

Massenbilanzen holozäner Sedimente am südlichen und mittleren Oberrhein

Inaugural-Dissertation zur
Erlangung der Doktorwürde
der Fakultät für Forst- und
Umweltwissenschaften der
Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Brsg.

vorgelegt von

Jochen Seidel

Freiburg im Breisgau
2004

Dekan: Prof. Dr. E. Hildebrand

Referent: Prof. Dr. R. Mäckel

Korreferent: PD Dr. J. Wunderlich

Tag der Disputation: 16. November 2004

Vorwort

Die Untersuchungen dieser Arbeit sind Bestandteil des Rhein-LUCFIS Forschungsvorhabens, welches die Modellierung von Stoffflüssen im Einzugsgebiet des Rheins seit Beginn des Ackerbaus im Neolithikum vor etwa 7500 Jahren als Ziel hat. Dafür sollen empirische Daten mit Langzeitmodellierungsansätzen verknüpft werden, um das Verhalten des Flusssystems auf großen Skalen über einen langen Zeitraum hinweg besser zu verstehen.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des "RheinLUCIFS-Bündels" angefertigt. Dabei handelt es sich um einen von der DFG geförderten Bündelantrag, in dem Arbeitsgruppen aus Freiburg, Frankfurt a. M., Bonn und Köln eingebunden sind. Das übergeordnete Ziel des RheinLUCIFS Forschungsvorhabens ist die Quantifizierung des Sedimenthaushalts des Rheins und die Modellierung der Stoffflüsse über eine lange Zeitreihe. Dazu wurden von den verschiedenen Arbeitsgruppen Einzugsgebiete auf unterschiedlichen Skalen bearbeitet. Für den Raum Freiburg wurden die Einzugsgebiete der Elz und Möhlin bearbeitet, die den mesoskaligen Bereich abdecken.

Des Weiteren war die vorliegende Arbeit in das Forschungsprogramm der ersten Phase des DFG-Graduiertenkollegs "Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese" (DFG-GRK 692) eingebunden. Durch den interdisziplinären Ansatz dieses Graduiertenkollegs konnten Ergebnisse aus anderen Teildisziplinen, wie zum Beispiel der Archäologie, mit in die Untersuchungen einfließen.

Folgenden Personen möchte ich an dieser Stelle für das Zustandekommen dieser Arbeit danken:

- Herrn Prof. Dr. Rüdiger Mäckel für Themenvergabe und die Betreuung.
- Herrn Dr. Matthias Leopold, Universität Regensburg für die Hilfestellung bei der Interpretation der Laboranalysen.
- Herrn Albert Geppert, durch dessen engagierte Arbeit zahlreiche interessante Aufschlüsse im Raum Ettenheim aufgenommen werden konnten.
- Herrn Dipl.-Ing. Bernhard Link von Landesamt für Geologie, Bergbau und Rohstoffe Baden-Württemberg, Abt. Bodenkunde.
- Den Stipendiatinnen und Stipendiaten der ersten Phase des Graduiertenkollegs "Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese" (2001-2004) für Diskussion und Hilfe bei den Geländearbeiten.

- Den beteiligten Personen aus dem Arbeitsgruppen des LUCIFS-Bündels für die zahlreichen interessanten Workshops, Exkursionen und Diskussionen.
- Martin Edelmann für das Digitalisieren der Geologischen Karten.
- Katrin Bürger, Paul Dostal, Dr. Rafaël Schneider, Dr. Peter Houben und meiner Frau Dominique Meppiel für die kritische Durchsicht der Arbeit sowie für die Anregungen und die Korrekturen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung.....	1
2. Das Untersuchungsgebiet.....	3
2.1 Lage und naturräumliche Gliederung.....	3
2.2 Geologie.....	5
2.2.1 Der Schwarzwald.....	5
2.2.2 Die Vorbergzone.....	6
2.2.3 Die Oberrheinebene.....	6
2.2.4 Der Kaiserstuhl.....	7
2.3 Hydrologie.....	9
2.4 Klima.....	9
2.4.1 Rezente klimatische Situation.....	10
2.4.2 Paläoklima.....	12
2.5 Böden.....	14
2.6 Das Relief im Untersuchungsgebiet.....	16
2.7 Besiedlungsgeschichte.....	18
3. Vorgehensweise und Methodik.....	22
3.1 Datengrundlage für die räumliche Verteilung der holozänen Sedimentspeicher.....	22
3.2 Auswertung der zeitlichen Informationen von holozänen Sedimentspeichern und ihren Mächtigkeiten.....	23
3.2.1 Geländearbeiten.....	26
3.2.2 Laboranalysen.....	27
3.2.3 ¹⁴ C-Datierungen.....	29
3.2.4 Daten aus der Geologischen Karte 1:25 000.....	29
3.2.5 Daten von archäologischen Fundstellen.....	30
3.2.6 Fossile Leithorizonte (Schwarzer Auenboden).....	31
3.3 Unterteilung des Untersuchungsgebiets.....	37
4. Bestimmung der Sedimentvolumen im Einzugsgebiet der Elz.....	39
4.1 Offenburger Rheinebene.....	39
4.1.1 Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden.....	39
4.1.2 Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden.....	49
4.1.3 Verfüllte Flussläufe.....	50
4.1.4 Sonstige Kolluvien.....	50
4.2 Lahr-Emmendinger Vorbergzone.....	51

4.2.1 Hangfußkolluvien.....	54
4.2.2 Auenbereiche in der Vorbergzone.....	54
4.2.3 Kolluvial verfüllte Täler.....	54
4.3 Kaiserstuhl.....	56
4.3.1 Kolluvial verfüllte Täler	56
4.3.2 Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen	59
4.4 Freiburger Bucht.....	60
4.4.1 Auenbereiche von Elz, Glotter und Dreisam.....	61
4.4.2 Auenbereiche am Rande der Vorbergzone.....	62
4.4.3 Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs.....	62
4.4.4 Hangfußkolluvien der Lössinseln und des Tunibergs.....	63
4.4.5 Kolluvien im Nordosten der Freiburger Bucht.....	67
4.5 Schwarzwald	68
4.5.1 Auenbereiche im Schwarzwald ohne Brettenbach.....	68
4.5.2 Auenbereiche des Brettenbachs.....	70
4.5.3 Zartener Becken.....	71
4.5.4 Kolluvien im Elztal.....	73
4.5.5 Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung.....	74
4.5.6 Markgräfler Hügelland.....	75
4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Elz.....	76
5. Bestimmung der Sedimentvolumen im Einzugsgebiet der Möhlin.....	79
5.1 Freiburger Bucht.....	79
5.1.1 Kolluvien im Bereich der Mengener Brücke.....	79
5.1.2 Kolluvial verfüllte Täler und Hangfußkolluvien des Tunibergs.....	83
5.2 Markgräfler Rheinebene.....	84
5.2.1 Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden.....	84
5.2.2 Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden.....	90
5.3 Markgräfler Hügelland.....	91
5.3.1 Schmalere Auenbereiche.....	91
5.3.2 Auenbereiche der Möhlin ab Ehrenstetten.....	92
5.3.3 Auenbereiche Neumagen.....	94
5.3.4 Kolluvien im Markgräfler Hügelland.....	94
5.4 Schwarzwald.....	95
5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Möhlin.....	96
6. Massenbilanzierung der holozänen Sedimente.....	98
6.1 Räumlich-zeitlich undifferenzierte Massenbilanzierung.....	100
6.2 Räumlich differenzierte Massenbilanzierung.....	102

6.3 Zeitlich differenzierte Massenbilanzierung.....	104
7. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.....	105
8. Literaturverzeichnis.....	109
9. Kartenverzeichnis.....	116
10. Anhang.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet mit den naturräumlichen Einheiten.....	4
Abb. 2: Vereinfachte geologische Übersicht über das Untersuchungsgebiet.....	5
Abb. 3: Tektonisch-morphologische Entwicklung am Rand des Oberrheingrabens.....	8
Abb. 4: Klimadaten ausgewählter Stationen im Untersuchungsgebiet.....	11
Abb. 5: Der Verlauf der Lufttemperatur in der Regio TriRhena von 1500 bis 2003.....	13
Abb. 6: Niederschlagsindex in der Regio TriRhena von 1500 bis 2003.....	13
Abb. 7: Vereinfachte Übersicht über die Böden im Untersuchungsgebiet.....	15
Abb. 8: Hangneigungsklassen im Untersuchungsgebiet.....	17
Abb. 9: Chronostratigraphische Gliederung des Holozäns.....	19
Abb. 10: Kaskadenmodell zum Sedimenttransport.....	24
Abb. 11: Verlauf der TENP-Trasse im Raum Freiburg.....	26
Abb. 12: Übersicht über die C _{org} Gehalte verschiedener Proben aus dem Schwarzen Auenboden.....	33
Abb. 13: Verbreitung des Schwarzen Auenbodens im Untersuchungsgebiet.....	37
Abb. 14: Der Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher I.....	40
Abb. 15: Korngrößenverteilung, C _{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher I.....	41
Abb. 16: Der Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher II.....	42
Abb. 17: Schwarzer Auenboden im Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher I.....	43
Abb. 18: Grube mit Brandschicht im Aufschluss Ettenheim Apostelweiher II.....	43
Abb. 19: Der Aufschluss Ettenheim-Radackern II-1.....	44
Abb. 20: Der Aufschluss Ettenheim-Radackern II-2.....	45
Abb. 21: Der Aufschluss Ettenheim-Römerstraße.....	47
Abb. 22: Korngrößenverteilung, C _{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Ettenheim-Römerstraße.....	48
Abb. 23: Schichtgeschwindigkeiten der Refraktionsseismischen Aufnahme im Ferneckertal.....	53
Abb. 24: Aufschluss im Gewann Riedlehau, Gemeinde Bahlingen.....	62
Abb. 25: Der Aufschluss Blankenberg.....	64

Abb. 26: Aufschluss mit römerzeitlichen Funden im Zartener Becken.....	73
Abb. 27: Übersicht über die archäologischen Befunde entlang der TENP-Trasse südlich der Mengener Brücke.....	80
Abb. 28: Pressgrube in der TENP-Trasse westlich der A5 bei Mengen mit den zwei Torfschichten.....	81
Abb. 29: Aufschluss am Regenwassersammelbecken bei Hausen an der Möhlin	85
Abb. 30: Baugrube des Regenwassersammelbeckens bei Hausen an der Möhlin.	86
Abb. 31: Korngrößenverteilung im Aufschluss Hausen an der Möhlin.....	86
Abb. 32: Der Aufschluss Hausen-Attilastraße mit dem Schwarzen Auenboden.....	88
Abb. 33: Korngrößenverteilung, C _{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Hausen-Attliastraße.....	89
Abb. 34: Schwarzer Auenboden mit eingeschnittener Flussrinne südlich der Mengener Brücke in der TENP-Trasse.....	90
Abb. 35: Der Aufschluss Ehrenkirchen-Zwischendörfer.....	92
Abb. 36: Übersicht über die Lage der Auensedimente und Kolluvien im Untersuchungsgebiet.....	98
Abb. 37: Verhältnis des Sedimentaustrags (SDR) zum mittleren Erosionsbetrag (E) in den Einzugsgebieten von Elz und Möhlin.....	101

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zahl der Tage mit Niederschlagsmengen von 0,1, 1, 10 und 20 mm.....	12
Tab. 2: Zeiträume im Holozän mit erhöhten Auftretswahrscheinlichkeiten von erosiven Niederschlägen zwischen 7000-2000 cal. BP.....	13
Tab. 3: ¹⁴ C-Daten aus dem Schwarzen Auenboden bei Ettenheim.....	35
Tab. 4: Übersicht über die Teilräume der Einzugsgebiete	38
Tab. 5: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Offenburger Rheinebene.....	51
Tab. 6: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone.....	56
Tab. 7: Mächtigkeit und zeitliche Einordnung der Kolluvien im Spührenloch (Kaiserstuhl).....	57
Tab. 8: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher im Kaiserstuhl.....	60
Tab. 9: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Freiburger Bucht.....	68
Tab. 10: Übersicht über die Auenlehmmächtigkeiten im Einzugsgebiet der Elz im kristallinen Schwarzwald.....	69
Tab. 11: Übersicht über die Auenlehmmächtigkeiten im Tal des Brettenbachs.....	70
Tab. 12: Übersicht über die Auenlehmmächtigkeiten im Zartener Becken.....	72
Tab. 13: Übersicht über die mittleren Kolluvienmächtigkeiten im Elztal.....	74
Tab. 14: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Schwarzwald....	74
Tab. 15: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Markgräfler Hügelland.....	75
Tab. 16: Übersicht über die Sedimentspeicher im Einzugsgebiet der Elz.....	76
Tab. 17: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente in der Freiburger Bucht (EZG Möhlin).....	83
Tab. 18: Stratigraphie der Nordwand des Regenwasserbeckens bei Hausen an der Möhlin	87
Tab. 19: Übersicht über die Mächtigkeiten der Auensedimente in der Markgräfler Rheinebene.....	91
Tab. 20: Übersicht über die Mächtigkeit der holozänen Sedimente im Markgräfler Hügelland.....	95
Tab. 21: Übersicht über die mittleren Auenlehmmächtigkeiten der Möhlin.....	95
Tab. 22: Auenlehmmächtigkeiten im Schwarzwald (EZG Möhlin).....	96
Tab. 23: Übersicht über die Sedimentspeicher im Einzugsgebiet der Möhlin.....	96
Tab. 24: Übersicht über die Sedimentvolumen und potentiellen Erosionsflächen im Untersuchungsgebiet.....	99

Tab. 25: Massenbilanzierung der holozänen Sedimente seit Beginn des Ackerbaus (für $\text{SDR} \leq 0,4$).....	102
Tab. 26: Räumlich differenzierte Massenbilanzierung der holozänen Sedimente seit Beginn des Ackerbaus (für $\text{SDR} \leq 0,4$).....	104
Tab. 27: Übersicht über die Volumen, Flächen und Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Untersuchungsgebiet.....	105

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AMS	Accelerator Mass Spectrometry
BAB	Bundesautobahn
BK 25	Bodenkarte Baden-Württemberg 1:25 000
BÜK 200	Bodenübersichtskarte Baden-Württemberg 1:200 000
cal. BP	kalibrierte Kalenderjahre vor heute (Bezugsjahr 1950)
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DHM	Digitales Höhenmodell
EZG	Einzugsgebiet
GK 25	Geologische Karte Baden-Württemberg 1:25 000
GÜK 200	Geologische Übersichtskarte Baden-Württemberg 1:25 000
Jh.	Jahrhundert
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg
m NN	Höhenangabe in Meter über Normalnull (Meeresspiegel)
o.g.	oben genannt
ppm	parts per million
SPP	Schwerpunktprogramm
Tab.	Tabelle
TENP	Trans Europa Naturgas Pipeline
u. GOF	unter Geländeoberfläche
WGB 15	Wandel der Geo-Biosphäre während der letzten 15 000 Jahre
WaBoA	Wasser-Boden-Atlas Baden-Württemberg

1. Einleitung und Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Sedimente, die seit Beginn des Ackerbaus vor etwa 7500 Jahren im südlichen Oberrheintiefland in Form von Auenlehmen und Kolluvien abgelagert wurden, in ihrer räumlichen Ausdehnung und Mächtigkeit zu erfassen. Auf der Basis dieser Ergebnisse wird eine Massenbilanzierung erstellt. Im Vordergrund steht dabei eine zeitlich integrale Massenbilanzierung über den Zeitraum der letzten 7500 Jahre. Die Auswertung der zeitlichen Information in den holozänen Sedimenten anhand von ^{14}C -Datierungen sowie archäologischen Funden und Befunden ermöglicht, Phasen mit erhöhter Erosion und Sedimentation herauszuarbeiten und daraus Schlüsse auf die paläoökologischen Zustände zu bestimmten Zeitabschnitten abzuleiten.

Im Vordergrund dieser Arbeit steht die Auswertung bereits vorhandener Daten und Forschungsergebnisse, die u.a. im Rahmen von den DFG-Schwerpunktprogrammen "Fluviale Geomorphodynamik im jüngeren Quartär" mit dem regionalen Teilprojekt "Jungquartäre Fluß- und Hangdynamik im Schwarzwald und Oberrheintiefland" (Ma 557/8) und "Wandel der Geo-Biosphäre während der letzten 15 000 Jahre" mit dem regionalen Teilprojekt "Die paläoökologischen Umweltbedingungen im Oberrheintiefland und Schwarzwald im Neolithikum und zur Römerzeit - Fluviale Sedimente, Böden und Relief als Archive" (Ma 557/11) am Institut für Physische Geographie der Universität Freiburg seit 1987 gewonnen wurden. Eigene Geländearbeiten wurden zur Ergänzung dieser Daten punktuell vorgenommen. Die Aufnahmen werden in dieser Arbeit ausführlicher dargestellt.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Geländedaten werden archäologische Befunde mit in die Untersuchungen einbezogen. Aus diesem Material können ebenfalls Informationen zur Mächtigkeit von holozänen Sedimenten gewonnen werden.

Ausgegangen wird von der These, dass der Mensch vor etwa 7500 Jahren durch die Sesshaftwerdung und die damit verbundenen landwirtschaftlichen Aktivitäten wie z.B. Rodung und Ackerbau erstmals massiv in den bis dato unberührten Naturhaushalt eingegriffen und somit auch die Bodenerosion und die Feststoffflüsse in den Einzugsgebieten fluvialer Systeme maßgeblich beeinflusst hat. Vor 7500 cal. BP wird im Allgemeinen von einer geschlossenen Bewaldung in Mitteleuropa ausgegangen, unter der so gut wie keine natürliche Bodenerosion stattgefunden hat (BORK et al. 1998).

Erst durch die Rodung der Wälder wird Bodenerosion auf den agrarisch genutzten Flächen ermöglicht. Dies führt wiederum zur Bildung von Kolluvien an den Unterhängen, in Mulden und in Tiefenlinien sowie zur Bildung von Auenlehmdecken.

In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe "Auenlehm" und "Kolluvium" wie folgt verwendet bzw. definiert:

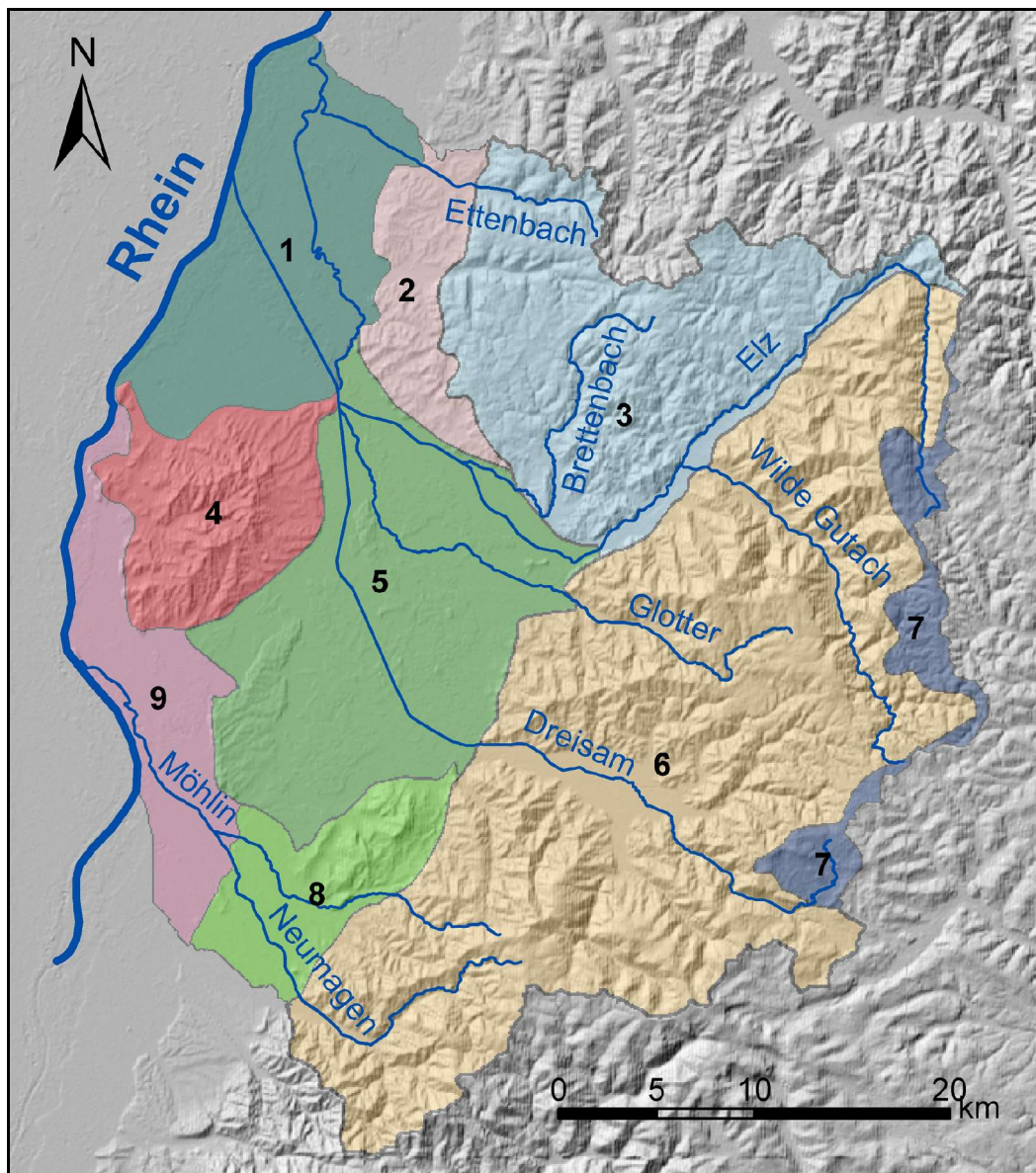
- Auenlehm: Durch Fließgewässer abgelagertes Feinmaterial in den Überschwemmungsgebieten von Flussauen. Im Gegensatz zum "Hochflutlehm", welcher im Spätglazial noch unter weitestgehend natürlichen Bedingungen abgelagert wurde, wird der Begriff "Auenlehm" für die seit dem Neolithikum unter Einfluss des Menschen gebildeten Sedimente in den Auen verwendet. Das Material ist in der Regel entsprechend dem Ausgangsmaterial der Liefergebiete schluffig bis feinsandig.
- Kolluvium: Korrelates Sediment einer anthropogen ausgelösten Bodenerosion (BORK et al. 1998), welches sich an Unterhängen, in Mulden und in den Lössgebieten am südlichen Oberrhein zum Teil auch in Talböden und Tiefenlinien gesammelt hat. Für den Prozess der Kolluvienbildung sind in erster Linie durch Niederschläge ausgelöste, spülaquatische Prozesse an den Hängen verantwortlich. Im Gegensatz zur Bodenkunde, die den Begriff "Kolluvisol" auf den verlagerten Oberboden beschränkt (AG BODEN 1994), wird "Kolluvium" in dieser Arbeit unabhängig vom verlagerten Ausgangsmaterial verwendet. Im Untersuchungsgebiet sind die Kolluvien meist an die Lössvorkommen gebunden, daher handelt es sich im Allgemeinen auch um stark schluffige Substrate.

2. Das Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der rechtsrheinischen Seite des südlichen und mittleren Oberrheins (Abb. 1). Es umfasst die Einzugsgebiete der Möhlin und der Elz (mit den Teileinzugsgebieten Dreisam und Glotter) und erstreckt sich über eine Fläche von etwa 1730 km². Nach der naturräumlichen Gliederung des Wasser- und Bodentlas Baden-Württembergs (WABoA 2001) hat das Untersuchungsgebiet Anteil an folgenden naturräumlichen Einheiten: Hochschwarzwald, Südöstlicher Schwarzwald, Mittlerer Schwarzwald, Lahr-Emmendinger Vorberge, Markgräfler Hügelland, Kaiserstuhl, Markgräfler Rheinebene, Freiburger Bucht und Offenburger Rheinebene.

Die Grenzen des Untersuchungsgebiets wurden aus dem digitalen Höhenmodell (DHM) der LfU mit einer Auflösung von 30 m mit dem Modul *r.watershed* im GIS-Programm GRASS 5 abgeleitet. Für die stark reliefierten Bereiche im Schwarzwald wurden damit gute Ergebnisse erzielt. In der Oberrheinebene mussten die Grenzen der Einzugsgebiete jedoch manuell nachbearbeitet werden, da aufgrund des flachen Reliefs und der starken anthropogenen Überprägung der Gewässer und ihrer Verläufe keine befriedigenden Ergebnisse mit der GIS-basierten Einzugsgebietsberechnung möglich waren.



Naturräumliche Einheiten

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1 Offenburger Rheinebene | 6 Hochschwarzwald |
| 2 Lahr-Emmendinger Vorberge | 7 Südöstlicher Schwarzwald |
| 3 Mittlerer Schwarzwald | 8 Markgräfler Hügelland |
| 4 Kaiserstuhl | 9 Markgräfler Rheinebene |
| 5 Freiburger Bucht | |

Datengrundlage der naturräumlichen Gliederung: WaBoA 2001

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet mit den naturräumlichen Einheiten

2.2 Geologie

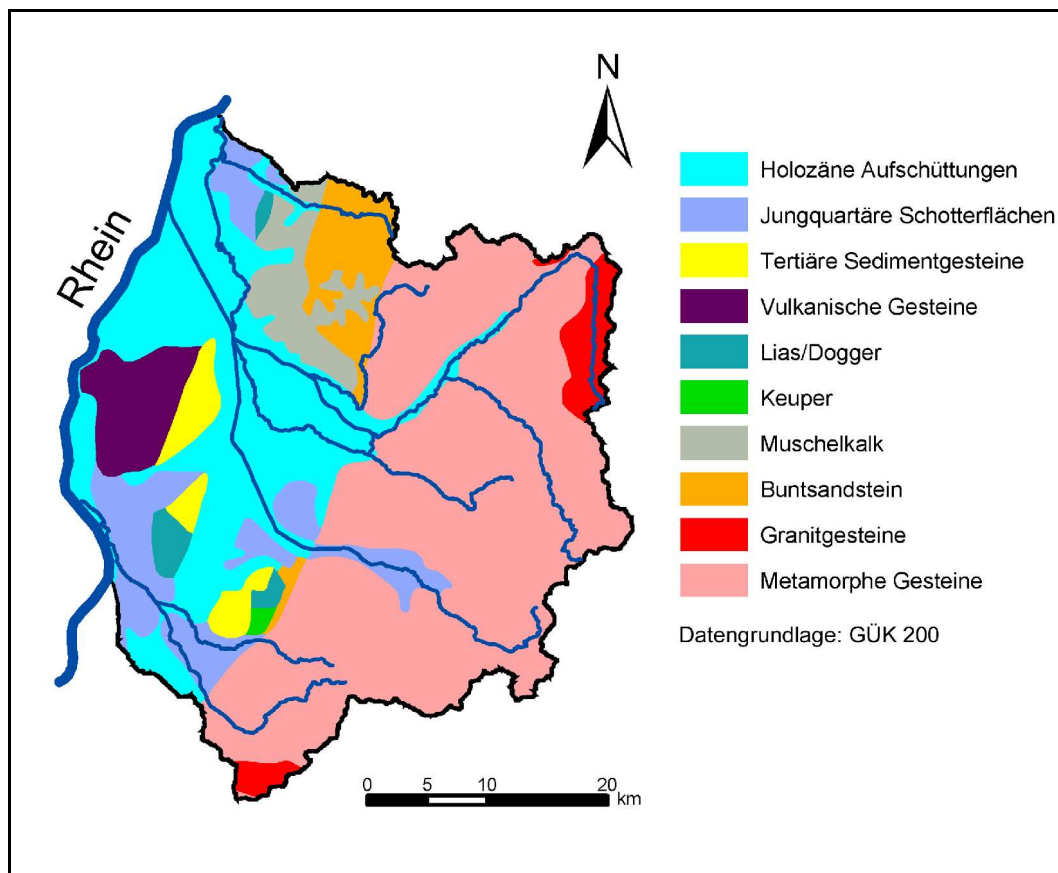


Abb. 2: Vereinfachte geologische Übersicht über das Untersuchungsgebiet (ohne Löss)

Die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet sind maßgeblich für die Abgrenzung der naturräumlichen Einheiten verantwortlich, die sich in vier Gebiete unterteilen (Abb. 2).

2.2.1 Der Schwarzwald

Die vorherrschenden Gesteine im Mittleren Schwarzwald sind verschiedene Varietäten von prävariszischen metamorphen Gesteinen (Paragneise, Orthogneise, Anatexite und Diatexite), die an zahlreichen Stellen von Ganggesteinen durchschlagen sind. Auf eine genauere Differenzierung dieser Gesteine wird verzichtet, da sie im Rahmen dieser Arbeit von untergeordnetem Interesse ist. Im ausgehenden Variszikum sind erneut granitische Intrusionen wie zum Beispiel der Triberger Granit in den bestehenden

Gneiskörper eingedrungen. Mit diesen Granitintrusionen war auch die Entstehung der zahlreich vorkommenden Porphyrgänge verbunden.

2.2.2 Die Vorbergzone

Bei der Vorbergzone des Schwarzwalds handelt es sich um Grabenrandschollen, die sich westlich der Schwarzwaldrandhauptverwerfung aufreihen (SCHREINER 1996). Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets sind dies die Lahr-Emmendinger Vorberge, eine lössbedeckte Hügellandschaft zwischen 200 m und 320 m NN, die aus Muschelkalk und Buntsandstein aufgebaut ist. Im Bereich der Freiburger Bucht sind die Grabenrandschollen tiefer abgesunken und mit quartären Schottern bedeckt. Höhere Bereiche ragen inselartig hervor, wie z.B. der Tuniberg und der Nimberg. Diese Berge sind ebenfalls mit einer Lössdecke überzogen. Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets setzt sich die Vorbergzone mit dem Schönberg, dem Batzenberg und dem Ölberg fort.

2.2.3 Die Oberrheinebene

Die Oberrheinebene erstreckt sich mit einer durchschnittlichen Breite von 40 km und einer Länge von 300 km von Basel bis Bingen. Sie verdankt ihre Entstehung großräumigen tektonischen Bewegungen (Einsenkung des Oberrheingrabens, Hebung von Schwarzwald und Vogesen im Tertiär) entlang überwiegend Nord-Süd (rheinisch) gerichteter Verwerfungen.

Die erste Einsenkung des Oberrheingrabens begann im Mitteleozän während sich synchron die Flanken der seitlich anschließenden variszischen Grundgebirge (Schwarzwald, Vogesen) heraus hoben. Die Sprunghöhe der Hauptrandverwerfung beträgt bis zu etwa 1000 m. Die Relativbewegung zwischen dem abgesenkten Bereich und den herausgehobenen Gebirgen liegt mit 5000 m noch erheblich höher (GEYER & GWINNER 1991). Die Gesamtmächtigkeit der tertiären Ablagerungen im Oberrheingraben beträgt im Freiburger Raum etwa 2000 m (PFLUG 1982, GEYER & GWINNER 1991). Das Tertiär wird von pleistozänen Schottern überlagert, bei denen es sich überwiegend um alpines Material handelt.

2.2.4 Der Kaiserstuhl

Der Kaiserstuhl bildet ein kleines Gebirge von inselhafter Gestalt, das deutlich abgegrenzt aus der 180 m bis 190 m NN hochgelegenen Oberrheinebene aufragt. Der Kaiserstuhl ist im Tertiär mit dem Einbruch des Oberrheingrabens entstanden (Abb. 3). Die Förderung von Magma an die Erdoberfläche wurde durch die Zerrungen in der Erdkruste, die Kreuzung zweier Schwäche­zonen (Oberrheingraben, Bonndorfer Graben) und die im südlichen Oberrheingraben relativ geringe Mächtigkeit der Erdkruste (ca. 25 km) begünstigt. Die magmatischen Schmelzen haben sich über dem sedimentären Sockel abgelagert, der heute noch im Osten des Kaiserstuhls ansteht. Etwa 85 % des Kaiserstuhls sind mit Löss bedeckt. In Abb. 3 ist die tektonisch-morphologische Entwicklung der Landschaft im Oberrheingraben zwischen Kaiserstuhl und Schwarzwald dargestellt.

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

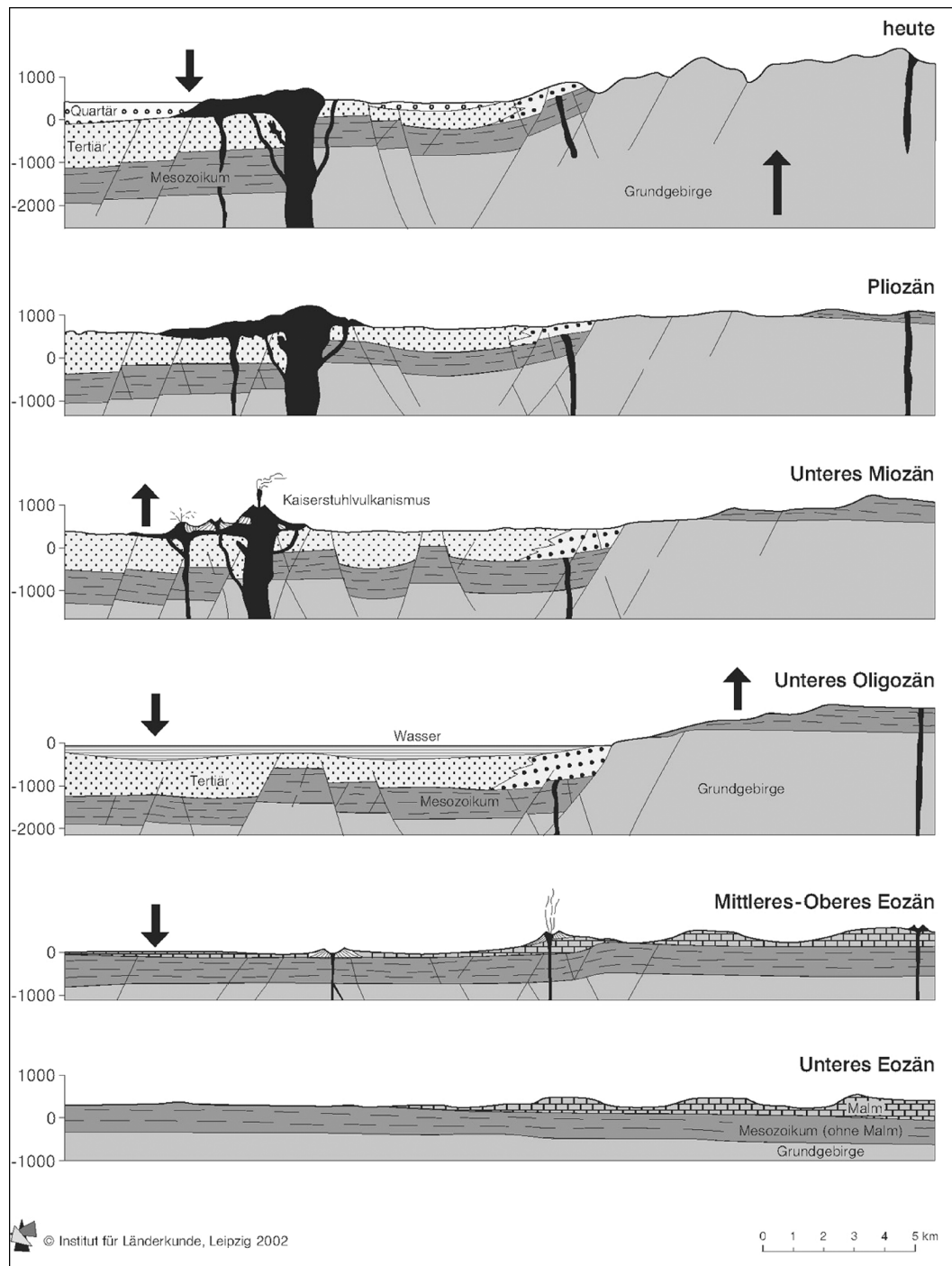


Abb. 3: Tektonisch-morphologische Entwicklung am Rand des Oberrheingrabens (Aus: MÄCKEL & SEIDEL 2003)

2.3 Hydrologie

Der Untersuchungsraum umfasst die Einzugsgebiete der Möhlin ($\sim 228 \text{ km}^2$) und der Elz bis zum Ettenbach ($\sim 1503 \text{ km}^2$)¹, die in westliche Richtung zum Rhein hin entwässern. Im Schwarzwald herrscht ein dichtes, dendritisches Entwässerungssystem vor, welches durch wenige größere Gewässer gekennzeichnet ist (z.B. Elz, Wilde Gutach, Glotter, Dreisam, Möhlin). Aus dem Amtlichen Wasserwirtschaftlichen Gewässernetz (AWGN) der LfU im Maßstab 1:10 000 ergibt sich für den Teilbereich des Schwarzwalds im Untersuchungsgebiet eine mittlere Gewässerdichte von $2,27 \text{ km/km}^2$. Die lössbedeckten Bereiche der Vorbergzone sowie des Kaiserstuhls und der Forchheimer Platte weisen aufgrund der Lössbedeckung und des wasserdurchlässigen Untergrunds nur wenige Oberflächengewässer auf. Der Bereich der Oberrheinebene wird von den Unterläufen der Schwarzwaldflüsse durchquert. Besonders im 19. Jh. sind viele Gewässer durch flussbauliche Maßnahmen zum Teil sehr stark verändert worden, so dass eine eindeutige Gliederung in Einzugsgebiete heute nicht mehr möglich ist. Als der gravierendste Eingriff in die hydrologischen Verhältnisse ist die Begradigung des Oberrheins durch TULLA zwischen 1830 und 1870 zu nennen.

Der Hauptabfluss von Elz, Dreisam und Glotter erfolgt heute durch den 1842 fertig gestellten Leopoldskanal, der nördlich von Riegel in nordwestlicher Richtung über die Forchheimer Platte direkt zum Rhein verläuft. Er hat eine Länge von 12 km und nimmt Abflüsse über $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Abflüsse unter diesem Wert werden nur durch die alte Elz geleitet (LEIBUNDGUT 1999). Die Unterläufe von Dreisam, Elz, Glotter und Möhlin sind heute vollständig begradigt und eingedämmt.

2.4 Klima

Für den Besiedlungsgang und die geomorphodynamischen Prozesse spielen die klimatischen Verhältnisse eine entscheidende Rolle. So wurde z.B. die systematische Erschließung des Schwarzwalds sicherlich auch durch das mittelalterliche Klimaoptimum (v. RUDLOFF 1980, SCHÖNWIESE 1995) begünstigt. Das Untersuchungsgebiet weist aufgrund der verschiedenen naturräumlichen Einheiten starke millieuspezifische Gegen-

¹ Die Flächenangaben beziehen sich aus den GIS-basierten Berechnungen der Einzugsgebiete aus dem 30m DHM

sätze auf, die u.a. dafür verantwortlich waren, dass Siedlungsaktivitäten in verschiedenen Landschaftsräumen zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlicher Intensität stattfanden.

2.4.1 Rezente klimatische Situation

Das Untersuchungsgebiet gehört zur Klimazone der gemäßigten Breiten Mitteleuropas. Hier treffen warme, subtropische Luftmassen mit den kalten Luftmassen der Polarregion zusammen. In dieser Frontalzone kommt es zur Bildung von Wirbeln und Tiefdruckgebieten, die für einen wechselhaften Witterungsverlauf verantwortlich sind. Längere, stabile Wetterlagen mit extremen Verhältnissen sind somit eher eine Ausnahme. Das Klima in der Region wird zum einen durch feuchte Luftmassen aus dem Mittelmeerraum und vom Atlantik geprägt, zum anderen können relativ trockene Luftmassen aus dem östlichen Europa das Wettergeschehen beeinflussen (TRENKLE 1987). Die rezenten Klimadaten (Abb. 4) stammen von den Klimastationen Freiburg, Feldberg, St. Märgen und Vogtsburg-Oberrotweil und beziehen sich auf die klimatische Normalperiode von 1961-1990. Die mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen im Untersuchungsgebiet reichen von 10.1° C im Kaiserstuhl bis 3.3° C auf dem Feldberg.

Die Niederschlagsmengen weisen aufgrund der orographischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet einen starken Gegensatz auf. Im Kaiserstuhl liegt die jährliche Niederschlagssumme bei etwa 700 mm, auf dem Feldberg bei über 1900 mm. Hier spiegelt sich der Stau effekt des Schwarzwalds deutlich wider. Auch in der jährlichen Niederschlagsverteilung treten erhebliche Unterschiede im Untersuchungsgebiet auf. In der Oberrheinebene fallen die meisten Niederschläge in den Sommermonaten. Mit zunehmender Höhe im Schwarzwald tritt ein sekundäres Niederschlagsmaximum in den Wintermonaten auf.

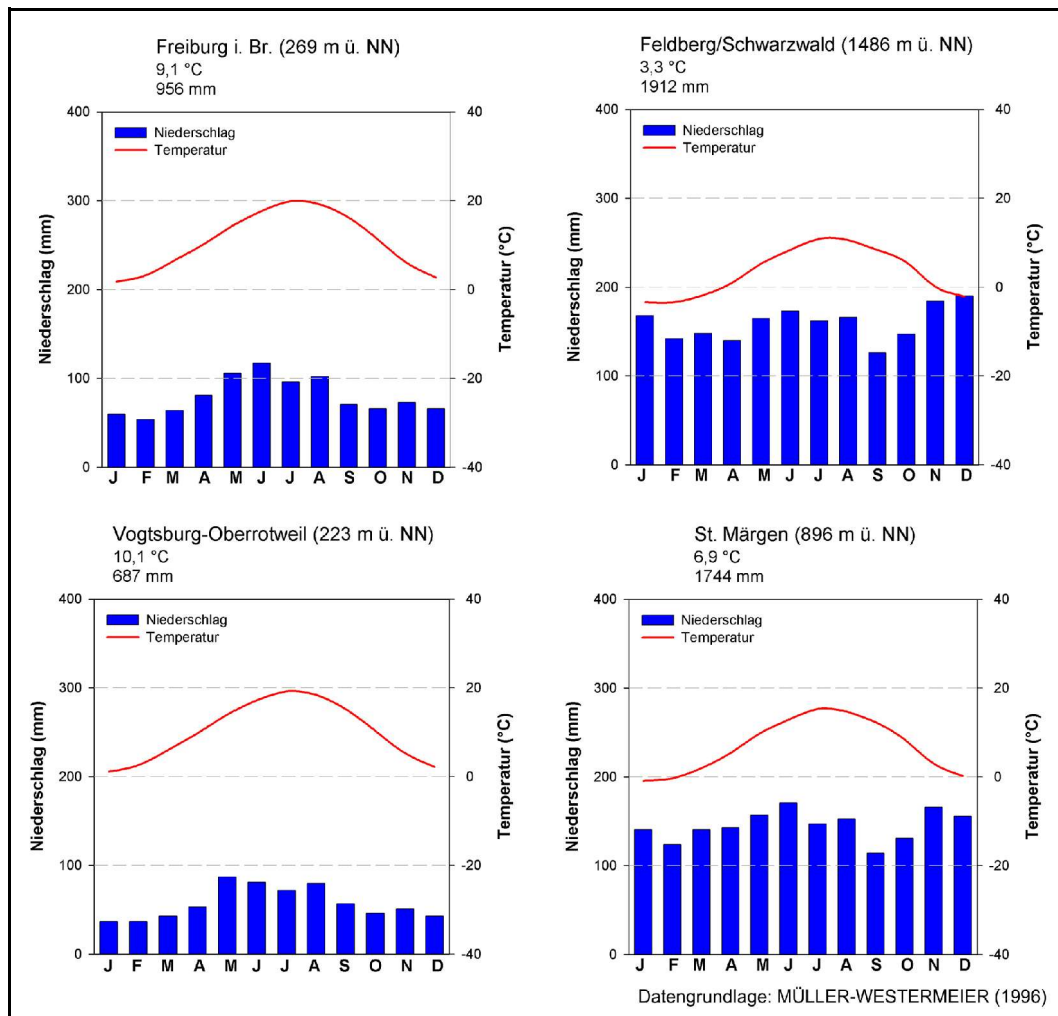


Abb. 4: Klimadaten ausgewählter Stationen im Untersuchungsgebiet

Ein Faktor für Erosionsprozesse sind Starkniederschlagsereignisse. In Tab. 1 sind die unterschiedlichen jährlichen Niederschlagsfrequenzen und -intensitäten für ausgewählte Standorte im Untersuchungsgebiet dargestellt. Aus den Daten wird ersichtlich, dass die höher gelegenen Lagen im Untersuchungsgebiet öfters Starkniederschlägen ausgesetzt sind. Dies ist vor allem auf die sommerlichen, konvektiven Niederschläge zurückzuführen, die sich über dem Schwarzwald bilden. Die Verteilung der Starkniederschlagsereignisse eignet sich aber nur bedingt für Aussagen über Erosionsprozesse, da andere Faktoren wie z.B. Relief, Bodentyp und Bodenbedeckung eine entscheidende Rolle bei Erosionsprozessen spielen.

Tab. 1: Zahl der Tage mit Niederschlagsmengen von 0,1, 1, 10 und 20 mm

Freiburg	188	133	29	7
Waldkirch	185	135	33	10
Bleibach	178	137	40	12
Obersimonswald	175	153	54	18
Feldberg	k.A.	178	66	k.A.

Quellen: TRENKLE 1987, MÜLLER-WEISTERMEIER 1996

2.4.2 Paläoklima

Die Jahresgänge der Niederschläge und Temperaturverhältnisse lassen sich in Mitteleuropa auf der Basis von historischen Quellen bis etwa 1000 n. Chr. zurückschreiben (GLASER 2001). Für den südlichen Oberrhein liegen Daten zu den Monatsmitteln von Niederschlag und Temperatur im Untersuchungsgebiet auf jahreszeitlicher Basis aus den Untersuchungen von DOSTAL (2004) vor (Abb. 5 und 6). Für den Zeitraum vor 1000 n. Chr. müssen natürliche Archive wie z.B. Pollenprofile oder dendrochronologische Daten herangezogen werden, um die klimatischen Verhältnisse zu rekonstruieren. Auch fluviale Sedimente wie Auenlehme erlauben Aussagen zu Klimatrends, allerdings tritt der anthropogene Einfluss auf die fluviale Dynamik ab dem Atlantikum neben den klimatischen Steuerungsfaktoren vermehrt in den Vordergrund (MÄCKEL & ZOLLINGER 1995). Auf der Basis paläoklimatischer Daten lassen sich im Allgemeinen nur Aussagen über Klimatrends treffen. Die zeitlichen und lokalen Variabilitäten des Klimas können nicht rekonstruiert bzw. aufgelöst werden. Für die Temperaturschwankungen während des Holozäns werden von verschiedenen Autoren Werte von 1,5° bis 2° C angegeben (SCHÖNWIESE 1997, FRENZEL 2000, PATZELT 2000). Die Rekonstruktion der Niederschlagsvariabilitäten ist wesentlich schwieriger zu erfassen (LEOPOLD 2002) und erfolgt meist nur in Form von qualitativen Aussagen. Auf der Basis von Klimarekonstruktionen verschiedener Autoren ermittelte NILLER (1998) für den Zeitraum von 7000-2000 cal. BP fünf Phasen, in denen mit höheren Auftretswahrscheinlichkeiten von erosiven Niederschlägen zu rechnen ist (Tab. 2). Ausführlichere Zusammenstellungen über Klimaschwankungen und die klimatischen Verhältnisse im Holozän finden sich u.a. bei LEOPOLD (2002) und NILLER (1998).

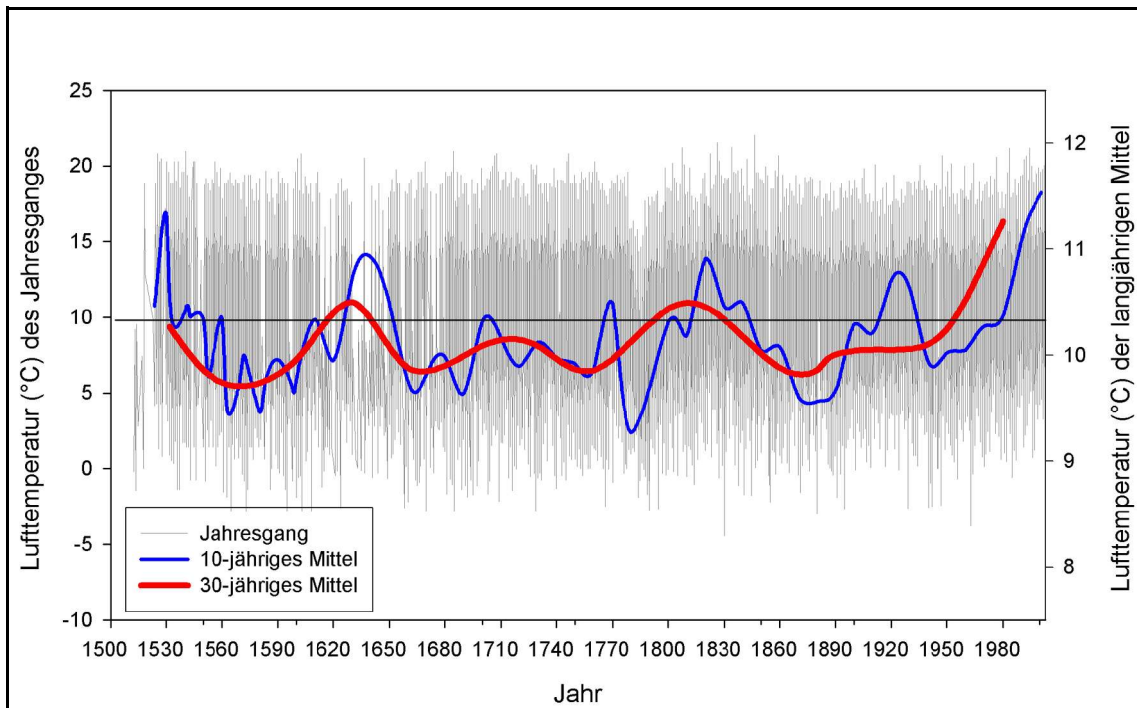


Abb. 5: Der Verlauf der Lufttemperatur in der Regio TriRhena von 1500 bis 2003 (Aus: DOSTAL 2004)

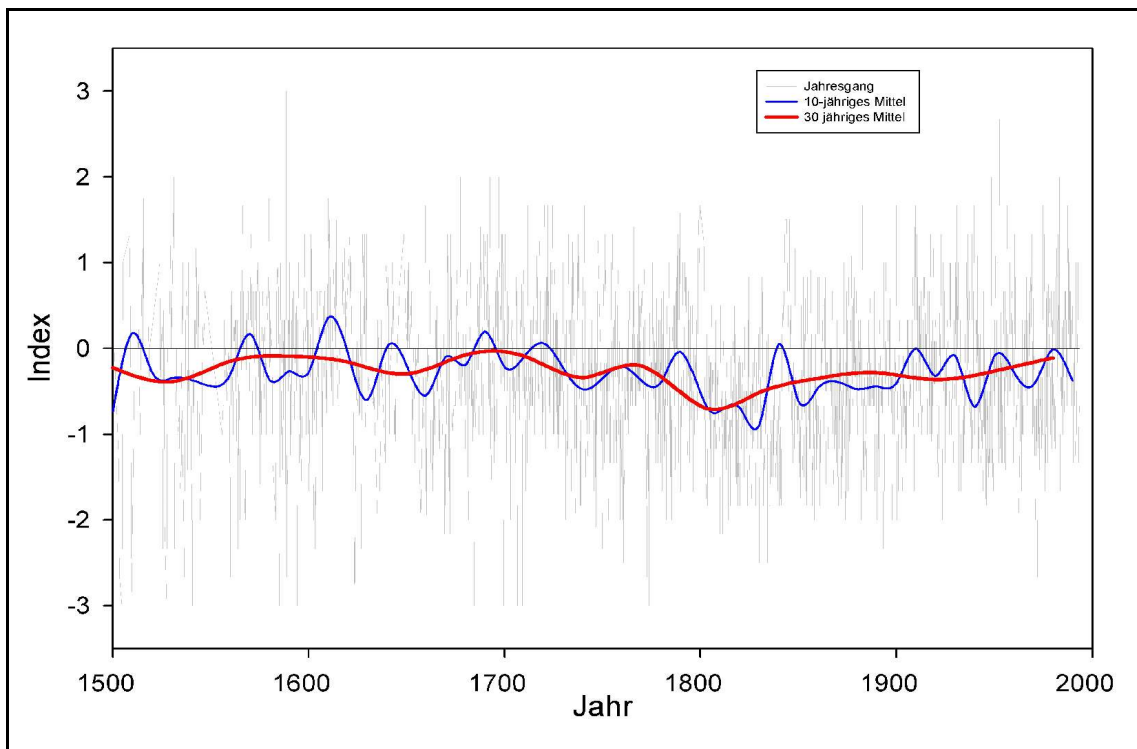


Abb. 6: Niederschlagsindex in der Regio TriRhena von 1500 bis 2003 (+3 extrem nass, -3 extrem trocken)
Aus: DOSTAL (2004)

Tab. 2: Zeiträume im Holozän mit erhöhten Auftrittswahrscheinlichkeiten von erosiven Niederschlägen zwischen 7000-2000 cal. BP

Zeitraum (cal. BP)	Kulturepoche
7200-7050	Altneolithikum
5750-5450	Jungneolithikum
3600-3350	Frühe Bronzezeit
2800-2675	Späte Bronzezeit
2450-2275	Jüngere Eisenzeit

Quelle: NILLER (1998)

2.5 Böden

Die naturräumliche und topographische Vielfalt des Untersuchungsgebiets spiegelt sich auch in der Verteilung der Bodentypen wider. Im Bereich des kristallinen Schwarzwalds treten hauptsächlich Braunerden auf, die sich auf dem periglazialen Vewitterungsschutt der Gneise und Granite gebildet haben und in höheren, niederschlagsreicheren Lagen stellenweise eine Tendenz zur Podsolierung aufweisen.

In den tieferen Lagen der nach Westen geöffneten Schwarzwaldtäler wurde während der letzten Kaltzeit bis in Lagen von etwa 600 m NN Löss angeweht, der jedoch wieder abgetragen und ins Vorland verschwemmt wurde und weitestgehend entkalkt ist (HÄDRICH & STAHR 2001). In Gebieten mit Lössbeimengungen haben sich je nach Tonverlagerung Parabraunerde-Braunerden oder Braunerde-Parabraunerden entwickelt.

An den unteren Hanglagen der Schwarzwaldtäler haben sich infolge der anthropogenen Nutzung stellenweise Kolluvien gebildet. In den Talauen kommen verschiedene Auenböden (Norm-Vega, Norm-Gley, Gley-Vega) vor (HÄDRICH & STAHR 2001). Diese Böden sind auch in den Auenbereichen der Freiburger Bucht und des nördlichen Kaisertuhlvorlands anzutreffen.

Auf der Niederterrasse des Rheins haben sich je nach naturräumlichen Gegebenheiten verschiedene Bodentypen ausgeprägt. Südlich des Kaiserstuhls kommt die rötliche Parabraunerde (auch "rubefizierte Parabraunerde") vor. Im Bereich der Hochflutlehme herrschen als Folge des hohen Grundwasserspiegels Gleye und vergleyte Braunerden vor. Auf Löss bzw. Lösslehm haben sich Parabraunerden und Pararendzinen gebildet.

In den Lössgebieten (Vorbergzone und Kaiserstuhl) herrschen heute Pararendzinen vor. Unter Waldbedeckung an meist nördlich exponierten Lagen sind noch Parabraunerden oder erodierte Parabraunerden erhalten. Untergeordnet treten in den höheren, lössfreien Lagen des Kaiserstuhls Braunerde-Pelosole, Rendzinen aus Karbonatitschutt und Ranker auf. An den Hangfüßen und in den Tälern der Lössgebiete haben sich tiefgründige Kolluvien gebildet.

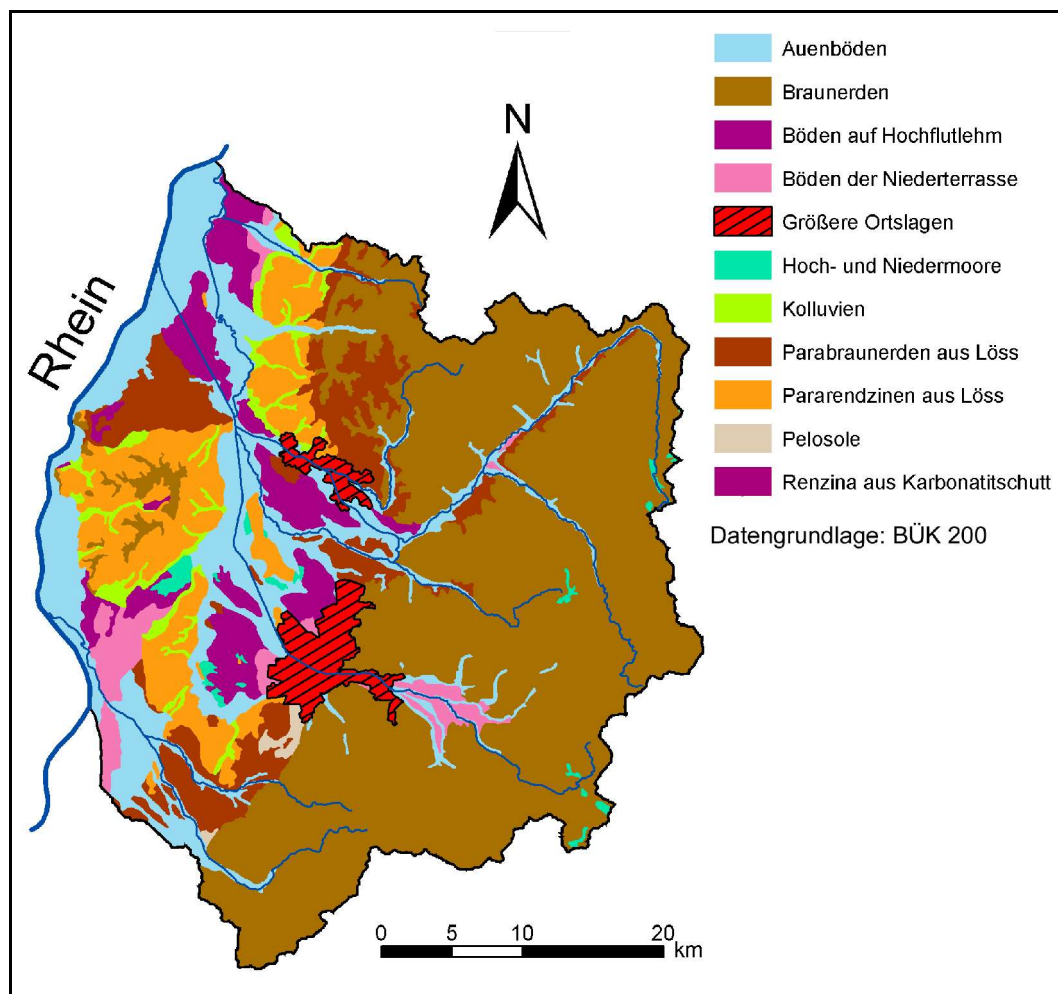


Abb. 7: Vereinfachte Übersicht über die Böden im Untersuchungsgebiet

2.6 Das Relief im Untersuchungsgebiet

Die Karte mit den Hangneigungsklassen wurde auf der Basis des DHM der LfU mit einer horizontalen Auflösung von 30 m berechnet (Abb. 8). Bei dieser Auflösung werden viele Reliefdetails allerdings nicht berücksichtigt. Die Karte mit den Hangneigungsklassen wurde nach der Klassifikation der AG BODEN (1994) unterteilt. Das Relief im Untersuchungsgebiet ist durch die naturräumlichen Gegensätze von Oberrheintiefland und Schwarzwald gekennzeichnet. In der Oberrheinebene herrscht ein überwiegend flaches Relief mit mittel geneigten Hängen vor. Lediglich an den Erhebungen, wie z.B. dem Kaiserstuhl und dem Schönberg, sowie am Westrand des Tunibergs treten zudem stark geneigte Hänge auf. Die Westabdachung des Schwarzwalds hingegen ist durch ein stellenweise sehr steiles Relief mit mittel bis sehr stark geneigten Hängen gekennzeichnet. Die höchsten Werte treten im Höllental mit Hangneigungen von über 60 % auf. Das heutige Relief ist im Laufe von 7500 Jahren durch menschliche Tätigkeit überprägt worden. Gerade in Bereichen mit erosionsanfälligem Ausgangssubstrat wie z.B. in den Lössgebieten des Kaiserstuhls und der Lahr-Emmendinger Vorbergzone ist davon auszugehen, dass das Relief zu Beginn des Ackerbaus vor etwa 7500 Jahren wesentlich steiler gewesen ist als heute. Vollständig erodierte Böden auf den Kuppen und mächtige Kolluvien in den Tiefenlinien sind ein Beleg dafür. Durch ackerbauliche Aktivitäten erfolgte vor allem in den Lössgebieten eine Weichzeichnung des ursprünglichen Reliefs.

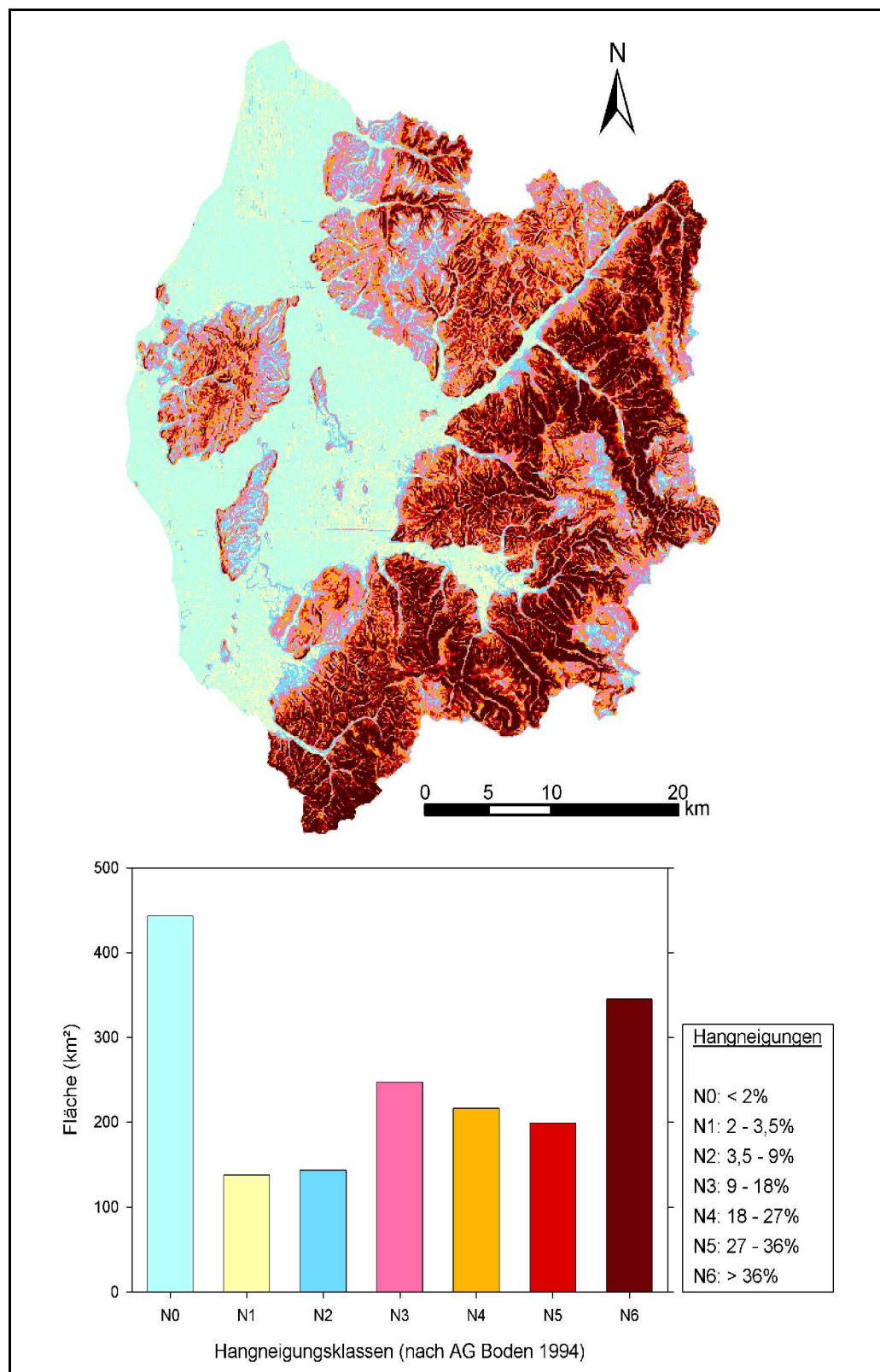


Abb. 8: Hangneigungsklassen im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage: 30 m DHM der LfU)

2.7 Besiedlungsgeschichte

Der Verlauf der Besiedlung im Untersuchungsgebiet ist durch die milieuspezifischen Unterschiede zwischen der klimatisch begünstigten Oberrheinebene mit der Vorbergzone und dem Kaiserstuhl auf der einen und dem siedlungsfeindlichen Mittelgebirgsraum des Schwarzwalds auf der anderen Seite gekennzeichnet. Seit dem Neolithikum waren die Gunsträume Süddeutschlands besiedelt, der Schwarzwald hingegen hob sich als unbewohnte "Insel" inmitten einer Kulturlandschaft hervor. Lediglich Teile der klimatisch begünstigten Vorbergzone und die untersten Talabschnitte der westlichen Schwarzwaldtäler waren von der Besiedlung erfasst (SICK 1992).

Während erste Siedlungsspuren bereits auf das Paläolithikum zurückgehen (Abb. 9), wie z.B. die Rentierjägerstation Munzingen (SANGMEISTER 1993), ist erst ab der Bandkeramik (7500 cal. BP) von einer dauerhaften Besiedlung und Sesshaftwerdung auszugehen, die auch erste Auswirkungen auf die Umwelt und damit auf Erosions- und Akkumulationsprozesse zur Folge hatte. Im Neolithikum wurden zuerst die lössbedeckten Gunstlagen besiedelt. Ab dem Jungneolithikum erfolgte eine Ausweitung des Siedlungsraums auf die Hänge und höheren Lagen.

Über die Siedlungsstrukturen, vor allem in der mittleren Bronzezeit, ist im Untersuchungsgebiet nur wenig bekannt, da nur vereinzelte Funde vorliegen. Diese wurden in erster Linie im Zuge der Rebflurbereinigung im Kaiserstuhl (1965-1983) entdeckt und belegen eine ackerbauliche Aktivität in den Lössgebieten für diese Zeit. Ab der mittleren Urnenfelderkultur ist in der Oberrheinebene und Vorbergzone von einer flächenhaften Besiedlung auszugehen (SANGMEISTER 1993).

Zu Beginn der Hallstattzeit setzte sich Eisen als Werkstoff für Waffen und Arbeitsgeräte durch. Im Bereich des Siedlungswesens herrschten vermutlich Einzelhof- und Weilersiedlungen vor, daneben gab es befestigte Höhengründungen wie z.B. am Schönberg, Schlatter Berg und bei Ihringen (SANGMEISTER 1993, SCHLOTTMANN 1998, WEBER 1998).

In der Latènezeit wurden die Höhengründungen wieder aufgegeben und es wird von einer allgemein geringeren Bevölkerungsdichte als zur Hallstattzeit ausgegangen (SCHLOTTMANN 1998, SANGMEISTER 1993). Ab etwa 200 v. Chr. entstanden befestigte, stadtartige Siedlungen, die so genannten *oppida*. Reste solcher Anlagen befinden sich beispielsweise in Breisach und Ehrenstetten sowie im Zartener Becken (Tarodunum).

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Zeit AD/ BC cal	Zeit BP uncal	Zeit BP cal	Geolo- gische Glieder- ung	Chrono- zone cal BP*	Archäologische Gliederung	Chrono- logische Gliederung	Holozäne Vegetations- phasen im Oberrhein-Tiefland (nach Friedmann 2000)	
-1000			Spätholozän	Subatlantikum	Übergang Hochmittelalter		Kulturlandschaftszeit mit Kiefern- und Mischwäldern von Fichten, Buchen, Hainbuchen	
-800	-1100	-1150			Ottonen	Früh- mittelalter		
					Karolinger			
-600	-1450	-1350			Jüngere Merowingerzeit			
					Ältere Merowingerzeit			
-400	-1730				Spätantike	Römer/ Spätantike		
-200					Jüngere Röm. Kaiserzeit			
0	-2000	-1950			Ältere Röm. Kaiserzeit			
					Latène D	Jüngere Eisenzeit		
-200					Latène C			
-400	-2440	-2400	Mittelholozän	Subboreal	Latène A/B	Ältere Eisenzeit	Eichenmischwald- Kiefernzeit	
-600					Hallstatt D			
-800	-2500	-2750			Hallstatt C			
-1000	-2850	-2950			Urnfelder-Kultur	Späte Bronzezeit		
	-3000				Hügelgräber-Kultur	Mittlere Bronzezeit		
-1500	-3450				Arbon	Frühe Bronzezeit		
	-3500				Singen			
-2000	-3950				Schnur- keramik	End- neolithikum		
					Glocken- becher			
-2500	-4000	-4450			Horgen	Spät- neolithikum		
-3000	-4400	-4950		Atlantikum	Michels- berg	Jung- neolithikum		Kiefern-Eichenmisch- wald-Haselzeit
-3500	-4700	-5450			Kugelbecher			
-4000	-5000				Kugelbecher			
					Rössen	Mittel- neolithikum		
-4500	-5650	-6450			Großgartach			
-5000	-6100	-6950			Bandkeramik	Altneolithikum		
-5500								
-6000	-7150	-7950	Frühholozän	Boreal	Spätmesolithikum	Mesolithikum	Jüngere Kiefern- Haselzeit	
-7000	-7950	-8950						
-8000	-8890	-9950		Präboreal	Frühmesolithikum			
-9000	-9550	-10950			Frühestmesolithikum			
-10000	-10250	-11950		Pleistozän	Spätglazial	Spätpaläolithikum	Paläolithikum	

Quelle: LECHNER et al. 2003

Abb. 9: Chronostratigraphische Gliederung des Holozäns (Aus: LECHNER et al. 2003, verändert)

Ab dem 1. Jh. n. Chr. kam der südwestdeutsche Raum unter den Einfluss der römischen Herrschaft, welche maßgebliche Veränderungen in der Siedlungsstruktur mit sich führte. Das vorhandene Straßennetz wurde ausgebaut und die Landwirtschaft ausgeweitet, u.a. um die Versorgung der Truppen zu gewährleisten. An klimatisch begünstigten Standorten, zu denen auch das Oberrheintiefland zählt, wurden Sonderkulturen wie z.B. Wein und Obst angebaut. Auch das Siedlungswesen brachte neue, bisher unbekannte Formen hervor, wie z.B. Truppenlager (*castra*), Städte, stadt- und dorfartige Siedlungen (*vici*) und Gutshöfe (*villae rusticae*) (PLANCK 1976, SANGMEISTER 1993). Aus der Römerzeit sind am südlichen Oberrhein zahlreiche Hinweise auf Bergbau zu finden, wie beispielsweise bei Badenweiler und Sulzburg (STEUER 1999). Der Einfluss dieser Bergbauaktivitäten spiegelt sich auch in den Erosions- und Akkumulationsprozessen wider (MÄCKEL et al. 2003).

Ab 260 n. Chr. erfolgte durch die Einwanderung der Alamannen ein Wechsel in der Wirtschafts- und Siedlungsform sowie des Sozialgefüges im südwestdeutschen Raum. Die römische Kultur wurde von der alamannischen Kulturform abgelöst, die römische Bevölkerung wurde jedoch nicht vollständig verdrängt (SCHLOTTMANN 1998). Die Zeitspanne des "Klimapessimum der Völkerwanderungszeit" (SCHÖNWIESE 1995) ist durch eine allgemeine Fundarmut gekennzeichnet (DEHN 1999), die auf einen Rückgang der Bevölkerung und der landwirtschaftlichen Aktivitäten schließen lässt.

Ab dem 7. Jh. n. Chr. treten in der Merowingerzeit wieder verstärkt Hinweise auf Siedlungsaktivitäten in Form von Reihengräbern auf, wie z.B. bei Munzingen, Mengen, Hartheim und Merdingen. Obwohl von einer starken Aufsiedlung ausgegangen wird, sind direkte Funde von Siedlungsplätzen relativ selten. Dies könnte damit zusammenhängen, dass diese Plätze unter den heute noch bestehenden Ortschaften verborgen liegen bzw. durch Überbauung zerstört wurden (SCHLOTTMANN 1998).

Im Zuge des hochmittelalterlichen Landesausbaus wurden ab dem 11. Jh. n. Chr. auch die Täler und Hochlagen im Schwarzwald systematisch durch Klöster erschlossen.

Die Träger der Kolonisation des Schwarzwalds waren hauptsächlich Klöster, aber auch weltliche Herrschaftsträger waren an einer Machterweiterung im Neuland interessiert. Dabei spielten die größeren Täler wie zum Beispiel das Elztal oder das Kinzigtal eine wichtige Rolle als Siedlungsleitlinien für die voranschreitende Besiedlung. Im Untersu-

chungsgebiet sind vor allem die Klöster St. Margarethen (Waldkirch, zwischen 912 und 918), St. Georgen (1084), St. Peter (1093), St. Märgen (1118) und St. Trudpert (Münstertal, ab 8 Jh.) für die Erschließung des Schwarzwalds zu nennen. Die Besiedlung der höher gelegenen Seitentäler war erst um das 14. Jahrhundert abgeschlossen (SCHNEIDER 2000). Die Siedlungstätigkeit führte zu einer Entwaldung im Schwarzwald und verstärkte die Abspülung von Feinmaterial von den Hängen, was die Bildung von Kolluvien an den Hangfüßen und Auenlehmdecken in den Talauen zur Folge hatte. In der Zeit zwischen dem 11. und 16. Jh. n. Chr. war der Bergbau auf Silber, Blei und Kupfer im Schwarzwald von enormer Bedeutung. Das Suggental, St. Ulrich und Sulzburg sowie der Schauinsland entwickelten sich zu wichtigen mittelalterlichen Bergbaurevieren. Während und vor allem nach dem Niedergang der Bergbauindustrie entstand im Schwarzwald ein vielseitiges Waldgewerbe. Dazu zählten Holzverarbeitung, Köhlerei, Glashütten, Harzgewinnung und Waldweidewirtschaft (BRUCKNER 1992, SICK 1992). Zusammen mit den vorausgegangenen Rodungsphasen durch den Bergbau führten diese Aktivitäten zu einer starken Degradierung der Wälder. Ende des 18. Jahrhunderts waren große Gebiete im Schwarzwald waldfrei, die verbliebenen Waldflächen waren weitestgehend devastiert (WILMANNS 2003, BÜRGER 2004). Ab dem 19. Jahrhundert erfolgte eine Wiederaufforstung, bei der hauptsächlich die Fichte verwendet wurde.

3. Vorgehensweise und Methodik

In einem ersten Arbeitsschritt werden die alluvialen und kolluvialen Speicher aus Karten abgeleitet. Da für das Untersuchungsgebiet nur die Geologische Karte im Maßstab 1:25 000 flächendeckend vorliegt, werden die Informationen über die räumliche Verbreitung der holozänen Sedimentspeicher aus diesem Kartenwerk entnommen und mit den Punktdaten aus den Geoarchiven verglichen. Obwohl die Daten über die Lage und Ausbreitung der Auensedimente und Kolluvien im Maßstab 1:25 000 mit einer gewissen Unschärfe behaftet sind, stellen sie die einzig verwendbare Datengrundlage dar, um die holozänen Sedimentspeicher in ihrer flächenhaften Ausbreitung zu erfassen. Karten im größeren Maßstab liegen nicht vor. Andere Kartenwerke wie z.B. die Bodenkarte 1:25 000 sind nicht flächendeckend für das Untersuchungsgebiet verfügbar. In einem zweiten Schritt werden die Informationen aus den in der Regel punktuell vorliegenden Daten der Geoarchive mit den Flächendaten verschnitten und in Hinblick auf die für die RheinLUCIFS Fragestellung relevanten Mächtigkeiten der holozänen Sedimente ausgewertet. Dadurch ist zunächst einmal eine Quantifizierung der kolluvialen und alluvialen Sedimentspeicher im Untersuchungsgebiet über den Zeitraum seit Beginn des Ackerbaus im Neolithikum möglich (Kap 4 und 5). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird in einem dritten Arbeitsschritt eine Massenbilanzierung erstellt (Kap. 6).

3.1 Datengrundlage für die räumliche Verteilung der holozänen Sedimentspeicher

Die Blätter 7612, 7711, 7712, 7811, 7812, 7911, 7912, 8011, 8012, 8112 und 8113 der GK 25 lagen in digitaler Form als Shapefiles vom LGRB vor. Die Kartenblätter 7714, 7813, 7814, 7913, 7914, 8013, 8014 und 8114 waren nur in gedruckter Form verfügbar, so dass die Informationen dieser Karten erst digitalisiert werden mussten. Dazu wurden die Kartenblätter eingescannt und georeferenziert. Anschließend erfolgte die Digitalisierung der kartierten Auenbereiche und Kolluvien.

Da die Blätter der GK 25 von unterschiedlichen Kartierern aufgenommen wurden, mussten die gewählten Bezeichnungen für die geologischen Einheiten der verschiedenen

Kartenblätter vereinfacht und zusammengefasst werden. Die Erfassung der flächenhaften Verteilung der Auensedimente erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:

- Die Einheiten "qj" (Junge Talfüllungen), "h" (Auensedimente), "hl" (Auenlehm) und "hl/hg" (Flussschotter in Talaue), "qs" (Schwemmfächer oder Schwemmkegel), "hl/phl" (Auenlehm über Hochflutlehm) und "h/qpg" (Auensedimente über Niederter-rassenschottern) wurden zu für die Fragestellung der Untersuchung relevanten Bereichen zusammengefasst.
- Die als "hs" (Auensand) kartierten Bereiche in der Rheinaue wurden nicht mit in die Bilanzierung einbezogen, da diese Auenflächen nicht mehr zu den Einzugsgebieten der Rheinzufüsse zu zählen sind.
- Die geologische Karte 1:25 000, Blatt 7713 Schuttertal, ist zur Zeit nicht verfügbar. Um annäherungsweise Daten für diesen Bereich zu bekommen, wurde für kleinere Zuflüsse des Ettenbachs und Bleichbachs im Bereich des Schwarzwalds im Blatt 7713 eine mittlere Auenbreite von 50 m zu Grunde gelegt. Dieser Wert entspricht dem Durchschnittswert für Auenbereiche im südlich anschließenden Blatt 7813 der GK 25. Die so ermittelten Auenbereiche wurden in den Tälern des Ettenbachs und Bleichbachs durch die Kartiereinheit 48 (Auengley bis Brauner Auenboden) der BÜK 200 erweitert, welche in den breiteren Auen der o.g. Flüsse vorkommt.

Die Verbreitung der Kolluvien wurde ebenfalls aus den geologischen Karten 1:25 000 abgeleitet. Alle Bereiche, die als jüngere Abschwemmmassen kartiert sind, wurden mit in die Untersuchungen einbezogen.

3.2 Auswertung der zeitlichen Informationen von holozänen

Sedimentspeichern und ihren Mächtigkeiten

Um möglichst viele Informationen zur Mächtigkeit der Sedimentspeicher und, soweit möglich, auch zur zeitlichen Differenzierung aus den Geoarchiven zu erhalten, wurden verschiedene Quellen ausgewertet. Eine wichtige Datengrundlage dafür sind die Forschungsergebnisse und Daten, die im Rahmen der DFG-Schwerpunktprogramme "Fluviale Hangdynamik im jüngeren Quartär" (1987-1992) und "Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren" (1995-2000) gewonnen wurden. Im Rahmen dieser Forschungsprojekte wurden zahlreiche Geländeaufnahmen (Bohrungen, Aufnahmen von

Aufschlüssen, Einmessungen von Querprofilen usw.) im gesamten Untersuchungsgebiet durchgeführt, deren Daten mit in diese Arbeit einfließen (MÄCKEL & RÖHRIG 1991, MÄCKEL & ZOLLINGER 1995, MÄCKEL & FRIEDMANN 1998, SEIDEL 1999, SCHNEIDER 2000, FISCHER 2000, MÄCKEL et al. 2001, MÄCKEL et al. 2002, MÄCKEL et al. 2003). Weitere, für die Erfassung und Bilanzierung der holozänen Sedimente relevante Daten wurden durch eigene Geländeaufnahmen und im Rahmen der ersten Phase des DFG-Graduiertenkollegs 692 "Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese" von 2001 bis 2004 gewonnen (MISCHKA et al. 2003, SEIDEL et al. 2004).

Eine grundsätzliche Schwierigkeit besteht in der Auswertung der zeitlichen Information aus den Geoarchiven, da prinzipiell mit Diskordanzen in den Profilabfolgen gerechnet werden muss. Besonders Kolluvien können einem kaskadenartigen Sedimenttransport unterliegen, was dazu führen kann, dass älteres Material, welches beispielsweise zunächst am Mittelhang zwischengespeichert wurde, durch spätere Erosionsprozesse an den Unterhang bzw. in die Tiefenlinie gelangen kann (LANG et al. 2003, Abb. 10). Dadurch ist der Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Ablagerung und dem da-

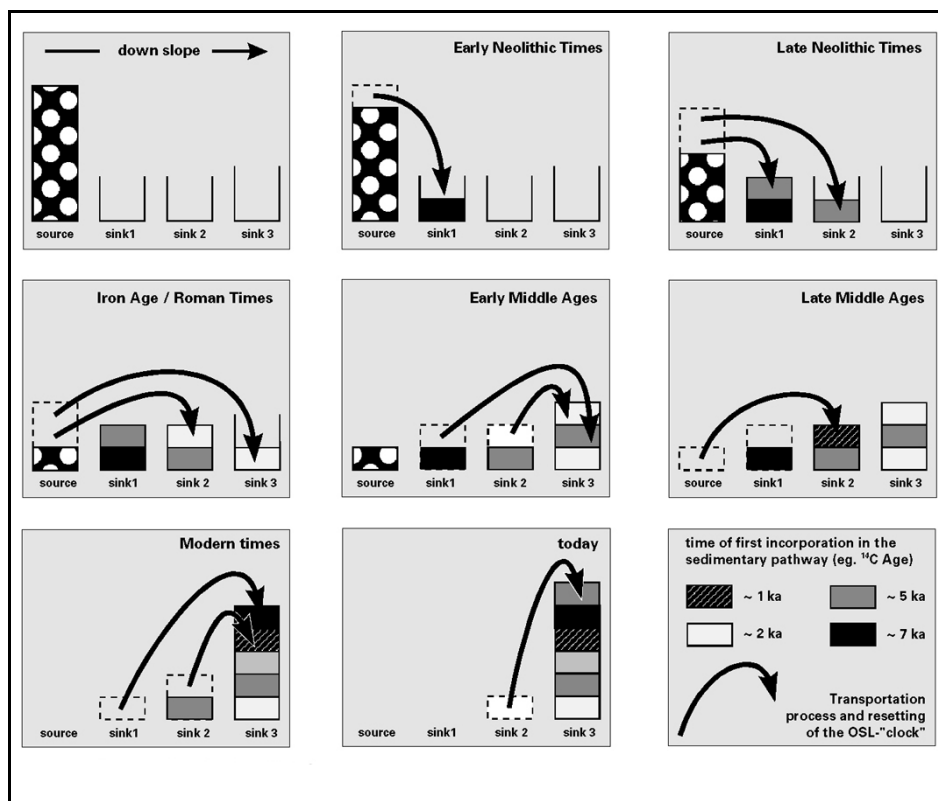


Abb. 10: Kaskadenmodell zum Sedimenttransport (Aus: LANG et al. 2000)

tierten Material nicht immer eindeutig. Beispielsweise können Reste einer höher gelegenen hallstattzeitlichen Siedlung durch spätere Erosionsprozesse in Form eines Kolluviums in der Tiefenlinie abgelagert werden.

Die Auswertung der vorliegenden zeitlichen Informationen aus den Geoarchiven erfolgt nach den folgenden Grundsätzen:

- ^{14}C -Datierungen von Holzkohlestücken und archäologischen Funden in verlagerten Sedimenten geben lediglich ein Maximalalter an. Gerade im Bereich der Kolluvien im Kaiserstuhl und in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone wurde bei den ausgewerteten Geländeaufnahmen in den wenigsten Fällen das anstehende Gestein oder eine in situ vorliegende Schicht wie z.B. Torf angetroffen. Daher sind präzise Aussagen über die seit dem Beginn des Neolithikums abgelagerten Sedimentmächtigkeiten nicht immer möglich. Zeitliche Differenzierungen innerhalb dieser Ablagerungen können nur gemacht werden, wenn eindeutige Hinweise auf eine ehemalige Geländeoberfläche gefunden werden, wie z.B. in die betroffenen Schichten eingetiefte Befunde, Torfschichten oder fossile Ah-Horizonte.
- Bei Funden (Holzkohle, Artefakte) mit unterschiedlichen Datierungen in einer verlagerten Schicht wird jeweils das jüngste Alter als Maximalalter für diese Schicht herangezogen.
- Die Bohrungen in den Flussauen aus den o.g. DFG-Schwerpunktprogrammen wurden im Bereich des Schwarzwalds in der Regel mit einem Pürckhauer Erdbohrstock durchgeführt. Diese Bohrungen wurden immer so weit wie möglich abgetäuft, wobei davon auszugehen ist, dass mit dem Erdbohrstock keine Schotter durchbohrt werden können. Da auch im Holozän während Hochwasserereignissen Schotter in den Auen abgelagert wurden, ist eine Trennung zwischen dem pleistozänen Schotterkörper und eventuellen jüngeren schotterhaltigen Hochwasserablagerungen nicht immer möglich. Daher lässt sich aus der Tiefe der Bohrungen nur die minimale Mächtigkeit der holozänen Auensedimente ableiten.

3.2.1 Geländearbeiten

Während der Laufzeit der ersten Phase des RheinLUCIFS-Bündels (s. Vorwort) wurden mehrere Aufschlüsse in Baugruben und an Großbaustellen wie z.B. entlang der Trans Europa Naturgas Pipeline (TENP) aufgenommen. Im Verlauf der TENP-Gastrasse, die zwischen 2001 und 2003 in drei Bauabschnitten von Nord nach Süd durch das Untersuchungsgebiet geführt wurde (Abb. 11), konnten mehrere Geländeaufschlüsse aufgenommen werden (vgl. SEIDEL et al. 2004). Diese Baumaßnahme ermöglichte wichtige Einbli-

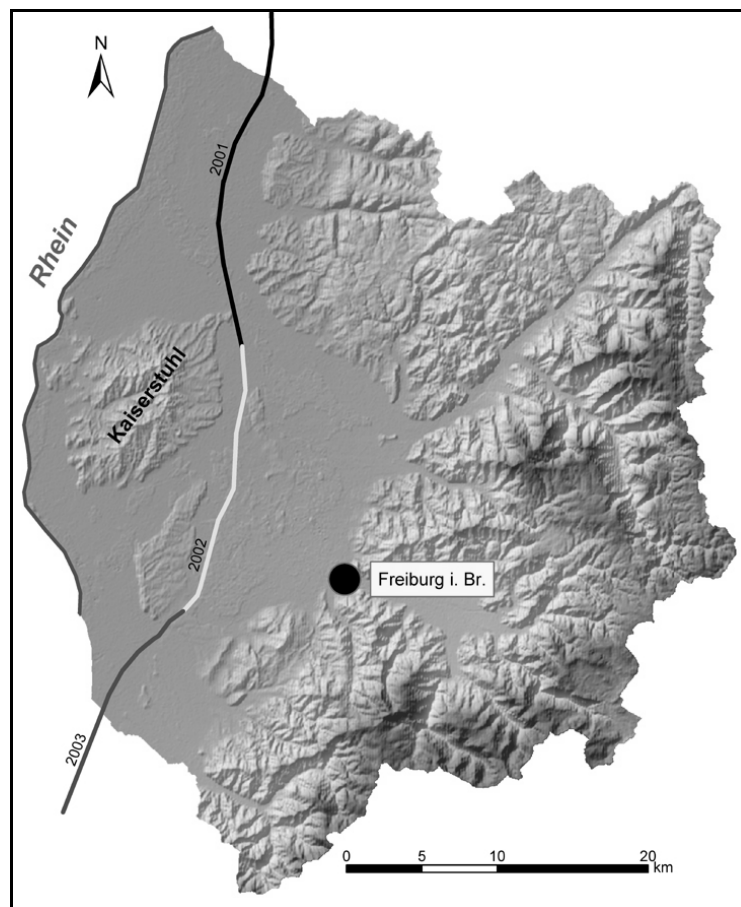


Abb. 11: Verlauf der TENP-Trasse im Raum Freiburg. Die einzelnen Bauabschnitte sind mit den entsprechenden Jahreszahlen versehen

cke in die Stratigraphie der holozänen Sedimente. Die eigenen Geländearbeiten konzentrierten sich neben der TENP-Trasse auf Baugruben im Raum um Ettenheim und südwestlich von Freiburg. Die jeweiligen Aufschlussprofile und Datierungen werden bei der Beschreibung der einzelnen Teilräume aufgeführt und dargestellt (s. Kap. 4 und 5).

Die Standortauswahl der Geländeaufnahmen richtete sich nach den Aufschlusssituationen, die sich im Rahmen von privaten Baumaßnahmen und entlang der TENP-Gastrasse ergaben. Die Profile wurden nach den Kriterien der AG BODEN (1994) aufgenommen. Im Gelände wurden folgende Merkmale festgehalten:

- Rechtswert/Hochwert mit GPS
- Farbe nach MUNSELL bzw. nach AG BODEN (1994)
- Schicht bzw. Horizontmächtigkeit
- Karbonatgehalt (10% Salzsäure)
- Hydromorphiemerkmale
- Sonstige Merkmale wie Holzkohle, Artefakte, Pflanzenreste etc.

Aus den erkennbaren Schichten im Profil wurden die Korngrößen mittels der Fingerprobe nach SEMMEL (1983) bzw. durch Korngrößenbestimmung im Labor ermittelt.

3.2.2 Laboranalysen

Korngrößenanalysen

Die Korngrößenbestimmung der Bodenproben erfolgte am Physischen Labor des Geographischen Instituts der Universität Bonn. Die Proben wurden getrocknet und die Grobbodenfraktion ($\varnothing > 2\text{mm}$) ausgesiebt. Die Korngrößenbestimmung der verbliebenen Feinbodenfraktion ($\varnothing < 2\text{mm}$) wurde nach der Pipettiermethode (KÖHN-Methode) durchgeführt. Vor der Korngrößenbestimmung erfolgte die Zerstörung der organischen Substanz mit H_2O_2 .

Karbonatbestimmung

Die Karbonatgehalte wurden im Gelände nach der AG BODEN (1994) mit 10 % Salzsäure bestimmt. Bei einigen Proben (s. Anhang) wurde der Karbonatgehalt im Labor des Instituts für Geographie, Abteilung für Landschaftsökologie und Bodenkunde der Universität Regensburg mit der gasvolumetrischen Methode nach SCHEIBLER-FINKELER gemessen. Dabei wird das vorhandene Karbonat in den Proben (0,5 bis 2 g Feinboden) mittels Salzsäure zerstört und das freigesetzte CO_2 unter Berücksichtigung der herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen in % Karbonat umgerechnet.

Kohlenstoffbestimmung

Die Bestimmung des Kohlenstoffgehalts erfolgte im Labor des Instituts für Geographie, Abteilung für Landschaftsökologie und Bodenkunde der Universität Regensburg mit dem CNS-Auto-Analyser der Firma ELEMENTAR, Typ Vario EL III und der sog. "Nassen Veraschung". Generell hat sich dabei gezeigt, dass die C_{org} Werte der nassen Veraschung zwischen 0 und 50 % über den CNS-Werten liegen. Bei den Proben des Schwarzen Auenbodens wurde zusätzlich die organische Substanz mittels Glühverlust bei 600 °C bestimmt. Dabei ist festzustellen, dass die Glühverluste dieser Proben zwischen dem Faktor 4-8 über den C_{org} Werten der CNS-Analyse lagen, so dass die zur Berechnung der organischen Substanz übliche Formel: *C-org x 1,72 (bzw. x2 bei Torfen und Auflagehumus) = Organische Substanz* (AG BODEN 1994) für die Proben des Schwarzen Auenbodens nicht geeignet ist.

Magnetische Suszeptibilität

Die magnetische Suszeptibilität wurde mit einer Barrington MS2-Sonde im Labor des Instituts für Geographie, Abteilung für Landschaftsökologie und Bodenkunde der Universität Regensburg durchgeführt. Jede Probe wurde zweimal gemessen und aus den Ergebnissen der Mittelwert gebildet.

Die magnetische Suszeptibilität (Einheit: SI) ist eine Größe für die "Magnetisierbarkeit" von Bodenproben. Dabei treten Anomalien entweder durch natürliche Pedogenese (Bildung von Eisenoxiden) oder durch anthropogene Einwirkungen wie z.B. Feuer auf (LEOPOLD 2002).

Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Bestimmung der Gesamtgehalte ausgewählter Elemente (siehe Ergebnisliste) erfolgte mittels eines feldportablen Röntgenfluoreszenzanalysators (RFA) der Firma NITON, Typ Xl722s im Labormodus. Analysiert wurde der bei 40° C getrocknete Feinboden (10 g) im Labor bei einer Messzeit von 120 Sekunden.

Die RFA liefert Gesamtkonzentrationen verschiedener Elemente, deren Auswahl von der verwendeten Strahlenquelle abhängig ist. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden ^{109}Cd und ^{241}Am -Strahlenquellen verwendet, die Konzentrationen verschiedener

Metalle und Halbmetalle mit den Ordnungszahlen 24 (Cr) bis 82 (Pb) liefern. Die Untersuchungen mit der RFA erfolgten zum einen, um mögliche Differenzen in der stofflichen Zusammensetzung des Schwarzen Auenbodens (s. Kap 3.2.6) gegenüber den anderen Auensedimenten herauszufinden, und zum anderen, um die Schwermetallgehalte in den Auensedimenten der Möhlin zu messen.

3.2.3 ^{14}C -Datierungen

Insgesamt liegen aus den beiden o.g. DFG-Schwerpunktprogrammen über 100 ^{14}C -Datierungen aus Aufschlüssen und Bohrungen vor. In die Auswertung dieser Arbeit sind 51 Datierungen eingeflossen (s. Anhang), die eine wichtige Grundlage für die zeitliche Auswertung der Geoarchive bilden. Die ^{14}C -Daten wurden in einer Datenbank gespeichert und in ein GIS integriert, um so eine Abfrage nach Alter, Tiefe, Lage etc. zu ermöglichen. Die konventionellen ^{14}C -Datierungen wurden in Labors in Kiel, Heidelberg, Hannover und Miami (USA) durchgeführt, die AMS-Datierungen erfolgten in Miami und Erlangen. Da manche der Daten noch aus den 1980er Jahren stammen und die Datierungen an verschiedenen Standorten erfolgten, wurden die Radiokarbonalter aller vorliegenden Proben mit dem Programm *OxCal* v3.5 (BRONK RAMSEY 2001) unter Verwendung des Kalibrationsdatensatzes *INTcal 98* (STUIVER et al. 1998) nachträglich kalibriert, um eine einheitliche Datengrundlage zu schaffen. Die Alter der ^{14}C -Daten werden in kalibrierten Kalenderjahren vor dem Bezugsjahr 1950 (cal. BP) mit der Standardabweichung 1σ angegeben.

3.2.4 Daten aus der Geologischen Karte 1:25 000

Zur Ergänzung der Daten aus den Forschungsprojekten wurden Daten aus der GK25 herangezogen. Für jedes Kartenblatt wurden Bohrungen durchgeführt, die als Kurzprofil mit Angabe der Höhe in m NN, Koordinaten und der Stratigraphie in den vorläufigen Geologischen Kartenblättern bzw. den Erläuterungen zur GK25 veröffentlicht sind. Die stratigraphische Aufnahme der Bohrungen ist allerdings für den Bereich des Holozäns zum Teil unpräzise, da die Bohrungen teilweise bis zu mehreren hundert Metern abgetäuft wurden. Grundsätzlich wurden zur Ergänzung der Geländearbeiten nur Bohrprofile herangezogen, in deren Profilbeschreibung Auenlehme und Abschwemmmassen

(= Kolluvien) explizit beschrieben sind. In manchen Fällen sind in den Bohrprofilen der GK 25 Abschwemmmassen (= Kolluvien) und Schwemmlöss für das Holozän in einer Schicht zusammengefasst. In diesen Fällen wird von der Arbeitshypothese ausgegangen, dass die Schwemmlösse vor Beginn des Ackerbaus im Neolithikum abgelagert wurden. Die Tiefenangaben aus diesen Bohrprofilen geben folglich einen zu hohen Wert für die Kolluvienmächtigkeit wieder. Daher wurden diese Bohrprofile nur zur Verifizierung der umliegenden Bohrpunkte herangezogen. Bohrprofile, die im Bereich von größeren Bauten wie z.B. Straßen und Brücken aufgenommen wurden, und Bohrprofile, die im oberen Bereich beispielsweise durch künstliche Aufschüttungen gestört sind, wurden nicht mit berücksichtigt.

Die in dieser Arbeit verwendeten Bohrungen sind mit Angabe von Rechts- und Hochwert sowie einer kurzen Profilbeschreibung mit Angabe zur holozänen Sedimentmächtigkeit im Anhang aufgelistet.

3.2.5 Daten von archäologischen Fundstellen

Weitere wichtige Daten für die Sedimentbilanzierung lassen sich aus archäologischen Funden und Befunden gewinnen. Diese liefern, sofern sie in situ vorliegen, wichtige zeitliche Informationen zu den Geoarchiven. Aus verlagertem Fundmaterial in Auensedimenten bzw. Kolluvien kann aber in der Regel nur ein Maximalalter (*terminus post quem*) für die jeweilige Schicht abgeleitet werden. Im Rahmen des DFG-Graduiertenkolles 692 "Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese" wurden die Ortsakten aus dem Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Außenstelle Freiburg von MISCHKA, FAUSTMANN und McCABE ausgewertet. Erste Ergebnisse dieser Arbeiten sind bereits veröffentlicht (MISCHKA et al. 2003).

Ein grundsätzliches Problem bei der Auswertung der archäologischen Befunde aus den Ortsakten des Landesdenkmalamts liegt darin, dass in der Regel keine Angaben zur Stratigraphie und zu den bodenkundlichen Eigenschaften vorliegen. Auch die Tiefenangaben sind zum Teil nur sehr grob gefasst.

3.2.6 Fossile Leithorizonte (Schwarzer Auenboden)

Im Laufe der Forschungsarbeiten im Rahmen der o.g. DFG-Schwerpunktprogramme wurde bei Geländearbeiten immer wieder ein schwarzer Horizont angetroffen, der z.B. von SCHNEIDER (2000) und MÄCKEL et al. (2003) als reliktsche und zum Teil erodierte Schwarzerde bzw. als "Feuchtschwarzerde" angesprochen wurde. Auch im Rahmen der Kartierung der Bodenkarten 1:25 000 wurde dieser Leithorizont in zahlreichen Bohrprofilen gefunden (mündl. Mitteilung von B. LINK, Landesamt für Geologie, Bergbau und Rohstoffe Baden-Württemberg, Abt. Bodenkunde vom 11.06.2004).

Dieser schwarze Horizont ist als Leithorizont besonders interessant, da er bereits in verschiedenen Gebieten angetroffen und beschrieben wurde, so z.B. in der Wetterau (RITTWEGER 2000, HOUBEN 2002) und im Einzugsgebiet der Lahn (MÄCKEL 1969) und somit einen Vergleich der Landschaftsgeschichte in verschiedenen Gebieten erlaubt. Allerdings ist die Genese dieses Horizonts nach wie vor noch nicht eindeutig geklärt. Oftmals wird dieser Horizont als "Feuchtschwarzerde" bezeichnet (MÄCKEL 1969, SCHNEIDER 2000). Diese Nomenklatur ist jedoch unglücklich gewählt, da mit dem Begriff "Schwarzerde" im bodenkundlichen Sinne mächtige Ah-Horizonte verbunden sind. Zudem handelt es sich bei Schwarzerden im eigentlichen Sinne um terrestrische Böden. Daher wird der für diesen Leithorizont u.a. von RITTWEGER (2000) und HOUBEN (2002) verwendete Begriff "Schwarzer Auenboden" benutzt.

Für das Gebiet des südlichen Oberrheins gilt es zuerst, die zahlreichen "Schwarzerdebefunde" räumlich und genetisch zu differenzieren. Zum einem kommen diese in Auenbereichen vor, wo sie als "Feuchtschwarzerde" (= Schwarzer Auenboden) bezeichnet werden (SCHNEIDER 2000, MÄCKEL et al. 2002). Zum anderen wird von schwarzerdeähnlichen Böden oder degradierten Schwarzerden in den Lössgebieten berichtet, die zum Teil auch in Zusammenhang mit archäologischen Befunden auftreten (BIBUS 1989, TERHORST 2000, MÄCKEL et al. 2002, MÄCKEL et al. 2003). Solche Befunde sind auch aus anderen Gebieten wie z.B. dem Rheinland bekannt (GERLACH 2003). Dabei stellt sich grundsätzlich die Frage, ob während des Neolithikums in den Lössgebieten des südlichen Oberrheins überhaupt Schwarzerden (Tschernoseme) vorhanden waren. Dagegen spricht die Tatsache, dass es in der Literatur erhebliche Differenzen bei der Frage nach der Genese von Schwarzerden gibt. ECKMEIER (2002) hat eine Übersicht über die Entstehungstheori-

en der Schwarzerden von verschiedenen Autoren zusammengestellt. Dabei zeigt sich, dass sowohl bei der zeitlichen Einordnung der Schwarzerden (Spätglazial bis ins Atlantikum) als auch bei der Vegetation, unter der sich diese Schwarzerden gebildet haben sollen (Wald, Steppe), keine einheitliche Theorie vorhanden ist. GERLACH (2003) geht z.B. davon aus, dass sich im Rheinland unter Ulmen-Lindenwäldern keine Tschernoseme bilden dürften. Auch der in der Bodenkunde verbreitete Standpunkt, dass sich die Tschernoseme ab dem Atlantikum zu Parabraunerden umgewandelt bzw. entwickelt haben (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998), muss für den südlichen Oberrhein in Frage gestellt werden, da die in den Lössgebieten noch vorhandenen Parabraunerden als holozäne Bildungen auf Löss betrachtet werden (GHANEM 1975, HÄDRICH & STAHR 2001). Vielmehr muss wohl davon ausgegangen werden, dass im südlichen Oberrheingebiet Schwarzerden im eigentlichen Sinne nicht vorhanden waren. Die These, dass die neolithischen Kulturen natürliche Schwarzerden vorgefunden haben, weil beispielsweise im Bereich dieser Siedlungen schwarze Böden auftreten, muss daher bezweifelt werden (GERLACH 2003). Weitere Ausführungen zum Stand der Forschung bezüglich der holozänen Bodenbildung von Schwarzerden in Lössgebieten finden sich bei HÖHNSCHIEDT (2002).

Der Schwarze Auenboden im südlichen Oberrheintiefland, der bislang nur in den Auenbereichen des Ettenbachs bei Ettenheim und in der Aue von Möhlin und Neumagen gefunden wurde, hat nichts mit einer Schwarzerdebildung im bodenkundlichen Sinne gemein, da er bislang nur in Flussauen nachgewiesen wurde. Folgende Merkmale sind charakteristisch für den Schwarzen Auenboden:

- Mächtigkeiten zwischen 20 und 40 cm
- fundleer, enthält kaum datierbares Material wie Holzkohle, Pflanzenreste etc.
- relativ hoher Tonanteil um 40 %, hebt sich deutlich von den umgebenden Sedimenten ab
- enthält vereinzelte Kiesel und Gerölle
- karbonatfrei
- schlechte Pollenerhaltung

Erste Bestimmungen der organischen Substanz dieses Leithorizonts von SCHNEIDER (2000) im Raum von Ettenheim ergaben Werte von über 5 % organischer Substanz

(Glühverlust), welche zunächst den hohen Humusgehalt zu bestätigen schienen. Neuere Untersuchungen an Proben aus Ettenheim und Hausen an der Möhlin wiesen beim Glühverlust bei 600 °C ebenfalls ähnlich hohe Werte auf. Die Bestimmung des C_{org} mittels nasser Veraschung (NV) zeigte jedoch, dass der Mittelwert bei nur 0,96 % liegt. Die mit der CNS-Analyse bestimmten C_{org} -Gehalte sind sogar noch etwas niedriger als die der nassen Veraschung (s. Abb. 12).

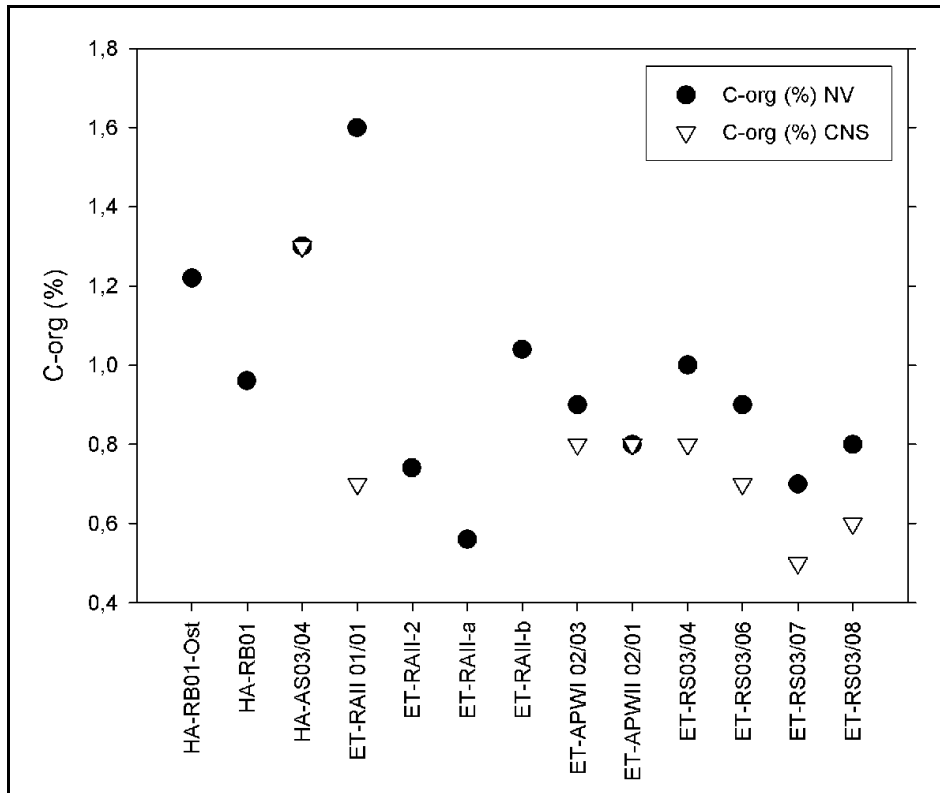


Abb. 12: Übersicht über die C_{org} Gehalte verschiedener Proben aus dem Schwarzen Auenboden

Die in der Bodenkunde übliche Formel, dass der Gehalt an organischem Kohlenstoff multipliziert mit dem Faktor 1,72 (bzw. 2 bei Torfen und Auflagehumus) den Gehalt an organischer Substanz ergibt (AG BODEN 1994), trifft bei den Proben dieses schwarzen Horizonts nicht zu. Die Diskrepanz zwischen C_{org} -Werten und dem Glühverlust liegt zum Teil bei Faktor 10.

An dem Schwarzen Auenboden wurden weitere Laboruntersuchungen durchgeführt. Die Bestimmung des C/N-Verhältnisses ergab Werte zwischen 8 und 15. Die C/N-Verhältnisse der übrigen Proben aus den Aufschlüssen liegen meist unter 10, so dass sich der

Schwarze Auenboden durch ein geringfügig höheres C/N-Verhältnis von den umgebenden Auensedimenten abhebt.

Die magnetische Suszeptibilität des Schwarzen Auenbodens wurde ebenfalls bestimmt. Sie ist eine Größe für die "Magnetisierbarkeit" von Bodenproben. Dabei treten Anomalien entweder durch natürliche Pedogenese (Bildung von Eisenoxiden) oder durch anthropogene Einwirkungen wie z.B. Feuer auf (LEOPOLD 2002). Die Werte des Schwarzen Auenbodens zeigten auch hier keine signifikanten Unterschiede zu den übrigen Proben, was gegen eine pedogenetische Bildung dieses Leithorizonts spricht.

HOUBEN (2002) hat bei seinen Untersuchungen im Einzugsgebiet der Wetter festgestellt, dass die Körnung innerhalb des Schwarzen Auenbodens zur Mitte bzw. nach oben hin feiner wird. Dies weist auf einen sedimentären Charakter der minerogenen Komponente des Schwarzen Auenbodens hin und deutet was auf ruhigere Sedimentationsbedingungen in den Auen hin. Sowohl HOUBEN (2002) als auch RITTWEGER (2000) gehen im Bereich der Hessischen Senke davon aus, dass es sich bei dem Schwarzen Auenboden primär um eine sedimentäre Bildung handelt. Auch die Befunde am südlichen Oberrhein sprechen für einen sedimentären Charakter dieses Leithorizonts, da stellenweise tonige bzw. schluffige Zwischenlagen im Schwarzen Auenboden beobachtet wurden (vgl. Abb. 21). Welcher Faktor letzten Endes für die intensive schwarze Verfärbung verantwortlich ist, kann an dieser Stelle nicht zweifelsfrei beantwortet werden. In dem Probenmaterial des Schwarzen Auenbodens, welches für die pollenanalytischen Untersuchungen aufbereitet wurde, waren teilweise feinste Holzkohlefitter (10-150 µm) vorhanden, was einen Hinweis darauf geben könnte, dass möglicherweise solche Holzkohlepartikel mit für die schwarze Verfärbung verantwortlich sind.

Zur zeitlichen Einordnung des Schwarzen Auenbodens im südlichen Oberrheintiefland liegen bislang, abgesehen von einer datierten Holzkohle aus dem Horizont selbst, nur Daten vor, die eine zuverlässige zeitliche Abgrenzung nach oben erlauben und einen *terminus ante quem* angeben. So hat SCHNEIDER (2000) in Ettenheim an der Basis einer Rinne, die den Schwarzen Auenboden durchschnitten hat, Holzkohlestücke und Scherben gefunden, die in die frühe Hallstattzeit datiert wurden. Auch in Hausen an der Möhlin wurde in einer Baugrube an der Basis einer solchen Rinne Holzkohle aus einer Sandlinse auf ein Alter von 3550-1650 cal. BP (FR 01-07) datiert. Da die ¹⁴C-Kalibrations-

kurve im Bereich von 2500 BP ein Plateau aufweist, ergibt sich selbst bei der Kalibrierung mit der Standardabweichung 1σ ein relativ großer Fehlerbereich. Er beträgt in diesem Fall fast 2000 Jahre. Daher ist die Aussagekraft dieser Datierung eingeschränkt, sie steht aber nicht im Widerspruch zu dem Alter aus Ettenheim. Nach diesen Geländebefunden muss der Schwarze Auenboden in der späten Bronzezeit bereits vorhanden gewesen sein, möglicherweise auch schon früher.

Um die zeitliche Einordnung des Schwarzen Auenbodens zu präzisieren, wurden zwei Mischproben aus einem Aufschluss in Ettenheim jeweils aus dem oberen (FR 04-01: 145-150 cm u. GOF) bzw. unteren Bereich des Schwarzen Auenbodens (FR 04-02: 157-165 cm u. GOF) zur AMS-Datierung entnommen. Nach Rücksprache mit dem ^{14}C -Labor (Beta Analytic Inc., Miami/USA) wurde bei den Proben das in Natronlauge (NaOH) lösliche Material (Huminsäuren) von der restlichen organischen (in NaOH nicht löslichen) Substanz getrennt und jeweils beide Fraktionen datiert. Die Ergebnisse dieser Datierungen sind in Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 3: ^{14}C -Daten aus dem Schwarzen Auenboden bei Ettenheim

Probe	Datiertes Material	Alter (cal. BP 2σ)
FR 04-01a (alkali löslich)	Abgetrennte Huminsäuren	5310-4980
FR 04-01b (nicht alkali löslich)	Restliche organische Substanz	7250-7000
FR 04-02a (alkali löslich)	Abgetrennte Huminsäuren	8330-8150
FR 04-02b (nicht alkali löslich)	Restliche organische Substanz	9530-9450

Die zeitliche Differenz bei den AMS-Proben kann dadurch erklärt werden, dass nach der Bildung des Schwarzen Auenbodens lösliche Huminsäuren aus den Sedimenten im Hangenden in den Schwarzen Auenboden eingewaschen wurden und somit ein jüngeres Datum bei der AMS-Datierung ergeben. Daher dürfte das Alter der restlichen organischen Substanz am besten für die zeitliche Einordnung des Schwarzen Auenbodens geeignet sein. Nach diesen Datierungen umfasst die Genese des Schwarzen Auenbodens einen Zeitraum von etwa 2400 Jahren und ist ins Boreal und frühe Atlantikum zu stellen.

In einer Baugrube bei Hausen an der Möhlin wurden erstmals auch Holzkohlestücke in dem ansonsten fundleeren Schwarzen Auenboden gefunden und auf ein Alter von 7430-

6990 cal. BP datiert (FR- 01-06; Abb. 29). Dieses Datum ist etwas jünger als das der AMS-Proben aus Ettenheim, bestätigt aber die zeitliche Einordnung.

In einer weiteren Baugrube bei Hausen a. d. Möhlin (Abb. 32) wurde im Schwarzen Auenboden ein Stück Schachtelhalm (*Equisetum fluviatile*) in 140 cm u. GOF gefunden. Die ^{14}C -Datierung (FR 03-13 und -14) ergab jedoch, dass es sich dabei um sog. "Bomben- ^{14}C " handelt, d.h. der Schachtelhalm ist mit großer Wahrscheinlichkeit nach 1950 gewachsen, so dass diese Datierung für eine Aussage bezüglich der Altersstellung des Schwarzen Auenbodens nicht verwendet werden konnte.

Die Hinweise auf die zeitliche Einordnung des Schwarzen Auenbodens am südlichen Oberrhein korrelieren sehr gut mit den Befunden aus der Hessischen Senke. Im Amöneburger Becken hat RITTWEGER (2000) basierend auf pollenanalytischen Untersuchungen und einem ^{14}C -Datum unterhalb des Schwarzen Auenbodens die frühestmögliche Bildung dieses Leithorizonts ins Boreal eingeordnet. HOUBEN (2002) hat eine Mischprobe aus dem Schwarzen Auenboden aus der Wetterau auf 9630-9480 cal. BP datiert, was ebenfalls darauf hinweist, dass die Inhaltsstoffe, aus denen sich das ^{14}C -Signal zusammensetzt, in das Boreal eingeordnet werden können.

Trotz offener Fragen, welche die Genese und intensive dunkle Färbung des Schwarzen Auenbodens betreffen, bleibt beim momentanen Kenntnisstand festzuhalten, dass dieser Leithorizont eine ehemalige Oberfläche in den Flussauen darstellt, die vor den ersten spürbaren Eingriffen des Menschen in die Umwelt bestanden hat. Dadurch können in den Flussauen Sedimente, die sich weitestgehend unter natürlichen Bedingungen gebildet haben, von denen unterschieden werden, die infolge anthropogener Aktivitäten seit dem Neolithikum (Rodungen, Ackerbau, etc.) abgelagert wurden. Daher kann der Schwarze Auenboden als zuverlässiger Leithorizont bei der Abgrenzung von Sedimenten in Hinblick auf die Fragestellung dieser Arbeit herangezogen werden. In Abb. 13 sind die bislang bekannten Verbreitungsgebiete des Schwarzen Auenbodens im Untersuchungsraum dargestellt.

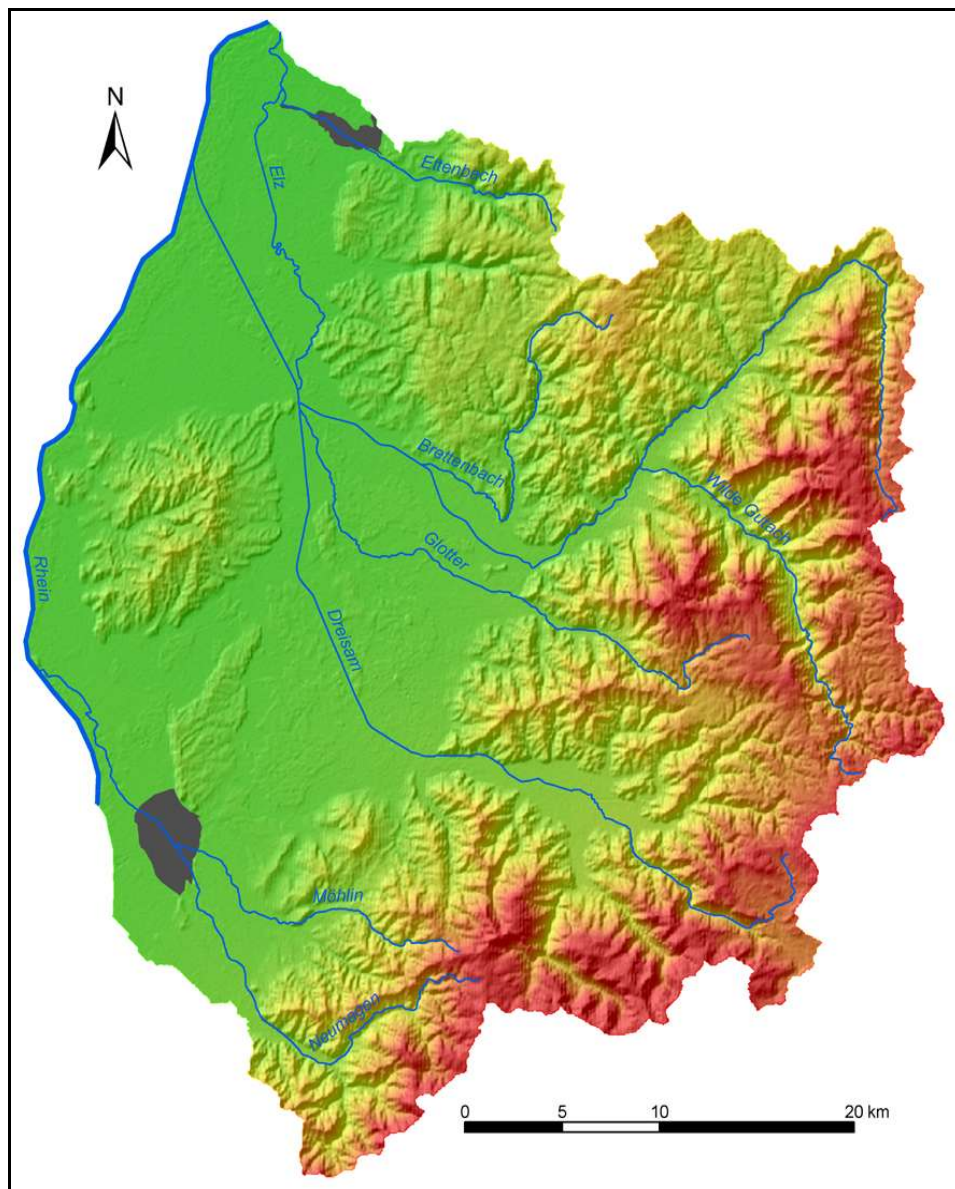


Abb. 13: Verbreitung des Schwarzen Auenbodens im Untersuchungsgebiet

3.3 Unterteilung des Untersuchungsgebiets

Für die Berechnung der Speichervolumen der holozänen Sedimente wurde das Untersuchungsgebiet zunächst in die Einzugsgebiete der Elz und Möhlin aufgeteilt. Eine weitere Untergliederung dieser Einzugsgebiete erfolgte anhand der naturräumlichen Einheiten. Die naturräumlichen Einheiten "Hochschwarzwald", "Südöstlicher Schwarzwald" und "Mittlerer Schwarzwald" aus der naturräumlichen Gliederung des Wasser-Bodenatlas

Baden-Württemberg wurden für die beiden Einzugsgebiete jeweils zusammengefasst. Somit ergaben sich ursprünglich 11 Teilgebiete, für welche die zeitliche Information aus Daten der Auensedimente und Kolluvien ausgewertet wurde (Tab. 4).

Tab. 4: Übersicht über die Teilräume der Einzugsgebiete

Einzugsgebiet Elz	Fläche (km²)
1. Offenburger Rheinebene	166
2. Lahr-Emmendinger Vorbergzone	61
3. Kaiserstuhl	99
4. Freiburger Bucht	252
5. Schwarzwald	856
6. Markgräfler Hügelland	23
7. Markgräfler Rheinebene	46
Einzugsgebiet Möhlin	
8. Freiburger Bucht	11
9. Markgräfler Rheinebene	50
10. Markgräfler Hügelland	55
11. Schwarzwald	113

Verschwenmte Sedimente, die von ihrem Ursprungsgebiet in ein anderes Teilgebiet verlagert wurden, wie z.B. der Kolluviensaum der Lahr-Emmendinger Vorbergzone, wurden zu ihren Ursprungsgebieten mit dazugezählt. Dadurch ergaben sich bei den Auswertungen der Teilgebiete zum Teil leicht veränderte Grenzen gegenüber der naturräumlichen Einteilung aus dem WaBoA. Im Falle des Teilgebiets "Markgräfler Rheinebene" im Einzugsgebiet der Elz (Teilgebiet 9) wurden alle kartierten Auenlehme und Kolluvien anderen Teilgebieten zugeordnet, so dass für diesen Teilraum keine Sedimente zur Volumenberechnung mehr vorlagen. Die in der GK 25 kartierten holozänen Sedimentspeicher in den verbliebenen 10 Teilgebieten wurden anhand der naturräumlichen Ausstattung weiter disaggregiert und in verschiedene, für das jeweilige Teilgebiet als repräsentativ erachtete Sedimentspeichertypen unterteilt. Die Beschreibung und Auswertung der Informationen aus den verschiedenen Sedimentspeichertypen erfolgt in Kap. 4 und 5.

4. Bestimmung der Sedimentvolumen im Einzugsgebiet der Elz

4.1 Offenburger Rheinebene

Die Offenburger Rheinebene ist eine von Auen und Niederungen durchzogene Niederterrassenfläche nördlich des Kaiserstuhls. Im Bereich des Untersuchungsgebiets durchziehen die Auen von Elz und Ettenbach dieses Gebiet. Im Teilgebiet der Offenburger Rheinebene wurden folgende holozäne Sedimentspeichertypen differenziert:

- **Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden**
- **Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden**
- **Verfüllte Flussläufe**
- **Sonstige Kolluvien**

4.1.1 Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden

Aufschluss Ettenheim Apostelweiher I

Der Aufschluss Ettenheim Apostelweiher I (Abb. 14) wurde im Zuge des Baus einer Wasserleitung von Ettenheim nach Ringsheim aufgenommen. Die Lokalität befindet sich südlich des Ettenbachs zwischen der B3 und dem Apostelweiher. In der Bodenkarte 1:25 000 Blatt 7712 Ettenheim ist dieser Bereich als pseudovergleyter, brauner Auenboden bzw. als Auengley-brauner Auenboden kartiert. Die oberen 40 cm des Profils waren infolge der Bauarbeiten abgeschoben worden. Darunter befand sich eine schluffig-lehmige Schicht, die nach unten hin sandiger wurde. Zwischen 95 und 110 cm u. GOF folgte eine grau-rotbraun marmorierte tonig-lehmige Schicht. Im Liegenden folgt zwischen 110 und 140 cm der Schwarze Auenboden, der entlang des Grabens von etwa 50 m südlich des Ettenbachs bis etwa 7 m südlich des Aufschlusses Ettenheim Apostelweiher I verfolgt werden konnte. In Richtung Ringsheim war der Schwarze Auenboden nicht mehr aufgeschlossen (mündl. Mitteilung von A. GEPPERT, 22.03.2002). Auch in unmittelbarer Nähe des Ettenbachs war der Schwarze Auenboden im Grabenprofil nicht mehr vorhanden.

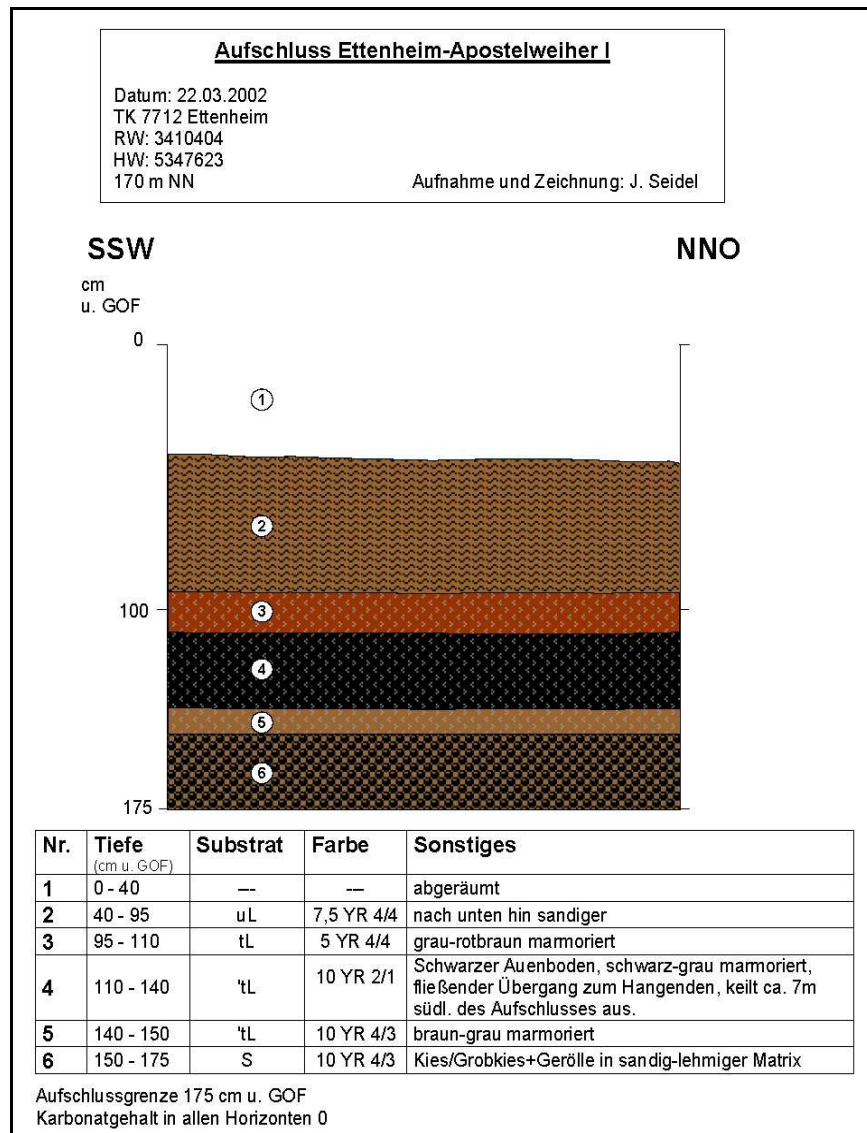


Abb. 14: Der Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher I

Zwischen dem Schwarzen Auenboden und den pleistozänen Rheinschottern befand sich ein 10 cm mächtiges, schwach tonig-lehmiges Sediment. Auffällig für diesen Aufschluss ist die geringe Mächtigkeit der spät- und postglazialen Hochflutsedimente zwischen den pleistozänen Rheinschottern und dem Schwarzen Auenboden. Eine Besonderheit an der Korngrößenverteilung ist die Tatsache, dass der 15 cm mächtige Horizont über dem Schwarzen Auenboden einen etwas höheren Tonanteil aufweist als der Schwarze Auenboden selbst (Abb. 15).

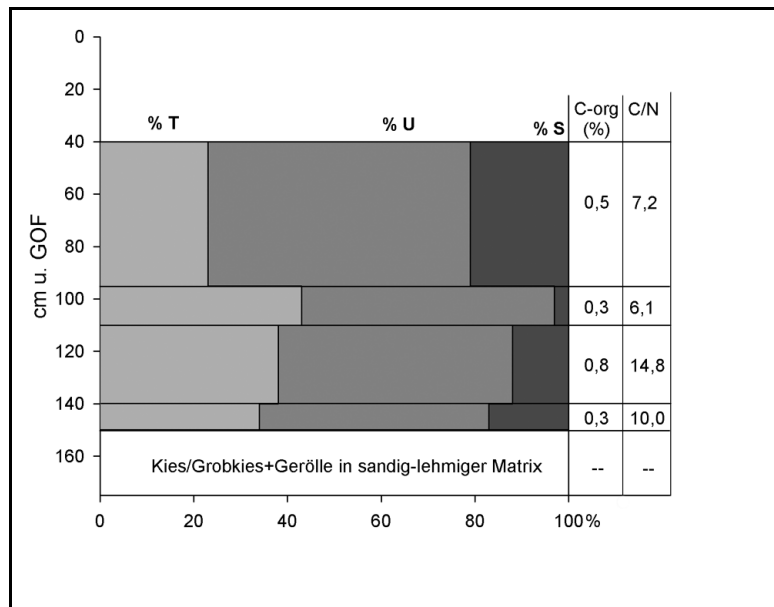


Abb. 15: Korngrößenverteilung, C_{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher I

Aufschluss Ettenheim Apostelweiher II

Der Aufschluss Ettenheim Apostelweiher II (Abb. 16) wurde etwa 200 m nördlich des Aufschlusses Apostelweiher I aufgenommen. Von der Stratigraphie her lassen sich die beiden Aufschlüsse gut parallelisieren. Die Schichtfolgen liegen hier etwa 15 cm tiefer als beim Aufschluss Apostelweiher I. Hier wurde im Westprofil des Grabens jedoch eine Grube angeschnitten, deren Basis in 120 cm u. GOF am Übergang zwischen den Schichten 3 und 5 lag (Abb. 18). Die unteren 5 cm der Grube bestanden aus einer Brandschicht mit Holzkohlestücken und verziegeltem Lehm. Die Grube war etwa 90 cm breit und zeichnete sich nach oben hin im Aufschluss nicht mehr klar ab. Die Oberkante der Grube dürfte bei etwa 80 cm u. GOF liegen. Eine Probe der Holzkohlestücke aus dem Boden dieser Grube ergab ein ^{14}C -Alter von cal. 2000-1890 cal. BP (FR 02-02). Ab 70 cm u. GOF waren Hydromorphiemarken (Rostfleckung) auch über die Grubenfüllung hinweg im Profil erkennbar. Dies deutet darauf hin, dass dieser Bereich im Profil nach der Verfüllung der Grube unter Einfluss eines höheren Grundwasserspiegels gekommen ist.

4. BESTIMMUNG DER SEDIMENTVOLUMEN IM EINZUGSGEBIET DER ELZ

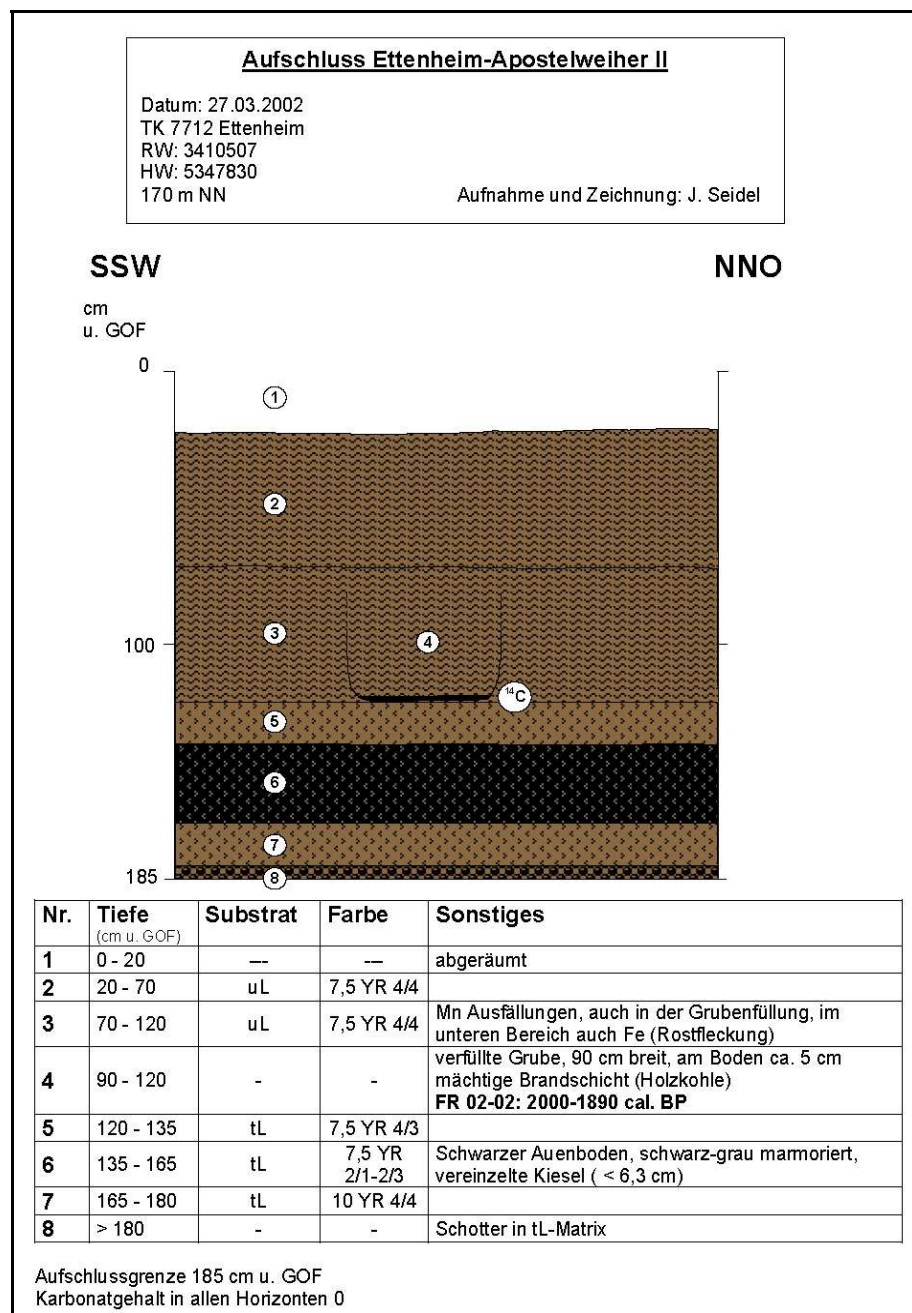


Abb. 16: Der Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher II



Abb. 17: Schwarzer Auenboden im Aufschluss
Ettenheim-Apostelweiher I
Aufnahme vom 22.03.2002



Abb. 18: Grube mit Brandschicht im Aufschluss
Ettenheim Apostelweiher II
Aufnahme vom 27.03.2002

Die Aufschlüsse Ettenheim Radackern II-1 und -2

Die Aufschlüsse Radackern II-1 und II-2 liegen etwa 10 m von einander entfernt und wurden im Zuge des Kanalisationsbaus im Neubaugebiet "Radackern" in Ettenheim aufgenommen. Auch hier wurde der Schwarze Auenboden über weite Strecken im Profil angetroffen, nur im Aufschluss Radackern II-1 war der Schwarze Auenboden nicht vorhanden. Im Zuge der Baumaßnahmen waren die oberen 80 cm in beiden Profilen entweder abgeschoben oder stark anthropogen überprägt. Im Aufschluss Radackern II-1 befand sich zwischen 80 und 165 cm u. GOF ein schluffig-lehmiger Auenlehm, ab 165 cm folgte sandiger Schluff mit einer rostbraunen Sandlinse am SSW-Aufschlussrand. Bei 100 cm u. GOF befand sich eine schwach tonig-schluffige Linse mit Holzkohlestücken, die auf 5050-4300 cal. BP (FR 01-03) datiert werden konnten. Unterhalb der roten Sandlinse konnte bei 215 cm u. GOF ein weiteres ^{14}C -Datum gewonnen werden, welches auf 12300-11650 cal. BP (FR 01-04) datiert wurde. Allerdings ist dieses Datum

4. BESTIMMUNG DER SEDIMENTVOLUMEN IM EINZUGSGEBIET DER ELZ

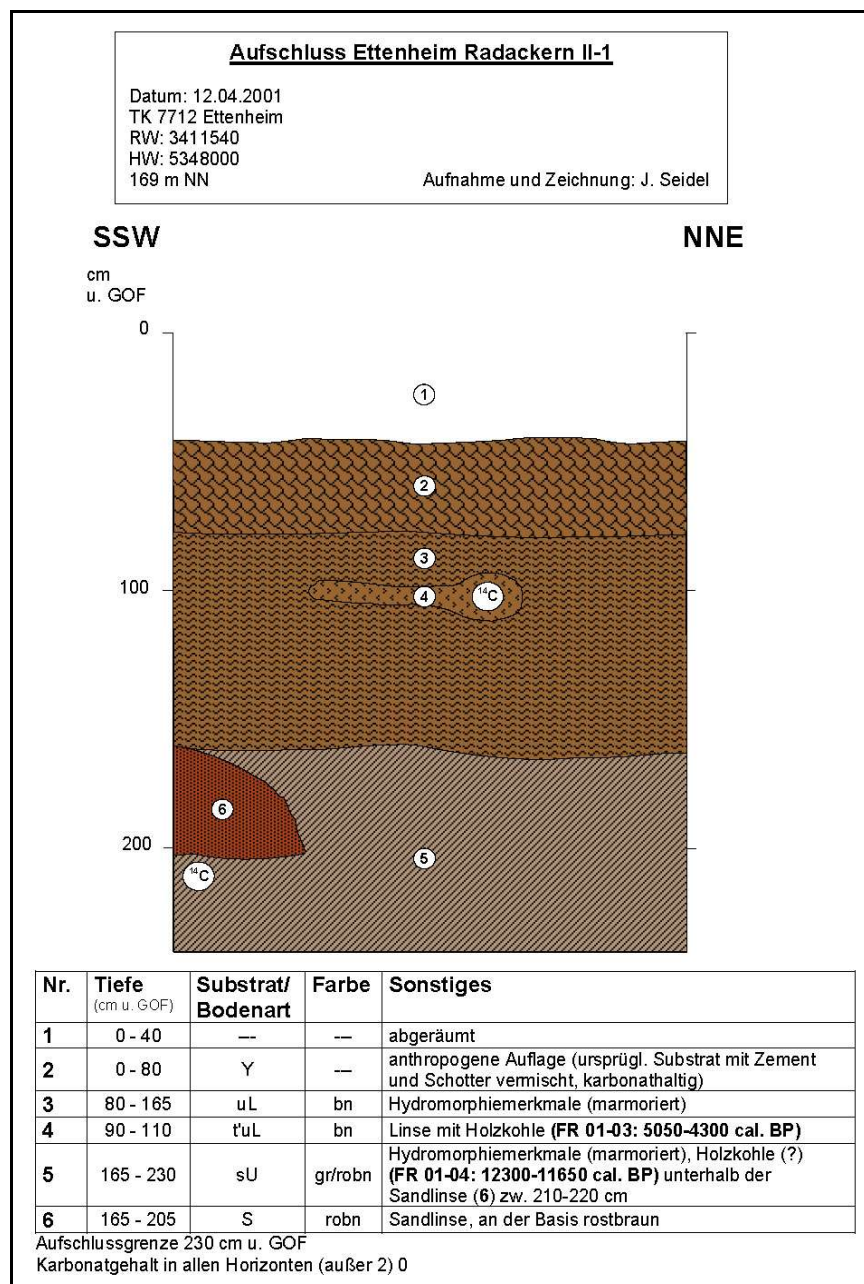


Abb. 19: Der Aufschluss Ettenheim-Radackern II-1

kritisch zu betrachten, da nur ein kleines Stück Material, welches bei der Aufnahme des Aufschlusses für Holz bzw. Holzkohle gehalten wurde, zur AMS-Datierung nach Erlangen geschickt wurde. Zwar ließ sich das Material datieren, offensichtlich handelte es sich dabei aber nicht um Holzkohle, da sich das Material bei der Probenvorbereitung in Lauge komplett auflöste und einen Kohlenstoffgehalt von nur 9 % hatte (schriftl. Mitteilung von A. SCHARF, Physikalisches Institut der Universität Erlangen vom 06.05.2002).

4. BESTIMMUNG DER SEDIMENTVOLUMEN IM EINZUGSGEBIET DER ELZ

Was hier genau datiert wurde, bleibt daher unklar. Das Alter und die Korngröße des Sediments deuten aber darauf hin, dass es sich hierbei um Schwemmlöss handelt, welcher im ausgehenden Spätglazial abgelagert wurde.

Der Aufschluss Radackern II-2 (Abb. 20) wies eine ähnliche Stratigraphie wie Radackern II-1 auf. Auch hier befand sich an der Basis sandiger Schluff. Der Bereich darüber war aber zweigeteilt. Zwischen 80-125 cm u. GOF befand sich ebenfalls schluffiger

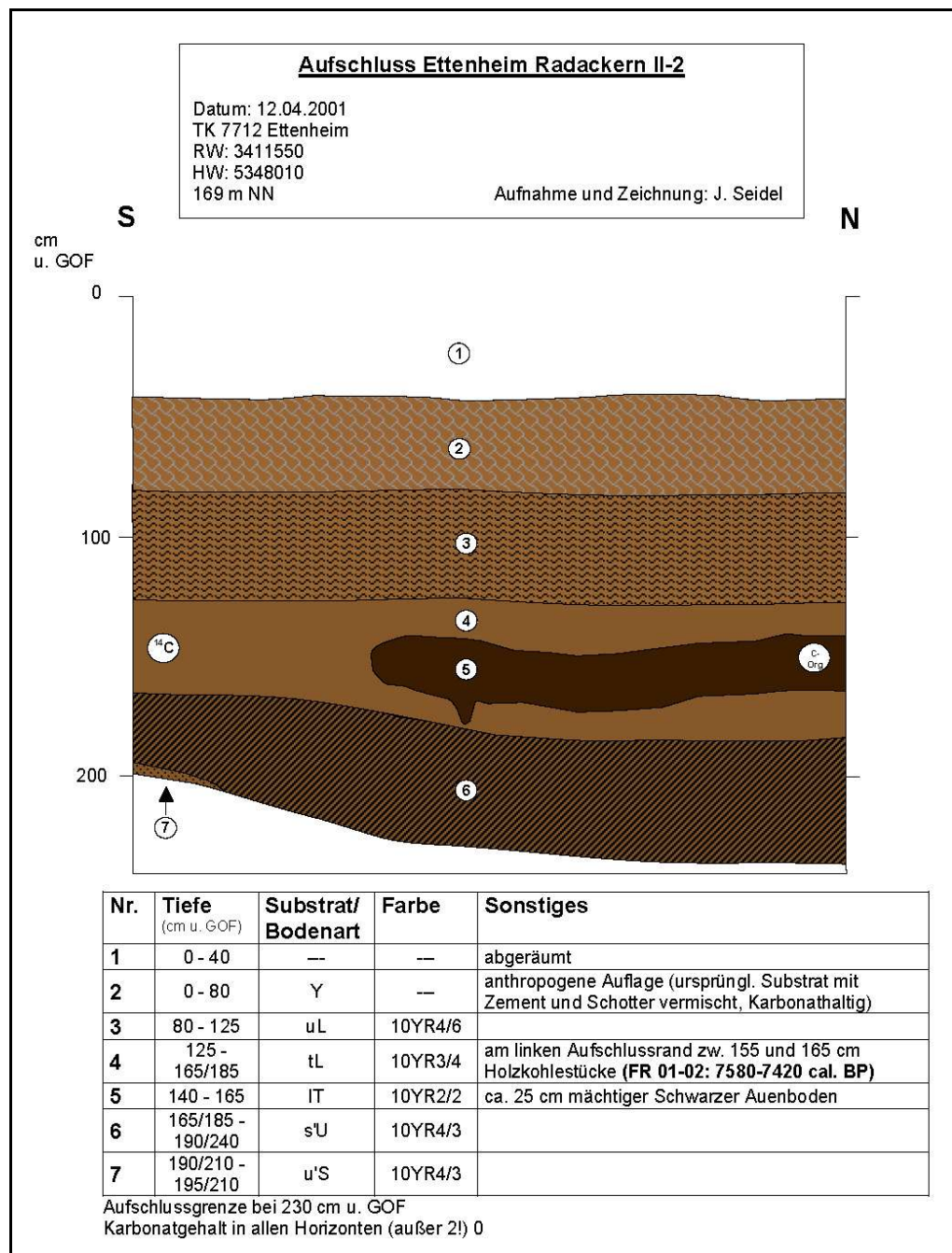


Abb. 20: Der Aufschluss Ettenheim-Radackern II-2

Lehm, darunter zwischen 125 und 165 bzw. 185 cm ein tonig-lehmiges Sediment, in dem auch der Schwarze Auenboden bis zur Mitte des Aufschlusses zwischen einer Tiefe von 140 und 165 cm u. GOF eingebettet war. Aus der selben Tiefe wie der Schwarze Auenboden konnten am südlichen Aufschlussrand zwischen 155 und 165 cm u. GOF Holzkohlestücke auf ein Alter von 7580-7420 cal. BP (FR 01-02) datiert werden.

Bei 125 cm u. GOF war im Aufschluss eine Schichtgrenze zu einem schluffigeren Lehm im Hangenden zu erkennen, was auf einen Wechsel im Sedimentationsgeschehen in der Aue des Ettenbachs schließen lässt. Das schluffigere Material deutet auf eine verstärkte Abschwemmung von Löss von den Hängen der Vorberge in die Auenbereiche hin. Dieser Übergang ist auch in den Aufschlüssen Apostelweiher I und II zu erkennen.

Aufschluss Ettenheim Römerstraße

Ein weiterer Aufschluss mit dem Schwarzen Auenboden konnte im nördlichen Bereich des Neubaugebiets Radackern in der Römerstraße aufgenommen werden (Abb. 21). Zwischen 200 und 180 cm u. GOF war ein schluffig-toniger Lehm im Profil aufgeschlossen. Darüber befand sich zwischen 140-180 cm u. GOF der Schwarze Auenboden, der im Hangenden einen ca. 10 cm mächtigen, gräulichen Übergangsbereich zu der liegenden Schicht aufwies. In der nordwestlichen Ecke der Baugrube war der Schwarze Auenboden dreigeteilt, in der Mitte war eine 10 cm mächtige, rötliche und tonigere Schicht zu erkennen. Zwischen 30 und 140 cm u. GOF war ein schluffig-toniger Lehm aufgeschlossen, der in der Mitte der Baugrube in einer Tiefe von 75-90 cm eine etwa 2,5 m breite Linse aufwies, die mit Kalkkonkretionen und Resten von Schneckenschalen durchzogen war. Bei 50 cm u. GOF wurden Holzkohle- und Ziegelstücke gefunden. Bis in 60 cm Tiefe waren Reduktionsmerkmale (Rostfleckung) im Aufschluss erkennbar. Die oberen 30 cm des Profils waren der rezente Pflughorizont.

Bei der Korngrößenverteilung hebt sich der Schwarze Auenboden mit einem Tonanteil von über 40 % (Mittelwert aus 5 Proben) deutlich vom den Werten der anderen Proben ab, die einen Tonanteil von etwa 30 % haben (Abb. 22).

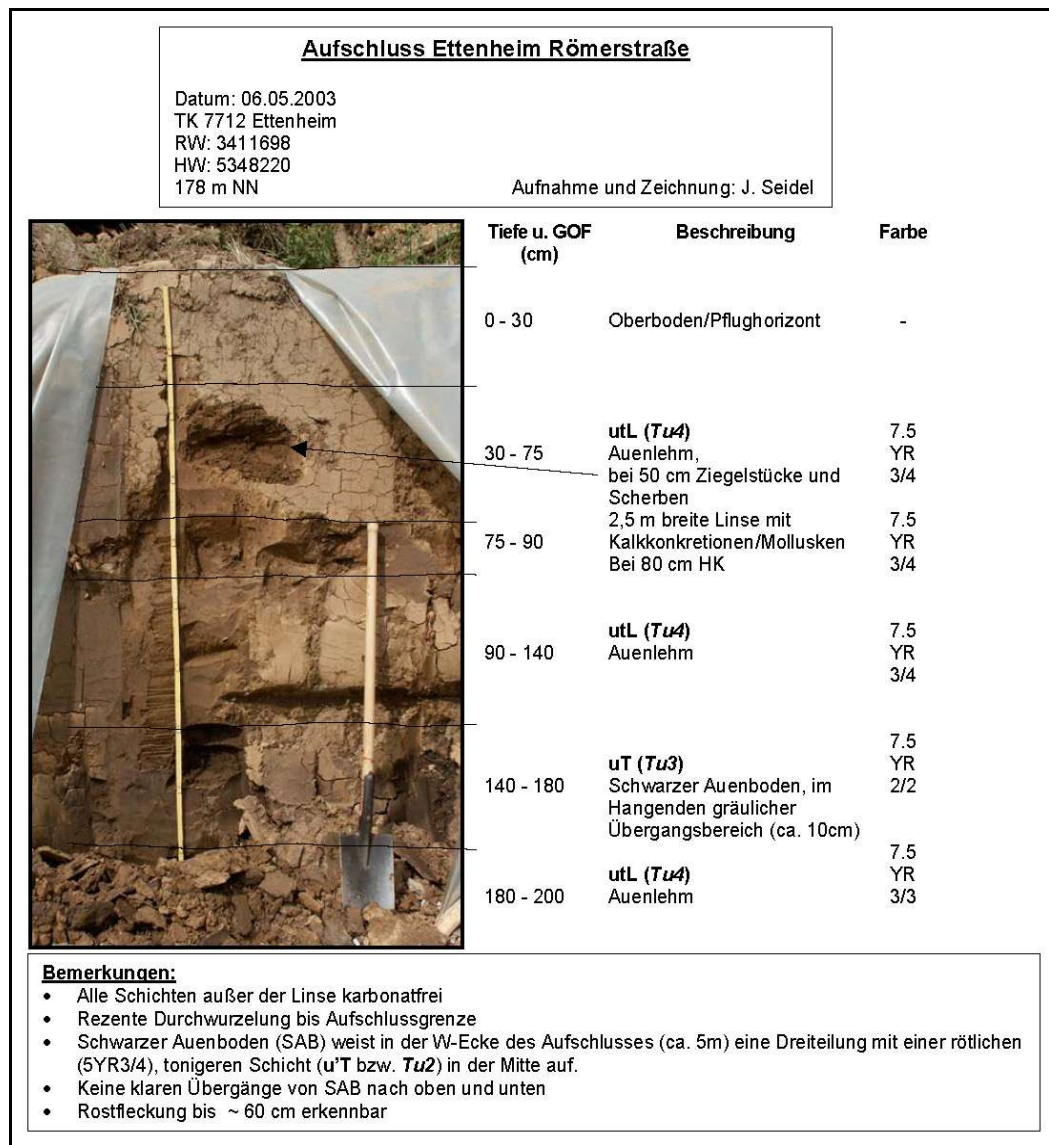


Abb. 21: Der Aufschluss Ettenheim-Römerstraße

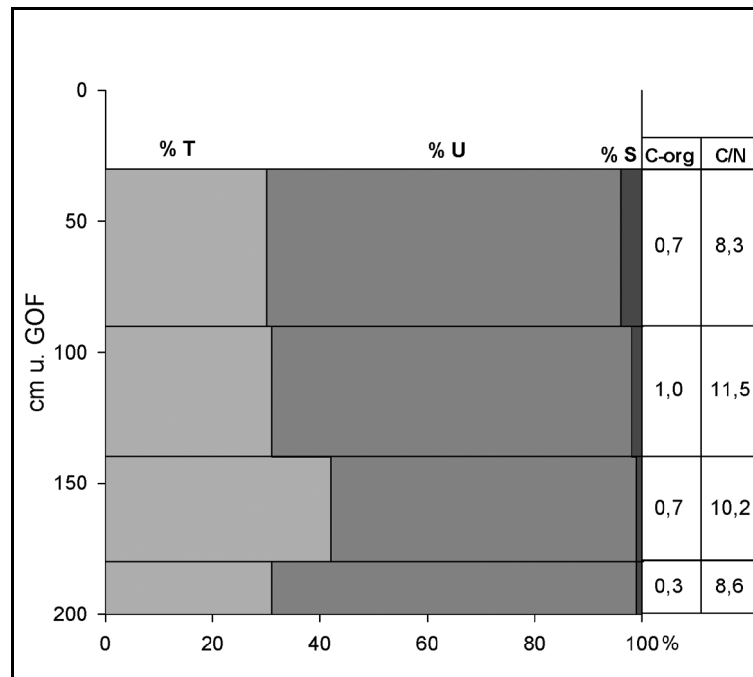


Abb. 22: Korngrößenverteilung, C_{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Ettenheim-Römerstraße

Weitere Aufschlüsse und Bohrungen im Raum Ettenheim

Im Neubaugebiet Radackern wurden von SCHNEIDER (2000) zwei Aufschlüsse in einer Baugrube aufgenommen. Dabei wurde der Schwarze Auenboden ebenfalls angetroffen. In diesen Leithorizont waren zwei Rinnen eingeschnitten. An der Basis einer dieser Rinnen wurden hallstattzeitliche Scherben, Holzkohlestücke (FR 20-08: 3080-2810 cal. BP und 20-08: 2710-2350 cal. BP) und Pferde Zähne gefunden. Ein ^{14}C -Datum an der Basis der anderen Rinne ergab ein Alter von 3570-3260 cal. BP (FR 20-09). Somit lässt sich die Entstehung dieser Rinnen in die mittlere bis späte Bronzezeit einordnen.

Interpretation der Daten aus den Profilen im Raum Ettenheim

Mit einer Ausnahme wurde in allen Aufschlüssen, die in dem Auenbereich des Ettenbachs liegen, der Schwarze Auenboden angetroffen. Er kommt in Tiefen zwischen 135 und 150 cm u. GOF vor. Lediglich im südlichen Bereich der Aue des Ettenbachs befindet sich der Schwarze Auenboden etwas näher an der Oberfläche (110 cm u. GOF im Aufschluss Ettenheim Apostelweiher). In der Bohrung Nr. 116 der vorläufigen Geologischen Karte Blatt 7712 Ettenheim (etwa 1,2 km nordwestlich der Aufschlüsse Rada-

ckern) wird im Bohrprofil in einer Tiefe von 160 cm u. GOF eine schwarzbraune, tonige und (vermutlich aufgrund der dunklen Farbe) organische Schicht beschrieben, bei der es sich ebenfalls um den Schwarzen Auenboden handeln dürfte.

Somit liegen in der Aue des Ettenbachs etwa 150 cm mächtige Auffüllungen, die seit dem Beginn des Ackerbaus im Neolithikum abgelagert worden sind. Weitere zeitliche Differenzierungen sind anhand der Aufschlüsse möglich. Die Oberkanten der Rinnen in den Aufschlüssen im Neubaugebiet Radackern liegen im Mittel etwa 60 cm unter der heutigen Geländeoberfläche. Die eingeschnittenen Rinnen lassen darauf schließen, dass sich in der Zeit zwischen dem Neolithikum und der späten Bronzezeit etwa 90 cm Auesedimente in diesem Bereich abgelagert haben. Die 60 cm mächtigen Ablagerungen im Hangenden der Rinnen müssen folglich nach der späten Bronzezeit sedimentiert worden sein.

Ein weiteres Charakteristikum der Aufschlüsse im Raum Ettenheim sind die Hydromorphiemerkmale, die je nach Aufschluss bis in Tiefen von 60-90 cm u. GOF ausgeprägt sind und auf einen erhöhten Grundwasserstand hinweisen. Da sich diese Bodenbildung auch über die Grubenfüllung im Aufschluss Ettenheim-Apostelweiher II (Abb. 16) hinwegzieht, muss sie jünger sein, als die auf 2000-1890 cal. BP (FR 02-02) datierte Holzkohle (s. Abb. 16). Als Grund dafür kann entweder ein Klimawandel mit mehr Niederschlägen in Frage kommen, oder gemäß BORK et al. (1998) ein Grundwasserspiegelanstieg infolge geringerer Evapotranspiration durch großflächige Inkulturnahme und landwirtschaftliche Nutzung der Landschaft.

4.1.2 Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden

Die Auenbereiche, in denen bislang kein Schwarzer Auenboden angetroffen wurde, befinden sich nördlich von Ettenheim sowie in der Elzniederung im Dreieck Kenzingen, Herbolzheim und Rheinhausen. Die zur Auswertung vorliegenden Daten zeigen starke Differenzen bei der holozänen Sedimentmächtigkeit. Die Angaben aus den Kurzprofilen der GK 25 schwanken zwischen 25 cm und 250 cm u. GOF. Auch das von SCHNEIDER (2000) aufgenommene Querprofil "Zinkengrien-Mäanderschlinge" westlich von Herbolzheim zeigt auf einer Strecke von etwa 250 m stark schwankende Auenlehm-mächtigkeiten. Daher wird der gemittelte Wert von 130 cm als Mächtigkeit für diesen

Auenbereich angenommen. Eine weitere, flächendeckende zeitliche Differenzierung der Auensedimente ist im Falle der vorliegenden Daten nicht möglich.

4.1.3 Verfüllte Flussläufe

Weitere, in der Offenburger Rheinebene vorkommende Sedimentspeicher sind verfüllte Flussrinnen, bei denen es sich meist um ehemalige Flussläufe der Elz handelt. Untersuchungen von SCHNEIDER (2000) haben gezeigt, dass die kolluvialen Verfüllungen dieser Flussrinnen zwischen 50 und 80 cm mächtig sind. Bei Rust wurde ein Profil aufgenommen, in dem die Rinnenverfüllung etwa 130 cm erreicht. Dabei handelt es sich in der Regel um junge Sedimente, da die Flussläufe der Elz erst im 18. Jahrhundert begradigt wurden. Durch landwirtschaftliche Aktivitäten sind auch die Böschungen dieser Rinnen verflacht und mit Kolluvien überdeckt. Aus den vorliegenden Daten ergibt sich ein Mittelwert von 80 cm holozäner Sedimentmächtigkeit für die verfüllten Flussrinnen.

4.1.4 Sonstige Kolluvien

In der GK 25 sind im Gebiet der Offenburger Rheinebene mehrere Bereiche mit Kolluvien kartiert, zu denen keine Daten zu Sedimentmächtigkeiten vorliegen. Dabei handelt es sich primär um Kolluvien, die sich an den Hangfüßen einzelner Lössrücken wie z.B. dem Schelmenkopf östlich von Rheinhausen sowie auf der Forchheimer Platte gebildet haben. Aus der Bodenkarte 1:25 000, Blatt 7712 Ettenheim sowie aus der Arbeit von FRIEDMANN (1998) geht hervor, dass die ursprünglichen Parabraunerden in den Scheitelbereichen und Oberhängen erodiert wurden. Die Erosionsraten schwanken laut FRIEDMANN (1998) zwischen 0,5 und 2 m. Über die Mächtigkeit der Kolluvien finden sich keine Angaben. In der Bodenkarte 1:25 000, Blatt 7712 Ettenheim ist für diese Bodengesellschaft (Pseudovergleytes Kolluvium über Parabraunerde) eine mittlere Mächtigkeit von 50 bis 70 cm angegeben. Bei diesem Wert dürfte es sich aber um einen Minimalwert handeln, da die mittleren Kolluvienmächtigkeiten an ähnlichen Lössarealen wie z.B. am Blankenberg mächtiger sind (s. Kap. 4.1.4 und Abb. 25). Was die zeitliche Einordnung dieser Kolluvien betrifft, ist davon auszugehen, dass erste Erosionsprozesse mit der einhergehenden Kolluvienbildung bereits ab dem frühen Neolithikum stattgefunden haben. Weitere hallstattzeitliche und römerzeitliche Funde im Bereich des

Schelmenkopfs und des Rebbühls (WESTERMANN 1992) deuten auf die intensive Nutzung dieser lokalen Gunsträume hin.

Tab. 5: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Offenburger Rheinebene

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Auenbereiche mit SAB	1,5	4,14	0,006210
Auenbereiche ohne SAB	1,3	20,08	0,026104
Verfüllte Flussläufe	0,8	1,91	0,001528
Sonstige Kolluvien	0,7	1,48	0,001036

Eine noch offene Frage in diesem Naturraum stellen Kolluvien auf der Forchheimer Platte dar, die nicht auf der GK 25 oder BK 25 kartiert sind. Mehrere archäologische Befunde liegen unter vermutlich kolluvialen Material (MISCHKA et al. 2003). Diese Kolluvien sind weder in der GK 25 noch in der BK 25 erfasst, daher haben sie möglicherweise nur eine kleinräumige Verbreitung. Da für diese Kolluvien keine Flächendaten vorliegen, können sie nicht in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Das Relief auf der Forchheimer Platte ist durch flache Kuppen und Mulden geprägt. Infolge der anthropogenen Bodenerosion ist davon auszugehen, dass dieses Relief ursprünglich steiler war und durch Erosions- und Akkumulationsprozesse im Zusammenhang mit der ackerbaulichen Nutzung verflacht wurde.

4.2 Lahr-Emmendinger Vorbergzone

Die Täler in der lössbedeckten Lahr-Emmendinger Vorbergzone sind durch mächtige kolluviale Verfüllungen charakterisiert. Am westlichen Rand der Vorbergzone hat sich am Übergang zur Oberrheinebene ein mächtiger, etwa 200-600 m breiter Saum mit Hangfußkolluvien ausgebildet, der sich im Bereich der Flussläufe von Ettenbach und Bleichbach mit den Auensedimenten der Offenburger Rheinebene verzahnt. An einigen Stellen fehlt der Schwemmlösssaum komplett oder ist nur schwach ausgebildet. Dies dürfte in erster Linie auf die Erosion der Elz in diesen Bereichen zurückzuführen sein. Ein grundsätzliches Problem bei der Erfassung der Sedimente, die seit dem Beginn des Holozäns und vor allem seit dem Beginn des Ackerbaus vor etwa 7500 Jahren in diesem

Teilgebiet abgelagert wurden, sind fehlende zeitliche Marker in der Stratigraphie. Durch die Abschwemmungsprozesse an den Hängen ist es durchaus möglich, dass älteres Material nachträglich von den Hängen erodiert wurde und sich das entsprechende Sediment erst zu einem späteren Zeitpunkt ablagerte. Somit sind ^{14}C -Datierungen in kolluvial verlagertem Material grundsätzlich kritisch zu betrachten (s. Kap 3.2). Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone bereits im Spät- bzw. Postglazial vor den ersten Eingriffen des Menschen in den Naturhaushalt Schwemmlöss in den Tälern akkumuliert wurde (SCHNEIDER et al. 2000). Daher ist eine zeitliche Abtrennung der Sedimente, die nach 7500 cal. BP abgelagert wurden, so gut wie nicht möglich. Auch archäologische Befunde, die zur zeitlichen Einordnung der Kolluvien herangezogen werden könnten, sind in diesem Gebiet kaum bekannt (MISCHKA et al. 2003) bzw. wurden bei den Geländearbeiten nicht angetroffen.

Aufgrund der mächtigen kolluvialen Verfüllungen der Täler war es im Rahmen von Geländearbeiten in der Regel nicht möglich, eine Bohrung bis auf das anstehende Festgestein abzutäufen, um so die Stratigraphie dort "einhängen" zu können. Im Rahmen eines geophysikalischen Geländepraktikums des DFG-Graduiertenkollegs "Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese" wurde im November 2002 im Fernecker Tal bei Malterdingen eine Refraktionsseismikmessung durchgeführt. Ziel war es, die Grenze zwischen der hauptsächlich aus schluffigem Material bestehenden Talverfüllung und dem Festgestein zu erfassen. Als Messgerät wurde ein 12-Kanal-Seismograph der Firma Geometrics (SmartSeis S12) mit 100 Hz Mikrofonen und Hammerschlag verwendet. Die Mikrophone wurden im Abstand von 5 m angeordnet, da dies eine Reichweite bis 20 m Tiefe erwarten ließ, welche für das Vorhaben als ausreichend angesehen wurde. Der Impuls wurde mittels eines Vorschlaghammers ausgelöst, der auf eine Eisenplatte geschlagen wurde. Für jede Messreihe wurden fünf "Schüsse" durchgeführt (zwei Offsetschüsse im Abstand von 20 m zum jeweils ersten bzw. letzten Mikrofon der Messreihe, zwei Schüsse im Abstand von 5 m zum ersten bzw. letzten Mikrofon und ein Schuss auf halber Distanz der Messreihe). Insgesamt wurden drei Messreihen mit jeweils 60 m Länge durchgeführt.

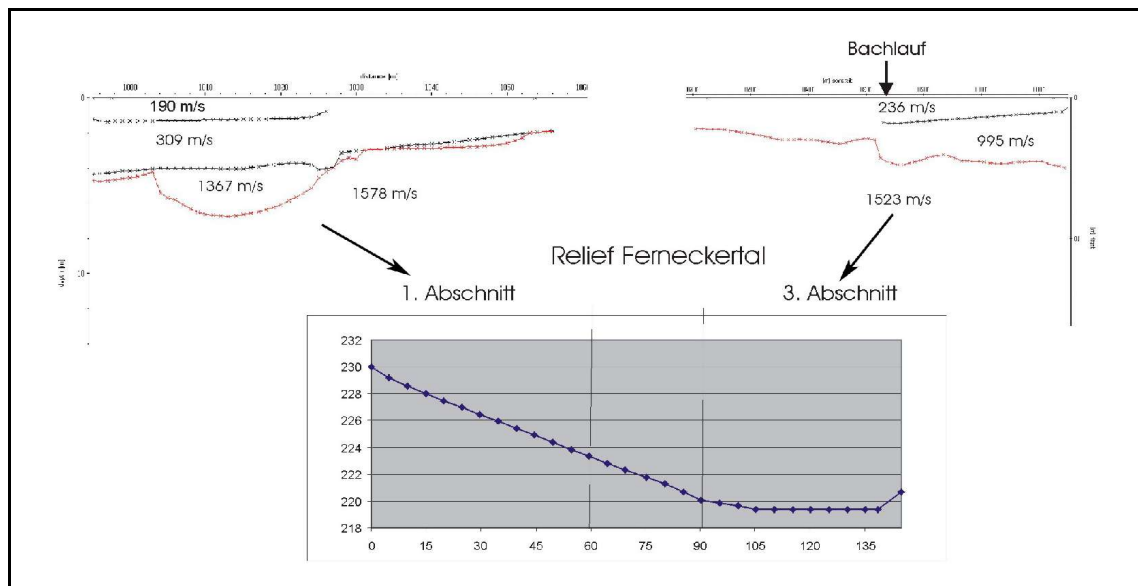


Abb. 23: Schichtgeschwindigkeiten der Refraktionsseismischen Aufnahme im Ferneckertal

Leider brachte dieser Versuch keine für die o.g. Fragestellung verwertbaren Ergebnisse, da sich lediglich in etwa 4 m Tiefe eine Schichtgrenze im Profil abzeichnete. Bei dieser handelte es sich vermutlich um den Grundwasserspiegel (Abb. 23). Darauf deuten die Ergebnisse einer Kontrollbohrung sowie der Wert der Schichtgeschwindigkeit in etwa 4 m Tiefe hin, der mit etwa 1500 m/s im Bereich von grundwassergesättigtem Löss liegt (HECHT 2001). Der 2. Abschnitt brachte keine verwertbaren Ergebnisse, so dass nur die Laufzeitkurven des 1. und 3. Abschnitts dargestellt sind. Weitere Versuche, mittels geophysikalischer Methoden der Fragestellung nach der holozänen Basis in den lössverfüllten Tälern der Lahr-Emmendinger Vorbergzone nachzugehen, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht unternommen.

Aus der Arbeit von SCHNEIDER (2000) liegen mehrere Bohrprofile aus verschiedenen Tälern der Lahr-Emmendinger Vorbergzone vor. Ergänzt werden diese Daten durch die Bohrprofile der GK 25. Die holozänen Sedimentspeichertypen in diesem Teilgebiet wurden in drei Typen unterteilt:

- **Hangfußkolluvien**
- **Verfüllte Täler**
- **Auen in der Vorbergzone**

4.2.1 Hangfußkolluvien

Aus den Bohrprofilen der GK 25 in den Hangfußkolluvien am westlichen Rand der Lahr-Emmendinger Vorbergzone geht hervor, dass die Mächtigkeit der Kolluvien vom Rand der Vorbergzone nach Westen hin abnimmt. Da nur wenige Bohrrdaten vorliegen, wird der gemittelte Wert aus den vorliegenden Daten von 320 cm durchschnittlicher Mächtigkeit als Berechnungsgrundlage verwendet.

4.2.2 Auenbereiche in der Vorbergzone

Sowohl bei Ettenbach als auch bei Bleichbach sind in der GK 25 Auenbereiche kartiert. Im Bleichheimer Becken befindet sich zudem eine Riedfläche, in der Torf aufgewachsen ist (SCHNEIDER 2000). Aus einem Bohrprofil im Bleichheimer Becken geht hervor, dass sich schluffige, kolluviale Schichten mit sandigeren, fluvialen Sedimenten abwechseln, was auf ein Wechselspiel von Kolluvienbildung und verstärkter fluvialer Dynamik zurückzuführen ist (SCHNEIDER 2000). Aus insgesamt drei Bohrungen, die im Bleichheimer Becken durchgeführt wurden, geht hervor, dass die Basis des Atlantikums etwa 350-400 cm unter der heutigen Geländeoberfläche liegt. Im Osten des Bleichheimer Beckens gibt ein ^{14}C -Datum aus 166-155 cm u. GOF ein Maximalalter von 3260-2890 cal. BP (FR 99-32) für diese Schicht an.

Die weiteren Angaben aus der GK 25 über die Mächtigkeit der Auenbereiche in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone variieren zwischen 60 cm und 550 cm, wobei aus den Bohrprofilen der GK 25 hervorgeht, dass sich die Auenlehme und Kolluvien stellenweise verzahnen, was wie im Fall des Bleichheimer Beckens auf unterschiedliche geomorphodynamische Prozesse zurückzuführen sein dürfte. Für mittlere Mächtigkeiten der Auenbereiche seit dem Atlantikum wird ein Wert vom 3 m für die Massenbilanzierung zu Grunde gelegt.

4.2.3 Kolluvial verfüllte Täler

Probleme bei der Erfassung und Auswertung der Kolluvien in den Unterhängen bzw. Talböden der Lahr-Emmendinger Vorbergzone bestehen zum einem darin, dass nur Einzelbohrungen und keine detaillierten Querprofile mit einer ausreichenden Anzahl an Bohrungen vorliegen. Zum anderen ist in der Regel keine autochthone holozäne bzw.

7500 cal. BP Basis erkennbar, an der eine zeitliche Abfolge der Sedimente "eingehängt" werden kann. Aufgrund von möglichen Zeitinversionen bzw. einer kaskadenartigen Ablagerung der Sedimente (s. Kap 3.2) geben ^{14}C -Datierungen aus den Bohrprofilen lediglich einen *terminus post quem* an.

Prinzipiell scheint in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone die Breite der Täler nicht in Zusammenhang mit der Mächtigkeit der Verfüllungen zu stehen. In einem schmalen Tal bei Ettenheim beträgt die Mächtigkeit der holozänen Kolluvien 6 m. Im relativ breiten Weißbachtal bei Mundingen lässt ein ^{14}C -Datum in 530 cm u. GOF (6630-6410 cal. BP; FR 99-20) sowie die Tatsache, dass es sich bei der Schicht ab 565 cm u. GOF offensichtlich um den anstehenden Primärlöss handelt und unterhalb des ^{14}C -Datums keine Hinweise auf anthropogene Tätigkeiten (wie z.B. Holzkohle oder Ziegel- bzw. Keramikstückchen) gefunden wurden, darauf schließen, dass die Verfüllungen darüber seit dem Atlantikum abgelagert wurden. Bohrungen von SCHNEIDER (2000) aus dem Bombachtal und Ferneckertal erreichten keine anstehenden bzw. in situ gebildeten Schichten, so dass dort gewonnene ^{14}C -Daten lediglich ein Maximalalter angeben. Im Ferneckertal deuten Holzkohlefunde bis in 900 cm u. GOF auf ein anthropogenes Signal in den Sedimenten hin. Ein ^{14}C -Alter von 2000-1740 cal. BP (FR 99-15) aus 365 cm u. GOF datiert in die römische Kaiserzeit. Die Sedimente darüber können folglich erst nach dieser Zeit abgelagert worden sein.

Im Bombachtal wurden Holzstücke in 370-390 cm u. GOF auf ein Alter von 6850-6570 cal. BP (FR 99-22) datiert. In den Sedimenten im Liegenden dieses Datums finden sich zwar noch bis in 868 cm u. GOF Holzstücke, die aber keinen eindeutigen Beleg für anthropogene Aktivitäten liefern.

Aufgrund der sowohl quantitativ als auch qualitativ schlechten Datenlage können für diesen Teilbereich des Untersuchungsgebiets allenfalls Schätzungen über die holozänen Sedimentmächtigkeiten gemacht werden. Für die Sedimentbilanzierung wird daher eine mittlere Kolluvienmächtigkeit von 6 m angenommen.

Tab. 6: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Hangfußkolluvien	3,2	9,07	0,029024
Kolluvial verfüllte Täler	6	14,77	0,088620
Auenbereiche in der Vorbergzone	3	3,06	0,009180

4.3 Kaiserstuhl

Im Gebiet des Kaiserstuhls sind auf der GK 25 nur Kolluvien als holozäne Sedimente ausgewiesen, Auenbereiche kommen nicht vor. Im Gegensatz zur Lahr-Emmendinger Vorbergzone lassen sich hier aber die holozänen Sedimente chronologisch zum Teil recht gut gliedern, da eine Vielzahl von archäologischen Funden und Befunden vorliegt, deren zeitliche Informationen wichtige Hinweise liefern. Generell besteht aber auch in diesem lössbedeckten Gebiet das Problem, dass bislang kaum detaillierte Erkenntnisse über Talquerschnitte und Mächtigkeit der Verfüllungen vorliegen.

Die Sedimentspeicher des Kaiserstuhls werden in zwei Typen unterteilt:

- **Kolluvial verfüllte Täler**
- **Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen**

4.3.1 Kolluvial verfüllte Täler

Als gut untersuchtes Tal im Kaiserstuhl gilt das Spührenloch bei Oberbergen. Dort wurden beim Bau eines Rückhaltebeckens im Zuge der Rebflurbereinigung im Jahre 1978 zahlreiche Befunde gemacht (DEHN & FINGERLIN 1979). Ergänzt werden diese Daten durch Arbeiten von FRIEDMANN & MÄCKEL (1998a), die in unmittelbarer Nähe mehrere Bohrungen durchgeführt haben, die zum Teil den anstehenden Vulkanitzersatz (Essexit) erreichten. Somit war die gesamte holozäne Stratigraphie aufgeschlossen. Zwischen 656-666 cm und 690-717 cm u. GOF wurden zwei Torfschichten erbohrt und auf Alter von 2750-2500 cal. BP (FR 96-05) und 2710-2360 cal. BP (FR 96-04) ¹⁴C-datiert. Da diese Daten relativ eng zusammen liegen, ist davon auszugehen, dass die zwei Kolluvien dazwischen infolge von Einzelereignissen wie z.B. bei einem erosiven Starknieder-

schlag während der späten Bronzezeit bzw. der frühen Hallstattzeit zwischen den Torfschichten abgelagert wurden.

Bei 628 cm u. GOF wurde in dem Bohrprofil eine bronzezeitliche Scherbe gefunden. Da diese älter ist als die datierten Torfschichten, jedoch stratigraphisch über diesen liegt, ist davon auszugehen, dass die Scherbe mit dem dazugehörigen Kolluvium erst nach der Hallstattzeit im Tal abgelagert wurde. Diese Zeitinversion ist ein Beleg für das Kaskadenmodell von LANG et al. (2003, Abb. 10) und zeigt auf, dass einzelne Befunde oder ^{14}C -Daten an Holzkohle und anderen Funden in Kolluvien bzw. Auensedimenten nicht zwangsläufig das Ablagerungsalter des Sediments wiedergeben.

Weitere zeitliche Informationen ergeben sich durch die in unmittelbarer Nähe gelegenen archäologischen Befunde, die sich gut mit dem Bohrprofil parallelisieren lassen. Unter 500 cm Kolluvium lagen Funde der späten Latènezeit. WEBER-JENISCH (1995) geht anhand von zahlreichen spätlatènezeitlichen Funden von einem Gehöft in der unmittelbaren Umgebung aus. Unter 300-400 cm u. GOF wurden römische Brandgräber gefunden (MISCHKA et al. 2003). Bei den oberen 130 cm des Bohrprofils handelt es sich um ein junges Kolluvium, welches im Zuge der Rebflurbereinigung aufgebracht wurde, da in 130 cm u. GOF ein fossiler Ah-Horizont angetroffen wurde, bei dem es sich um den früheren Oberboden handelt (FRIEDMANN & MÄCKEL 1998). In Tab. 7 sind die Mächtigkeiten und zeitlichen Einordnungen der Kolluvien im Spührenloch dargestellt.

Tab. 7: Mächtigkeit und zeitliche Einordnung der Kolluvien im Spührenloch (Kaiserstuhl)

Tiefe u. GOF (cm)	Mächtigkeit (cm)	Zeitstellung	Zeitraum (Jahre)
650-500	150 cm	Hallstatt - Späte Latènezeit	~ 500
500-350	150 cm	Späte Latènezeit - Römische Kaiserzeit	~ 200
350-130	220 cm	Römische Kaiserzeit - 1970er Jahre	~ 1700
130-0	130 cm	Rebflurbereinigung in den 1970er Jahren	Singuläres Ereignis

Ein weiteres Bohrpofil liegt aus dem Ellenbuchtal westlich von Bickensohl vor (FRIEDMANN & MÄCKEL 1998a). In diesem Bohrpofil, das bis knapp 500 cm u. GOF reicht, wurde das Anstehende nicht erreicht, so dass keine detaillierten Aussagen zur

zeitlichen Stellung der holozänen Sedimente möglich sind. Bis in 467 cm u. GOF wurden Holzkohlestücke gefunden, die eine anthropogene Tätigkeit belegen. In 266 cm u. GOF erbrachten Holzkohlestücke ein ^{14}C -Alter von 2850-2730 cal. BP (FR 97-09). Dieses Datum gibt aber lediglich ein Maximalalter an. Bei den oberen 107 cm des Bohrpofil handelte es sich um anthropogen aufgebrachtes Material, welches vermutlich wie bei dem Bohrpofil im Spührenloch auf die Rebflurbereinigung in den 1970er Jahren zurückzuführen ist.

Weitere Aussagen über die Mächtigkeit von Kolluvien im Kaiserstuhl lassen sich anhand von archäologischen Befunden machen. An folgenden Lokalitäten konnten Aussagen über die zeitliche Stellung und Mächtigkeit von Kolluvien getroffen werden (aus MISCHKA et al. 2003):

1. Amoltern: Eine Siedlung der Michelsberger Kultur unter 400 cm Kolluvium
2. Kiechlingsbergen: Siedlungsbefunde der frühen Latènezeit unter 300 cm Kolluvium
3. Königsschaffhausen: In 400 cm u. GOF anstehender Löss mit eingetieften Gruben der Bandkeramik, darüber 250 cm fundleeres Kolluvium, in das späte bronzezeitliche Siedlungsbefunde eingetieft waren. Darüber 150 cm Kolluvium bis zur GOF.
4. Amoltern: Mittelalterliches Gräberfeld in 180 cm u. GOF

Aus den Bohrungen der GK 25 liegen noch zwei weitere Bohrprofile aus kolluvial verfüllten Tälern vor, die auf holozäne Mächtigkeiten von min. 280 cm bzw. 190 cm schließen lassen. Auch unterhalb der spät- bzw. postneolithischen Befunde in Amoltern und Kiechlingsbergen können möglicherweise noch ältere Kolluvien liegen. Anhand der vorliegenden Datensituation kann daher von einer etwa 5 m mächtigen kolluvialen Verfüllung der Täler ausgegangen werden. Eine weitere zeitliche Differenzierung der Kolluvien ist aufgrund des Datenmaterials aber so gut wie nicht möglich. Zwar lassen sich die Kolluvien im Spührenloch und in Königsschaffhausen zeitlich unterteilen, sie spiegeln jedoch unterschiedliche Aktivitätsphasen wider: Während es im Spührenloch erst ab der späten Bronzezeit zur Ablagerung von Kolluvien kam, wurden in Königsschaffhausen offensichtlich 250 cm Kolluvium zwischen der Bandkeramik und der Urnenfelderzeit abgelagert, also zu einem Zeitpunkt, als im Spührenloch noch keine Sedimentation in der Tiefenlinie stattfand.

4.3.2 Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen

Im nördlichen und südwestlichen Bereich des Kaiserstuhls finden sich Kolluvien, die sich an den Hangfüßen und Talausgängen gebildet haben. In anderen Bereichen, z.B. zwischen Bötzingen und Riegel, sind diese Kolluvien aufgrund der lateralen Erosion der Gewässer kaum ausgeprägt. Im nördlichen Bereich des Kaiserstuhls liegen vor allem aus Endingen Daten vor. In einer Baugrube in Endingen wurden in einer Tiefe von 165 cm u. GOF in einer dunklen Bodenschicht Holzkohlestücke und Keramikfragmente der Wauwiler Gruppe (frühes Jungneolithikum) gefunden (FRIEDMANN & MÄCKEL 1998a). Ob es sich bei dieser dunklen Bodenschicht um einen schwarzerdeähnlichen Oberboden handelt, der zum Teil wieder erodiert wurde, ist fraglich. Die Gruben könnten ein Beleg dafür sein, dass es sich um den On-Site Bereich einer neolithischen Siedlung handelt und z.B. organische Abfälle oder Ruß und Asche aus Brandrückständen für die dunkle Färbung des Bodens und der Grubenfüllungen verantwortlich sein können. Über dieser dunklen Bodenschicht befanden sich in einer Tiefe von 165-75 cm u. GOF drei fundleere kolluviale Schichten. Ab 75 cm u. GOF folgte ein weiteres Kolluvium, welches Ziegelreste enthielt. Da Ziegel erst ab der Römerzeit als Baumaterial vorkommen, kann ein römerzeitliches Maximalalter für dieses Kolluvium angenommen werden, und somit eine ältere Phase der Kolluvienbildung abgetrennt werden. Eine Ergänzungsbohrung zu diesem Profil, die mit einer Rammkernsonde durchgeführt wurde, ergab folgendes Bohrprofil (SCHNEIDER et al. 2000): Auf den Rheinschottern und -sanden zwischen 800 und 620 cm u. GOF lagen etwa 350 cm karbonatreicher Löss auf, der als Primärlöss angesprochen wurde. Zwischen 280 und 230 cm u. GOF folgte eine Wechsellage aus schwarzem Sand und Schwemmlöss mit Schneckenschalen, die auf ein Alter von 20450-19700 cal. BP (FR 99-16) datiert wurden. Darüber befand sich eine 70 cm mächtige Schwemmlösslage, bevor ab etwa 160 cm der dunkle Horizont aus dem Profil der Baugrube (s.o.) angetroffen wurde.

Da die ^{14}C -Alter der Schnecken in der Wechsellage nur das Maximalalter angeben, kann nicht einwandfrei geklärt werden, ob die 70 cm Kolluvium im Hangenden dieser Schicht vor oder erst zu Beginn des Neolithikums abgeschwemmt wurden.

Im südlichen Bereich des Kaiserstuhls verzahnen sich die Kolluvien zum Teil mit den Torflagen des Wasenweiler Rieds. In einem Neubaugebiet südlich von Ihringen erbrach-

te eine Bohrung eine Schwemmlössmächtigkeit von 225 cm (FRIEDMANN & MÄCKEL 1998a). Bei 173-194 cm u. GOF und bei 155-165 cm u. GOF wurden zwei Torfschichten angetroffen, die auf Alter von 1270-1180 cal. BP (FR 96-01) bzw. 968-927 cal. BP (FR 96-02) datiert wurden. Das 8 cm mächtige Kolluvium zwischen den Torfschichten wurde zwischen dem Früh- bis Hochmittelalter abgelagert. Möglicherweise handelt es sich dabei um ein einziges Erosionsereignis, welches sich mit den Torfschichten verzahnt hat. Weitere Angaben zu den Mächtigkeiten der Kolluvien finden sich in der Literatur. SCHNEIDER et al. (2000) gehen von 2-5 m mächtigen Schwemmlössablagerungen um den Kaiserstuhl herum aus. SLEUMER (1934) berichtet von einer 50-60 cm mächtigen Schwemmlösslage südlich von Wasenweiler, eine Bohrung am Ausgang des Betzentals in Ihringen wies 10 m mächtige Schwemmlösslagen mit einer Torfschicht zwischen 500 und 650 cm u. GOF auf, eine weitere Bohrung am südlichen Rand des Schwemmlösssaums bei Ihringen ergab eine Schwemmlössmächtigkeit von 80 cm (SCHREINER 1996b). LEHMANN-CARPZOV et al. (1978) berichten von über 5 m mächtigen Schwemmlösslagen am Rande von Kaiserstuhl und Tuniberg. Anhand all dieser Angaben wird ein Mittelwert von 3 m für die Mächtigkeit der Kolluvien um den Kaiserstuhl zu Grunde gelegt.

Tab. 8: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher im Kaiserstuhl

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Kolluvial verfüllte Täler	5	18,06	0,090300
Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen	3	12,21	0,036630

4.4 Freiburger Bucht

Die Freiburger Bucht wird im Westen durch den Kaiserstuhl und den Tuniberg, im Süden durch die Mengener Brücke sowie im Osten und Norden durch den Schwarzwald bzw. die Lahr-Emmendinger Vorbergzone begrenzt. Die Entwässerung der Freiburger Bucht erfolgt über die Riegeler Pforte, eine etwa 2 km breite "Öffnung" zwischen Kaiserstuhl und Vorbergzone. Durch diese Pforte entwässern Dreisam, Glotter und Elz. Die Freiburger Bucht ist eine nach NW geneigte Schotterfläche, aus der vereinzelte

Lössinseln hervorragen, bei denen es sich zum Teil um Grabenrandschollen des Oberrheingrabens handelt.

Bei den Kolluvien in der Freiburger Bucht handelt es sich überwiegend um schluffiges Material, das von den lössbedeckten Arealen wie z.B. dem Tuniberg, Nimberg und Lehener Berg abgeschwemmt wurde. Am Tuniberg gibt es wie im Kaiserstuhl und der Lahr-Emmendinger Vorbergzone Talbereiche, die mit mächtigen Kolluvien verfüllt sind. Weitere Kolluvien finden sich im nordöstlichen Bereich der Freiburger Bucht.

Die holozänen Sedimentspeicher in der Freiburger Bucht werden wie folgt unterteilt:

- **Auenbereiche von Elz, Glotter und Dreisam**
- **Auenbereiche am Rande der Vorbergzone**
- **Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs**
- **Hangfußkolluvien der Lössinseln und des Tunibergs**
- **Kolluvien im Nordosten der Freiburger Bucht**

4.4.1 Auenbereiche von Elz, Glotter und Dreisam

Durch den Bau der TENP-Gastrasse waren die pleistozänen und holozänen Sedimente über weite Strecken aufgeschlossen. Dabei hat sich gezeigt, dass die holozänen Auensedimente im Durchschnitt etwa 1 m mächtig sind. Dieser Wert wird für diese Auenbereiche als Berechnungsgrundlage herangezogen. Lokal kommen auch höhere Mächtigkeiten vor, beispielsweise im Bereich von verfüllten Flussrinnen (Abb. 24). Die Beobachtungen entlang der TENP-Trasse haben gezeigt, dass zahlreiche Rinnen von Elz und Dreisam in die Ostrhein- bzw. Schwarzwaldschotter eingeschnitten sind (vgl. SEIDEL et al. 2004). Dadurch ergibt sich ein kleinräumig zum Teil stark differenziertes Bild der holozänen Sedimente, was sich auch in stark variierenden Angaben zu holozänen Sedimentmächtigkeiten in den Bohrprofilen der GK 25 widerspiegelt. Im Gewann Riedelhau (Gemeinde Bahlingen) wurden im Graben der TENP-Trasse Hölzer aus einer Dreisamrinne geborgen und auf Alter von 8330-8180 cal. BP (Nimb-002-Rc1) und 8350-8200 cal. BP (Nimb-002-Rc2) datiert (SEIDEL et al. 2004).

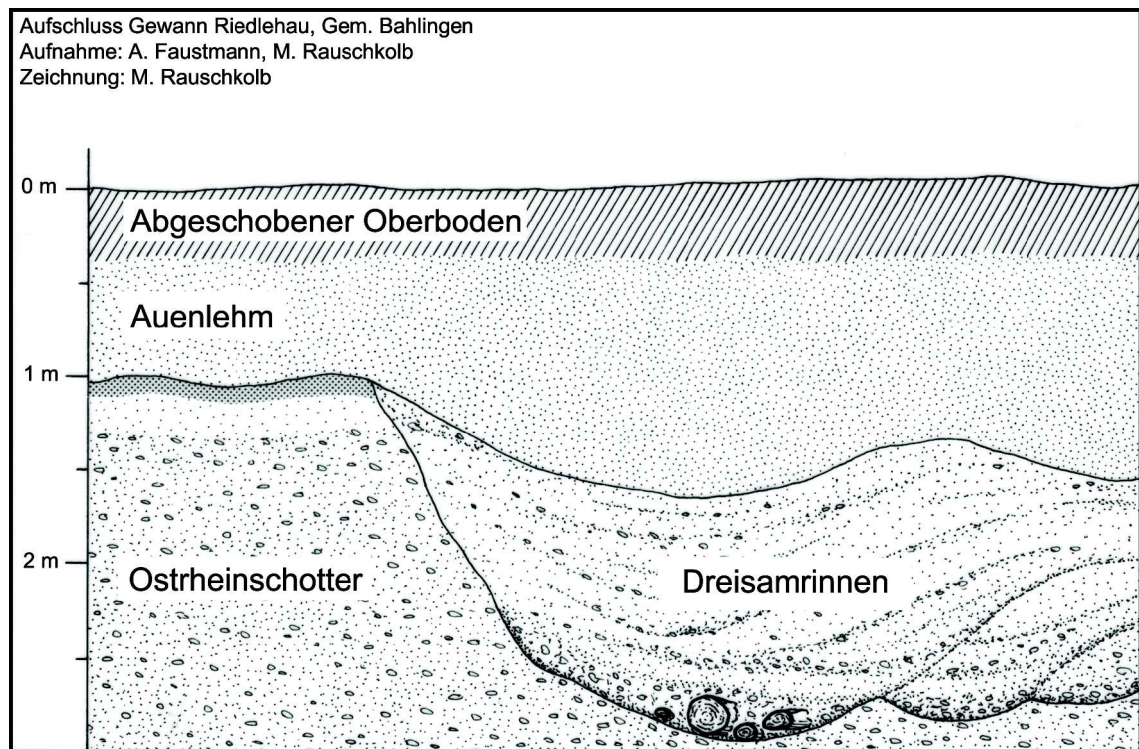


Abb. 24: Aufschluss im Gewann Riedlehu, Gemeinde Bahlingen (Aus: SEIDEL et al. 2004)

Für die Auenbereiche des Mühlbachs, der entlang der Mengener Brücke und des Tunibergs verläuft, liegen keinerlei Daten vor. Daher wird hier von den selben Auenlehm-mächtigkeiten wie in den nördlichen Auenbereichen der Freiburger Bucht ausgegangen.

4.4.2 Auenbereiche am Rande der Vorbergzone

Im Nordosten der Freiburger Bucht befindet sich ein Auenbereich, der heute von der kanalisierteten Elz durchflossen wird. Aus drei vorliegenden Bohrungen der GK25 geht hervor, dass die Auensedimente hier nur zwischen 30 und 70 cm mächtig sind. Als Mittelwert dieser Bohrungen ergibt sich demnach eine Auenlehm-mächtigkeit von etwa 50 cm.

4.4.3 Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs

Vom Gebiet des Tunibergs liegt ein Bohrprofil von FRIEDMANN & MÄCKEL (1998a,) aus einem Lösssohlentälchen bei Wipperskirch vor. Das Bohrprofil zeigt eine anthropogene Beeinflussung in Form von Holzkohlestücken und Ziegel(resten) bis in 450 cm Tiefe.

Ab 450 cm folgt eine Schicht, die als Primärlöss anzusprechen ist. Im Gegensatz zu den Tälern in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone (und zum Teil auch im Kaiserstuhl) liegt hier der Fall vor, dass ein komplettes holozänes Archiv aufgeschlossen ist. Die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente in den Tälern des Tunibergs scheinen, nach diesem Befund zu urteilen, geringmächtiger zu sein als im Kaiserstuhl bzw. in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone. Da keine weiteren aussagekräftigen Bohrprofile aus dem Tuniberg vorliegen, wird von einem Wert von 4,5 m für die kolluvial verfüllten Täler des Tunibergs ausgegangen.

4.4.4 Hangfußkolluvien der Lössinseln und des Tunibergs

Aufschluss am Blankenberg

Östlich vom Freiburger Stadtteil Tiengen befindet sich der Blankenberg. Dabei handelt es sich um eine langgestreckte, von SSE nach NNW verlaufende Erhebung aus würmzeitlichem Löss. Auf der östlichen Seite des Blankenbergs schließen sich zwei Niedermoorbereiche ("Ochsenmoos" und "Gaisenmoos") an, bei denen es sich um flachgründige Versumpfungsmoore handelt. Das Ochsenmoos ist mittlerweile entwässert, und im nördlichen Bereich wurde in den 1930er Jahren Löss aufgefahren. Der östliche Teil des Gaisenmooses ist noch weitgehend intakt (LfU 1997). Die TENP-Trasse verläuft durch das Ochsenmoos und diagonal über den Blankenberg. Dadurch war der Aufbau der Sedimente an dieser Stelle gut aufgeschlossen. Das Ochsenmoos ist größtenteils im Niederungsbereich auf Schwarzwaldschottern aufgewachsen. Am Hangfuß des Blankenbergs befindet sich unter dem Torf ein sandig-schluffiges Material, in dem noch Schilfrhizome erhalten sind. Im Mittelhang auf der nordöstlichen Seite wurde das Profil "Blankenberg" im Rahmen der TENP-Baumaßnahmen aufgenommen (Abb. 25). Im unteren Teil des Profils zwischen 260 und 200 cm u. GOF befand sich ein hellgrün-grauer sandiger Schluff. In den oberen Bereich dieser Schicht reichten die oben erwähnten Schilfrhizome. Diese stehen mit der Bildung des darüber liegenden fossilen Torfs in Zusammenhang. Der Torf ist stark zersetzt und hat einen Anteil von 31 % organischer Substanz (Glühverlust bei 600° C). Das Ochsenmoos zieht sich in den Hangbereich des Blankenbergs hinein und geht im Bereich des aufgenommenen Profils in ein Anmoor

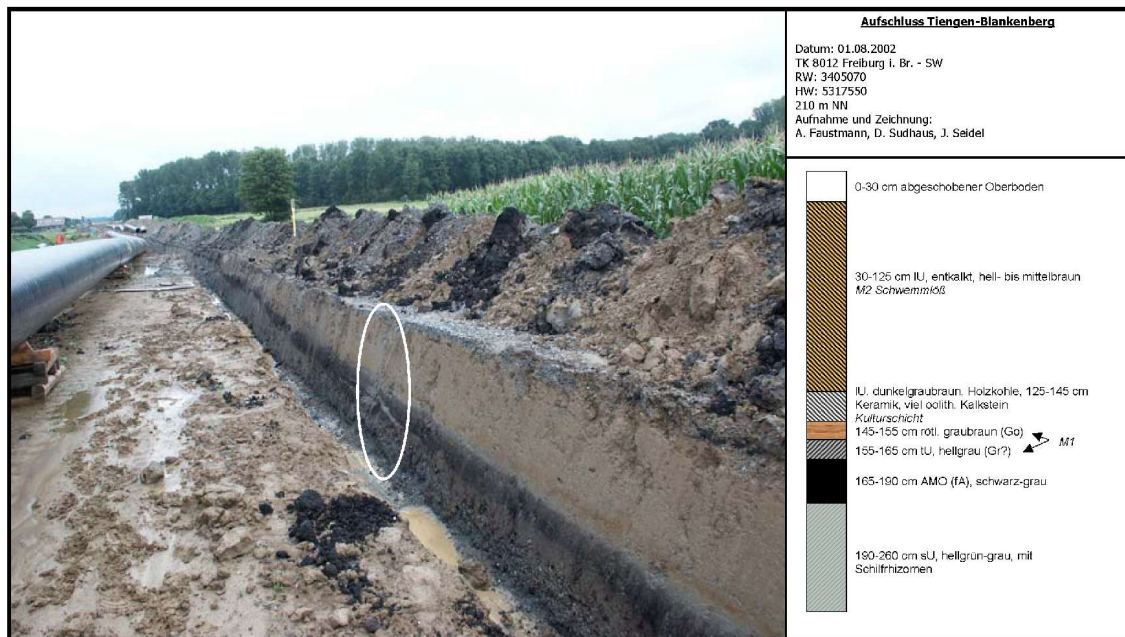


Abb. 25: Der Aufschluss Blankenberg

über. Aus dem Torf wurde eine Mischprobe pollenanalytisch bearbeitet und auf ein Alter von 7160-6910 cal. BP ^{14}C -datiert (FR 02-46).

Zwischen 165 und 145 cm u. GOF befand sich ein Kolluvium (M1), welches im unteren Teil Bodenbildungsmerkmale in Form von Go/Gr Horizonten aufwies. Im oberen Bereich dieses Kolluviums befand sich in einer Tiefe von 155 bis 145 cm u. GOF eine dunkelgrau-braune, lehmig-schluffige Kulturschicht, die Holzkohlereste, Scherben, Tierknochen, oolithische Kalksteine (möglicherweise Dogger vom Tuniberg) und gebrannten Lehm einschloss. Die Datierung der Holzkohle ergab ein ^{14}C -Alter von 2720-2470 cal. BP (FR 02-25). Bei den Scherben handelte es sich um scheibengedrehte Ware der Späthallstattstufe D3 (s. Abb. 9), die in ihrer zeitlichen Einordnung relativ gut mit dem Datum der Holzkohle korrespondieren. Bei der Bodenscherbe handelte es sich um einen Standfuß, der vermutlich angedreht wurde. In den umlaufenden Rillen der Randscherbe waren möglicherweise noch Graphitspuren als Reste der Verzierung erhalten (SEIDEL et al. 2004).

Über dieser Kulturschicht befand sich zwischen 125 und 30 cm u. GOF ein weiteres, jüngerer Kolluvium (M2), das nicht näher datiert werden konnte. Die oberen 30 cm des Profils, der humose Pflughorizont, wurden im Rahmen des Leitungsbaus abgeschoben.

Eine von SUDHAUS durchgeführte Pollenanalyse aus einer Mischprobe der Torfschicht wies eine für das Oberrheintiefland typisch schlechte Pollenerhaltung auf (SEIDEL et al. 2004). Da nur eine Mischprobe des Torfs für die Analyse zur Verfügung stand, sind die Ergebnisse kritisch zu betrachten. Das Pollenspektrum weist Arten auf, die in dem Pollendiagramm des in der Nähe gelegenen Wasenweiler Rieds erst später erscheinen (FRIEDMANN 2000). Obwohl eine Auswertung der Anteile der Pollen so gut wie nicht möglich ist, liefert die Pollenanalyse doch weitere wichtige Hinweise. So wurde neben einem Pollenkorn der Gerste, die seit der Bandkeramik in Mitteleuropa angebaut wird (KÖRBER-GROHNE 1995), eine Reihe von Pollentypen gefunden, die den sekundären Siedlungszeigern (Offenlandpflanzen) zugeordnet werden: Knöterich, Hahnenfußgewächse, Schafgarbe, Zweizahn, Kratzdistel, Doldenblütler, Nelkengewächse und Echter Baldrian. Der mehrfache Fund der Teichrose deutet auf eine offene Wasserfläche hin (SEIDEL et al. 2004).

Der aus würmzeitlichem Löss aufgebaute Blankenberg stellt einen Gunstraum inmitten von feuchten Moor- und Schotterflächen dar, der vermutlich schon früh anthropogen genutzt wurde. Das Anmoor ist im feuchteren Atlantikum aufgewachsen. Dies lässt sich auch sehr gut mit dem Moorwachstum bei Mengen (s. Kap 5.1.1) und den Vermoorungen in der Freiburger Bucht (MAYER 1937) korrelieren. Durch das feuchtere Klima muss das hauptsächlich von Schwarzwaldflüssen gespeiste Grundwasser in diesen Bereichen angestiegen sein.

Eine genaue Zeitstellung der ersten Nutzung des Blankenbergs ist aus den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich. Zwischen ca. 7000 und ca. 600 cal. BP müssen aber erste landschaftsverändernde Tätigkeiten durch Einwirkungen des Menschen stattgefunden haben. Dies wird durch die Pollenanalyse und das Kolluvium zwischen dem Anmoor und der Kulturschicht belegt. Die auf einer Länge von etwa 8 m erhaltene und 20 cm mächtige Kulturschicht mit den hallstattzeitlichen Funden enthielt keine weiteren Siedlungsbefunde, wie z.B. Gruben oder Pfostenstandspuren. Daher konnte nicht einwandfrei geklärt werden, ob das Material in situ vorliegt oder kolluvial verlagert ist. Da das Fundmaterial gleichmäßig verteilt und nicht verrollt ist, könnte es sich um den Randbereich einer Siedlung handeln. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass es sich um geringfügig vom Hang verlagertes Material handelt. Offensichtlich handelt es sich hier am Blan-

kenberg um eine Besiedlung oder Nutzung in der Übergangsphase von der älteren zur jüngeren Eisenzeit (SEIDEL et al. 2004).

Das etwa 20 cm mächtige Kolluvium (M1) unter der Kulturschicht muss zwischen dem Neolithikum und der Hallstattzeit abgelagert worden sein. Somit war der anthropogene Einfluss auf die Landschaft in dieser Zeit am Blankenberg noch relativ gering. Das Kolluvium mit der hallstattzeitlichen Kulturschicht zeigt eine Bodenbildung mit einem Go/Gr Horizont auf. Dies ist ein Hinweis auf einen höheren und schwankenden Grundwasserstand, der zur Ausprägung dieser Merkmale geführt hat. Zeitlich lässt sich diese Bodenbildung mit dem Wachstum der oberen anmoorigen Torfschicht in der Pressgrube bei Mengen (s. Kap. 5.1.1) während des "Klimapessimums der Völkerwanderungszeit" (SCHÖNWIESE 1995) in Verbindung bringen. Das darüber liegende Kolluvium konnte nicht weiter differenziert und zeitlich eingeordnet werden. Die Mächtigkeit von über 1 m zeigt aber, dass die stärksten Landschaftsveränderungen am Blankenberg erst nach der Hallstattzeit stattfanden.

Nimberg

Im Zuge einer Ausgrabung von STROTZ (2003) in der Wüstung Buchweiler bei March-Holzhausen wurden OSL-Datierungen an Kolluvien am Hangbereich des Nimbergs vorgenommen. Ergänzend zu den Aufnahmen in der Profilgrube wurden im Umfeld drei Bohrungen mit dem Pürckhauer Erdbohrstock durchgeführt. In den Bohrprofilen konnten zwei Kolluvien ausgegliedert werden. Die Bohrungen zeigten, dass das obere Kolluvium bis in eine Tiefe von 100 cm u. GOF reichte. Das darunter liegende Kolluvium war zwischen 50 und 90 cm mächtig und enthielt mittelalterliche Scherbenfunde. Die Geländebefunde am Nimberg deuten darauf hin, dass der Großteil der Kolluvien hier erst während bzw. nach dem Mittelalter abgelagert wurde.

Sowohl am Blankenberg als auch am Nimberg sind die Kolluvien zum Teil über 150 cm mächtig. Der Hauptteil der Erosion hat nach den Geländebefunden zu urteilen erst ab bzw. nach der Römischen Kaiserzeit stattgefunden. Da keine weiteren Daten zur zeitlichen Einordnung der Kolluvien an den Hängen der Lössinseln in der Freiburger Bucht vorliegen, kann hier keine genauere Abgrenzung erfolgen.

Da die Hangkolluvien in der Regel in den oberen und unteren Bereichen an den Hängen auskeilen, wird für die mittlere Kolluvienmächtigkeit ein Wert von 1 m zu Grunde gelegt. Dieser Wert wird auch für den Kolluviensaum nördlich der Mengener Brücke verwendet, da dieser im Vergleich zur Südseite der Mengener Brücke relativ schmal ist und keine weiteren Bohrdaten vorliegen. Detaillierte Ausführungen zu den Kolluvien auf und südlich der Mengener Brücke finden sich in Kap. 4.2.1.

4.4.5 Kolluvien im Nordosten der Freiburger Bucht

Weitere Kolluvien sind auf der GK 25 im Nordosten der Freiburger Bucht im Raum von Denzlingen kartiert. Hierbei handelt es sich in erster Linie um verschwemmtes Material der lössbedeckten Niederterrassenbereiche, die hier weite Flächen einnehmen. Angaben zur Mächtigkeit dieser Kolluvien sind nur vage: GROSCHOPF & SCHREINER (1980) beschreiben einen Aufschluss in Freiburg-Herdern nahe am Gebirgsrand mit 4,5 m Schwemmlöss, in der Ebene ist mit geringeren Mächtigkeiten zu rechnen. Eine weitere Bohrung bei Gundelfingen erbrachte 120 cm Schwemmlöss.

Untersuchungen von SCHNEIDER (2000) im Bereich von Vöhrstetten ergaben Schwemmlössmächtigkeiten zwischen 60 cm bei Teningen und 100 cm bei Vöhrstetten.

Auf der Basis dieser Angaben wird eine mittlere Mächtigkeit von 1 m für diese Kolluvien angenommen.

Zeitlich lassen sich diese Kolluvien nur an einem alamannischen Befund in Vöhrstetten einordnen. Dort war eine Grube mit alamannischen Funden mindestens 60 cm tief in ein Kolluvium eingetieft (SCHNEIDER 2000), welches folglich vor der Alamannenzeit (Frühmittelalter) abgelagert worden sein muss. Da die obersten 40 cm abgeschoben waren, lassen sich keine genaueren Angaben machen.

Zusammenfassend für die holozänen Sedimentspeicher ergeben sich folgende Sedimentvolumen (Tab. 9)

Tab. 9: Übersicht über die Volumen der holozänen Sedimentspeicher in der Freiburger Bucht

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Auenbereiche von Elz, Glotter und Dreisam	1	71,13	0,071130
Auenbereiche am Rande der Lahr-Emmendinger Vorbergzone	0,5	14,75	0,007375
Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs	4,5	3,64	0,016380
Hangfußkolluvien der Lössinseln, des Tuniberg & der Mengener Brücke	1	8,61	0,008610
Kolluvien im Nordosten der Freiburger Bucht	1	7,95	0,007950

4.5 Schwarzwald

In den Tälern des Mittleren Schwarzwalds wurden im Elztal und im Simonswälder Tal an mehreren Stellen Querprofile mit jeweils mehreren Bohrungen in der Talaue angelegt. Auch aus dem mesozoischen Teil des Schwarzwalds westlich der Hauptverwerfung liegen einige Daten aus dem Einzugsgebiet des Brettenbachs vor. Generell ist davon auszugehen, dass es sich im Schwarzwald aufgrund der ab dem Hochmittelalter erfolgten flächenhaften Besiedlung durchweg um relativ junge Auensedimente und Kolluvien handelt.

Die Sedimentspeicher im Schwarzwald werden wie folgt eingeteilt:

- **Auenbereiche im Schwarzwald ohne Brettenbach**
- **Auenbereiche des Brettenbachs**
- **Zartener Becken**
- **Kolluvien im Elztal**
- **Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung**

4.5.1 Auenbereiche im Schwarzwald ohne Brettenbach

Die Auswertungen der Bohrpofile von SCHNEIDER (2000) und SEIDEL (1999) ergaben Au-enlehm-mächtigkeiten von 60 bis 160 cm im Elzeinzugsgebiet. Dabei ist kein Zu-

sammenhang zwischen der Auenbreite und der Auenlehmmächtigkeit sowie der Höhenlage und der Auenlehmmächtigkeit erkennbar (Tab. 10).

Tab. 10: Übersicht über die Auenlehmmächtigkeiten im Einzugsgebiet der Elz im kristallinen Schwarzwald

Lokalität	Höhe (m NN)	Breite der Aue (in GK 25)	Anzahl Bohrungen	Ø-Mächtigkeit (cm)
Mühlebühl ¹	880	50 m	4	98
Elzhof ¹	780	70 m	1	70
Schüsselebauer ¹	506	150 m	6	90
Oberprechtal ¹	441	270 m	1	161
Polihof ¹	442	170 m	5	75
Grün ¹	335	130 m	6	95
Moosmatten ¹	302	220 m	4	95
Bleibach ²	310	400 m	8	88
In der Erle ²	425	120 m	9	57
Engel ²	445	250 m	5	59
E-Werk Obertal ²	475	80 m	6	79
Haldenlenz ²	590	80 m	4	84
Muckental (Bleichbach) ¹	216	70 m	4	95

Datengrundlage: ¹SCHNEIDER (2000), ²SEIDEL (1999)

Aus diesen Daten ergibt sich ein gerundeter Mittelwert von 90 cm. Die Bohrprofile wurden nur in den Tälern der Elz und der Wilden Gutach aufgenommen, da aber jeweils unterschiedliche Flussabschnitte in verschiedenen Höhenlagen untersucht wurden, kann von der Annahme ausgegangen werden, dass die Auenlehme in den kleineren Zuflüssen der Elz und der Wilden Gutach ebenfalls im Durchschnitt die oben ermittelte Mächtigkeit aufweisen.

Im mesozoischen Teil des Schwarzwalds liegt ein Querprofil aus Buntsandstein im Bleichbachtal vor (SCHNEIDER 2000). Die hier angetroffenen Auensedimentmächtigkeiten entsprechen in etwa den Werten im kristallinen Schwarzwald.

4.5.2 Auenbereiche des Brettenbachs

Bohrungen und Geländeaufnahmen im Brettenbachtal von SCHNEIDER (2000) und MÄCKEL & RÖHRIG (1991) haben gezeigt, dass Auensedimente im Einzugsgebiet des Brettenbachs mächtiger sind als im übrigen Schwarzwald. Dies könnte auf das geologische Ausgangsmaterial westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung zurückzuführen sein, welches aus mesozoischen Gesteinen aufgebaut ist (s. Abb. 2). Stellenweise kommt auch leicht erodierbarer Löss vor, der sich zum Teil als verschwemmter Löss in den Bohrprofilen findet (SCHNEIDER 2000). Weitere Faktoren für die relativ mächtigen Auensedimente dürften in der Besiedlungsgeschichte zu suchen sein. So wurden z.B. Holzkohlestücke in einem Bohrprofil beim Kloster Tennenbach auf ein römisches Alter datiert (FR 99-18: 1950-1810 cal BP). Die Geländebefunde deuten darauf hin, dass die Talausgänge des Schwarzwalds in diesem Teilgebiet bereits zur Römerzeit genutzt wurden. Zwischen der Römischen Kaiserzeit und dem Hochmittelalter hat keine Auensedimentation in nennenswertem Umfang stattgefunden (SCHNEIDER 2000).

Im Oberlauf des Brettenbachtals liegt ein Querprofil von MÄCKEL & RÖHRIG (1991) mit einem typischen Auensedimentaufbau vor. Eine ^{14}C -Datierung an einem Holzstück aus dem Schotterkörper (FR 87-46) ergab ein Alter von 4240-3990 cal. BP. Die ^{14}C -Proben an Holzstücken und Holzkohle aus den darüber liegenden 160 cm mächtigen Auensedimenten datieren aus dem Frühmittelalter (FR 87-18: 1420-1270 cal. BP) bzw. der frühen Neuzeit (FR 87-45: 430-350 cal. BP) und (FR 87-43: 510-320 cal. BP). Aus den vorliegenden Daten aus dem Brettenbachtal ergibt sich eine durchschnittliche Auensedimentmächtigkeit von 2 m (Tab. 11).

Tab. 11: Übersicht über die Auenlehmlichkeiten im Tal des Brettenbachs (Einzugsgebiet der Elz)

Lokalität	Höhe (m NN)	Breite der Aue (in GK 25)	Anzahl Bohrungen	Ø-Mächtigkeit (cm)
Tennenbach ¹	255	130 m	4	217
Am Horn ¹	234	350 m	6	220
Reichenbach ²	506	100 m	k. A.	160

Datengrundlage: ¹SCHNEIDER (2000), ²MÄCKEL & RÖHRIG 1991

4.5.3 Zartener Becken

Beim Zartener Becken handelt es sich um ein intramontanes Becken im Schwarzwald, welches sich östlich von Freiburg auf einer Länge von 10 km und einer Breite von 3 km erstreckt. Die Landschaft im Zartener Becken wurde im Pleistozän durch fluvioglaziale und fluviale Prozesse geprägt. Sommerliche Schmelzwasser führten zu einer starken Aufschotterung, später erfolgte eine Einschneidung der Flüsse in die Würmschotter und die Ausbildung der holozänen Auen (FRIEDMANN & SCHNEIDER 2000).

Im Gegensatz zu den übrigen Gebieten im Schwarzwald ist das Zartener Becken bereits früh besiedelt worden. Erste Hinweise auf Siedlungsaktivitäten stammen aus dem Neolithikum (FRESLE 1966), wobei der von FRESLE verwendete Begriff "mittlere Steinzeit" (8500-2500 v. Chr.) sehr weit gefasst ist.

Ab der Latènezeit sind Siedlungsaktivitäten im Zartener Becken durch die Ringwallanlage *Tarodunum* (s. Kap. 2.7) eindeutig belegt. Auch für die anschließende Römerzeit sind anthropogene Aktivitäten im Zartener Becken nachweisbar. Während der Alamannischen Landnahmezeit war das Zartener Becken offensichtlich kaum besiedelt, da in keinen Ortsnamen die Endungen "-ingen" oder "-heim" vorkommen. Ab dem Mittelalter dürften die Siedlungsaktivitäten im Zartener Becken analog zu denen im Schwarzwald verlaufen sein (s. Kap 2.7.), da zahlreiche Scherbenfunde die anthropogene Einwirkung belegen (MÄCKEL & FRIEDMANN 1999)

Aus dem Zartener Becken liegen mehrere Aufschlüsse und Querprofile vor, die zum größten Teil während der Bauarbeiten für die Bundesstraße 31 Ost aufgenommen wurden. Der ältesten Hinweis auf anthropogene Aktivitäten in den Auenlehmen in Form von Holzkohlestücken datiert ins frühe Atlantikum (FR 95-06: 8110-7870 cal. BP), allerdings befindet sich in der selben Schicht zwischen 125-75 cm u. GOF ein weiteres, jüngeres ^{14}C -Datum (FR 95-08: 3470-3260 cal. BP). Da keine weiteren Funde gemacht wurden, die das atlantische Alter des Sediments bestätigen, ist davon auszugehen, dass das Material verlagert wurde und der Sedimentkörper jüngeren Alters ist (MÄCKEL et al. 2003). Aus den verschiedenen Geländeaufnahmen lässt sich eine durchschnittliche Auenlehmmächtigkeit von 90 cm im Zartener Becken ableiten (Tab. 12).

Tab. 12: Übersicht über die Auenlehmmächtigkeiten im Zartener Becken

Lokalität	Höhe (m NN)	Geländeauf- nahme	Ø-Auenlehmmächtigkeit (cm)
Oberstes Krummbachauenniveau ¹	368	Aufschluss	35
Oberes Krummbachauenniveau ¹	366,5	Aufschluss	120
Unteres Krummbachauenniveau ¹	366	Aufschluss	165
Krummbach-Hagenbachaue ¹	366	Aufschluss	88
Hagenbachbrücke ¹	366	Aufschluss	125
Hagenbachaue ¹	366	Aufschluss	120
Querprofil 1 ²	356	Bohrungen	51
Querprofil 2 ²	360	Bohrungen	64
Krummbachverlegung 555 ³	364	Aufschluss	150
Krummbachverlegung 372 ³	363,5	Aufschluss	> 123
Krummbachverlegung ³	358	Aufschluss	60

Datengrundlage: ¹ FRIEDMANN & MÄCKEL (1998b), ²FRIEDMANN & SCHNEIDER (2000), ³SCHNEIDER (2000)

Eine weitere zeitliche Differenzierung der Sedimente ist stellenweise möglich. Am Aufschluss "Hagenbachbrücke" war unterhalb von römischen Scherben eine Bodenbildung vorhanden, was eine Abgrenzung der Sedimente erlaubt (Abb. 26). So wurden mindestens die unteren 50 cm Auenlehm vor der Römischen Kaiserzeit abgelagert, die oberen 60 cm Auenlehm über der Bodenbildung müssen während oder nach der Römischen Kaiserzeit abgelagert worden sein. ¹⁴C-Datierungen in einer Tiefe von 70-75 cm u. GOF aus den Aufschlüssen "Krummbachverlegung 555" und "Krummbachverlegung 372" (SCHNEIDER 2000) ergaben hoch- bzw. spätmittelalterliche Alter (FR 99-27: 691-654 cal. BP und FR 99-28: 1060-950 cal. BP). Die 40 cm mächtige Auenlehmschicht beim Aufschluss "Krummbachverlegung" (SCHNEIDER 2000) wurde ebenfalls erst ab dem Mittelalter abgelagert. Darauf deuten ¹⁴C-datierte Holzkohlen hin (FR 99-29: 971-923 cal. BP). Die Auenlehmschicht weist bei ca. 18 cm u. GOF eine Grenze auf. In die obere Schicht war vermutlich ein Schmelzplatz eingetieft, da zahlreiche Holzkohlen- und Schlackefunde gemacht wurden (SCHNEIDER 2000).

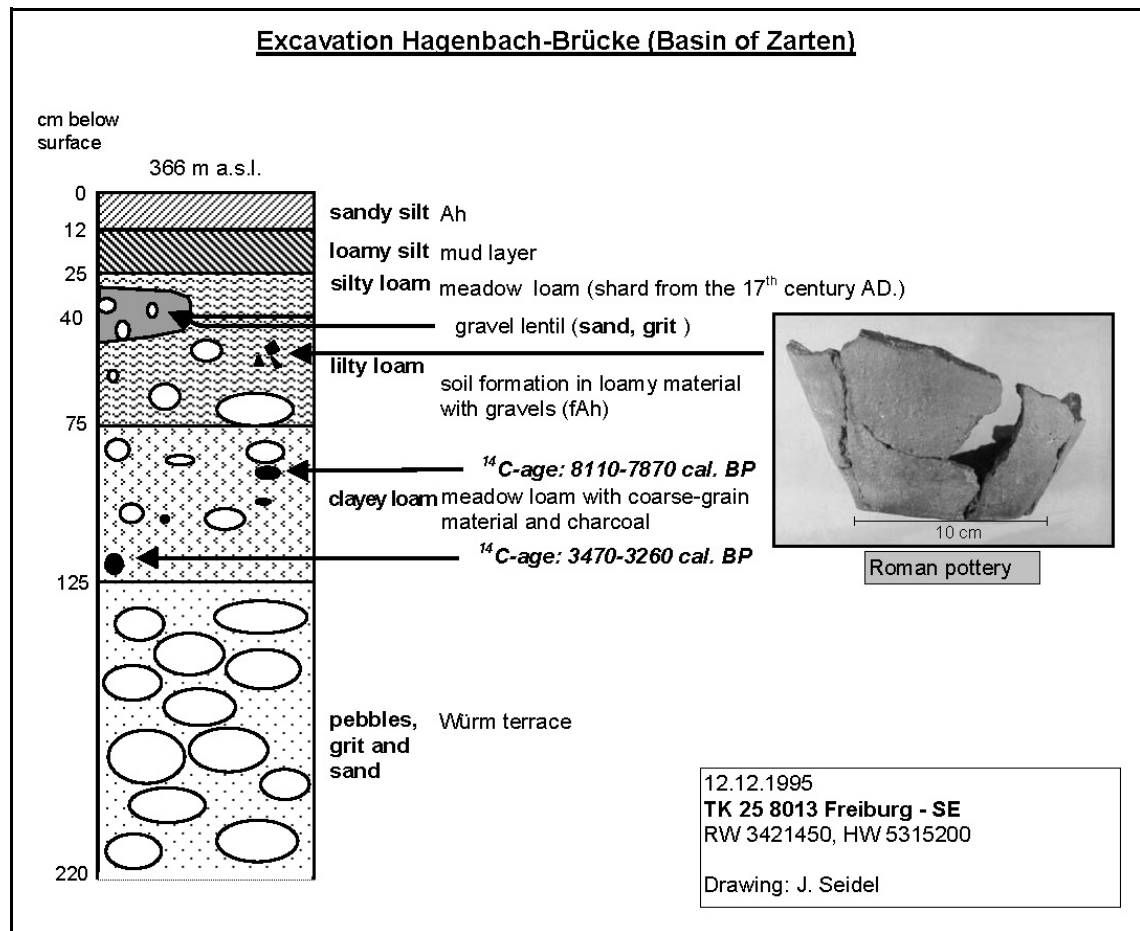


Abb. 26: Aufschluss mit römerzeitlichen Funden im Zartener Becken (Aus: MÄCKEL et al. 2003)

4.5.4 Kolluvien im Elztal

Die Kolluvien im Elztal kommen primär auf den flacheren nordwest exponierten Hängen vor. Weitere Kolluvien sind an den Talausgängen im Bereich westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung in der GK 25 kartiert. Die Kolluvien sind aufgrund des Lössvorkommens in diesen Gebieten in der Regel schluffig, was auf den Löss als Hauptkomponente hinweist. Im Elztal haben sich Kolluvien an den Unterhängen und auf der Niederterrasse abgelagert. Für diese Kolluvien liegen nur wenige Angaben zur Mächtigkeit vor (Tab. 13).

Tab. 13: Übersicht über die mittleren Kolluvienmächtigkeiten im Elztal

<i>Lokalität</i>	<i>Höhe (m NN)</i>	<i>Anzahl Boh-</i> <i>rungen</i>	<i>Ø-Kolluvienmächtigkeit (cm)</i>
Polihof ¹	442	2	81
Grün ¹	335	1	22
Moosmatten ¹	302	2	134
Bleibach ²	310	1	> 200

Datengrundlage: ¹SCHNEIDER (2000), ²SEIDEL (1999)

Als Mittelwert aus diesen Daten ergibt sich eine durchschnittliche Mächtigkeit von etwa 110 cm, ein Wert, der sich gut mit den Angaben aus der GK 25 Blatt 7814 Elzach ("jüngere diluviale Aufschüttungen", mächtiger als 80-100 cm) deckt.

4.5.5 Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung

Bei den Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung handelt es sich wie im Bereich der Lahr-Emmendinger Vorbergzone um kolluvial verfüllte Täler. Hier liegt lediglich ein Bohrprofil von SCHNEIDER (2000) vor, welches Kolluvien von mehr als 4 m Mächtigkeit aufweist. Da sonst keinerlei Daten zu den Kolluvien in diesem Bereich verfügbar sind, wird dieser Wert als repräsentativ für diese kolluvial verfüllten Täler angenommen. Da hier im Gegensatz zur Lahr-Emmendinger Vorbergzone weniger Löss an den Hängen als Ausgangsmaterial für die Kolluvien zur Verfügung steht, ist davon auszugehen, dass die Mächtigkeiten der Kolluvien in den verfüllten Tälern im Schwarzwald westlich der Hauptverwerfung geringer sind als in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone.

Tab. 14: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Schwarzwald

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km²)	Volumen (km³)
Auenbereiche im Schwarzwald ohne Brettenbach	0,9	54,42	0,048978
Auenbereiche des Brettenbachs	2	4,09	0,008180
Auenbereiche im Zartener Becken	0,9	10,74	0,009666
Kolluvien im Elztal	1,1	4,79	0,005269
Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung	4	0,86	0,003440

4.5.6 Markgräfler Hügelland

Der Anteil des Elzeinzugsgebiets an der naturräumlichen Einheit des Markgräfler Hügellands beschränkt sich auf den Bereich des Schönbergs und des Schneckentals östlich des Batzenbergs. Aus diesem Teilgebiet liegen keine Geländeaufnahmen vor, auch ansonsten ist die Datengrundlage zur Mächtigkeit der holozänen Sedimente dürftig. Ein Bohrprofil der GK 25 aus dem Hexental bei Au weist eine Auensedimentmächtigkeit von 70 cm auf. Ein weiteres Bohrprofil im Schwemmlöss bei Ebringen erbrachte eine Kolluvienmächtigkeit von 200 cm. Für die in der GK 25 kartierten Auen im Raum um Ebringen liegen keine Daten vor. Daher wird ebenfalls von einer Mächtigkeit von 200 cm ausgegangen. Die Tatsache, dass im Bereich des Batzenbergs leicht erodierbarer Löss ansteht, lässt hier auf höhere Erosionsraten schließen, und somit sind auch mächtigere Ablagerungen in den Tiefenlinien zu erwarten.

Tab. 15: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Markgräfler Hügelland

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Auenbereiche östlich des Schönbergs	0,7	0,88	0,000616
Übrige Auen und Kolluvien	2	2,82	0,005640

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Elz

Tab. 16: Übersicht über die Sedimentspeicher im Einzugsgebiet der Elz

Sedimentspeicher (Naturraum)	Ø Mächtigkeit	Altersstellung	Korngröße	Datenlage (Qualität/Quantität)
Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden (OGR)	150 cm	≤ Neolithikum	↑ uL ↓ tL	+ / +
Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden (OGR)	130 cm	≤ Neolithikum (?)	+/- uL ?	o / -
Verfüllte Flussläufe (OGR)	80 cm	≤ Neuzeit	+/- uL	o / o
Sonstige Kolluvien (OGR)	70 cm	≤ Neolithikum	+/- U	- / -
Hangfußkolluvien (LEV)	320 cm	≤ Neolithikum	+/- U ?	- / -
Kolluvial verfüllte Täler (LEV)	600 cm	≤ Neolithikum	U, IU	o / -
Auenbereiche Vorbergzone	300 cm	≤ Neolithikum	+/- tU	o / o
Kolluvial verfüllte Täler (KAI)	500 cm	≤ Neolithikum	IU	+ / o
Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen (KAI)	300 cm	≤ Neolithikum	U, IU	o / o
Auenbereiche von Elz, Glotter und Dreisam (FBE)	100 cm	≤ Neolithikum	L ?, X	o / -
Auenbereiche am Rande der Lahr-Emmendinger Vorbergzone (FBE)	50 cm	≤ Neolithikum	L ?, X	- / o
Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs (FBE)	450 cm	≤ Neolithikum	IU, uL	- / -
Hangfußkolluvien der Lössinseln, Tuniberg & Mengen (FBE)	100 cm	≤ Neolithikum	IU	o / -
Kolluvien im Nordosten der Freiburger Bucht (FBE)	100 cm	≤ Neolithikum	+/- U ?	- / -
Auenbereiche im Schwarzwald ohne Brettenbach (SCH)	90 cm	≤ Hochmittelalter	sL, L, X	+ / +
Auenbereiche des Brettenbachs (SCH)	200 cm	≤ Römerzeit (?)	sL, S	+ / +
Auenbereiche im Zartener Becken (SCH)	90 cm	≤ Mittlere Bronzezeit	L, sl	+ / +
Kolluvien im Elztal (SCH)	110 cm	≤ Hochmittelalter	+/- U	- / o
Kolluvien westlich der Schwarzwaldhauptverwerfung (SCH)	400 cm	≤ Neolithikum	+/- U	o / -
Auenbereiche östlich des Schönbergs (MHE)	70 cm	?	L ?	- / -
Übrige Auen und Kolluvien (MHE)	200 cm	≤ Neolithikum	± U	- / -
Abkürzungen der Naturräume: OGR = Offenburger Rheinebene, LEV=Lahr-Emmendinger Vorbergzone, KAI =Kaiserstuhl, FBE=Freiburger Bucht (EZG Elz), SCH=Schwarzwald, MHE (Markgräfler Hügelland (EZG Elz) ↑ = nach oben hin ≤ = jünger bzw. gleich alt ↓ = nach unten hin ? = unsicher Datenlage: + gut, o mittel, - minimal				

Aus den Bestimmungen der Sedimentvolumen der einzelnen Teilgebiete ergibt sich ein Sedimentvolumen von 0,447 km³ für das Einzugsgebiet der Elz, wovon 0,161 km³ auf die Auensedimente und 0,286 km³ auf die Kolluvien entfallen. Der größte Teil dieser Sedimente ist demnach in Form von Kolluvien im Einzugsgebiet der Elz gespeichert.

Die in Tab. 16 aufgeführte Übersicht über die holozänen Sedimentspeicher zeigt, dass es hinsichtlich der Datenqualität und -quantität erhebliche Unterschiede gibt. Dadurch sind nur in manchen Teilgebieten genaue Aussagen zum Alter und zur Mächtigkeit der Auenlehme und Kolluvien möglich. In den Auenbereichen des Ettenbachs in der Offenburger Rheinebene wurde in zahlreichen Aufschlüssen ein Wechsel im Sedimentationsgeschehen von einer tonigeren hin zu einer schluffigeren Komponente in den Auenbereichen beobachtet werden. Aufgrund der Funde in den Profilen lässt sich dieser Wechsel in die Zeit zwischen dem Mittelneolithikum und der späten Latènezeit eingrenzen. Dies deutet auf eine verstärkte Abschwemmung von schluffigerem Material der lössbedeckten Gebiete seit diesem Zeitraum hin, welches auf eine Intensivierung der anthropogenen Aktivitäten zurückzuführen sein dürfte. An zahlreichen Stellen im Raum Ettenheim konnten verfüllte Flussrinnen beobachtet werden, die in den Schwarzen Auenboden eingeschnitten waren. Durch Funde und ¹⁴C-Datierungen lässt sich die Einschneidung dieser Rinnen in das späte Subboreal stellen.

In den Auenbereichen der Offenburger Rheinebene, in denen bislang kein Schwarzer Auenboden gefunden wurde, variieren die Daten zu den Mächtigkeiten der Auenlehme sehr stark, und eine zeitliche Differenzierung ist aufgrund fehlender Leithorizonte und aussagekräftiger ¹⁴C-Daten nicht möglich. Die Sedimente der kolluvial verfüllten Flussläufe weisen eine schluffige Komponente auf, was auf Löss als Ausgangsmaterial hinweist. Diese Sedimente sind in der Regel sehr jung, da erst ab der Mitte des 19. Jh. durch den Bau des Leopoldkanals und der damit verbundenen Regulierung des Abflusses der alten Elz (s. Kap 2.3) mit einem dauerhaften Trockenfallen dieser Flussläufe zu rechnen ist, was die anschließende kolluviale Verfüllung erst ermöglichte.

Für die Kolluvien in der Offenburger Rheinebene liegen keine Daten vor, die eine zuverlässige zeitliche Einordnung erlauben, es ist jedoch davon auszugehen, dass erste Kolluvien auf den lössbedeckten Gunsträumen bereits ab dem Neolithikum abgelagert wurden.

In der Lahr-Emmendinger Vorbergzone, im Kaiserstuhl und am Tuniberg deuten die mächtigen kolluvialen Verfüllungen der Täler sowie die Kolluvien an den Talausgängen und Hangfüßen auf intensive Erosionsprozesse an den Hängen hin. Aufgrund fehlender direkter Datierungen (z.B. OSL-Datierungen) und der Tatsache, dass der anstehende Primärlöss bei Bohrungen nur in den wenigsten Fällen erreicht wurde, ist eine zeitliche Differenzierung dieser Kolluvien praktisch nicht möglich (vgl. Diskussion der Ergebnisse in Kap. 7).

Das Substrat der holozänen Sedimentspeicher steht in der Regel in engem Zusammenhang mit den Liefergebieten. Kolluvien in den Lössgebieten weisen primär Schluff als Hauptkomponente bei der Korngrößenzusammensetzung auf, untergeordnet kommt auch lehmiger Schluff vor. Die Auenbereiche in der Emmendinger-Vorbergzone sind eher tonig-schluffig. Die Auen im Schwarzwald und in der Freiburger Bucht weisen Lehm bzw. sandigen Lehm als Hauptkomponente beim Substrat auf. Gröberes Material und Schotterablagerungen kommen stellenweise in den Auen der Mittelgebirgslagen vor und sind ein Hinweis auf extreme Hochwasserereignisse.

5. Bestimmung der Sedimentvolumen im Einzugsgebiet der Möhlin

5.1 Freiburger Bucht

Der südliche Teil der Freiburger Bucht mit der Mengener Brücke entwässert zur Möhlin hin und wird daher dem Einzugsgebiet dieses Flusses zugerechnet. Aufschlüsse über den holozänen Sedimentaufbau waren auch hier durch den Bau der TENP-Trasse (s. Kap. 3.2.3) gegeben.

Die holozänen Sedimentspeicher in diesem Teilraum werden wie folgt unterteilt:

- **Kolluvien in Bereich der Mengener Brücke**
- **Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs**
- **Hangfußkolluvien des Tunibergs**

5.1.1 Kolluvien im Bereich der Mengener Brücke

Um die Trasse der TENP westlich von Mengen unter die Bundesautobahn (BAB) A5 hindurch zu führen, wurden beiderseits der Autobahn Pressgruben für den Rohrvortrieb angelegt. Dabei wurden auf der nordwestlichen Seite der A5 zwei Torfschichten im Aufschluss angeschnitten. Diese Torfschichten verlaufen von der Pressgrube ausgehend noch etwa 100 m in nordöstliche Richtung, bis sie am Hangfuß der Mengener Brücke auskeilen (Abb. 27). In der gegenüberliegenden Pressgrube wurden die Torfschichten nicht mehr angetroffen. Im Zuge der Aushubarbeiten für die Rohrleitung wurden zwischen den Torfschichten Holzbalken im NW-Profil des Grabens angeschnitten. Diese lagen einer Grube auf, welche mit Bauschutt (Steine, verbrannter Lehm und römische Ziegel) gefüllt war (DEHN et al. 2004).

Aus den Torfschichten wurden Proben entnommen und ^{14}C -datiert. Die untere, etwa 60 cm mächtige Torfschicht zwischen 260 und 320 cm u. GOF besteht aus stark zersetztem Niedermoortorf mit Holzstücken und einem hohen Anteil an anorganischem Substrat. Aus dieser Schicht wurden drei Proben zur ^{14}C -Datierung entnommen, die fast identische Alter mit einer Spanne zwischen 6390-6170 cal. BP (FR 03-01 bis -03) ergaben. Daraus lassen sich keine aussagekräftigen Torfwachstumsraten ableiten. Selbst

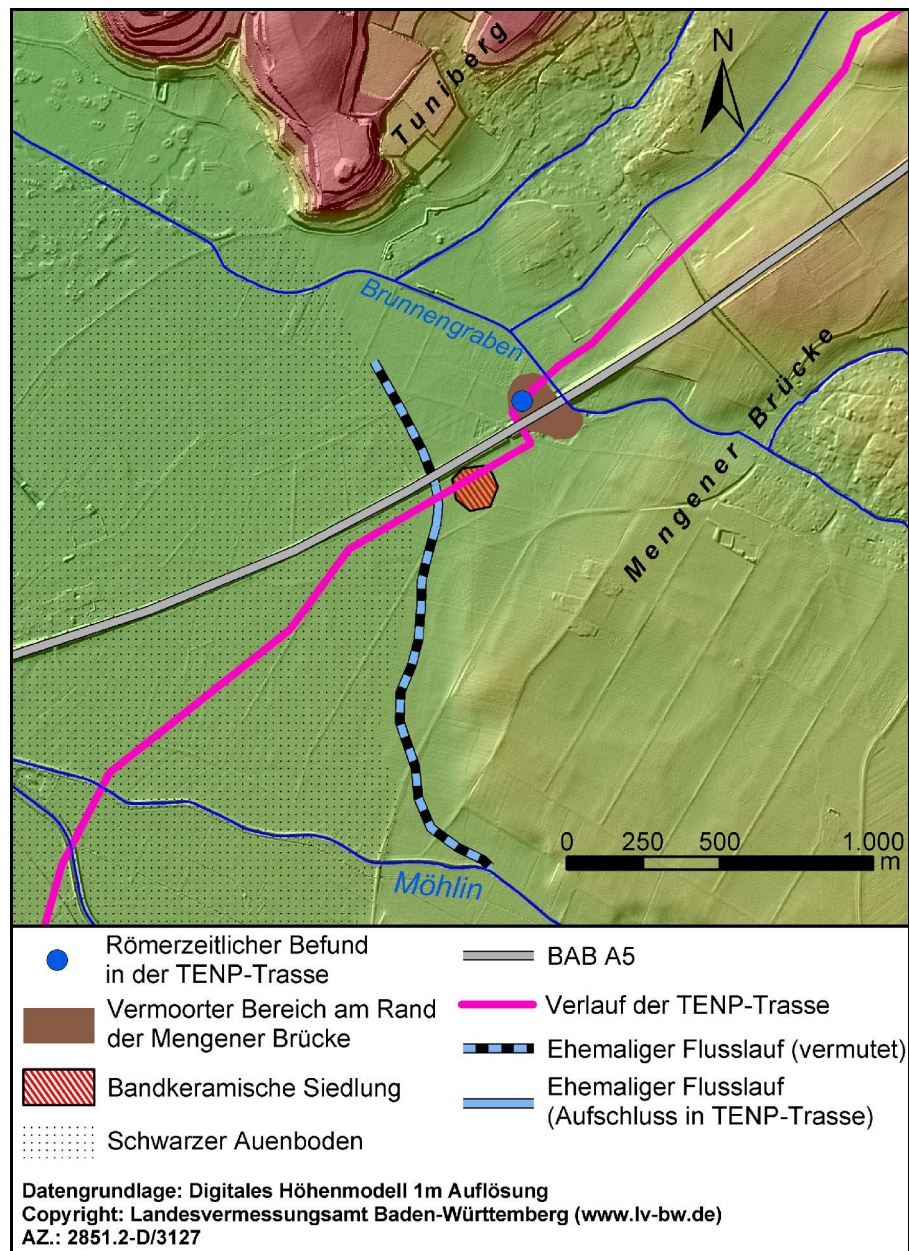


Abb. 27: Übersicht über die archäologischen Befunde entlang der TENP-Trasse südlich der Mengener Brücke

unter Verwendung der mit 2σ kalibrierten Daten (6410-6110 cal. BP) kommt nur eine Maximalspanne von 300 Jahren für das Wachstum der 60 cm mächtigen Torfschicht in Frage, was ein viel zu hoher Wert ist. Diese, auf den kurzen Zeitraum bezogene große Torfmächtigkeit kann nur durch andere Ereignisse wie z.B. eine synchronen Ablagerung von Kolluvien oder Auensedimenten im Torf erklärt werden, zumal der Torf einen hohen minerogenen Anteil aufweist. Möglich wäre auch eine Verfälschung der ^{14}C -Daten durch spätere pedogenetische Prozesse bzw. durch jüngere Durchwurzelung.



Abb. 28: Pressgrube in der TENP-Trasse westlich der A5 bei Mengen mit den zwei Torfschichten. Im Hintergrund ist die Südspitze des Tunibergs zu erkennen. Blickrichtung: NW (Aufnahme vom 07.05.2003)

Die obere, zwischen 110-130 cm u. GOF gelegene anmoorige Torfschicht ist im Bereich der Pressgrube ca. 20 cm mächtig, dünnt aber im Bereich des Befunds aus und konnte hier aufgrund der anthropogenen Überprägung nicht klar verfolgt werden. Aus dieser Schicht wurden zwei Proben entnommen, die in den Zeitraum mit einer Maximalspanne von 1820-1525 cal. BP (FR 03-04 und -05) datiert wurden.

Leider war es im Zuge der Bauarbeiten an der TENP-Trasse nicht möglich, die Stratigraphie dieses einmaligen Aufschlusses mit der notwendigen Genauigkeit und Sorgfalt aufzunehmen, da mit strengen Sicherheitsvorkehrungen und unter großem Zeitdruck an der TENP-Trasse gearbeitet wurde (SEIDEL et al. 2004).

Aus den Holzbalken des römischerzeitlichen Befunds wurden Proben zur Datierung ins Dendrochronologische Labor des Landesdenkmalamts Baden-Württemberg nach Hemmenhofen geschickt. An einem Eichenholz ergab eine Kernholzdatierung, dass das frühest mögliche Fälldatum des genutzten Baumes nicht vor 65 n. Chr. anzusetzen ist. Ausgehend von dieser Annahme wurde der Baum mit hoher Wahrscheinlichkeit noch in

der zweiten Hälfte des 1. Jh. n. Chr. gefällt (DEHN et al. 2004). Eine weitere Radiokarbondatierung (FR 03-15: 1880-1710 cal. BP) erfolgte an einem Balkenholz aus dem Befund selbst, dessen Alter relativ gut der dendrochronologischen Datierung entspricht. Damit wurde die Einordnung des Befunds in die Römische Kaiserzeit bestätigt.

Die untere Torfschicht zeugt von einer starken lokalen Vernässung im Atlantikum am Übergang vom Mittel- zum Jungneolithikum. Im Bereich des Befunds liegt über dem unteren Niedermoortorf ein etwa 40 cm mächtiges Sediment, bei dem es sich vermutlich um ein Kolluvium handelt, das vor der Römerzeit von den höhergelegenen lössbedeckten Flächen der Mengener Brücke abgeschwemmt wurde. In frühromischer Zeit wurde die Holzkonstruktion angelegt, deren Fundament (Bauschutt) in dieses Kolluvium eingetieft ist. Noch in römischer Zeit setzte eine erneute Vernässungsphase mit Torfbildung ein, die mindestens bis in die 2. Hälfte des 4. Jahrhunderts n. Chr. anhielt. Darüber befindet sich ein weiteres etwa 80 cm mächtiges kolluviales Schichtpaket, welches danach abgelagert wurde (DEHN et al. 2004).

Die Stelle mit der Pressgrube liegt der GK 25 nach im Bereich von Kolluvien, während sich der römische Befund hingen im Auenbereich befindet. Im Aufschluss entlang der TENP-Trasse war kein Unterschied diesbezüglich feststellbar, so dass der in der Geologischen Karte kartierte Auenbereich mit zu den Kolluvien gezählt wird.

Die Torfschichten am südlichen Rand der Mengener Brücke geben einen Hinweis auf Alter und Sedimentationsraten in diesem Bereich. So sind in der Umgebung der Pressgrube zwischen dem Atlantikum und dem Ende der Römischen Kaiserzeit 130 cm Sediment über der unteren Torfschicht abgelagert worden. Der römerzeitliche Befund selbst ist in ein etwa 30 cm mächtiges Kolluvium eingetieft. Daher muss dieses älter als römerzeitlich sein. Der größere Teil der Kolluvien zwischen den Torfschichten ist demnach während bzw. nach der Römischen Kaiserzeit und vor Beginn des Wachstums der oberen Niedermoortorfschicht abgelagert worden. Die Kolluvien über dem Niedermoortorf weisen im Bereich der Pressgrube eine Mächtigkeit von 110 cm auf, über dem römerzeitlichen Befund sind es noch etwa 80 cm. Von der Altersstellung her ist dieses Kolluvium erst ab bzw. nach dem frühen Mittelalter abgelagert worden. Die räumliche Aussagekraft dieser Geländebefunde ist schwer abzuschätzen, da die Torfschichten östlich der BAB A5 nicht mehr in der Pressgrube der TENP-Trasse angetroffen

fen wurden. Offensichtlich handelt es sich hierbei nur um einen lokalen Vermoorungsbereich am Hangfuß der Mengener Brücke.

Ergänzt werden diese Daten durch Bohrungen der GK 25. Die Angaben aus den Bohrungen weisen in der Regel noch größere Tiefen für die holozänen Sedimente auf. Jedoch sind in den Bohrprofilen Schwemmlöss (= unter natürlichen Bedingungen abgelagert) und Abschwemmmassen (= Kolluvien) zusammengefasst, so dass keine genaue Differenzierung möglich ist. Da die Tiefenangaben im Bereich der Mengener Brücke bei diesen Bohrungen bis maximal 570 cm u. GOF reichen und davon auszugehen ist, dass die anthropogen induzierten Kolluvien eine geringere Mächtigkeit aufweisen, wird von einem Mittelwert von 350 cm Mächtigkeit für die Kolluvien im Bereich der Mengener Brücke ausgegangen. Direkt an den Hangfüßen und in den Mulden liegen die mächtigsten Ablagerungen mit etwa 350 cm Mächtigkeit. Am Übergang zur Möhlinaue keilen die Kolluvien aus. Eine bandkeramische Siedlung in diesem Bereich, die beim Bau der TENP-Gasleitung angeschnitten wurde, befand sich unter etwa 70 cm Kolluvium.

5.1.2 Kolluvial verfüllte Täler und Hangfußkolluvien des Tunibergs

Der südliche Teil des Tunibergs gehört nach der GIS-basierten Berechnung der Flusseinzugsgebiete (s. Kap. 2.3) zum Einzugsgebiet der Möhlin (Abb. 36). Da für die kolluvial verfüllten Täler und die Hangfußkolluvien des Tunibergs in diesem Teilgebiet keinerlei Geländedaten vorliegen, werden für die Sedimentvolumenberechnung die Mächtigkeitsangaben für diese Sedimentspeicher aus dem Teilgebiet "Freiburger Bucht" (Kap. 4.1.4) des Einzugsgebiets der Elz übernommen.

Tab. 17: Übersicht über die Mächtigkeiten der holozänen Sedimente in der Freiburger Bucht (EZG Möhlin)

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs	4,5	0,5	0,002250
Hangfußkolluvien des Tunibergs	1	1,2	0,001200
Kolluvien der Mengener Brücke	3,5	3,52	0,012320

5.2 Markgräfler Rheinebene

In der Markgräfler Rheinebene vereinen sich die Auen von Neumagen und Möhlin zu einer größeren Fläche, die sich bis östlich des Tunibergs fortsetzt. Der Schwarze Auenboden kommt hier weit verbreitet vor (s. Abb. 13), Kolluvien sind auf der GK 25 nicht kartiert. Daher ergibt sich folgende Einteilung bei den Sedimentspeichern:

- **Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden**
- **Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden**

5.2.1 Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden

Aufschluss Hausen an der Möhlin

Beim Bau eines Regenwassersammelbeckens mit Versickerungsanlage im Neubaugebiet "Schmidtackern" konnten in der Baugrube zwei Aufschlüsse aufgenommen werden (Abb. 29 und Tab. 18). Die Stratigraphie an der Südseite der Baugrube war bis auf die Rheinschotter aufgeschlossen, so dass hier die gesamten holozänen Sedimente vertreten waren. Von 480 cm u. GOF bis zur Aufschlussgrenze in etwa 6 m Tiefe u. GOF standen karbonathaltige Rheinschotter an, darüber befand sich von 365-480 cm u. GOF eine Schicht mit Wechsellagen von karbonatfreien Schwarzwaldschottern und Sand. Im Hangenden folgten eine graue schluffig-lehmige Sandschicht (225-255 cm u. GOF) und eine schluffig-lehmiges Sediment mit Oxidationsmerkmalen (180-225 cm u. GOF), welches eine ähnliche Korngrößenverteilung wie der Schwarze Auenboden aufwies. Bei den Schichten 7 bis 4 (s. Abb. 29) handelt es sich offensichtlich um Hochflutsedimente, welche vor dem Boreal abgelagert wurden. Zwischen 110 und 140 cm u. GOF war der Schwarze Auenboden aufgeschlossen (Abb. 29 und 30). Eine Besonderheit an diesem Aufschluss war die Tatsache, dass Holzkohlestücke in diesem ansonsten fundleeren Horizont vorkamen. Diese wurden auf ein Alter von 7430-6990 cal. BP datiert (FR 01-06). Über dem Schwarzen Auenboden befand sich zwischen 20 und 110 cm Tiefe ein sandig-schluffiger Auenlehm mit einzelnen Holzkohlestücken, die nicht datiert wurden. Die oberen 20 cm des Profils waren abgeschoben. Bei sämtlichen Horizonten mit Ausnahme der Rheinschotter konnte bei der Aufnahme im Gelände kein Karbonatgehalt festgestellt werden. Bei Laboranalysen wurde lediglich bei der Schicht unterhalb des Schwarzen Auenbodens ein Karbonatgehalt von 0,65 % gemessen. Die Untersuchungen

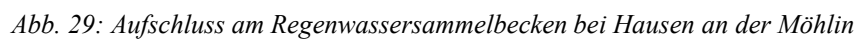




Abb. 30: Baugrube des Regenwassersammelbeckens bei Hausen an der Möhlin.
Im Bereich des Baggers und am rechten Bildrand ist der Schwarze Auenboden gut zu erkennen. Blickrichtung: SE, Aufnahme vom 22.05.2001

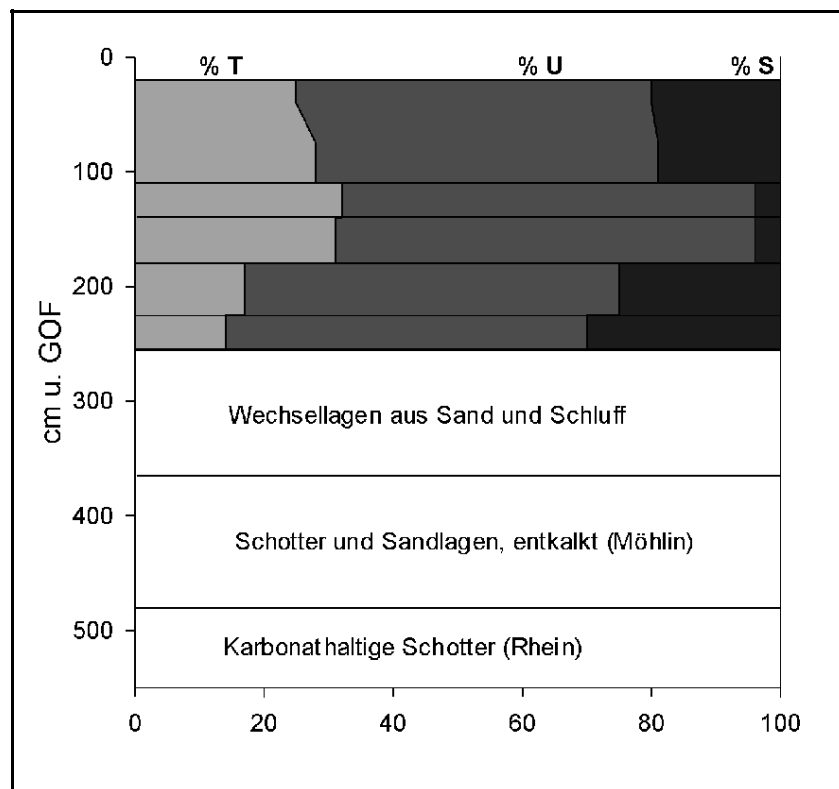


Abb. 31: Korngrößenverteilung im Aufschluss Hausen an der Möhlin

In der nordwestlichen Ecke der Baugrube war der ansonsten überall durchgängige Schwarze Auenboden unterbrochen. Dabei könnte es sich um eine ehemalige Flussrinne der Möhlin handeln, die den Schwarzen Auenboden ausgeräumt hat. Die tabellarische Stratigraphie dieser Rinne ist in Tab. 18 aufgeführt. An der Basis dieser Rinne wurden Holzkohlestücke aus einer Sandlinse auf ein Alter von 3550-1650 cal. BP (FR 01-07) datiert. Da die ^{14}C -Kalibrationskurve im Bereich von 2500 cal. BP ein Plateau aufweist (GEYH 2001), ergibt sich bei der Kalibrierung mit der Standardabweichung 1σ ein relativ großer Fehlerbereich, in diesem Fall fast 2000 Jahre. Daher ist die Aussagekraft dieser Datierung sehr eingeschränkt, deutet aber darauf hin, dass diese fluviale Aktivität in zeitlichem Zusammenhang mit den in Ettenheim gefundenen Rinnen steht (s. Kap. 4.1.1). Die Stratigraphie unterhalb dieser Sandlage lässt sich mit dem Profil auf der Nordseite der Baugrube korrelieren.

Tab. 18: Stratigraphie der Nordwand des Regenwasserbeckens bei Hausen an der Möhlin

Tiefe (cm u. GOF)	Substrat/ Bodenart	Farbe	Sonstiges
0-20	---	---	abgeschobener Oberboden
20-215	nicht bestimmbar	br	Rinnenverfüllung, Auenlehm
215-235	S	--	Sandlage, holzkohlehaltig (FR 01-07: 3350-1650 cal. BP)
265-295	U	gr	Schlicklage
295-325	S	--	Sandlage
ab 325	Schotter	--	Schwarzwaldschotter der Möhlin

Karbonat 0 in allen Horizonten

Aufschluss Hausen-Attilastraße

Ein weiterer Aufschluss in Hausen an der Möhlin konnte in einer Baugrube in der Attilastraße aufgenommen werden. Auch in diesem Profil war der Schwarze Auenboden in einer Tiefe von 130-165 cm u. GOF aufgeschlossen. Im Liegenden befand sich ein etwa 10 cm mächtiger Übergangshorizont des Schwarzen Auenbodens zu einem schluffigen Lehm, der bis zur Aufschlussgrenze bei 215 cm u. GOF anstand. Im Hangenden des Schwarzen Auenbodens war ebenfalls ein etwa 20 cm mächtiger Übergangshorizont zu dem darüber liegenden Auenlehm zu erkennen. Die Korngrößenverteilung dieses Auenlehms wurde zur Oberfläche hin etwas feiner (Abb. 33). Die oberen 30 cm des Profils waren abgeschoben. Die Schichten unterhalb 120 cm u. GOF waren karbonatfrei, darüber wurden geringe Karbonatgehalte von 0,5% in 60 cm bzw. 1,02% in 90 cm Tiefe gemessen. Die Messungen mit der RFA ergaben leicht erhöhte Konzentrationen an Blei

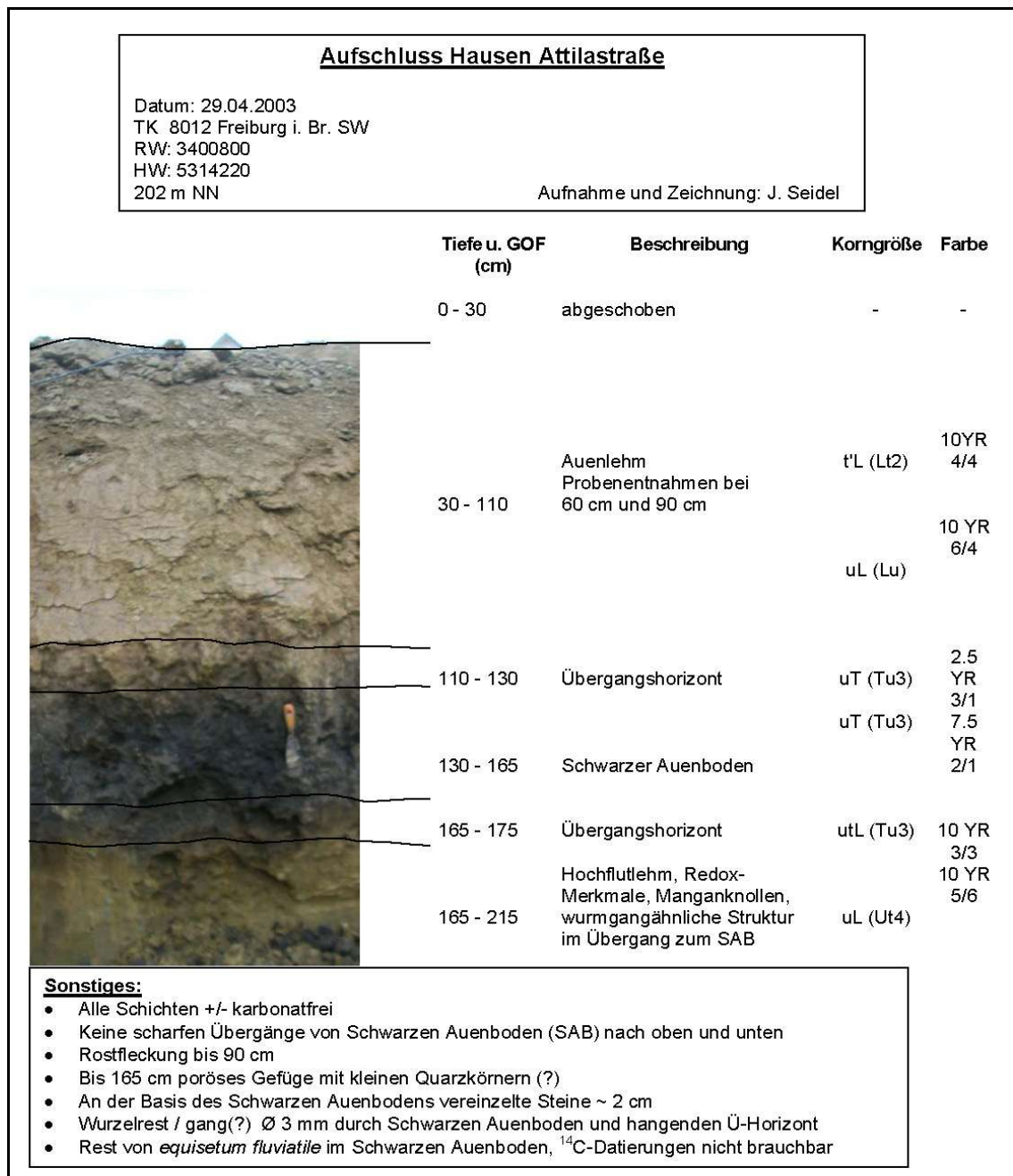


Abb. 32: Der Aufschluss Hausen-Attilastraße mit dem Schwarzen Auenboden

und Zink in 60 und 90 cm u. GOF gegenüber den tieferen Proben (s. Anhang). Diese Ergebnisse könnten darauf hinweisen, dass die oberen 90 cm Auenlehm seit dem Beginn des Bergbaus am Oberlauf der Möhlin im Hochmittelalter abgelagert wurden. Diese Beobachtung deckt sich mit den Untersuchungen von FOELLMER (1999), der erhöhte Schwermetallbelastungen in den Oberböden der Möhlinaue festgestellt hat.

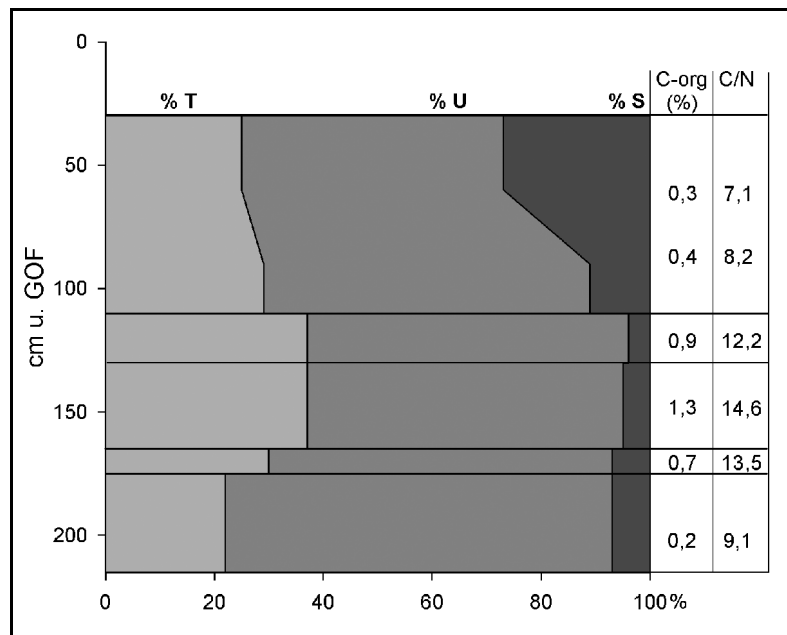


Abb. 33: Korngrößenverteilung, C_{org} Gehalt (%) und C/N-Verhältnis im Aufschluss Hausen-Attliastraße

Aufschlüsse entlang der TENP-Trasse

Südöstlich der BAB A5 wurden im Gewann "Abtsbreite" die Reste einer bandkeramischen Siedlung angeschnitten, die in etwa 70 cm unter der GOF lag (s. Abb. 27). Unmittelbar südlich dieses Befunds wurde am Übergang des Lössbereichs der Mengener Brücke zur Aue der Möhlin in der TENP-Trasse eine Rinne mit sandiger Verfüllung angeschnitten, bei der es sich um einen ehemaligen Lauf der Möhlin handeln dürfte. Vom Geländebefund her war diese Rinne in den Schwarzen Auenboden eingeschnitten, so dass sie demnach jünger als dieser Leithorizont ist (Abb. 34). Südlich dieser Rinne war der Schwarze Auenboden bis zum Übergang der holozänen Möhlin-/Neumagenaue und der Niederterrassenschotter zwischen Feldkirch und Schlatt im Profil der TENP-Trasse zu verfolgen. Zwischen der Mengener Brücke und der Möhlin lag der Schwarze Auenboden etwa 150 cm u. GOF. Im Bereich südlich des Neumagens war der Schwarze Auenboden an mehreren Stellen durch Rinnen unterbrochen, an einer Stelle konnte der Schwarze Auenboden über eine Rinnenverfüllung hinweg beobachtet werden. Generell war die Tiefe des Schwarzen Auenbodens mit 100 bis 150 cm u. GOF etwas geringer als nördlich der Möhlin, was darauf schließen lässt, dass in diesem Auenbereich seit der Bildung des Schwarzen Auenbodens weniger Sedimentation erfolgte.



Abb. 34: Schwarzer Auenboden mit eingeschnittener Flussrinne südlich der Mengener Brücke in der TENP-Trasse
Aufnahme vom 12.05.2003

5.2.2 Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden

Westlich des Tunibergs kommt der Schwarze Auenboden in den kartierten Auenbereichen der GK 25 nicht mehr vor. In Baugruben in Niederrimsingen wurde der Schwarze Auenboden nicht mehr vorgefunden. Auch im Bereich von Grezhausen wurde bei den Kartierungen zur BK 25 kein Schwarzer Auenboden angetroffen (mündl. Mitteilung B. LINK vom 11.6.2004). Die Auensedimente ohne Schwarzen Auenboden weisen nach den Bohrprofilen der GK 25 eine geringere Mächtigkeit auf, da sich sich größtenteils im Bereich des Übergangs zur Niederterrasse des Rheins befinden. Der Mittelwert beträgt etwa 1 m.

Tab. 19: Übersicht über die Mächtigkeiten der Auensedimente in der Markgräfler Rheinebene

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden	1,4	11,71	0,016394
Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden	1	11,9	0,011900

5.3 Markgräfler Hügelland

Im Bereich des Markgräfler Hügellands wurden folgende holozäne Sedimentspeichertypen ausgegliedert:

- **Schmalere Auenbereiche**
- **Auenbereiche der Möhlin ab Ehrenstetten**
- **Auenbereiche Neumagen**
- **Kolluvien im Markgräfler Hügelland**

5.3.1 Schmalere Auenbereiche

Im Flussabschnitt der Möhlin zwischen dem Austritt aus dem kristallinen Grundgebirge und Ehrenstetten liegen nur wenige Daten zu den Mächtigkeiten der Auensedimente vor. Bohrungen von FISCHER (2000) beim Schloss Bollschweil zeigten stark variierende Auenlehmlichkeiten zwischen 50 und 270 cm. Ein Aufschluss von FOELLMER (1999) in Bollschweil weist eine Auensedimentmächtigkeit von 160 cm auf, wobei Schlackenfunde und eine ¹⁴C-Datierung ein hochmittelalterliches Maximalalter der Schichten ab 130 cm anzeigen. Als Mittelwert für die Auenlehmlichkeiten in diesem Teilgebiet werden 160 cm zu Grunde gelegt.

5.3.2 Auenbereiche der Möhlin ab Ehrenstetten

Aufschluss Ehrenkirchen-Zwischendörfer

Im Zuge der Erschließung des Neubaugebiets Zwischendörfer in der Gemeinde Ehrenstetten konnte entlang eines Kanalisationsgrabens ein Aufschluss in der Möhlinaue aufgenommen werden (Abb. 35). Die oberen 10 cm waren abgeschoben, darunter befand sich bis in 52 cm ein schwarzgraues lehmiges Sediment, welches stark anthropogen beeinflusst war, da sich zahlreiche Holzkohle- und Ziegelstücke darin fanden. Möglicher-

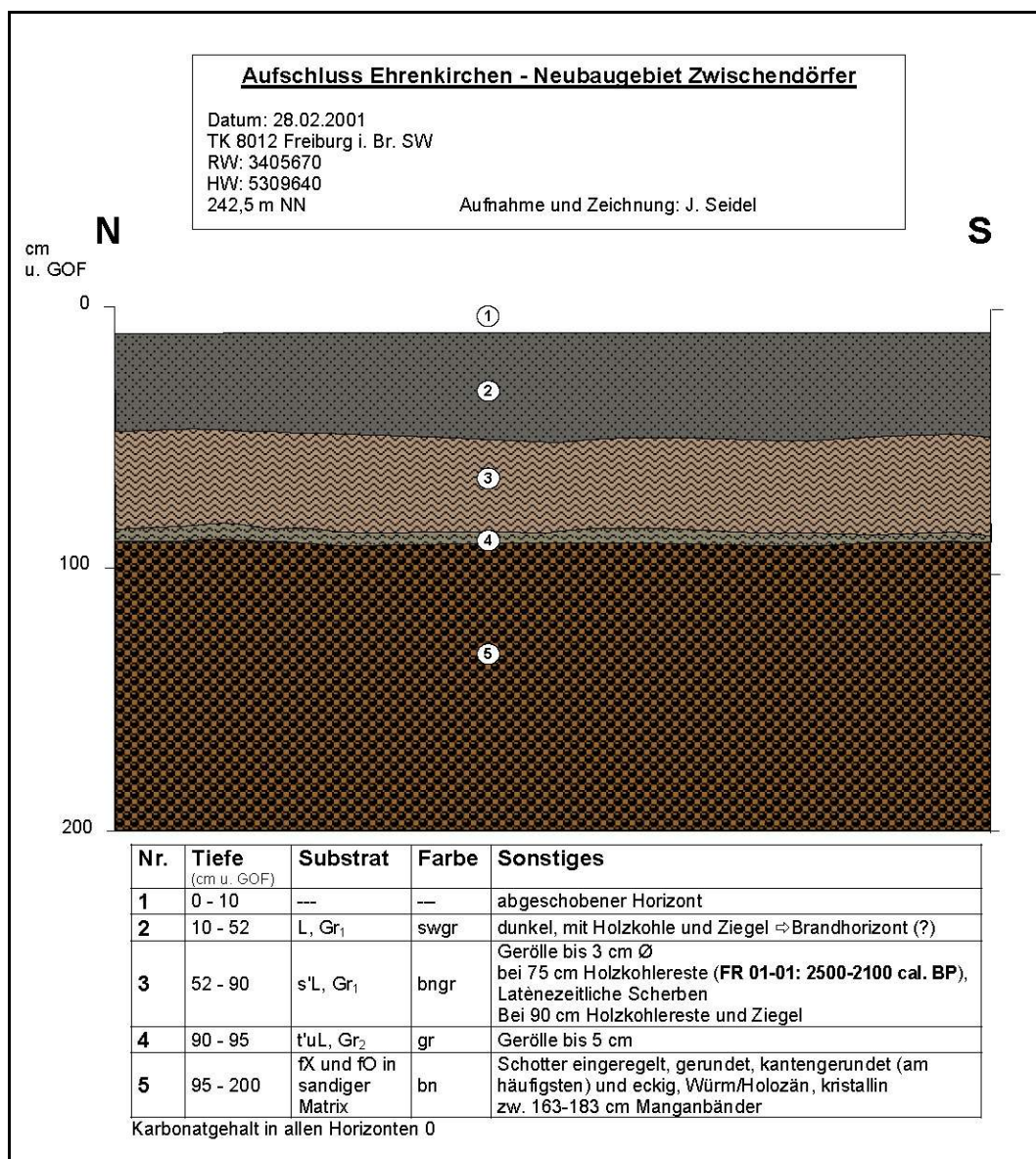


Abb. 35: Der Aufschluss Ehrenkirchen-Zwischendörfer

weise ist die dunkle Färbung durch einen Brand zu erklären. Zwischen 52 und 90 cm u. GOF folgte ein schwach sandiger Lehm mit vereinzelt Geröllen bis 3 cm Durchmesser. In 75 cm u. GOF wurden Holzkohlestücke und latènezeitliche Scherben gefunden. Die Holzkohle wurde auf 2500-2100 cal. BP (FR 01-01) datiert, was die zeitliche Einordnung der Scherben gut bestätigt. An der Basis dieser Schicht fanden sich weitere Holzkohle- und Ziegelstücke, die aber nicht weiter bestimmt werden konnten. Zwischen 90 und 95 cm u. GOF folgte eine geringmächtige, graue schwach tonig-schluffige Schicht mit Geröllen bis zu einem Durchmesser von 5 cm, ab 95 cm bis zur Aufschlussgrenze in 200 cm wurden eingeregelter Schotter in einer sandigen Matrix angetroffen, bei denen es sich um würmzeitliche Schwemmfächer der Möhlin handeln dürfte. Die Grenze zwischen den spätglazialen bzw. holozänen Schottern und den ältesten Auenlehmen aus der Latènezeit liegt an diesem Aufschluss bei 95 cm Tiefe u. GOF. Eine jüngere Auenlehmbildung kann oberhalb von etwa 50 cm u. GOF ausgegliedert werden.

Aufschlüsse im Gewerbegebiet Niedermatten

Etwa 1 km nordwestlich wurden im Rahmen der o.g. DFG-SPP zwei Aufschlüsse im Gewerbegebiet "Niedermatten" aufgenommen (MÄCKEL 1998), die im folgenden als Niedermatten 1 und 2 bezeichnet werden. Auch hier fanden sich in beiden Aufschlüssen zahlreiche Holzkohlestücke und Scherben sowie Verhüttungsschlacken. Im Profil Niedermatten 1 (MÄCKEL 1998) wurden die Schwarzwaldschotter, in denen sich in etwa 1 m Tiefe eine Verhüttungsschlacke befand, von einer Rinne ausgeräumt, in der sich zahlreiche Holzkohlestücke bis in eine Tiefe von 165 cm u. GOF fanden, die alle ein Alter zwischen 1050 und 790 cal. BP (FR 95-01 bis -05) aufwiesen. Die oberste Holzkohle befand sich in 55 cm u. GOF, demzufolge wurde seit dem Hochmittelalter an dieser Stelle noch über 50 cm Auenlehm sedimentiert. Das Schlackestück befand sich im Schotterkörper in einer Tiefe von etwa 80 cm u. GOF.

Der Aufschluss Niedermatten 2, der etwa 250 m weiter nördlich aufgenommen wurde, zeigt eine Wechschichtung aus Auenlehm und Schottern bis in 150 cm Tiefe (Mäckel 1998). Im Schotterkörper darunter fanden sich in 160 cm u. GOF Scherben aus der späten Latènezeit. In 120 cm u. GOF konnten Holzkohlestücke auf ein Alter von 2350-2150 cal. BP (FR 92-01) datiert werden.

Die Datierungen aus den Geländeaufschlüssen ermöglichen eine Einordnung der Auensedimente ab der Latènezeit, davor lässt sich keine Auensedimentation in größerem Umfang in diesem Bereich belegen. Die Auenlehmmächtigkeiten schwanken in diesem Abschnitt der Möhlin zwischen 50 und 100 cm, wobei einzelne verfüllte Rinnen bis etwa 150 cm u. GOF eingeschnitten sind (MÄCKEL 1998). Für die mittlere Auensedimentmächtigkeit wird ein Durchschnittswert von 80 cm angesetzt, um den Anteil der Sedimente in den verfüllten Rinnen mit zu berücksichtigen. Der größere Teil der Auenlehme wurde ab dem Hochmittelalter abgelagert. Diese jüngeren Sedimente sind in der Regel sandige bis schluffige Lehme, die älteren Auenlehme weisen einen höheren Anteil an Grobmaterial auf (MÄCKEL 1998).

5.3.3 Auenbereiche Neumagen

Für die Auenbereiche des Neumagens liegen keine eigenen Geländedaten vor. Aus den Bohrdaten der GK 25 gehen aber ähnliche Werte hervor wie für die Auenbereiche der Möhlin ab Ehrenstetten, so dass hier ebenfalls eine mittlere Auenlehmmächtigkeit von 80 cm für die Berechnung der Sedimentvolumen zu Grunde gelegt wird.

5.3.4 Kolluvien im Markgräfler Hügelland

Für die in der GK 25 kartierten Kolluvien im Markgräfler Hügelland liegen keine detaillierten Geländeaufnahmen vor, so dass hier ausschließlich auf die Bohrungen des LGRB zurückgegriffen werden muss. Die Mächtigkeitsangaben der Kolluvien in den Bohrprofilen schwankt zwischen 100 und maximal 580 cm, wobei bei der Bohrung mit dem Maximalwert ähnlich wie bei der Mengener Brücke (Kap. 4.4) Abschwemmmassen (= Kolluvien) und Schwemmlöss zusammengefasst sind, so dass die Kolluvienmächtigkeit geringer sein dürfte. Als Berechnungsgrundlage für die Sedimentvolumen wird daher eine mittlere Kolluvienmächtigkeit von 250 cm angenommen.

Tab. 20: Übersicht über die Mächtigkeit der holozänen Sedimente im Markgräfler Hügelland

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Schmale Auenbereiche	1,60	1,73	0,002768
Möhlinaue ab Ehrenstetten	0,80	3,01	0,002408
Auenbereiche Neumagen	0,80	10,20	0,008160
Kolluvien	2,50	4,38	0,010950

5.4 Schwarzwald

Analog zur Datenlage der Auenbereiche des Schwarzwalds im Elzeinzugsgebiet liegen hier nur Querprofile vor, die bislang keine zeitliche Differenzierung der Auensedimente zulassen. Während im Bereich des kristallinen Grundgebirges die mittleren Auenlehm-mächtigkeiten zwischen 55 und 71 cm schwanken, kommt am Übergang des Möhlintals vom Schwarzwald zum Markgräfler Hügelland Lösslehm an den Hängen vor. Dies hat einen starken Anstieg der mittleren Auenlehm-mächtigkeit auf 110 cm zur Folge (s. Lokalität "Baubächle", Tab. 21).

Tab. 21: Übersicht über die mittleren Auenlehm-mächtigkeiten der Möhlin

Lokalität	Höhe (m NN)	Breite der Aue (in GK 25)	Anzahl Bohrungen	Ø-Mächtigkeit (cm)
Käppeledobel ¹	440	70 m	6	61
Teufelsgründle ¹	436	50 m	3	55
Brünneledobel ¹	391	80 m	5	71
Baubächle ¹	361	110 m	6	168

Datengrundlage: ¹FISCHER (2000)

Die Fläche der Auen der Möhlin im kristallinen Schwarzwald auf Basis der GK 25 beträgt etwa 0,33 km². Im Bereich des Lösslehms haben die Auenbereiche eine Fläche von etwa 0,08 km². Für die Berechnung der durchschnittlichen Auensedimentmächtigkeit wird daher der Mittelwert der Mächtigkeiten aus dem kristallinen Grundgebirge mit dem Faktor 4 gewichtet. Daraus ergibt sich eine Auenlehm-mächtigkeit von 105 cm.

Aus dem Einzugsgebiet des Neumagens liegen keine Bohrdaten vor, die Auensedimente dürften aber ähnliche Mächtigkeiten wie im Bereich des Schwarzwalds im Elzeinzugs-

gebiet aufweisen, so dass auch hier von mittleren Auen sedimentmächtigkeiten von 90 cm ausgegangen wird.

Tab. 22: Auenlehm mächtigkeiten im Schwarzwald (EZG Möhlin)

Sedimentspeichertyp	Mächtigkeit (m)	Fläche (km ²)	Volumen (km ³)
Auenbereiche Möhlin	1,05	1,00	0,001050
Auenbereiche Neumagen	0,90	3,53	0,003177

5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Möhlin

Tab. 23: Übersicht über die Sedimentspeicher im Einzugsgebiet der Möhlin

Sedimentspeicher (Naturraum)	Ø Mächtigkeit	Altersstellung	Korngröße	Datenlage (Qualität/Quantität)
Kolluvien im Bereich der Mengener Brücke (FBM)	350 cm	≤ Neolithikum	+/- U	o / -
Kolluvial verfüllte Täler des Tunibergs (FBM)	450 cm	≤ Neolithikum	UL, IU	- / -
Hangfußkolluvien des Tunibergs (FBM)	100 cm	≤ Neolithikum	+/- U	- / -
Auenbereiche mit Schwarzem Auenboden (MGR)	140 cm	≤ Neolithikum	↑ sL ↓ tuL	+ / +
Auenbereiche ohne Schwarzen Auenboden (MGR)	100 cm	≤ Neolithikum	+/- L ?	- / -
Schmalere Auenbereiche (MHM)	160 cm	≥ Hochmittelalter	IU, sL	o / -
Auenbereiche der Möhlin ab Ehrenstetten (MHM)	80 cm	≤ Latènezeit	↑ L, IU ↓ IU, X	o / o
Auenbereiche Neumagen (MHM)	80 cm	?	+/- sL ?	- / -
Kolluvien im Markgräfler Hügelland (MHM)	250 cm	≤ Neolithikum ?	+/- U	- / -
Auenbereiche Möhlin (SCH)	105 cm	≤ Hochmittelalter	sL, X	o / o
Auenbereiche Neumagen (SCH)	90 cm	≤ Hochmittelalter	+/- sL ?	- / -
Abkürzungen der Naturräume: FBM = Freiburger Bucht (EZG Möhlin), MGR = Markgräfler Rheinebene, MHM = Markgräfler Hügelland (EZG Möhlin), SCH = Schwarzwald ↑ = nach oben hin ≥ gleich alt bzw. älter als ↓ = nach unten hin ≤ gleich alt bzw. jünger als ? = unsicher Datenlage: + gut, o mittel, - minimal				

Aus den Bestimmungen der Sedimentvolumen der einzelnen Teilgebiete ergibt sich ein Sedimentvolumen von 0,073 km³ für das Einzugsgebiet der Möhlin, wovon 0,046 km³ auf Auensedimente und 0,027 km³ auf Kolluvien entfallen. Demnach ist der größte Teil dieser Sedimente im Gegensatz zum Elzeinzugsgebiet in den Flussauen gespeichert.

Ähnlich wie im Einzugsgebiet der Elz (s. Kap. 4.6) schwanken auch die Datenqualität und -quantität im Einzugsgebiet der Möhlin (Tab. 23). In der Markgräfler Rheinebene konnten die Auenlehmlagerungen durch das weit verbreitete Vorkommen des Schwarzen Auenbodens von den älteren holozänen Sedimente unterschieden werden (vgl. Kap. 3.2.6). Durch die Analyse an Schwermetallgehalten in den Auenlehmen scheint es prinzipiell auch möglich zu sein, die mit Schwermetallen belasteten hochmittelalterlichen Auenlehme von älteren Sedimenten abzugrenzen. In der Möhlinaue flussaufwärts von Ehrenkirchen kann die erste nachweisbare Auenlehmbildung anhand von archäologischen Funden und Schlacken in die Latènezeit bzw. das Hochmittelalter gestellt werden. Der größere Teil der Auensedimente mit einer Mächtigkeit von etwa 50 cm wurde hier wahrscheinlich erst ab dem Hochmittelalter abgelagert. Für die Auenbereiche des Neumagens waren kaum Daten verfügbar, so dass hier keine zeitliche Differenzierung möglich ist.

Für die Kolluvien liegen aus dem Einzugsgebiet der Möhlin kaum Daten zur zeitlichen Einordnung vor, lediglich südlich der Mengener Brücke ist eine Differenzierung möglich. Wie im Einzugsgebiet der Elz (Kap. 4.6), ist auch im Einzugsgebiet der Möhlin die Korngrößenverteilung an das Ausgangssubstrat der jeweiligen Liefergebiete gebunden (Tab. 23).

6. Massenbilanzierung der holozänen Sedimente

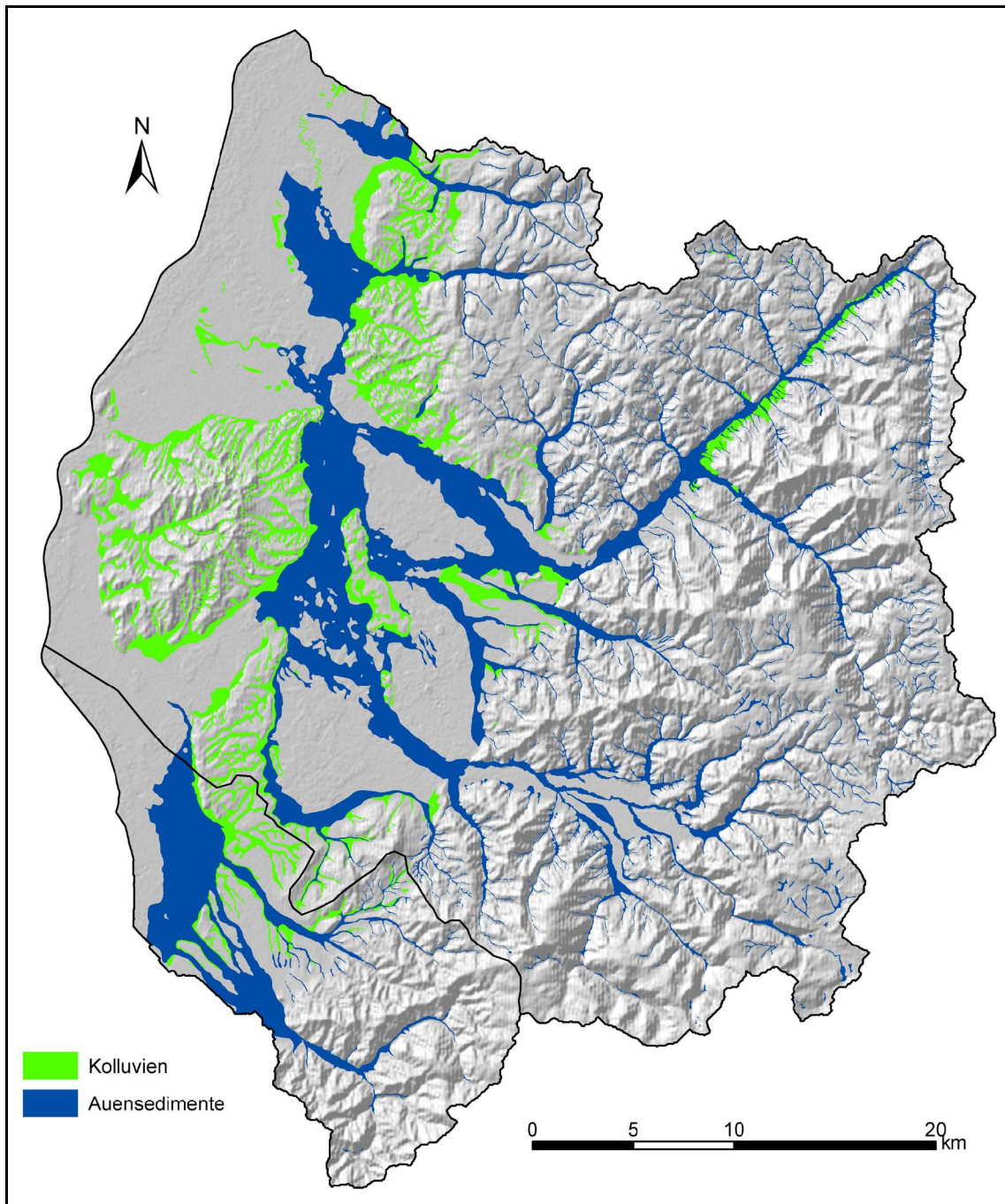


Abb. 36: Übersicht über die Lage der Auensedimente und Kolluvien im Untersuchungsgebiet

Für die Massenbilanzierung der holozänen Sedimente in den untersuchten Einzugsgebieten ist neben der Berechnung der Sedimentvolumen, die abgelagert wurden, eine Ermittlung von Akkumulations- und Erosionsarealen notwendig um, so einen mittleren

Erosionsbetrag für den Zeitraum von 7500 cal. BP bis heute zu ermitteln. Die Akkumulationsareale ergeben sich bei dieser Untersuchung aus den Kolluvien- und Auenbereichen auf Basis der GK 25 (Abb. 36). Die Ermittlung der potentiellen Erosionsareale erfolgt anhand der Hangneigungen aus dem DHM des Untersuchungsgebiets. Neben den Erosions- und Akkumulationsarealen gibt es auch Bereiche, die in Hinblick auf die Massenbilanzierung "neutral" sind, d.h. Areale, auf denen entweder keine Erosions- und Akkumulationsprozesse stattgefunden haben und Areale, auf denen diese Prozesse nicht erfassbar sind. Die Ermittlung und Quantifizierung von Erosionsprozessen innerhalb der Akkumulationsareale ist nicht möglich und wird daher nicht berücksichtigt.

Zur Bestimmung der potentiellen Erosionsareale wurden alle Flächen mit mehr als 2 % Hangneigung (Hangneigungsstufen N1-N6 nach AG BODEN 1994) herangezogen, die außerhalb der Flächen der Auenbereiche und Kolluvien liegen. Gebiete mit bis zu 2 % Hangneigung (Hangneigungsstufe N0 nach AG BODEN 1994) werden hinsichtlich der Bodenerosion als neutral eingestuft. Dabei handelt es sich in erster Linie um mit spät-glazialen Hochflutlehm bedeckte Niederterrassenbereiche und Moore sowie flachere Bereiche entlang der Wasserscheiden von Teileinzugsgebieten, vor allem in der Lahr-Emmendinger Vorbergzone. Die in der GK 25 kartierten Auenbereiche des Rheins werden bei der Berechnung der potentiellen Abtragsflächen ebenfalls nicht mit berücksichtigt, da sie nicht mehr zu den Einzugsgebieten der untersuchten Flussgebiete gehören. Die Ergebnisse der Sedimentvolumenberechnung sind in Tab. 24 dargestellt. Daraus ergibt sich eine potentielle Erosionsfläche von 1108,5 km² für das gesamte Untersuchungsgebiet, wovon knapp 970 km² auf das Einzugsgebiet der Elz und 139 km² auf das Einzugsgebiet der Möhlin entfallen.

Tab. 24: Übersicht über die Sedimentvolumen und potentiellen Erosionsflächen im Untersuchungsgebiet

	EZG Elz	EZG Möhlin
Fläche EZG (km ²)	1502,60	228,10
Fläche EZG ohne Rheinauen (km ²)	1439,24	217,63
Sedimentspeicherfläche (km ²)	270,49	51,71
Sedimentspeichervolumen (km ³)	0,447	0,073
Ø-Sedimentmächtigkeit (m)	1,65	1,41
Potentielle Erosionsfläche (km ²)	969,64	138,83

6.1 Räumlich-zeitlich undifferenzierte Massenbilanzierung

Im einem ersten Schritt kann anhand der aus den Einzugsgebieten ermittelten Daten zu den Sedimentvolumen und potentiellen Erosionsflächen eine räumlich und zeitlich undifferenzierte Massenbilanzierung vorgenommen werden. In diesem Fall wird nur ein mittlerer Erosionsbetrag berechnet, ohne lokale Besonderheiten hinsichtlich der Hangneigung, Vegetationsbedeckung, Bodentypen oder jeweiligen Landnutzung im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen.

Für geschlossene Systeme, d.h. Systeme, in denen kein Sedimentaustrag stattfindet, lässt sich der mittlere Erosionsbetrag in Meter (E) durch die Rückrechnung der Volumen der verlagerten Sedimente (V) auf die potentielle Erosionsfläche (A) ermitteln.

$$E = \frac{V}{A} \quad (1)$$

Da es sich bei Flusseinzugsgebieten um offene Systeme mit einem Sedimentaustrag handelt, muss dieser Tatsache bei der Bilanzierung Rechnung getragen werden. Dies geschieht dadurch, dass das Sedimentaustragsverhältnis (*engl. Sediment Delivery Ratio* = SDR) mit in die Berechnung einbezogen wird. Das SDR ist eine dimensionslose Größe zwischen 0 und 1, die das Verhältnis des Sedimentaustrags zur Gesamterosion angibt. Für die Massenbilanzierung in offenen Systemen wie z.B. Flusseinzugsgebieten ergibt sich daher nach DIKAU & HOFFMANN (2003) folgende Gleichung:

$$E = \frac{V}{A * (1 - SDR)} \quad (2)$$

Diese Gleichung enthält zwei Unbekannte (E und SDR). Die für die Einzugsgebiete der Elz und Möhlin ermittelten Sedimentvolumen (V) und potentiellen Abtragsflächen (A) können in diese Gleichung eingesetzt werden, um so das Verhältnis des SDR zum mittleren Abtrag (E) zu erhalten (Abb. 37).

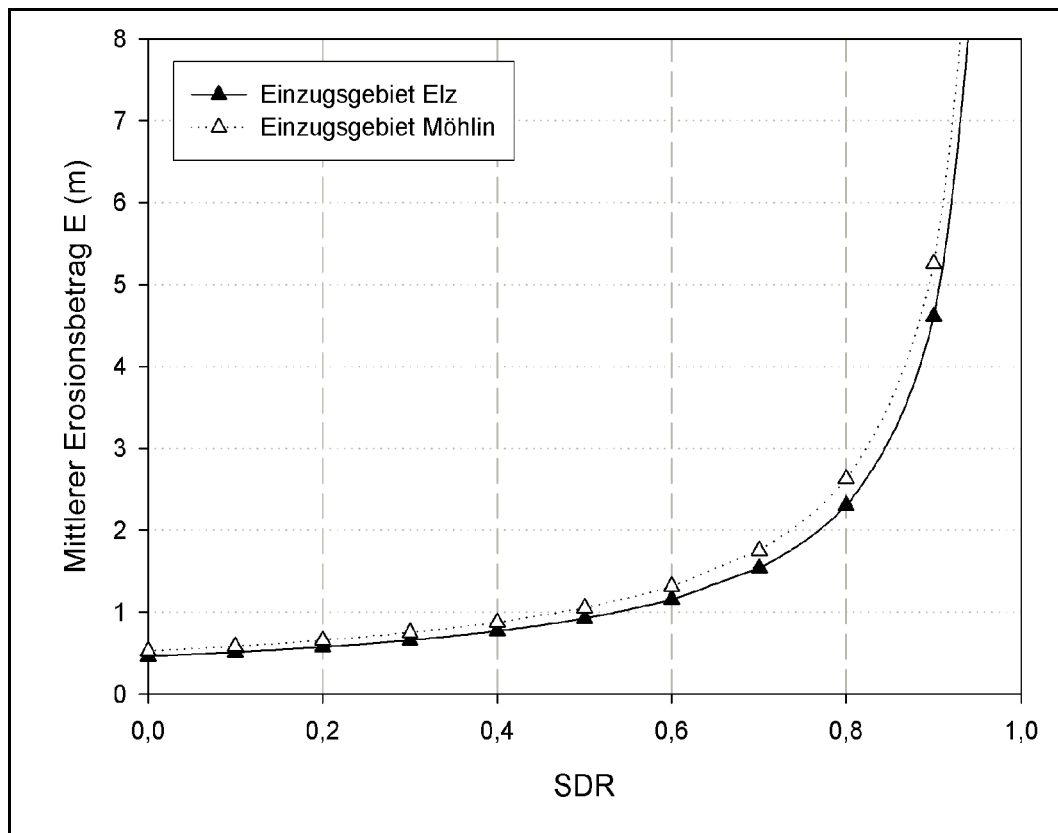


Abb. 37: Verhältnis des Sedimentaustrags (SDR) zum mittleren Erosionsbetrag (E) in den Einzugsgebieten von Elz und Möhlin

Aus dieser Abbildung geht hervor, dass die mittleren Erosionsbeträge erst ab einem SDR von etwa 0,4 signifikant zunehmen. Die Erosionsbeträge bis zu einem SDR von 0,4 liegen zwischen 0,46 m und 0,77 m im Einzugsgebiet der Elz und 0,53 m bis 0,88 m im Einzugsgebiet der Möhlin.

Da für den Sedimentaustrag aus den Untersuchungsgebieten keine Angaben bzw. Untersuchungen vorhanden sind, müssen Abschätzungen gemacht werden. Untersuchungen von TRIMBLE (1975) in verschiedenen Flusseinzugsgebieten im Südosten der USA zeigen Sedimentaustragsverhältnisse von 3-10 %. LESER et al. (1998) geben für Untersuchungsgebiete in Deutschland und der Schweiz Sedimentaustragsverhältnisse von 8-30 % an. WALLING (1983) stellte anhand von verschiedenen Untersuchungen in den USA und der ehemaligen UdSSR fest, dass das Sedimentaustragsverhältnis mit zunehmender Größe der Einzugsgebiete abnimmt. Aufgrund dieser Ergebnisse wären für die Einzugsgebiete der Möhlin und Elz Sedimentaustragsverhältnisse von etwa 10 % zu erwarten, d.h. der

überwiegende Teil des seit dem Beginn des Ackerbaus vor 7500 cal. BP erodierten Materials liegt demnach noch in Form von Auenlehmen und Kolluvien in den Einzugsgebieten.

Unter der Annahme, dass der *SDR* im Untersuchungsgebiet $\leq 0,4$ ist, lässt sich anhand der ermittelten Daten zu Sedimentvolumen und potentiellen Erosionsflächen der durchschnittliche flächenhafte Abtrag auf den potentiellen Erosionsflächen seit Beginn des Ackerbaus vor 7500 cal. BP auf Werte zwischen 0,46-0,77 cm im Elzeinzugsgebiet und 0,53-0,88 cm im Möhlineinzugsgebiet eingrenzen (Tab. 25).

Tab. 25: Massenbilanzierung der holozänen Sedimente seit Beginn des Ackerbaus (für $SDR \leq 0,4$)

	EZG Elz	EZG Möhlin
Sedimentspeichervolumen (km ³)	0,447	0,073
Mittlerer Abtrag (cm)	46-77	53-88
Mittlerer Abtrag (m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹)	0,61-1,03	0,71-1,17

6.2 Räumlich differenzierte Massenbilanzierung

Eine räumliche Differenzierung der Massenbilanzierung ist möglich, wenn bekannt ist, wie viel Material an welcher Stelle im Untersuchungsgebiet erodiert worden ist. In den Lössgebieten ist dies z.B. anhand der Böden möglich: Areale mit vollständig entwickelten und erhaltenen Parabraunerden sind unter Waldbedeckung im Holozän keiner nennenswerten Erosion ausgesetzt gewesen. Bei gekappten Parabraunerden kann die erodierte Menge (d.h. Mächtigkeit) bestimmt werden, bei vollständig erodierten Böden (Pararendzinen) ist die erodierte Menge mindestens so groß wie die Entwicklungstiefe einer Norm-Parabraunerde. Für den südlichen Oberrhein geben HÄDRICH & STAHR (2001) für die Norm-Parabraunerde eine Entwicklungsmächtigkeit von 140 cm an (Grenze Bt-C Horizont). Ausgehend davon können die Böden in den Lössgebieten des Untersuchungsgebiets in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Norm-Parabraunerden: Erosion = 0
- Erodierte Parabraunerden: $0 \text{ cm} < \text{Erosionsbetrag} \leq 140 \text{ cm}$
- Pararendzinen: Erosionsbetrag $> 140 \text{ cm}$

Für das Untersuchungsgebiet ist die BK 25 nicht flächendeckend verfügbar, vor allem im westlichen Bereich des Kaiserstuhls (Blätter 7712 & 7812) und im östlichen Teil der Lahr-Emmendinger Vorbergzone fehlen bislang Bodenkartierungen im Maßstab 1:25 000. Auch Angaben, um welchen Betrag die Bodenprofile der erodierten Parabraunerden jeweils verkürzt sind, lagen für diese Arbeit nicht vor. Die einzigen, für das gesamte Untersuchungsgebiet verfügbaren Daten sind die Flächen der Pararendzinen auf Löss auf Basis der BÜK 200. Für diese Flächen, bei denen die ursprünglichen Parabraunerden vollständig erodiert wurden, wird ein Bodenabtrag von $\geq 1,4$ m angenommen.

Die Gleichung 2, die den Erosionsbetrag (E) mit dem Sedimentaustragsverhältnis (SDR) ins Verhältnis zu setzt, kann dahingehend modifiziert werden, dass für eine bekannte Fläche A_1 ein bestimmter Erosionsbetrag E_1 bekannt ist, im konkreten Fall $\geq 1,4$ m. Dadurch lässt sich für verbliebene Fläche A_2 mit dem unbekannten Erosionsbetrag E_2 dieser wiederum mit dem SDR ins Verhältnis setzen:

$$E_2 = \frac{\frac{V}{(1-SDR)} - E_1 * A_1}{A_2} \quad (3)$$

Die Fläche der Pararendzinen liegt im Untersuchungsgebiet auf Basis der BÜK 200 vor. Um die Kartierung dieses kleinen Maßstabs zu präzisieren, wurden die Flächen der holozänen Sedimentspeicher und Flächen mit weniger als 2 % Hangneigung von der Fläche der Pararendzinen abgezogen. Daraus ergibt sich eine Fläche von 115,42 km² mit einem Erosionsbetrag $\geq 1,4$ m, die sich auf 107,41 km² im Elzeinzugsgebiet und 8,01 km² im Möhlineinzugsgebiet verteilt. Von der Hypothese ausgehend, dass auf diesen Flächen mindestens 1,4 m Bodenabtrag erfolgte, ergibt sich für einen $SDR \leq 0,4$ folgende Massenbilanzierung (Tab. 26).

Tab. 26: Räumlich differenzierte Massenbilanzierung der holozänen Sedimente seit Beginn des Ackerbaus (für $SDR \leq 0,4$)

	EZG Elz	EZG Möhlin
Sedimentspeichervolumen V	0,447 km ³	0,073 km ³
Potentielle Erosionsfläche A	969,64 km ²	138,83 km ²
Fläche A_1 mit ≥ 140 cm Bodenabtrag (E_1)	107,41 km ²	8,01 km ²
Übrige Fläche A_2 ($=A-A_1$)	862,23 km ²	130,82 km ²
Mittlerer Abtrag E_1 auf Fläche A_1	≥ 140 cm	≥ 140 cm
Mittlerer Abtrag E_2 auf Fläche A_2	$\leq 31-61$ cm	$\leq 44-79$ cm
Mittlerer Abtrag E_1 auf A_1 (m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹)	$\geq 1,86$	$\geq 1,86$
Mittlerer Abtrag E_2 auf A_2 (m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹)	$\leq 0,41-0,81$	$\leq 0,59-1,05$

6.3 Zeitlich differenzierte Massenbilanzierung

Eine zeitlich differenzierte Massenbilanzierung in den Einzugsgebieten ist anhand der vorliegenden Daten nicht möglich. Um eine Bilanzierung der Sedimente in Bezug auf verschiedene Kulturepochen durchzuführen, müssten Landnutzungsverteilungsmuster für historische und prähistorische Zeiten vorliegen. Da diese Daten aber fehlen, ist es nicht möglich, die Erosionsareale hinsichtlich der jeweiligen Dauer und Art der Landnutzung weiter zu differenzieren, bzw. zu bestimmen, wie lange eine bestimmte Fläche welcher Landnutzung unterlegen hat. Generell ist davon auszugehen, dass in den Lössgebieten bereits ab dem Neolithikum erste Erosionsprozesse stattfanden. Die Gebiete in den höher gelegenen Lagen des Schwarzwalds hingegen wurden erst mit der flächenhaften Erschließung ab dem Hochmittelalter einer signifikanten Erosion ausgesetzt. Diese lässt sich aber nicht quantifizieren, da die Böden des Schwarzwalds keine Anhaltspunkte für die Bestimmung des Erosionsbetrags liefern.

Ein weiteres Problem, welches eine zeitlich differenzierte Massenbilanzierung erschwert, ist die Tatsache, dass sich die Sedimente auf Basis der vorliegenden Daten nicht flächendeckend einer bestimmten Kulturepoche zuordnen lassen. Somit fehlen zuverlässige Angaben über die Erosionsareale und die entsprechenden Sedimente in den Ablagerungsräumen.

7. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Durch die Verknüpfung von Punktdaten aus Bohrprofilen und Aufschlüssen mit flächenhaften Daten der Geologischen Karte 1:25 000 konnten die Sedimentvolumen, welche seit dem Beginn des Ackerbaus im Neolithikum vor 7500 Jahren abgelagert wurden und noch in Form von Auenlehmen und Kolluvien in den Flusseinzugsgebieten gespeichert sind, für die Einzugsgebiete der Elz und Möhlin bestimmt werden. Die Berechnungen des Speicherinventars der holozänen Sedimente ergibt die in Tab. 27 aufgeführten Volumen.

Tab. 27: Übersicht über die Volumen, Flächen und Mächtigkeiten der holozänen Sedimente im Untersuchungsgebiet

	Einzugsgebiet Elz	Einzugsgebiet Möhlin
Fläche EZG	1502,60 km ²	228,10 km ²
Sedimentvolumen gesamt	0,447 km ³	0,073 km ³
Auensedimente	0,161 km ³	0,046 km ³
Kolluvien	0,286 km ³	0,027 km ³
Sedimentspeicherfläche gesamt	270,49 km ²	51,71 km ²
Fläche Auensedimente	188,15 km ²	42,09 km ²
Fläche Kolluvien	82,34 km ²	9,62 km ²
Ø Mächtigkeit der Auensedimente	0,86 m	1,09 m
Ø Mächtigkeit der Kolluvien	3,47 m	2,80 m

Für die Massenbilanzierung der Sedimente waren weder der mittlere Erosionsbetrag noch das Sedimentaustragsverhältnis bekannt. Diese beiden Parameter konnten aber anhand der ermittelten Sedimentvolumen und der potentiellen Erosionsflächen zueinander in Beziehung gesetzt werden. Die potentiellen Erosionsflächen konnten weiter differenziert werden. Für Gebiete mit vollständig erodierten Parabraunerden (Pararendzinen auf Löss) wurde ein Erosionsbetrag von ≥ 140 cm zu Grunde gelegt. Für ein Szenario mit einem Sedimentaustragsverhältnis (*SDR*) von $\leq 0,4$ konnte so der mittlere Erosionsbetrag auf den potentiellen Erosionsflächen außerhalb der Pararendzinen auf Löss auf Werte zwischen 31-61 cm im Einzugsgebiet der Elz und 44-79 cm im Einzugsgebiet der Möhlin ermittelt werden.

Eine Fragestellung, die bei dieser Massenbilanzierung nicht berücksichtigt werden konnte, sind Gebiete, die zuerst einem Erosionsprozess ausgesetzt waren und später kolluvial überdeckt wurden. So sind z.B. in der BK 25 an mehreren Stellen in den Lössgebieten im Untersuchungsgebiet Kolluvien über erodierten Parabraunerden kartiert. Die Altersstellung dieser unterschiedlichen Prozesse an der selben Lokalität ist am südlichen und mittleren Oberrhein bislang nicht erforscht.

Wie die Auswertungen der Daten für die Einzugsgebiete von Elz (Kap 4.6) und Möhlin (Kap. 5.5) gezeigt haben, ist die Qualität und Quantität der vorliegenden Daten recht unterschiedlich. In den Auenbereichen, in denen der Schwarze Auenboden vorkommt (s. Kap. 3.6), können gute Aussagen über die Sedimentmächtigkeiten gemacht werden, die seit dem Beginn des Ackerbaus abgelagert wurden. Aus anderen Teilgebieten hingegen liegen nur Daten vor, die lediglich Abschätzungen erlauben. Was die Altersstellung der Auenlehme und Kolluvien betrifft, haben die Untersuchungen gezeigt, dass es stellenweise möglich ist, Auenlehme zeitlich zu differenzieren. So hat z.B. zwischen dem Neolithikum und der späten Bronzezeit eine Auenlehmbildung im Bereich von Ettenheim stattgefunden. Im Zartener Becken ist ab der Mittleren Bronzezeit mit einer ersten Auenlehmbildung zu rechnen. Im Einzugsgebiet der Möhlin konnte die erste Bildung von Auenlehm in verschiedenen Teilgebieten differenziert werden. In der Möhlinaue im Markgräfler Hügelland bei Ehrenkirchen deuten die Geländebefunde darauf hin, dass Auenlehme erst ab der Latènezeit abgelagert wurden. Weiter flussaufwärts bei Bollschweil datiert die erste Auenlehmbildung ins Hochmittelalter. Im Zartener Becken und in den Auenbereichen der Möhlin im Raum Ehrenkirchen deuten die Geländebefunde darauf hin, dass etwa 50 cm Auenlehm ab dem Hochmittelalter abgelagert wurden.

Auch die Bildung von Kolluvien lässt sich teilweise anhand der Geländeaufnahmen zeitlich differenzieren. Am Blankenberg z.B. lässt sich die erste Kolluvienbildung auf die Zeit zwischen Neolithikum und Hallstattzeit einschränken. Bei Kolluvien handelt es sich jedoch um Sedimente, die nur lokale Aussagen über die Aktivitäten in der unmittelbaren Umgebung zulassen. Dies verdeutlichen die Daten aus dem Kaiserstuhl. Im Spührenloch im zentralen Kaiserstuhl datieren die ersten Kolluvien in die Latènezeit, während bei Königsschaffhausen bereits zwischen der Bandkeramik und der späten Bronzezeit ein 250 cm mächtiges Kolluvium abgelagert wurde. Generell konnte aber in

den Lössgebieten im Untersuchungsgebiet beobachtet werden, dass in der Regel erst während bzw. nach der Eisenzeit mit einer verstärkten Kolluvienbildung zu rechnen ist. Die Kolluvien, die eindeutig in die Zeit zwischen dem Neolithikum und der Eisenzeit datiert werden konnten (z.B. am Blankenberg und der Mengener Brücke), weisen meist nur eine geringe Mächtigkeit auf. Da während der Völkerwanderungszeit in Mitteleuropa von einer großflächigen Wiederbewaldung und einer geomorphodynamischen Stabilitätsphase ausgegangen wird (BORK et al. 1998, MÄCKEL et al. 2002, MÄCKEL et al. 2003), kann die These formuliert werden, dass ein Großteil der Kolluvien in den Lössgebieten am südlichen Oberrhein wahrscheinlich erst ab dem Hochmittelalter abgelagert wurde.

Die Folgen des Jahrtausendhochwassers von 1342, welches infolge extremer Niederschläge zu katastrophalen Hochwasseren und starker Erosion in Mitteleuropa führte, konnten bislang am südlichen Oberrhein in den Geländeaufschlüssen und Sedimenten nicht nachgewiesen werden. BORK et al. (1998) beziffern für das Jahr 1342 einen Bodenabtrag von 23 mm auf der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland (ohne Alpenraum). In der ersten Hälfte des 14. Jh. vollzog sich die Hälfte der gesamten mittelalterlichen bis neuzeitlichen Bodenerosion (BORK et al. 1998). In den Auensedimenten und Kolluvien im Untersuchungsgebiet fanden sich bislang jedoch keine Belege für das Extremereignis von 1342. Dies ist vermutlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Vb-Wetterlage, die u.a. für die katastrophalen Niederschläge im Jahr 1342 verantwortlich war, im südlichen Oberrheingebiet nur einen geringen Einfluss hat (DOSTAL 2004) und somit zu keinen außergewöhnlichen Erosionsereignissen führt.

Die Verknüpfung von Daten aus Geoarchiven und archäologischen Funden und Befunden mit flächenhaften Daten aus Kartenwerken erscheint als ein vielversprechender Ansatz, um eine Sedimentquantifizierung und -bilanzierung auf größerer Skale vorzunehmen. Allerdings ist dieses Verfahren auch mit Unschärfen und Fehlerquellen behaftet. Beispielsweise liegen über die kolluvial verfüllten Täler der Lahr-Emmendinger Vorbergzone noch zu wenig Daten vor, um diese Sedimentkörper, die einen Großteil der Sedimente im Einzugsgebiet der Elz ausmachen, in ihrer räumlichen Ausbreitung zu erfassen. Auch die Kartierungen der GK 25 weisen zum Teil Ungenauigkeiten auf. Auf der Forchheimer Platte nördlich des Kaiserstuhls liegen zahlreiche archäo-

logische Befunde und Kolluvien, die in der GK 25 nicht kartiert sind. Im Bereich des Elztals ist die Ausdehnung der Kolluvien an den Talhängen vermutlich größer als in der GK 25 kartiert. Obwohl am Ausgang des Elztals verbreitet Löss vorkommt, sind auf dem Kartenblatt 7913 Freiburg i. Br. Nordost keine Kolluvien oder Schwemmlösse in diesem Bereich kartiert.

Bei der Quantifizierung der Sedimentvolumen lassen sich die Auensedimente in ihrer dreidimensionalen Ausbreitung relativ gut erfassen, da sie in der Regel kein Relief aufwiesen und auch der Untergrund weitestgehend eben ist. Bei den Kolluvien ist dies nicht der Fall. Sie weisen oft ein eigenes Relief auf und überdecken ein älteres Relief, wie z.B. in den kolluvial verfüllten Tälern in den Lössgebieten, so dass die Erfassung ihrer dreidimensionalen Ausbreitung schwierig ist. Bislang liegen aus dem Untersuchungsgebiet keine Daten vor, die Aufschlüsse über das Paläorelief in Gebieten mit mächtigen Kolluvien geben. Exemplarische Untersuchungen in diesen Gebieten mit geophysikalischen Untersuchungen wie Geoelektrik oder Refraktionsseismik könnten hier unter Umständen für eine bessere Datengrundlage sorgen und eine Präzisierung bei der Bestimmung der Sedimentvolumen ermöglichen. Auch die zeitliche Abgrenzung der Schwemmlösse von den Kolluvien war auf der Basis des ausgewerteten Datenmaterials nicht immer möglich. Hier besteht ein Bedarf an OSL-Datierungen, um den Zeitpunkt der Kolluvienbildung besser einordnen zu können

8. Literaturverzeichnis

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung (4. Auflage). Hannover, 392 S.
- BIBUS, E. (1989): Zur Gliederung, Ausbildung und stratigraphischen Stellung von Enztterrassen in Großbaustellen bei Vaihingen an der Enz. - Jahreshefte des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg 31, S. 7-22.
- BORK, H.-R., BORK, H., DALCHOW, C., FAUST, B., PIORR, H.-P. & SCHATZ, T. (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Stuttgart, 328 S.
- BRONK RAMSEY, C. (2001): OxCal Program v3.5.
<http://www.rlaha.ox.ac.uk/oxcal/oxcal.htm>. (eingesehen am 24.01.2003).
- BRUCKNER, H. (1992): Geschichte der Bewaldung und der Waldnutzung des Schwarzwaldes. In: SCHWEICKERT, A. (Hrsg.): Südbaden, S. 192 – 223.
- BÜRGER, K. (2004): Veränderung von Waldökosystemen aufgrund historischer Nutzung im Schwarzwald und in den Vogesen. - Dissertation an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg.
<http://freidok.ub.uni-freiburg.de/volltexte/1538/>
- DEHN, R. (1999): Ur- und Frühgeschichte - Von den Anfängen bis zum Beginn der Römerzeit. - In: LANDESARCHIVDIREKTION BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Der Landkreis Emmendingen, Bd. 1. Kreisbeschreibung des Landes Baden-Württemberg, S. 91-97.
- DEHN, R. & FINGERLIN, G. (1979): Ausgrabungen der archäologischen Denkmalpflege Freiburg im Jahr 1978. - Archäologische Nachrichten aus Baden 22, S. 12-35.
- DEHN, R., FAUSTMANN, A. & SEIDEL, J. (2004): Ein römischer Bohlenweg (?) in der TENP Gastrasse bei Mengen, Gemeinde Schallstadt-Wolfenweiler, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. - Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2003 (im Druck).
- DIKAU, R. & HOFFMANN, T. (2003): Modellierung des holozänen Sedimenthaushalts fluvialer Systeme. - Unveröffentlichter Arbeitsbericht im Rahmen des DFG-Bündelprojekts "Rhein-LUCIFS", Bonn.
- DOSTAL, P. (2004): Klimarekonstruktion der Region TriRhena mit Hilfe von Proxydaten vor der Instrumentenbeobachtung. - Dissertation an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg.
<http://freidok.ub.uni-freiburg.de/volltexte/1541/>
- ECKMEIER, E. (2002): Schwarzerden in der südlichen niederrheinischen Bucht. Bodenkundliche Untersuchungen archäologischer Befunde zur Frage der Schwarzerdeentstehung. - Unveröff. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität zu Köln.

- FISCHER, A. (2000): Anthropogene Einflüsse auf die Fluß- und Talgeschichte der Möhlin. - Unveröffentlichte Magisterarbeit der Philosophischen Fakultäten der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- FOELLMER, A. (1999): Schwermetalleinträge durch den Schwarzwälder Bergbau in die südliche Oberrheinebene zwischen Möhlin und Sulzbach. - Freiburger Geowissenschaftliche Beiträge 13, 171 S.
- FRENZEL, B. (2000): Datiert der klimawirksame Eingriff des Menschen in den Haushalt der Natur erst aus dem beginnenden Industriezeitalter? - In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Rundgespräche der Kommission Ökologie, 18, S. 33-46.
- FRESLE, F. (1966): Die Natur- und Kulturlandschaft des Zartener Beckens. - In: HASELIER, G. (Hrsg.): Kirchzarten. Geographie - Geschichte - Gegenwart, S. 1-56.
- FRIEDMANN, A. (1998): Böden und Bodendegradation auf der Niederterrasse bei Rheinhausen (mittleres Oberrheintiefland). - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 149-156.
- FRIEDMANN, A. (2000): Die Spät- und postglaziale Landschafts- und Vegetationsgeschichte des südlichen Oberrheintieflands und Schwarzwalds. - Freiburger Geographische Hefte 62, S. 1-222
- FRIEDMANN, A. & MÄCKEL, R. (1998a): Jungquartäre Geomorphodynamik im Zartener Becken (Mittlerer Schwarzwald). - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 113-126.
- FRIEDMANN, A. & MÄCKEL, R. (1998b): Die Landschaftsentwicklung in den Lößgebieten des Kaiserstuhls und Tunibergs. - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 99-112.
- FRIEDMANN, A. & SCHNEIDER, R. (2000): Aspekte der Fluß- und Talgeschichte von Elz, Glotter und Dreisam - In: ZOLLINGER, G. (Hrsg.): Aktuelle Beiträge zur angewandten Physischen Geographie der Tropen, Subtropen und der Regio TriRhena. - Freiburger Geographische Hefte 60, S. 327-338.
- GERLACH, R. (2003): Schwarzerden: ein neuer Befund in der rheinischen Archäologie? - In: LANDSCHAFTSVERBAND RHEINLAND (Hrsg.): Archäologie im Rheinland 2002, S. 202-204.
- GEYER, O & GWINNER, M. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. 4. Auflage. Stuttgart, 482 S.
- GEYH, M.A. (2001): Erwartungen und Enttäuschungen bei der Deutung von ¹⁴C-Daten. - Regensburger Beiträge zur Prähistorischen Archäologie 7, S. 59-75.

- GHAMEN, A. (1975): Altersstellung und anthropogene Beeinflussung von Parabraunerden in der Emmendinger Vorbergzone. - Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Darmstadt, 226 S.
- GROSCOPF, R. & SCHREINER, A. (1980): Erläuterungen zum Blatt 7913 Freiburg i. Br.-NO. - In: GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25 000, Freiburg, 112 S.
- HÄDRICH, F. & STAHR, K. (2001): Die Böden des Breisgaus und angrenzende Gebiete. - Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. 91, S. 1-138.
- HECHT, S. (2001): Anwendung refraktionsseismischer Methoden zur Erkundung des oberflächennahen Untergrunds - Stuttgarter Geographische Studien 131, S. 165 S.
- HÖHNSCHIEDT, S. (2002): Holozäne Bodenbildung, Bodenabtrag und Akkumulation am Beispiel bandkeramischer Siedlungsreste bei Vaihingen/Enz (nordwestlich von Stuttgart) - Stuttgarter Geographische Studien 132, S. 272 S.
- HOUBEN, P. (2002): Die räumlich-zeitlich veränderte Reaktion des fluvialen Systems auf jungquartäre Klimaänderungen: eine Fallstudie aus der Hessischen Senke. - Dissertation im Fachbereich 11 Geowissenschaften/Geographie der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main.
<http://publikationen.stub.uni-frankfurt.de/volltexte/2003/195/>
- KÖRBER-GROHNE, U. (1995): Nutzpflanzen in Deutschland. Hamburg, 490 S.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1997): Moore und Anmoore in der Oberrheinebene. Karlsruhe, 114 S.
- LANG A., PRESTON, N., DIKAU, R., BORK, H.-R. & MÄCKEL, R. (2000): Land Use and Climate Impacts on Fluvial Systems During the Period of Agriculture. - Examples from the Rhine catchment - Pages Newsletter 8/3, S. 11-13
- LECHNER, A., MCCABE, C., FAUSTMANN, A. & MISCHKA, D. (2003): Zur holozänen Landschaftsgenese im Bereich des Wasenweiler Rieds. - Freiburger Universitätsblätter 160, S. 35-62
- LEHMANN-CARPZOV, R., PATERNOSTER, K. & STUBENDORF, U. (1978): Quartärgeologische Deckschichten-Kartierung im Wasenweiler Ried zwischen Kaiserstuhl und Tuniberg (Südbaden) - Jahreshefte des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg 20, S. 77-100.
- LEIBUNDGUT, C. (1999): Gewässer, Abfluß, Grundwasser. - In: LANDESARCHIVDIREKTION BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Der Landkreis Emmendingen, S. 53-63.

- LEOPOLD, M. (2002): Multivariate Analyse von Geoarchiven zur Rekonstruktion eisenzeitlicher Landnutzung im Umfeld der spätlatènezeitlichen Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg. - Dissertation der Philosophischen Fakultät III der Universität Regensburg.
<http://www.opus-bayern.de/uni-regensburg/volltexte/2003/233/>
- LESER, H., PRASUHN, V. & SCHAUB, D. (1998): Bodenerosion und Landschaftshaushalt. - In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, S. 97-109.
- MÄCKEL, R. (1969): Untersuchungen zur jungquartären Flußgeschichte der Lahn in der Gießener Talweitung. - Eiszeitalter und Gegenwart 20, S. 138-174.
- MÄCKEL, R. (1998): Flußaktivität und Talgeschichte des Spät- und Postglazials im Oberrheintiefland und Schwarzwald - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 31-50.
- MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (1999): Holozäner Landschaftswandel im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Eiszeitalter und Gegenwart 49, S. 1-20.
- MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (1998)(Hrsg): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen und mittleren Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, Freiburg, 202 S.
- MÄCKEL, R. & RÖHRIG, A. (1991): Flußaktivität und Talentwicklung des Mittleren und Südlichen Schwarzwaldes und Oberrheintieflandes. - Berichte zur deutschen Landeskunde 65/2, S. 287-311.
- MÄCKEL, R. & SEIDEL, J. (2003): Der Kaiserstuhl - Ein Vulkan im Oberrheingraben. - In: INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. 2: Relief, Boden und Wasser, S. 64-65.
- MÄCKEL, R. & ZOLLINGER, G. (1995): Holocene river and slope dynamics in the Black Forest and Upper Rhine Lowlands under the impact of man. - Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl. Bd. 100, S. 89-100.
- MÄCKEL, R., FRIEDMANN, A., SEIDEL, J. & SCHNEIDER, R. (2001): Natural and Anthropogenic Changes in the Palaeocosystem of the Black Forest and Upper Rhine Lowlands since the Bronze Age. - Regensburger Beiträge zur prähistorischen Archäologie 7, S. 143-160.
- MÄCKEL, R., SCHNEIDER, R., FRIEDMANN, A. & SEIDEL, J. (2002): Environmental changes and human impact on the relief development in the upper Rhine valley and Black Forest (South-West-Germany) during the Holocene. - Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd. 128, S. 31-45.
- MÄCKEL, R., SCHNEIDER, R. & SEIDEL, J. (2003): Anthropogenic Impact on the Landscape of Southern Badenia (Germany) during the Holocene - Documented by Colluvial and Alluvial Sediments. - Archaeometry 45, S. 487-501.

- MAYER, C. (1937): Die Niederungswälder und die Moore der Freiburger Bucht - Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie 68, S. 216-243.
- MINISTERIUM FÜR FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG & LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2001): Wasser und Bodenatlas Baden-Württemberg.
- MISCHKA, D., SEIDEL, J., FAUSTMANN, A. & McCABE, C. (2003): Zur Auswirkung prähistorischer Landnutzung auf Erosions- und Akkumulationsprozesse im Kaiserstuhl und nördlichen Vorland - Freiburger Universitätsblätter 160, S. 63-81.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland. Zeitraum 1961-1990. Offenbach.
- NILLER, H.-P. (1998): Prähistorische Landschaften im Lößgebiet um Regensburg - Kolluvien, Auenlehme und Böden als Archive der Paläoumwelt. - Regensburger Geographische Schriften 31, 429 S.
- PATZELT, G. (2000): Natürliche und anthropogene Umweltveränderungen im Holozän der Alpen. - In: BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Rundgespräche der Kommission Ökologie 18, S. 119-125.
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Darmstadt, 145 S.
- PLANCK, D. (1976): Die Zivilisation der Römer in Baden-Württemberg - In: FILTZINGER, P., PLANCK, D. & CÄMMERER, B. (Hrsg.): Die Römer in Baden-Württemberg, S. 121-162.
- RITTWEGER, H. (2000): The "Black Floodplain Soil" in the Amöneburger Becken, Germany: a lower Holocene marker horizon and indicator of an upper Atlantic to Subboreal dry period in Central Europe? - Catena 41, S. 143-164.
- RUDLOFF, H. v. (1980): Die Klimaentwicklung in den letzten Jahrhunderten im Mitteleuropäischen Raum (mit einem Rückblick auf die postglaziale Periode). - In: OESCHGER, H., MESSERLI, B. & SVILAR, M. (Hrsg.): Das Klima, S. 125-213.
- SANGMEISTER, E. (Hrsg.) (1993): Zeitspuren. Archäologisches aus Baden - Archäologische Nachrichten aus Baden 50.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage., Stuttgart, 494 S.
- SCHLOTTMAN, A. (1998): Der Besiedlungsgang im südlichen Oberrheingebiet und Südschwarzwald - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geobiosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 73-86.
- SCHNEIDER, R. (2000): Landschafts- und Umweltgeschichte im Einzugsgebiet der Elz. - Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg i. Br. <http://freidok.uni-freiburg.de/volltexte/125>

- SCHNEIDER, R., FRIEDMANN, A. & MÄCKEL, R. (2000): Hangsedimente und Kolluvien in den Lößbeeten Südbadens. - Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. 88/89, S. 1-16.
- SCHÖNWIESE, C. (1995): Klimaänderungen. Berlin, Heidelberg, 224 S.
- SCHÖNWIESE, C. (1997): Anthropogene und natürliche Signale im Klimageschehen - Naturwissenschaften 84/2, S. 65-73.
- SCHREINER, A. (1996a): Landschaftliche Gliederung. - In: GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Geologische Karten von Baden-Württemberg. Erläuterungen zum Blatt Freiburg und Umgebung. 3. Auflage, S. 3-4.
- SCHREINER, A. (1996b): Bohrungen. - In: GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Geologische Karten von Baden-Württemberg. Erläuterungen zum Blatt Freiburg und Umgebung. 3. Auflage, S. 278-330.
- SEIDEL, J. (1999): Die anthropogene Einwirkung auf die Oberflächenformung im Simonswälder Tal - Unveröffentlichte Magisterarbeit der Philosophischen Fakultäten der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- SEIDEL, J., FAUSTMANN, A., RAUSCHKOLB, M. & SUDHAUS, D. (2004): Untersuchungen zur Landschaftsgeschichte entlang der TENP-Trasse im Raum Freiburg von 2001 bis 2003 - Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. 94. (im Druck)
- SEMMEL, A. (1983): Grundzüge der Bodengeographie. (2. Auflage). Stuttgart, 123 S.
- SICK, W.-D. (1992): Die Besiedlung der Mittelgebirge im alemannischen Raum. - In: Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie, Band 10.
- SLEUMER, H. (1934): Eine pollenanalytische Untersuchung des Wasenweiler Rieds - Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz in Freiburg im Breisgau, Neue Folge 3/3, S. 25-28.
- STEUER, H. (1999): Keltischer und römischer Bergbau im Südschwarzwald. - In: Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald. - Archäologische Informationen aus Baden-Württemberg 41, S. 37-42.
- STROTZ, M. (2003): Der wüstgefallene Ort Buchweiler - Aspekte zu dessen progressiver und regressiver Siedlungsentwicklung anhand historischer und archäologischer Quellen - Freiburger Universitätsblätter 160, S. 83-94.
- STUIVER, M., REIMER, P.J., BARD, E., BECK, J.W., BURR, G.S., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, F.G., V.D. PLICHT, J. & SPURK, M. (1998): INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24000-0 cal BP. - Radiocarbon 40, S. 1041-1083.
- TERHORST, B. (2000): The influence of Pleistocene landforms on soil-forming processes and soil distribution in a loess landscape of Baden-Württemberg (south-west Germany) - Catena 41, S. 165-179.

- TRENKLE, H. (1987): Das Klima des Elztals und des Simonswäldertals - Der Schwarzwald IV/87, S. 160 – 163.
- TRIMBLE, S. (1975): Denudation Studies: Can We Assume Stream Steady State? - Science 188, S. 1207-1208.
- WALLING, D. (1983): The sediment delivery problem. - Journal of Hydrology 65, S. 209-237.
- WEBER-JENISCH, G. (1995): Der Limberg bei Sasbach und die spätlatènezeitliche Besiedlung des Oberrheingebietes. - Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg, Heft 29, Stuttgart.
- WEBER, B. (1998): Die Kelten im Breisgau. - In: MÄCKEL, R. & FRIEDMANN, A. (Hrsg.): Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald. - Freiburger Geographische Hefte 54, S. 87-98.
- WESTERMANN, E. (1992): Zur Urgeschichte von Rheinhausen. - In: WILD, A. (Hrsg.): Rheinhausen. Beiträge zur Geschichte von Ober- und Niederhausen, Band 1, S. 29-40.
- WILMANS, O. (2003): Exkursionsführer Schwarzwald - eine Einführung in die Landschaft und Vegetation. Stuttgart, 304 S.

9. Kartenverzeichnis

Topographische Kartenwerke

TOP 25 Baden-Württemberg

Geologische Karte Baden-Württemberg 1:25 000 (GK 25)

7612 Lahr/Schwarzwald West

7711/ 7712 Ettenheim

7714 Haslach im Kinzigtal

7811 Wyhl am Kaiserstuhl

7812 Kenzingen

7813 Emmendingen

7814 Elzach

7911 Breisach am Rhein

7912 Freiburg im Breisgau Nordwest

7913 Freiburg im Breisgau Nordost

7914 St. Peter

8011 Hartheim

8012 Freiburg im Breisgau Südwest

8013 Freiburg im Breisgau Südost

8014 Hinterzarten

8112 Staufen im Breisgau

8113 Todtnau

8114 Feldberg (Schwarzwald)

Geologische Übersichtskarte Baden-Württemberg 1:200 000 (GÜK 200)

Bodenkarte 1:25 000 Baden-Württemberg (BK 25)

7711/ 7712 Ettenheim

7812 Kenzingen

7912 Freiburg im Breisgau Nordwest

Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200)

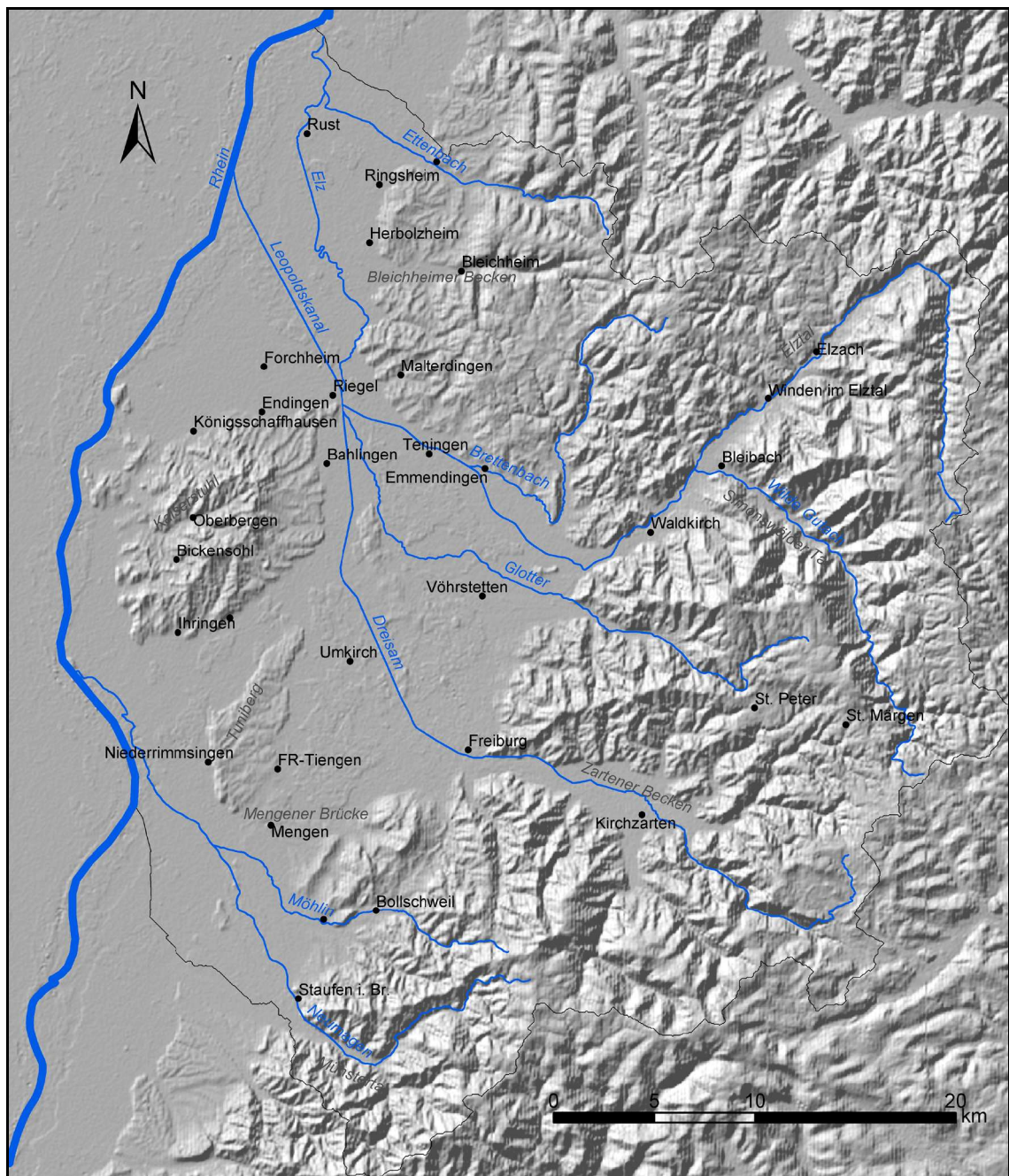
CC 7910 Freiburg Nord

CC 8710 Freiburg Süd

10. Anhang

A1 Übersicht über die Lokalitäten im Untersuchungsgebiet	119
A2 Radiokarbondatierungen	120
A3 Laboranalysen der Geländeaufnahmen	123
A4 Ergebnisse der RFA-Messungen	128
A5 Kurzprofile der Bohrungen am Nimberg (Kap. 4.4.4)	129
A6 Holozäne Sedimentmächtigkeiten aus den geologischen Kurzprofilen der GK 25	129

A1 Übersicht über die Lokaltäten im Untersuchungsgebiet



A2 Radiokarbondatierungen

Übersicht über die ausgewerteten Radiokarbondatierungen

FR-Nr	Labor-Nr	TK 25	RW	HW	Fundort	14C-Alter	Cal. 1Sig. BP
87-43	Ki-2833	7813 Emmen- dingen	3421575	5340100	Waldshut 1	390+/-75	510-320
87-45	Ki-2834	7813 Emmen- dingen	3421575	5340100	Waldshut 1	300+/-39	430-300
87-46	Ki-2835	7813 Emmen- dingen	3421575	5340100	Waldshut 1	3760+/-55	4240-3990
87-18	Ki-2838	7813 Emmen- dingen	3421575	5340100	Waldshut 2	1440+/-80	1420-1270
92-01	Ki-3640	8012 Freiburg SW	3404783	5310250	Möhlental	2260+/-55	2350-2150
95-01	Hd-18275	8012 Freiburg SW	3404775	5310025	Niedermatten/ EhrenKirchen	1052+/-44	1050-920
95-02	Hd-18371	8012 Freiburg SW	3404775	5310025	Niedermatten/ EhrenKirchen	946+/-31	930-790
95-03	Hd-18370	8012 Freiburg SW	3404775	5310025	Niedermatten/ EhrenKirchen	973+/-31	940-790
95-04	Hd-18372	8012 Freiburg SW	3404775	5310025	Niedermatten/ EhrenKirchen	979+/-29	940-790
95-05	Hd-18299	8012 Freiburg SW	3404775	5310025	Niedermatten/ EhrenKirchen	1045-39	1050-920
95-06	Hd-18298	8013 Freiburg SO	3421225	5315030	Hagenbach-Brücke/ Kirchzarten	7190+/-70	8110-7870
95-08	Hd-18301	8013 Freiburg SO	3421225	5315030	Hagenbach-Brücke/ Kirchzarten	3189+/-60	3470-3350
96-01	Hd-18355	7911 Breisach	3399300	5323100	Ihringen Neubauge- biet	1297+/-28	1270-1180
96-02	Hd-18369	7911 Breisach	3399300	5323100	Ihringen Neubauge- biet	1035+/-34	968-927
96-04	Hd-18570	7811 Wyhl	3400100	5330150	Spührenloch Ober- bergen	2465+/-26	2710-2360
96-05	Hd-18561	7811 Wyhl	3400100	5330150	Spührenloch Ober- bergen	2530+/-27	2750-2500
97-09	Hd-19302	7911 Breisach	3398370	5327750	Ellenbuchtal/ Kaiserstuhl	2642+/-50	2850-2730
99-15	Hd-21131	7812 Kenzingen	3412106	5337774	Fernecker Tal	1951+/-84	2000-1740
99-16	Hd-20559	7812 Kenzingen	3403150	5334800	Endingen	16855+/- 100	20450- 19700
99-18	Hd-20844	7813 Emmen- dingen	3417925	5334575	Tennenbach	1923+/-53	1950-1810
99-20	Hd-21065	7813 Emmen- dingen	3413750	5334555	Weißbach/ Mundingen	5726+/-57	6630-6410

FR-Nr	Labor-Nr	TK 25	RW	HW	Fundort	14C-Alter	Cal. 1Sig. BP
99-22	Hd-21142	7812 Kenzingen	3410500	5339320	Bombachtal	5891+/-74	6850-6570
99-27	Hd-21402	8013 Freiburg SO	3421160	5315390	Krummbachau	737+/-35	691-654
99-28	Hd-21328	8013 Freiburg SO	3421050	5315390	Krummbachau	1094+/-51	1060-950
99-29	Hd-21171	8013 Freiburg SO	3420710	5315510	Krummbachau	1032+/-37	971-923
99-32	Hd-21268	7712 Ettenheim	3412540	5341710	Bleichachtal, Ried	2930+/-130	3260-2890
20-08	Hd-21860	7712 Ettenheim	3411373	5347914	Radackern I-1	2834+/-90	3080-2810
20-09	Hd-22082	7712 Ettenheim	3411373	5347914	Radackern I-2	3240+/-90	3570-3260
01-01	Hv-24281	8012 Freiburg SW	3405670	5309640	Ehrenkirchen- Zwischendörfer	2285+/-125	2500-2100
01-02	Hv-24403	7712 Ettenheim	3411550	5348010	Radackern II-2	6590+/-100	7580-7420
01-03	Hv-24404	7712 Ettenheim	3411540	5348000	Radackern II-1	4155+/-235	5050-4300
01-04	Erl-4736	7712 Ettenheim	3411540	5348000	Radackern II-1	10219+/-89	12300- 11650
01-06	Hv-24406	8012 Freiburg SW	3401103	5313975	Hausen a.d. Möhlin	6305+/-200	7430-6990
01-07	Hv-24407	8012 Freiburg SW	3401128	5314000	Hausen a.d. Möhlin II	2550+/-715	3550-1650
02-02	Hd-22309	7712 Ettenheim	3410507	5347830	Ettenheim Apostel- weiher II	2004+/-47	2000-1890
02-25	Hd-22874	8012 Freiburg SW	3405070	5317550	Tiengen- Blankenberg	2495+/-37	2720-2470
02-46	Hd-22874	8012 Freiburg SW	3405070	5317550	Tiengen- Blankenberg	6131+/-38	7160-6910
03-01	Hd-22893	8012 Freiburg SW	3402670	5314315	Mengen- Bruchmatten	5503+/-35	6390-6200
03-02	Hd-22894	8012 Freiburg SW	3402670	5314315	Mengen- Bruchmatten	5407+/-26	6280-6175
03-03	Hd-22895	8012 Freiburg SW	3402670	5314315	Mengen-Bruch- matten	5405+/-29	6280-6170
03-04	Hd-22908	8012 Freiburg SW	3402670	5314315	Mengen-Bruch- matten	1823+/-22	1820-1710
03-05	Hd-22909	8012 Freiburg SW	3402670	5314315	Mengen- Bruchmatten	1662+/-24	1605-1525
03-13	Beta-184912	8012 Freiburg SW	3408000	5314220	Schachtelhalm Hausen-Attilastraße	141+/-0.48 pMC	k.A.
03-14	Beta-184913	8012 Freiburg SW	3408000	5314220	Schachtelhalm Hausen-Attilastraße	140+/-0.47 pMC	k.A.
03-15	Beta-184914	8012 Freiburg SW	3402700	5314350	Bohlenweg TENP- Trasse	1860+/-70	1880-1710
Nimb-002- Re2	Hd-23198	7912 Freiburg NW	3407818	5331426	TENP Bahlingen (Riedlehu)	7478+/-27	8350-8200

10. ANHANG

FR-Nr	Labor-Nr	TK 25	RW	HW	Fundort	14C-Alter	Cal. 1Sig. BP
Nimb-002- Re1	Hd-23088	7912 Freiburg NW	3407815	5331446	TENP Bahlingen (Riedlehau)	7440+/-31	8330-8180
04-01a	Beta-190502	7712 Ettenheim	3411702	5347907	Ettenheim Pfarrer- Weber-Straße	4500+/-40	5290-5050
04-01b	Beta-190501	7712 Ettenheim	3411702	5347907	Ettenheim Pfarrer- Weber-Straße	6220+/-40	7220-7020
04-02a	Beta-190504	7712 Ettenheim	3411702	5347907	Ettenheim Pfarrer- Weber-Straße	7390+/-40	8200-8170
04-02b	Beta-190503	7712 Ettenheim	3411702	5347907	Ettenheim Pfarrer- Weber-Straße	8740+/-40	9520-9480

A3 Laboranalysen der Geländeaufnahmen

A3.1 Aufschluss Ettenheim Apostelweiher I

3.1.1 Farbe, CaCO_3 , C_{org} , N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	CaCO_3 (%)	C (%)	N (%)	C (NV)	Magnetische Suszeptibilität (Si)
ET-APW-I02/01	60	7.5 YR 4/6	0,60	0,5	0,1	1,2	10,6
ET-APW-I02/02	100	7.5 YR 4/6	0,00	0,3	0,0	1,0	12,7
ET-APW-I02/03	125	7.5 YR 4/2	1,78	0,8	0,1	0,9	15,9
ET-APW-I02/04	145	10 YR 4/3	0,00	0,3	0,0	0,4	37,8

3.1.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
ET-APWI02/01	1,77	11,56	7,26	30,05	18,26	7,83	23,26	23	56	21
ET-APWI02/02	0,16	1,46	1,60	16,43	24,99	12,76	42,61	43	54	3
ET-APWI02/03	0,10	2,77	9,39	23,63	19,68	6,63	37,80	38	50	12
ET-APWI02/04	0,42	4,81	11,65	24,40	18,32	6,72	33,68	34	49	17

A3.2 Aufschluss Ettenheim Apostelweiher II

3.2.1 Farbe, CaCO₃, C_{org}, N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	CaCO ₃ (%)	C (%)	N (%)	C (NV)	Magnetische Suszeptibilität (Si)
ET-APW-II02/01	150	10 YR 3/4	0,00	0,8	0,1	0,8	14,3

3.2.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
ET-APWII02/01	0,70	3,56	9,67	28,02	15,78	6,29	35,98	36	50	14

A3.3 Aufschluss Ettenheim Radackern II-2

3.3.1 Farbe, CaCO₃, C_{org}, N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	CaCO ₃ (%)	C (%)	N (%)	C (NV)	Magnetische Suszeptibilität (Si)
ET-RA II 01/01	150	10 YR 5/3	1,43	0,7	0,1	1,6	11,7

3.3.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
ET-RAII 01/01	0,08	0,40	0,63	11,33	22,12	10,62	54,91	55	44	1

A3.4 Aufschluss Ettenheim Römerstrasse

3.4.1 Farbe, CaCO₃, C_{org}, N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	CaCO ₃ (%)	C (%)	N (%)	C (%) Nasse Vera- schung	Magnetische Suszeptibilität (Si)
ET-RS 03/01	50	10 YR 3/4	0,20	0,7	0,1	0,9	39,6
ET-RS 03/02	120	10 YR 3/4	1,22	1,0	0,1	0,9	51,1
ET-RS 03/03	145	10 YR 3/3	0,00	0,9	0,1	0,9	18,9
ET-RS 03/04	160	10 YR 3/2	0,00	0,8	0,1	1,0	24,9
ET-RS 03/05	190	10 YR 3/2	0,00	0,3	0,0	0,5	8,4
ET-RS 03/06	150	10 YR 3/2	0,00	0,7	0,1	0,9	14,8
ET-RS 03/07	165	10 YR 4/3	0,64	0,5	0,1	0,7	7,9
ET-RS 03/08	180	10 YR 3/4	0,00	0,6	0,1	0,8	13,8

3.4.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
ET-RS03/01	0,12	1,06	2,89	35,70	23,19	7,36	29,68	30	66	4
ET-RS03/02	0,06	0,35	1,91	35,02	26,04	5,79	30,83	31	67	2
ET-RS03/03	0,09	0,19	1,35	22,87	28,54	10,31	36,65	37	62	2
ET-RS03/04	0,19	0,17	0,65	24,78	24,39	8,90	40,92	41	58	1
ET-RS03/05	0,01	0,13	0,82	31,56	28,73	7,38	31,37	31	68	1
ET-RS03/06	0,46	0,35	0,44	21,26	23,41	9,98	44,10	44	55	1
ET-RS03/07	0,04	0,06	0,29	16,80	22,53	8,83	51,45	51	48	0
ET-RS03/08	0,03	0,14	0,80	27,77	25,35	8,01	38,12	38	61	1

A3.5 Aufschluss am Regenwassersammelbecken in Hausen an der Möhlin

3.5.1 Farbe, CaCO₃, C_{org}, N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	Ca- CO ₃ (%)	C (%)	N (%)	C (%) Nasse Vera- schung	Magnetische Suszeptibilität (Si)
HA-RB 01/01	40	10 YR 4/4	0,00	0,4	0,1	0,7	7,4
HA-RB 01/02	75	10 YR 4/4	0,00	0,3	0,0	0,5	7,7
HA-RB 01/03	170	10 YR 4/4	0,65	0,3	0,0	0,9	11,4
HA-RB 01/04	200	10 YR 5/8	0,00	0,1	0,0	0,5	10,2
HA-RB 01/05	235	10 YR 4/4	0,00	0,1	0,0	0,4	9,0

3.5.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
HA-RB01/01	4,13	6,86	8,65	28,02	19,31	7,86	25,17	25	55	20
HA-RB01/02	2,29	6,56	9,75	28,74	17,68	7,03	27,94	28	53	19
HA-RB01/02x	5,6	9,01	7,72	14,03	19,5	13,23	29,46	29	47	22
HA-RB01/03	0,08	0,82	2,72	28,96	26,47	10,06	30,89	31	65	4
HA-RB01/04	0,05	7,99	17,14	35,54	17,11	5,16	17,01	17	58	25
HA-RB01/05	0,05	6,48	23,25	37,5	14,81	3,42	14,47	14	56	30

Die Korngrößen der Probe HA-RB01/02x stammen von einer älteren Untersuchung aus dem Schwarzen Auenboden aus einer Tiefe von 125 cm u. GOF

A3.6 Aufschluss Hausen-Attliasträße

3.6.1 Farbe, CaCO_3 , C_{org} , N und Magnetische Suszeptibilität

Probe	Tiefe (cm u. GOF)	Farbe (MUNSELL)	CaCO_3 (%)	C (%)	N (%)	C (%) Nasse Vera- schung	Magnetische Suszeptibilität (Si)
HA-AS 03/01	60	10 YR 4/6	0,50	0,3	0,0	0,5	16,8
HA-AS 03/02	90	10 YR 4/4	1,02	0,4	0,0	0,5	13,8
HA-AS 03/03	120	10 YR 3/2	0,00	0,9	0,1	1,0	26,2
HA-AS 03/04	145	10 YR 2/2	0,00	1,3	0,1	1,3	13,3
HA-AS 03/05	170	10 YR 3/4	0,00	0,7	0,1	0,7	7,8
HA-AS 03/06	185	10 YR 4/4	0,00	0,2	0,0	0,2	8,3

3.6.2 Korngrößenanalyse

Anteile in Gewicht (%)

Probe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	%T	%U	% S
HA-AS03/01	7,24	10,91	9,24	26,43	16,23	5,25	24,70	25	48	27
HA-AS03/02	2,34	4,66	5,30	31,15	20,59	8,36	29,25	29	60	12
HA-AS03/03	0,48	1,26	3,54	31,01	19,44	8,55	36,86	37	59	5
HA-AS03/04	0,34	1,17	3,42	31,63	18,23	8,36	36,86	37	58	5
HA-AS03/05	0,98	1,94	3,63	34,97	20,55	7,87	30,06	30	63	7
HA-AS03/06	0,91	1,54	4,83	46,50	19,07	5,26	21,88	22	71	7

A4 Ergebnisse der RFA-Messungen

Elemente, bei denen der Fehler bei allen Proben größer war als der Messwert sind nicht aufgeführt.

Probe	Tiefe (cm)	Gehalt in ppm									
		Pb	Pb error	Zn	Zn Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Cr	Cr Error
ET-Rail 01/01	150	28,80	8,60	60,90	21,90	<LOD	51,15	<LOD	101,40	<LOD	360,00
HA-RB 01/01	40	52,00	8,50	76,20	19,90	<LOD	44,40	<LOD	74,70	<LOD	255,00
HA-RB 01/02	75	36,90	7,90	75,90	20,10	<LOD	44,85	<LOD	74,55	<LOD	255,00
HA-RB 01/03	170	36,20	8,40	92,60	21,90	<LOD	48,75	<LOD	85,20	<LOD	285,00
HA-RB 01/04	200	30,90	7,50	33,10	18,50	<LOD	43,50	<LOD	72,90	<LOD	240,00
HA-RB 01/05	235	27,30	7,20	36,40	18,00	<LOD	41,10	<LOD	66,30	<LOD	210,00
ET-APW-102/01	60	60,50	8,60	43,40	18,40	<LOD	42,45	<LOD	70,35	291,20	160,00
ET-APW-102/02	100	29,90	7,90	56,50	20,10	<LOD	46,80	83,10	54,20	306,00	170,00
ET-APW-102/03	125	24,30	7,30	49,10	18,70	<LOD	42,75	<LOD	71,70	<LOD	225,00
ET-APW-102/04	145	21,50	7,00	36,50	18,30	<LOD	43,20	<LOD	72,45	<LOD	240,00
ET-APW-1102/01	150	21,60	7,60	46,50	20,50	<LOD	48,15	<LOD	87,15	<LOD	300,00
TI-TENP 02/01	190	23,80	6,10	36,20	15,40	<LOD	36,60	<LOD	60,15	<LOD	180,00
HA-AS 03/01	60	70,40	9,50	102,50	21,20	<LOD	45,30	<LOD	77,10	<LOD	270,00
HA-AS 03/02	90	66,30	9,50	117,50	22,30	<LOD	47,55	<LOD	84,60	<LOD	300,00
HA-AS 03/03	120	46,70	8,90	94,60	21,80	<LOD	48,45	<LOD	82,65	<LOD	300,00
HA-AS 03/04	145	42,50	8,50	85,10	21,00	<LOD	46,65	<LOD	81,45	<LOD	285,00
HA-AS 03/05	170	33,70	8,10	76,50	20,50	<LOD	45,90	<LOD	79,80	<LOD	270,00
HA-AS 03/06	185	15,30	7,00	40,00	19,20	<LOD	44,70	<LOD	76,50	<LOD	255,00
ET-RS 03/01	50	30,10	7,70	50,40	19,70	<LOD	45,15	<LOD	80,40	<LOD	300,00
ET-RS 03/02	120	19,50	7,70	<LOD	30,00	<LOD	47,70	<LOD	92,10	<LOD	330,00
ET-RS 03/03	145	26,20	8,20	59,90	21,50	<LOD	49,35	<LOD	93,90	<LOD	345,00
ET-RS 03/04	160	33,10	8,40	81,70	21,90	<LOD	49,65	<LOD	95,40	<LOD	360,00
ET-RS 03/05	190	16,10	6,60	29,80	17,50	<LOD	39,75	<LOD	70,80	<LOD	240,00
ET-RS 03/06	II 150	31,20	8,70	63,30	22,30	<LOD	50,40	<LOD	100,50	<LOD	420,00
ET-RS 03/07	II 165	30,50	8,30	97,30	22,40	<LOD	50,10	<LOD	94,50	<LOD	345,00
ET-RS 03/08	II 180	25,50	7,80	60,20	20,60	<LOD	46,95	<LOD	85,20	<LOD	345,00

< LOD = Fehler größer als der gemessene Wert

A5 Kurzprofile der Bohrungen am Nimberg (Kap. 4.4.4)

RW/HW 3409944/5326947

Bohrungen 1 +2

0-30 cm	Pflughorizont A _p
30-100 cm	Kolluvium M1
100-150 cm	Kolluvium M2 (humos, Ziegelreste)
150-200 cm	Löss, entkalkt

Bohrung 3

0-30 cm	A _p
30-130 cm	M1
130-170 cm	M2
170-190 cm	Mörtelreste
190-200 cm	Löss, entkalkt

A6 Holozäne Sedimentmächtigkeiten aus den geologischen Kurzprofilen der GK 25

Die ersten vier Ziffern im Feld "Bohrung" geben das Kartenblatt an, die letzten drei Ziffern die Nummer der Bohrung.

Bohrung	Koordinaten RW / HW	Höhe m NN	Kurzbeschreibung
7712004	3408100 / 5342880	171.30	
	- 0.40 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 1.40 Holozän		Lehm, sandig; rotbraun; Auenlehm
	- 1.60 Holozän		Ton, schluffig 1, organisch
	- 1.90 Holozän		Lehm, schluffig 1; braun; Auenlehm

7712021	3411800 / 5347570	171.00	
	- 0.15 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 0.85 Holozän		Lehm, sandig 2; braun; Abschwemm-massen

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
7712032	3412720 / 5342100	184.59	
	- 0.20 Holozän		Schluff; Boden
	- 1.70 Holozän		Schluff, sandig, weich; braun; Auenlehm

7712067	3413030 / 5347660	188.00	
	- 2.00 Holozän		Schluff; Abschwemmmassen
	- 4.00 Holozän		Schluff, tonig, organisch; dunkelgrau; Abschwemmmassen

7712086	3412900 / 5347060	179.56	
	- 2.00 Holozän		Schluff, feinsandig; hellbraun, graugrün; Auenlehm
	- 2.40 Holozän		Schluff, feinsandig, pflanzliche Reste; schwarz; Auenlehm

7712088	3411500 / 5347100	179.00	
	- 0.20 Holozän		Schluff, humos; schwarz; Boden
	- 0.90 Holozän		Schluff, feinsandig; dunkelbraun; Abschwemmmassen
	- 1.80 Holozän		Schluff, tonig, feinsandig; braun; Abschwemmmassen
	- 2.25 Holozän		Ton, feinsandig; dunkelbraun; Abschwemmmassen
	- 2.80 Holozän		Schluff, tonig, feinsandig; braun; Abschwemmmassen

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
7712109	3413310 / 5346230	176.35	
	- 0.60 Holozän		Schluff, humos; dunkelbraun; Boden
	- 1.50 Holozän		Grobschluff, sandig, tonig 2, kiesig 2; gelbbraun, Rostflecken; Auenlehm
	- 3.20 Holozän		Schluff, tonig 2, sandig 2, organisch 2; dunkelgrau; Abschwemmmassen
	- 3.90 Holozän		Ton, Schluff, sandig 2, organisch; schwarz; Abschwemmmassen
	- 4.70 Holozän		Schluff, organisch; dunkelgrau; Abschwemmmassen
	- 5.50 Holozän		Grobschluff, Feinsand, organisch, glimmerig, Gastropeda; grau; Abschwemmmassen

7712118	3410200 / 5349780	164.00	
	- 0.30 Holozän		Schluff, humos; schwarz; Boden
	- 0.90 Holozän		Schluff, sandig; hellbraun; Auenlehm

7712152	3409740 / 5342338	175.89	
	- 0.90 Holozän		Schluff, humos; braun; Boden, Auenlehm
	- 1.40 Holozän		Schluff; hellbraun; Auenlehm

7712156	3410350 / 5347260	168.00	
	- 0.50 Holozän		Schluff, humos; braun; Boden
	- 1.50 Holozän		Schluff, sandig, tonig 2; braun; Abschwemmmassen

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
7712286	3405695 / 5345415	167.58	
	- 0.20 Holozän		Schluff, humos, glimmerig, lehmig 2, feinsandig 2; dunkelbraun; Boden
	- 0.65 Holozän		Schluff, lehmig, feinsandig, glimmerig; braun; Auenlehm
	- 1.00 Holozän		Schluff, lehmig, braun, ocker; Auenlehm
	- 1.30 Holozän		Schluff, Feinsand, lehmig, Schwarzwaldmaterial (stark zersetzt); braun, ocker; Auenlehm

7712344	3409890 / 5346960	167.80	
	- 1.50 Holozän		Lehm, Sand; Abschwemmmassen

7712345	3409379 / 5344785	175.50	
	- 6.00 Holozän		Schluff; Abschwemmmassen

7712351	3409687 / 5346005	171.80	
	- 4.40 Holozän		Schluff; Abschwemmmassen

7712459	3407560 / 5344250	168.66	
	- 0.25 Holozän		Schluff, Feinsand, humos, lehmig, glimmerig; dunkelbraun; Boden

7712462	3407500 / 5342010	170.27	
	- 0.25 Holozän		Schluff, Feinsand, humos, lehmig 2, glimmerig; braun; Boden

7712475	3410270 / 5341840	179.24	
	- 0.10 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 0.60 Holozän		Feinsand, schluffig 2; braun; Auenlehm

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
7712482	3412850 / 5344770	185.71	
	- 6.00 Quartär		Schluff; grau, gelbgrau, grünlichgrau; Abschwemmassen, Schwemmlöß, Löß-lehm

7812075	3409600 / 5335830	180.00	
	- 1.00 Holozän		Schluff, oben humos, Abschwemmmassen

7812127	3409020 / 5336000	178.76	
	- 0.20 Holozän		Boden
	- 1.90 Holozän		Schluff, braun, Abschwemmmassen

7812059	3410150 / 5335120	188.00	
	- 6.00 Holozän		Schluff, Abschwemmmassen

7812320	3409140 / 5339770	177.20	
	- 3.60 Holozän		schluffig, lehmig, Abschwemmmassen

7812329	3406605 / 5339700	175.00	
	- 0.20 Holozän		Schluff, humos, Boden
	- 0.65 Holozän		Schluff, lehmig, Auenlehm

8011011	3400090 / 5309740	212.00	
	- 0.45 Holozän		Boden

8011014	3399918 / 5308237	217.60	
	- 0.60 Holozän		Schluff, humos

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
8011021	3400183 / 5314610	201.81	
	- 1.00 Holozän		Schluff, kalkfrei; gelbbraun
8011061	3398835 / 5314115	202.68	
	- 0.30 Holozän		Schluff, humos; Boden
8011073	3400390 / 5315520	200.08	
	- 0.40 Holozän		Schluff, humos; braun; Boden
8011094	3399460 / 5312800	204.00	
	- 0.30 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 1.10 Holozän		Lehm; braun
8011107	3399160 / 5315510	198.80	
	- 0.65 Holozän		Schluff, Feinsand, humos 4, glimmerig 2; schwarzbraun; Boden
8012018	3407560 / 5313750	227.17	
	- 1.00 Holozän		Schluff, humos; Abschwemmassen
8012022	3400624 / 5311529	208.01	
	- 1.10 Holozän		Feinkies-Grobkies, feinsandig, mittelsandig, schluffig 2; braun; Auenlehm
	- 2.20 Holozän		Feinkies, Mittelskies, feinsandig, mittelsandig ; braun
	- 3.00 Holozan		Schluff; braun

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
8012046	3406567 / 5314368	218.30	
	- 0.50 Holozän		Schluff, humos; dunkelbraun; Boden; locker gelagert
	- 5.70 Holozän,		Schluff; braun; Abschwemmassen, Schwemmlöss; weich-steif

8012064	3406050 / 5315420	213.00	
	- 1.00 Holozän		Schluff, humos; Boden, Auenlehm

8012076	3401780 / 5316160	270.00	
	- 6.00 Holozän,		Sand; gelbgrau; Abschwemmassen, Schwemmlöss, Löss

8012080	3402880 / 5308450	248.00	
	- 0.90 Holozän		Schluff, sandig 2, tonig; braun; Auenlehm

8012109	3407750 / 5310030	330.00	
	- 5.80 Holozän,		Lehm; Abschwemmassen, Schwemmlöss

8012121	3402500 / 5309000	232.00	
	- 2.00 Holozän		Lehm; Auenlehm

8012149	3400650 / 5313610	204.00	
	- 0.40 Holozän		Torf; schwarzbraun
	- 2.00 Holozän		Schluff, tonig; schwarzbraun; Auenlehm; fest
	- 2.75 Holozän		Schluff, lehmig; gelbbraun; Auenlehm; fest

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
8012170	3401200 / 5311280	209.96	
	- 0.60 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 1.80 Holozän		Schluff, sandig; braun; Auenlehm
	- 4.00 Holozän		Grobsand-Feinsand, schluffig; hellbraun
	- 5.00 Holozän,		Schluff, sandig, tonig; schwarzbraun; Abschwemmassen, Schwemmlöss

8012197	3403090 / 5314930	217.00	
	- 2.00 Holozän		Schluff, lehmig, Schneckenschalen, eisenschüssig 2; Abschwemmassen, Schwemmlöss

8012244	3412661 / 5318260	252.00	
	- 0.40 Holozän		Lehm, Steine, Kies; künstliche Auffül- lung
	- 0.70 Holozän		Mittelsand-Feinsand, schluffig, kiesig 1; braun; Auenlehm

8012265	3403810 / 5315380	217.00	
	- 3.50 Holozän,		Schluff (braun), unten (Schluff, tonig, dunkelgrau); Abschwemmassen, Schwemmlöss

8012304	3401820 / 5310440	217.00	
	- 1.00 Holozän		Schluff, humos; Boden, Abschwem- massen

8012324	3408780 / 5315080	240.00	
	- 0.20 Holozän		Schluff, humos; braun; Boden

10. ANHANG

<i>Bohrung</i>	<i>Koordinaten RW / HW</i>	<i>Höhe m NN</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
8012337	3401900 / 5311570	212.00	
	- 0.70 Holozän		Sand, Feinkeis-Grobkies, schluffig 2; graubraun; Auensand, Auenkies; dicht gelagert
	- 0.90 Holozän		Schluff, sandig 2, kiesig 1; grau; weich

8012360	3404100 / 5311300	225.00	
	- 0.60 Holozän		Schluff, humos; Boden, Auenlehm

8012361	3405590 / 5309880	242.00	
	- 0.25 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 1.50 Holozän		Lehm; Auenlehm

8012364	3408620 / 5308310	303.00	
	- 0.30 Holozän		Schluff, humos, sandig, steinig; Boden
	- 1.10 Holozän		Lehm, sandig, steinig; bräunlich, Auenlehm

8012386	3400960 / 5315470	201.00	
	- 0.40 Holozän		Schluff, humos; Boden
	- 0.90 Holozän		Schluff, mit Bröckchen von Wedelsandstein, Hauptrogenstein, vom Tuniberg; Auenlehm
	- 1.40 Holozän		Schluff, torfig 2; dunkelbraun, schwarz; Abschwemmassen