3,70	0,92	24,00	10YR3/1	very dark gray
1.4	Y	2,16	1,80	57,00	10YR2/1	black
1.5	X	9,03	9,27	38,00	10YR7/6	yellow
1.6	V	1,95	2,00	57,00	10YR2/1	black
1.7	W	2,46	1,04	66,33	10YR2/1	black
1.8	Düne	8,34	4,06	60,33	10YR6/6	brownish yellow
1.9	S	2,10	0,98	130,00	10YR3/1	very dark gray
1.10	R	3,56	1,71	34,33	10YR3/1	very dark gray
1.11	I	11,07	11,50	26,67	10YR5/4	yellowish brown
1.12	C	2,82	2,25	292,00	10YR2/1	black
1.13	B	8,09	10,16	167,00	10YR3/3 2.5YR5/6	dark brown u. red
1.14	sk	1,00	0,78	2,33	10YR5/6 10YR2/1	black u. yellowish brown
1.15	ÄO	7,18	4,96	12,67	10YR7/2	light gray
1.16	ÄO	6,07	22,57	16,00	10YR5/1	gray
1.17	ÄO	3,92	4,74	135,33	10YR5/2	grayish brown

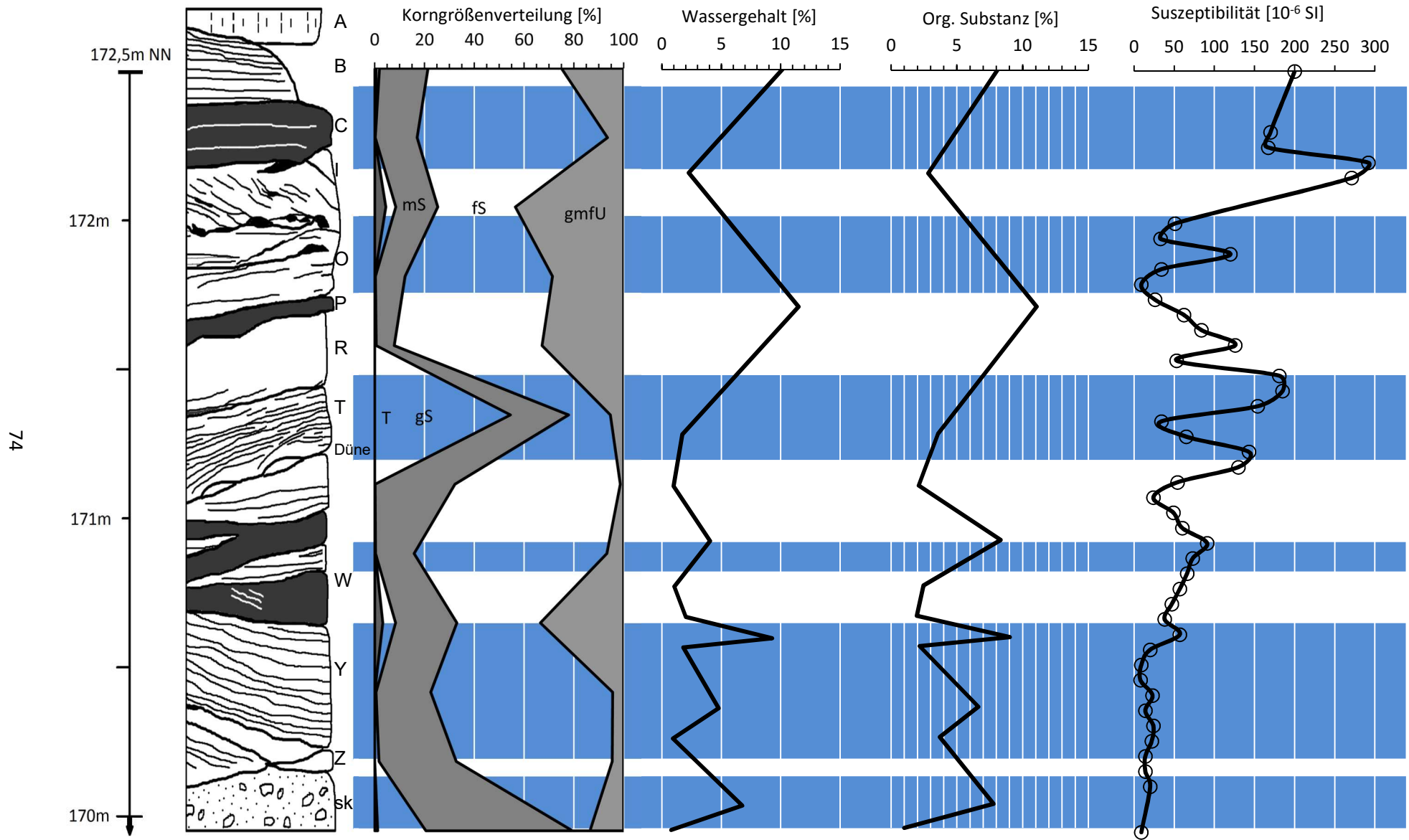


Abbildung 29: Profil 1 Argenstein - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.2.2 Profil 2

In Richtung Südost schließt das Profil 2 (vgl. Tab. 10, 11 & Abb. 30) an. Über den Terrassenschottern (sk) befinden sich links- und rechtsseitig die dunklen Sedimente der Schichten (V und W). Diese unterlagern die große Rinne mit ihren hell-dunklen Wechsellagen. Wie in Profil 1 in Argenstein weisen die Wechsellagen auch hier Unterschiede in der magnetischen Suszeptibilität auf. So erreichen die hellen Sedimente Werte von 8,33 bis 12,33SI, während die Werte der dunklen Sedimente zwischen 15,33 und 34,67SI schwanken. Den Wechsellagen aufliegend befindet sich das nur wenige Zentimeter mächtige, massige Schichtpaket S. Es zeigt auch hier hohe Werte der magnetischen Suszeptibilität mit 34,00SI.

Die darüber liegende Schicht (R) weist ebenso wie Schicht T flachwinklige Schrägschichtungen mit hell-dunklem Sediment in Form von Wechsellagen auf. Auch hier ist die Schwankung der magnetischen Suszeptibilität charakteristisch.

Über dieser Schicht liegt das Paket (Q), das sich von den darüber und darunterliegenden Schichten deutlich abhebt. So ist hier die dominante Korngröße der Schluffanteil mit 69,76%, gegenüber dem Sandgehalt mit 30,24%. Größter Anteil des Schluffes stellt der Grobschluff mit 62,84% dar. Bei den Sandgehalten ist der Feinsandanteil am stärksten mit 23,05% vertreten. Weiter liegt der Wassergehalt bei 6,99% und die organische Substanz zeigt einen Wert von 3,13%. Die Bodenart ist ein sandiger Schluff (Us) und weist eine sehr geringe Bindigkeit auf. Weiter ist die gemessene Suszeptibilität mit 16,67SI gering.

Über diesem sehr dichten Horizont (Fm) ist ein schluffig-lehmiger Sand (Slu) ausgebildet. Die Schluff- (40,46%) und Sandkonzentrationen (45,71%) sind etwa gleich stark vertreten. Diese Schicht (N) zeichnet sich durch die Maxima der Feinschluff- (20,00%) und Feinsandgehalte (39,21%) aus. Entscheidend ist jedoch der hohe Tongehalt mit 13,84%. Es konnten eine starke Bindigkeit und ein hoher Wassergehalt mit 13,21% sowie ein hoher Anteil an organischer Substanz (5,08%) nachgewiesen werden. Erwähnenswert ist der gering gemessene Wert der magnetischen Suszeptibilität mit 6,67SI. Ein weiteres Merkmal ist die horizontale Einbettung von dunklen, sandigen Sedimenten in diesem Horizont.

Begrenzt wird der geschilderte Horizont von Schichten (J, K), die aus hell-dunklen Wechsellagen bestehen. Schicht J zeigt einen rippelgeschichteten Sand (Sr) sowie einen horizontal laminierten, mit Strömungstreifen durchsetzten Sand (Sh). Schicht K hingegen weist einen trogförmig kreuzgeschichteten Sand (St) auf.

Darüber liegt eine nur 3cm mächtige Schicht, die wiederum stark bindig und als sandig-lehmiger Schluff anzusprechen ist. Sie weist 55,38% Schluff- und 33,56% Sandgehalt auf. Grobschluff (31,66%) und Feinsand (32,83%) sind hierbei die dominanten Korngrößen. Außerdem konnte ein vergleichsweise hoher Tongehalt von 11,07% festgestellt werden. Des Weiteren liegt der Wassergehalt bei 4,22% und die organische Substanz bei 4,33% sowie eine magnetischen Suszeptibilität von 9,33SI vor.

Überlagert wird diese Schicht von dunkelgrauen Sedimenten (C), die mit einem Sandgehalt von 80,40% und Schluffgehalt von 19,60% als schwach schluffiger Sand (Su2) anzusprechen sind. Dominierende Korngrößen sind vor allem die Grobschluff- (18,57%) und Feinsandanteile (70,51%). Der gemessene Wassergehalt liegt bei 2,31% und die organische Substanz erreicht mit 2,31% einen geringen Wert. Jedoch zeigte sich ein sehr hoher Wert der magnetischen Suszeptibilität mit 141,00SI.

Über diesen dunklen Sedimenten tritt nun wieder ein in Ausschnitten erhaltener, dünn laminiertes dunkelgrauer und braunroter Sand-Silt-Ton-Horizont (Fl) in Erscheinung (B). Die Korngrößenverteilung zeigt einen Schluffgehalt von 31,97% (davon 12,14% gU, 3,38% mU und 16,45% fU) und einen Sandgehalt von 58,11% (davon 0,02% gS, 6,95% mS und 51,14% fS), also einen mittel lehmigen Sand (Sl3). Der gemessene Wassergehalt liegt bei 5,00%, die organische Substanz weist einen Wert von 3,86% auf. Die magnetische Suszeptibilität ist mit 34,33SI nachzuweisen.

Tabelle 10: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 2

Probe	Schicht	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							Bodenart
		gU	mU	fU	T	gS	mS	fS	
2.1	Q	62,84	0,00	6,92	0,00	0,82	6,38	23,05	Us
2.2	N	15,71	4,75	20,00	13,84	0,14	6,36	39,21	Slu
2.3	n.b.	31,66	4,00	19,71	11,07	0,01	0,71	32,83	Uls
2.4	C	18,57	0,00	1,02	0,00	0,07	9,82	70,51	Su2
2.5	B	12,14	3,38	16,45	9,92	0,02	6,95	51,14	Sl3

Tabelle 11: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 2

Probe	Schicht	Glühverlust (in %)	Wassergehalt (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe
2.1	Q	3,13	6,99	16,67	10YR2/2 very dark brown
2.2	N	5,08	13,21	6,67	2.5YR5/1 reddish gray
2.3	n.b.	4,43	4,22	9,33	2.5YR5/1 reddish gray
2.4	C	3,22	2,31	141,00	10YR3/1 very dark gray
2.5	B	3,86	5,00	34,33	10YR4/1 dark gray

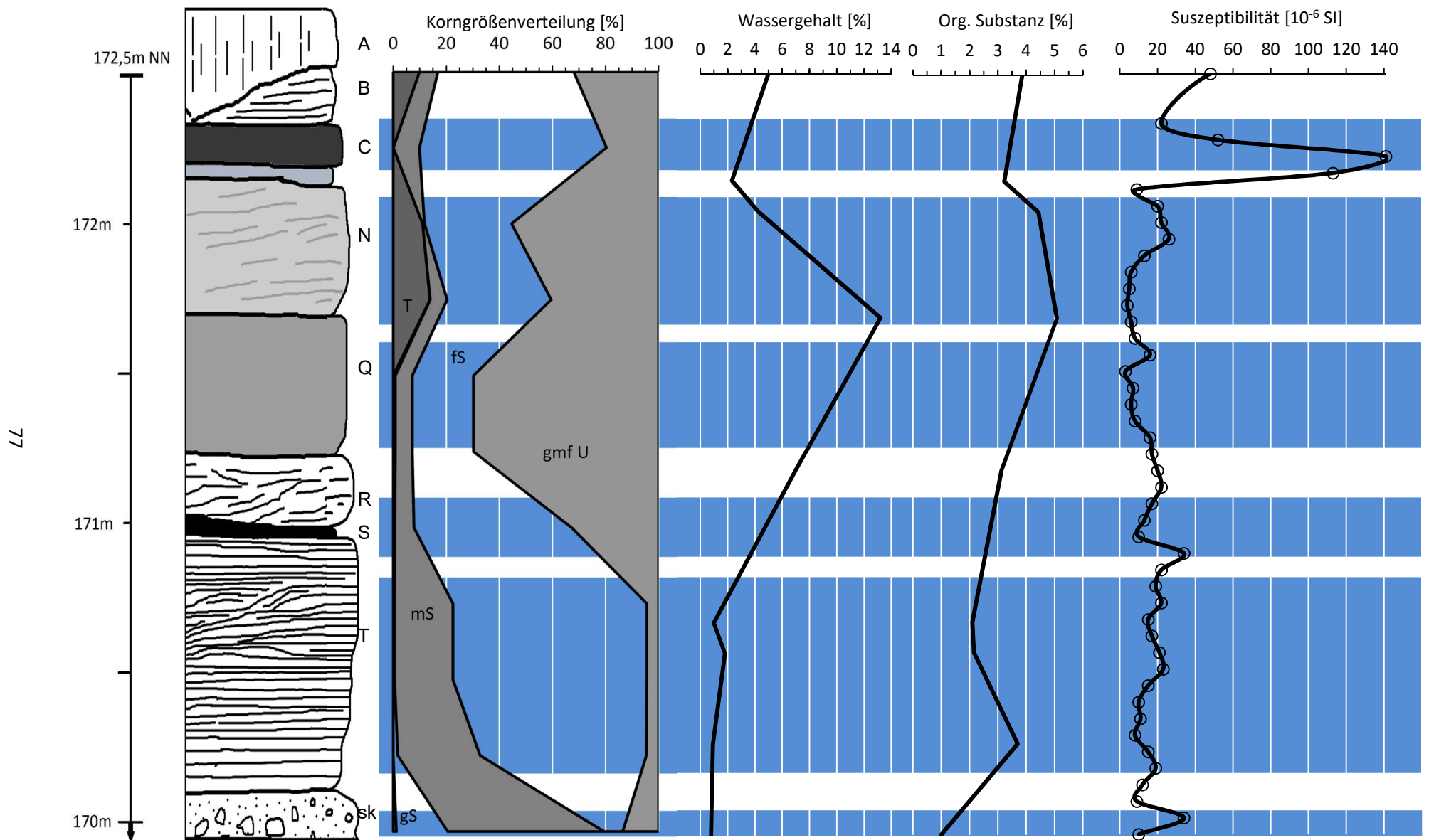


Abbildung 30: Profil 2 Argenstein - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.2.3 Profil 3

Das Profil 3 (vgl. Tab. 12, 13 & Abb. 31) schließt sich in nördlicher Richtung an das Profil 2 an. Der stratigraphische Aufbau zeigt über den Terrassenschottern eine dunkelgraue Schicht (ZA). Diese ist als schwach-toniger Schluff (Ut2) ausgebildet. Es überwiegen die Schluffkonzentrationen mit 74,92%, während die Sandgehalte mit 15,53% geringer ausfallen. Die am stärksten vertretende Korngröße ist der Grobschluff (42,43%), gefolgt vom Feinschluff mit 28,85%. Unter den Sandkonzentrationen ist der Feinsandanteil mit 9,19% hervorzuheben. Weiter liegt der Tongehalt bei 9,55%. Der Wassergehalt (2,41%) sowie der Gehalt an organischer Substanz (2,60%) ist vergleichsweise gering. Auch die magnetische Suszeptibilität zeigt nur leicht erhöhte Werte (16,00SI).

In diese Schicht teilweise eingelagert und zum Teil darunter in Ausschnitten erhalten, ist ein stark bindiges, blaugraues Sediment vertreten (ZB). Auch hier dominieren die Schluffgehalte mit 62,04%, während die Sandkonzentrationen mit 29,63% zurücktreten. Wie zuvor dominieren Grobschluff und Feinschluff (gU = 38,57%, fU = 19,81%) diese Fraktion, während die Feinsande mit (28,79%) die Sandfraktionen dominieren. Weiter konnte ein Tongehalt von 8,33% nachgewiesen werden. Die Werte der magnetischen Suszeptibilität sind mit 8,00SI als gering anzusehen. Ebenso tritt der Wassergehalt (1,21%) und die organische Substanz (2,21%) schwach in Erscheinung.

Über diesen Schichten verläuft dann ein dunkelgraues, sandreiches Paket (V), das in der Korngrößenzusammensetzung der Schicht C entspricht. So zeigt sich ein Gesamtschluffgehalt von 6,25% und ein Sandanteil von 93,76%. Grobschluff- und Feinsandkonzentration sind die am stärksten vertretenen Korngrößenfraktionen (gU mit 4,74% und fS mit 57,71%). Der Wassergehalt liegt bei 2,82% und die organische Substanz zeigt einen Wert von 2,30%. Der Reinsand weist leicht erhöhte Werte der magnetischen Suszeptibilität auf.

Über der Schicht V liegt ein stark bindiges Sediment aus hellen und dunklen Wechsellagen (U), in der kleine Holzreste eingelagert sind. Die magnetische Suszeptibilität zeigt sehr geringe Werte mit 1,00SI.

Darüber befindet sich ein hellgrauer und weißlich-gelber, trogförmig und rippelgeschichteter Sand-Silt-Ton (Fl). Die grauen Schichten weisen 15,33% Schluff- und 81,04% Sandanteil auf. Der Tongehalt liegt bei 3,64%. Feinsand (61,42%) und Grobschluff (6,09%) sind dabei die am stärksten vertretenen Fraktionen. Der Wassergehalt ergab einen Wert von 2,55%, während die organische Substanz einen Anteil von 2,90% aufweist. Die magnetische Suszeptibilität ist mit

22,67SI leicht erhöht. Diese Schicht (F) schneidet den Großteil der in Profil 2 vorgestellten Ablagerungen. Darüber sind die Schichten D und E vertreten, deren Ergebnisse im Profil 4 erläutert werden sollen.

Den Abschluss der Ablagerungen dieses Profils bildet Schicht C. Hier dominieren die Sandgehalte mit 83,04%, während die Schluffgehalte mit nur 14,90% vertreten sind. Dabei überwiegen die Feinsande (66,12%) sowie die Fraktionen der Grob- (8,63%) und Feinschluffe (4,97%). Der Wassergehalt ist mit 2,56% und der Anteil organischer Substanz mit 3,17% vertreten. Signifikant ist der hohe Wert der magnetischen Suszeptibilität mit 95,67SI.

Tabelle 12: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 3

Probe	Schicht	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							Bodenart
		gU	mU	fU	T	gS	mS	fS	
3.1	ZA	42,43	4,64	27,85	9,55	1,72	4,62	9,19	Ut2
3.2	V	4,74	0,00	1,49	0,00	2,36	33,70	57,71	Ss
3.3	F	6,09	2,51	6,73	3,64	0,11	19,51	61,42	Su2
3.4	C	8,63	1,30	4,97	2,06	0,01	16,91	66,12	Su2

Tabelle 13: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 3

Probe	Schicht	Glühverlust (in %)	Wassergehalt (in %)	Suszeptibilität (in SI)	Bodenfarbe	
3.1	ZA	2,60	2,41	16,00	10YR4/1	dark gray
3.2	V	2,30	2,82	22,33	10YR3/2	very dark grayish brown
3.3	F	2,90	2,55	22,67	10YR4/1	dark gray
3.4	C	3,17	2,56	95,67	10YR3/1	very dark gray

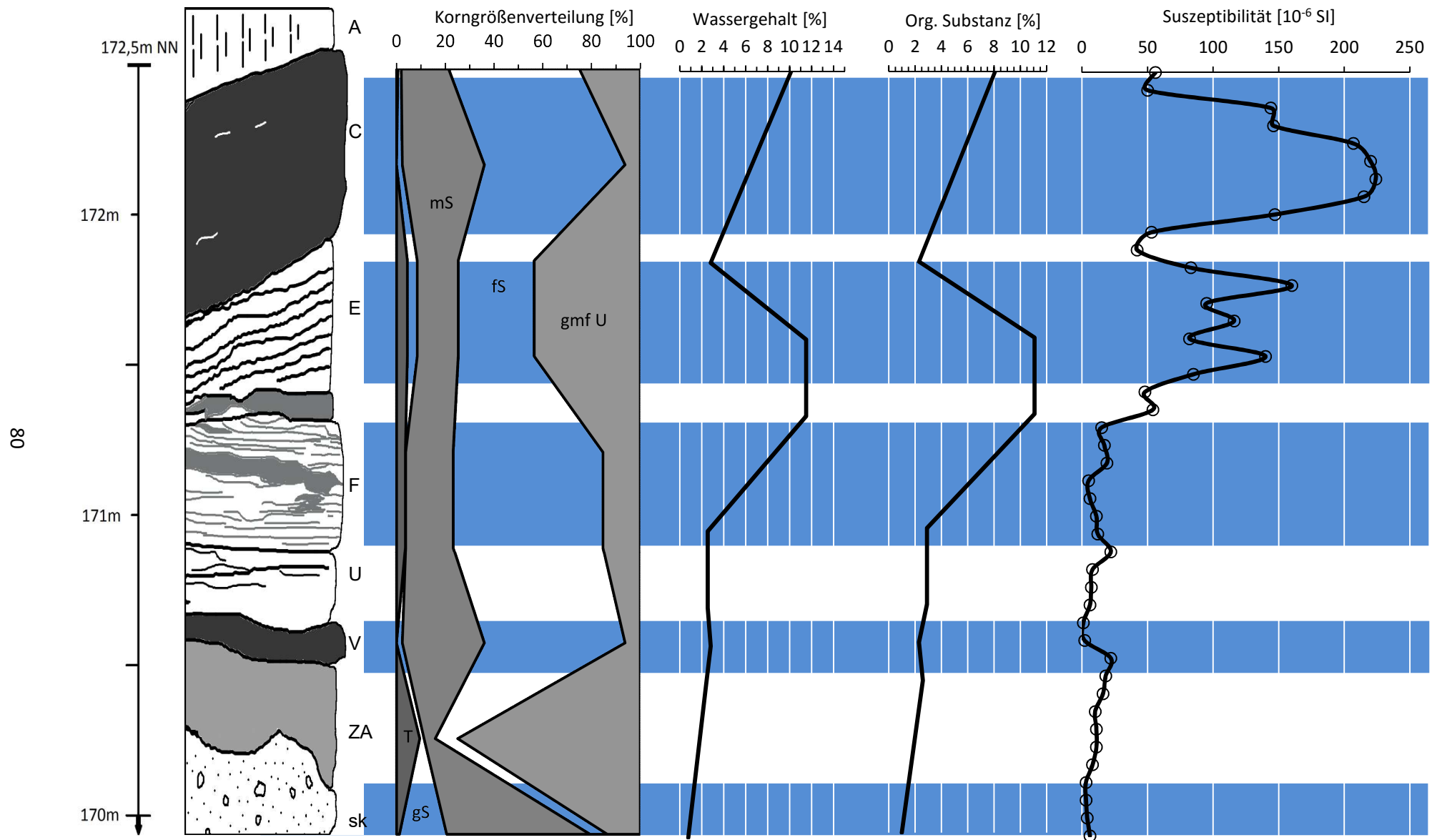


Abbildung 31: Profil 3 Argenstein - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetische Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.2.4 Profil 4

Der Schotterkörper des Profils 4 (vgl. Tab. 14, 15 & Abb. 32) wird überlagert von den Schichten ZA und ZB, die hier die größte Mächtigkeit einnehmen. Über den Schichten liegt eine dünne Schicht aus weißgelbem Bims. Das Korngrößenspektrum zeigt die maximalen Anteile in den Sandfraktionen mit 65,31% (gS = 0,43%, mS = 8,67% und fS = 74,13%). Die Schluffgehalte sind mit 28,62% (gU = 10,47%, mU = 1,90% und fU = 4,41%) vertreten. Der Wassergehalt zeigt hohe Werte mit 6,97%, während die organische Substanz Werte von 3,08% aufweist. Weiter wurde ein geringer Wert der magnetischen Suszeptibilität mit 3,00SI gemessen.

Überlagert wird diese dünne Schicht von einem hellgrauen, weißlich-gelben, trogförmig und rippelgeschichteten Sand-Silt-Ton (Fl). Schicht H wird abgeschnitten von der Schicht F, die aus ähnlichen Sedimenten aufgebaut ist. Die Werte der magnetischen Suszeptibilität schwanken zwischen 1,67 und 12,33SI.

Darüber folgt ein dunkelgraue Schicht (G), die 65,31% Sand- sowie 28,62% Schluff- und 6,07% Tongehalte aufweist. Die dominierende Schlufffraktion stellt der Feinschluff mit 15,95% dar. Bei den Sandfraktionen treten der Feinsand (18,07%) und Mittelsand (31,51%) hervor. Der gemessene Wassergehalt liegt bei 35,66%, während die organische Substanz einen Wert von 5,40% aufweist. Außerdem konnte eine erhöhte magnetische Suszeptibilität (51,00SI) nachgewiesen werden.

Den Abschluss des Profils bildet Schicht E, die in ihrer Zusammensetzung starke Ähnlichkeiten mit der Schicht D aufweist. Diese Schichten kennzeichnet ein Schluffgehalt von 49,18% sowie ein Sandgehalt von 44,68%. Die Maxima der Schlufffraktionen sind dem Grobschluff mit 30,71% geschuldet. Bei den Sandgehalten dominiert der Feinsandanteil mit 40,52%. Weiter ist ein Tongehalt von 6,14% auszumachen. Der Wassergehalt zeigt deutlich hohe Werte mit 14,27%, etwas geringer ist der Anteil an organischer Substanz mit 3,04%. Der stark schluffige Sand weist eine magnetische Suszeptibilität von 38,33SI auf.

Tabelle 14: Korngrößenergebnisse und Bodenart aus Argenstein Profil 4

Probe	Schicht	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							Bodenart
		gU	mU	fU	T	gS	mS	fS	
4.1	ZB	38,57	3,66	19,81	8,33	0,02	0,82	28,79	Uls
4.2	H	10,47	1,90	4,41	0,00	0,43	8,67	74,13	Su2
4.3	G	8,45	4,22	15,95	6,07	15,73	31,51	18,07	Su3
4.4	E	30,71	3,78	14,69	6,14	0,81	3,35	40,52	Su4

Tabelle 15: Glühverlust, Wassergehalt, magnetische Suszeptibilität und Bodenfarbe aus Argenstein Profil 4

Probe	Schicht	Glühverlust	Wassergehalt	Suszeptibilität	Bodenfarbe	
		(in %)	(in %)	(in SI)		
4.1	ZB	2,21	1,21	8,00	GLEY14/N	dark gray
4.2	H	3,08	6,97	3,00	10YR3/1	very dark gray
4.3	G	5,40	35,66	51,00	10YR6/4	light yellowish brown
4.4	E	3,04	14,27	38,33	10YR4/1	dark gray

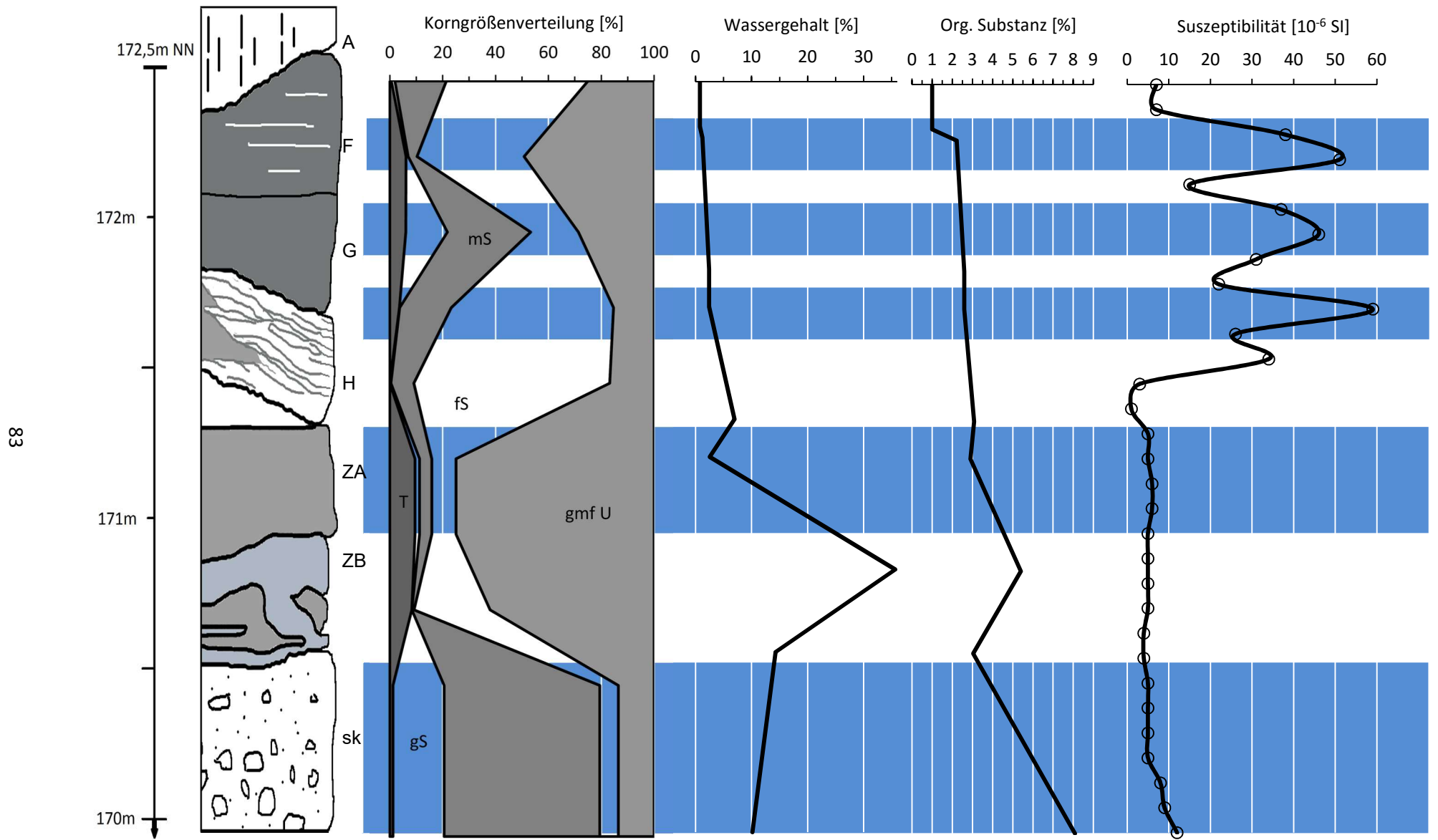


Abbildung 32: Profil 4 Argenstein - Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Organische Substanz und magnetischen Suszeptibilität (Quelle: eigene Darstellung)

6.3 Ergebnisse der Rasterelektronenmikroskop Analyse

Um den eindeutigen Nachweis der LST in den Profilen bei Argenstein zu erhalten, wurden mehrere Hornblenden aus den Proben unterschiedlicher Schichten auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht (vgl. Abb. 33 und 34). Als Referenzproben dienten zwei Hornblenden (als Hornblende Ref. bezeichnet), die direkt aus der Eifel stammen. Die vorgefundenen Hornblenden sind in einem sehr guten Erhaltungszustand und weisen eher geringe bis keine Verwitterungsspuren auf. Weiter zeigte sich, dass eine hohe Konzentration der Hornblende im Korngrößenbereich zwischen 0,063 und 0,2mm auftrat. So fanden sich ab 0,2mm nur wenige Amphibole und ab 0,63mm waren keine Hornblendenkonzentrationen nachzuweisen. Es wurden bei den Analysen neun bis zehn verschiedene Elemente je Hornblende gemessen, diese sind: Ca, Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe und O.

Die Messwerte zeigen die prozentualen Elementgewichte sowie die entsprechenden Oxidgewichte, um einen Vergleich mit bereits publizierten chemischen Analysen von Hornblenden verschiedener LST-Lagen zu ermöglichen. Die separierten Hornblenden stammen aus den Schichten C (Hornblende 7, 8, 9), G (Hornblende 1, 2, 3), T (Hornblende 4, 5, 6) und V (Hornblende 10, 11, 12, 13). Die Gesamtheit der Elementgehalte der Hornblenden ist in Anhang 22 bis 29 dargestellt.

Die nachstehenden Diagramme zeigen die Verteilung der chemischen Hauptbestandteile der untersuchten Hornblenden (in Gew%). Im Wesentlichen lässt sich in allen Proben eine gleiche Verteilung der Elementgehalte erkennen. Die als Referenz untersuchten Hornblenden (Hornblende Ref. und Ref. 2) zeigen in ihrer Gehaltsverteilung eine gute Übereinstimmung mit den Hornblenden aus Argenstein. In ihrer Gesamtheit verfügen die LST-Hornblenden jedoch über eine relativ große Disparität bei verschiedenen Hauptbestandteilen. So weichen die Ca-Werte der Proben 6 und 11 deutlich von den anderen ab. Hier ist die größte Spannweite der Messwerte sichtbar. Auch die Al-Konzentration der Probe 6 zeigt mit 5,50% einen geringfügig abweichenden Wert an. Bei den Si-Gehalten zeigen Hornblende 7 und 8 mit 28,9% und 29,62% etwas niedrigere Werte, als dies bei den Referenz Hornblenden der Fall ist. Weiter ist ein niedrigerer K-Wert der Proben 6 (0,17%) und 11 (0,02%) von den anderen Hornblenden zu unterscheiden. Der Fe-Gehalt der untersuchten Hornblenden schwankt zwischen 16,55% und 28,37%. Die Na-Werte liegen im Bereich zwischen 1,49% und 4,19%. Die Mg-Gehalte zeigen einen Schwankungsbereich zwischen 4,24% und 9,20%.

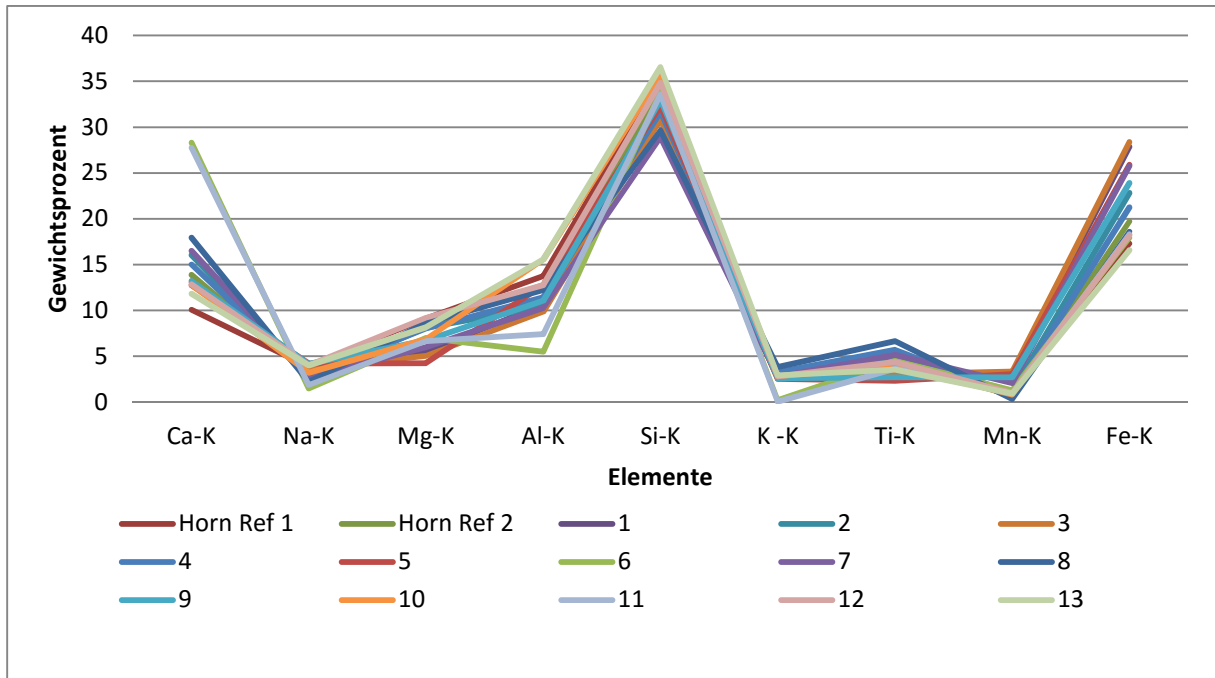


Abbildung 33: Elementzusammensetzung (Gew%) der Hornblenden aus Argenstein (Quelle: eigene Darstellung)

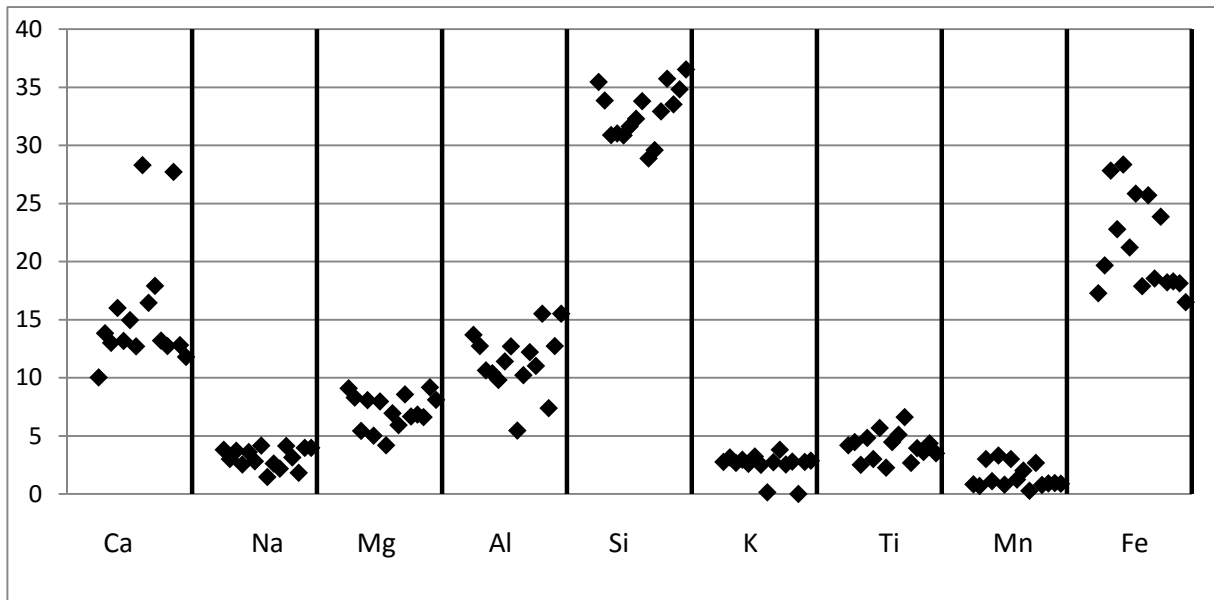


Abbildung 34: Streudiagramm über die chemische Zusammensetzung der Hornblenden (Quelle: eigene Darstellung)

6.4 Standortfaktoren der spätpaläolithischen Fundstellen im Untersuchungsgebiet

Die Fundstellenverteilung des Spätpaläolithikums in der Umgebung von Marburg zeigt ein sehr deutliches Bild (vgl. Abb. 7). So befinden sich alle Fundstellen - mit Ausnahme des Fundortes Bürgeln - auf Kuppen oder Anhöhen sowie am Hangfuß. Aus der Kartierung ebenfalls ersichtlich ist die unmittelbare Nähe zu Oberflächengewässern. Dieser Sachverhalt in Bezug auf die Standortfaktoren wurde bereits durch FIEDLER (1994) und IKINGER (1998) ausgeführt. So spricht FIEDLER (1994) von einer auffälligen Anzahl von Paläolithischen Artefaktkollektionen, die von hoch gelegenen Landschaftspunkten stammen und IKINGER (1998) beschreibt die Nähe zu Fließgewässern als Grund für die sichere Wasserversorgung sowie das Aufsuchen erhöhter Geländesituationen zur frühzeitigen Entdeckung von Jagdwild.

Die Fundstellenverteilung um Marburg zeigt aber noch ein weiteres Merkmal. So befinden sich auf der gleichen Fläche Artefakte aus dem Mittelpaläolithikum, Spätpaläolithikum und dem Mesolithikum. Es stellt sich also die Frage nach den Ursachen des topographischen Zusammenhangs.

7. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

7.1 Korngrößenverteilung, Wassergehalt und organische Substanz zur Interpretation der Fluvialmorphologie

Der Vergleich zwischen den drei Profilen aus Niederwald zeigt deutliche Unterschiede in der jeweiligen Korngrößenzusammensetzung. So dominieren im Profil 3 Ton- und Lehmschluffe sowie Schlufftone und Normallehme. Weiter zeigt das Profil 3 eine starke Bindigkeit sowie einige Mangankonkretionen und Rostfleckungen. Das Profil 3 weist demnach typische Charakteristika einer Überschwemmungsebene auf. Profil 2 hingegen zeigt durchweg sandige Horizonte. Hier zu nennen sind vor allem Schluff-, Lehm- und Reinsande sowie hohe Anteile an Schotter und Kies, die dieses Profil kennzeichnen. Die Ergebnisse deuten auf einen ehemaligen Gleithangbereich hin. Demgegenüber steht das Profil 1, das sich vor allem durch die über ein Meter mächtige, umgelagerte Tephraschicht auszeichnet. Unter diesen vulkanischen Ablagerungen ist die ehemalige Gewässersohle erkennbar, die sich ab einer Tiefe von 213cm nachweisen lässt. Es handelt sich um grau-schwarzes schluffiges Sediment, welches einen hohen Anteil an organischer Substanz aufweist (Schluffmudde). Anhand der gewonnenen Ergebnisse wurde nachstehende Rekonstruktionszeichnung angefertigt (vgl. Abb. 35).

Die Korngrößenverteilung der Profile 1 und 2 in Argenstein zeigt sehr deutlich den hohen Sandgehalt der dunkelgrauen Schichten (C, R, S, T, V, W, X, Y, Z), die sich dadurch von den anderen Schichten verstärkt abheben. Allen dunklen Schichten gemein ist der hohe Feinsandanteil, der in dieser Fraktion das Maximum darstellt. So zeigen die Proben 1.2, 1.4, 1.3, 1.7, 1.12, 3.2 mehr als 90% Sandgehalt. Weiter festzustellen ist, dass in den dunklen Sedimenten keine Tonfraktionen auftreten. Damit in Verbindung steht der gegenüber den hellen Schichten eher zurücktretende Wassergehalt. Hier liegt der maximale Wert bei 2,82%. Dies setzt sich bei dem Vergleich des Glühverlustes fort. Hier liegen die Maximalwerte der organischen Substanz bei 3,70%.

Im Gegensatz dazu stehen die hellen Ablagerungen (Schichten R, T, X, Y, Z). Hier tritt der Sandgehalt gegenüber den Schluff- und Tongehalten zurück. Diese Ablagerungen zeigen sehr hohe Anteile an organischer Substanz sowie des Wassergehaltes. Die Werte schwanken hier zwischen 4% und 10%. Bei den Analysen und der Betrachtung unter dem Binokular konnte jedoch festgestellt werden, dass die hellen und zum Teil dunklen Ablagerungen überwiegend aus Bims bestehen. So sind die hohen Wassergehalte und die hohen Werte des Glühverlustes auf den

Volumenprozentanteil des gespeicherten Porenwassers zurückzuführen, da Bims eine sehr hohe Porosität besitzt¹⁷³. Auch die in Kapitel 3.2.2 erwähnten Einschlüsse der Volatile sind hier ausschlaggebend. So entweichen die Gaseinschlüsse bei der Trocknung und des Glühvorgangs der Bodenproben. Dies bestätigt sich ebenso mit den Beobachtungen während der Zugabe von Wasserstoffperoxid zur Vorbereitung der Korngrößenanalyse. Es zeigte sich bis auf wenige Ausnahmen (Stillwassersedimente) keine bis geringe Reaktionen. Für die Interpretation der verschiedenen Ablagerungen sind also die Kombination der Korngrößenanalyse, die Messung der organischen Substanz, des Wassergehaltes sowie die detaillierte Sedimentansprache unter dem Mikroskop erforderlich.

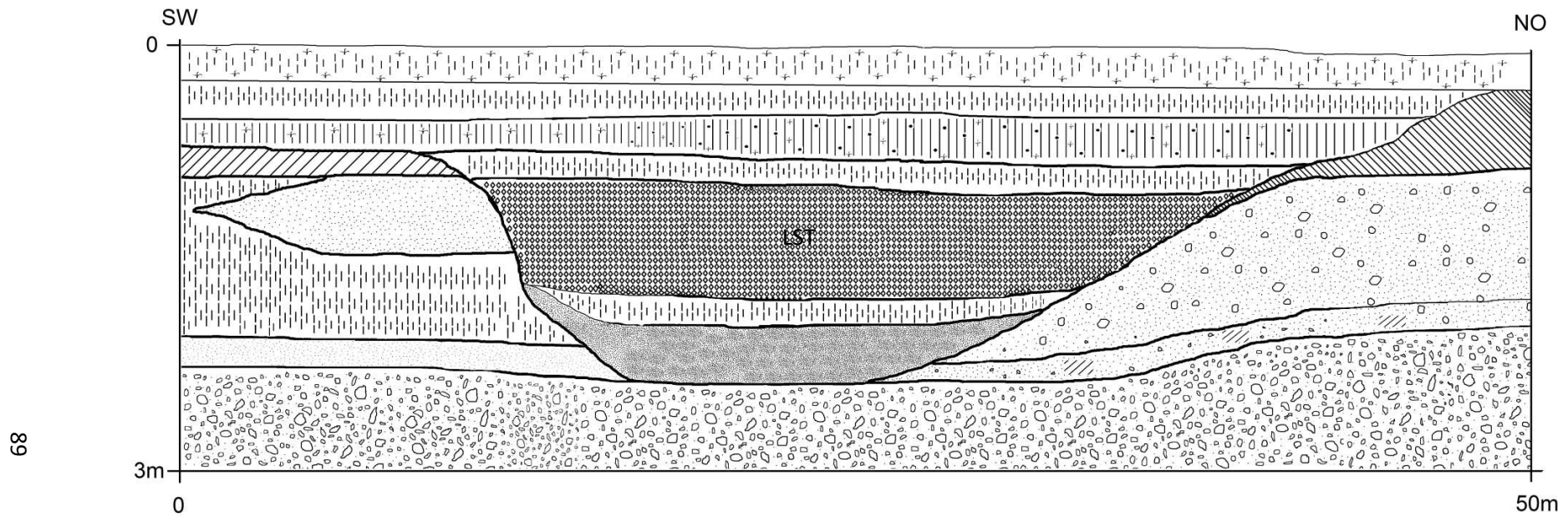
Eine Sonderstellung nimmt das Schichtpaket das mit ÄO bezeichnet wurde ein. Hier ereignete sich die Sedimentation nicht durch einen fluvialen Prozess, sondern diese Schichtungen wurden durch äolische Prozesse dort abgelagert. Einerseits sind in allen Proben ausschließlich Pyroklastische Minerale erkennbar, also nicht wie in den anderen Schichten eine Vermischung mit fluvialen Sedimenten. Andererseits zeigt diese Schicht eine starke Ähnlichkeit mit dem stratigraphischen Aufbau des von LANG (1954) untersuchten Profils aus Kirchhain¹⁷⁴ (vgl. Kap. 4.2): Beiden Profilen gemein ist eine grobkörnige, ungeschichtete Basis (vgl. Probe 1.15), bestehend aus weißer Bimsasche (bis 2mm Durchmesser). Darüber folgt eine homogene, feinkörnige hellgraue Ascheschicht (vgl. Probe 1.16). Diese wird überlagert von einer wiederum gelblich-weißen grobkörnigen Bimsascheschicht. Den Abschluss bildet eine homogene, sehr feinkörnige Ascheschicht (vgl. Probe 1.17).

Das Profil 2 aus Argenstein zeigt zwei sehr unterschiedliche Lagen, die über den Hell-Dunkel Wechselabfolgen aufliegen. Schicht Q besteht aus vulkanischer Asche (<2mm), die extrem verfestigt wurde. Sie ist deshalb als feiner Aschen-Tuff zu bezeichnen. Der Schicht Q folgt ein Sediment, das als Stillwassersediment angesprochen werden kann - deutlich erkennbar an der starken Bindigkeit, dem hohen Wassergehalt und den hohen Gehalten an organischer Substanz sowie dem erheblichen Anstieg der Tonfraktion.

Die Profile 3 und 4 aus Argenstein zeigen dagegen gegenüber den Profilen 1 und 2 deutliche Unterschiede im Korngrößenspektrum (vgl. Kap. 6.2) sowie der Bindigkeit der Sedimente.

¹⁷³ Frechen 1953, 32ff

¹⁷⁴ Bogaard 1983, 168ff



68

Legende

	Tonschluffe (tu): Lu, Ut4		Reinsande (ss): Ss
	Schlufftone (ut): Lt3, Tu3		Sandlehme (sl): Sl4
	Sandschluffe (su): Us		Skelettboden (sk): sandiger Kies
	Lehmschluffe (lu): Ut2, Ut3		Schluffmudde
	Schluffsand (us): Su3, Su4		Mangankonkretionen
	Lehmsand (ls): Su2, St2, Sl3		Rostfleckung
	Normallehme (ll): Lt2, Ls3		Humus

Abb. 35: Rekonstruktionszeichnung des Paläomäanders bei Niederwald (Quelle: eigene Darstellung)

7.2 Zur Aussagekraft der magnetischen Suszeptibilität in Bezug auf die Auswertung der stratigraphischen Befunde

7.2.1 Niederwald

Die Suszeptibilität ist ein Maß zur Erfassung der Konzentration an magnetischen Mineralen in einem Sediment. Hohe Suszeptibilitätswerte sprechen für eine hohe Konzentration der magnetischen Minerale Magnetit, Maghemit und Greigit. So kommt es nach der Oxidation von Magnetit zur Bildung von Maghemit; in Gegenwart organischer Substanz kann bei natürlichen Feuern Goethit in Maghemit umgeformt werden. Magnetit entsteht, wenn zwei-wertiges Eisen oxidiert. Auch die intrazelluläre Bildung durch magnetotaktische Bodenbakterien führt zur Bildung von Magnetit (meist superparamagnetische Mineralfraktion). Allen Bildungsmechanismen, die zu Magnetit führen, geht eine Bildung von Fe^{2+} durch eisenreduzierende Bakterien voraus. Diese beginnt nach zeitweiliger Wassersättigung des Bodens. Durch die gute Löslichkeit gelangt das Fe^{2+} über Diffusion oder Wasserfluss in besser durchlüftete Bodenhorizonte. Durch diese Umverteilung kommt es zur Bildung eines reduktomorphischen Bodenhorizontes mit zonaler Nassbleichung bzw. Anreicherung. Die Umverteilung ist auch an der Bodenfarbe ablesbar.¹⁷⁵

Da in allen Profilen Vergleichungsmerkmale auftreten (vgl. Kap. 6.1) ist auch hier eine Reduktion von Magnetit und Maghemit anzunehmen, was die leicht erhöhten Suszeptibilitätswerte vor allem im Oberboden bestätigen.

Die weitaus höchsten Suszeptibilitätswerte wurden jedoch im Profil 1 (vgl. Abb. 25) ab einer Tiefe von etwa einem Meter gemessen. Diese hohen Werte sind auf Minerale vulkanischen Ursprungs zurückzuführen (vgl. Anhang 30). Die LST zeichnet sich, wie in Kapitel 3.2.4 dargestellt, durch einen hohen Mineralbestand an z.B. Allophan, Sanidin, Plagioklas, Amphibol, Titanit, Titanomagnetit sowie Zirkon und Olivin aus. Sowohl über als auch unter dieser Schicht konnten erhöhte Suszeptibilitätswerte nachgewiesen werden, was vermutlich auf eine Vermischung der Tephra mit umliegenden Sedimenten zurückzuführen ist.

Dass das Ausgangsgestein, hier sind es die pleistozänen Terrassenschotter, die magnetische Suszeptibilität beeinflussen kann¹⁷⁶, belegen auch die leicht erhöhten Werte der alC-Horizonte in den Profilen. Weiter ist anzuführen, dass unterschiedlich geringe Werte der magnetischen Suszeptibilität vorliegen. Diese Inhomogenität ist auf die unterschiedlichen Gesteine und damit

¹⁷⁵ Fassbinder 2007, 56ff

¹⁷⁶ Meszner 2008, 78

auf unterschiedliche Mineralzusammensetzung der Schotterablagerungen zurückzuführen. Die Profile 2 und 3 weisen keine erhöhten Werte der magnetischen Suszeptibilität auf. Hier schwanken die Werte zwischen 1 und 6SI. Dies macht deutlich, dass die gesamten Ablagerungen des Fallouts aus dem umliegenden Bereich in das Gewässer eingetragen wurden. Durch die Messungen war es möglich, die auf dem geomagnetischen Prospektionsbild erscheinende Anomalie einzugrenzen und deren exakte Lage festzustellen. Folglich stellt die Messung der magnetischen Suszeptibilität eine geeignete Alternative zur Kombination der Geomagnetik und -elektrik dar, mit der ebenfalls die Tiefe derartiger Anomalien festgestellt werden kann.

7.2.2 Argenstein

In den Profilen 1 bis 4 aus Argenstein konnten aufgrund der Aufschlussituation, die dem Kiesabbau geschuldet ist, wesentlich detailliertere Untersuchungen zur magnetischen Suszeptibilität erfolgen. Die Messungen wurden in 5cm Abständen durchgeführt, um ein möglichst exaktes magnetisches Bild der einzelnen Profile zu erhalten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Messung der magnetischen Suszeptibilität ein außerordentlich hilfreiches Werkzeug zur Interpretation und Auswertung der stratigraphischen Befunde darstellt. So konnte bei allen dunkelgrauen bis schwarzen Schichten ein erhöhter Wert der magnetischen Suszeptibilität nachgewiesen werden. Selbst nur wenige Millimeter dicke Lagen (z.B. Schichtpaket T) konnten durch die Messungen erfasst werden. In Verbindung mit den bodenkundlichen Analysen und der Sichtung einiger Proben unter dem Binokular - und der damit verbundenen Erfassung der pyroklastischen Minerale in den Sedimenten - konnten die Ablagerungen des Fallouts rekonstruiert werden; d.h. wie auch bei Profil 1 in Niederwald sind die hohen Werte der magnetischen Suszeptibilität auf Minerale vulkanischen Ursprungs zurückzuführen.

Dagegen zeigen die hellen Schichten eine eher geringe Magnetisierung, die 20SI selten übersteigen. So war es möglich, ohne Kenntnis der Korngrößenverteilung und Bodenart eine erste Abschätzung zur Differenzierung der jeweiligen Substrate vorzunehmen.

Deutlich erkennbar an den Auswertungen der Ergebnisse ist ebenfalls, dass die magnetische Suszeptibilität vor allem in den Profilen 1 und 2 nach oben hin deutlich ansteigt.

7.3 Die chemische Zusammensetzung der Hornblenden und ihre Interpretationsmöglichkeit

Die Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung der Hornblenden in den Profilen aus Argenstein zeigen eine wesentliche Übereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung mit den Hornblenden aus der Eifel. Die Gehaltsverteilung zeigt im direkten Vergleich grundsätzlich die gleichen Peaks der Si-, Ti-, K-, Al-, Fe-, Mg- und Ca-Werte. In Einzelfällen, wie den Werten des Mg-Gehalts, sind bei den Profilen aus Argenstein Abweichungen vorhanden. Ein Vergleich mit bereits vorliegenden Untersuchungen von proximalen LST- Ablagerungen durch WÖRNER und SCHMINCKE (1984: 817ff.) sowie distalen Analysen durch HAHN (2009: 88) zeigen eine weitestgehende Übereinstimmung mit den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit (vgl. Anhang 36). So beschreiben WÖRNER und SCHMINCKE (1984a: 826) die chemische Zusammensetzung der Hornblenden als charakteristisch für weit entwickelte Magmen. Demnach weisen die Hornblenden hohe Gehalte an FeO bis 25 Gew.%, MnO zwischen 0,2 bis 2,9 Gew.%, zwischen 1,7-3,3 Gew.% Na₂O und variierende TiO-Gehalte mit 2,2 bis 7,2 Gew.% auf (vgl. Anhang 35). Bis auf zwei Ausnahmen (Hornblende 1 und 3) liegen die FeO-Werte in diesem Bereich. Auch bei den MnO-Gehalten liegen Hornblende 1 und 3 leicht darüber. Die Werte der TiO-Gehalte befinden sich alle in diesem Schwankungsbereich.

In Bezug auf die Abweichung der FeO-Gehalte ist anzuführen, dass die Separation der Hornblende zu Anfang (Hornblende 1 bis 3) durch einen Magnetabscheider erfolgte, um eine Vorsortierung des Sedimentes durchzuführen. Durch die Trennung mittels Elektromagneten, der auf 0,4A eingestellt wurde, gelangten womöglich vermehrt Hornblenden in den Abscheider, die einen erhöhten FeO-Wert aufwiesen.

Im Allgemeinen wurden die REM-Analysen von WÖRNER und SCHMINCKE (1984a: 810) mittels Elektronenstrahlanalyse (EPMA) durchgeführt, wohingegen die hier vorliegenden Messungen durch eine energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX), wie in Kapitel 5.2.5 dargelegt, durchgeführt wurden. So sind beide Untersuchungsreihen nur bedingt vergleichbar. Die größere Spannweite der eigenen Untersuchungen ist somit auf die Messgenauigkeit des EDX-Detektors zurückzuführen. Die Unterschiede in der Elementgehaltsverteilung der eigenen Ergebnisse können weiterhin durch die Förderung dieser Minerale während unterschiedlicher Eruptionsstadien hervorgerufen werden. Wie in Kapitel 3.2.5 vorgestellt, ist in diesem

Zusammenhang auch die Zonierung der Magmakammer ausschlaggebend. So korreliert die chemische Zusammensetzung der Hornblenden mit der vorgefundenen Stratigraphie.¹⁷⁷

Als ein weiterer Aspekt ist das unterschiedlich verortete Geoarchiv anzuführen, das bei den hier vorliegenden Untersuchungen einen Auenstandort darstellt und somit anderen Verwitterungs- und chemischen Prozessen der Bodenbildung ausgesetzt ist. Dies wird deutlich durch einen mikroskopischen Vergleich zwischen den Hornblenden aus Argenstein und denen aus Niederwald. So zeigen die Hornblenden aus Argenstein geringe bis keine Verwitterungserscheinungen und auch die monokline Kristallstruktur ist gut erhalten, während die Hornblenden aus Niederwald stark verwittert und nur in Resten vorhanden sind.

Anhaltspunkte, um eine mögliche Verwechslung mit anderen Pyroklastika der Rhön auszuschließen, geben JUNG und HOERNES (2000: 31). Hier belaufen sich die Oxidgehalte auf niedrigere FeO- (8,71-11,3 Gew.%), höhere TiO₂- (4,91-5,13 Gew.%) und niedrigere MnO-Werte (0,04-0,17 Gew.%). Der Vergleich zeigt, dass hier eine Verwechslung der analysierten Minerale mit Hornblenden aus anderen vulkanischen Gebieten ausgeschlossen werden kann. Durch die Analysen konnte eine eindeutige Herkunft der Tephralagen in den Rinnenstrukturen bestimmt werden. Es handelt sich um die Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans.

7.4 Die Störung der natürlichen fluvialen Geomorphodynamik durch den Eintrag der Tephra

Der stratigraphische Befund sowie die bodenkundlichen Analysen aus Niederwald zeigen einen Paläomäander, der mit LST gefüllt wurde. Dieser lässt sich daher eindeutig in die Allerödzeit datieren. Das Gewässer muss demnach vor dem Fallout entstanden sein und im Zuge des Ausbruchs wurde der Mäander am Hals abgeschnitten und verlandete.

Um Aussagen über den Einfluss der LST auf das vor 12.900 Jahren vorhandene Oberflächengewässer aus Argenstein treffen zu können sowie eine zeitliche Abfolge zu rekonstruieren, war es notwendig, eine Kombination aus der von MIALL (1985) entwickelten Architektur-Elementanalyse von fluvialen Ablagerungen (vgl. Anhang 31, 32, 33) sowie der von HARRIS (1989) entwickelten Matrix zur zeitlichen Abfolge von Befunden anzuwenden. Abbildung 36 zeigt die zeitliche Abfolge der Schichten von jung nach alt. Da die Harris-Matrix sich überwiegend auf Strata in Verbindung mit archäologischen Befunden stützt, musste die

¹⁷⁷ Wörner & Schmincke 1984a, 826

Architektur-Elementanalyse herangezogen werden, da es sich hier nicht um im Boden auftretende Befunde handelt, sondern um eigenständige fluviale Prozesse.

Die pleistozänen Terrassenschotter des letzten glazialen Maximums (grobklastische, sandig-kiesige Ablagerungen der älteren Niederterrasse) bilden die Basis der untersuchten Profile aus Argenstein. Die Identifikation dieser Terrasse (NT1/NT2) erfolgte aufgrund der beschriebenen Grob- und Feinbodenbestandteile sowie der in Richtung Nordost in 200m Entfernung zu den Profilen auftretenden älteren Niederterrasse (NT2)¹⁷⁸. Mit den Schichten X, Y und Z sind die ersten Ablagerungen nach dem Einschneiden der Rinne ersichtlich. Durch Grenzflächen 4. Ordnung zeichnen diese sich durch eine flache, leicht erosive, kontinuierlich wellige Hangendgrenze aus. Grenzflächen 2. Ordnung trennen die sandigen Sedimentkörper (SB) voneinander. Die hier auftretenden trogförmigen, kreuzgeschichteten Sande (St) können als Reste dreidimensionaler Dünen, die bei gleicher Tiefe und höheren Fließgeschwindigkeiten als zweidimensionale Dünen gebildet wurden, interpretiert werden.¹⁷⁹

Der Abgleich mit dem derzeitigen Forschungsstand (vgl. Kap. 4) legt den Schluss nahe, dass es sich bei den Schichten ZA und ZB um die feinklastischen Hochflutlehme des Spätglazials handelt, die noch während des Alleröds gebildet wurden.

Es folgen die dunklen Schichten V und W, deren Genese etwa zeitgleich erfolgte. Diese Schichten weisen dieselbe Korngrößenzusammensetzung sowie hohe Suszeptibilitätswerte auf. Es handelt sich um einen massigen bis schwach laminierten Sand mit den Grenzflächen 1. Ordnung. Hier ist also keine erosive Basis gegeben, d.h. es liegt überwiegend Sedimentation vor. Das Sediment, das mehrheitlich aus Pyroklastika, aber auch aus fluvialen Sedimenten aufgebaut und somit als umgelagerte LST anzusehen ist, deutet auf eine zuvor erfolgte Denudation durch fließendes Wasser hin. Möglicherweise ist hier ein bereits wassergesättigter Boden des Umlandes anzunehmen, so dass diese Schicht als Paket abgelagert wurde.

Die Basisfläche der Rinne T verläuft flach bis leicht konkav und ist als CH_k (LA) ausgebildet. In Richtung Südost der Kiesgrube tritt ein steiler Prallhang in Erscheinung, der jedoch von Schicht F erodiert wurde. Diese Rinne 4. Ordnung wird aufgrund der externen und internen Geometrie (Rinnenform mit Prall- und Gleithang sowie erosiver Basis) als Nebenrinne interpretiert. Für diese Klassifikation spricht einerseits das Fehlen der Kiesfraktionen, da es sich - wie bereits ausgeführt - um Schotter der älteren Niederterrasse handelt. Andererseits sind die zuvor beschriebenen Schichten älter als Schicht T (vgl. Abb. 36). Ebenfalls anzuführen ist, dass diese

¹⁷⁸ Fetzner et. al. 1995, 224

¹⁷⁹ Gross 1998, 143f

Rinne vermutlich die Hochflutlehm-Ablagerungen aus dem Alleröd zuvor ausräumte. In Verbindung mit den Ergebnissen der Korngrößenanalyse ist diese Rinne als „Sandy River“ zu bezeichnen.

Nach einer erneuten massigen Sedimentationsphase (Schicht S) zeigt Schicht R mit Grenzflächen 4. Ordnung eine wiederholt höhere Fließgeschwindigkeit an. Darauf folgt Schicht P, die aus massivem Feinsand aufgebaut ist. Das dunkle Schichtpaket deutet auf eine wiederkehrende Sedimentationsphase und somit eine Unterbrechung des Abflusses hin. Damit in Verbindung steht ebenfalls Schichtpaket Q, das jedoch - wie bereits erwähnt - feinkörnigeres Sediment führt als Schicht P. Die darauffolgende Schicht O zeigt aufgrund des hohen Schluff- sowie Feinsandanteils eine Bildung im oberen Strömungsregime an. Möglicherweise handelt es sich hier um eine Entstehung durch Ablagerung von Suspension bei abnehmenden Turbulenzen oder bei Fluktuationen der Strömungsgeschwindigkeit am Ende von Überschwemmungen.¹⁸⁰ Dies würde auch mit den Ablagerungen der Schicht Q in Verbindung stehen, da hier eine enorme Menge vulkanischer Asche abgelagert wurde und den Abfluss erheblich störte.

Der Schicht Q aufliegend ist - als Reste erhaltene CH(FF)-Element - die Schicht N ausgebildet. Diese Schicht ist als Stillwassersediment anzusprechen. Sie zeigt eine zeitweilig stark verminderte Transportkraft des Gewässers an. Damit in Verbindung zu bringen ist eine erneute Sedimentation durch LST. Dies wird durch Schicht L erkenntlich. Die keilförmige Schicht M ist als LV(FF) Architektur-Element ausgebildet. Diese liegt über Schicht O und wird gebildet durch Wechsellagerungen suspensiver Sedimente mit geringen Anteilen der Bodenfracht. Daher wird sie als Ablagerung der Überschwemmungsebene angesehen. Ein Vergleich zu den umliegenden Schichten legt die Vermutung nahe, dass es sich hier um Reste eines Uferdamms handelt. An den Uferdamm angelehnt, weisen die rippelgeschichteten Sande der Schichten I und J auf Bereiche mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit hin. Dagegen zeigen die trogförmigen Ablagerungen von Schicht K eine höhere Fließgeschwindigkeit an. Es sind Grenzflächen 4. Ordnung, die dieses Architekturelement $CH_k(SB)$ kennzeichnen. Es folgt eine erneute massige Ablagerung mit dunklen vulkanischen Mineralen (Schicht C). Während darüber vereinzelt noch Spuren laminaren Fließens erkennbar sind (B), die eine Interpretation als Überschwemmungssedimente zulassen, versiegelt Schicht C den vor 12.900 Jahren entstandenen Gewässerkomplex.

Durch die Korngrößenanalyse konnte eine fast exakte, nur um 1% abweichende Übereinstimmung der Schichten C und V festgestellt werden. Wenn eine zufällig gleiche Korngrößenzusammensetzung ausgeschlossen werden kann und beide Schichten dasselbe

¹⁸⁰ Gross 1998, 144

Sediment darstellen, wäre folgendes Szenario in Bezug auf die in der Nähe auftretenden Denudationsprozesse denkbar: Anfangs erodieren die Schichten V und W, das Gewässer schneidet sich in diese Schichten ein, es folgen eine hohe Anzahl verschiedener vulkanischer Ablagerungen und am Ende der aufgezeigten Gewässerentwicklung lagerte sich die im Umland unter allen anderen Schichten befindliche Schicht C ab. Das würde bedeuten, dass der Profilaufbau eine umgekehrte Stratigraphie zu den Ablagerungen außerhalb der Rinne darstellt. Über den Ablagerungen des Alleröd Interstadials (ZB) ist eine weitere Nebenrinne $CH_k(FF)$ mit Grenzflächen 4. Ordnung auszumachen. Die zeitliche Einordnung der Schicht H ist somit nach dem Alleröd anzusetzen. Wie bereits oben ausgeführt, weisen die Architektur-Elemente der Profile 3 und 4 aus Argenstein wesentlich höhere Schluff- und Tongehalte auf. Möglicherweise handelt es sich bei den Schichten U, G, H und F um Altarme und/oder Sedimente der Überschwemmungsebenen. Charakteristisch für diese Profile ist, dass hier ebenfalls vulkanische Ablagerungen (vor allem Bimse) vorzufinden sind. Über Schicht H und G erodierte Schicht F, ebenso die Schichten K, N, Q, R, T und V. Diese sind somit jünger als die Ablagerungen der Profile 1 und 2. Da keine kiesreiche Basis vorhanden ist, bildet diese Schicht mit den Grenzflächen 4. Ordnung das Architekturelement $CH_k(FF)$. Durch die vorliegende Feinkörnigkeit und Bindigkeit der Sedimente ist in diesen Profilen eine geringere Fließgeschwindigkeit anzunehmen. Über dieser Rinnenstruktur sind erneut massige Sedimentationsphasen erkennbar (D und E), die wiederum von dunkleren LST Ablagerungen (Schicht C) überlagert wurden.

Allgemein ist festzuhalten, dass die vorgefundenen Ablagerungen zu einem Großteil aus Bims (dunkle und helle Ablagerungen) bestehen. Durch die hohe Porosität schwimmen die Bimsablagerungen zunächst auf der Wasseroberfläche und setzen sich erst nach einer gewissen Zeit an der Gewässersohle ab. Es ist also eine wesentlich geringere Fließgeschwindigkeit in allen bimshaltigen Schichten anzunehmen.

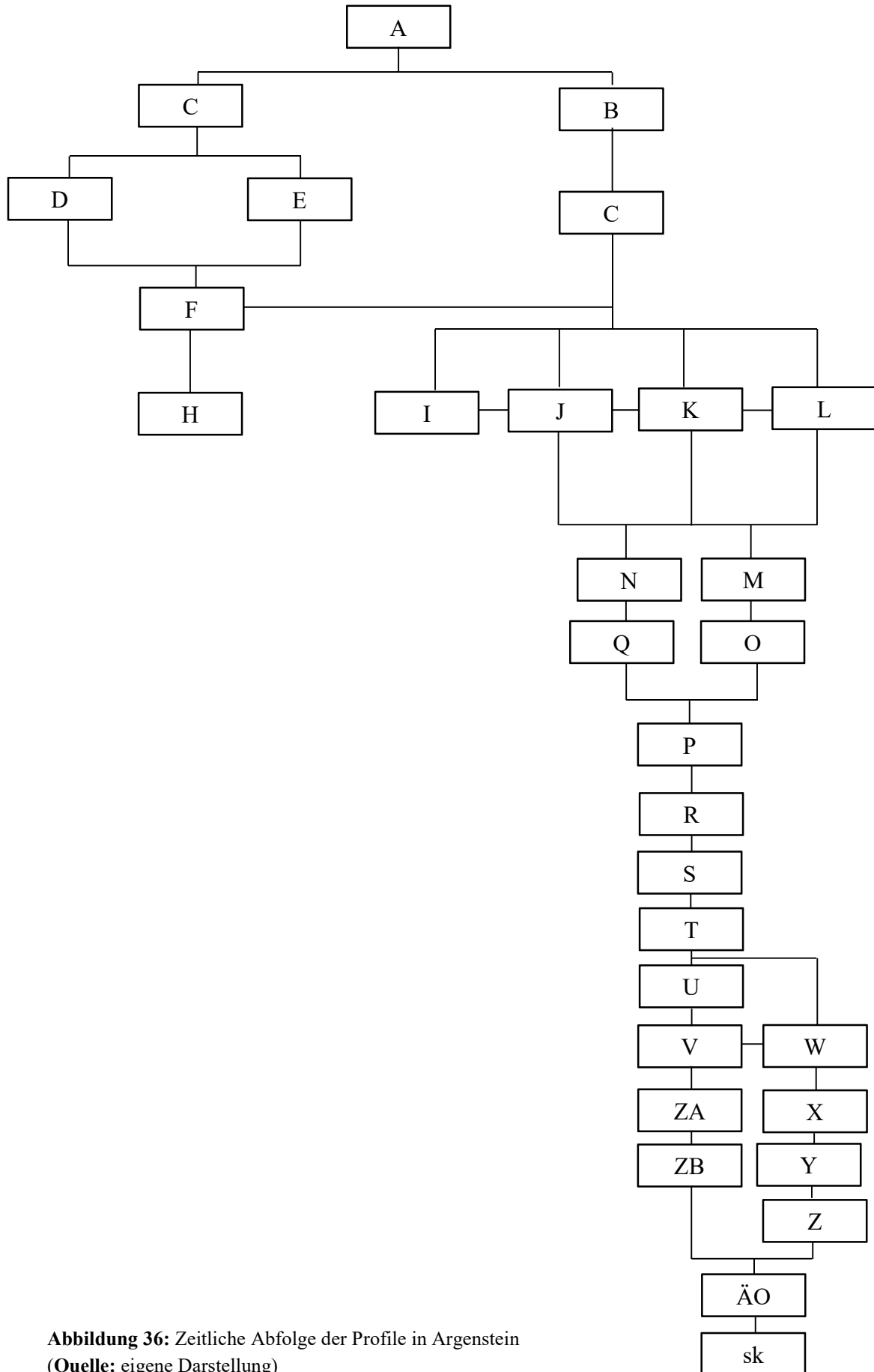


Abbildung 36: Zeitliche Abfolge der Profile in Argenstein
(Quelle: eigene Darstellung)

8. Die Auswirkungen des Vulkanausbruchs auf Mensch und Umwelt

Im Hinblick auf die Auswertung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse lassen sich nachstehende Schlussfolgerungen ableiten:

Der Mäander in Niederwald zeigt eine Verlandung aufgrund des Fallouts. Die Entstehung des Gewässers geht in das letzte glaziale Maximum zurück. Die vorgefundene Schluffmudde zeigt, dass der Fluss vor dem Fallout noch durchflossen wurde und erst verlandete, als die vulkanischen Ablagerungen durch Umlagerungsprozesse in das Gewässer gelangten. Wie in Kapitel 3.1.3.2 vorgestellt, ist die Bildung von Altarmen ein natürlicher Prozess mäandrierender Gewässer. Durch fortschreitende Erosion wird ein Mäanderbogen abgeschnitten und am Mäanderhals durchbrochen. Diese Entwicklung ereignete sich ebenfalls in Niederwald, ist jedoch hier möglicherweise auf die enormen Auswurfsmassen des Laacher-See-Vulkans zurückzuführen.

Die Rinnenstrukturen bei Argenstein zeigen ein ähnliches Bild. Hier ist die Entstehung des Gewässers jedoch etwas später anzusetzen. Wie bereits geschildert, sind hier nur an den Rändern der Rinne noch Reste der allerödzeitlichen Hochflutlehme vorhanden. Das deutet darauf hin, dass diese durch das Gewässer ausgespült wurden. Auch das Auftreten primärer Lagen (ÄO) an der Schotterbasis verdeutlicht die zeitliche Einordnung. Des Weiteren sind in diesen Profilen Prozesse abzulesen, die sowohl auf eine kurze als auch auf eine längere Bildungszeit hindeuten. So treten in den Profilen Architektur-Elemente auf, die eine schnelle Fließgeschwindigkeit anzeigen und damit eine geringere Sedimentation bewirken - aber auch Prozesse, die zu einer Abnahme des Abflusses führten. Hier anzuführen sind wiederum die enormen Massen an vulkanischen Ablagerungen, die den Abfluss und damit die Gewässerstruktur erheblich beeinflussten. Möglicherweise ist sogar die Entstehung dieser Rinnen - durch eine Verlandung der Hauptrinne im Zuge des Fallouts - erst auf den Ausbruch des Laacher-See-Vulkans zurückzuführen. Dies konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden. Die Frage nach den Einflüssen der LST auf das Abflussverhalten ist jedoch klar zu beantworten: Die Verlandung eines Mäanders in Niederwald und die zeitweilige Trockenlegung der Rinnen in Argenstein durch die Tephramassen zeigen eine deutliche Störung des Abflussverhaltens beider Oberflächengewässer.

Die Auswirkungen des Vulkanausbruchs auf den Menschen sind jedoch nur indirekt fassbar, da für keine der Fundstellen in der Umgebung von Marburg ein stratigraphischer Kontext in Verbindung mit der LST vorliegt. Außerdem können die vorgestellten Artefakte von den

Fundstellen um Marburg nur ins Alleröd datiert werden. Es ist also nicht eindeutig, ob diese vor oder nach der Eruption dort abgelagert wurden.

Folgendes ist jedoch aus den Untersuchungsergebnissen abzuleiten: Nach POETSCH (1975: 125) befand sich ganz Mittelhessen unter einer mehreren Dezimeter mächtigen Schicht aus vulkanischen Förderprodukten. Diese kamen aufgrund von Denudationsprozessen in den Tälern zur Ablagerung. Wie in Kapitel 4.2 ausgeführt, können die Ablagerungen in den Rinnen bis zu einer Mächtigkeit von 2,65m ansteigen. Die untersuchten Profile in Argenstein und Niederwald belegen diesen Sachverhalt. Demnach stellten die Auen- und Tallandschaften keine geeigneten Aufenthaltsräume für Jäger und Sammler des Spätpaläolithikums während und kurz nach der Zeit des Ausbruchs dar. Das zeigt auch die Fundstellenverteilung im Umland Marburgs; so befinden sich die meisten auf Anhöhen oder am Unterhangbereich. Den Artefakten, die am Hangfuß verortet waren, geht möglicherweise eine Hangabwärtsverlagerung und damit ein zuvor ebenfalls auf Anhöhen befindlicher Aufenthaltsort voraus. Diese könnten im Laufe des Holozäns dort zur Ablagerung gekommen sein.

Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Wasserversorgung der damals lebenden Menschen. Bei der Betrachtung der in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse über die starken Verlandungstendenzen im Zuge des Fallouts am Beispiel zweier Rinnensysteme, liegt der Schluss nahe, dass weitere Rinnen von den Auswurfmassen betroffen gewesen sind. Dies zeigt auch der bisherige Forschungsstand (vgl. Kap. 4.2). So sind derzeit mehrere Rinnensysteme aus Hessen bekannt, in denen LST abgelagert wurde. Das heißt, die Trinkwasserverfügbarkeit musste durch den Ausbruch erheblich eingeschränkt gewesen sein. Hier ist vor allem die Größe der untersuchten Gewässerstrukturen entscheidend. So konnte eine Mäanderamplitude von etwa 80m in Niederwald und ein Gewässerquerschnitt von ca. 6m in Argenstein festgestellt werden, wohingegen kleinere Rinnen möglicherweise gänzlich verlandeteten.

Auch mögliche Verkehrswege, die im Spätpaläolithikum zur Rohmaterialversorgung durch Flüsse konstatiert werden¹⁸¹, könnten im Zuge des Fallouts zeitweilig nicht mehr passierbar gewesen sein.

Mit der Eruption von Vulkanen steht weiterhin der Gaseintrag in die Atmosphäre in direktem Zusammenhang. Während die dabei entstehenden Dunstschleier in der Troposphäre relativ schnell durch Niederschläge ausgewaschen werden, können diese in der Stratosphäre, wie sie bei der Eruptionssäule des LSV auftraten, aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit längere Zeit

¹⁸¹ Riede 2012, 62

überdauern.¹⁸² Die vulkanischen Aerosole führen zu einer Erwärmung der Stratosphäre durch Absorption von Sonnenenergie; dies führt zu einer Abnahme der auf die Erdoberfläche eintreffenden Sonneneinstrahlung. Weiter ist eine Reduktion der Ozonkonzentration durch die Einbringung vulkanischer Aerosole in die Atmosphäre bei rezenten Untersuchungen festzustellen.¹⁸³

Vulkanausbrüche haben sowohl heute als auch in der Vergangenheit einen großen Einfluss auf die atmosphärische Zusammensetzung sowie den Strahlungs- und Energiehaushalt der Atmosphäre. Dabei sind die Auswirkungen abhängig von der Höhe der Eruptionssäule, dem eruptierten Magmavolumen und der in die Stratosphäre eingetragenen Menge an Schwefel.¹⁸⁴

Durch ätzende Niederschläge, heftige Gewitter, schwankende Sommer- und Wintertemperaturen sowie dem Eruptionszeitpunkt im Frühjahr wird das Pflanzenwachstum möglicherweise verringert. Auch die Feinstaubbelastung in der Atmosphäre musste sich erheblich auf den Menschen und die Fauna auswirken.¹⁸⁵

Die bisherigen Ausführungen zeigen eine Kette an Wirkungszusammenhängen, die dieser Vulkanausbruch mit sich brachte: Durch die Störung des Abflusses und Verlandung der Fließgewässer treten möglicherweise Wasserknappheit für Mensch und Fauna sowie der Vegetation ein. Wandern Tierherden ab oder verenden im Zuge des Fallouts, wird der Mensch dieses Gebiet möglicherweise ebenfalls verlassen, da die Tierherden im Spätpaläolithikum die Hauptnahrungsquelle darstellten. Der derzeitige Forschungsstand unterstützt diese Annahme: Die Mehrheit der Spätpaläolithischen Fundstellen am Mittelrheingebiet (z. B. Andernach, Niederbieber, Ketting und Urbar) liegen unter LST begraben.¹⁸⁶ Ebenso weisen die Fundorte aus Hessen mit Rüsselsheim, Mühlheim-Dietesheim und Rothenkirchen auf Aufenthaltsstandorte vor dem Ausbruch hin. Wie oben ausgeführt, ist derzeit nur ein Fundort aus dem Spätpaläolithikum bekannt, der sicher nach dem Fallout datiert werden kann. Das Fehlen von Fundstellen über LST und die in dieser Arbeit vorgelegten Ergebnisse verdeutlichen die Folgen des Fallouts auf Mensch und Umwelt und zeigen, dass der Ausbruch nicht nur am Mittelrhein, sondern auch im mittleren Lahnggebiet enorme Auswirkungen hatte.

¹⁸² Schmincke 2010, 223

¹⁸³ Schmincke 2010, 226

¹⁸⁴ Schmincke 2010, 231

¹⁸⁵ Riede 2012, 62

¹⁸⁶ Baales 2003, 45ff

9. Ausblick

Ein großes Forschungsdefizit stellt die exakte chronologische Einordnung der Artefakte aus dem Spätpaläolithikum dar. Sowohl die ausgegrabenen Plätze Rüsselsheim und Mühlheim-Dietesheim als auch die hier vorgestellten Rückenspitzen können größtenteils nur als allerödzeitlich datiert werden. Somit ist es nicht möglich, Lesefunde ohne stratigraphischen Kontext vor oder nach den Fallout zeitlich zu fixieren.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einen kleinen Ausschnitt des Landschaftsbildes in der Zeit des Vulkanausbruches und sind nur unter Vorbehalt auf andere Landschaftsräume übertragbar. Weiterführende Studien in Hessen aus mehreren lokalen Untersuchungsgebieten könnten ein zusammenhängendes Szenario für Mensch und Umwelt vor 12.900 Jahren rekonstruieren.

Um die weitere Ausdehnung und Gewässerstruktur der Paläorinne in Argenstein zu untersuchen, könnten daran anschließende geomagnetische Prospektionen durchgeführt werden. Dabei sollte die Kombination aus Geomagnetik und -elektrik eine hilfreiche Prospektionsmethode darstellen, da somit nicht nur die Anomalie erfasst wird, sondern auch die Tiefe, in der diese im Boden auftritt und somit den Gewässerverlauf im allerödzeitlichen Relief aufzeigt.

Ein weiteres Problem ist die Erfassung der Denudationsprozesse in den distalen Ablagerungsräumen. So ist in der heutigen Forschung noch unklar, in welchem Zeitraum die Tephramassen erodierten und in den Tälern und Gewässern abgelagert wurden. Möglicherweise kann hier die Thermolumineszenz-Datierung der umgelagerten LST Anhaltspunkte liefern.

Zur Identifikation und Korrelation von vulkanischen Ablagerungen ist die alleinige Anwendung der Schwermineralanalyse nicht mehr ausreichend. Um proximale und distale Ablagerungen zu identifizieren, eignet sich vor allem die Mikro-Tephra-Analyse¹⁸⁷, die in dieser Arbeit zur Anwendung kam. Um jedoch quantitative Ergebnisse zur chemischen Zusammensetzung der Hornblenden zu erhalten, sollten künftige Untersuchungen durch die wellenlängendispersive Röntgenspektroskopie erfolgen.

Die vorliegende Arbeit liefert zwar eine zeitliche Eingrenzung der vorgefundenen Gewässerstrukturen. Um jedoch möglichst exakte Daten zu den Bildungszeiträumen zu erhalten, könnten die vorgefundenen Stillwassersedimente durch Pollenanalysen oder C¹⁴-Datierungen untersucht werden.

¹⁸⁷ Riede 2012, 54

10. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Auswirkungen des Laacher-See-Vulkans auf Mensch und Umwelt in den distalen Ablagerungsbereichen des mittleren Lahngbietes. Die Vorgehensweise orientiert sich dabei an folgenden Fragestellungen:

- Welche Prozesse führten zur Entstehung der vorgefundenen Profile, d.h. welchen Einfluss besitzen die LST-Lagen auf das Abflussverhalten spätglazialer, naturnaher Fließgewässer im mittleren Lahngbiet?
- Kann durch die unterschiedlichen Schichtungen eine zeitliche Abfolge rekonstruiert werden, d.h. sind diese Ablagerungen auf einen längeren oder kürzeren Entstehungsprozess zurückzuführen?
- Gibt es Anzeichen für eine Beeinflussung des Fallouts auf den damaligen Menschen?

Als Grundlage zur Untersuchung dieser Fragestellungen dienten Methoden der Bodenkunde, mineralogische Untersuchungen, Fazies-Architektur-Element Analysen sowie stratigraphische Analysen, die in der Archäologie Verwendung finden.

Um den Entstehungsprozess der Paläorinnen rekonstruieren zu können, wurden insgesamt 58 Proben auf ihre Korngrößenzusammensetzung, der organischen Substanz und des Wassergehaltes im Labor untersucht. In Kombination mit der Ausweisung von Architektur-Elementen konnten somit die einzelnen fluvialen Prozesse der Profile in Argenstein erfasst werden.

Die Untersuchungen zeigten, dass die LST maßgeblich für eine Störung des Abflusses sowohl der Paläorinnen in Argenstein als auch der in Niederwald vorgefundenen Rinne verantwortlich ist. Während das Gewässer in Niederwald gänzlich im Zuge des Fallouts verlandete, zeigt das Geoarchiv in Argenstein häufig massige Ablagerungen, ausgelöst durch Denudationsprozesse, die den Abfluss, den Transportkörper und damit die gesamte Gewässerstruktur beeinflussten. So traten zeitweilig immer wiederkehrende Verlandungen aufgrund der Eruptiva auf.

Die entstandenen Ablagerungen zeigen sowohl Phasen kurzer Entstehungsprozesse - zu nennen sind massige Ablagerungen der LST - als auch länger andauernder Prozesse - hier anzuführen ist das Auftreten von Stillwassersedimenten.

Zur Unterstützung der stratigraphischen Interpretation wurden mehr als 400 Messungen der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt. Die Messungen dienen der Eingrenzung der abgelagerten Pyroklastika in den Profilen und Bohrungen. Somit war es möglich, detaillierte Kenntnisse der einzelnen Strata zu gewinnen. Zusätzlich konnte durch die REM-Analyse das Auftreten von LST-bürtigen Hornblenden nachgewiesen werden. Dies ermöglichte eine zeitliche Eingrenzung der vorgefundenen Gewässerstrukturen, die dadurch in das ausgehende Alleröd zu datieren sind.

Durch die vorgefundenen Umweltverhältnisse war es zudem möglich, Aussagen über die Auswirkungen der LST auf den Menschen des Spätpaläolithikums zu treffen.

Der Abgleich mit dem derzeitigen Forschungsstand lässt vermuten, dass das Gebiet des mittleren Lahntals während und einige Zeit nach dem Fallout keine lebensfreundliche Umgebung für die ansässige Bevölkerung darstellte. Die zahlreichen Fundstellen, begraben unter LST, und die Wirkungskette, die sich aufgrund des Vulkanausbruchs ereignete, unterstreichen diesen Ansatz.

Durch die Auffindung spätpaläolithischer Artefakte über LST ist ein kompletter Niedergang des Rückenspitzen-Kreises auszuschließen. Eine Abwanderung der Jäger und Sammler aus dem mittleren Lahngbiet erscheint jedoch äußerst plausibel.

Insgesamt stellt das Alleröd-Interstadial eine der interessantesten Zeitabschnitte in der Vergangenheit dar. Der Klimaumschwung, die Veränderung der Gewässerstrukturen sowie die Umstellung der Jagdtechniken und Hinwendung zur Mikrolithik zeichnen diesen Zeithorizont aus. Die Auswirkungen des Laacher-See-Vulkans sind vor allem in Geoarchiven ablesbar und dienen Geoarchäologen zur Rekonstruktion der Mensch-Umwelt Beziehungen.

Die Untersuchung und Interpretation der hier vorgestellten Geoarchive und damit verbundenen Auswirkungen auf den Menschen können ebenfalls zur modernen Katastrophen-Forschung beitragen. Vor allem Untersuchungen zu vergangenen Vulkanausbrüchen geben hier Aufschluss über mögliche Folgen für Mensch und Umwelt, die grundsätzlich auf heutige Eruptionen anwendbar sind. So unterscheiden sich vergangene Vulkanausbrüche, Erdbeben und Überschwemmungen nicht von den heutigen, zumal der Laacher-See-Vulkan noch nicht erloschen scheint.

Quellenverzeichnis

AG BODEN (HRSG.) 2005

AG Boden – AD-HOC- Arbeitsgruppe der Staatlichen geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Bodenkundliche Kartieranleitung⁵. (Hannover 2005).

AHNERT 2003

F. Ahnert, Einführung in die Geomorphologie³. UTB 8103 (Stuttgart 2003).

BAALES 2014

M. Baales, Jäger und Sammler am Ende der letzten Kaltzeit in Mitteleuropa. In: Hegewisch (Hrsg.): Eiszeitjäger – Leben im Paradies: Europa vor 15.000 Jahren. Begleitbuch zur Ausstellung: Eiszeitjäger – Leben im Paradies: Europa vor 15.000 Jahren. LVR-Landesmuseum Bonn (Bonn), 44-61, 2014.

BAALES 2003

M. Baales, Vulkanismus und Archäologie des Eiszeitalters am Mittelrhein. Die Forschungsergebnisse der letzten dreißig Jahre. Jahrb. RGZM 48, 2003 (2002) 43-80.

Baales 1999

M. Baales, Neue Untersuchungen zum Spätpaläolithikum des Neuwieder Beckens: Einige Aspekte des Federmesser-Fundplatzes Kettig, Kr. Mayen-Koblenz. In: E. Cziesla, T. Kersting & S. Pratsch (Hrsg.), Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 20. Festschr. für Bernhard Gramsch zum 65. Geburtstag (Weissbach 1999).

BAALES, JÖRIS & STREET 2002

M. Baales & O. Jöris & M. Street, Impact of Late Glacial Eruption of the Laacher See Volcano, Central Rhineland, Germany. Quaternary Research 58, 2002, 273-288.

BAALES & JÖRIS 2001

M. Baales & O. Jöris, Zwischen Nord und Süd. Ein spätallerödzeitlicher Rückenspitzen-Fundplatz bei Bad Breisig, Kreis Ahrweiler (Mittelrheinland, Rheinland-Pfalz). Die Kunde N.F. 52, 2001, 275-292.

BAALES, GRIMM & JÖRIS 2001

M. Baales, S. Grimm & O. Jöris, Hunters of the „Golden Mile“. The late Alleröd Federmessergruppen Site at Bad Breisig, Central Rheinland, Germany. *Notae Prehistoricae* 21, 2001, 67-72.

BARSCH, BILLWITZ & SCHOLZ 1984

H. Barsch, K. Billwitz & E. Scholz, *Labormethoden in der physischen Geographie* (Gotha 1984).

BENDIX & LAUER 2006

J. Bendix & W. Lauer, *Klimatologie* (Braunschweig 2006).

BLUME 1951

H. Blume, *Das Land Hessen und seine Landschaften. Forschungen zur deutschen Landeskunde* 55 (Remagen 1951).

BOGAARD 1983

P. v. d. Bogaard, *Die Eruption des Laacher See Vulkans* (Bochum: unpubl. Diss. 1983).

BOGAARD & SCHMINCKE 1985

P. v. d. Bogaard & H.-U. Schmincke, Laacher See Tephra: a widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America / Bulletin* 96, 1985, 1554-1571.

CLARK ET. AL. 2001

P. Clark, S. J. Marshall, G. K. C. Clarke, S. W. Hostetler, J. M. Licciardi, J. T. Telle, Freshwater Forcing of Abrupt Climate Change During the Last Glaciation. *Science* 293, 2001, 283-287.

DAMBECK 2005

R. Dambeck, *Beiträge zur spät- und postglazialen Fluß- und Landschaftsgeschichte im nördlichen Oberrheingraben* (Frankfurt am Main: unpubl. Diss. 2005).

DVWK 1992

DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (Hrsg.): *DVWK-Regel 127/1992 Geschiebemessungen* (Bonn 1992).

EUGEN & KLINGENSPORN 1969

Eugen, E. & H. Klingensporn, Hessen in Karte und Luftbild. In: Hess. Landesvermessungsamt (Hrsg.), Topographischer Atlas 1 (Neumünster 1969), 1-67.

FASSBINDER 2007

J. Fassbinder, Unter Acker und Wadi: Magnetometerprospektion in der Archäologie. In W. A. Günther (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie (Berlin 2007), 54-72.

FETZER ET. AL. 1995

K.-D. Fetzer, K. Larres, K.-J. Sabel, E.-D. Spies, M. Weidenfeller. In: L. Benda (Hrsg.): X. Hessen Rheinland-Pfalz, Saarland. Das Quartär Deutschlands (Berlin, Stuttgart 1995) 220-254.

FIEDLER 1995

L. Fiedler, Rüsselsheim 122. In: W. Schirmer (Hrsg.): Quarternary field trips in Central Europe, 1995, 880-881.

FIEDLER 1994

L. Fiedler, -alt- und mittelsteinzeitliche Funde in Hessen. Führer zur hessischen Vor- und Frühgeschichte² (Stuttgart 1994).

FRECHEN 1953

J. Frechen, Der Rheinische Bimsstein (Wittlich 1953).

FURTH 1994

H.-J. Furth, Ein spätpaläolithischer Fundplatz bei Mühlheim-Dietesheim, Kreis Offenbach. Fundb. Hess. 22/23, 1982/83 (1994), 1-67.

FURTH 1979

Ein spätpaläolithischer Fundplatz bei Mühlheim-Dietesheim, Kreis Offenbach. Arch. Korrb. 9, 1979, 261-266.

GAEDE 2007

P.-M. Gaede (Hrsg.), GEO Themenlexikon Archäologie. Hochkulturen, Grabungsstätten, Funde (Mannheim 2007).

GELHAUSEN, KEGLER & WENZEL 2004

F. Gelhausen, J. Kegler, S. Wenzel, Hütten oder Himmel? Latente Behausungsstrukturen im Spätpaläolithikum Mitteleuropas. Jahrb. RGZM 51/1, 2004, 1-24.

GRIMM 2004

S. B. Grimm, Ein spätallerödzeitlicher Fundplatz bei Bad Breisig, Kreis Ahrweiler. Ber. Z. Arch. Mittelrhein Mosel 9 = Beih. Trierer Zeitschr. 28 (Trier 2004) 11-32.

GROSS 1998

M. Gross, Faziesanalyse fluviatiler Sedimente (Obermiozän, Südsteiermark, Österreich). Mitt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum Graz 56/2, 1998, 131-164.

HAHN 2009

J. Hahn, Einfluss von Laacher See-Tephra auf Bodeneigenschaften in der Osteifel, im Koblenzer Raum und in Mittelhessen (Marburg: unpubl. Diplomarb. 2009).

HARRIS 1989

E.C. Harris, Principles of Archaeological Stratigraphy (London, San Diego 1989).

HARTGE & HORN 1992

K.-H. Hartge & R. Horn, Die physikalische Untersuchung von Böden (Stuttgart 1992).

HEINE 1971

K. Heine, Fossile Bodenbildung auf quartären Flußschottern an der Mittellahn und ihre Bedeutung für die Terrassenstratigraphie. Eiszeitalter u. Gegenwart 22, 1971, 17-22.

HEINE 1970

K. Heine, Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg. Eine geomorphologische Studie. Bonner geographische Abhandlungen 42, 1970, 195.

HESSENARCHÄOLOGIE 2015

hessenArchäologie, Außenstelle Marburg. Ortsakten Gemarkung „Ronhausen“ Fundstelle 3 (Marburg: unpubl. 2015).

HOFBAUER 1992

H. Hofbauer, Ein Spätpaläolithischer Fundplatz bei Rothenkirchen, Kreis Fulda (Hessen). Arch. Korbl. 22, 1992, 329-340.

HUCKRIEDE 1972

R. Huckriede, Der Untergrund des Deutschen Hauses und weitere geologische und urgeschichtliche Befunde in Marburg an der Lahn. Geologica et Palaeontologica 6, 1972b, 177-201.

HÖLTING & STENGEL-RUTKOWSKI 1964

B. Hölting & Stengel-Rutkowski, Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. Abh. Hess. L. – Amt Bodenforsch. 47, 1964, 1-37.

IKINGER 1998

E. M. Ikinge, Der endeiszeitliche Rückenspitzen-Kreis Mitteleuropas. GeoArcheoRhein 1 (Münster 1998).

INGENIEURBÜRO ZILLINGER 2004

Ingenieurbüro Zillinger (Hrsg.), Landschaftsplan. Integrierter Fachplan Naturschutz (Gießen 2004).

INGENIEURBÜRO ZILLINGER 2003

Ingenieurbüro Zillinger (Hrsg.), Landschaftsplan Gemeinde Weimar (Lahn) (Gießen 2003).

JACOBSHAGEN ET. AL. 2000

V. Jacobshagen et. al., Einführung in die geologischen Wissenschaften. UTB 2106 (Stuttgart 2000).

JANETSCHKE & WILMSEN 2013

N. Janetschke, M. Wilmsen, Magnetische Suszeptibilität als stratigraphisches Werkzeug – eine unterstützende Methode zur klassischen Profilaufnahme (Fallstudie: norddeutsche Oberkreide von Halle/Westfalen). Geologica Saxinica 59, 2013, 149-163.

JANKE 1973

H. Janke, Der Kreis Biedenkopf. In: Der Landesarchäologe von Hessen Wiesbaden (Hrsg.), Inventar der Vor- und Frühgeschichtlichen Denkmäler von Hessen (Bonn 1973).

JONES 1997

M. P. Jones, Methoden der Mineralogie (Stuttgart 1997).

JUNG & HOERNES 2000

S. Jung & S. Hoernes, The major- and trace-element and isotope (Sr, Nd, O) geochemistry of Cenozoic alkaline rift-type volcanic rocks from the Rhön area (central Germany): petrology, mantle source characteristics and implications for asthenosphere-lithosphere interactions. Journal of volcanology and geothermal research 99, 2000, 27-53.

JUVIGNE 1980

E. Juvigne, Vulkanische Schwerminerale in rezenten Böden Mitteleuropas. International Journal of Earth Sciences 69/3, 1980, 982-996.

JÖRIS & STREET 2014

O. Jöris & M. Street, Eine Welt im Wandel. In: M. Hegewisch (Hrsg.), Eiszeitjäger – Leben im Paradies: Europa vor 15.000 Jahren. Begleitbuch zur Ausstellung: Eiszeitjäger – Leben im Paradies: Europa vor 15.000 Jahren. LVR-Landesmuseum Bonn (Bonn), 12-27, 2014.

JÖRIS, STREET & SIROCKO 2010

O. Jöris, M. Street & F. Sirocko, Als der Norden plötzlich wärmer wurde. Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung: Von der Eiszeit bis ins 21. Jahrhundert, 2010, 93-99.

JÖRIS & WENINGER 2000b

O. Jöris & B. Weninger, 14C-Alterskalibration und die absolute Chronologie des Spätglazials. Arch. Korrbbl. 30, 2000, 461-471.

KOENIGSWALD 2002

W. v. Koenigswald, Lebendige Eiszeit: Klima und Tierwelt im Wandel (Darmstadt 2002).

KRIESEL 2001

O. Kriesel (Red.), Fundchronik für die Jahre 1991 bis 1995. Fund. Hess. 36, 1996 (2001) 1-643.

KÖHN 1929

M. Köhn, Korngrößenanalyse mittels Pipettenanalyse. Tonindustrie-Zeitung 53, 1929, 729-731.

LANG 1955

H.D. Lang, Zur Flußgeschichte der Lahn. Ergebnisse geröllanalytischer Untersuchungen in der Umgebung von Marburg a. d. Lahn. (Marburg: unpubl. Inaug. Diss. 1955).

LANG 1954

H. D. Lang, Ein Alleröd-Profil mit eingelagertem Laacher-See-Tuff bei Marburg/Lahn. N. Jb. Geol. Paläont. 8, 1954, 362-372.

LATIF 2009

M. Latif, Klimawandel und Klimadynamik. UTB 3178 (Stuttgart 2009).

LESER 1977

H. Leser, Feld- und Labormethoden der Geomorphologie (Berlin/New York 1977).

LIEDTKE & MARCINEK 2002

H. Liedtke & J. Marcinek (Hrsg.), Physische Geographie Deutschlands (Gotha, Stuttgart 2002).

LIPPS 1985

S. Lipps, Relief- und Sedimententwicklung an der Mittellahn. Marburger Geogr. Schriften 98, 1985, 93.

LOEW 2006

S. Loew, Rüsselsheim 122 und die Federmessergruppen am Unteren Main (Köln: Diss. 2006).

LUND 1993

M. Lund, Vorschäfte für Kerbspitzen der Hamburger Kultur. Arch. Korrbbl. 23, 1993, 405-411.

MANIAK 1992

U. MANIAK, Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure² (Berlin 1992).

MESZNER 2008

S. Meszner, Löss in Sachsen. Neue Untersuchungen zur Stratigraphie der weichselzeitlichen Löss in der Region um Lommatzsch (Dresden: unpubl. Diplomarb. 2008).

MIALL 1985

A. D. Miall, Architektural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.* 22, 1985, 261-308.

MUNSELL 2000

Munsell® Color, Munsell Soil Color Charts. Gretagmacbeth (New Windsor 2000).

MÄCKEL 1969

R. Mäkel, Untersuchungen zur jungquartären Flußgeschichte der Lahn in der Gießener Talweitung. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 20, 1969, 138-174.

MÜCKENHAUSEN 1993

E. Mückenhausen, Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen (Frankfurt/Main 1993).

MÜLLER 1984

K.-H. Müller, Geographische Grundlagen Hessens. In: F. Schwind (Hrsg.), *Geschichtlicher Atlas von Hessen* (Marburg 1984), 1-17.

OKRUSCH & MATTHES 2009

M. Okrusch & S. Matthes, *Mineralogie: Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*⁹ (Berlin 2009).

PARK & SCHMINCKE 2009

C. Park & H.-U. Schmincke, *Apokalypse in Rheintal*. *Spektrum der Wissenschaft* 2009, 78-87.

PLETSCH 1991

A. Pletsch, Geographische Strukturen Mittel Hessens. In: Historische Kommission der RP Gießen (Hrsg.): *Mittelhessen aus Vergangenheit und Gegenwart* (Gießen 1991).

POETSCH 1975

T. Poetsch, Untersuchungen von bodenbildenden Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung ihrer vulkanischen Komponente. *Giessener Geologische Schriften* 4 (Gießen 1975).

POSSELT & ZICKGRAF 2013

Posselt & Zickraf Prospektionen GBR, PZP Abschlussbericht. Archäologisch-geophysikalische Prospektion in Niederwald, Stadt Kirchhain, Landkreis Marburg-Biedenkopf (Marburg: unpubl. 2013).

RIEDE 2012

F. Riede, Tephrochronologische Nachuntersuchungen am endpaläolithischen Fundplatz Rothenkirchen, Kreis Fulda. Führte der Ausbruch des Laacher See-Vulkans (10966 v. Chr.) zu einer anhaltenden Siedlungslücke in Hessen? *Jahrb. nass. Ver. Naturkde.* 133, 2012, 47-68.

RITTWEGER 1997

H. Rittweger, Spätquartäre Sedimente im Amöneburger Becken. *Archive der Umweltgeschichte einer mittelhessischen Altsiedellandschaft. Materealien zur Vor- und Frühgeschichte Hessens 20* (Wiesbaden 1997).

ROTHE 2006

P. Rothe, *Die Geologie Deutschlands* (Darmstadt 2006).

ROWELL 1997

D. L. Rowell, *Bodenkunde* (Berlin 1997).

SABEL 2005

K.-J. Sabel, Die Bodenlandschaften Hessens. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 105, 2005, 21-26.

SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002

F. Scheffer & P. Schachtschabel, *Lehrbuch der Bodenkunde* (Berlin 2002).

SCHMIDT & SCHWITALLA 1992

I. Schmidt & G. Schwitalla (Red.), *Fundchronik für die Jahre 1975 bis 1980. Fund. Hess.* 21, 1981 (1992) 1-277.

SCHIRMER 1998

U. Schirmer, Spätglaziale Vegetationsgeschichte an der Lahn. *GeoArchaeRhein* 2 (Münster 1998).

SCHMINCKE 2010

H.-U. Schmincke, Vulkanismus³ (Darmstadt 2010).

SCHMINCKE 2000

H.-U. Schmincke, Vulkanismus (Darmstadt 2000).

SCHMINCKE ET. AL. 1999

H.-U. Schmincke & C. Park & E. Harms, Evolution and environmental impacts of the eruption of Laacher See Volcano (Germany) 12,900 a BP, Quaternary International 61, 1999, 61-72.

SCHUMACHER & SCHMINCKE 1990

R. Schumacher & H.-U. Schmincke, The lateral facies of ignimbrites at Laacher See volcano, Bulletin of Volcanology 52, 1990, 271-285.

SCHÄFER 2005

A. Schäfer, Klastische Sedimente. Fazies und Sedimentstratigraphie (München 2005).

SCHÖNHALS 1954

E. Schönhals, Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 2 (Wiesbaden 1954).

SEMMELE 2003

A. Semmel, Der Lacher Bimstuff als Zeitmarke der Landschaftsentwicklung in der Wiesbadener Umgebung. Jahrbuch des nassauischen Vereins für Naturkunde 124, 2003, 95-109.

STORKEBAUM 1989

W. Storkebaum (Hrsg.), Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West) 3. Wissenschaftliche Länderkunden 8 (Darmstadt 1989).

THOMPSON & OLDFIELD 1986

R. Thompson & F. Oldfield (ed.), Environmental magnetism (London 1986).

TUCKER 1996

M. E. Tucker (Hrsg.), Methoden der Sedimentologie (Stuttgart 1996).

TUCKER 1985

M. E. Tucker, Einführung in die Sedimentpetrologie (Stuttgart 1985).

Urz 1995

R. Urz, Jung-Quartär im Auenbereich der mittleren Lahn - Stratigraphische und paläontologische Untersuchungen zur Rekonstruktion vergangener Flusslandschaften (Marburg: Diss. unpubl. 1995).

URBANSKI 2003

N.A. Urbanski, Eruption dynamics during Plinian eruptions: Insights from the stratigraphic variations of deposits structures and pumice textures of the Minoan eruption (Santorini, Greece) and the Laacher See eruption (East Eifel, Germany) (Kiel 2003).

VANDENBERGHE 1995

J. Vandenberghe, Timescales, Climate and River Development. *Quatern. Sci. Rev.* 14, 1995c, 631-638.

VOLLMERS & WOLF 1969

H. Vollmers & G. Wolf, Untersuchungen von Sohlumbildungen im Bereich der Unterelbe. *Die Wasserwirtschaft* 10, 1969, 292-297.

WISCHKA 2012

J. Wischka, Sohlbetttexturbestimmung, -kartierung und -markierung von Wohra-Sedimenten zur Erfassung der Flusssediment-Dynamik unter dem Einfluss einer Fließgewässerrenaturierung (Marburg: unpubl. Diplomarb. 2012).

WÖRNER & SCHMINCKE 1984a

G. Wörner & H.-U. Schmincke, Mineralogical and Chemical Zonation of the Laacher See Tephra Sequence (East Eifel, W. Germany). *Journal of Petrology* 25/4, 1984, 805-835.

WÖRNER & SCHMINCKE 1984b

G. Wörner & H.-U. Schmincke, Petrogenesis of the zoned Laacher See Tephra. *Journal of Petrology* 25/4, 1984, 836-851.

ZEPP 2004

H. Zepp, Geomorphologie: Eine Einführung³ UTB 2164 (Paderborn, München, Wien, Zürich 2004).

Kartenwerke

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1999): Topographische Karte. Blatt 5018 Wetter. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1979): Topographische Karte. Blatt 5019 Gemünden (Wohra). Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1999): Topographische Karte. Blatt 5117 Buchenau. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1998): Topographische Karte. Blatt 5118 Marburg. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1999): Topographische Karte. Blatt 5119 Kirchhain. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1979): Topographische Karte. Blatt 5120 Neustadt. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1998): Topographische Karte. Blatt 5218 Niederwalgern. Maßstab 1:25.000. Wiesbaden.

MARBURGER GEOGRAPHISCHE GESELLSCHAFT E.V. (Hrsg.) (1990): Geologische Karte von Marburg und Umgebung. Maßstab 1:50.000. Marburg.

Internetquellen

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE 2015

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Verwaltungsgebiete 1:250.000 – Stand 01.01.2015 (2015). <

http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=5&gdz_anz_zeile=1&gdz_unt_zeile=14&gdz_user_id=0 [Stand 15. September 2015].

CGIAR 2015

CGIAR – Consortium of Spatial Information. SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1 (2015). <<http://www.cgiar-csi.org/>> [Stand 15. September 2015].

CLIMATE-DATA 2015

Climate-data/Ambiweb GmbH. Klima. Argenstein (2015). <<http://de.climate-data.org/location/858097/>> [Stand 23. Oktober 2015].

GEOFABRIK 2015

Geofabrik. Hessen – Fließgewässer in Hessen (2015). <<http://www.geofabrik.de>> [Stand: 15. September 2015].

GOOGLE 2015

Google, Google Maps (2015). <<http://maps-for-free.com/>> [Stand: 15. September 2015].

KLAUSING 1988

O. Klausning, Die Naturräume Hessens und ihre Haupteinheiten. In: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1988). <<http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/naturschutz/naturraum/texte/ngl-vw.htm>> [Stand: 15. September 2015].

PIRRUNG 2013

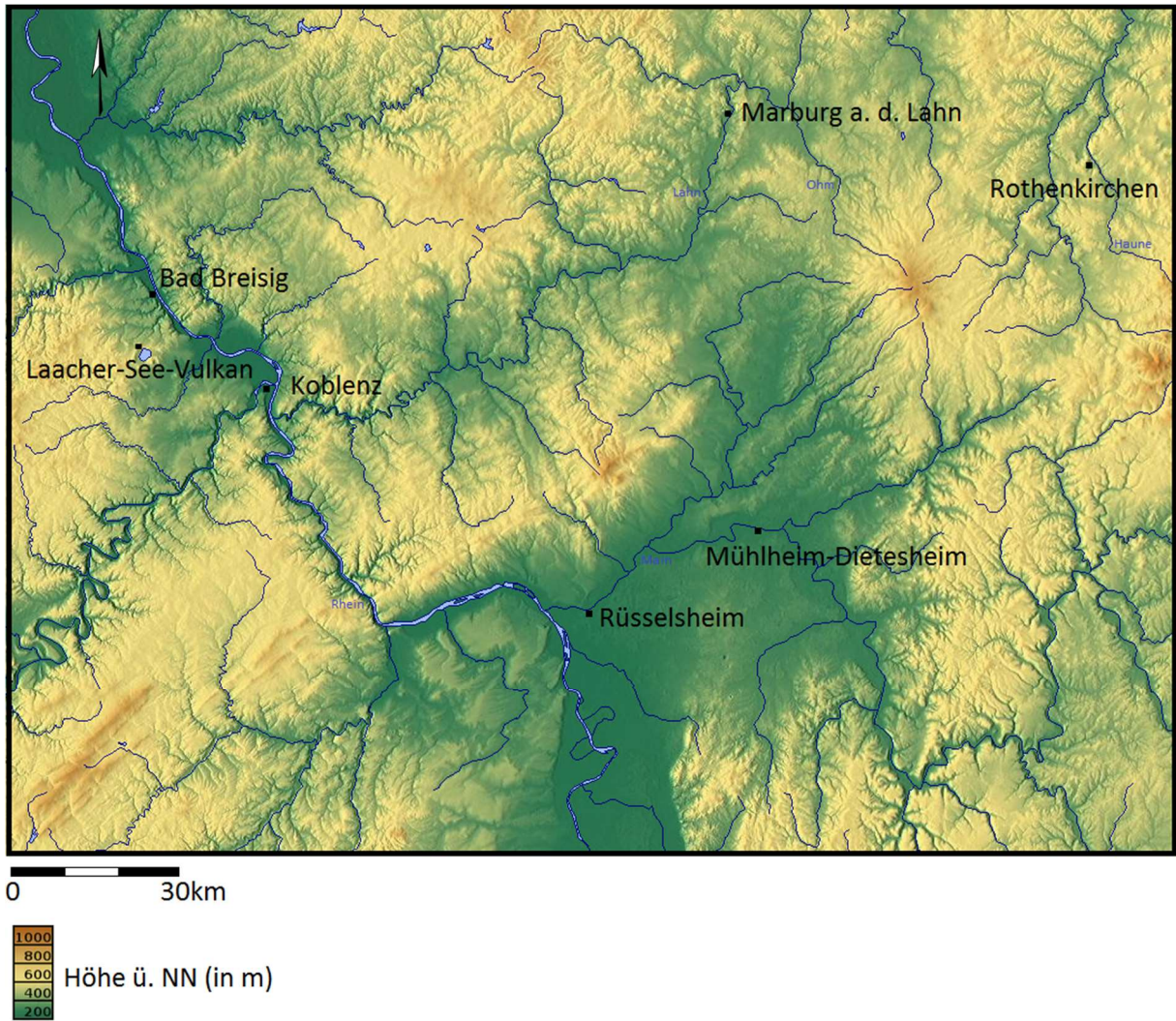
M. Pirrung, Forschungsprojekt FluviMag: Fluvialer Transport von Magnetomineralen (2013). http://www.angeo.uni-jena.de/cms/images/stories/projekte/FluviMag/fm-3_magnetische_suszeptibilit.pdf [Stand: 26.10.2015].

DIN-Normen (Deutsches Institut für Normung)

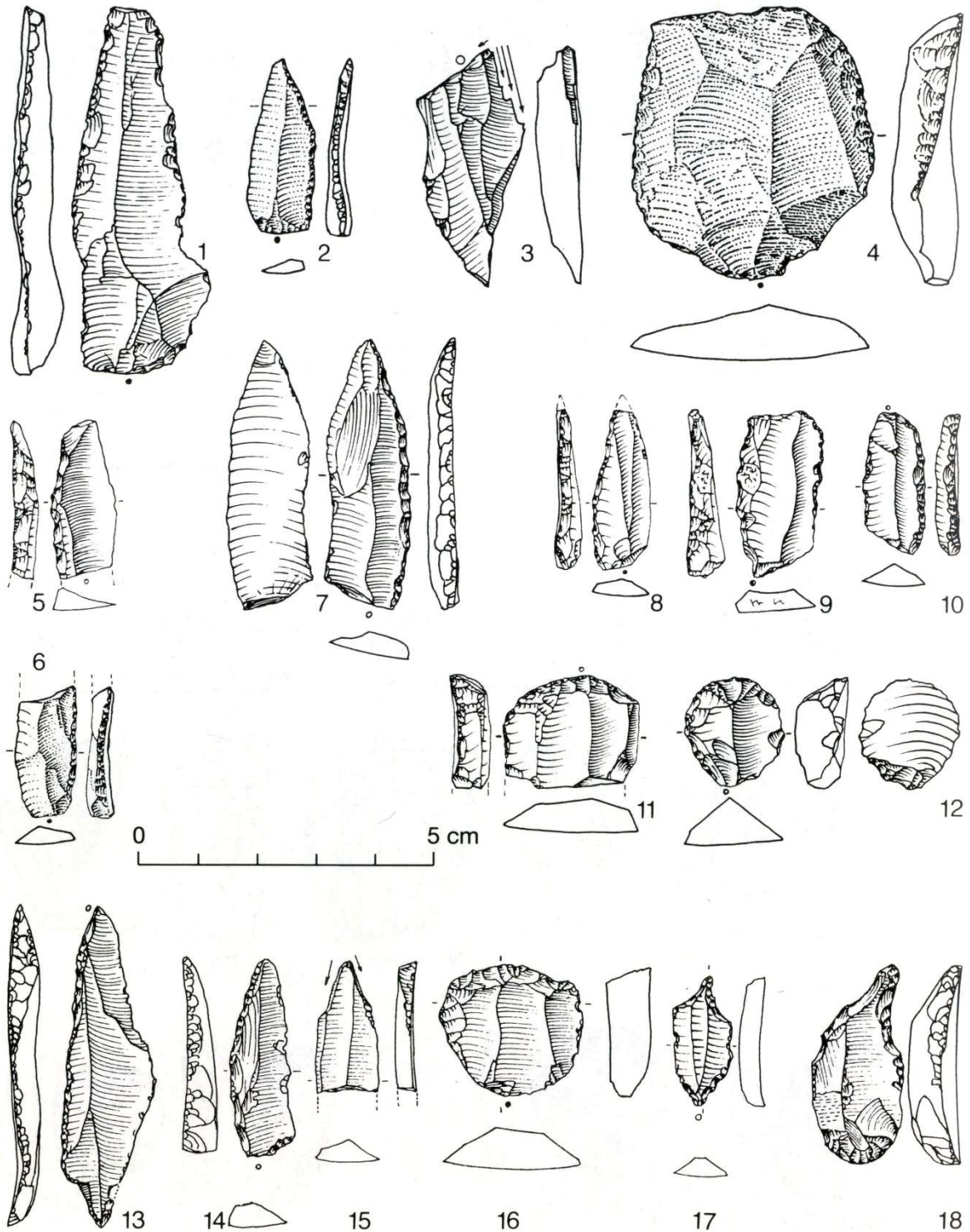
DIN ISO 11277 (2002): Bodenbeschaffenheit: Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden – Verfahren mittels Sieben und Sedimentation.

DIN 19684-3 (2000): Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Chemische Laboruntersuchungen – Teil 3: Bestimmung des Glühverlustes und des Glührückstands.

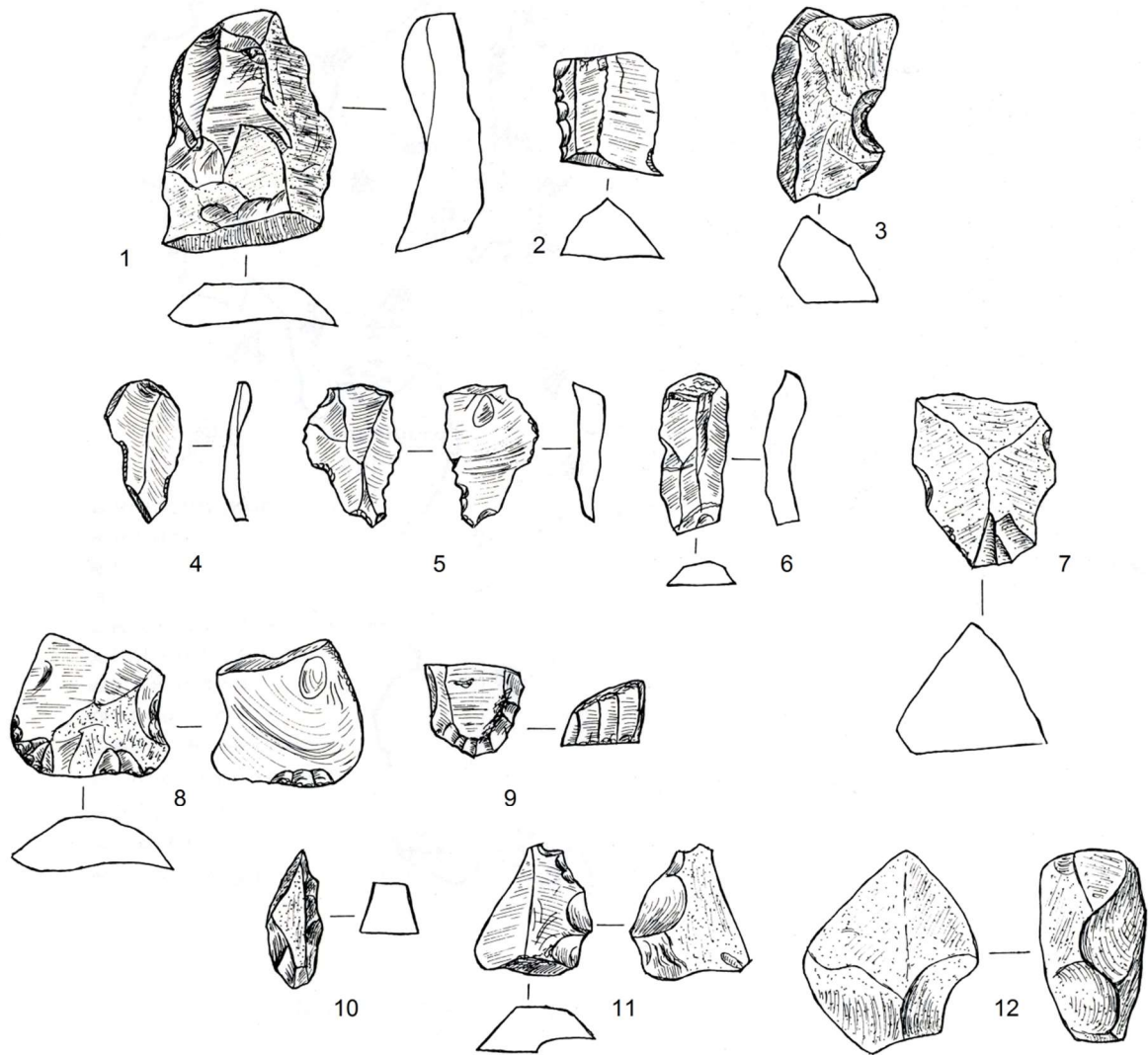
Anhang



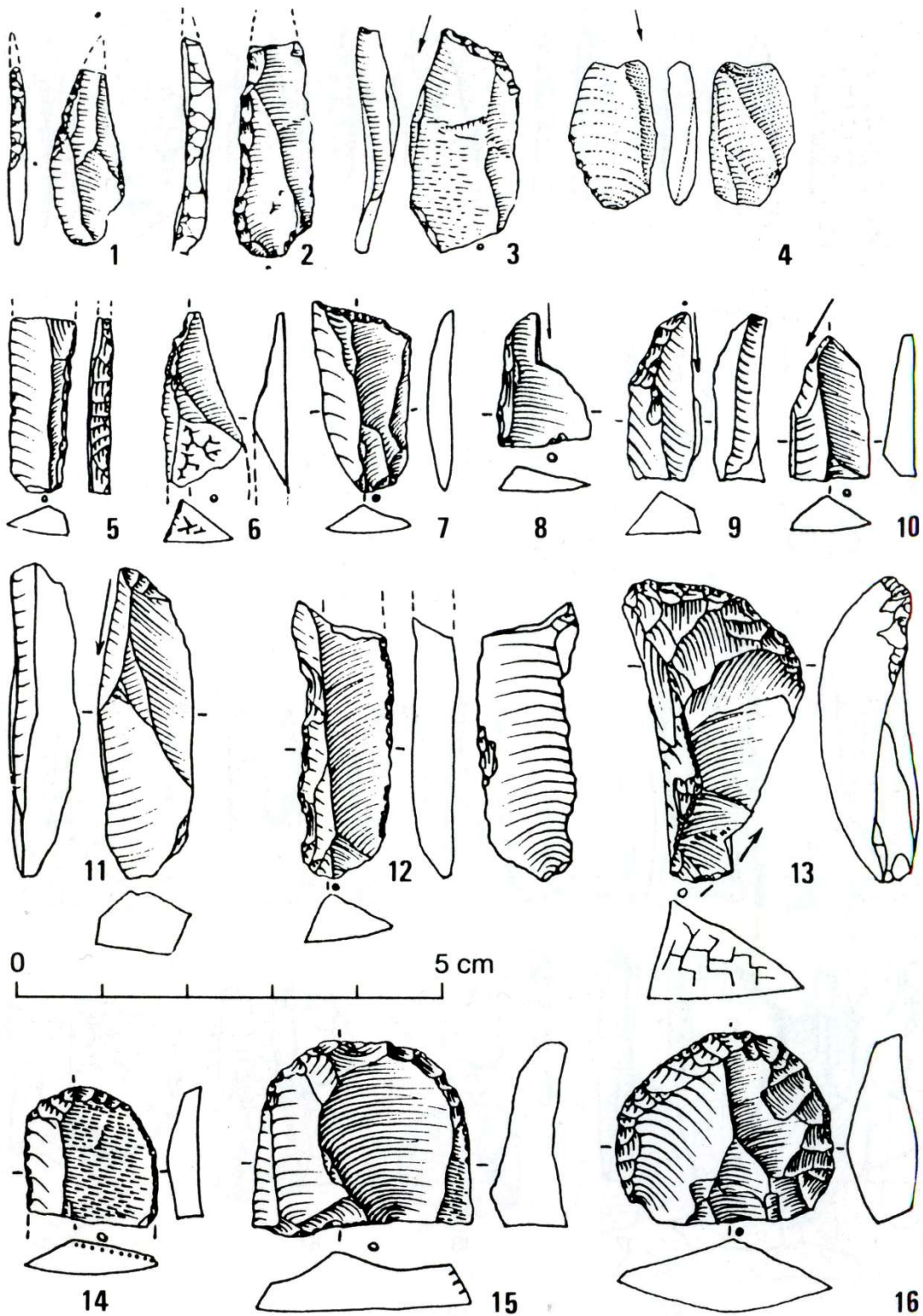
Anhang 1: Übersichtskarte der im Text erwähnten Fundorte (**Quelle:** verändert nach www.maps-for-free.com 2015)



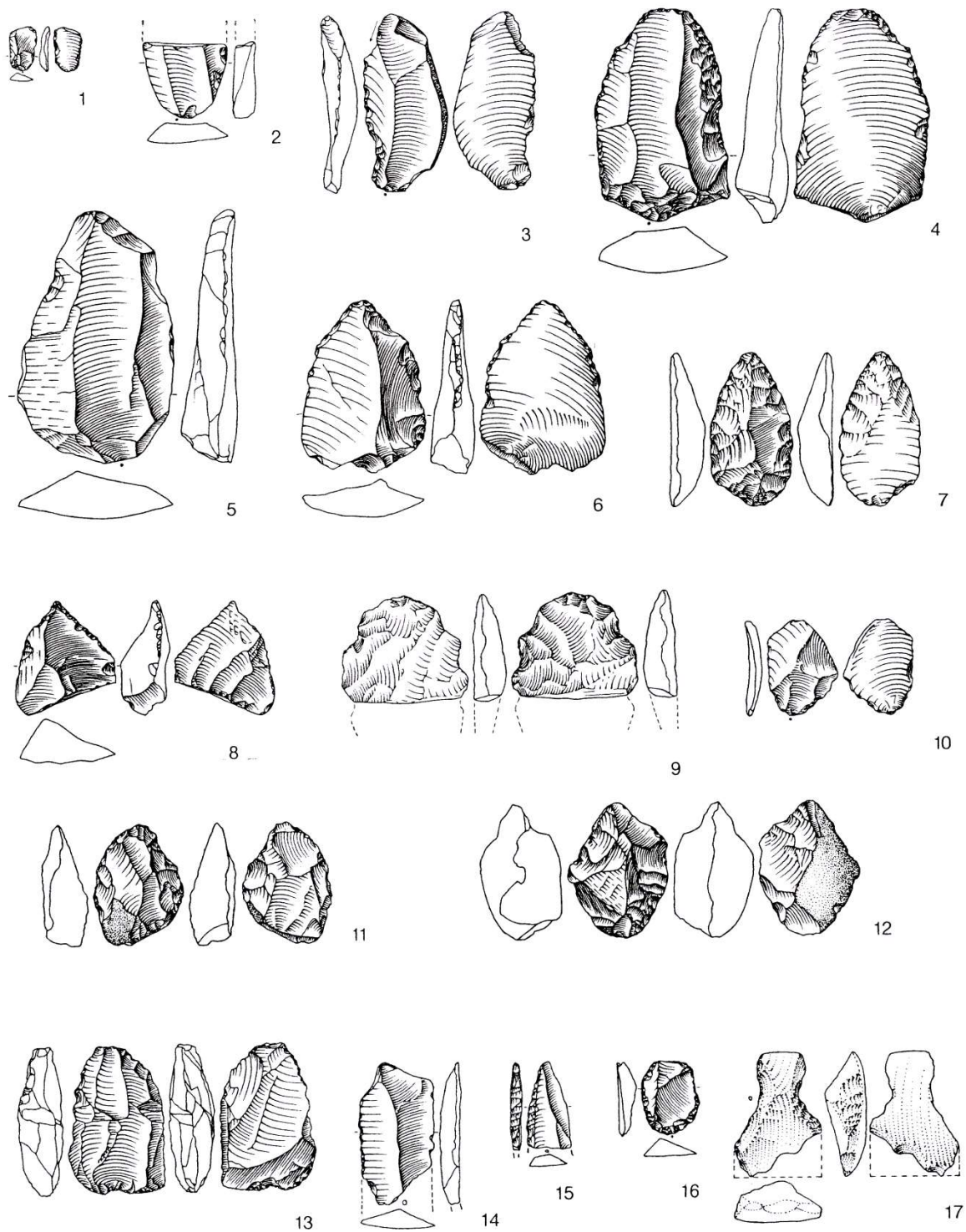
Anhang 2: Endpaläolithikum verschiedener Fundstellen in Hessen. 1-4 Mühlheim Dietesheim, 5-6 Rhina (Haunetal), 7 Anzefahr (Kirchhain), 8-12 Bodes (Hauneck), 13-18 Külte (Volkmarsen). 1 retuschierte Klinge, 2.5-8.13-14 Rückenspitzen, 9-10 Rückenmesserchen, 4.11-12.16 Kratzer, 3.15 Stichel, 17 Bohrer, 18 Zinken. (Quelle: verändert nach Fiedler 1994, S. 278)



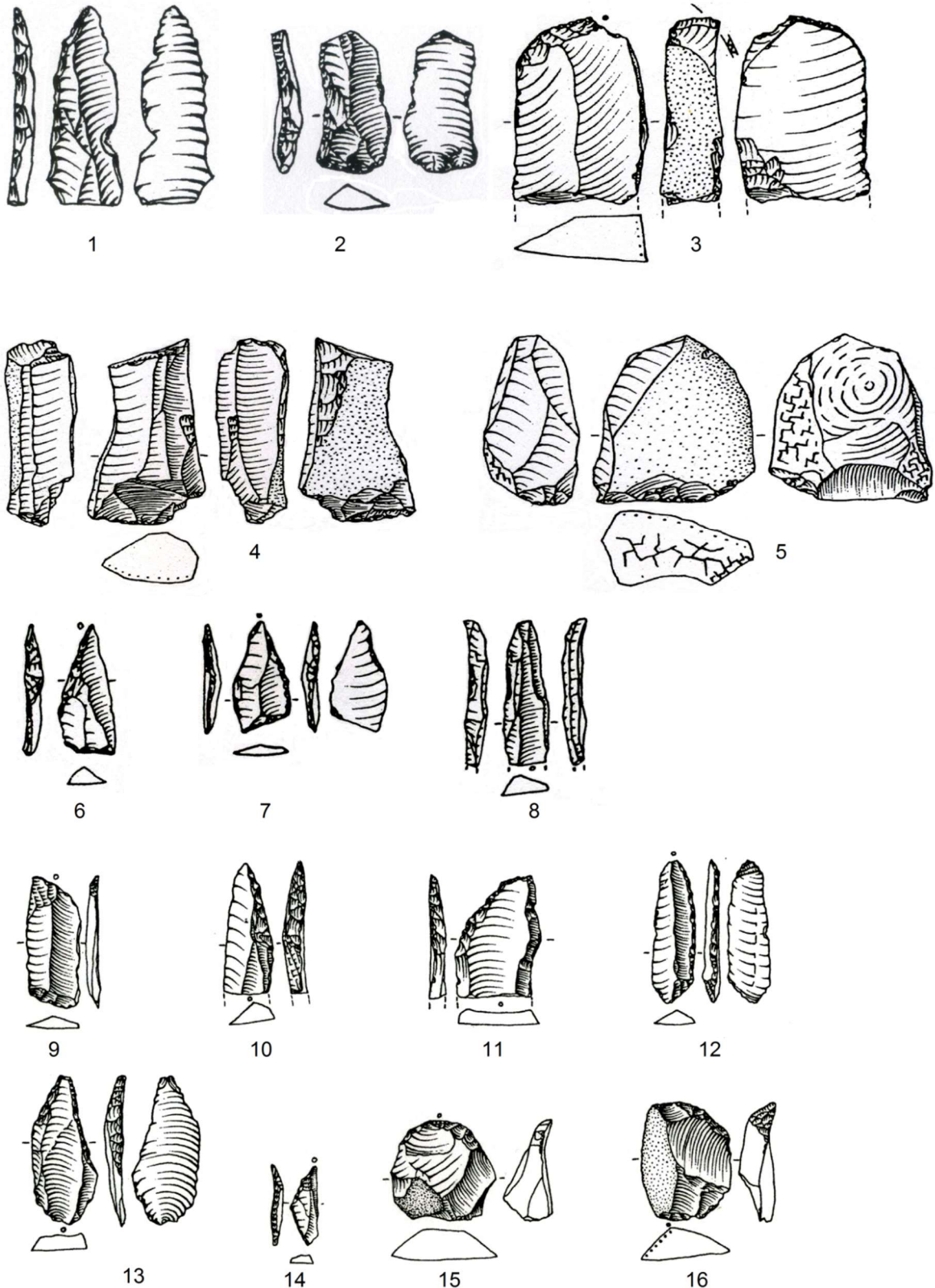
Anhang 3: Friedensdorf am „Böttig“. 1: Schaber mit retuschierten Längskanten; 2: Abschlaggerät mit feinretuschierter Spitze; 3: Hohlschaber; 4-6: Klingen; 7 Schaber; 8: breiter Schaber; 9,10: Schaber mit dorsal und ventral ebene Flächen und stark retuschiertem Rand; 11,12: Geräte aus Quarzit M. 1:2 (**Quelle:** verändert nach Janke 1973, o.S. Tafel 9)



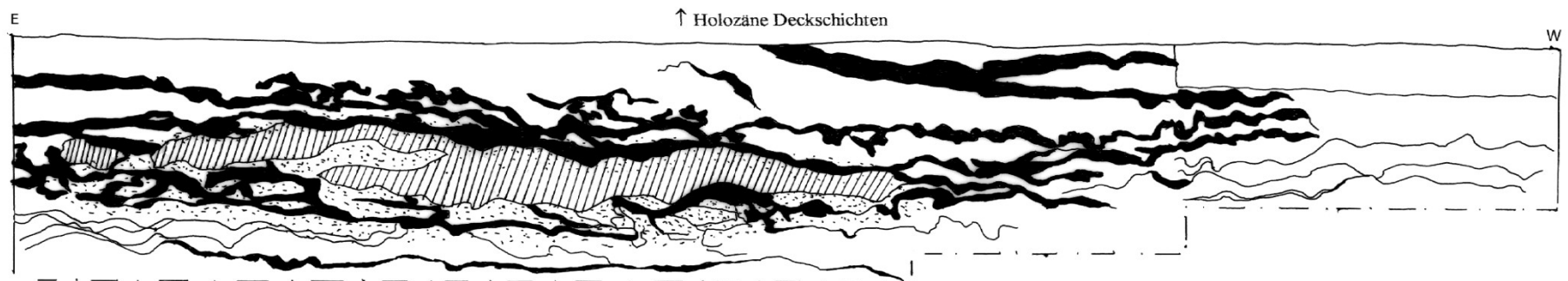
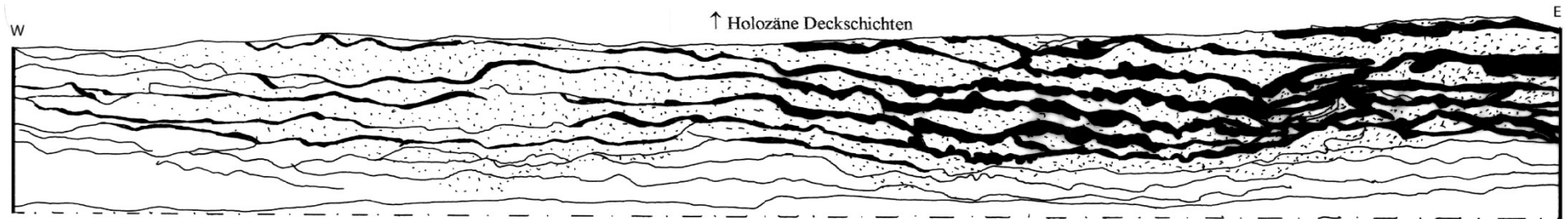
Anhang 4: Endpaläolithikum. 1-4 Neustadt „Am Judenfriedhof“, Rückenspitzen u. Stichel, 5-16 Oberrospehe (Wetter) „Eibenhardt“, Rückenmesser, Stichel u. Kratzer. (Quelle: verändert nach Fiedler 1994, S. 278)



Anhang 5: Cölbe-Bürgeln, Kr. Marburg-Biedenkopf, Kiesgrube „Am Roten Wasser“. Artefakte aus der Wende vom Mittel- zum Jungpaläolithikum (1-12, aus dem Spätpaläolithikum (13-16) und dem Mesolithikum (17). 1-2.4.7.16 Flint; 1.5-6.8-15 Kieselschiefer; 17 Quarzit. M. 1:2 (**Quelle:** verändert nach Kriesel 2001, S. 31)







Anhang 6: 1-8: Ronhausen; 1: Rückenspitze mit Schäftungskerbe; 2,8: Rückenmesserchen; 3-5: Kratzer; 6,7: Dreieckspitzen; 9-18: Rauschenberg; 9: Basisfragment einer Kerbschaftspitze; 10: Schrägendlamelle; 11: Rückenmesser; 12: große einfache Spitze; 13: beidkantig retuschierte Spitze; 14: gleichschenkliges Dreieck; 15,16: kurze Kratzer. 1.6-8 Kieselschiefer; 2-5 Flint; 9-14 Kieselschiefer. 15.16 Flint. M. 2:3 (**Quelle:** verändert nach Kriesel 2001, S. 35; hessenArchäologie 2015, Gemarkung Ronhausen, Fst. 3, Zeichnung: B. Kaletsch)



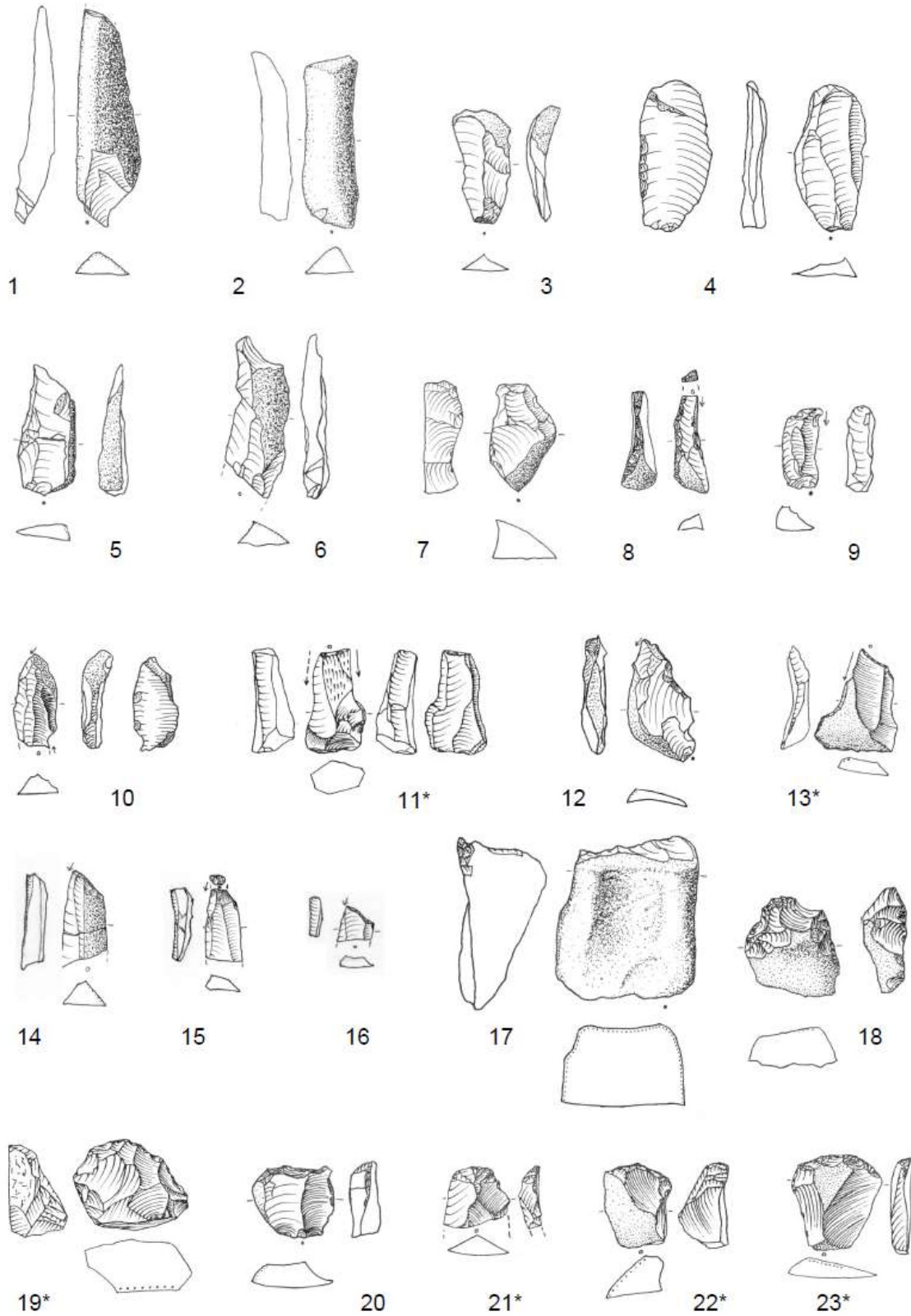
1 m

Legende :

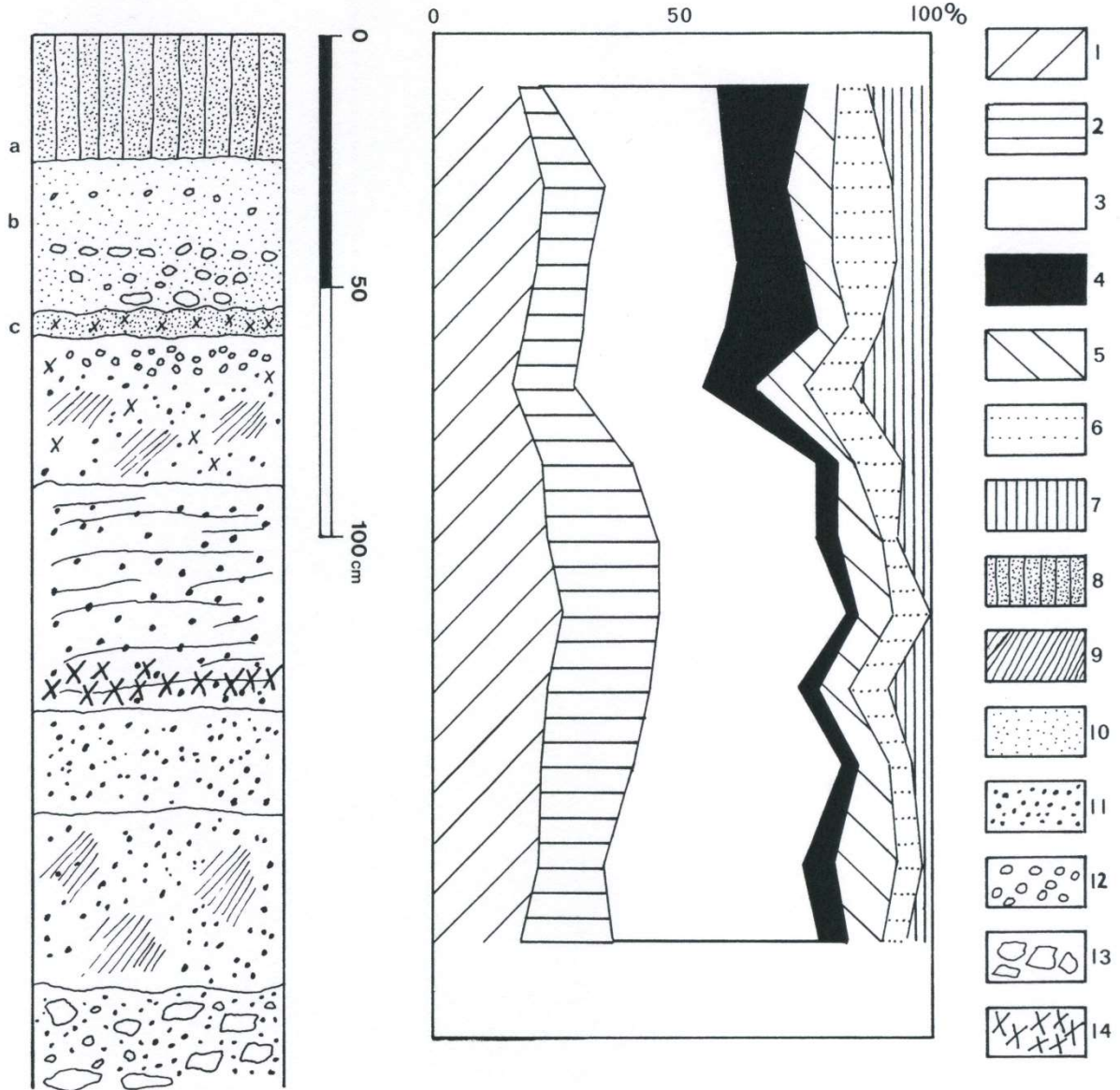
-  Sand
-  Lehm-Tuff-Horizont (LST)
-  Funde
-  Eisen-Lehm-Bänderung

122

Anhang 7: Die Profile von Rüsselsheim 122A (oben) und 122 B (unten). Die den Befunden aufliegenden, holozänen Deckschichten sind nicht dokumentiert.
 (Quelle: Loew 2006, Anhang o.S.)



Anhang 8: Rüsselsheim Fundplatz A: 1-2 Klingen an Geröllkante; 3-6 Klingen; 7 Kernscheibe; 8-16 Stichel; 17 kraterähnl. Form; 18-23 Kratzer. 1-23 Kieseliefer. M. 2:3 (Quelle: Loew 2006, S. o.S. Anhang Tafel 3)



a Humus
 b braungelber Mittelsand mit Steinstreueung

c toniger Sand mit Eisen-Mangan-Ausfällungen, Fundkonzentration

Signaturen

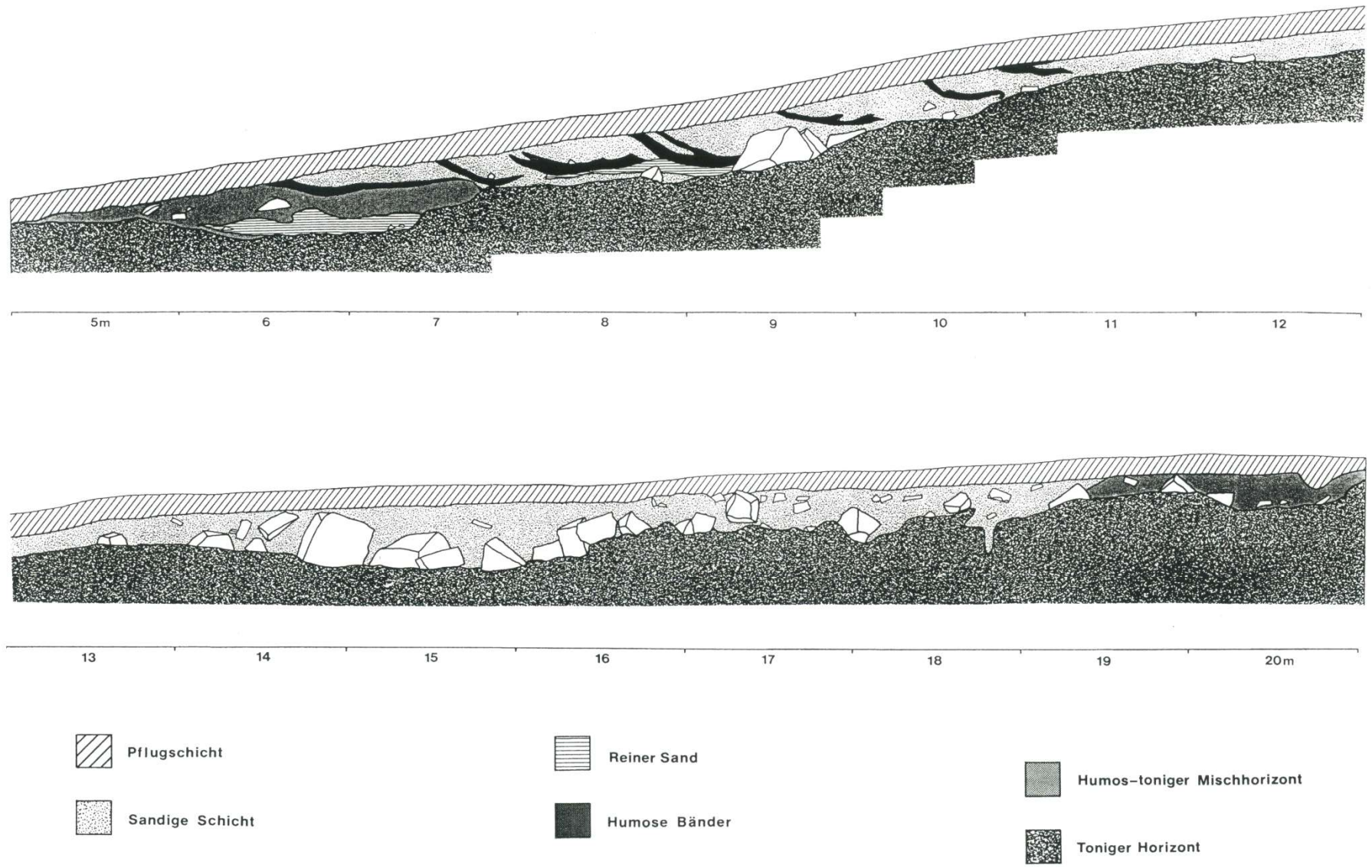
Schwermineraleien:

- 1 Granat
- 2 Hornblende
- 3 Epidotgruppe
- 4 Vulkanite (Pyroxen, braune Hornblende, Titanit)
- 5 Metamorphe
- 6 Turmalin und Rutilgruppe
- 7 Zirkon

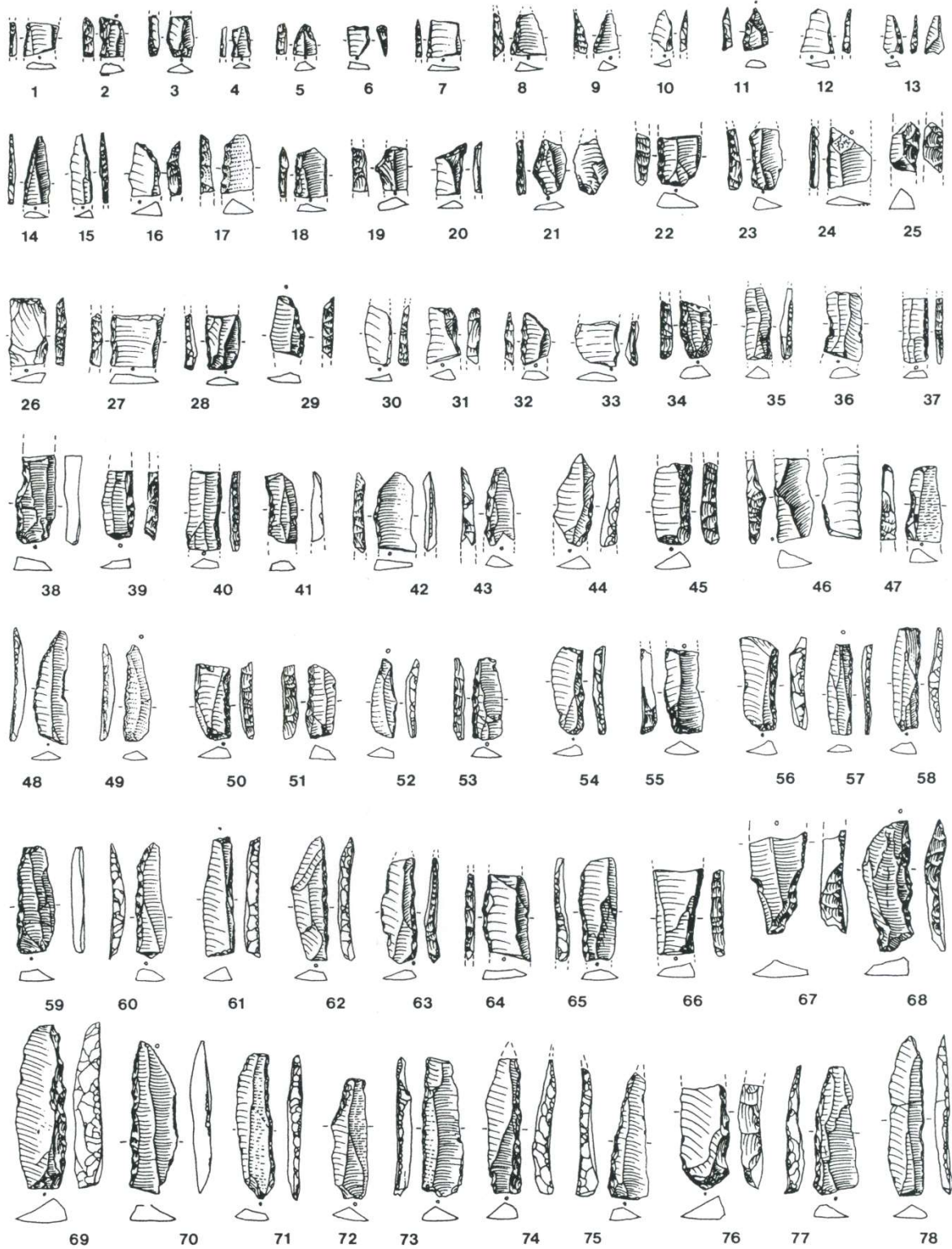
Profilaufbau:

- 8 Humus
- 9 Schluff-Feinsand
- 10 Mittelsand
- 11 Grobsand
- 12 Gerölle (Sandstein, Kieselschiefer, Quarz)
- 13 Grobschutt
- 14 Eisen-Mangan-Ausfällungen

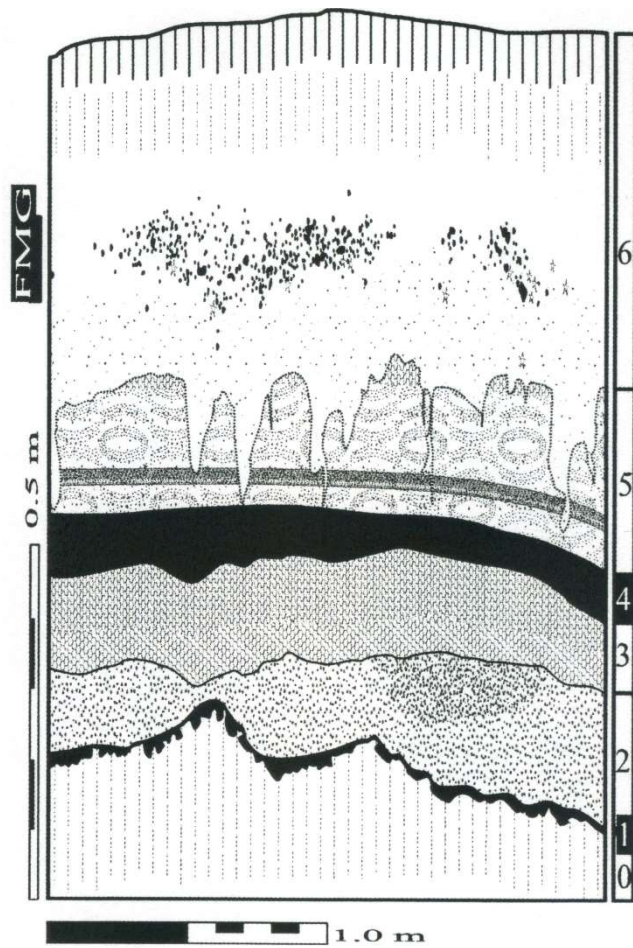
Anhang 9: Mühlheim-Dietesheim, Kr. Offenbach. Profil an der Feuerstelle (links) und Schwermineralanalyse (rechts) (Quelle: verändert nach Furth 1979, S. 262)



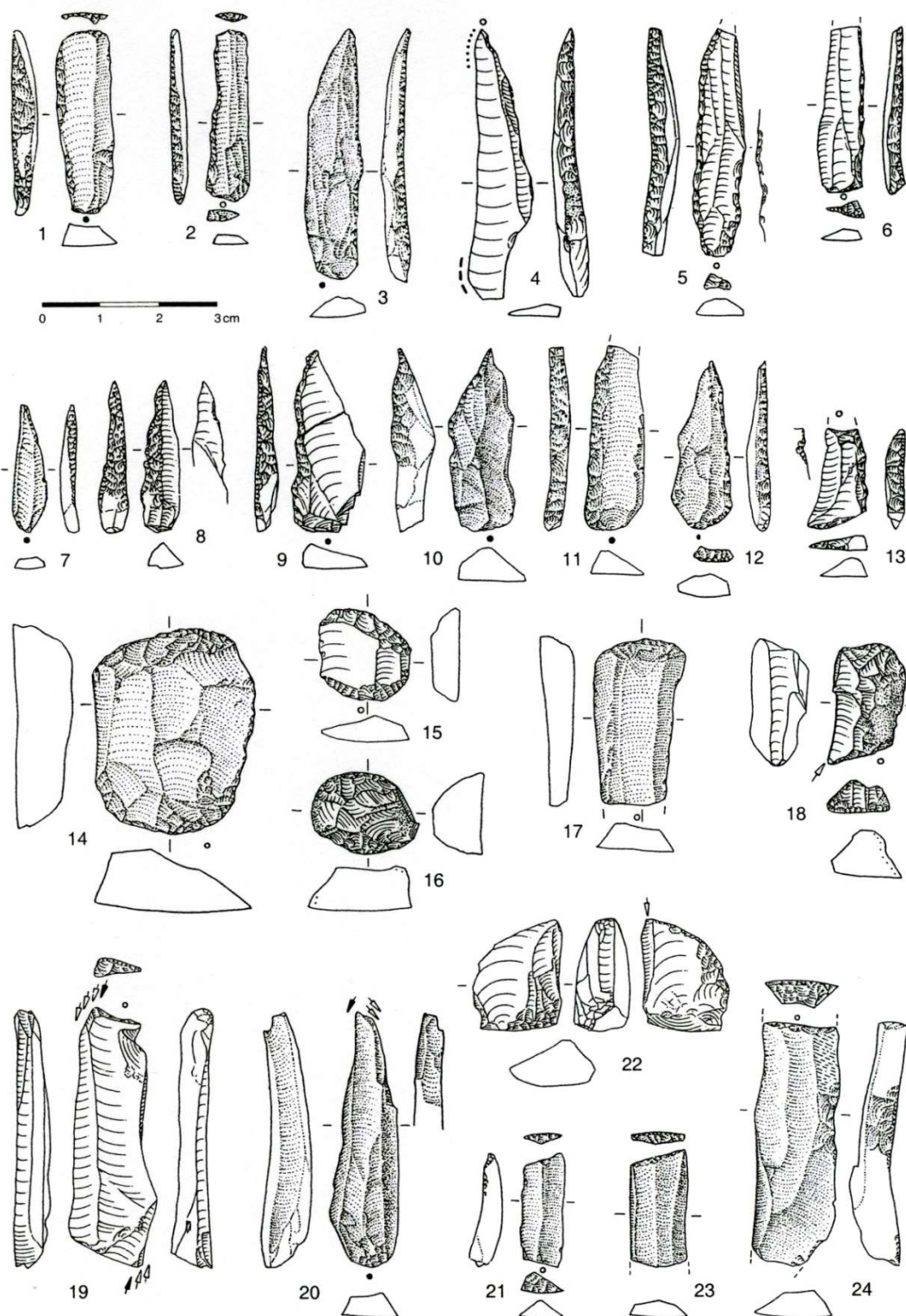
Anhang 10: Profil Rothenkirchen (Quelle: Hofbauer 1992, S. 331)



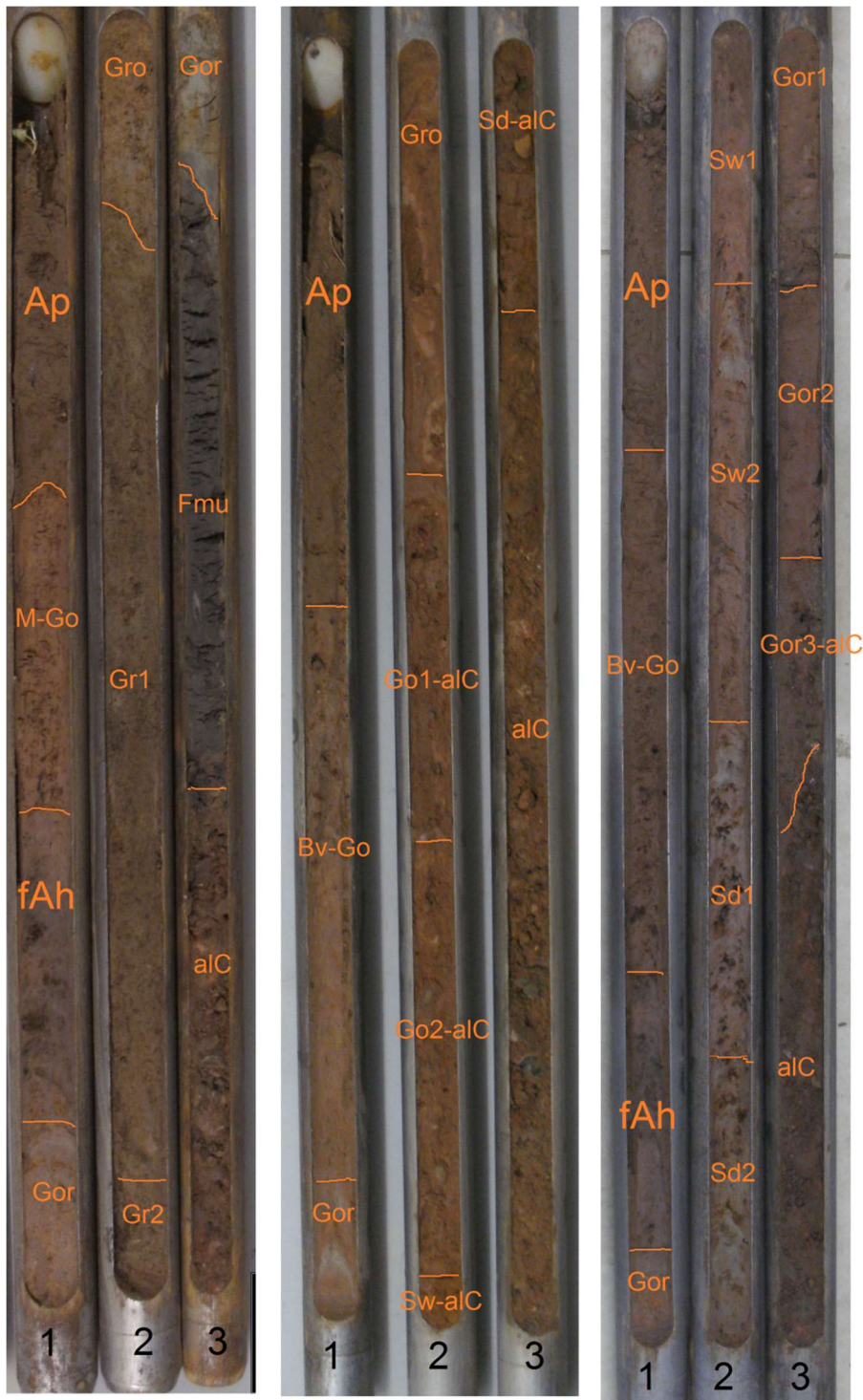
Anhang 11: Rothenkirchen. Rückenspitzen und -fragmente mit konvexer und gerader Retusche (1-78). M. 2:3 (Quelle: Hofbauer 1992, S. 334)



Anhang 12: Bad Breisig. Profil an der Fundstelle. 0 allerödzeitlicher Boden; 1-5 primäre und verlagerte LST Ablagerungen; 6 Hochflutablagerungen (**Quelle:** Grimm 2004, S. 13)



Anhang 13: Bad Breisig, Werkzeuge. 1: Rückenmesser mit einfacher Endretusche; 2: Rückenmesser mit doppelter Endretusche; 3,8,9: Spitzen mit geradem Rücken; 4,7,11: Federmesser; 5,6,12,13: Rückenspitzen mit retuschiertes Basis (Malaurie-Spitzen); 10: dickes, geknicktes Federmesser; 14-16: Doppelkratzer; 17: Klingenskratzer; 18: Kombinationswerkzeug aus Kratzer und Stichel an Endretusche; 19: Doppelstichel; 20: Mehrschlagstichel; 22: Stichel an (gebogener) Endretusche; 21: doppelte Endretusche; 23,24: Endretuschen. 1-3,7,10-12,14,17,20,21,23-24: Tertiärquarzit; 4-6,8,13,16,18,19: Maas-Schotterfeuerstein; 2: Eifeler Lokalfeuerstein; 22: schokobrauner Feuerstein; 15: Muschelkalkhornstein (**Quelle:** Grimm 2004, S. 20)



Anhang 14: Bohrungen 1 bis 3 aus Niederwald (Bohrung 1 links, 2 mittig, 3 rechts) (01.03.2014)

Anhang

Profil 1					Profil 2				
Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert	Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert (in SI)
0 - 35	7	5	4	5,33	0 - 43	5	4	5	4,67
35 - 45	5	4	3	4,00	43 - 63	2	2	1	1,67
45 - 58	5	4	4	4,33	63 - 83	2	2	1	1,67
58 - 68	6	7	5	6,00	83 - 100	1	1	1	1,00
68 - 80	6	7	8	7,00	100 - 133	2	2	1	1,67
80 - 90	4	4	3	3,67	133 - 160	2	2	2	2,00
90 - 100	21	21	21	21,00	160 - 190	1	1	1	1,00
100 - 113	40	39	37	38,67	190 - 200	1	3	3	2,33
113 - 133	104	100	106	103,33	200 - 221	7	5	4	5,33
133 - 152	90	80	85	85,00	221 - 250	1	1	2	1,33
152 - 172	118	119	96	111,00	250 - 300	0	1	2	1,00
172 - 190	95	121	200	138,67	Profil 3				
190 - 200	90	75	50	71,67	0 - 31	3	2	2	2,33
200 - 213	3	4	4	3,67	31 - 67	1	1	1	1,00
213 - 233	1	1	1	1,00	67 - 86	5	4	4	4,33
233 - 253	1	1	1	1,00	86 - 100	2	2	2	2,00
253 - 275	1	5	4	3,33	100 - 120	5	6	5	5,33
275 - 300	0,5	1	2	1,17	120 - 150	2	1	2	1,67
					150 - 173	1	1	0	0,67
					173 - 200	1	0,5	0,5	0,67
					200 - 220	1	2	0	1,00
					220 - 240	1	0	1	0,67
					240 - 300	1	0	1	0,67

Anhang 15: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 1 bis 3 aus Niederwald

Anhang

Profil 1					Profil 2				
Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert (in SI)	Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert (in SI)
0	9	9	10	9,33	0	10	10	10	10,00
14	19	23	19	20,33	5	35	34	35	34,67
19	13	12	19	14,67	10	8	10	10	9,33
24	11	12	19	14,00	15	11	13	13	12,33
29	22	23	23	22,67	20	15	20	23	19,33
34	23	24	25	24,00	25	20	15	11	15,33
39	14	15	14	14,33	30	12	7	6	8,33
44	23	24	24	23,67	35	13	10	10	11,00
49	9	8	7	8,00	40	13	9	8	10,00
54	11	8	9	9,33	45	16	16	15	15,67
59	18	21	22	20,33	50	26	23	21	23,33
64	58	55	58	57,00	55	23	20	20	21,00
69	40	36	38	38,00	60	16	17	18	17,00
74	48	48	47	47,67	65	15	15	16	15,33
79	55	57	59	57,00	70	33	34	35	34,00
84	65	66	68	66,33	75	20	18	21	19,67
89	73	74	73	73,33	80	22	25	20	22,33
94	91	92	91	91,33	85	16	15	15	15,33
99	54	58	69	60,33	90	11	10	9	10,00
103	49	49	51	49,67	95	15	12	12	13,00
109	24	25	24	24,33	100	19	16	17	17,33
114	54	55	54	54,33	105	25	21	22	22,67
119	125	130	135	130,00	110	20	22	20	20,67
124	150	136	145	143,67	115	16	17	19	17,33
129	65	67	65	65,67	120	17	18	15	16,67
134	34	35	34	34,33	125	10	9	7	8,67
139	157	156	151	154,67	130	7	6	6	6,33
144	190	181	184	185,00	135	8	7	7	7,33
149	181	182	181	181,33	140	3	4	3	3,33
155	54	55	50	53,00	145	14	16	18	16,00
159	127	124	129	126,67	150	8	8	9	8,33
164	84	87	83	84,67	155	6	7	6	6,33
169	61	64	63	62,67	160	4	4	3	3,67
174	30	24	26	26,67	165	5	6	6	5,67
179	9	11	7	9,00	170	7	7	6	6,67
184	33	34	36	34,33	175	12	14	14	13,33
189	130	123	107	120,00	180	22	23	35	26,67
194	31	34	36	33,67	185	25	22	19	22,00
199	51	52	51	51,33	190	19	20	22	20,33
220	289	287	300	292,00	195	10	10	8	9,33
215	265	270	280	271,67	200	105	118	117	113,33
225	163	168	170	167,00	205	140	142	141	141,00
230	170	171	169	170,00	210	51	52	54	52,33
250	100	120	110	110,00	215	21	22	23	22,00
Profil 1 ÄO					220	7	8	8	220
27	2	3	2	2,33	250	10	11	10	10,33
32	10	14	14	12,67	255	32	33	38	34,33
37	37	36	36	36,33	260	35	28	25	29,33
38	15	15	18	16,00	265	47	50	49	48,67
42	4	4	6	4,67	270	68	101	103	90,67
52	133	136	137	135,33	275	90	100	98	96,00

Anhang 16: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 1 und 2 aus Argenstein



Anhang 17: Profil 1 aus Argenstein (03. August 2014)



Anhang 18: Profil 2 aus Argenstein (05. September 2014)

Anhang

Profil 3					Profil 4				
Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert (in SI)	Tiefe (in cm)	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Mittelwert (in SI)
0	7	6	7	6,67	0	14	12	11	12,33
7	4	5	4	4,33	10	8	8	8	8,00
15	4	3	4	3,67	bis 80	4	5	6	5,00
40	14	20	14	16,00	85	2	2	1	1,67
50	22	23	22	22,33	90	4	3	2	3,00
60	2	1	0	1,00	95	33	35	36	34,67
65	8	5	5	6,00	100	25	26	27	26,00
70	7	8	6	7,00	105	58	59	61	59,33
75	8	8	9	8,33	110	21	22	24	22,33
80	22	25	21	22,67	115	30	31	32	31,00
85	11	13	13	12,33	120	46	46	47	46,33
90	11	11	11	11,00	125	36	37	38	37,00
95	6	7	7	6,67	130	15	15	15	15,00
100	5	6	5	5,33	135	50	51	52	51,00
105	15	21	23	19,67	140	37	37	41	38,33
110	21	16	16	17,67	bis 215	6	4	11	7,00
115	15	16	16	15,67					
120	54	55	53	54,00					
125	46	48	50	48,00					
130	87	83	86	85,33					
135	139	140	143	140,67					
140	80	83	84	82,33					
145	120	98	130	116,00					
150	82	100	105	95,67					
155	162	158	160	160,00					
160	83	86	82	83,67					
165	41	46	41	42,67					
170	58	52	51	53,67					
175	143	150	149	147,33					
180	202	225	218	215,00					
185	228	230	214	224,00					
190	218	220	222	220,00					
195	200	203	218	207,00					
200	152	157	130	146,33					
205	148	140	145	144,33					
210	60	40	50	50,00					
215	36	68	64	56,00					

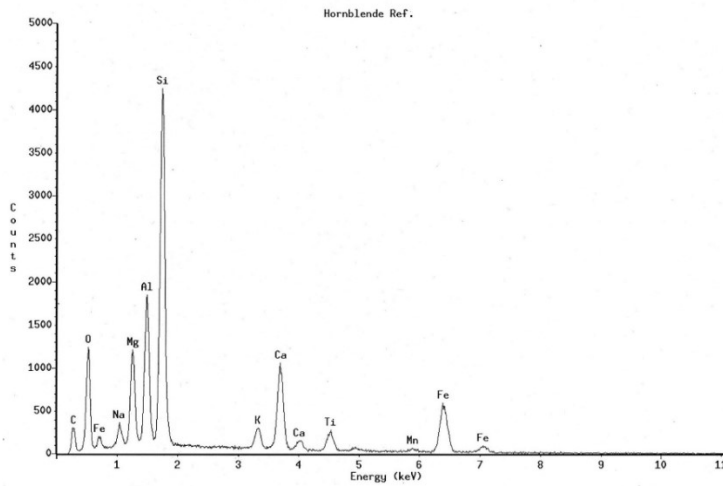
Anhang 19: Mittelwerte der magnetischen Suszeptibilität der Profile 3 und 4 aus Argenstein



Anhang 20: Profil 3 aus Argenstein (05. September 2014)



Anhang 21: Profil 4 aus Argenstein (05. September 2014)



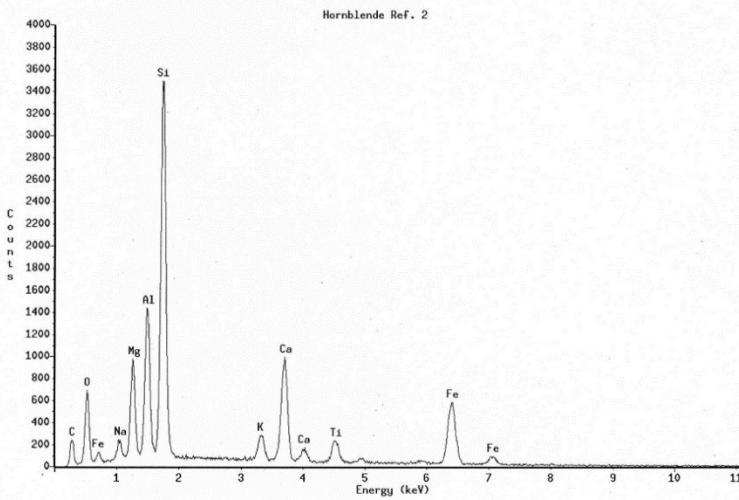
Wed Mar 18 14:08:55 2015

Hornblende Ref.

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-K' _Mn-K' _Mn-L' _Mn-L' _Fe-L' _Fe-L'
 Refit _Na-K' _Ti-K' _Ti-K' _Mn-L'
 Refit _C -K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 1.06 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio	ZRF	Atom %	Element	Wt %	Err.
	(calc.)				(1-Sigma)	
Ca-K	0.1072	1.174	10.07	12.58	+/-	0.23
Na-K	0.0137	2.816	5.37	3.85	+/-	0.16
Mg-K	0.0440	2.075	12.07	9.14	+/-	0.23
Al-K	0.0721	1.905	18.35	19.74	+/-	0.30
Si-K	0.1966	1.805	40.56	35.49	+/-	0.30
K-K	0.0224	1.247	2.29	2.79	+/-	0.16
Ti-K	0.0341	1.239	2.83	4.23	+/-	0.11
Mn-K	0.0073	1.198	0.51	0.87	+/-	0.11
Fe-K	0.1494	1.159	9.95	17.31	+/-	0.37
Total			100.00	100.00		



Wed Mar 18 14:29:44 2015

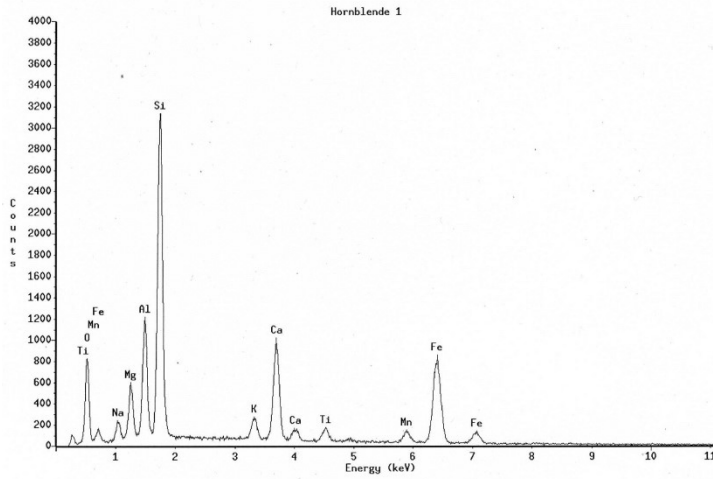
Hornblende Ref. 2

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-K' _Mn-K' _Mn-L' _Mn-L' _Fe-L' _Fe-L'
 Refit _Na-K' _K -K' _Ti-K' _Ti-K' _Mn-L'
 Refit _C -K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 0.96 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio	ZRF	Atom %	Element	Wt %	Err.
	(calc.)				(1-Sigma)	
Ca-K	0.1190	1.164	11.37	13.86	+/-	0.25
Na-K	0.0101	3.002	4.34	3.04	+/-	0.26
Mg-K	0.0388	2.151	11.28	8.34	+/-	0.23
Al-K	0.0663	1.927	15.56	12.77	+/-	0.31
Si-K	0.1890	1.793	39.67	33.90	+/-	0.31
K-K	0.0259	1.231	2.68	3.19	+/-	0.08
Ti-K	0.0363	1.236	3.08	4.49	+/-	0.12
Mn-K	0.0060	1.195	0.43	0.72	+/-	0.13
Fe-K	0.1704	1.156	11.59	19.70	+/-	0.43
Total			100.00	100.00		

Anhang 22: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden Ref. 1 und Ref. 2 aus der Eifel



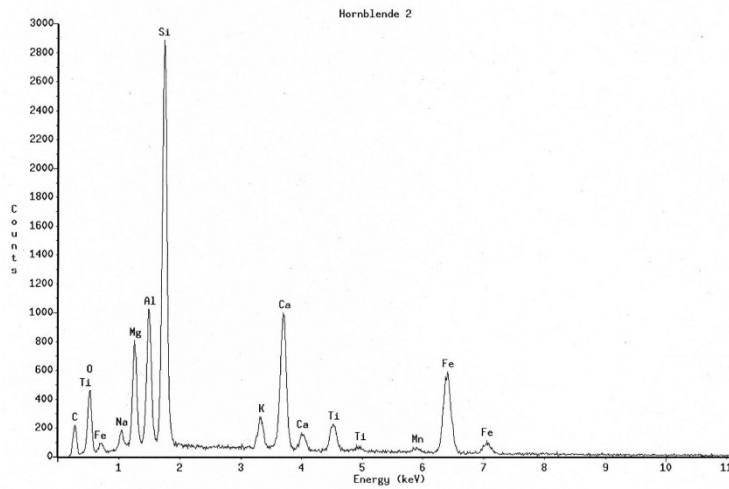
Wed Mar 18 14:13:11 2015

Hornblende 1

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-L' _Mn-L' _Fe-L' _Fe-L'
 Refit _Na-K' _K-K' _Ti-K' _Ti-K' _Mn-K' _Mn-L'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 1.12 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PRZ0 Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Ca-K	0.1144	1.140	11.27	13.04	+/-	0.24
Na-K	0.0107	3.522	5.65	3.75	+/-	0.28
Mg-K	0.0220	2.481	7.79	5.46	+/-	0.22
Al-K	0.0521	2.049	13.71	10.67	+/-	0.29
Si-K	0.1703	1.815	38.14	30.92	+/-	0.29
K-K	0.0223	1.208	2.39	2.70	+/-	0.08
Ti-K	0.0213	1.202	1.85	2.56	+/-	0.19
Mn-K	0.0259	1.172	1.91	3.03	+/-	0.29
Fe-K	0.2456	1.135	17.28	27.86	+/-	0.49
Total			100.00	100.00		



Wed Mar 18 14:14:22 2015

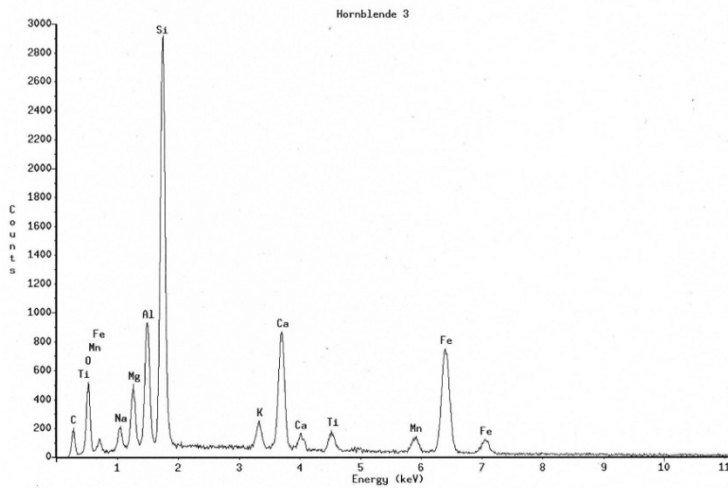
Hornblende 2

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-K' _Mn-K' _Mn-L' _Mn-L' _Fe-L' _Fe-L'
 Refit _C-K' _Na-K' _Ti-K' _Mn-L'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 0.82 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PRZ0 Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Ca-K	0.1401	1.145	13.59	16.04	+/-	0.29
Na-K	0.0079	3.274	3.81	2.58	+/-	0.28
Mg-K	0.0354	2.290	11.33	8.11	+/-	0.25
Al-K	0.0519	2.009	13.12	10.43	+/-	0.33
Si-K	0.1738	1.786	37.54	31.05	+/-	0.32
K-K	0.0249	1.206	2.61	3.00	+/-	0.19
Ti-K	0.0394	1.230	3.44	4.85	+/-	0.13
Mn-K	0.0096	1.191	0.70	1.14	+/-	0.15
Fe-K	0.1981	1.151	13.87	22.81	+/-	0.49
Total			100.00	100.00		

Anhang 23: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 1 und 2 aus Argenstein



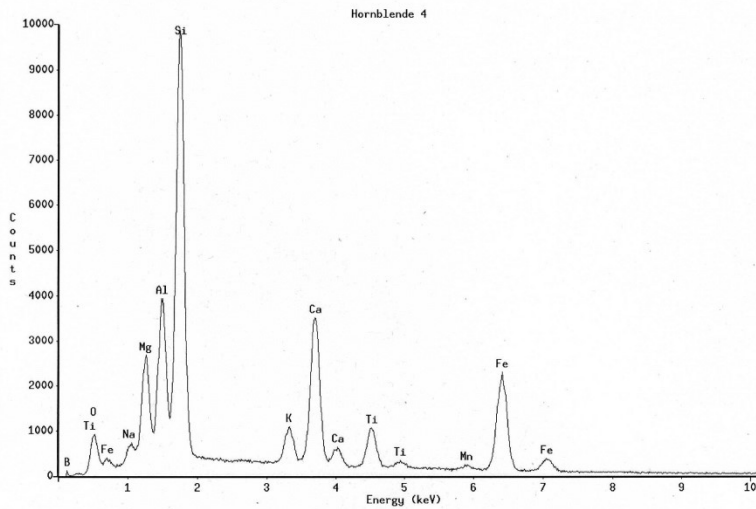
Wed Mar 18 14:26:42 2015

Hornblende 3

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-L' _Mn-L' _Fe-L' _Fe-L'
 Refit _Na-K' _K-K' _Ti-K' _Mn-L'
 Refit _C -K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 0.99 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Ca-K	0.1183	1.135	11.52	13.20	13.20	+/- 0.25
Na-K	0.0102	3.590	5.55	3.65	3.65	+/- 0.29
Mg-K	0.0201	2.516	7.27	5.05	5.05	+/- 0.23
Al-K	0.0478	2.058	12.76	9.85	9.85	+/- 0.30
Si-K	0.1716	1.800	38.46	30.30	30.30	+/- 0.30
K-K	0.0218	1.203	2.34	2.62	2.62	+/- 0.08
Ti-K	0.0253	1.199	2.21	3.03	3.03	+/- 0.11
Mn-K	0.0285	1.171	2.12	3.34	3.34	+/- 0.32
Fe-K	0.2503	1.133	17.76	28.37	28.37	+/- 0.53
Total			100.00	100.00		



Tue Apr 21 10:32:19 2015

Hornblende 4

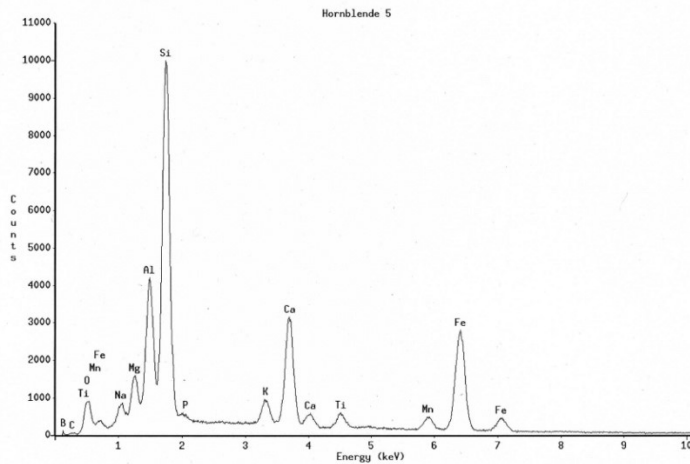
Refit _B -K' _B -K' _Ti-L' _Ti-L'
 Refit _Ti-L' _Fe-L' _Na-K' _Na-K' _Mg-K' _Al-K' _Ca-K' _Mn-K' _Mn-K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.64 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0089	3.171	4.15	2.84	2.84	+/- 0.11
Mg-K	0.0357	2.240	11.06	8.00	8.00	+/- 0.09
Al-K	0.0579	1.974	14.24	11.44	11.44	+/- 0.11
Si-K	0.1771	1.788	37.88	31.67	31.67	+/- 0.22
K-K	0.0269	1.212	2.80	3.26	3.26	+/- 0.11
Ca-K	0.1303	1.151	12.57	15.00	15.00	+/- 0.10
Ti-K	0.0464	1.231	4.00	5.71	5.71	+/- 0.13
Mn-K	0.0071	1.194	0.52	0.85	0.85	+/- 0.08
Fe-K	0.1841	1.153	12.77	21.24	21.24	+/- 0.27
Total			100.00	100.00		

Anhang 24: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 3 und 4 aus Argenstein

Anhang



Tue Apr 21 10:38:01 2015

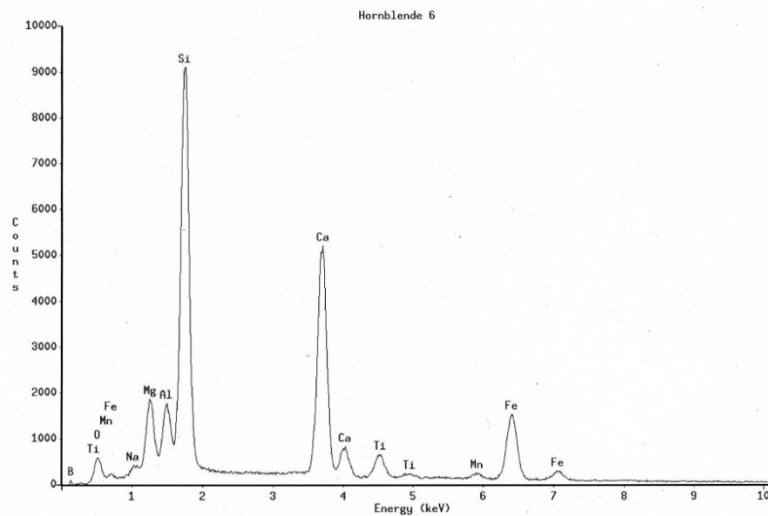
Hornblende 5

Refit_B-K'_B-K'_Ti-L'_Ti-L'_P-K'_P-K'
 Refit_Ti-L'_Fe-L'_Fe-L'_Na-K'_Ti-K'_Ti-K'
 Refit_Al-K'

Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.67 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0124	3.383	6.23	4.19	+/- 0.17	
Mg-K	0.0176	2.417	5.96	4.24	+/- 0.27	
Al-K	0.0647	1.972	16.13	12.76	+/- 0.16	
Si-K	0.1780	1.816	39.28	32.33	+/- 0.25	
K-K	0.0209	1.219	2.22	2.54	+/- 0.11	
Ca-K	0.1109	1.147	10.84	12.73	+/- 0.17	
Ti-K	0.0191	1.208	1.64	2.30	+/- 0.06	
Mn-K	0.0258	1.175	1.88	3.03	+/- 0.19	
Fe-K	0.2275	1.138	15.82	25.88	+/- 0.30	
Total			100.00	100.00		



Tue Apr 21 10:42:48 2015

Hornblende 6

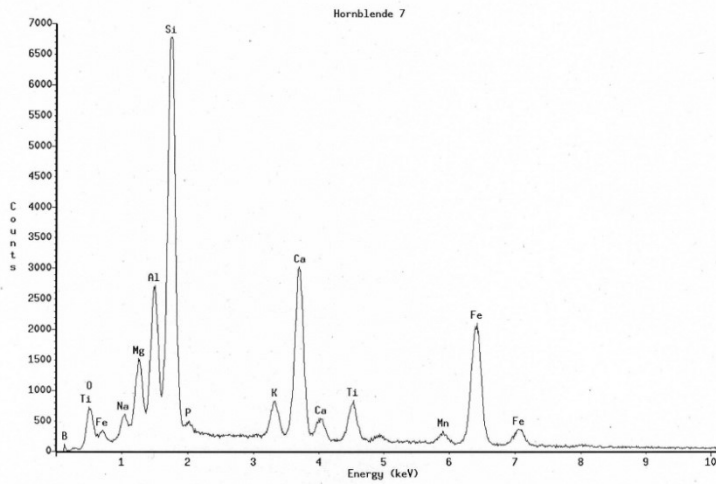
Refit_B-K'_B-K'_Ti-L'_Ti-L'_O-K'_O-K'_Fe-L'_Fe-L'_Na-K'_Na-K'_K-K'_K-K'_P-K'_P-K'
 Refit_Ti-L'_Mg-K'_Al-K'_Si-K'

Filter Fit Method
 Chi-sqd = 4.06 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0046	3.246	2.23	1.49	+/- 0.11	
Mg-K	0.0313	2.229	9.87	6.98	+/- 0.09	
Al-K	0.0285	1.929	7.01	5.50	+/- 0.09	
Si-K	0.2083	1.625	41.41	33.84	+/- 0.14	
K-K	0.0014	1.180	0.15	0.17	+/- 0.05	
Ca-K	0.2522	1.123	24.28	28.32	+/- 0.22	
Ti-K	0.0352	1.280	3.23	4.51	+/- 0.15	
Mn-K	0.0105	1.213	0.80	1.27	+/- 0.19	
Fe-K	0.1532	1.170	11.03	17.82	+/- 0.30	
Total			100.00	100.00		

Anhang 25: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 5 und 6 aus Argenstein



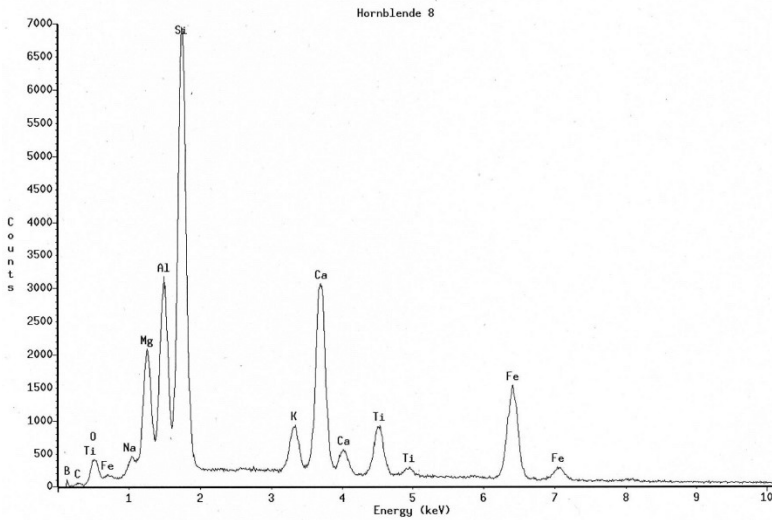
Tue Apr 21 10:49:24 2015

Hornblende 7

Refit_B-K'_B-K'_Ti-L'_Ti-L'_O-K'_O-K'_P-K'_P-K'
 Refit_Ti-L'_Mg-K'_Ca-K'_Ti-K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 4.18 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0075	3.518	4.03	2.65	+/-	0.38
Mg-K	0.0245	2.433	8.59	5.97	+/-	0.19
Al-K	0.0505	2.033	13.31	10.27	+/-	0.46
Si-K	0.1812	1.793	35.00	28.90	+/-	0.32
K-K	0.0234	1.189	2.49	2.78	+/-	0.13
Ca-K	0.1460	1.130	14.39	16.49	+/-	0.12
Ti-K	0.0422	1.217	3.75	5.14	+/-	0.09
Mn-K	0.0174	1.183	1.31	2.06	+/-	0.21
Fe-K	0.2252	1.143	16.13	25.75	+/-	0.34
Total			100.00	100.00		



Tue Apr 21 10:54:28 2015

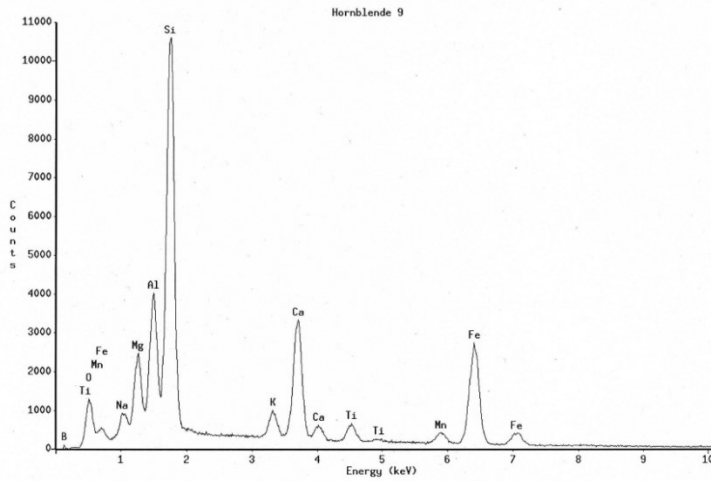
Hornblende 8

Refit_B-K'_B-K'_Ti-L'_Ti-L'_O-K'_O-K'_Fe-L'_Fe-L'_Mn-K'_Mn-K'
 Refit_Ti-L'_Na-K'_Al-K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.69 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0072	3.097	3.24	2.22	+/-	0.15
Mg-K	0.0397	2.173	11.90	8.62	+/-	0.26
Al-K	0.0628	1.948	15.20	12.23	+/-	0.15
Si-K	0.1655	1.790	35.36	29.62	+/-	0.24
K-K	0.0319	1.201	3.28	3.83	+/-	0.13
Ca-K	0.1559	1.150	15.00	17.93	+/-	0.21
Ti-K	0.0532	1.249	4.65	6.64	+/-	0.16
Mn-K	0.0027	1.203	0.20	0.32	+/-	0.09
Fe-K	0.1600	1.162	11.16	18.59	+/-	0.30
Total			100.00	100.00		

Anhang 26: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 7 und 8 aus Argenstein



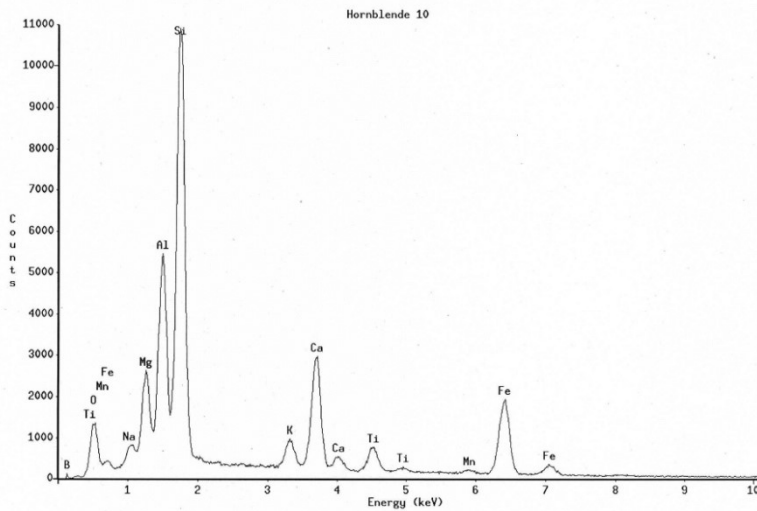
Tue Apr 21 11:01:08 2015

Hornblende 9

Refit_B -K" _B -K" _Ti-L" _Ti-L"
 Refit_Ti-L" _Fe-L" _Na-K" _Ti-K" _Mn-K"
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.84 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err.
(calc.)				(1-Sigma)		
Na-K	0.0128	3.270	6.12	4.18	+/-	0.19
Mg-K	0.0286	2.351	9.30	6.71	+/-	0.33
Al-K	0.0551	2.007	13.80	11.06	+/-	0.41
Si-K	0.1830	1.801	39.50	32.95	+/-	0.28
K-K	0.0211	1.222	2.22	2.58	+/-	0.11
Ca-K	0.1149	1.151	11.11	13.23	+/-	0.16
Ti-K	0.0222	1.216	1.90	2.71	+/-	0.06
Mn-K	0.0229	1.181	1.65	2.70	+/-	0.09
Fe-K	0.2090	1.143	14.40	23.89	+/-	0.27
Total			100.00	100.00		



Tue Apr 21 11:04:52 2015

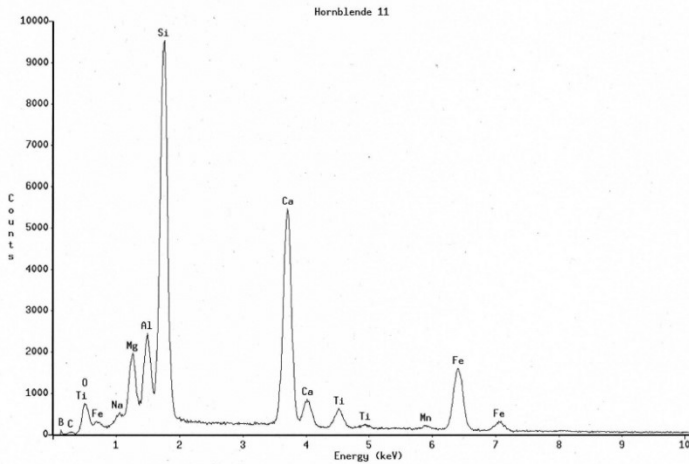
Hornblende 10

Refit_B -K" _B -K" _Ti-L" _Ti-L"
 Refit_Ti-L" _Fe-L" _Fe-L" _Na-K" _Na-K" _Ti-K"
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 4.32 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio	ZAF	Atom %	Element	Wt %	Err.
(calc.)				(1-Sigma)		
Na-K	0.0110	2.872	4.46	3.17	+/-	0.17
Mg-K	0.0330	2.081	9.17	6.87	+/-	0.32
Al-K	0.0846	1.838	18.69	15.56	+/-	0.42
Si-K	0.1984	1.802	41.26	35.76	+/-	0.31
K-K	0.0226	1.247	2.33	2.81	+/-	0.12
Ca-K	0.1088	1.173	10.32	12.76	+/-	0.18
Ti-K	0.0222	1.238	2.89	3.38	+/-	0.08
Mn-K	0.0069	1.196	0.49	0.82	+/-	0.16
Fe-K	0.1578	1.157	10.59	18.25	+/-	0.27
Total			100.00	100.00		

Anhang 27: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 9 und 10 aus Argenstein



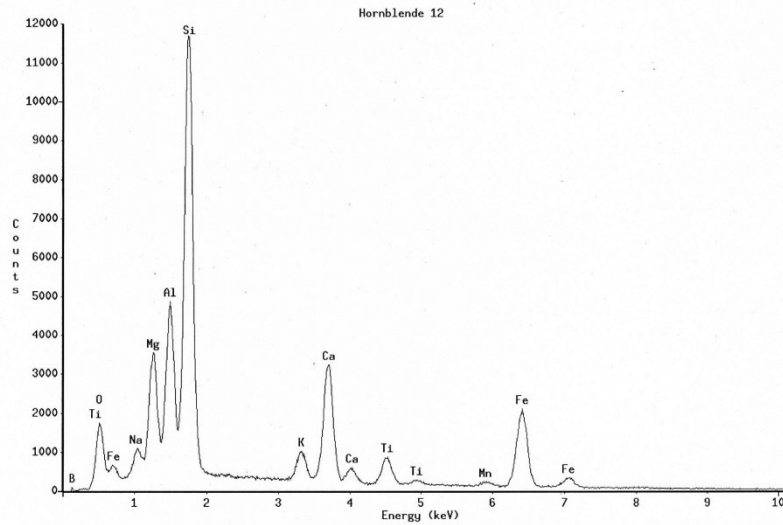
Tue Apr 21 11:13:07 2015

Hornblende 11

Refit_B-K'_B-K''_Ti-L'_Ti-L''_K-K'_K-K''_Mn-K'_Mn-K''
 Refit_Ti-L'_Fe-L'_Fe-L''_Na-K'_Na-K''_Mg-K'_Al-K'_Ca-K''
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.81 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Mt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0058	2.201	2.77	1.87	1.87	+/- 0.11
Mg-K	0.0299	2.218	9.31	6.64	6.64	+/- 0.08
Al-K	0.0387	1.913	9.36	7.41	7.41	+/- 0.10
Si-K	0.2626	1.857	40.74	33.57	33.57	+/- 0.22
K-K	0.0043	1.185	0.03	0.03	0.03	+/- 0.04
Ca-K	0.2447	1.127	23.45	27.58	27.58	+/- 0.14
Ti-K	0.0285	1.279	2.60	3.65	3.65	+/- 0.14
Mn-K	0.0078	1.211	0.58	0.94	0.94	+/- 0.09
Fe-K	0.1567	1.189	11.18	18.32	18.32	+/- 0.28
Total			100.00	100.00		



Tue Apr 21 11:16:14 2015

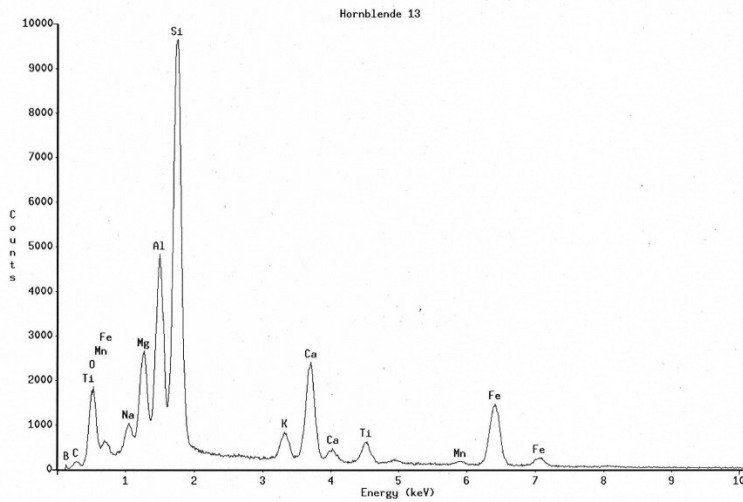
Hornblende 12

Refit_B-K'_B-K''_Ti-L'_Ti-L''
 Refit_Ti-L'_Fe-L'_Fe-L''_Na-K'_Ti-K'_Mn-K''
 Refit_Na-K''
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 3.70 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Mt %	Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0139	2.883	5.64	4.01	4.01	+/- 0.19
Mg-K	0.0434	2.120	12.23	9.20	9.20	+/- 0.34
Al-K	0.0659	1.936	15.28	12.76	12.76	+/- 0.43
Si-K	0.1935	1.801	40.11	34.85	34.85	+/- 0.30
K-K	0.0225	1.241	2.30	2.79	2.79	+/- 0.11
Ca-K	0.1100	1.169	10.37	12.86	12.86	+/- 0.17
Ti-K	0.0355	1.236	2.96	4.38	4.38	+/- 0.07
Mn-K	0.0082	1.196	0.57	0.98	0.98	+/- 0.08
Fe-K	0.1570	1.157	10.51	18.16	18.16	+/- 0.25
Total			100.00	100.00		

Anhang 28: Chemische Zusammensetzung der Hornblenden 11 und 12 aus Argenstein



Tue Apr 21 11:19:40 2015

Hornblende 13

Refit _Ti-L' _Ti-L' _Mn-K' _Mn-K'
 Refit _Ti-L' _Fe-L' _Fe-L' _Na-K' _Ti-K'
 Filter Fit Method
 Chi-sqd = 4.27 Livetime = 100.0 Sec.
 Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=30.00 deg
 Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Ht %	Ht Err. (1-Sigma)
Na-K	0.0146	2.736	5.53	4.00	+/-	0.32
Mg-K	0.0401	2.034	10.67	8.15	+/-	0.36
Al-K	0.0840	1.850	18.33	15.55	+/-	0.48
Si-K	0.2917	1.812	41.40	36.55	+/-	0.34
K-K	0.0232	1.257	2.37	2.91	+/-	0.13
Ca-K	0.1000	1.182	9.38	11.82	+/-	0.18
Ti-K	0.0286	1.241	2.36	3.55	+/-	0.08
Mn-K	0.0076	1.198	0.53	0.91	+/-	0.09
Fe-K	0.1428	1.159	9.42	16.55	+/-	0.27
Total			100.00	100.00		

Anhang 29: Chemische Zusammensetzung der Hornblende 13 aus Argenstein

Verhalten	Material	$\chi \{10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ SI}\}$	Ordnung	Charakteristika und Beispiele
diamagnetisch	Wasser	-9	0	Laminationsflächen
	Halit	-9	1	Kreuzschichtungsset Grenzflächen; wenig bis keine interne Erosion; kontinuierliche Sedimentation
	Quarz	-6	2	Coset Grenzflächen; ohne bedeutende Erosion; Änderung der Strömungsrichtung oder des Strömungsmilieus; Wechsel der Lithofazies
	Calcit	-5		
	Feldspat	-5	3	Erosionsflächen innerhalb von Makroformen (z.B. point bars; MIALL 1985), die mehr als ein Schrägschichtungsset erfassen; häufig von einer Intraklastenbrekzie begleitet; Faziesgesellschaft unter und über der Fläche ist ähnlich; zeigen Sedimentationsschwankungen ohne bedeutende Veränderung des Ablagerungsverlaufes oder der Orientierung von Makroformen an
	Plastik	-5		
Kaolinit	-2			
paramagnetisch	Montmorillonit	50	4	Grenzflächen zwischen Makroformen, die meist flach bis leicht konkav sind; Wechsel der Lithofaziesassoziation; z.B.: Basalgrünze kleiner Rinnen, einzelne Dammbuchfächer in der Überschwemmungsebene
	Lepidokrokit	70		
	Illit	150		
	Pyrit	300		
	Biotit	50-950		
	Pyroxen	50-1000		
ferromagnetisch	Amphibol	160-1000	5	Begrenzen große „Sandkörper“ (Rinnen und Rinnenfüllungskomplexe); meist flach bis leicht konkav; lokal durch Erosion und kiesiges Rinnenpflaster gekennzeichnet; bei Flüssen mit mehreren Rinnen wird die Unterseite der Hauptrinne mit 5. Ordnung belegt, die der Nebenflüsse mit 4.
	Siderit	1000		
	Olivin	10-1300	6	Trennen Gruppen von Rinnen oder Paläotälern voneinander; begrenzen kartierbare Einheiten (z.B. Member)
	Haematit	600		
	Goethit	700		
	Ilmenit	2 000		
Magnetit	500 000	7	Definieren große Gesteinskomplexe; allogene Ursache (z.B. Milankovitch-Zyklen)	
Eisen	200 000 000	8	Markieren regionale Diskontinuitäten mit kontinentweiter oder globaler Initiation (z.B. eustatische Meeresspiegelschwankungen)	

Anhang 30: Spezifische magnetische Suszeptibilität einiger Materialien, zusammengestellt nach (Thompson, R & Oldfield, F. 1986) (Quelle: Pirrung 2013, S. 5)

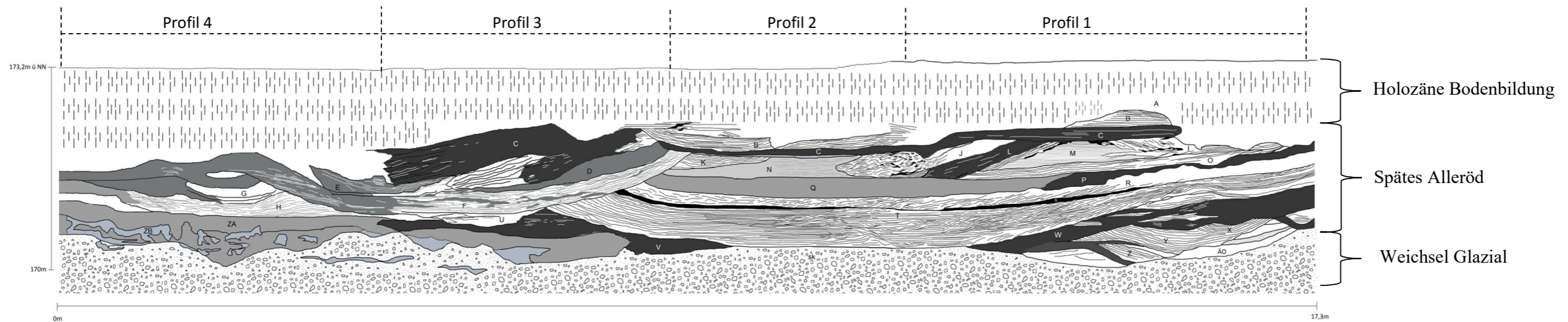
Anhang 31: Grenzflächenklassifikation nach Miall (1996) (Quelle: verändert nach Gross 1998, S. 140)

Architektur-Element	Code	Fazies-assoziatio	Geometrie, Beziehungen und Größenbeispiele
Elemente innerhalb der Rinne			
CHANNELS (Rinnen)	CH	jede Kombination	finger-, linsen oder schichtförmig; konkave erosive Basis; Größe und Form variabel; intern mit konkaven Grenzflächen 3. Ordnung
GRAVEL BARS AND BEDFORMS (Kiesbänke und kiesreiche Sedimentkörper)	GB	Gmm, Gmg, Gp, Gt	linsen- oder deckenförmig, meist tabular; häufig mit SB vergesellschaftet
SANDY BEDFORMS (Sandige Sedimentkörper, z.B. Dünenfelder, transversale Sandbänke)	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Ss	Linsen-, schicht-, decken- oder keilförmig; entstehen durch Rinnenfüllungen, Dammbbruchfächer und Kleinbänke
DOWNSTREAM-ACCRETION MACROFORMO (Sedimentkörper, die durch Sedimentanlagerung am flußabwärtigen Ende einer Sandbank entstehen)	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Ss	linsenförmige Körper mit flacher oder konkaver Basis und konvexen internen (3. Ordnung) und oberen Grenzflächen (4. Ordnung)
LATERAL-ACCRETION MACROFORM (Gleithang-ablagerungen)	LA	St, Sp, Sh, Sl, Ss, selten Gmm, Gmg, Gt, Gp	keil-, schicht-, lappenförmig; durch interne laterale Ablagerungsflächen 3. Ordnung charakterisiert
SCOUR HOLLOW (Kolke)	HO	Gh, Gt, St, Sl	löffeltartige Hohlformen mit asymmetrischer Füllung
SEDIMENT GRAVITY FLOWS (Massentransporte, mass und fluidal flow)	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	lappen- oder schichtförmig, meist mit GB assoziiert
LAMINATED SAND SHEET (vorwiegend laminierte Sandschichten)	LS	Sh, Sl, selten Sp, Sr	schicht- oder deckenförmig
LEEVEE* (Uferdamm)	LV	Fl	keilförmig (bis 10 m mächtig und 3 km lang)
CREVASSE CHANNEL* (Dammbbruchrinne)	CR	St, Sr, Ss	bandförmig (bis wenige 100 m breit, 5 m tief und 10 km lang)
CREVASSE SPLAY* (Dammbbruchfächer)	CS	St, Sr, Fl	linsenförmig (bis 10 km ² Fläche, 2-6 m mächtig)
FLOODPLAIN FINES* (Sedimente der Überschwemmungsebene)	FF	Fsm, Fl, Fm, Fr	schichtförmig (bis viele km ² Fläche, mehrere 10 m mächtig)
ABANDONED CHANNEL* (Altarm-Totarm)	CH(FF)	Fsm, Fl, Fm, Fr	bandförmig (Größe entspricht der aktiven Rinne)

Fazies-kode	Sedimentologische Merkmale	Interpretation
Gmm	schwach gradierter, matrixgestützter, massiger Kies	plastisches Schuttfleßen
Gmg	invers-normal gradierter, matrixgestützter Kies	pseudoplastisches (thixotropes) Schuttfleßen
Gci	invers gradierter, klastengestützter Kies	klastenreiches oder pseudoplastisches Schuttfleßen
Gcm	massiger, klastengestützter Kies	pseudoplastisches Schuttfleßen
Gh	horizontal, oft schlecht geschichteter, klastengestützter Kies, z.T. Imbrikation	longitudinale Kiesbänke, Rinnenpflaster oder Siebablagerungen
Gt	trogförmig kreuzgeschichteter Kies	Kleintrinnenfüllungen oder 3D-Dünen
Gp	planar kreuzgeschichteter Kies	transversale Sedimentkörper, deltasches Wachstum an älteren Bankresten oder 2D-Dünen
St	trogförmig kreuzgeschichteter, z.T. kiesführender Sand (einzelne oder mehrere sets)	3D-Dünen (sinus- oder zungenförmige Kämmen)
Sp	planar kreuzgeschichteter, z.T. kiesführender Sand (einzelne oder mehrere sets)	transversale und zungenförmige Dünen (2D-Dünen)
Sr	rippelgeschichteter Sand	Rippel (unteres Strömungsregime)
Sh	horizontal laminiertes, z. T. kiesführender Sand; häufig Strömungsstreifung	plane-bed flow (oberes oder unteres Strömungsregime), oft Hochwasserablagerungen
Sl	flachwinkelige Schrägschichtung (< 15°), z. T. kiesführender Sand	Rinnenfüllungen, Buckeldünen, Gegenrippel
Ss	z.T. kiesführender Sand in breiten, seichten Kolken	Kolkfüllungen
Sm	massiger oder schwach laminiertes Sand	sediment gravity flows
Fl	dünn laminiertes oder rippelgeschichteter Sand-Silt-Ton	Uferdamm-, Überschwemmungsebenen-, Altarm- oder beginnende Niederwasserablagerungen
Fsm	massiger-laminierter Silt-Ton	Ausumpf- oder Altarm-Sedimente
Fm	massiger Ton-Silt, z.T. mit Trockenrissen	Überschwemmungsebenen-, Altarm- oder drape-Ablagerungen
Fr	massiger, durchwurzelter und/oder bioturbater Ton-Silt	beginnende Pedogenese (Wurzelnlagen)
C	an inkohlten pflanzenrestenreicher Ton-Silt oder Kohle	Ausumpfsedimente oder Altarmfüllungen
P	Paläobödenkarbonate (Calcit, Siderit) mit pedogenen Strukturen	Böden mit chemischer Fällung

Anhang 32: Architektur-Element-Klassifikation nach Miall (1996) (**Quelle:** verändert nach Gross 1998, S. 139)

Anhang 33: Faziesklassifikation i.w. nach Miall (1996) (**Quelle:** verändert nach Gross 1998, S. 137)



Anhang 34: Profilzeichnung und zeitliche Einordnung der Profile aus Argenstein (Quelle: eigene Darstellung)

Hornblende	Ref. 1	Ref. 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Hornblende	LLST	MLST	ULST
Ca-K	10.07	13.86	13.04	16.04	13.20	15.00	12.73	28.32	16.49	17.93	13.23	12.76	27.58	12.86	11.82	CaO	11	11,11	11,62
Na-K	3.85	3.04	3.75	2.58	3.65	2.84	4.19	1.49	2.65	2.22	4.18	3.17	1.87	4.01	4.00	Na ₂ O	2,28	2,51	2,15
Mg-K	9.14	8.34	5.46	8.11	5.05	8.00	4.24	6.98	5.97	8.62	6.71	6.87	6.64	9.20	8.15	MgO	7,89	8,89	10,98
Al-K	13.74	12.77	10.67	10.43	9.85	11.44	12.75	5.50	10.27	12.23	11.06	15.56	7.41	12.76	15.55	Al ₂ O ₃	12,85	12,93	13,61
Si-K	35.49	33.90	30.92	31.05	30.90	31.67	32.33	33.84	28.90	29.62	32.95	35.76	33.57	34.85	36.55	SiO ₂	37,42	38,67	38,945
K-K	2.79	3.19	2.70	3.00	2.62	3.26	2.54	0.17	2.78	3.83	2.58	2.81	0.03	2.79	2.91	K ₂ O	2,25	2,21	2,35
Ti-K	4.23	4.49	2.56	4.85	3.03	5.71	2.30	4.51	5.14	6.64	2.71	3.98	3.65	4.38	3.55	TiO ₂	4,27	3,81	4,365
Mn-K	0.87	0.72	3.03	1.14	3.34	0.85	3.03	1.27	2.06	0.32	2.70	0.82	0.94	0.98	0.91	MnO	1,26	1,24	0,57
Fe-K	17.31	19.70	27.86	22.81	28.37	21.24	25.88	17.92	25.75	18.59	23.89	18.25	18.32	18.16	16.55	FeO	17,49	16,99	13,275

Anhang 35: Ergebnisse der REM-Analyse (links) im Vergleich mit den von Wörner und Schmincke (1984, S 817) veröffentlichten Mittelwerten der chemischen Zusammensetzung von Hornblenden (rechts)

Plagiatserklärung

Hiermit versichere ich, dass die

vorgelegte Arbeit über

„Der Laacher-See-Vulkan und das mittlere Lahngebiet. Geoarchäologische Untersuchungen zu den Auswirkungen des Vulkanausbruchs auf Mensch und Umwelt vor 12.900 Jahren“

selbständig und ausschließlich von mir bearbeitet und verfasst worden ist, dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt worden sind und dass sämtliche Stellen der Arbeit, die anderen Werken – auch elektronischen Medien – dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind.

Dies gilt auch für sämtliche Zeichnungen und sonstige bildliche Darstellungen, Skizzen, Grafiken, Tabellen usw.

Ich versichere, die vorliegende Arbeit oder Auszüge davon weder in dieser noch in anderer oder veränderter Form bereits als Abschlussarbeit eingereicht zu haben.

.....
(Ort, Datum, Unterschrift)