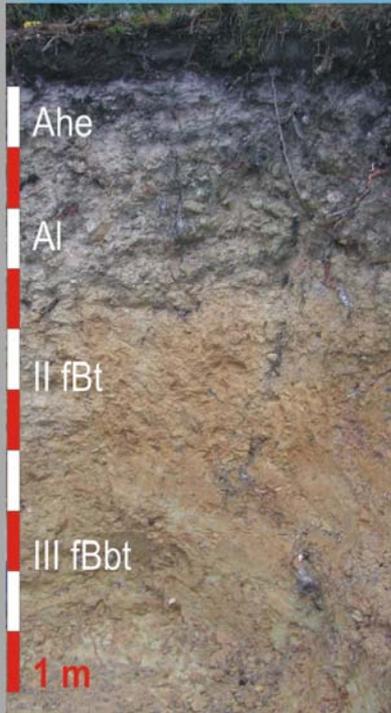
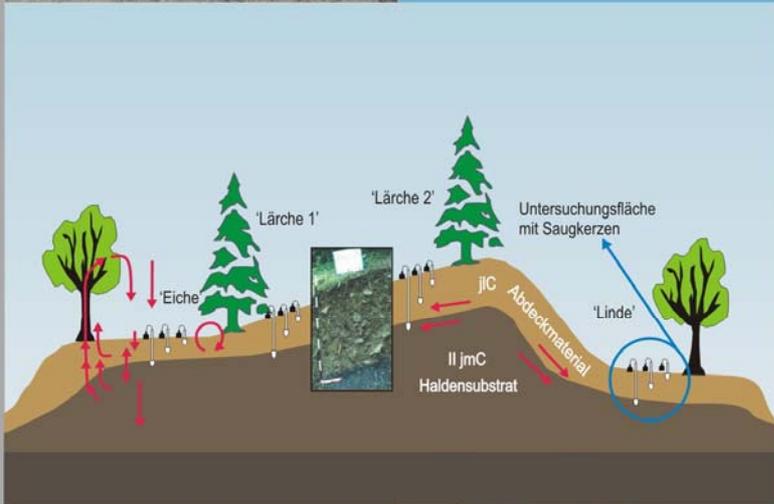


# Bodenkunde Landschaftsökologie Quartärforschung

Regensburger Beiträge zur



**Kolluvien und Auensedimente  
als Geoarchive im Umfeld  
der historischen Hammerwerke  
Leidersdorf und Wolfsbach  
(Vils/Opf.)**



Sabine BECKMANN

2007

Band **12**

ISBN - 978-3-88246-306-6





**Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und  
Quartärforschung**

Herausgegeben von JÖRG VÖLKE

Band 12

BECKMANN, SABINE

**Kolluvien und Auensedimente als Geoarchive im Umfeld  
der historischen Hammerwerke  
Leidersdorf und Wolfsbach (Vils/Opf.)**

**2007**

Diese Arbeit wurde im Jahr 2006  
als Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Philosophischen Fakultät III (Geschichte, Gesellschaft und Geographie)  
der Universität Regensburg vorgelegt.

ISBN - 978-3-88246-306-6

Alle Rechte vorbehalten.

Universität Regensburg

Institut für Geographie

- Bodenkunde -

Univ.-Prov. Dr. rer. nat. Jörg Völkel



**KOLLUVIEN UND AUENSEDIMENTE ALS GEOARCHIVE IM UMFELD  
DER HISTORISCHEN HAMMERWERKE  
LEIDERSDORF UND WOLFSBACH (VILS/OPF.)**

---

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Philosophischen Fakultät III (Geschichte, Gesellschaft und Geographie)  
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Sabine Beckmann  
aus Siegen

Regensburg 2006



Erstgutachter: Prof. Dr. Jörg Völkel

Zweitgutachter: Prof. Dr. Thomas Raab



## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen der zweiten Förderphase des DFG-Graduiertenkollegs 462 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“ an der Universität Regensburg unter der Leitung von Prof. Dr. Jörg Völkel. Die anschließende Promotionsabschlussförderung erfolgte im Rahmen des Hochschul- und Wissenschaftsprogrammes (HWP II) für Frauen der Bund-Länder-Kommission.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jörg Völkel (Professur für Bodenkunde) für die Vergabe des Themas sowie die Betreuung und stetige Förderung der Arbeit. Seinem Engagement ist die gute gerätetechnische Ausstattung in Gelände und Labor zu verdanken. Die Teilnahme an zahlreichen Tagungen und Fortbildungsveranstaltungen im Rahmen des Kollegs ermöglichte fachliche Diskussionen und es ergaben sich neue Impulse für diese Arbeit.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Thomas Raab (Institut für Geschichte, Lehrstuhl Vor- und Frühgeschichte) danke ich für die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und für die kontinuierliche Betreuung in inhaltlichen Fragen.

Für die Überlassung von Daten und Flächen für die Probennahme im Gelände danke ich den Mitarbeitern des Wasserwirtschaftsamtes Amberg, dem Bayerischen Landesvermessungsamt sowie dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, Abt. Bodendenkmalpflege, Dienststelle Regensburg.

Danken möchte ich auch den Landwirten, Eigentümern und Anwohnern im Untersuchungsgebiet für ihre Bereitschaft, die Untersuchungen zu unterstützen. Die vielen Gespräche ergaben wertvolle Hinweise.

Die gute und hilfsbereite Führung des Labors durch Frau Chemielaborantin Tanja Heindl ermöglichte ein effizientes Arbeiten, wofür ich ihr danken möchte.

Die geophysikalischen Messungen und Auswertungen unterstützte freundlicherweise Herr Dr. Matthias Leopold (Professur für Bodenkunde).

Für die Mithilfe bei den Gelände- und Laborarbeiten danke ich den studentischen Mitarbeitern der Professur für Bodenkunde und des Graduiertenkollegs.

Für die freundliche Unterstützung und fachlichen Hinweise danke ich weiterhin Prof. Dr. Arno Pfitzner (Institut für Anorganische Chemie, Universität Regensburg) und seinen Mitarbeitern, Dr. Frank Kienast (Alfred-Wegener-Institut, Potsdam), Dipl.-Geol. Carsten Helm (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover), Dr. Werner Scharff (GEOARCH, Gaildorf-Münster), Dr. Reinhard Kleßen (Geographisches Institut, Humboldt Universität Berlin), den Mitarbeitern des Instituts für Geographie und der Professur für Bodenkunde der Universität Regensburg sowie den Kollegiaten des DFG-Graduiertenkollegs 462 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“.

Den vielen Diskussionspartnern im Rahmen von Tagungen danke ich für die wertvollen Anregungen und Informationen.

Darüber hinaus danke ich allen, die auf andere Art und Weise am Gelingen der Arbeit beteiligt waren.

Regensburg, im Juli 2006

Sabine Beckmann

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort		
Inhaltsverzeichnis		I
Abbildungsverzeichnis		III
Tabellenverzeichnis		VI
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen im Anhang		VI
<b>1</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>4</b>
2.1	Ausgewählte Geoarchive holozäner Landschaftsgeschichte	4
2.1.1	Kolluviale Sedimente	6
2.1.2	Auen und Auensedimente	10
2.2	Montanwesen und Umweltgeschichte in historischen Bergbaugebieten	14
2.2.1	Lagerstätten, Aufbereitung und Verhüttung am Beispiel von Eisenerz	19
2.2.2	Frühe Umweltbelastungen in Auen durch Einträge bergbaubürtiger Stoffe	26
<b>3</b>	<b>Untersuchungsmethoden</b>	<b>37</b>
3.1	Geländeuntersuchungen	37
3.2	Laboranalysen	39
3.2.1	Geochemisch-mineralogische Analysen	39
3.2.2	Absolutdatierungen	43
<b>4</b>	<b>Untersuchungsgebiet – Grundzüge des Naturraums</b>	<b>44</b>
4.1	Naturräumliche Lage	44
4.2	Geologie	45
4.3	Flussmorphologie der Vils	47
4.4	Böden	48
4.5	Vegetation	49
4.6	Klimatische Verhältnisse	49
4.7	Hydrologie und Hydrographie	50
<b>5</b>	<b>Analyse der bergbauzeitlichen Landschaftsentwicklung</b>	<b>52</b>
5.1	Relevante Geofaktoren	52
5.1.1	Historische Klimaentwicklung in Mitteleuropa seit 1000 AD	52
5.1.2	Hochwasserereignisse und Flussausbau	54
5.1.3	Anorganische Hintergrundwerte des Untersuchungsraumes	58

5.1.4	Schwermetallbelastung der Vils und ihrer Nebengewässer	60
5.1.5	Sedimentaufbau im Vilstal anhand von Brunnen- und Brückenbaudaten	64
5.2	Montangeschichte der Oberpfalz und ihre Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung	67
5.2.1	Entwicklung der regionalen Eisenindustrie sowie deren Einfluss auf den Waldzustand	68
5.2.2	Verkehrswege	74
5.2.3	Die Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach und ihr Umfeld	76
5.3	Ausgliederung der Phasen des historischen Landschaftswandels für das Untersuchungsgebiet	89
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der physisch-geographischen und bodenkundlichen Untersuchungen</b>	<b>93</b>
6.1	Detailkartierung des Untersuchungsgebietes an der Vils	93
6.2	Bodenkundliche und sedimentologische Befunde	100
6.2.1	Catena Frauengarten	102
6.2.2	Großer Schwemmfächer, Leidersdorf	108
6.2.3	Aue Leidersdorf	124
6.2.4	Catena kleiner Schwemmfächer, Wolfsbach	133
6.2.5	Catena Wolfsbach, Niederfeld	142
6.2.6	Aue Wolfsbach	153
6.2.7	Sondagen im Flussbett der Vils	159
6.3	Schlacken im Untersuchungsgebiet	161
6.3.1	Verbreitung der Schlacken	161
6.3.2	Zusammensetzung der Schlacken	162
<b>7</b>	<b>Diskussion der Geoarchive</b>	<b>173</b>
7.1	Eigenschaften und Genese kolluvial geprägter Hangstandorte und Schwemmfächer	173
7.2	Eigenschaften und Genese der Auenstandorte	178
7.3	Schwermetallgehalte in Kolluvien und Auensedimenten	186
7.4	Schlackenbefunde	197
<b>8</b>	<b>Einfluss der historischen Montanindustrie – Synthese</b>	<b>201</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>206</b>
	Literaturverzeichnis	207
	Anhang	225

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b>	Massive Landschaftsveränderung durch den Bergbau. Luftverschmutzung und Emission von Schadstoffen mit dem Hüttenrauch. Gründung der Bergstadt Freiberg aus der Sicht des Dresdner Hofmalers Heinrich Göding, 1598 (GOLDENBERG 2000, S. 110)	17
<b>Abb. 2:</b>	Großflächige Entwaldung zur Holzkohlegewinnung „Die Köhler“ (les charbonniers). Aus der Bildfolge: La Rouge Myne de Saint Nicolas de la Croix (Vogesen) von Heinrich Gross, um 1550. (GOLDENBERG 2000, S. 111)	18
<b>Abb. 3:</b>	Eisenerzlagerstätten und alte Eisenverhüttungs- bzw. -verarbeitungszentren in Deutschland (nach MAUS 2000, S. 22)	20
<b>Abb. 4:</b>	Lage des Untersuchungsgebietes (Übersicht Deutschland sowie Ausschnitt aus der Topographischen Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)	44
<b>Abb. 5:</b>	Geologische Verhältnisse im Untersuchungsraum (A: Übersicht, Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern, 1 : 500.000, Bayerisches Geologisches Landesamt 1996. Erztröge und Lagerstätten nach GUDDEN 1987. B: Untersuchungsgebiet, Ausschnitt aus der Geologischen Karte, Blatt 6637 Rieden, 1 : 25.000, Bayerisches Geologisches Landesamt 1968)	46
<b>Abb. 6:</b>	Abweichung der bodennahen Lufttemperatur der nördlichen Hemisphäre der letzten 1000 Jahre auf Basis von instrumentellen Beobachtungen und rekonstruierten Daten (grau: Unsicherheitsbereich) (IPCC 2001, S. 134)	53
<b>Abb. 7:</b>	Geglättete standardisierte Anomalien des Niederschlags im Zeitraum 1500 bis 2000 im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990 (nach CASTY et al. 2005, S. 1867)	54
<b>Abb. 8:</b>	Verbreitung und Lage der Eisenhämmer in der Oberpfalz (LUTZ 1941, S. 286)	70
<b>Abb. 9:</b>	Lage der Hammerwerke und wichtigsten Bodendenkmäler (nach STROH 1975, Ortsakten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Regensburg; Datengrundlage: Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden des Bayerischen Landesvermessungsamtes, München)	77
<b>Abb. 10:</b>	Aktuelle Ansichten vom Hammerwerk Leidersdorf (eigene Aufnahmen)	78
<b>Abb. 11:</b>	Ausschnitt aus dem Urkataster von 1852 (Blatt NO LVIII 12, 1 : 5.000, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)	79
<b>Abb. 12:</b>	Hammergut Leidersdorf um 1730 (MEILLER 1730, S. 298 - 299)	82
<b>Abb. 13:</b>	Das Hammerwerk Leidersdorf 1770 (Riß, signiert Georg Abraham Reuter, StA Amberg, Kloster Ensdorf 77, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987, S. 109)	83
<b>Abb.14:</b>	Kloster Ensdorf mit Blick in das Vilstal in Richtung Leidersdorf. Zu sehen sind der Ort Ensdorf mit dem Gebäudekomplex des Klosters und die Flussaue mit angrenzenden Hochflächen, die sowohl unter forstlicher wie auch unter ackerbaulicher Nutzung stehen. (Ausschnitt aus Farbbild, BLFD Luftbildarchäologie Archiv-Nr. 6736/002, 7093-3, Fotograf: KL, Datum: 07.05.1994)	84
<b>Abb. 15:</b>	Kloster Ensdorf um 1730 (MEILLER 1730, S. 322)	85
<b>Abb. 16:</b>	Ausschnitt aus dem Urkataster von 1852 (Blatt NO LIX 11, 1 : 5.000, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)	86
<b>Abb. 17:</b>	Hammerwerk Wolfsbach, Anfang des 18. Jahrhunderts (GÖTSCHMANN 1985, Tafel 13, StAA Plansammlung 110)	88
<b>Abb. 18:</b>	Teilung der Vils in Wolfsbach heute (eigene Aufnahme)	89

<b>Abb. 19a:</b>	Zeitliche Entwicklung natürlicher und anthropogener Faktoren für den Landschaftswandel vom Mesolithikum bis zum Mittelalter	90
<b>Abb. 19b:</b>	Zeitliche Entwicklung natürlicher und anthropogener Faktoren für den Landschaftswandel in der Neuzeit	91
<b>Abb. 20:</b>	Hochwasser Januar 2003, südlich von Leidersdorf. Bild A zeigt eine buchtartige Überschwemmungsfläche, Bild B zeigt die leicht konkave Wölbung vor dem unteren Teil des großen Schwemmfächers. Sie ist stark vernässt (eigene Aufnahmen).	95
<b>Abb. 21:</b>	Nutzungsverteilung im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage: eigene Kartierung Sommer 2002. Die Prozentangaben beziehen sich auf die kartierte Gesamtfläche, vgl. Karte in Abb. A 6)	96
<b>Abb. 22:</b>	Vegetationsverteilung in der Aue (Datengrundlage: eigene Kartierung Sommer 2002. Die Prozentangaben beziehen sich auf die kartierte Auenfläche, vgl. Karte in Abb. A 6)	97
<b>Abb. 23:</b>	Vils Renaturierung, Flur Frauengarten (eigene Aufnahme)	100
<b>Abb. 24:</b>	Übersichtsskizze mit Lage der Teilgebiete und Bodenprofile (Datengrundlage: Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)	101
<b>Abb. 25:</b>	Detailkarte des Teilgebietes Catena Frauengarten mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	103
<b>Abb. 26:</b>	Catena Frauengarten (vereinfacht und überhöht)	103
<b>Abb. 27:</b>	Profil 6637-20 (eigene Aufnahme)	104
<b>Abb. 28:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-20 (* = Wert liegt bei 5611 ppm)	106
<b>Abb. 29:</b>	Oberer Teil des großen Schwemmfächers südlich von Leidersdorf (Bild A: Blick in Richtung Leidersdorf, Bild B: Blick von der Bahntrasse in Richtung Erosionssystem, eigene Aufnahmen)	109
<b>Abb. 30:</b>	Detailkarte des Teilgebietes großer Schwemmfächer mit Profilnummern und Lage der Radarlinien (6637-xx; Linien skizziert; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	110
<b>Abb. 31:</b>	Schwemmfächer Leidersdorf - Radargramm der Linie 5 (auffällige Radarfazieswechsel farbig markiert, Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)	111
<b>Abb. 32:</b>	Schwemmfächer Leidersdorf - Umzeichnung des Radargramms der Linie 5 (Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)	112
<b>Abb. 33:</b>	Schwemmfächer Leidersdorf - Radargramm der Linie 1 (Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)	113
<b>Abb. 34:</b>	Schwemmfächer Leidersdorf (Scheitellinie, skizziert und vereinfacht, überhöht)	114
<b>Abb. 35:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-13	115
<b>Abb. 36:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-26	116
<b>Abb. 37:</b>	Ausgewählte Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion von Profil 6637-15, Kolluvisol (Mg-Präparate, d-Werte in Å)	121
<b>Abb. 38:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-14	122

<b>Abb. 39:</b>	Detailkarte des Teilgebietes Aue Leidersdorf mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	125
<b>Abb. 40:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-80 (Proben 1 - 10, ausgewählte Parameter)	128
<b>Abb. 41:</b>	Ausgewählte Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion von Profil 6637-30, Auengley (Mg-Präparate, d-Werte in Å)	133
<b>Abb. 42:</b>	Detailkarte des Teilgebietes Catena kleiner Schwemmfächer mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	134
<b>Abb. 43:</b>	Profil 6637-37 (eigene Aufnahme)	135
<b>Abb. 44:</b>	Bild A: Hohlweg mit Profil 6637-39 im Vordergrund, Profil 6637-40 liegt rechts oberhalb; Bild B: Profil 6637-40 (eigene Aufnahmen)	135
<b>Abb. 45:</b>	Kleiner Schwemmfächer mit angrenzender Aue (skizziert u. vereinfacht, überhöht)	136
<b>Abb. 46:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-25	139
<b>Abb. 47:</b>	Detailkarte des Teilgebietes Catena Wolfsbach, Niederfeld mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	143
<b>Abb. 48:</b>	Catena Wolfsbach, Niederfeld (vereinfacht und überhöht)	143
<b>Abb. 49:</b>	Bild A: Catena Wolfsbach, Niederfeld, östlicher Teil; Bild B: Profil 6637-56 (eigene Aufnahmen)	144
<b>Abb. 50:</b>	Profil 6637-71 (eigene Aufnahmen)	146
<b>Abb. 51:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-71(* = Wert liegt bei 9574 ppm)	148
<b>Abb. 52:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-64	151
<b>Abb. 53:</b>	Detailkarte des Teilgebietes Aue Wolfsbach mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	154
<b>Abb. 54:</b>	Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-50	155
<b>Abb. 55:</b>	Entnahmepunkte der Flusssedimentproben (Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)	160
<b>Abb. 56:</b>	Charakteristische Schlacken aus dem Untersuchungsgebiet (Auswahl)	161
<b>Abb. 57:</b>	Messwerte ausgewählter Elemente mittels RFA-Analyse an den Schlacken Nr. 11, 14 und 15	165
<b>Abb. 58:</b>	REM-Aufnahmen der Fließ-Schlacke Nr. 3	167
<b>Abb. 59:</b>	Ausgewählte Röntgendiffraktogramme des Feinbodens (Pulverpräparate)	170
<b>Abb. 60:</b>	Röntgendiffraktogramme Pulverpräparat Schlacke Nr. 14 (A: 2 - 84°, B: 20 - 130°) (d-Werte in Å)	172
<b>Abb. 61:</b>	Korngrößenverteilung in kolluvialen und alluvialen Profilen	176
<b>Abb. 62:</b>	Schwermetallmittelwerte organisch geprägter Horizonte (* = Wert liegt bei 845 ppm)	189
<b>Abb. 63:</b>	Vergleich der Eisengehalte von Profil 6637-14 (AAS - RFA)	195
<b>Abb. 64:</b>	Ausgewählte Spurenelemente von Profil 6637-14 (RFA)	196

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b>	Übersicht über die Auswirkungen und Folgen des (prä-) historischen Montanwesens auf Mensch und Umwelt (nach GOLDENBERG 2000, S. 108)	16
<b>Tab. 2:</b>	Bedeutende Hochwasserereignisse an Donau, Naab und Vils nach BUCH (1988a), ZITZELSBERGER (1991), BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1998, 2000, 2004), GLASER (2001), HOCHWASSERMARKEN HEITZENHOFEN/NAAB, AKTEN WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG und HEINE et al. (2005), Legende: Winterhochwasser: blau, Sommerhochwasser: rot	57
<b>Tab. 3:</b>	Von zahlreichen Hochwassern geprägte Phasen an Donau, Main und Pegnitz basierend auf der Auswertung der 30-jährigen gleitenden Häufigkeiten (nach GLASER 2001)	57
<b>Tab. 4:</b>	Hintergrundwerte Fränkische und Schwäbische Alb (nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1999)	59
<b>Tab. 5:</b>	Schwermetallgehalte im Vilsediment am Messpunkt Theuern 1993 (Aufschluss nach DIN 38414 – S7, Messung AAS)	61
<b>Tab. 6:</b>	Schwermetallgehalte im Vilsediment beim Triebwerk Wolfsbach, unterhalb Einleitung der Kläranlage Amberg-Kümmersbruck 1995 (Aufschluss nach DIN 38414 - S7, Messung mittels AAS)	62
<b>Tab. 7:</b>	Schwermetallgehalte im Sediment eines Altwassers bei Rieden zwischen 1986 und 1999	63
<b>Tab. 8:</b>	Durchschnittlicher Beginn des Kalksteins zwischen Theuern und Emhof	67
<b>Tab. 9:</b>	Laboranalytische Kennwerte der Flusssedimente	160
<b>Tab. 10:</b>	Elementgehalte der Sonderproben aus 6637-19/10 und 6637-19/1 in verschiedenen Messungen	163
<b>Tab. 11:</b>	Variationen innerhalb der Feinbodenprobe 6637-14/13-15	164
<b>Tab. 12:</b>	Mittelwerte für gemahlene Proben aus 3 - 4 Messungen	164
<b>Tab. 13:</b>	<sup>14</sup> C-Datierungen	183
<b>Tab. 14:</b>	Mittelwerte der Schwermetalle an Unterhang- und Auenstandorten	187

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen im Anhang

<b>Abb. A 1:</b>	Lage der Brunnen und Brücken	226
<b>Abb. A 2:</b>	Karte der Geomorphographie	227
<b>Abb. A 3:</b>	Höhenmodell	228
<b>Abb. A 4:</b>	Karte der Hydrographie	229
<b>Abb. A 5:</b>	Karte der Hochwasserlage 1909 und 2003	230
<b>Abb. A 6:</b>	Karte der Vegetation und Landnutzung	231
<b>Abb. A 7:</b>	Karte der anthropogenen Beeinflussung	232
<b>Abb. A 8:</b>	Detailkarte der anthropogenen Beeinflussung in Leidersdorf	233
<b>Abb. A 9:</b>	Bezeichnungen ausgewählter Fluren	234
<b>Abb. A 10:</b>	Karte der Schlackenfundplätze	235
<b>Abb. A 11:</b>	Karte der Bodentypenverbreitung	236
<b>Abb. A 12:</b>	Vergleich der Gehaltsbestimmung ausgewählter Elemente mittels RFA - AAS, Profil 6637-14 (alle Angaben in ppm)	237

<b>Tab. A 1:</b>	Verwendete Karten, Pläne und digitale Daten	238
<b>Tab. A 2:</b>	Vorsorgewerte Bundes-Bodenschutzverordnung (Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) 17. März 1998, Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung (BBodschV) 12. Juli 1999) nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1999 und HOLZWARTH et al. 2000	239
<b>Tab. A 3:</b>	Zusammenstellung von Grenz- und Prüfwerten für Schwermetalle nach HINTERMAIER-ERHARD & ZECH (1997) und Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992	239
<b>Tab. A 4:</b>	Bohrprofile im Rahmen des Baus der Vilsbrücken bei Ensdorf	240
<b>Tab. A 5:</b>	Profilbeschreibungen (6637-13 - 6637-80, Flusssedimente)	245
<b>Tab. A 6:</b>	Laboranalytische Kennwerte ausgewählter Profile	303
<b>Tab. A 7:</b>	Makroskopische Beschreibung ausgewählter Schlacken und Scherben	320
<b>Tab. A 8:</b>	Sonderproben	322



## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Das (prä-) historische Montanwesen hat, insbesondere in den deutschen Mittelgebirgen, zu vielfältigen Einflüssen auf Landschaft und Umwelt geführt. In den Abbaugebieten sind häufig Pingen und Abraumhalden obertägige Zeugnisse des Bergbaus. Ab dem Mittelalter wurde die Verhüttung verstärkt an die Flüsse verlegt, um die Wasserkraft zur Erzverarbeitung zu nutzen. Die dazu notwendigen Stauwehre und Umfluten sind noch heute an der Vils/Opf. ein deutlich sichtbarer Eingriff in die Flussdynamik. Besonders die Auen sind stofflichen Einträgen in Form von Schlacken, Pochsanden und Schwermetallen ausgesetzt. Der Grubenausbau und die Verhüttung erforderten große Mengen an Holz bzw. Holzkohle. Infolge der Rodung der Wälder wurden erosive Prozesse massiv gefördert und die Auelehmsedimentation verstärkt. Zudem entstanden aufgrund der notwendigen Transporte vielfach Hohlwege an den Hängen, die durch lineare Erosion zu Runsen und Gräben vertieft wurden.

Während die Auswirkungen auf die Umwelt, vor allem die des mittelalterlichen Montanwesens, etwa im Schwarzwald, dem Harz oder dem Erzgebirge bereits in einigen Studien untersucht wurden (u.a. DOBLER 1999, FOELLMER 1999), fehlen für die Oberpfalz, als einem bedeutenden historischen Montanstandort mit überregionaler Relevanz, bisher systematische Untersuchungen zu dieser Thematik. Im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs 462 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“ sollte daher die Nutzungs- und Umweltgeschichte rekonstruiert und die bis in die Gegenwart reichenden Auswirkungen der ehemaligen Metallindustrie auf die Landschaft erforscht werden. Im interdisziplinären Verbund von Physischer Geographie und Bodenkunde, Vor- und Frühgeschichte sowie Botanik wurde in mehreren Projekten der anthropogen bedingte Landschaftswandel in der Oberpfalz untersucht.

Die Eisenerzlagerstätten entlang einer Störungszone von Auerbach über Sulzbach-Rosenberg bis Amberg waren die Grundlage für die wirtschaftliche Bedeutung der Region im Mittelalter (GUDDEN 1987). Die Verarbeitung der Eisenerze erfolgte an den Flüssen der Umgebung. Im Jahr 1475 produzierten über 200 Hammerwerke insgesamt 180.000 Zentner Eisen im Bereich des Oberpfälzer Reviers (LUTZ 1941). Die meisten Hammerwerke waren eine Kombination von Pochwerk, Schmelzhütte und Weiterverarbeitungsstätte (RESS 1950). Die Verhüttung erfolgte im Mittelalter mittels Rennfeuerverfahren und später z.T. in Holzkohlehochöfen (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987).

In dieser Teilstudie des DFG-Graduiertenkollegs 462 soll der anthropogene Einfluss der Hammerwerke an der Vils/Opf. auf die Umwelt anhand der ehemaligen Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach, etwa 12 km südlich von Amberg gelegen, untersucht werden.

Beide waren vom Mittelalter bis zur Neuzeit in Betrieb. Als Geoarchive dienen alluviale und kolluviale Sedimente in Form von Schwemmfächern und Auenarealen sowie ihr Verschneidungsbereich.

Kolluvien und Auensedimente stellen mit ihrem Aufbau und den spezifischen Kennzeichen ein umfassendes Archiv der Landschaftsentwicklung dar. Indikatoren, speziell für den montanindustriellen Einfluss, sind Schwermetall- und Schlackenreicherungen, Pochsande und andere Verhüttungsreste. Diese können z.T. zu einer erheblichen Umweltgefährdung, vor allem der Auenökosysteme, führen. Daher muss die horizontale und vertikale Variabilität der Schwermetallgehalte untersucht werden. Von besonderem Interesse sind zudem Verschneidungsbereiche von Schwemmfächern mit rezenten bzw. fossilen Auenböden. Hier kann die stratigraphische Gliederung Auskunft über die zeitlichen Abläufe geben. Die Schwemmfächer haben möglicherweise Auenbereiche konserviert, die ansonsten einem ständigen Wandel unterzogen sind. Die Schwemmfächer stehen außerdem in Beziehung zu Gräben und Hohlwegen an den Hängen, deren Entstehung anthropogen gefördert wurde. Die Hauptziele der Arbeit sind daher, mit Hilfe von geomorphologischen, sedimentologischen und bodenkundlichen/bodenchemischen Untersuchungen eine Charakterisierung der Sedimente und ihre stratigraphische Einordnung durchzuführen, sowie das Ausmaß der anthropogenen Beeinflussung und Belastung, insbesondere durch die Montanindustrie, zu erfassen und zu bewerten.

Um diese Ziele zu erreichen, muss ein breites Methodenspektrum eingesetzt werden. Zur besseren Einordnung der Befunde wird zunächst eine Analyse der Landschaft durchgeführt (Kap. 5). Es erfolgt eine eingehende Aufnahme der Geofaktoren, die die Landschaftsentwicklung beeinflussen und die Umwelt prägen sowie eine Aufarbeitung des montangeschichtlichen Hintergrundes der Oberpfalz und der ausgewählten Hammerwerke. Aus diesen Informationen werden für den Landschaftswandel besonders relevante Phasen ausgegliedert (Kap. 5.3).

Das Untersuchungsgebiet im Umfeld der Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach wird zu Beginn der Geländearbeit mittels einer Detailkartierung genau erfasst. Grundlage der Untersuchungen sind Rammkernsondierungen und Aufschlüsse in subrezentem bis rezenten Auenbereichen sowie in den angrenzenden Hangbereichen. Die Aufschlüsse werden im Gelände detailliert sedimentologisch-bodenkundlich aufgenommen und im Labor analytisch gekennzeichnet. Geophysikalische Prospektion ergänzt die feldbodenkundlichen Aufnahmen in der Tiefenerfassung und ermöglicht eine Ausdehnung der Befunde in die Fläche. Die in den Geoarchiven erfasste Zeitspanne reicht vom Übergang Spätglazial/Holozän bis zur Jetztzeit. Der zeitliche und inhaltliche Fokus liegt auf der mittelalterlichen Eisenerzverhüttung und -verarbeitung. Neben der feldbodenkundlichen Aufnahme liegt methodisch ein

Hauptaugenmerk auf der geochemisch-mineralogischen Charakterisierung der fluvialen und kolluvialen Sedimente. Dazu werden verschiedene Analyseverfahren, wie etwa die Korngrößenanalyse, die Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte, die Röntgendiffraktion und Rasterelektronenmikroskopie sowie Absolutdatierungen an organischem Material miteinander kombiniert und ihre Eignung für die Fragestellung geprüft. Die Analyse der Schwermetallgehalte und Untersuchungen an Schlacken stellen dabei einen wichtigen Baustein dar. Die Ergebnisse der Gelände- und Laboruntersuchungen werden in Kapitel 6 vorgestellt. Die abschließende Diskussion der Geoarchive und die Synthese folgen in den Kapitel 7 und 8.

Dieses Projekt ist eng mit Untersuchungen zu Bodenerosionsformen und Kolluvien im Hirschwald südlich von Amberg verknüpft (RAAB 2005, RAAB & VÖLKEL 2005). Es ist eingebunden in zahlreiche Untersuchungen im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs 462. Enge Verknüpfungspunkte gibt es zu der Dissertation von Nadine RICHARD über die anthropogen gesteuerte fluviale Morphodynamik im Vilstal (RICHARD 2005). Das Gesamtbild zum Vils- und Naabtal runden die Arbeiten von Kerstin HÜRKAMP (Auswirkungen des historischen Bleierzbergbaus am Oberlauf der Vils), Konrad HEEMSKERK (Fluss- und Talgeschichte im Raum Kallmünz), Niels KRABISCH (Altstrassen in der südlichen Frankenalb) und Andre BAUMANN (Entwicklungsgeschichte der Kalkmagerrasen im südlichen Fränkischen Jura) ab (BAUMANN et al. 2005, HÜRKAMP 2006, KRABISCH 2006). Mit der frühen Besiedlungsgeschichte des Kallmünzer Schlossberges und seines Umlandes am Zusammenfluss von Vils und Naab setzen sich die Studien von Ruth SANDNER und Anton KNITL auseinander (LEOPOLD et al. 2003, SANDNER 2005). Der Kallmünzer Schlossberg war auch in der ersten Laufzeitphase des Graduiertenkollegs bereits Gegenstand verschiedener Untersuchungen (u.a. SCHMIDGALL 2003, NELLE & SCHMIDGALL 2003).

## 2 Stand der Forschung

„Paläoökosystemforschung ist ein interdisziplinär angelegter Forschungsansatz, welcher die Rekonstruktion vormaliger Zustände eines Naturraumes oder eines Kulturräumens verfolgt“ (VÖLKELE 2001, S. 319). Sie bietet „...vor allem die Möglichkeit, quasinatürliche landschaftsökosystemare Zustände der Jetztzeit hinsichtlich ihrer anthropogen bedingten Strukturen und Wesensmerkmale zu differenzieren und landschaftsverändernde Prozesse, die bereits in der Vergangenheit stattfanden, mit Blick auf ihr Ausmaß, ihre Ursachen und ihre Auswirkungen zu bewerten“ (VÖLKELE 2001, S. 319). Sie kann helfen, insbesondere das Zusammenspiel der natürlichen Klimavariabilität und menschlicher Einflüsse besser zu verstehen und damit zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren (OLDFIELD & ALVERSON 2003). Der anthropogene Einfluss ist hoch und erfasst weite Teile der Umwelt, wie etwa Klima, Vegetation, Böden und Gewässer (OLDFIELD & DEARING 2003). Einen umfassenden Einblick in die Zusammenhänge zwischen menschlichem Wirken und globaler Landschafts- und Umweltveränderung gibt SLAYMAKER (2000).

Die vorliegende Arbeit verknüpft im Rahmen der Paläoökosystemforschung die Auswertung von Geoarchiven, insbesondere von Kolluvien und Auensedimenten, mit dem Einfluss und den Auswirkungen der historischen Montanindustrie auf die Umwelt. Neben der Erläuterung wichtiger Begriffe werden in den folgenden Unterkapiteln vergleichbare Studien der beiden thematischen Schwerpunkte hinsichtlich ihrer Befunde ausgewertet. Diese bilden die Basis für Vergleiche mit den eigenen Untersuchungen an der Vils. Grundlegend sind dabei die Ausgliederung von bestimmten Erosionsphasen und die Ausbildung von Schwemmfächern und Kolluvien, die holozäne Auengenese sowie die Art und Weise der Erzverarbeitung und -verhüttung und ihrem möglichen Einfluss auf Sedimentaufbau und Stoffbestand. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf Schwermetalleinträgen.

### 2.1 Ausgewählte Geoarchive holozäner Landschaftsgeschichte

Als Geoarchive können u.a. rezente oder fossile Oberflächenformen, rezente Böden und Sedimente, fossile Böden und Sedimente, Kolluvien und Moore dienen (LEOPOLD 2003). Die darin enthaltenen Informationen geben die Erosions- und Akkumulationsgeschichte sowie den ökologischen Zustand heute und in vergangener Zeit wieder. So zeigen Moore über die enthaltenen Pollen und Makroreste die Vegetationsentwicklung im Laufe der Zeit. Damit erlauben sie Rückschlüsse auf Siedlungs- und Nutzungsaktivitäten in ihrem Umfeld. Der Boden stellt einen historisch-genetischen Komplex dar und ist stark vernetzt mit seiner Umgebung (VÖLKELE 2001). „Der Entwicklungszustand des Bodens an einem bestimmten Standort ist in gewisser Weise als Fingerabdruck zu verstehen, mit Hilfe dessen sich Rückschlüsse auf die Landschaftsnutzung in bestimmten Zeitscheiben ziehen lassen“

(VÖLKELE 2001, S. 320). Eine Reihe pedogenetischer Prozesse wie Entkalkung, Verbraunung, Verlehmung, Lessivierung, Humusbildung, Pseudovergleyung sowie die Profilverkürzung liefern entsprechende Hinweise. Insbesondere der Degradationsgrad gibt Informationen über die Nutzungsgeschichte. Die Bodenerosion, ausgelöst durch eine flächenhafte Schädigung der Vegetationsdecke, zählt zu den größten schadhafte Einflüssen. Sie ist kein Problem der Moderne, sondern existiert bereits seit etwa 7.000 Jahren. Die Bodenerosion kann flächenhaft oder linear in Form von Grabenerosion auftreten (VÖLKELE 2001).

Seit dem Neolithikum prägen Bodenerosion und kolluviale Ablagerung vor allem die Altsiedelgebiete. Insbesondere in Lößgebieten liegen mehrere Meter mächtige Ablagerungen vor. Erosive Niederschläge und fehlende Bodenbedeckung sind die wichtigsten Faktoren der anthropogen induzierten Verlagerung von Sediment. Kolluvien sind junge Sedimente wechselnder Körnung die durch Erosion verlagert und an Hangfüßen bzw. Senken abgelagert werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002; HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997). Die aus dem verfrachteten Bodenmaterial entstehenden Böden bezeichnet man als Kolluvisole. Die Ursachen des Hangabtrages sind zumeist auf menschliche Aktivitäten, wie etwa verstärkter Erosion nach Rodungen, zurückzuführen. Kolluvien stehen damit in enger Beziehung zu Siedel- und Ackerflächen. Kolluvien sind nicht regelhaft geschichtet. „Die Körnung der Kolluvien entspricht dem Spektrum der erodierten Böden. Aufgrund der für sich betrachtet sehr kurzen Transportstrecken findet auch keine erkennbare Materialsortierung oder Korngrößensaigerung statt“ (VÖLKELE & RAAB 1999, S. 314). Häufig enthalten Kolluvien feinverteilte humose Substanz, vergleichbar zu den Gehalten in Ah-Horizonten. Insbesondere bei älteren Kolluvien oder Kolluvien aus Unterbodensubstrat werden jedoch derartige Werte nicht erreicht. Weitere Merkmale können u.a. eine gegenüber den nativen Böden des Sedimentliefergebietes höhere Lagerungsdichte, Wechsel der pH-Werte einhergehend mit Schichtgrenzen, Hydromorphiemerkmale und enthaltene Artefakte wie Keramik und Holzkohlen sein. Wichtige Hinweise liefern auch Gefügereste ehemaliger Bt-Horizonte oder der Aufbau von Tonverlagerungsbahnen. Es müssen nicht immer alle Kennzeichen vorhanden sein, allerdings reicht ein Kriterium zur Ansprache nicht aus (VÖLKELE & RAAB 1999). In der neuen bodenkundlichen Kartieranleitung wurde die Klassifizierung des M-Horizontes dahingehend zum Teil ergänzt (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Die Rekonstruktion von Klimadaten anhand von Kolluvien wird kontrovers diskutiert. LEOPOLD & VÖLKELE (2002) stellen fest, dass Kolluvien zwar klimatische Information enthalten, aber ein syngenetisches Produkt vieler Faktoren wie z.B. Relief, Erodierbarkeit oder Nutzungsart sind. Daher können sie nicht für die Rekonstruktion paläoklimatischer Proxydaten herangezogen werden. Sie lassen jedoch häufig Rückschlüsse auf regionale

Starkregenereignisse zu, die, sofern vorhanden, mit hygrischen Proxydaten korreliert werden können (z.B. BORK et al. 1998).

Zur bestmöglichen Landschaftsanalyse ist es erforderlich, dass Aufschlüsse detailliert aufgenommen werden. Datierbare Funde wie Keramik, Hüttenlehm, Metallfragmente oder Holzkohle erleichtern eine Unterscheidung. Dabei ist zu beachten, dass postsedimentäre Prozesse die Lage der Funde nachträglich verändert haben können. Außerdem können  $^{14}\text{C}$ -Alter organischer Proben durch Beeinflussungen wie etwa enthaltene Feinwurzeln verfälscht werden. Sedimente ohne entsprechende Artefakte können durch Infrarotstimulierte Lumineszenz (IRSL) datiert werden. Schwierig sind Rekonstruktionen in Waldstandorten und Standorten mit sehr stark erodierten oder wenig gegliederten Profilen (BORK 1998 et al.). Um Ursachen und Folgen von historischer Bodenerosion zu analysieren, sind zudem Kenntnisse der Landnutzungsgeschichte und der hygrischen Klimaverhältnisse wichtig. Für die Zeit vor dem Beginn kontinuierlicher Messreihen sind chronikalische Berichte eine entscheidende Informationsquelle. Sie müssen jedoch wegen möglicher Fehler kritisch geprüft werden. Nicht immer ist die Identifikation von Bodenerosion, Bodenakkumulation, Bodenbildung und anthropogenen Eingriffen einfach. Diagnostische Merkmale können u.a. Entkalkung/Aufkalkung, Tonanreicherung/Tonverarmung oder fossile Humushorizonte sein. Bei der Beurteilung des Humusgehaltes muss beachtet werden, dass eine Verschleierung der Befunde durch den Abbau der organischen Substanz, Holzkohlen oder die eingesetzte Methodik erfolgen kann. Zahlreiche Beispiele für anthropogen beeinflusste Landschaftsentwicklung sind bei BORK et al. (1998) aufgeführt. Dazu zählen Winderosionskatastrophen im Oderbruch, Zerschlungung von Landschaften am Beispiel der Wolfsschlucht in Franken oder die holozäne Talauengense.

Sowohl Kolluvien als auch Auenlehme sind korrelierte Sedimente der Bodenerosion. Sie repräsentieren jedoch ein unterschiedlich großes Einzugsgebiet. Der Beginn des anthropogenen Landschaftswandels spiegelt sich in den Kolluvien wider. Es kann zur Zwischenspeicherung von Material an den Hängen kommen (Kaskadenmodell), bevor ein Weitertransport in die Auen erfolgt (CHORLEY et al. 1984, NILLER 2001). Das pleistozäne Relief beeinflusst häufig bodenerosive Prozesse sowie die Ablagerung von Kolluvien und Auenlehmen (HEINE et al. 2005). In Geoarchiven steckt insgesamt ein hohes Informationspotential, aber sie sind oft grobauflösend und teilweise lückenhaft (NILLER 2001).

### 2.1.1 Kolluviale Sedimente

Zahlreiche Studien belegen, dass anthropogen induzierte Bodenerosion nicht ein Phänomen der letzten Jahrhunderte ist. Im Hegau konnten neolithische und bronzezeitliche Kolluvien nachgewiesen werden (SCHULTE & STUMBÖCK 2000). Die festgestellte Innenraumerhöhung

der Viereckschanze von Poign im östlichen Bayern geht auf massive Bodenerosion im Außenbereich zur Spätlatènezeit zurück (VÖLKELE 1998, LEOPLD 2003). Mit Hilfe der Lumineszenz-Datierung wurden zahlreiche Kolluvien untersucht (LANG 1996, LANG & HÖNSCHEIDT 1999, KADEREIT et al. 2002). Die Analyse der ermittelten OSL-Daten (Optisch-Stimulierte-Lumineszenz), vor allem aus dem Kraichgau, ergab ebenfalls, dass die ersten kolluvialen Sedimente im frühen Neolithikum abgelagert wurden. Viele Kolluvien stammen aus der Eisen- und Römerzeit. Die meisten datieren ins Mittelalter (LANG 2003). Kolluviale und limnische Sedimente lassen sich mit dieser Methode besser datieren als fluviale, da diese meist unzureichend belichtet worden sind (LANG 1996, PREUSSER 1999).

Die Anlage von Schwemmfächern erfolgt in der Regel vor dem Holozän und ist abhängig von klimatischen und regionalen Faktoren. Die spätere Weiterentwicklung ist häufig, wie verschiedene Studien zeigen, anthropogen bedingt. Im Alpenvorland ließen sich anhand der Verzahnung von Moorbildung und Schwemmfächer- bzw. Schwemmkegel-Schüttungen geomorphologisch instabile Phasen im Spätglazial, Boreal und frühen Subboreal ausweisen. Phasen relativer Stabilität traten im Präboreal, Atlantikum und mittleren Subboreal bis Subatlantikum auf (JERZ et al. 2000). Auch die Basis der sedimentologisch und geophysikalisch untersuchten Schuttkegel im Finkenbachtal (südlicher Odenwald) ist vermutlich als Blockstrom während des Periglazials entstanden. Darüber befindet sich eine 1 - 2 m mächtige Auflage, die nach ihrer Ausprägung und den enthaltenen Pollen aus starken Erosionsereignissen während des Mittelalters und der Neuzeit entstanden ist. Steine und Blöcke sind ungerichtet und es fehlen fluviale Strukturen und Reste holozäner Bodenbildung (TAVKHELIDSE et al. 2000, TAVKHELIDSE 2001). Schwemmfächer an der oberen Weser, die sich mit Talauensedimenten verschneiden, sind dagegen vermutlich während des frühen Holozäns entstanden. Die Schwemmfächer sind ebenfalls aus ungerichtetem Schutt aufgebaut. Die Sedimente des Schiffbach-Schwemmfächers liegen im Unterhang über Weserkiesen und wurden von nicht differenzierbaren Auenlehmen überdeckt (THOMAS 1991). Schwemmfächer im mittleren Elztal (Schwarzwald) werden hingegen vollständig in die vorletzte Kaltzeit datiert. Die Basis ist ein mächtiger Schotterkörper aus Kiesen, Steinen und Blöcken (RÖHRIG 1991). Untersuchungen an Schwemmfächern in Griechenland zeigen, dass die Anlage der Schwemmfächer auch hier, klimatisch bedingt, im Spätglazial stattfand. Im Holozän kam es dann durch den Anstieg der Bevölkerungszahlen mit Förderung des Abtrags zur Weiterentwicklung der Schwemmfächer (POPE et al. 2003).

Sehr umfassend wurden die Erosionsprozesse im Wolfgraben von BORK et al. (1998) u.a. untersucht. Beim Wolfgraben (Nord-Bayern) handelt es sich um eine tiefe Schlucht im schluffig-sandigen Substrat mit deutlich ausgeprägtem Schwemmfächer. Anhand von Felduntersuchungen an Grabungen und Bohrungen, chemischen Analysen, Datierungen an

Holzkohle und Keramikfunden aus dem 15., 17. und 18. Jahrhundert sowie durch Archivmaterial wurde die Landschaftsgenese rekonstruiert und es konnten neun Phasen der Landschaftsgeschichte ausgewiesen werden. Diese werden daher im Folgenden als Beispiel detaillierter vorgestellt. Die erste Phase der Einschneidung erfolgt während des Pleistozäns, verknüpft mit der erosiven Tieferlegung des Mains. Am Ende des Pleistozäns entwickelt sich in der stabilen Phase 2 eine Braunerde unter Wald. Etwa ab der Römerzeit dehnen sich die Siedlungen in der Region weiter aus (Phase 3). Eine Veränderung der Landnutzung kann jedoch für das Untersuchungsgebiet nicht nachgewiesen werden. Phase 4 umfasst die Zeit nach 700 AD. Die Intensität der Landnutzung steigt rapide, Siedlungen im Umfeld nehmen zu und die Hänge sind oft waldfrei. Zusammen mit extremen Wetterphänomenen, wie das Starkregen- und Hochflutereignis von 1342, führt dies im 14. bzw. frühen 15. Jahrhundert zur tiefsten Einschneidungsphase des Wolfgrabens. In Phase 5 kommt es zu kleineren Rutschungen und zur ersten kolluvialen Auffüllung der Runse mit Sedimenten von den seitlichen Hängen. Während des 30-jährigen Krieges (1618 - 1648) in Phase 6, gingen die Landnutzung und der Druck auf die Landschaft sehr zurück. In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts (Phase 7) stieg die Intensität der Landnutzung wieder an und es kam zu Bodenerosion. Zu dieser Zeit existierte ein Weg in der Schlucht. Während eines langen Niederschlagsereignisses wurde der rezente Graben in die mittelalterlichen Sedimente eingeschnitten (Phase 8). Mit dem weiteren Verlust der Oberböden in Phase 9 geht eine weitere Verschlechterung der Fruchtbarkeit einher. Inzwischen wurden die Felder in Weidennutzung überführt. Heute ist der größte Teil des Gebietes mit Wald bedeckt. Die höchsten Verluste an Bodenmaterial sind für die erste Hälfte des 14., das späte 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts als Folge von extremen Niederschlagsereignissen, intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und Abholzung auszumachen. Für die Intensität der Wetterereignisse sind Klimaveränderungen verantwortlich. Mit Hilfe der Vermessung konnte die Bodenerosion auf etwa 5000 m<sup>3</sup> Sedimentaustrag im jüngeren Holozän quantifiziert werden (BORK et al. 1998, DOTTERWEICH et al. 2003a, DOTTERWEICH et al. 2003b). Extreme Erosionsereignisse sind folglich an eine Kombination von anthropogenen und natürlichen Faktoren gekoppelt. Die klare, eindeutige zeitliche Einordnung der Phasen anhand der Substratunterschiede und verschiedener archäologischer Funde sowie <sup>14</sup>C-Datierungen muss jedoch kritisch betrachtet werden.

Bei Kronach in Oberfranken konnten von DOTTERWEICH et al. (2003) unterhalb einer mittelalterlichen Wüstung an Ober- und Mittelhang ebenfalls neun Bodenerosionsphasen in den letzten 4000 Jahren aufgezeigt werden. SCHATZ (2000) stellt analog zu BORK et al. (1998, 2003) und DOTTERWEICH et al. (2003, 2003a, 2003b) an vier Standorten in Nordostdeutschland „Wechsel von Phasen der Bodenbildung und Oberflächenstabilität unter

Wald mit Phasen der Landnutzung, Bodenerosion und Akkumulation von Kolluvien“ fest (SCHATZ 2000, S. 136).

Andere Studien zeigen jedoch, dass dieses Schema nicht immer gegeben sein muss. Die Forschungen zur historischen und vorhistorischen Bodenerosion in der Region Trier weisen auf eine außerordentliche Abfluss- und Erosionsaktivierung im 1. bis 2. nachchristlichen Jahrhundert hin und scheinen damit an das Römische Reich gebunden zu sein. Nach der frühromischen Aktivitätsphase kommt es in der Völkerwanderungszeit zu einer Stabilitätsphase. Für das Mittelalter konnten ebenfalls morphodynamische Aktivitätsphasen nachgewiesen werden, die zeitlich aber nicht genau eingegrenzt werden konnten. Die Forschungen im nördlichen Saargau ergaben, dass es notwendig ist, jedes Einzugsgebiet individuell zu betrachten. So können die Entstehungszeiten der Schwemmfächer in einer Region durchaus deutlich voneinander abweichen. Bei der Gaugracht und ihrem Schwemmfächer wird von einer frühromischen Ablagerung ausgegangen. Wechsel von Akkumulation und Erosion zeigen sich in der uneinheitlichen Entwicklung des Schwemmfächers (BAUMHAUER et al. 2002). Die Schwemmfächersedimente können zwar geochemisch differenziert werden, jedoch lässt sich makroskopisch keine Schichtung oder Bodenbildung erkennen. Die Anwendung von Verwitterungsindices ist problematisch, da Schwemmfächer unterschiedlich vorverwittertes Material enthalten. Es wird daher davon ausgegangen, dass der untersuchte Schwemmfächer innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne gebildet wurde. Dabei veränderte sich das Einzugsgebiet im Laufe der Ablagerung. Scherbenfunde weisen auf ein römisches Maximalalter hin (KAUSCH et al. 2002a). Eine Korrelation mit klimatischen Verhältnissen im Holozän kann nicht erfolgen. Prägend sind lokale Landnutzung und Witterungs- und Wettergeschehen. Erhöhte Schwermetallanreicherungen stehen in Zusammenhang mit der Verarbeitung schwermetallhaltiger Produkte (KAUSCH 2003). Eine Recherche zur Berichterstattung in der lokalen Presse in der Region Trier zu gravitativen Massenbewegungen ergab außerdem Schwerpunkte der Erosion auf bestimmten geologischen Formationen und entlang von Straßen (KAUSCH et al. 2002). Die Studie in der Region Trier zeigt deutlich die starke regionale Prägung von Erosionsereignissen auf. Sie belegt ferner, dass die zeitliche Eingrenzung der Ablagerungsphasen problembehaftet ist.

Für den Taunus stellt BAUER (1993) wiederum fest, dass die stärksten linearen Einschnitte in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts erfolgten. Dies lässt sich mit Ergebnissen von BORK et al. (1998) und SCHATZ (2000) vergleichen. Allerdings ist die jüngere Geomorphodynamik auch hier stark von der lokalen Geofaktorenkonstellation und der spezifischen Landnutzungsform abhängig (BAUER 1993). In der slowakischen Region Myjava findet sich eine hohe Dichte an Gräben (Gullies), die meist 10 - 15 m tief eingeschnitten sind. Sie

orientieren sich an anthropogenen Elementen, wie etwa Wegen oder Feldgrenzen. Die Hauptbildungsphasen sind für Ende des 16. Jh., um 1730 und von 1780 bis 1840 zu verzeichnen. Das Zusammenwirken von Siedlungsausbau, Rodungen etc. und extreme Niederschlagsereignisse der Kleinen Eiszeit tieften die Gräben in kurzer Zeit stark ein. Der Entstehungsprozess ist aber nicht voll synchron mit den Erosionsphasen in anderen zentral europäischen Staaten (STANKOVIANSKY 2003). Auch hier zeigt sich erneut die regionale Komponente von Bodenerosionsereignissen. Die anthropogene Förderung der Erosion erfolgt sowohl direkt (z.B. durch Wegebau) als auch indirekt (z.B. durch Rodungen). Kernpunkte für die Untersuchungen an der Vils sind daher, ob sich ebenfalls Phasen der Erosion nachweisen lassen und welche Zeitstellung die Schwemmfächergenese hat.

### 2.1.2 Auen und Auensedimente

Unter Auen werden die hochwasserbeeinflussten Talsohlen von Flüssen und Bächen verstanden. Sie sind aus holozänen fluviatilen Sedimenten aufgebaut. In den meisten mitteleuropäischen Tälern lagern darunter pleistozäne Sedimente (z.B. an der Lahn, HEINE 1970). Neben sedimentologischen und pedogenetischen Merkmalen können Großrest- und Pollenanalysen helfen, die holozänen Auensedimente zeitlich einzuordnen (z.B. KREUZ et al. 1998). Die Körnung der abgelagerten Sedimente hängt stark von der Fließgeschwindigkeit des Gewässers ab. Diese variiert während eines Hochwasserereignisses im Auenquerschnitt, so dass gleichzeitig unterschiedlich große Teilchen abgelagert werden. In Ufernähe lagern sich in der Regel die gröberen Sedimente ab, während sich in strömungsberuhigten Zonen, wie etwa in abflusslosen Mulden, feinkörnige Sedimente und Schwebstoffe absetzen. Entsprechend setzen sich Kies und Sand an der Innenseite wandernder Mäanderbögen ab. Überflutungshäufigkeit, -dauer und -ausmaß können sehr variabel sein und beeinflussen damit Vegetationsverteilung und Bodengenese (MIEHLICH 2000). Flussbaumaßnahmen führen häufig zu veränderten Ablagerungsbedingungen und zur Absenkung des Grundwasserspiegels (s. auch Kap. 5.1.2). Die Entwicklung der Böden, stark an das hydrische Milieu gebunden, verändert sich (MIEHLICH 2000). Bei einem Anstieg des Flusswasserspiegels steigt das mit dem Flusswasser hydraulisch verbundene Grundwasser in eingedeichten Auen an und tritt oberflächlich als Qualm- oder Druckwasser hervor. Dieses kann zu erheblichen Anreicherungen von Eisen- und Manganoxiden an den betroffenen Stellen führen (FITTSCHEN & GRÖNGRÖFT 2000). Differenzierend wirkt der Wasserhaushalt (Überflutung, Grundwasser) der Aue auf Böden, Pflanzen und Tiere. Die Böden der Aue gehören meist zur Klasse der Auenböden mit den Typen Rambla, Paternia, Kalkpaternia, Tschernitza und Vega sowie zur Klasse der Gleye. Als Subtypen treten in der Aue häufig der Vega-Gley und der Auengley auf. Für viele Auenböden ist ein stark wechselndes Redoxpotential typisch. Auen stellen eine Senke für Nähr- und Schadstoffe dar. Dabei

überwiegt der Eintrag partikulärgebundener Stoffe. Durch die zumeist hohen pH-Werte in der Aue, ist die Löslichkeit von Schwermetallen gering. Die natürliche Vegetation ist heute häufig durch Ackerbau und Grünland verdrängt (MIEHLICH 2000).

Tallandschaften und der Aufbau der holozänen Auensedimente in Mitteleuropa resultieren „aus dem Zusammenspiel von natürlichen Einflüssen (Relief, Klima etc.) und anthropogenen Eingriffen in den Naturhaushalt (Waldrodung, Flussregulierungen etc.)“ (HEINE 2001, S. 1). Einen guten Überblick über die anthropogen geprägte Entwicklung der Flüsse im Holozän liefert BROWN (1997). Verschiedene Studien belegen eine gewisse Grundstruktur und Chronologie im Aufbau der Auen in den Mittelgebirgen. BUBENZER (1999, 2000) konnte beispielsweise an der Schwülme (Süd-niedersachsen) zeigen, dass an der Basis der Aue stets sandig-kiesige Niederterrassenschotter auftreten. Darüber liegen zumeist schluffig bis sandige, spätpleistozäne Hochflutsedimente (Ablagerung mind. seit dem Alleröd), gefolgt von tonig-schluffigem bis schluffig-sandigem Auenlehm. Inverse  $^{14}\text{C}$ -Alter werden auf Sedimentumlagerungen zurückgeführt. Insbesondere in der Talmitte hat sich über den Hochflutsedimenten eine tonig-schluffige bis schluffig-sandige, schwarze Mudde ausgebildet. Sie entstand in still stehendem oder langsam fließendem Wasser. Die Entstehung ist an diesem Standort in die Jüngere Dryas bis ins Präboreal einzuordnen. Ein flächendeckendes Vorkommen wie in anderen Tälern (vgl. ROTHER 1989) ist auszuschließen. Vergleiche mit anderen Tälern zeigen, dass die zeitliche Stellung der humosen Horizonte variiert. In großen Einzugsgebieten liegt sie im Boreal oder jünger, während kleine Einzugsgebiete eher präboreale Entstehung aufweisen. Letztere reagieren damit eher auf die stabilen Verhältnisse im Früh- und Mittelholozän. An den Talrändern kommt es an der Schwülme zur Verzahnung mit Lössen, Schwemmlössen und Kolluvien. Diese ähneln von der Textur her dem Auelehm der durchschnittlich  $1,70 \pm 1,00$  m mächtig ist und hauptsächlich ins Mittelalter einzuordnen ist. Schwemmfächer von seitlichen Zuflüssen führten zu Staueffekten bei der Sedimentablagerung (BUBENZER 1999, 2000).

Der Aufbau der Sedimente im Unterlauf der Ilme (Süd-niedersachsen) beginnt ebenfalls mit einem pleistozänen Schotterkörper aus Sanden und Kiesen auf dem eine humose Basisschicht aufliegt. Bei der Hälfte der Catenen ließ sich der darauf folgende Auelehm in zwei Phasen gliedern. In einen älteren, kalkfreien, tonig-schluffigen und einen jüngeren, meist kalkhaltigen, ebenfalls tonig-schluffigen Auenlehm. Randliche Verzahnungen mit Schwemmfächersedimenten und Kolluvien erwiesen sich als kompliziert in ihrer Deutung. Ihre Entstehung wird in das Neolithikum gestellt. Es muss aufgrund der Befunde im Holozän zu massiven Umlagerungen gekommen sein, die auch den Schotterkörper betreffen. Die zeitliche Einordnung der Auenlehme erfolgt mittels stratigraphischer Befunde und  $^{14}\text{C}$ -Datierungen. Die Überlagerung der Basisschicht beginnt danach im Frühmittelalter. Im

jüngeren Auelehm wurden an zwei Stellen Eisenschlacken gefunden. Das Sediment war dort sandiger und enthielt Kiese (ROTHER 1989).

An der Sieg (Nordrhein-Westfalen) ist durch wasserbauliche Eingriffe die natürliche fluviale Morphodynamik heute nicht mehr aktiv. Im Oberlauf wurde, wie in der Oberpfalz, ab der Frühlatènezeit Eisenerz und ab dem 19. Jh. auch zunehmend Buntmetallerze abgebaut und verhüttet. Bei Hennef konnten, anschließend an die Niederterrasse, vier Auenterrassen ausgewiesen werden. Sie sind an bestimmte Zeitphasen der Siedlungsentwicklung gebunden. Die Auenterrassen weisen holozäne Schotter überdeckt mit Auenlehm und eingeschnittenen Rinnen auf. In der Oberen Auenterrasse (Phase I), die möglicherweise in der Hallstattzeit abgelagert wurde, führt HEUSCH (1997) die zahlreich vorgefundenen Holzkohlestückchen im Hochflutlehm auf bergbaulichen Einfluss zurück. Die jüngere Mittlere Auenterrasse (Phase III) wird u.a. aufgrund von <sup>14</sup>C-Datierungen mit dem Wiederaufleben des Bergbaus im 10. - 13. Jh. in Verbindung gebracht. Es kommt aber zu einer Verringerung der Abtragsrate, vermutlich als Folge der umsichtigen Waldbewirtschaftung in Form von sog. Haubergen (vgl. Kap. 2.2). Die Aue weist außerdem eine große pedostratigraphische Heterogenität im Bezug auf Substrat, Lage und Alter auf. Die analysierten pedogenen Oxide sind aufgrund des vorverwitterten Materials in den Auen schwierig zu interpretieren. Die erhöhten Fe<sub>d</sub>-Werte sind vermutlich auf die eisenhaltigen Sedimente im Einzugsgebiet zurück zuführen (HEUSCH et al. 1996). Ein eindeutiger Nachweis des Bergbaueinflusses kann jedoch nicht erfolgen. Im Lahntal (Hessen) kann hingegen verstärkter Abfluss und die Akkumulation von Auwaldeichen für die jüngere Bronzezeit, die Völkerwanderungszeit und das frühe Mittelalter nachgewiesen werden. Ab der Römerzeit und vor allem im Mittelalter kam es dort zu einem Reliefausgleich zwischen den exponierten Niederterrasseflächen und der Aue (URZ et al. 2002).

In Bayern zeigen Untersuchungen, dass die Auelehmablagerung zumeist im Neolithikum beginnt. Im Tal der Kleinen Laaber, im Unterbayerischen Hügelland, bildet die Basis ein spätpleistozäner mittel- bis feinkiesiger Talauenschotter auf den sandig-lehmige Auensedimente folgen. In Paläorinnen sind regelhaft Anmoor-Torf-Pakete aus dem Präboreal verbreitet. Die Auenlehmbildung setzt laut NILLER (1998, 2001) in der Eisenzeit ein. MÜNZBERGER (2005) findet jedoch Hinweise auf eine bereits früher, möglicherweise neolithisch, einsetzende Auelehmablagerung. Für Donau und Altmühl stellt HILGART (1995) fest, dass spätestens ab dem jüngeren Subatlantikum der Mensch, anstelle des Klimas, der dominante Steuerungsfaktor für die Flussmorphodynamik wird. Untersuchungen von BUCH (BUCH 1988, BUCH & HEINE 1995) zur fluvialen Geomorphodynamik der Donau ergaben zudem, dass diese im Spätglazial und Holozän im Bezug auf Akkumulation und Erosion über eine vom Klimarhythmus unabhängige Eigengesetzlichkeit bzw. Eigendynamik verfügt. In der

Bogenbachaue (Bay. Wald/Falkensteiner Vorwald) haben holozäne kolluviale Ablagerungen eine würmzeitliche Terrasse überdeckt. In der Aue konnte sich im ausgehenden Boreal und Atlantikum ein Schwarzer Auenboden entwickeln. Darüber liegen mächtige Auenlehme aus dem Späten bis Mittleren Neolithikum, der Bronzezeit und dem Mittelalter. Zwischen der Bronzezeit und dem Mittelalter kam es durch erosive Prozesse zum Abtrag vorher akkumulierten Auelehms. Für die Neuzeit sind extreme Hochflutereignisse für die Jahre 1829, 1879 und 1956/1957 belegt (SCHEIBE 2003, HEINE et al. 2005).

Der Schwarzwald hat, wie die Oberpfalz, eine lange Bergbautradition, was sich zum einen im Stoffbestand (vgl. auch Kap. 2.2.2), zum anderen im Aufbau der Auensedimente zeigt. Eine Zusammenstellung verschiedener Forschungsprojekte im Oberrheintiefland und Schwarzwald geben MÄCKEL & FRIEDMANN (1999) und MÄCKEL et al. (2002). Es lassen sich im Untersuchungsgebiet acht Auenlehmphasen unterscheiden. Im Möhlintal stehen Schotterakkumulation der Latène- und Römerzeit sowie Holzkohlebänder in den mittelalterlichen und neuzeitlichen Ablagerungen mit Bergbauaktivitäten in Zusammenhang (MÄCKEL & FRIEDMANN 1999). Im Zartener Becken (Mittlerer Schwarzwald) hat der anthropogene Eingriff in den Landschaftshaushalt vor allem in der Latènezeit und der Römerzeit stattgefunden. Verlagerte Artefakte weisen auf eine aktive fluviale Geomorphodynamik im Zartener Becken hin. In der Krummbachaue hat wahrscheinlich ein holozänes Hochwasserereignis zu Tiefenerosion geführt. Die entstandene Rinne wurde anschließend von Schottern wieder verfüllt. Oberhalb schließen sich Auelehmdecken an (FRIEDMANN & MÄCKEL 1998). Die Zusammenstellung verschiedener Forschungsergebnisse bei FOELLMER (1999) ergibt für die Flüsse des Schwarzwaldes, dass die Basis der holozänen Talfüllung meist aus groben, schlickreichen Kiesen mit zwischengeschalteten, fast reinen Sanden besteht. Darüber folgen bis zu 2 m mächtige, Schluff dominierte Auenlehme. Die Auenlehme können durch kiesige und sandige Lagen unterbrochen sein. Insgesamt hat das Holozän im Südschwarzwald eine Mächtigkeit von bis zu 5 m. Holz und Holzkohle in Schottern lieferten bronze-, eisen- und römerzeitliche  $^{14}\text{C}$ -Alter, in den feineren Auelehmablagerungen reichen die Alter von der späten vorrömischen Zeit bis zum 18. Jh. n. Chr. Für den Südwest-Schwarzwald lässt sich eine nachhaltige, großflächige Degradation der Wälder zwar nicht nachweisen, aber aufgrund der mächtigen Auelehmablagerungen aus dem Hochmittelalter und der Neuzeit muss ein entsprechender Abtrag stattgefunden haben (FOELLMER 1999).

Auch in Polen kann ein starker Einfluss des hochmittelalterlichen Ausbaus der Siedlungen und Landwirtschaft auf die Auensedimentation festgestellt werden. Auffällig sind Holzablagerungen, die auf Ende Spätmittelalter/Anfang Neuzeit datiert wurden und mit 120 cm Auelehm überdeckt sind (KUKULAK 2003). Eine alluviale Sequenz lieferte KLIMEK

(1999) Informationen über 1000 Jahre Auensedimentation. STARKEL (2005) stellt für Polen fest, dass die deutlichsten Umgestaltungen sowohl an den Hängen, als auch die Auen betreffend auftreten, wenn feuchtere Phasen und Phasen mit verstärktem anthropogenen Eingriffen zusammentreffen. Hervorgehoben werden die Trichterbecherkultur, die frühe Römerzeit, das 11. Jahrhundert n. Chr. und die Kleine Eiszeit. Entsprechende Belege zur Auensedimentation im jüngeren Holozän liegen ebenfalls aus Frankreich und Großbritannien vor (SALVADOR et al. 1993, MOORES et al. 1999, ROWAN et al. 1999, TIPPING et al. 1999, LARUE 2002). In Spanien konnte sogar eine Verzahnung von alluvialen und kolluvialen Sedimenten mit zwischengeschalteten Bodenbildungsphasen etwa ab der Eisenzeit aufgezeigt werden (FAUST et al. 2000).

In allen Studien wird von einer spätglazialen Entstehung des Schotterkörpers an der Basis ausgegangen. Es kann im Holozän zur Umlagerung des Schotterkörpers kommen. Die darüber liegenden Auelehme können häufig in zeitlich trennbare Phasen gegliedert werden. Allerdings treten in der Aufteilung der Phasen regionale Unterschiede auf. Auch der Auelehm kann noch Sande und Kiese enthalten. Die immer wieder auftretenden fossilen humosen Horizonte sind nicht einheitlich in ihrer chronostratigraphischen Stellung. Durch die Auendynamik kommt es vielfach zu inversen  $^{14}\text{C}$ -Altern bei der Datierung organischen Materials (z.B. BUBENZER 1999). Eine anthropogene Beeinflussung der Auendynamik tritt schon häufig ab der Eisenzeit ein und verstärkt sich besonders im Mittelalter. Bergbauliche Einflüsse lassen sich an der Sieg und im Schwarzwald nachweisen. Diese Ergebnisse dienen als Basis für die Auswertung und Einordnung der Befunde an der Vils. Insgesamt lässt sich feststellen, dass holozäne Auensedimente Archive sind, die sehr viele Informationen über die Landschaftsentwicklung enthalten können. Jedoch ist aufgrund der zahlreichen einwirkenden Faktoren, wie klimatische, anthropogene und flussinterne Beeinflussungen, die Interpretation nicht immer deutlich, wobei insbesondere die zeitliche Einteilung schwierig sein kann. Phasen verstärkter Bodenerosion und Auelehmsedimentation gehen aber im Holozän in Mitteleuropa immer einher mit dem Zusammentreffen der beiden erosionsbeschleunigenden Faktoren, Starkniederschläge und intensive Landnutzung durch den Menschen. Trotz regionaler Unterschiede sind bestimmte Zeitabschnitte, wie etwa die frühe Römerzeit oder das 16. Jahrhundert überregional bedeutsam.

## 2.2 Montanwesen und Umweltgeschichte in historischen Bergbaugebieten

Bereits die Jäger und Sammler im Paläolithikum, wie auch die frühen Ackerbauern des Neolithikums, griffen durch ihr Handeln in die Umwelt ein, wie z.B. die nachgewiesene anthropogen geförderte Erosion zeigt (vgl. Kap. 2.1). Ebenso fanden Veränderungen in der Tier- und Pflanzenwelt statt. Ein bedeutender Wechsel trat ein, als der Rohstoff Stein durch Metall als prägendes Kennzeichen der Epochen abgelöst wurde. Die Metalle Kupfer, Zinn,

Bronze (Legierung aus Kupfer und Zinn), Eisen und Messing bzw. Galmei (Sammelbezeichnung für silikatische und karbonatische Zinkerze) gewannen an Bedeutung. Auch Silber, häufig vergesellschaftet mit Blei oder Kupfer sowie Gold wurden genutzt. Mitteleuropa ist reich an Lagerstätten, die sich in den Mittelgebirgen konzentrieren (Verbreitung vgl. MAUS 2000). Dabei ist die wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutsamkeit der Lagerstätte und des Rohstoffs in der jeweiligen Epoche nicht vergleichbar mit heutigen Maßstäben der Wirtschaftlichkeit. Die Metalle dienten der Herstellung von Werkzeugen, Waffen, Schmuck und Münzen. Die Palette der verwendeten Rohstoffe wurde ständig ergänzt und verbesserte Verfahren lieferten unterschiedlichen Qualitäten und Legierungen. Bergbau und Hüttenwesen üben, je nach Intensität und Dauer, einen nachhaltigen Einfluss auf die Umwelt aus. Je mehr Rohstoff abgebaut und verarbeitet wird, desto größer ist in der Regel der Einfluss auf die Umgebung. In zahlreichen Untersuchungen wurden Lagerstätten, alte Bergwerke, Verhüttungsplätze (Öfen, Schlacken), Abraumhalden, Eingriffe in das Geländere relief und die Vegetation untersucht. Die Verhüttung hat in vielen Fällen die Bodenchemie beeinflusst und der enorme Holzbedarf führte zu Entwaldung und damit zu verstärkter Erosion. Schwierigkeiten bereiten bei den Untersuchungen die häufige Überlagerung der Bergbauspuren aus verschiedenen Zeitaltern (STEUER 2000). Aktuelle Beispiele für montanindustrielle Eingriffe von großer Dimension sind die Tagebaue der Braunkohlereviere am Niederrhein und der Niederlausitz oder die Halden der Uranerzaufbereitung in Thüringen (BECKERS et al. 2003, BECKERS 2005). Aber auch der Bergbau in der vorindustriellen Zeit führte zu erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt. Die Umweltschäden entstanden vor allem während des Höhepunktes des Erzbergbaus im Mittelalter und der angrenzenden Neuzeit (GOLDENBERG 2000). Die Probleme, die mit der Erzgewinnung und -verarbeitung einhergingen, waren schon früh bekannt. Georg Agricola beschreibt bereits 1556 in seinem montantechnischen Werk ausführlich die Schäden an Feldern, Wäldern, Flüssen und der Tierwelt (AGRICOLA 1978). Jedoch stand man den Folgen zumeist hilflos gegenüber und setzte die Priorität auf die wirtschaftlichen Interessen. Neben der Änderung des Landschaftsbildes kommt hinzu, dass jedes Erz Verunreinigungen und Beimengungen enthält. Gerade die Buntmetallagerstätten sind zumeist nicht monometallisch und die Elemente weisen häufig ein toxisches Potential auf. In einer Metallurgiekette hat GOLDENBERG (2000) die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zusammenfassend dargestellt. Die Folgen auf Umwelt und Mensch sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Metallurgiekette beginnt mit dem Bedarf an Metall. Über Prospektionen werden Lagerstätten ausfindig gemacht und der Erzabbau beginnt. Dieser erfolgt zunächst in kleineren Schürfen. Später werden dann Schächte, Stollen und Gruben angelegt. Folgen sind Pingen und Abraumhaldenfelder, die Zerstörung der Bodendecke sowie bis heute andauernde Bergschäden durch Setzungsvorgänge und Einstürze. Dies hat sich aktuell im

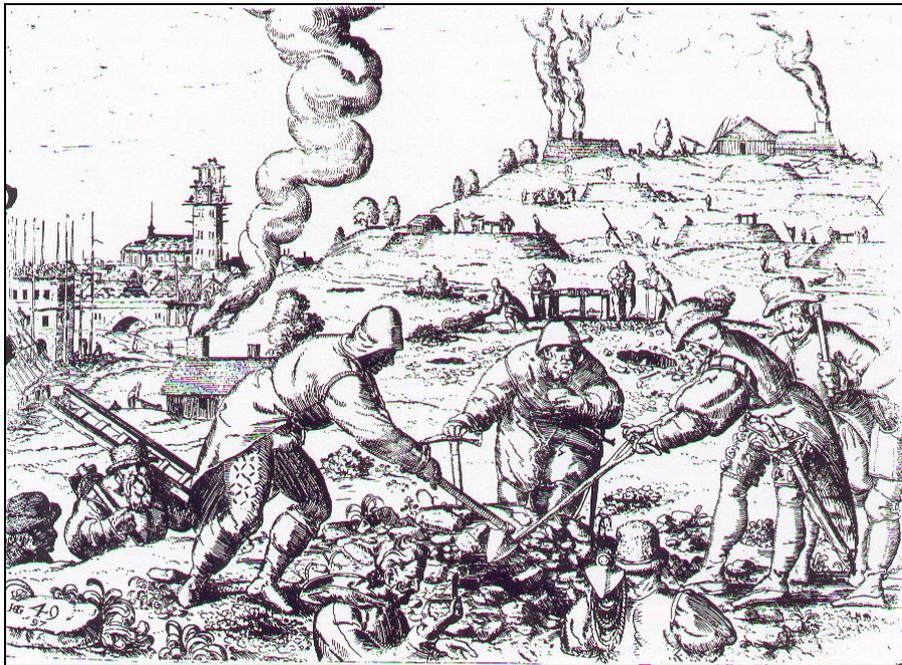
**Tab. 1:** Übersicht über die Auswirkungen und Folgen des (prä-) historischen Montanwesens auf Mensch und Umwelt (nach GOLDENBERG 2000, S. 108)

Landschaftsveränderung	Rodung, Aufbau von Siedlungen und Infrastruktur, Pingenfelder, Halden, Bergschäden, Erosion
Waldvernichtung	Holzverbrauch für Grubenausbau und Aufbau von Infrastruktur, Energiegewinnung aus Holz und Holzkohle
Luftverschmutzung	Staub, Emission von Schwermetall haltigen Dämpfen und Flugstäuben, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , saurer Regen
Gewässerbelastung	Einleiten von Waschabgängen in Gewässer, Grundwasserbelastung durch Auslaugung schwermetallhaltiger Halden
Bodenbelastung	Schwermetallanreicherung in Sedimenten und Böden durch Auslaugung und Umlagerung von Bergehalden, Poch- und Waschhalden, Schlackenalden
Gesundheitsgefährdung	Belastung der Organismen durch giftige Gase und Schwermetalle über Atemluft und Nahrungskette, Vergiftungen

Jahre 2004 gezeigt. Massive Tagesbrüche, die auf mittelalterlichen Bergbau zurückgehen, führten zur Einsturzgefährdung einiger Wohnhäuser in Siegen (Nordrhein-Westfalen) (WESTDEUTSCHER RUNDFUNK KÖLN 2004). Nach der Erzgewinnung folgt, falls notwendig, die mechanische Aufbereitung. Die Erze werden ggf. gepocht, d.h. zerkleinert, gemahlen und gewaschen. Ziel sind eine Abtrennung des tauben Materials und eine Aufkonzentration des Metallgehaltes im Erz. Insbesondere bei Buntmetallerzen führen die Waschabgänge zu einer Verschmutzung der Gewässer. Ein Teil der Erze musste thermisch durch Trocknen und Rösten aufbereitet werden. Hierbei werden beispielsweise beim Rösten schwefelhaltiger Erze große Mengen von Schwefeldioxid frei. Es kann durch sauren Regen zu Vegetationsschäden kommen.

Der wichtigste Schritt ist die Gewinnung der Rohmetalle durch die Verhüttung. Im Mittelalter ist die häufigste Methode zur Eisenherstellung das Rennfeuerverfahren, das im Laufe der Zeit verbessert wurde. „Bei der Verhüttung von Buntmetallerzen (Pb-, Cu-, Zn-, Ag-, Hg-Erze) wurden beträchtliche Mengen von Schwermetallen in Form von Dämpfen und Flugstäuben in die Atmosphäre abgegeben“ (GOLDENBERG 2000, S. 109 - 110). Die toxischen Bestandteile gelangten direkt über die Atemwege oder indirekt über die Nahrungskette (Anreicherungen in Böden, Pflanzen und Tieren, vgl. z.B. BECKER et al. 2000) in den menschlichen Organismus und führten vor allem im näheren Umfeld der Verhüttungsstandorte zu Vergiftungserscheinungen. Als besonders gefährlich gelten die Blei- und Quecksilber-Verhüttung. Man war sich der Gefahren durchaus bewusst und versuchte mit Flugstaubkammern und günstigem Abzug der Dämpfe etwas Verbesserung zu schaffen. Nach der Gewinnung des Rohmetalls erfolgten die Raffination (Reinigung, Veredlung) und die Weiterverarbeitung zu Gegenständen, wie Werkzeug oder Waffen. Ein alter Stich von

Heinrich Göding zeigt eindrucksvoll die entstehenden Dämpfe und die massiven Landschaftsveränderungen im Umfeld der Bergstadt Freiberg im Jahre 1598 (s. Abb. 1).



**Abb. 1:** Massive Landschaftsveränderung durch den Bergbau. Luftverschmutzung und Emission von Schadstoffen mit dem Hüttenrauch. Gründung der Bergstadt Freiberg aus der Sicht des Dresdner Hofmalers Heinrich Göding, 1598 (GOLDENBERG 2000, S. 110)

Für das Montanwesen von entscheidender Bedeutung ist die Bereitstellung der notwendigen Energie. Dies führte zu massiven Eingriffen in die Umwelt, da ein enormer Holzbedarf bestand. Holz bzw. Holzkohle diente vor allem als Energielieferant in den Hüttenwerken, zum Grubenausbau und für den Aufbau von Siedlungen und Infrastruktur. Die Waldentwicklung wurde durch die intensive Nutzung der Wälder stark geprägt. Neben Entwaldung, Degradierung der Ökosysteme, Veränderung der Waldzusammensetzung durch Anpflanzungen ist vor allem die verstärkte Erosion als Folgeerscheinung zu nennen. Heinrich GROSS hat die großflächige Entwaldung zur Holzkohlegewinnung in den Vogesen um 1550 bildhaft dargestellt (s. Abb. 2).

Auch im Oberharz ist der primäre Buchen-Ahornwald im Hochmittelalter weit zurückgedrängt. Es dominieren Sekundärgehölze (ALPER 2002). Eine Veränderung der Waldzusammensetzung durch die Verhüttung lässt sich im nördlichen Lahn-Dill-Gebiet sogar schon für die Latènezeit nachweisen. Holzkohleanalysen eines latènezeitlichen Verhüttungsstandortes im Hengstbachtal zeigen, dass dort vornehmlich Erle vermeilert wurde und es erste Tendenzen zur Niederwaldentstehung gab. Die Untersuchung an Holzkohleresten aus dem Lahn-Dill-Bergland ergab die Existenz von Stockausschlag-



**Abb. 2:** Großflächige Entwaldung zur Holzkohlegewinnung „Die Köhler“ (les charbonniers). Aus der Bildfolge: *La Rouge Myne de Saint Nicolas de la Croix (Vogesen)* von Heinrich Gross, um 1550. (GOLDENBERG 2000, S. 111)

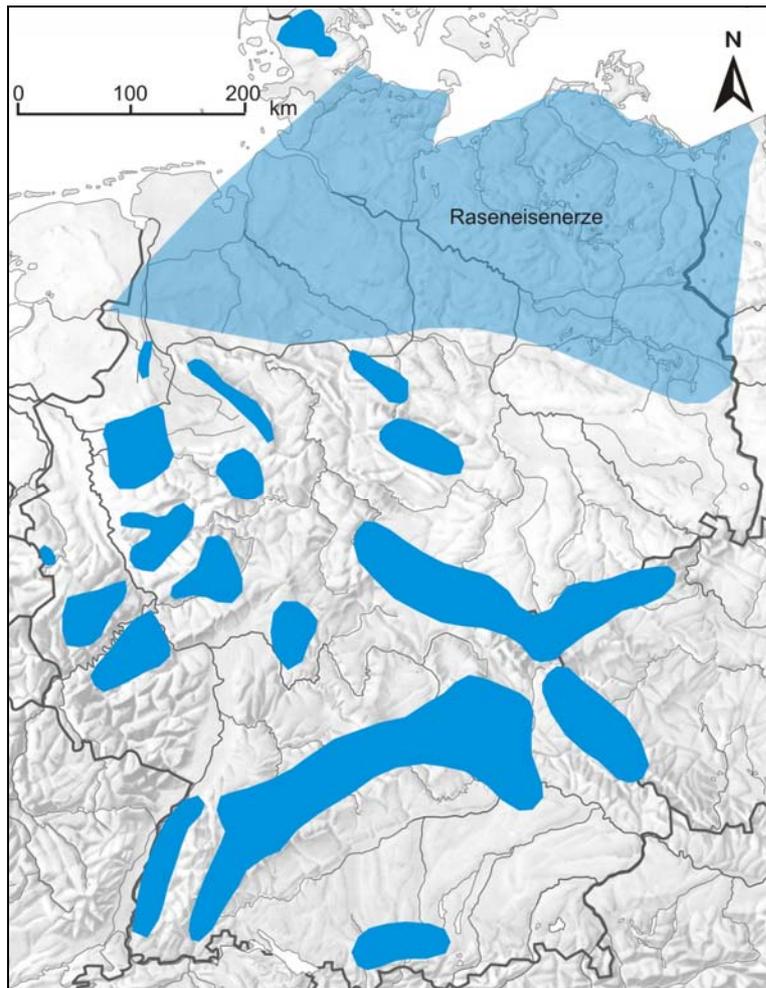
wäldern, die sich bereits im 10. und 11. Jahrhundert ausbildeten. Im 14. Jahrhundert muss sich der Zustand der Waldbestände schon deutlich verschlechtert haben, da vermehrt schlechtwüchsiges Holz und kleine Äste in den Kohlhölzern nachweisbar sind. Im Hochmittelalter werden die Rotbuchenwälder dann gänzlich zu Gunsten von Eichen-Birken-Niederwald zurückgedrängt, nur unterbrochen durch Wüstungsphasen im 14. und 16. Jahrhundert sowie während des Dreißigjährigen Krieges (SPEIER & POTT 1995). In den Zeiten der zunehmenden Holzverknappung und Verwüstung der Wälder wurden im Siegerland und den angrenzenden Bergbauregionen im 15. und 16. Jahrhundert staatliche Zwangsmaßnahmen und Verordnungen erlassen. Ab Mitte des 16. Jahrhunderts entwickelte sich im westfälischen Bergland und im Rothaargebirge der zyklische Waldfeldbau. Die Haubergsverordnungen legen Schlag- und Hutezeiten fest und überführen die Einzelnutzung in eine genossenschaftlich organisierte Wirtschaftsform. Es entstehen Niederwälder (vor allem mit Eichen und Birken) mit Weidenutzung. Ziel war, vor allem die eisenproduzierenden Industrien dieser Gebiete weiter mit Holz versorgen zu können. Aufgrund der Ergebnisse der Pollenanalyse haben sich Waldwirtschaft, Viehweide und Ackerbau in einem zyklischen Nutzungsprozess in der Haubergswirtschaft miteinander vereint (SPEIER & POTT 1995). In der Oberpfalz kam es ebenfalls zu einer starken Degradierung und Dezimierung der Wälder. Eine Waldbewirtschaftung wie in der Art der Siegerländer Hauberge ist aber nicht belegt (vgl. Kap. 5.2.1).

Die Auswirkungen des (prä-) historischen Montanwesens auf Mensch und Umwelt sind vielfältig und abhängig von den lokalen Gegebenheiten. Im Folgenden wird daher zum einen speziell auf die Lagerstätten, Aufbereitung und Verhüttung von Eisenerz eingegangen, da dieses für die vorliegende Studie von zentraler Bedeutung ist (Kap. 2.2.1). Zum anderen werden frühe Umweltbelastungen durch Einträge bergbaubürtiger Stoffe in Auen an regionalen Beispielen aufgezeigt (Kap. 2.2.2).

### 2.2.1 Lagerstätten, Aufbereitung und Verhüttung am Beispiel von Eisenerz

Eisenhaltige Minerale sind in der Natur zahlreich vorhanden, so dass es zu vielfachen Anreicherungen im Zuge von Gesteinsbildung und -zersetzung kommt. Die wichtigsten Minerale der Eisenerzlagerstätten sind Hämatit, Goethit, Siderit und teilweise der Chamosit. Die Bildungsprozesse variieren. Möglich sind vulkanische Vorgänge, marin-sedimentäre Entstehung, hydrothermale Bildung sowie reine Verwitterungserze. Die jüngsten Eisenerzbildungen sind die Raseneisenerze. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften und damit auch die Verhüttungseigenschaften von Eisen sind stark abhängig von den Beimengungen anderer Elemente, wie etwa Schwefel, Phosphor oder Kohlenstoff (MAUS 2000). In Deutschland gibt es zahlreiche Eisenerzlagerstätten und alte Eisenverhüttungs- bzw. -verarbeitungszentren. Schwerpunkte bilden das Rheinische Schiefergebirge (z.B. im Siegerland), der Harz, das Erzgebirge, die Oberpfalz und der Schwarzwald. In Norddeutschland wurden schon seit frühester Zeit die einfach zu gewinnenden Raseneisenerze abgebaut (s. Abb. 3). Regionen mit langer Bergbautradition sind insbesondere der Harz (LIEßMANN 1997, ALPER 2002) und das Erzgebirge (SCHWABENICKY 1992). Eine bedeutende Region der mittelalterlichen Eisengewinnung und -verarbeitung war in Mitteleuropa, neben den Gebieten in Deutschland, auch die Steiermark (Roth 1984). Rund um den Steirischen Erzberg wurden 1537 rund 10.000 t Roheisen produziert mit entsprechend hohem Holzbedarf (LACKNER 1984, ROTH 1984A).

Der Erzabbau erfolgte so lange wie möglich im Tagebau. Vor allem ab dem Mittelalter setzt sich untertägiger Abbau durch. Mit zunehmender Teufe wurden Stollen und Schächte angelegt, die je nach den Gegebenheiten mit Holz zur Sicherung ausgebaut werden mussten. Es entstanden weit verzweigte Grubensysteme. Erz und Bergematerial mussten mühsam nach oben transportiert werden. Hier entwickelten sich immer bessere Fördertechniken (Haspel, Göpel). Das größte Problem bei Erzabbau unter Tage war die Wasserhaltung. Abhilfe sollten Entwässerungstollen schaffen, doch erst die sog. Bulgenkunst konnte seit der Mitte des 15. Jh. das Wasser ausreichend nach oben fördern (WEISGERBER 2000).



**Abb. 3:** Eisenerzlagerstätten und alte Eisenverhüttungs- bzw. -verarbeitungscentren in Deutschland (nach MAUS 2000, S. 22)

Eisenerz ist zwar häufig vorhanden, aber die Herstellung von Eisengegenständen aus dem Erz ist technisch komplizierter als bei Edel- oder Buntmetallen. Die herausragende Stellung von Eisen wurde erst erreicht, als man das schwierige System Eisen-Kohlenstoff und seine zahlreichen Varianten der Eigenschaftsveränderung beherrschte. Die Epoche der Eisenzeit wird unterteilt in Hallstatt- und Latènezeit (ca. 800 bis 15 BC). Eisen spielte auch in der folgenden Römischen Zeit als auch im Mittelalter bis in die Neuzeit eine tragende Rolle. Die Herstellung von Stahl basierte in Europa vom 1. Jh. v. Chr. bis in die beginnende Neuzeit auf dem Rennfeuerverfahren. Im süddeutschen Raum liegen relativ wenige archäologische Geländebefunde zum prähistorischen Bergbau auf Eisen vor. Zahllose Trichtergruben auf dem Frauenberg und auf dem Michelberg bei Kehlheim sind Zeugnis des keltischen und frühmittelalterlichen Abbaus. Häufig sind die vielen großen Pingenfelder in den Mittelgebirgen undatiert. Wahrscheinlich gehören sie überwiegend in das Hoch- und Spätmittelalter. Intensiv erforscht sind die Zentren keltischer Eisengewinnung im Siegerland (Nordrhein-Westfalen) und im Gebiet Dietzhölztal (Lahn-Dill-Kreis, Hessen). Zahlreiche Verhüttungsstellen und Schlackenplätze sind Belege der Intensität der Eisenerzverhüttung.

Während beim Typus der alten Rennöfen zur Keltenzeit Abbau und Verarbeitung räumlich eng miteinander verbunden sind, so führt die fortgeschrittene Technologie im Laufe des Hoch- und Spätmittelalters zur räumlichen und rechtlichen Trennung der Prozessschritte (JOCKENHÖVEL 2000).

Grundsätzlich erfolgt die Entwicklung der Verhüttung vom einfachen Luppenfeuer über Stucköfen, Floßöfen und Hoheöfen zu den Holzkohleöfen mit Winderhitzung, gefolgt von den Kokshochöfen. Der Übergang vom Rennofen zu frühen Formen der Hochöfen vollzieht sich in den Regionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (JOCKENHÖVEL 1995). Auf der Schwäbischen Ostalb zeigen Untersuchungen schon eine Umstellung im 11. - 13. Jahrhundert (JOCKENHÖVEL 2000). In der Oberpfalz geschah dies aufgrund der rechtlichen Bedingungen relativ spät (vgl. Kap. 5.2). Die technische Entwicklung im Mittelalter wird schon im 16. Jh. umfassend von AGRICOLA (1978) beschrieben. Die Luppenfeuer (bis etwa 900 n. Chr.) oder kleinen Rennöfen aus Lehm arbeiten mit einer maximalen Temperatur von etwa 1200 °C. Die größeren und höheren Stucköfen (3 - 5 m) des 16. und 17. Jh. bestehen aus Mauerwerk. Die Blasebälge zur Luftzufuhr sowie die Hämmer werden meist mit Wasserkraft betrieben (JOCKENHÖVEL 1995). Die Einführung des Wasserrades zum Antrieb der Blasebälge war eine überaus bedeutende technische Erneuerung im Mittelalter. Sie ermöglichte deutlich größere Produktionsmengen. Als eines der ersten wasserradbetriebenen Hammerwerke gilt Schmidmühlen in der Oberpfalz (11. Jh.). Im Harz erfolgte die Verlegung der Hütten an größere Fließgewässer ab dem Übergang 12./13. Jahrhundert. Flächendeckend breitete sich diese Technik im 13. Jahrhundert in Mitteleuropa aus (SPERL 1993, ALPER 2002). „In Rennöfen und Stucköfen wird Eisen im direkten, reduzierenden, diskontinuierlichen Verfahren als kohlenstoffarmes, weiches, schmiedbares Eisen, als Stahl gewonnen, in den Floßöfen und Hochöfen im indirekten Verfahren kohlenstoffreicheres, zunächst nicht schmiedbares Eisen, das Roheisen, gewonnen“ (JOCKENHÖVEL 1995, S. 84).

Beim Rennfeuerverfahren wird das Erz zunächst zerkleinert und gewaschen, d.h. gepocht. Das Pochen dient zur Abtrennung des tauben Materials (dem Pochsand) und zur Erhöhung der Reaktionsoberfläche. Falls nötig werden die Erze zum Austreiben von Schwefel, Wasser und Kohlensäure geröstet. Im Zerrrennherd erfolgt das Ausschmelzen des Eisens aus dem Erz. Beim reduzierenden Sintern wird Luft (Sauerstoff), Holzkohle und evtl. Zuschläge, wie Quarz etc., zugesetzt. Die Reduktion im Rennfeuerverfahren kann zwar flüssige Schlacke, aber kein flüssiges Eisen erzeugen, da die nötige Temperatur von 1535 °C nicht erreicht wird. Dies ist der Schmelzpunkt von kohlenstoffreichem Alpha-Eisen. Die reduktive Bildung von elementarem Eisen ist daher eine Feststoffreaktion. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass im Zentrum der Öfen im Mittelalter Temperaturen von 1150 bis 1350 °C

erreicht wurden. Das Reduktionsprodukt ist zum einen flüssige Schlacke, zum anderen die so genannte Luppe, ein mit Schlacke durchsetzter Eisenschwamm. Die Luppe musste anschließend mehrmals ausgeheizt und geschmiedet werden, um alle am Eisen haftende Schlacke zu entfernen. Das gewonnene Weicheisen wurde durch Aufkohlen, einer Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes, zu Stahl (0,2 - 1 % C). Die Schlacke ist noch reich an Eisenoxid, die Ausbeute an metallischem Eisen relativ gering (YALÇIN 1995, BACHMANN 2000). Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise in der Oberpfalz, Gewinnung der Luppe, Verlöschen und Ausschmieden im Wellherd sowie die Weiterverarbeitung geben RESS (1950) und WOLF (1986).

Die später verwendeten, noch höheren Öfen (Floßöfen 1770/1800, Hoheöfen 1800/1830, Holzkohleöfen mit Winderhitzung 2. Hälfte 19. Jh.) erreichen durch verbesserte Windführung und Ofengeometrie deutlich höhere Temperaturen. So war es möglich, im zentralen Bereich des Schachtofens, die Schmelztemperatur des Eisens zu erreichen. Das flüssige Eisen reagiert mit Kohlenstoff zu niedrigschmelzendem Gusseisen mit einem Kohlenstoffgehalt von ca. 4 %. Es kann direkt in Gussformen geleitet werden, ist jedoch spröde und nicht schmiedbar. Um Stahl zu erhalten, muss entgegen gesetzt zum Rennfeuerverfahren, der Kohlenstoffgehalt reduziert werden. In so genannten Frischherden wurde das Roheisen unter Zugabe von Holzkohle noch einmal geschmolzen. In die offenen Schmiedefeuere wurde Luft eingeblasen, die dem Roheisen durch Oxidation Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> entzog. Außerdem wurden die im Roheisen enthaltenen Eisenbegleiter wie Phosphor, Schwefel, Silizium und Mangan beseitigt. Ähnlich arbeitet das Ende des 18. Jh. in England entwickelte Puddelverfahren. Die erste Verwendung von Steinkohlenkoks im Hochofen gelang 1709 in England. In Deutschland wurde die Technik der Kokshochöfen 1796 erstmals eingesetzt und verbreitete sich in den folgenden 100 Jahren. Die Holzkohle verlor etwa um 1850 in den meisten Regionen ihre große Bedeutung. Mit der Entwicklung der Siemens-Martin-Öfen Ende des 19. Jh., Anfang des 20. Jh. war es dann möglich, fast schlackenfreien, flüssigen Stahl zu produzieren (SPERL 1984, JOCKENHÖVEL 1995, BACHMANN 2000). Eine Übersicht zur Entwicklung der Metallverarbeitung in Europa gibt TYLECOTE (1987) und eine chronologische Aufstellung über die Verfahren der Metallformung und ihre Entwicklung vom Mittelalter bis zur Jahrhundertwende in Europa und Übersee liefern LIETZMANN et al. (1984).

Bei dem Prozess der Metallherstellung fallen unterschiedliche Arten von Schlacken an. Sie sind Zeugen der früheren Montanindustrie. Fundlage, Beschaffenheit und Zusammensetzung sind bei der Rekonstruktion der Umweltgeschichte von großer Bedeutung. „Metallurgische Schlacken sind definitionsgemäß bei hohen Temperaturen geschmolzene Silikate oder Silikatgemische, die bei der Verhüttung von Erzen oder bei der anschließenden Weiterverarbeitung der gewonnenen Metalle anfallen. Sie können

unaufgeschmolzene Komponenten sowie Einschlüsse von Metallen oder Metallverbindungen enthalten. ... Die Schlacke hat während des Prozesses wichtige Funktionen zu erfüllen. Sie nimmt unerwünschte Bestandteile und Unreinheiten der Rohstoffe auf, sorgt mit niedrigen Schmelztemperaturen und geringer Viskosität für gute Voraussetzungen zur Separation des zu gewinnenden Metalls (in der Regel durch Dichtentrennung) und schützt die Verhüttungsprodukte vor unerwünschten Reaktionen (z.B. Oxidation). Zusammensetzung und Eigenschaften einer Schlacke werden beeinflusst von der Art des Erzes, den begleitenden Gangmaterialien, den eingesetzten Zuschlagstoffen oder Flussmitteln, der Art des Feuerungsmaterials (Holz, Holzkohle), dem Ofenmaterial und den Prozessparametern wie Temperaturverteilung, Luftzufuhr, Ofenaufbau und Prozessdauer“ (GOLDENBERG 1990a, S. 147 - 148). Holzkohle ist nicht nur Brennstoff, sondern der enthaltene Kohlenstoff dient auch als Reduktionsmittel sowie der Aufkohlung des Eisens. Kalkstein oder Dolomit werden dem Verhüttungsprozess zur Einstellung des Basengrades gezielt zugegeben. 40 - 60 % des Eisens gingen beim Rennfeuerungsverfahren in die Schlacke über (BLANKENBURG & NEUHOF 1984).

Nach der äußeren Form kann man die Produkte des Renn- und Stuckofens unterscheiden in Luppe, Ofenschlacke, Lauf- oder Fließ-Schlacke und Schlacken Kuchen. Die Hauptkomponenten sind Oxide des Eisens (meist als Wüstit ausgebildet), des Siliziums ( $\text{SiO}_2$ ; Quarz), des Aluminiums ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sowie Kalk und Tonerde. Die Anteile können variieren. Häufige Beimengungen sind Mangan, Phosphor, Kalium, Magnesium, seltener Nickel, Kupfer und Schwefel (SPERL 1980). Die kristallinen Phasen der Eisen-Rennschlacke werden neben Glas vor allem aus Fayalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), Wüstit ( $\text{FeO}$ ), Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) und Hercynit gebildet. Wüstit kann sowohl dendritisch als auch körnig ausgebildet sein (BLANKENBURG & NEUHOF 1984). Je nach Art der Atmosphäre während des Entstehungsprozesses, von schwach bis stark reduzierend, lässt sich die Eisenbilanz aufteilen in  $\text{Fe}_{\text{met}}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ . Die Zusammensetzung des Glasanteils einer Schlacke ist ein Indikator für die Überhitzung der Schlacke und die nachfolgende Abkühlungsgeschwindigkeit. Schlacken können unterschiedliche Einschlüsse enthalten, wie z.B. Eisen oder Holzkohle (SPERL 1980). Fayalitschlacken sind meist von brauner bis schwarzgrauer Farbe. Die Hauptphase Fayalit ist erkennbar an grauen, langprismatischen, leistenförmigen Kristallen. Dendritische Eisenoxide (Wüstite) durchziehen die Matrix in hellgrau. Die Grundmasse besteht häufig aus einer dunkelgrauen Glasmasse. Daneben können unaufgeschmolzene Quarzkörner oder Eisentröpfchen auftreten (GOLDENBERG 1990a).

Schlacken können indirekt über eingeschlossene Holzkohlen ( $^{14}\text{C}$ -Analyse) oder mittels Thermolumineszenz datiert werden (KEMPA 1995, WAGNER 1995). Allerdings sind

Datierungen dieser Art an Schlacken nicht immer eindeutig (ELITUSCH 1984). Eine weitere Möglichkeit der zeitlichen Einordnung von Schlacken besteht über ihre Zusammensetzung. Insbesondere prähistorische Schlacken fallen durch ihren hohen Eisengehalt und damit höhere Dichte auf. Sie enthalten auch eher Holzkohlen. Mittelalterliche Schlacken sind sehr variabel, da Laufschlacken, Schmiedeschlacken, Verhüttungsschlacken und glasartige Schlacken auftreten können. Vergleiche von Eisenverhüttungsschlacken aus dem Rennfeuerprozess mit neuzeitlichen Eisenhüttenschlacken im Schwarzwald weisen in der chemischen Zusammensetzung deutliche Unterschiede auf. Der FeO Gehalt sinkt von um 70 % auf etwa 2,5 %, einhergehend mit dem Anstieg von SiO<sub>2</sub> und CaO (GOLDENBERG 1990a). Fayalit und Wüstit haltige Schlacken sind typisch für die Zeit vor der Entwicklung von Floß- und Hochofenverfahren, d.h. für niedrige Schmelztemperaturen (KRONZ & KEESMANN 1995). Auf der Schwäbischen Alb weisen Schlacken des 7. - 8. Jahrhunderts n. Chr. eine erste deutliche Abnahme des Eisenoxidgehaltes auf. Außerdem ist Fayalit statt Wüstit als Hauptkomponente enthalten. Der Glasanteil nimmt ebenfalls zu. An einem Verhüttungsplatz aus dem 11. - 12. Jahrhundert n. Chr. wurden schon glasig erstarrte Fließ-Schlacken aufgefunden. In ihrer Zusammensetzung ähneln sie modernen Stahlschlacken (YALÇIN & HAUPTMANN 1995). Allerdings lassen sich Schlacken nicht immer aufgrund ihrer Zusammensetzung zeitlich einordnen. In der südlichen Ortenau wurden an Rennofenplätzen und Halden neben fayalitischen Fließ-Schlacken auch glasige Schlacken gefunden (GASSMANN 1993). Die zeitliche Einordnung dieser Fundplätze von der Römerzeit bis in das 9. Jh. n. Chr. bestätigt das durchaus mögliche Auftreten dieser Schlackenart beim althergebrachten Rennfeuerprozess. Auch Funde an einem Rennofenstandort des 13./14. Jahrhunderts aus dem Lahn-Dill-Gebiet zeigen, dass auch in traditionellen, eher kleinen Rennöfen durchaus neben stark eisenhaltiger Schlacke auch glasige Schlacken entstehen können (LAMMERS 1995). KREHER & HEIMANN (1999) legen ebenfalls dar, dass die chemisch-mineralogische Zusammensetzung von Schlacken trotz gleichem Fundplatz sehr unterschiedlich sein kann. Mögliche Ursache ist eine unterschiedliche Zeitstellung innerhalb eines Fundplatzes, was eine Einordnung sehr erschwert. Insgesamt sind Schlacken daher im Bezug auf ihr Alter oft schwierig zu trennen. Laut einer Empfehlung von Dr. W. SCHARFF (GEOARCH, Gaildorf-Münster, schriftl. und mündl. Mitteilung) eignen sich Keramikfragmente häufig besser als Schlacken zur groben Datierung von Kolluvien. Randstücke und Verzierungen sind nicht unbedingt nötig, da Brenntemperatur, Brennbedingungen und Rohstoffe einer gewissen zeitlichen Entwicklung unterliegen.

Schlacken stellen in Bergbaugebieten ein häufiges Fundgut dar, allerdings kommt es oft zur Verlagerung oder Aufarbeitung von Schlacken. Dies erschwert die Interpretation beträchtlich. Die Verlagerung kann Teil kolluvialer Prozesse sein oder durch gezielte Nachnutzungen erfolgen. Schlacken eines keltischen Verhüttungsplatzes etwa wurden an einem steilen Hang

verlagert und sind bis in eine Tiefe von 25 - 30 cm anzutreffen (WILMS 1995). Untersuchungen an hoch- und spätmittelalterlichen Schlackenplätzen an der oberen Dill/Dietzhölze ergab, dass die Größe von 2 - 25 m Durchmesser schwanken kann. Die breite Verteilung der Schlacken ist zumindest in einigen Fällen auf das Abfahren der Schlacken zurückzuführen. Die Schlacken wurden zum einen aufgrund des z.T. hohen Eisengehaltes in Krisenzeiten nochmals verhüttet oder sie wurden als Baumaterial (Wege, Fundamente etc.) genutzt. Recyclingmaßnahmen dieser Art führen zur Zerstörung der archäologischen Objekte und zur Fundverlagerung. Trotz ihrer Zeitstellung war die Eisenausbringung gering, da die Schlacken bis zu 60 % Resteisen enthalten (WILMS 1995a). Für den Südschwarzwald ist dokumentiert, dass größere Schlackenmengen auf landwirtschaftlichen Flächen oder in mehreren Kilometern Entfernung vom Eisenschmelzwerk deponiert wurden (GOLDENBERG 1990). Es lassen sich ebenfalls häufig Verhüttungsreste in den Bachsedimenten finden. Die Zuordnung ist meist schwierig. An der Bode im Harz konnten Schlacken jedoch als Leitgerölle ausgewertet werden (KLEßEN & CHROBOK 1989, KLEßEN 1993, siehe auch Kap. 2.2.2). Für die Oberpfalz ist belegt, dass Schlacken ferner für Uferbefestigungen verwendet wurden (ZAHN 1976). Heute werden die verschiedenen Schlacken vor allem im Straßenbau und in Form von Zuschlagstoffen in der Zementindustrie verwendet. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind Düngemittel, Hüttenbims oder die Herstellung von Leichtbeton und Hohlblocksteinen (BLANKENBURG & NEUHOF 1984).

Vor der Verwendung als Füllmaterial bei Baumaßnahmen muss eine Untersuchung auf die stoffliche Zusammensetzung erfolgen. Schlacken können bedenkliche Konzentrationen an Schadstoffen enthalten. Diese können festgebunden sein oder leicht in Lösung gehen. Beispielsweise wurde in Sulzbach-Rosenberg bis 1999 Hochofenstückschlacke ausgebracht, welche zu Sulfidausträgen führte. Am Wehr Hammerkröblitz (Schwarzach) wurden Gießereischlacken und -sande mit Chrombeimengungen gefunden (Akten WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Die von FRÖHLICH (1980) untersuchten Schlacken der Oberpfalz weisen einen hohen Eisengehalt auf. Die Mangengehalte schwanken zwischen 0,3 und 2 - 10 %. Die Chromwerte sind relativ hoch. Ein hoher Anteil an Wüstit weist auf eine sehr unvollkommene Reduktion des Eisens hin. Dies ist meist bei älteren Schlacken der Fall. Die Zusammensetzung der Schlacken hängt in großem Maße vom Erz ab. Eine Reihe von Untersuchungsschritten ist nötig, um ein differenziertes Bild der Schlacken zu erhalten. Dazu zählen u.a. die makroskopische Untersuchung und Beschreibung, nasschemische Verfahren, Magnetiersierbarkeitsmessung und mineralogische Untersuchungen (Röntgenographische Untersuchungen, Auflichtmikroskopie, Dünnschliffe). Bei der magnetischen Trennung (z.B. Permanentmagnet) treten allerdings zwei Probleme auf. Zum einen sind Schlacken nicht immer magnetisch, zum anderen tritt Magnetismus im Boden nicht nur bei Schlacken auf. Tests mit Proben aus dem Untersuchungsgebiet lieferten keine

verwertbaren Ergebnisse. Die Separation mittels Schwereretrennung über Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Dichte ist problematisch, da Schlacken unterschiedliche Dichten haben können (vgl. FOELLMER 1999). Schlacken sind zudem nicht monomineralisch. Die Heterogenität von Schlacken stellt ein großes Problem bei der analytischen Untersuchung und Auswertung dar.

### 2.2.2 Frühe Umweltbelastungen in Auen durch Einträge bergbaubürtiger Stoffe

Insbesondere Schwermetallanreicherungen können gut zur Dokumentation historischer Vorgänge herangezogen werden. Als Ansatz dient dabei, dass bestimmte Elementmuster bestimmten Siedlungs- und Produktionsphasen zugeordnet werden können (SCHELL 1998). Speziell Einträge durch frühe Bergbauaktivitäten sind nachweisbar (u.a. MATSCHULLAT et al. 1992, DOBLER 1999, FOELLMER 1999). Schwermetallgarnituren können außerdem einen Beitrag zur Gliederung der Kolluvisole liefern (KRAUSE & PFEFFER 2004). Untersuchungen in ehemaligen Bergbaugebieten, wie etwa dem Harz oder dem Schwarzwald, zeigen, dass „die über die Jahrhunderte hinweg andauernde Abtragung von Bergehalden, Aufbereitungsrückständen und Schlackenalden durch Bäche und Flüsse, teilweise auch durch den Wind, sowie die kontinuierliche Auslaugung der verbliebenen Halden durch Sicker- und Grundwasser“... „vielerorts zu einer deutlichen Belastung von Sedimenten, Böden und Wässern durch Schwermetalle geführt“ haben (GOLDENBERG 2000, S. 112). Im Schwarzwaldvorland konnten in Böden im Bereich von Talauen und Schwemmfächern Bleiwerte von über 500 mg/kg lufttrockener Boden festgestellt werden (GOLDENBERG 2000). Die Anreicherung von Schwermetallen, Schlacken und Pochsandern sowie der bodenkundlich-sedimentologische Aufbau sind damit Zeugen der frühen Umweltbeeinflussungen durch die Montanwirtschaft. Über Menge und Lage der anthropogen bedingten Stoffeinträge lässt sich die Umweltgeschichte rekonstruieren.

In dieser Arbeit werden Schwermetalle definiert als Metalle mit einer Dichte ab  $4,5 \text{ g/cm}^3$  (HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997, VÖLKEL 2003). Hierzu werden u.a. Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Platin, Quecksilber, Selen, Thallium und Zink gezählt (HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997, ALLOWAY 1999). Schwermetalle kommen natürlich in unterschiedlichen Konzentrationen in Gesteinen und Böden vor (vgl. Kap. 5.1.3). In Auensedimenten bedingt das Ausgangssubstrat im Einzugsgebiet die Grundbelastung. Es erfolgen aber zusätzlich anthropogene Einträge in Böden und Sedimente, besonders auf Flächen in direktem Kontaminationsbereich industrieller Produktionsstandorte. In Flusssedimenten und Auenböden resultieren die zusätzlichen Belastungen sowohl aus direkten und indirekten Einleitungen als auch durch atmosphärische Deposition. Abgesehen von sehr sauren Lösungswässern werden Schwermetalle vorwiegend in partikulärer Form freigesetzt und verlagert. Mehr als 90 % der

Schwermetallfracht eines Flusses wird in der partikulären Phase transportiert. Die Anreicherung von Schwermetallen im Fluss- und Auesediment hängt von vielen Faktoren ab, die bei der Beurteilung beachtet werden müssen. Dazu zählen u.a. das Spektrum der Schwermetalle in Abhängigkeit von Art und Dauer des Eintrags, die Mobilität der einzelnen Elemente, die Belastungspfade, ggf. Verdünnungseffekte sowie Talform, Transportenergie, Abflussregime, Fließzeiten, Lage im Flusslauf, Zuflüsse, Jahreszeit, Wasserführung (hydrologisches Regime), Wassermilieu (pH-Wert, Ionenkonzentration etc.), Menge der Schwebstoffe usw.. Die Auswertung mehrerer Studien ergab, dass die fluvialgeomorphologischen Prozesse der Ablagerung und Verteilung sehr komplex sind (MILLER 1997). Der Anteil der Schwermetalle und der technogenen Sedimente (Schlacken) aus historischem Erzbergbau in den Auensedimenten unterliegen einer großen Schwankungsbreite (MACKLIN et al. 1997). Dabei erfolgt in breiten und flachen Tälern in der Regel eine höhere Anreicherung. Viele Untersuchungen belegen zudem, dass ein enger räumlicher Zusammenhang zwischen Schwermetallgehalten und den Emissionsquellen besteht. Die Konzentrationen nehmen von der Quelle der Emission flussabwärts ab. Außerdem ist die Belastung meist flussnah am größten und kann abrupt wechseln. Um- und Zwischenlagerungen können die chronostratigraphische Einordnung erschweren. In Abhängigkeit vom physiko-chemischen Milieu (z.B. Aciditätsmilieu, Präsenz von Adsorbentien) unterliegen die Schwermetalle zusätzlich einer elementspezifischen Mobilität. Blei gilt als gutes Markerelement bei Untersuchungen zu anthropogenen Einträgen, da es bei einem pH-Wert  $> 5$  sehr immobil ist. Viele Schwermetalle werden im sauren Bodenmilieu mobilisiert und sind dann auch pflanzenverfügbar. Es besteht zudem ein Zusammenhang zwischen Gesamtgehalt, mobilem Gehalt und pH-Wert. Diese Mobilität ist je nach Element unterschiedlich. Beispielsweise ergibt sich bei Blei eine starke Mobilität bei hohen Konzentrationen und niedrigen pH-Werten. Wichtigste Bindungspartner der Schwermetalle sind Tonminerale und die organische Substanz, aber sie werden auch von Fe-, Mn- und Al-Oxiden sorbiert. Das chemische Verhalten ist elementspezifisch. Während Blei vorwiegend an die organische Substanz gebunden ist, liegen Chrom, Zink und Nickel vor allem an Tonmineralen gebunden vor (GAIDA et al. 1993, ALLOWAY 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Bei Untersuchungen in einem Blei-Zinkerzbergbauggebiet in Slowenien zeigten aber neben Pb auch die Elemente Cr, Cu, Ni, Pb und Zn eine Tendenz sich in organischen Horizonten anzureichern (VREČA et al. 2001). Auch am Fluss Tyne (England) gehen hohe Gehalte von organischer Substanz mit erhöhten Schwermetallkonzentrationen einher. Außerdem sind die Schwermetalle mit Eisen- und Manganoxiden vergesellschaftet (MILLER 1997). Einige Schwermetalle, wie Kupfer und Zink, stellen essentielle Mikronährelemente für Pflanzen und Tiere dar. Andere Elemente, etwa Cadmium, Quecksilber und Blei sind ab einer bestimmten Konzentration toxisch. Erhöhte

Schwermetallgehalte hemmen mikrobielle pedogene Prozesse. Schwermetalle können auch aus Schlacken gelöst werden, wie Untersuchungen an historischen Bleischlacken zeigen (GEE et al. 1997). Normalerweise besteht die größte Anreicherung von Schwermetallen in der Feinbodenfraktion (z.B. GERLACH et al. 1993). In Bergbaugebieten kann jedoch auch ein Großteil der Schadstoffe an die (Grob-) Sandfraktion gebunden sein (MACKLIN & DOWSETT 1989). In besonderen Fällen kann die Kontamination der Flusssedimente mit Schwermetallen genutzt werden, um Sedimentationsraten zu bestimmen, was LECCE & PAVLOWSKY (2001) am Beispiel von Pb und Zn aufzeigen. Häufig korrelieren die Gehalte bestimmter Elemente miteinander. EIBERWEISER (1995) konnte etwa nachweisen, dass z.B. Zink mit Nickel in ihrem Verhalten im Boden eng miteinander korrelieren. In der Studie von GAIDA et al. (1993) wiesen Cr und Cu sowie Cu und Pb Ähnlichkeiten in ihrem Verhalten auf, Cd, Zn, Ni, Tl, Cu und Mn zeigten sich leicht verlagerbar. Weitere Kennzeichen und Merkmale von Schwermetallen werden ausführlich bei ALLOWAY (1999) und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002) vorgestellt.

Neben dem natürlichen Abtrag führen vor allem der mittelalterliche und neuzeitliche Bergbau mit Pochwerken, Hüttenwerken und Schmieden zur Freisetzung bergbaubürtiger Stoffe. Durch die Nutzung der Wasserkraft ab dem Mittelalter zur Verarbeitung und Verhüttung der Erze sind häufig Flüsse und Auen von Einträgen betroffen. Im Folgenden werden Befunde aus verschiedenen Studien, räumlich zusammengefasst, zu dieser Problematik vorgestellt. Der regionale Schwerpunkt liegt dabei in Deutschland, jedoch werden auch ausgewählte Beispiele aus Europa erörtert. Die Ergebnisse dienen als Referenz sowohl methodisch als auch im Bezug auf die Einordnung der Gehalte und mögliche Ablagerungsphasen, da für die Oberpfalz entsprechende Untersuchungen bisher fehlen (vgl. Kap. 1).

Im Harz liegen große Buntmetall- und Eisenerzlager. Im Zentrum der Untersuchung von DOBLER (1999) stehen die Flusseinzugsgebiete von Bode und Selke im Ostharz mit zahlreichen Betrieben der Montanwirtschaft. DOBLER untersuchte die Sedimente auf Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ag, Cd und teilweise As. Im Gebiet der Bode lag der Schwerpunkt auf der Eisengewinnung, aber auch Kupfer- und Silbererze wurden abgebaut und verhüttet. Das Selkegebiet ist geprägt durch den Abbau und die Verarbeitung von Brauneisenstein, Silber, Flussspat und, in geringerem Umfang, Schwefelkies und Kupfererz. Es wechselten sich Hoch- und Rezessionsphasen des Bergbaus ab. Die heute noch vorhandenen Schlackenhalden entsprechen nicht dem historischen Verteilungsmuster, da Schlacken häufig aufgearbeitet wurden oder im Straßen- und Wegebau Verwendung fanden. Es ist davon auszugehen, dass bis zum Spätmittelalter die Einträge zahlreich, jedoch klein und diffus waren. Ab der Neuzeit hingegen erfolgten konzentrierte und direkte Einträge von Schlacken. Starke Wechsel in der Zusammensetzung der Auensedimente sind auf abrupte

Wechsel der Abfluss- und Sedimentationsdynamik zurückzuführen. Weiterhin verändern Verbauungen das Ablagerungssystem. DOBLER geht davon aus, dass ufernahe Kiesbänke durch Hochwasserereignisse im zweiten Teil des 18. Jahrhunderts abgelagert worden sind. Humose Auensedimente sind dort seit dem Hochmittelalter entstanden (durchschnittlich 5,1 % organische Substanz). Als Ursache werden vor allem die hohen Erosionsraten in Folge des hohen Holzverbrauchs angesehen. In einem Flussabschnitt wurde die Terrassierung des Talbodens beobachtet. Als mögliche Ursache „kann die Tieferlegung des Gerinnebettes als Folge lokaler Bergbauaktivitäten im Zusammenwirken mit starken hygrischen Klimaschwankungen des Spätmittelalters angesehen werden“ (DOBLER 1999, S. 77). Gleichzeitig sind für diese Zeit sowohl verstärkte Erosion als auch eine Intensivierung der Bergbauaktivitäten bekannt. Ab dem 16. Jahrhundert dominiert zunehmend die Sedimentation.

Frühestens ab dem 7. Jh. führt der Buntmetallbergbau zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen in der Selke. Die sehr hohen Belastungen an der Selke stehen im Zusammenhang mit spätmittelalterlich bis neuzeitlichen Pochwerken. In einem Flussabschnitt treten im ersten Meter der Profile laminar geschichtete Wechsellagerungen von Pochsanden und lehmigen Zwischenschichten auf. In den relativ jungen (18. - 19. Jh.), ufernahen Pochsandlagen treten extrem hohe Konzentrationen, insbesondere von Blei und Zink, Cadmium und Silber auf. Beispielsweise wurden in einer Probe 3.551 Pb mg/kg, 5.896 Zn mg/kg, 430 Cu mg/kg und 89,2 Fe g/kg gemessen. Die Pochsandlagen können in Einzelfällen mehr als 200 g/kg Eisen aufweisen. Oberbodenerosion spielt im Einzugsgebiet der Selke erst zu Beginn des 20. Jh. mit der Intensivierung der Landwirtschaft eine größere Rolle. Vermischungen mit älteren Sedimenten führen auch zur Belastung junger Auensedimente. Aufgrund der pedochemischen Bedingungen (u.a. hoher pH-Wert) sind die Schwermetalle recht immobil. Aus ökologischer Sicht muss jedoch verhindert werden, dass über Ufererosion Sedimente mit erheblichen Schwermetallfrachten verlagert werden.

Die Bode ist deutlich geringer mit Schwermetallen belastet als die Selke. Erhöhte Eisengehalte durch die jahrhundertelange Eisenverhüttung und -verarbeitung sind nur in Sorge und Tanne in flussabwärtigen, humosen Auensedimenten bemerkbar. Für die Harzbode wird festgestellt, dass es durch die frühe Eisenverhüttung zwar zu erhöhten Sedimentationsraten gekommen ist, aber nicht zu einer Anreicherung von Schwermetallen. Die Konzentrationen von Eisen liegen normalerweise zwischen 30 und 40 g/kg, erreichen aber z.B. in einem Schlackenhorizont 87 g/kg Eisen. Aufgrund der Schwermetallverteilung in den Profilen lassen sich Phasen erhöhten Eintrages (z.B. 18./19. Jh., 20. Jh.) und Phasen mit geringen Anreicherungen beobachten. Neben Krisen wie dem 30jährigen Krieg sind auch Verdünnungseffekte z.B. durch Hochwasser als Ursache für die unterschiedlichen Gehalte

denkbar. An Bode und Selke bestehen aber auch Flussabschnitte oder Standorte mit geringen Schwermetallgehalten (DOBLER 1999, 2000, 2003).

Das Bodesystem hat, wie auch Flüsse in anderen Mittelgebirgsregionen, sehr große Milieuänderungen in Folge anthropogener Eingriffe in ihrem Sedimentregime erfahren. Dies reicht von Uferverbauungen, Wehren, Einträgen technogener Gesteine bis zu umfangreichen Regulierungsbauwerken (Talsperren). Die Harzer Metallhüttenindustrie hat bedeutende Wirkung auf die Zusammensetzung des Flusssediments der Bode gehabt. Technogenes Material findet sich z.T. in großer Menge in der Geröllfracht und hat den Charakter von Leitgeröllen (KLEßEN 1984). Die Proben wurden in der Regel als Oberflächenmischproben von Sand- und Kiesbänken entnommen, gesiebt, die Schlacken abgetrennt (Schwereretrennung, Magnetscheider), mit Chemikalien gereinigt und anschließend unter dem Binokular sortiert und bestimmt. Unterschieden wurden metallreiche schwarze bis rotbraune Eisensilikatschlacken, metallarme glasige Silikatschlacken und Kohleschlacken. Die Schlacken entstehen bei unterschiedlichen Verhüttungsprozessen und Ofentypen. „Das Schlackenmaterial tritt in seiner räumlichen Verteilung vor allem in zwei Erscheinungsweisen auf: erstens als punktförmige oder flächenhafte Konzentration (Haldendeponie) an etwa 60 ehemaligen Hütten- bzw. Rennfeuerstandorten, zweitens in linienhafter Verbreitung, indem es vorwiegend durch anthropogene Einschüttung in das rezente Sediment des Bode- und Ilse-Flusssystem gelangte oder durch den Einsatz als Wege- bzw. Dammbaumaterial verteilt wurde“ (KLEßEN & CHROBOK 1989, S. 25). Über die Funde lassen sich in Vergessenheit geratene metallurgische Produktionsplätze nachweisen. Im Mittelharz war neben der Eisenverhüttung, zunächst im Rennfeuerverfahren, Kupfer- und Silbergewinnung verbreitet. Vermutlich ab dem 14. Jahrhundert wurden produktivere Stucköfen zur Eisengewinnung an wasserreichen Flussabschnitten angelegt. Die Entwicklung der Holzkohlehochöfen ließ bei optimaler Produktion eine himmelblaue, metallarme, vollkommen glasartig erstarrte Schlacke entstehen. Bei einem unvollkommenen Schmelzvorgang entstand hingegen dunkelbraune bis schwarze Schlacke. Solche Öfen waren etwa von 1550 bis 1925 in Betrieb. Die blauen Silikatschlacken sind ein guter Schichtzeiger, da sie nicht vor dem 16. Jahrhundert abgelagert worden sein können. Allerdings ist bei vereinzelt Vorkommen zu beachten, dass ähnliche Schlacken auch bei älteren Verhüttungsverfahren auftreten können. Außerdem kann es zu historischen Verlagerungen des Gerinnebettes gekommen sein kann. An einzelnen Standorten wurden außerdem Puddelöfen, Kokshochöfen und Siemens-Martin-Öfen sowie Glashütten betrieben. Eine Bilanzierung der im Untersuchungsgebiet angefallenen Schlacken ist problematisch, da zahlreiche Faktoren zur Reduzierung des ursprünglichen Schlackenvolumens beigetragen haben, vor allem durch die erneute Verhüttung und die Ausbringung als Schüttgut im Bauwesen (KLEßEN

1984, KLEßEN & CHROBOK 1989, KLEßEN 1993, mündliche Mitteilung Dr. R. KLEßEN, Geographisches Institut, Humboldt Universität Berlin).

Im Westharz wurden bei den beiden Harzflüssen Innerste und Oker Hochflut- und Flusssedimente, die Schwebstofffracht und Wasserproben in Bezug auf Schwermetalle untersucht. In dieser historischen Bergbauregion liegt eine hohe Schwermetallbelastung, insbesondere durch Blei und Cadmium vor. Im Flusssediment befinden sich häufig Schlacken. Als Hauptemissionsquellen für Schwermetalle konnten die Haldengebiete identifiziert werden (EGGERS 1996). Mittels Schwermetallanalyse und Pollendatierung wurde von MATSCHULLAT et al. (1992) ein Auesedimentkern der Oker untersucht und eine Zuordnung zu den Bergbauphasen unternommen. Jedoch ist nur die Schwermetallanreicherung des modernen Bergbaus eindeutig belegbar. Auenlehme der unteren Aller, deren Zuflüssen Oker, Innerste und Leine sind, wurden ebenfalls hinsichtlich der Schwermetallkonzentrationen untersucht. Die Auenlehme erreichen durchschnittlich eine Mächtigkeit von 1 m. Aus früheren und jetzigen Untersuchungen kann durch pollenanalytische Datierungen und petrographische Aufnahmen der Auelehm in eine mittelalterliche und eine neuzeitliche Phase unterteilt werden. Korrelationen zwischen Korngröße und Alter sowie zwischen Glühverlust und Alter bestehen aber nicht. Hohe Korrelationskoeffizienten zeigen sich zwischen Pb und Zn, Ni und Cd sowie zwischen Cu und Zn bzw. Cu und Pb. Es besteht „ein klarer Zusammenhang zwischen der Belastung der Sedimente mit den Metallen Zink, Blei, Kupfer und dem Alter dieser Sedimente. Auelehm und Rinnenfüllungen, die in der Zeit von 800 - 1200 n. Chr. und davor sedimentiert worden sind, weisen demzufolge deutlich geringere Gehalte der Elemente Zn, Pb und Cu auf als Sedimente, die zwischen 1200 - 1750 n. Chr. abgelagert wurden“... „Der Eisengehalt ist aufgrund der unterschiedlichen Reduktions- und Oxidationsverhältnisse infolge der Bodenbildungsprozesse nicht in Zusammenhang mit dem Alter der Sedimente zu sehen“ (CASPER 1994, S. 34 - 35). Die Metallgehalte der älteren Sedimente streuen weniger als die der jüngeren Sedimente. Daher wird von CASPER angenommen, dass es sich um die annähernd natürliche Belastung der Sedimente handelt. Die Aller-Sedimente sind insgesamt im Verhältnis zu den Oker-Sedimenten geringer belastet. Ursache ist sehr wahrscheinlich ein Verdünnungseffekt, der mit zunehmender Entfernung von den Liefergebieten sowie dem Zustrom weniger belasteter Wässer eintritt. Die zum Teil hohen Werte von Zink (bis zu 1161 ppm) und Blei (bis zu 740 ppm) sind mit großer Wahrscheinlichkeit ursächlich mit dem Abbau entsprechender Lagerstätten im Harz verbunden (CASPER 1994).

Ein weiterer Fluss im Einzugsgebiet des Westharzes ist der Uferbach. Die Rammelsberg-Erze enthalten vor allem die abbauwürdigen Metalle Kupfer, Zink und Blei. Aufgrund der geochemischen und mineralogischen Untersuchungen sowie mit Hilfe von <sup>14</sup>C-Datierungen wurden vier Bergbau- und Verhüttungsphasen ausgeschieden: Mittelalterlich (1140 -

1345 A.D.), Karolinger (825 - 890 A.D.), späte Kaiserzeit bis Anfang frühes Mittelalter (425 - 500 A.D.) und späte Bronzezeit bis Hallstattzeit (825 - 625 B.C.). Die zeitliche Einordnung der Sedimente wird mit vergleichbaren Ergebnissen von der Oker und vom Rammelsberg gestützt. Insbesondere bei Blei und Zink ergaben sich große Spannbreiten zwischen den maximalen und minimalen Werten. Die Mangangehalte sind unterhalb 130 cm recht konstant. In geringeren Tiefen kommt es zu starken Wechsels in der Mangankonzentration, welche wahrscheinlich ein Indikator für sich verändernde Grundwasserstände sind. Im Oberboden macht sich die landwirtschaftliche Nutzung der letzten Jahrzehnte bemerkbar (Akkumulation von Ca und P). Die vier festgestellten Anomalien gehen mit einem „fining up“ der Sedimente einher. Außerdem zeigen sich in diesen Tiefenbereichen vermehrt Schlackenpartikel und Holzkohlen. Neben <sup>14</sup>C-Datierungen wurde auch versucht, OSL-Datierungen an den Bohrkernen vorzunehmen. Aufgrund des geringen Probenmaterials war dies jedoch nicht erfolgreich. Mit Hilfe der gewonnenen Daten und Modellierungen wurden die höchsten Erosionsraten für das späte Mittelalter mit 4 mm Abtrag pro Jahr berechnet. Die Studie zeigt auch, dass eine sorgfältige Standortauswahl, mit ruhigen, gleichmäßigen Sedimentationsbedingungen wichtig für aussagekräftige Untersuchungen ist (MATSCHULLAT et al. 1997).

Die Beispiele aus dem Harz verdeutlichen, dass sich Schwermetallanreicherungen aus der Art des verhütteten Erzes und der Nähe zur Emissionsquelle ergeben. Zudem kann unter bestimmten Bedingungen eine zeitliche Gliederung des Auelehms erfolgen. Die Schwermetallgehalte sind dabei die wichtigsten Merkmale, aber auch Schlacken können wertvolle Hinweise liefern.

Neben den Untersuchungen im Harz ist der Schwarzwald ein Schwerpunkt der bisherigen Forschung. Im Südschwarzwald wurden von der Römerzeit an bis in das 20. Jh. mit wechselnder Intensität vor allem silberhaltige Blei-Zink-Erzgänge abgebaut. Die Blütezeit des Silbererzbergbaus lag im 12. bis 14. Jahrhundert. Teilweise wurden auch Hämatit und Bohnerze abgebaut. FOELLMER (1999) hat den Einfluss des Abbaus von Blei-Zink-Erzen im Schwarzwald untersucht. Die holozänen Talauen und Schwemmfächer der Rhein-Nebenflüsse Möhlin, Neumagen und Sulzbach weisen im Verhältnis zu benachbarten Gebieten stark erhöhte Gehalte an Blei, Zink und Cadmium auf. In Profilen wurden bis zu 5.000 mg/kg Blei und bis zu 1.000 mg/kg Zink festgestellt. Beim Element Blei traten sogar Extremwerte von 25.000 mg/kg auf. Die Auswertung von 554 Oberbodenproben ergab u.a. dass die Mediane der Schwermetallgehalte von den Halden über die Bachsedimente zu den Böden abnehmen.

Häufig kommt es zu einer Korngrößenabhängigen Schwermetall- und Arsenanreicherung. Sand- und Grobschluffanteile weisen eine geringere Sorptionsfähigkeit gegenüber

Schwermetallen auf, so dass normalerweise eine Art Verdünnungseffekt in Proben mit wenig feineren Kornfraktionen auftritt. Im Teilgebiet oberes Möhlintal zeigt sich allerdings, dass ein größerer Teil der Schwermetall- und Arsengehalte vermutlich an die gröbere Kornfraktion gebunden ist. In der Sandfraktion dieses Gebietes finden sich zahlreiche Schlackenkörner, allerdings kann nur bei Barium eine Korrelation zwischen dem Vorkommen der Schlacken und erhöhten Gehalten festgestellt werden. Ursache ist vermutlich die Aufbereitung der Erze und damit der Eintrag von Pochsanden und -schlämmen sowie Waschabgängen in die Flüsse. Die in der Sandfraktion der Auensedimente häufig vorhandenen kleineren Schlackenbruchstücke entstammen der Blei-Zink-Erz-Verhüttung. Sie treten in unterschiedlichen Variationen, abhängig vom Entstehungsprozess und dem Alter, auf. „Versuche, den Schlackengehalt der Sedimente mittels Schwereretrennung genauer zu quantifizieren blieben erfolglos, da die Dichte der Schlackenkörner stark schwankt“ (FOELLMER 1999, S. 44).

In allen Auensedimenten konnte eine gegenüber den geogenen Hintergrundwerten deutliche Erhöhung der Blei-Gehalte festgestellt werden. Die absoluten Gehalte schwanken aber auf kurzer Entfernung (laterale Variabilität) und zeigen auch im vertikalen Verlauf der Profile eine starke Variabilität. Für die Möhlin kann insgesamt festgestellt werden, dass flussnahe Standorte zumeist höhere Bleigehalte aufweisen, wobei als Ursache häufigere Überflutungen vermutet werden. Am Sulzbach hingegen unterscheiden sich flussnahe und randliche Bereiche nicht. Beim Vergleich von Sulzbach und Möhlin zeigt sich weiter, dass, bis auf Kupfer, die Mediane der Schwermetall- und Arsen-Gehalte im Sulzbach wesentlich höher sind. Ursachen sind das unterschiedlich große Einzugsgebiet, die unterschiedliche Erzführung sowie die längere Dauer des aktiven Bergbaus im Sulzbachtal. Eine vertikale Verlagerung der Schwermetalle hat im Sulzbachtal bei einem durchschnittlichen pH-Wert von 6,0 kaum stattgefunden. „Dafür spricht der gleichsinnige Verlauf mit der Tiefe von im Boden relativ immobilen Elementen wie Blei, Kupfer und Silber und relativ mobilen Elementen wie Zink, Cadmium und Barium“ (FOELLMER 1999, S. 99). Aufgrund kleinräumiger Fazieswechsel sind Korrelationen zwischen den Profilen schwierig. Die höchsten Gehalte sind sehr wahrscheinlich hochmittelalterlich bis frühneuzeitlich (FOELLMER 1999).

Das Verteilungsmuster der Schwermetall-Konzentrationen hat einen deutlichen Bezug zum alten Schwarzwälder Bergbau. Die Untersuchungen zeigen außerdem eine besonders starke Korrelation zwischen Blei und Silber. Dies ist ein Beleg dafür, dass die Belastungen eine Folge des ehemaligen Blei-Silber-Bergbaus sind. An einem Standort ergeben sich Hinweise darauf, dass bereits zur vorrömischen Zeit Blei-Zink-Erze abgebaut wurden. An der Möhlin zeigen Schlackenfunde und stark erhöhte Schwermetallgehalte in Auensedimenten mögliche mittelalterliche Hüttenstandorte an. Hohe Schwermetallgesamtgehalte, insbesondere von

Blei und Cadmium, im Bereich ehemaliger Erzabbau- und Verhüttungsanlagen ergeben zusammen mit niedrigen pH-Werten der Auensedimente eine starke Mobilisierbarkeit und Pflanzenverfügbarkeit. Bei Baumaßnahmen bzw. der Nahrungs- oder Futterproduktion muss dies beachtet werden.

BERGFELDT (1995, 1995a) hat in seiner Arbeit alte Bergbaustandorte im mittleren Schwarzwald, insbesondere Halden und Böden auf ihre Umweltgefährdung hin untersucht. Es stellte sich heraus, dass zwei Untersuchungsgebiete (Wittichen und Wildschapbach) besonders mit Schwermetallen und Arsen belastet sind. Im Gebiet von Wittichen sind vor allem die hohen Arsenkonzentrationen auffällig. Während das Arsen in den Böden durch niedrige pH-Werte nur wenig verfügbar ist, führen die hohen pH-Werte in den Halden zu großer Mobilität des Arsens, so dass das Sickerwasser stark belastet ist. Im Bereich der ehemaligen Farbmühle und Silberschmelze von Wittichen sind die Schwermetallkonzentrationen ebenfalls sehr hoch. Hohe Blei- und Kupferwerte sind im Gebiet der Grube Friedrich-Christian vorhanden. Untersuchungen ergaben Anreicherungen in Gräsern und Gemüse. Ausgangspunkt der Kontaminationen sind besonders die Halden (BERGFELDT 1995).

Die Untersuchungen im Schwarzwald verdeutlichen das Gefährdungspotential für die Umwelt, welches von historischen Schwermetallanreicherungen ausgehen kann. Wie auch im Harz gehen die höchsten Gehalte auf hochmittelalterliche bis frühneuzeitliche Bergbauperioden zurück. Neben den Untersuchungen aus historischen Bergbaugebieten Deutschlands liegen zahlreiche Studien zu bergbaulich bedingten Umweltbelastungen aus anderen Ländern vor. Vorgestellt werden Studien aus Polen, Großbritannien und Spanien.

Im Einzugsgebiet des im südlichen Polen liegenden Mala Panew Flusses führt seit historischer Zeit der Abbau und die Verarbeitung von Blei, Silber und Zink zu extremen Belastungen im Sediment (z.B. bis zu mehrere Tausend ppm Zink). In Rinnenfüllungen der Flussaue wurden sieben Profile angelegt und die Proben auf Ba, Cd, Cu, Pb und Zn analysiert. Mit Hilfe dendrochronologischer Untersuchungen an Bäumen konnte das Minimumalter der Flussablagerungen bestimmt werden. Aufgrund ihrer geringen Mobilität wurden auch hier Ba, Cu und Pb zur zeitlichen Einordnung der Sedimente herangezogen. Ba und Cu korrelieren relativ gut miteinander und zeigen ab 1960 einen sehr starken, plötzlichen Anstieg. Die Werte sind nicht konstant hoch, sondern variieren mit der industriellen Einleitung. Bei Pb erfolgt die starke Zunahme in den 70iger Jahren des 20. Jahrhunderts. Nach CISZEWSKI & MALIK (2004) war der Mala Panew im Zeitraum von 1960 bis 1985 mit einer der am stärksten mit Schwermetallen belastete Fluss in Europa. Die belasteten Sedimente können je nach Lage unterschiedlich mächtig sein. Insbesondere die Elemente Zn und Cd zeigen in Sedimenten gleichen Alters Verlagerungen von mehreren Dezimetern,

die jedoch aufgrund von Schwankungen des Wasserspiegels je nach Profil sehr variabel sein können. Es reichen schon weniger als 40 Jahre, um die originär abgelagerten Schwermetallkonzentrationen zu verwischen. Wechselnde Wasserstände führen demnach zu erheblichen Migrationen der Schwermetalle, was eine chronostratigraphische Einordnung anhand der Elementgehalte erschwert (CISZEWSKI & MALIK 2004).

Untersuchungen im Lox Yeo Tal in Großbritannien haben gezeigt, dass neben dem 17. - 19. Jahrhundert auch schon Bergbauaktivitäten während Römischer Zeit und früher zu Anreicherungen von Schwermetallen geführt haben. Um Fehlinterpretationen durch unterschiedliche Bodenparameter zu vermeiden, wurden hier Schwermetallratios gebildet (MACKLIN et al. 1985). Im Bereich des Northern Pennine, im nördlichen England, liegen zahlreiche Lagerstätten. Historischer Erzbergbau hat die Sedimente im Tees River Basin stark beeinflusst. Seit der Römerzeit werden Blei- und Zinkerze abgebaut. Der Höhepunkt des Abbaus war von 1815 bis 1880 für Bleierz und von 1880 bis 1920 für Zinkerz. Frische Hochflutablagerungen auf eine Strecke von 55 km wurden 1993 auf Pb, Zn, Cd, Cu, Fe und Mn untersucht. Im Bereich des Abbaugesbietes liegen die Werte bei bis zu 6.880 mg/kg Pb, 1.920 mg/kg Zn und 5,95 mg/kg Cd. Die Schwermetallkonzentration nimmt in der Regel mit zunehmender Entfernung von den Abbaugesbietes ab. Ausnahmen stellen mit sekundären Maxima Cu und Fe dar. Untersuchungen ergaben außerdem eine Veränderung der mineralogischen Komponenten. Dies hat einen bedeutenden Einfluss auf die Speicherung der Schwermetalle und belegt, dass die Erzkörper und Abraumhalden die größte Quelle für Schwermetalle sind (HUDSON-EDWARDS et al. 1997). Untersuchungen im mittleren Tyne-Tal in Nord-England belegen, dass die Bleikonzentrationen in den Sedimenten mit Einsetzen des Bergbaus ab dem 17. Jahrhundert um das 10fache auf mehr als 1000 mg/kg Blei angestiegen sind (PASSMORE & MACKLIN 1994). Weitere Belastungsgebiete in Großbritannien wurden von PIRRIE et al. (2002) in Cornwall und HILLIER et al. (2001) in Schottland untersucht.

Im Südwesten Spaniens liegen im Einzugsbereich des Rio Tinto Kupfer- und Pyritvorkommen, die seit der Bronzezeit abgebaut werden. Der intensivste Abbau geschah von 1873 bis 1954. Die Auensedimente des Rio Tinto sind als Folge der bergbaulichen Aktivitäten mit As, Cu, Pb, Ag und Zn belastet. Träger der Schwermetalle sind vier Hauptmineralgruppen. Diese stammen sowohl direkt aus Halden und Abraum als auch aus sekundären Reaktionsprozessen. Kupfer und Zink sind in den Auensedimenten des Rio Tinto viel mobiler als Blei und Arsen (HUDSON-EDWARDS et al. 1999).

Wie auch schon im Schwarzwald kristallisieren sich im Ausland Halden als eine besonders große Quelle des Austrages von Schwermetallen heraus. Zudem kann die Mobilität bestimmter Elemente leicht zu verfälschten Ergebnissen führen.

Zusammenfassend belegen die Studien, dass Flüsse und ihre Auen eine Senke für unterschiedlich bergbaulich bedingte Ablagerungen darstellen. Dabei stehen die Hinterlassenschaften des letzten Jahrhunderts im Vordergrund, auch wenn die Tradition des Abbaus und der Verarbeitung oft viel weiter in der Geschichte zurück reichen. Die Interpretation der Sedimente und Schwermetallgehalte im Auenbereich ist, wie die Untersuchungen zeigen, aus mehreren Gründen nicht unproblematisch. In Auen herrschen keine kontinuierlichen Sedimentationsbedingungen und -raten. Episodisch auftretende Hochwasserereignisse, zumeist verbunden mit extremen Niederschlagsereignissen, führen zu Erosion, Akkumulation und Umlagerungen (vgl. Kap. 2.1). Dadurch kann es auch im Mittelalter oder in der Neuzeit noch zur Um- oder Ablagerung von Kiesen gekommen sein. Möglich sind ebenso Sedimentationslücken durch vollständige Erosion, insbesondere von älteren Ablagerungen. Auch die eingetragenen Schwermetalle sind von den Umlagerungen betroffen, dennoch kann häufig eine Zuordnung von Sedimentationszeitraum und Bergbauphasen erfolgen. Dies geschieht sowohl über die Elementgehalte als auch mit Hilfe von archäologischen Funden oder  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an organischem Material. Bei neuzeitlichen Einträgen mit größerer Dimension und markanten Peaks ist dies häufig leichter möglich als in (prä-) historischen Ablagerungen. Aber auch mittelalterliche Phasen lassen sich recht gut ausgrenzen und zeigen den teilweise hohen Eintrag dieser Zeit. Kritisch zu beurteilen ist die Einteilung, wenn sie auf Einzelfunden oder geringen Konzentrationsunterschieden beruht, da hier die Gefahr von Fehlinterpretationen z.B. durch Messfehler oder Verlagerungen groß ist. Zumeist erfolgt eine Anreicherung im Feinsediment, aber in Bergbaugebieten können auch Sande z.B. durch Aufbereitungsprozesse (Pochsande) belastet sein. Natürliche und anthropogene Faktoren bewirken kleinräumige Wechsel, so dass das Verteilungsmuster der Schwermetallgehalte auf kleinstem Raum variieren kann. Hinzu kommt die vertikale Verlagerung der Elemente. Daher eignen sich nur bestimmte, möglichst immobile Elemente als Marker. Trotzdem stellen fluviale Sedimente ein wertvolles Archiv zur Rekonstruktion ehemaliger Bergbauaktivitäten dar. Es zeigt sich aber auch, dass nicht nur aktuelle, sondern auch historische, vorindustrielle Altlasten bestehen, die der systematischen Untersuchung bedürfen. Vor allem die Buntmetallverhüttung stellt aufgrund des toxischen Potentials vieler dieser Elemente noch heute ein Umweltproblem dar. Untersuchungen im Rahmen des Graduiertenkollegs am Oberlauf der Vils, einem historischen Bleierzabbaugebiet, bestätigen ebenfalls, dass historische Einträge zu einem aktuellen Umweltproblem werden können und in Planungen zu Renaturierungen oder sonstigen Bauvorhaben beachtet werden müssen (LEOPOLD et al. 2003, HÜRKAMP et al. 2003, HÜRKAMP 2006). Die Ursachen und Auswirkungen früherer Umweltschädigungen geben zudem Auskunft über die Reaktion der Ökosysteme und die Fähigkeit zur Regeneration und ermöglichen damit Aussagen für die Zukunft (GOLDENBERG 2000).

### 3 Untersuchungsmethoden

Die Methodik umfasst neben Gelände- und Laboruntersuchungen auch Archivstudien. Dazu erfolgt eine umfassende, spezifische Auswertung der Bergbaugeschichte der Oberpfalz sowie archivalischer Quellen und Akten aus Bibliotheken und Ämtern. Insbesondere sind zu nennen die Ortsakten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Abt. Vor- und Frühgeschichte, Außenstelle Oberpfalz in Regensburg sowie Akten des Wasserwirtschaftsamtes Amberg (u.a. Ergebnisse chemischer Analysen von Vilsedimenten und Gewässerproben, historische Pläne, Baugrunderkundungen). Sie dienen einer detaillierten Analyse des naturräumlichen und geschichtlichen Hintergrundes. Die verwendeten geologischen und topographischen Karten sowie verschiedene Pläne unterschiedlicher Maßstäbe, z.T. in digitaler Form, sind in Tabelle A 1 im Anhang aufgeführt.

#### 3.1 Geländeuntersuchungen

Die geomorphologische Detailkartierung stellt einen wichtigen Baustein in der Analyse des Arbeitsgebietes dar. Sie erfolgt im Anschluss an eine Übersichtsbegehung. Die Kartierung im Gelände orientiert sich an den Vorgaben des Arbeitskreises Geomorphologische Karte (LESER & STÄBLEIN 1975) und basiert auf dem Maßstab 1 : 5.000 (Flurkarte), um ein kleinräumiges Bild der Strukturen zu erhalten. In der geomorphographischen Karte werden zur Reliefcharakterisierung Täler, Tiefenlinien, Wölbungen, Stufen, Kanten, Böschungen und Kleinformen aufgenommen. Die hydrographische Karte enthält Fließgewässer, stehende Gewässer und Vernässungszonen. Gewässer, die im Zuge der Renaturierung bzw. dem ökologischen Ausbau der Vils (vgl. Kap. 6.1) entstanden oder verändert wurden, sind besonders klassifiziert. Außerdem wurde die Hochwassersituation im Januar 2003 erfasst. Um ein vollständiges Bild der Landschaft zu erhalten, ist die Aufnahme der Vegetation bzw. der Landnutzung notwendig. Die Art der Bestockung ist u.a. für die Einschätzung der Erosionsneigung oder zur Abschätzung der Standortbedingungen wichtig. Die Kartierung im Gelände wird durch die Auswertung von Luftbildern ergänzt. Für die in dieser Arbeit behandelte Thematik ist eine detaillierte Vegetationsaufnahme nicht notwendig. Daher erfolgt die Kartierung in 10 Klassen: Acker, Grünland/Mähwiese, Saumgesellschaften (Waldrand, Ackerrandstreifen, Sträucher, einzelne Bäume), Nadelwald, Laubmischwald, Feuchtwiese/Hochstaudenflur, Feuchtwiese mit Mahd, Auwald i.w.S. (uferbegleitende Wald- und Staudenflur), Streuobstwiese und Siedlungsflächen. Von Auwald im weiteren Sinne wird gesprochen, da es sich zumeist nicht um einen natürlichen Auwald handelt. Häufig handelt es sich um bachbegleitende Busch- und Baumreihen. Durch die Renaturierung der Vils seit Mitte der 90er Jahre werden auetypische Arten wie Erle, Weide und Esche gefördert. Dadurch setzt sich in einigen Flächen immer mehr der Auwaldcharakter durch. Der

beherrschende ökologische Faktor sind regelmäßige Überschwemmungen (ELLENBERG 1996). Kennzeichnend für die Klasse Feuchtwiese mit Mahd ist gegenüber der Klasse Grünland/Mähwiese eine stärkere Vernässung, eine artenreichere Pflanzengesellschaft und eine nur ein- bis zweimal jährlich erfolgende Mahd. Die Aufnahme anthropogener Beeinflussungen, wie die Lage ehemaliger Sägewerke oder der Verlauf des Abwasserkanals, ist besonders für die Standortwahl der Rammkernsondierungen sowie zur Einordnung der Sedimentbefunde wichtig. Alle Informationen und Daten werden in ein Geographisches Informationssystem (GIS) überführt. Dies ermöglicht eine Verknüpfung von Informationsschichten sowie die Durchführung von geostatistischen Operationen wie z.B. Flächenberechnungen.

Eine tachymetrische Geländevermessung erfolgt im Verschneidungsbereich des großen Schwemmfächers und dem von RAAB (RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005) untersuchten linearen Erosionssystem. Dazu wird das elektronische Tachymeter TC 600 der Firma LEICA verwendet. Eine genaue Erläuterung der Vorgehensweise findet sich bei RAAB (1999). Die Verortung der Profile im Arbeitsgebiet erfolgt sowohl mit Hilfe der Flurkarten als auch mittels eines GPS (Global Positioning System).

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte geschieht entsprechend der Fragestellung in Abhängigkeit von der Gelände- und Befundsituation. Der Vorerkundung dient eine bodenkundliche Kartierung mit dem Pürckhauer-Bohrer. Aufgrund des hohen Grundwasserstandes in der Aue und der überwiegend agrarischen Nutzung auf den Untersuchungsflächen werden hauptsächlich Rammkernsondierungen (COPRA Motor Hammer) durchgeführt. Nur auf Flächen unter forstlicher Nutzung können Schürfgruben angelegt werden. Die detaillierte feldbodenkundliche Aufnahme und Beprobung erfolgt nach den Richtlinien der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994, ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 1998, AD-HOC-AG BODEN 2005).

Neben den feldbodenkundlichen Geländearbeiten erfolgen geophysikalische Prospektionen. Mit dem Bodenradar oder Georadar (Ground Penetrating Radar, GPR) kann innerhalb kurzer Zeiträume eine hohe Datendichte mit großer räumlicher Auflösung zur Darstellung der Sedimentstrukturen erreicht werden. Je nach Fragestellung und Situation können Geräte mit unterschiedlichen Frequenzen eingesetzt werden. Hohe Frequenzbereiche (> 500 MHz) weisen geringe Eindringtiefen mit hoher Auflösung auf, während tiefere Frequenzen (10 MHz bis 200 MHz) größere Eindringtiefen mit geringerem Auflösungsvermögen ermöglichen. Zur sicheren Interpretation der geophysikalischen Daten werden zusätzliche Eichbohrungen zur Verifikation der Ergebnisse durchgeführt. An der Professur für Bodenkunde der Universität Regensburg wurden die geophysikalischen Methoden maßgeblich von LEOPOLD

implementiert (LEOPOLD 2003, LEOPOLD & VÖLKELE 2004). Die Messungen erfolgen mit einem RAMAC CU II GPR System. Ausführlichere Hintergrundinformationen zum Georadar liefern MILLITZER & WEBER (1985) und ZIEKUR (2000). Wertvolle Interpretationshilfen gibt ROBERTS (2003). Anwendungsbeispiele liefert JOL et al. (2002).

## 3.2 Laboranalysen

### 3.2.1 Geochemisch-mineralogische Analysen

Die geochemisch-mineralogischen Analysen beruhen weitgehend auf den in der Arbeitsgruppe Landschaftsökologie und Bodenkunde (Ltg. Prof. Dr. J. Völkel) erarbeiteten Verfahren und sind im Detail bei VÖLKELE (1995), EIBERWEISER (1995), MAHR (1998) und NILLER (1998) aufgeführt. Die Laboranalysen erfolgen an ausgewählten Profilen, die repräsentativ für das Untersuchungsgebiet sind und alle Standortvarianten wie z.B. Aue, Schwemmfächer oder Verschneidungsbereiche Schwemmfächer/Aue erfassen.

Das getrocknete Bodenmaterial wird vorsichtig mit einem Porzellanpistill zerkleinert und durch Sieben in die Fraktionen größer 2 mm (Grobboden/Skelett) und kleiner 2 mm (Feinboden) getrennt. Insbesondere organische Bestandteile, wie Wurzeln und Holzkohle, aber auch leicht zerstörbare Kalksteine, werden von Hand ausgelesen. Damit soll eine Verfälschung der Kohlenstoff- und Carbonatgehalte im Feinboden verhindert werden. Im Anschluss wird ein Kalkvortest mit 10%iger Salzsäure durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass es trotz sorgfältiger Vorgehensweise durch das Mörsern zu einem Eintrag von Kalk in eigentlich carbonatfreien Feinboden kommen kann. Daher ist im Zweifelsfall der Kalkvortest im Gelände zu beachten. Durch das Mörsern kann es außerdem zu leichten Verschiebungen im Korngrößenspektrum kommen. Alle weiteren Laboranalysen erfolgen am Feinboden.

Die Bodenfarbe des feuchten Feinbodens wird nach der MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (MUNSELL COLOR COMPANY 1975) bestimmt. Da der Farbeindruck u.a. abhängig vom Feuchtegrad ist, kann es zu geringfügigen Abweichungen zum Geländebefund kommen (GAIDA et al. 1993).

Die Korngrößenverteilung des Feinbodens wird mittels des kombinierten Sieb- und Schlämmverfahren nach KÖHN bestimmt. Die Einteilung der Klassen basiert auf der Einteilung der AD-HOC-AG BODEN (2005). Bei einer Abweichung von mehr als 5 % wird die Analyse wiederholt (VÖLKELE 1995, MAHR 1998).

Die pH-Wert Bestimmung erfolgt elektrometrisch in einer 0,01 m CaCl<sub>2</sub>-Lösung mittels Glaselektrode (WTW, Typ SenTix 41) (VÖLKELE 1995).

An allen Bodenproben, die im Vortest positiv auf die Säurezugabe reagieren, wird der genaue Karbonatgehalt gasvolumetrisch nach SCHEIBLER bestimmt (REUTER 1962, LESER 1977, VÖLKEL 1995). Eine Überbewertung der Resultate kann durch Kalkbruchstücke, die beim Mörsern in den Feinboden gelangen, entstehen.

Der organische Kohlenstoff wird mit einem CNS-Autoanalyser (Typ vario EL) der Firma Elementar Analysensysteme GmbH bestimmt. Je nach Messprogramm wird Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Schwefel (S) bestimmt. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr bei Temperaturen um ca. 1.100 °C. Die jeweils ausgewählten Messkomponenten werden durch spezifische Adsorptionssäulen voneinander getrennt und nacheinander mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt. Die Kalibration erfolgt mit Hilfe von Eichsubstanzen mit bekanntem Elementgehalt (ELEMENTAR ANALYSENSYSTEME GMBH 2001). Für ein exaktes, reproduzierbares Messergebnis sind homogene Proben notwendig. Dieses wird durch das Mahlen der Proben in einer Kugelmühle erreicht. Je nach Kohlenstoffgehalt wird 10 - 40 mg Probenmaterial in ein Zinnschiffchen eingewogen und mit Wolframoxid in doppelter Menge bedeckt. Das exakte Probengewicht wird in das Gerät eingegeben, um den genauen Anteil an Kohlenstoff bestimmen zu können. Die Berechnung geschieht mittels der geräteeigenen Software.

Da das Gerät den gesamten Kohlenstoff ( $C_{\text{ges}}$  oder TC, Total Carbon) bestimmt, müssen eventuell vorhandene Carbonate vor der Messung zerstört oder ihr Anteil später vom Rohergebnis abgezogen werden. Verschiedene Vorgehensweisen sind möglich. Dazu wurden mit verschieden großen Schiffchen, Kapseln und Folien, unterschiedlichen Materialien (Zinn, Silber) sowie verschiedenen Vorbehandlungen (Menge an Probe und Säure, Art der Trocknung, Höhe der Temperatur) Versuche durchgeführt. Außerdem wurde die Zerstörung des Carbonates vor der Einwaage und die des organischen Anteils im Muffelofen erprobt. Die durchgeführten Testreihen an Proben mit unterschiedlichem Carbonatgehalt ergaben eine unzureichende Übereinstimmung der Parallelen und eine ungenügende Reproduzierbarkeit. Insbesondere bei sehr geringen Carbonatgehalten bzw. bei stark kalkhaltigen Proben, die laut Feldbefund keine organischen Anteile enthalten, ergeben sich bei allen getesteten Verfahren keine vertretbaren Vergleichswerte. In diesen Fällen können die Anteile des organisch gebundenen Kohlenstoffs ( $C_{\text{org}}$ ; TOC, Total Organic Carbon) errechnet werden. Dazu wird der anorganische Anteil ( $C_{\text{carb}}$ ; TIC, Total Inorganic Carbon) über den mit der SCHEIBLER-Methode ermittelten  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt annähernd errechnet:  $\text{CaCO}_3/8,33 = \text{TIC}$  (KULBE 1997). Dieser wird dann vom Gesamtkohlenstoff ( $C_{\text{ges}}$ ; TC, Total Carbon) subtrahiert, um den TOC zu erhalten. Der Wert für die organische Substanz wird berechnet, indem man den TOC-Wert mit dem Faktor 1,72 multipliziert (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Schwermetallgehalte können mittels Schmelz- und Säureaufschlüssen ermittelt werden. Einen Vergleich verschiedener Aufschluss- und Meßmethoden für die Analyse von Totalgehalten hat für die AG VÖLKELE EIBERWEISER (1995) durchgeführt. Die Bestimmung der Spurenelemente in der AG VÖLKELE erfolgt im Nassaufschlussverfahren, je nach Fragestellung und Probenzusammensetzung, mit unterschiedlichen Reagenzien (AG VÖLKELE 1998). Die Gesamtgehalte von Blei (Pb), Cadmium (Cd), Zink (Zn), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Chrom (Cr) und Kobalt (Co) werden mit Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) und Perchlorsäure (HClO<sub>4</sub>) aufgeschlossen (VÖLKELE 1995, modifiziert nach ZEILEN & BRÜMMER 1989). Die Messung erfolgt an einem Flammen-Atomabsorptionsspektrometer (AAS) (Typ UNICAM 939). Die Details des Aufschluss- und Messverfahrens sind bei EIBERWEISER (1995) dargelegt. Durch zu starkes Abrauchen können schwerlösliche Eisen- und Manganoxide entstehen. Vergleiche von EIBERWEISER (1995) ergaben aber keine signifikanten Gehaltsabweichungen. Im Gegensatz zum Königswasser-Aufschluss werden auch die an Sesquioxide und labile Tonminerale gebundenen Schwermetalle erfasst. Der Aufschluss ist nicht vollständig, da stabile silikatische Bindungen nicht komplett aufgelöst werden (HEINRICHS & HERRMANN 1990). Im Vergleich zu Totalaufschlüssen mit Fluss-Säure (HF) werden aber mehr als 90 % Ausbeute erreicht. Nur Cr liegt bei 80 - 90 % (EIBERWEISER 1995). Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt an den Probenextrakten die Messung der Konzentrationen von Blei, Zink, Nickel, Kupfer, Chrom, Kobalt, Eisen und Mangan. Die Zunahme von Eisen und Mangan geschieht aufgrund ihrer Relevanz für die Einflüsse aus der Eisenverhüttung und für die pedogenetische Merkmalsausprägung der Auenböden und Gleye.

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist ein Verfahren der Röntgenspektroskopie. Mit dieser Technik kann die chemische Zusammensetzung der gesamten Probe bestimmt werden. In der Regel werden an so genannten Schmelztabletten RFA-Analysen an stationären Geräten durchgeführt. Bei dem hier verwendeten Mess-Instrument handelt es sich um ein portables Röntgenfluoreszenz-Analysegerät der Firma NITON, Typ XL 700 multi-element analyzer mit zwei Strahlenquellen. Mit der Cadmium-Quelle können die Elemente Mo, Sr, Rb, Pb, Se, As, Hg, Zn, Cu, Co, Zr, Mn, Cr, Ni und Fe bestimmt werden. Die Americium-Quelle misst die Elemente Eu, La, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag, Pd und Ba. Die Nachweisgrenze für ein Element in einer Probe liegt bei der Konzentration, die mindestens der dreifachen Standardabweichung der Messung entspricht. Die Genauigkeit jeder Messung entspricht der zweifachen Standardabweichung (NITON CORPORATION 1998). Die Nachweisgrenze erhöht sich mit der Messzeit. Die Genauigkeit einer Analyse hängt zum einen von der Zähldauer, zum anderen vom Verhältnis der Signalhöhe zum Untergrundrauschen ab (JONES 1997). Unter bestimmten Umständen kann es zu Interferenzen kommen, die jedoch durch das Gerät automatisch korrigiert werden sollen. Beispielsweise können sehr hohe Eisen-Konzentrationen (> 30.000 ppm) dazu führen, dass

Mangan oder Kobalt falsch bestimmt werden (NITON CORPORATION 1998). Die Messungen können in situ an der feldfrischen Probe oder unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt werden. Dazu wird der getrocknete Feinboden in spezielle Kunststoffbehälter gegeben, die an einer Seite durch eine dünne Folie begrenzt sind. Für genaue Messergebnisse ist es wichtig, dass das Probenmaterial möglichst dicht gepresst und homogenisiert vorliegt. Zudem muss eine Aufwärmzeit des Gerätes von mindestens 15 Minuten und die wiederholte Messung von Standards und Blanks erfolgen. Ein großer Vorteil der portablen RFA liegt in der Schnelligkeit der Analyse und im flexiblen Einsatz. Sie ermöglicht auch einen direkten Überblick über die Belastungen im Gelände.

Die Röntgendiffraktometrie (RDA) wird sowohl zur Identifikation von Tonmineralen (Texturpräparate) als auch als Überblick über die mineralogischen Merkmale des Feinbodens (Pulverpräparate) eingesetzt. Für die Gewinnung der Tonminerale wird zunächst eine Carbonat-, Humus- und Eisenzerstörung (Dithionit-Citrat-Bicarbonat-Methode) durchgeführt. Dadurch werden Verkittungen gelöst und eine Erhöhung der Reflexintensitäten im Röntgendiffraktogramm erreicht. Anschließend wird die Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) über das Sedimentationsverfahren nach ATTERBERG gewonnen. Es werden Magnesium- und Kaliumbelegte Präparate auf Glasobjektträgern (Texturpräparate) angefertigt. Je nach Befund werden außerdem Quellungspräparate mittels Ethylenglykolatmosphäre (Weitungspräparate), Erhitzungspräparate (Getemperte Präparate) oder auch DMSO-Präparate (Einlagerung von Dimethylsulfoxid) angefertigt (MAHR 1998). Für die Pulverpräparate (texturarme Präparate) wird gemahlener Feinboden auf Plastikobjektträger mit einer Vertiefung aufgetragen und mit der Kante eines Glasobjektträgers glatt gestrichen. Textureffekte sind nicht zu vermeiden. Die Messung erfolgt mit einem Röntgendiffraktometer der Firma SIEMENS, Typ D 5000 mit  $\text{Co-}k\alpha$ -Strahler. Die Diffraktogramme werden mit der integrierten Software Diffrac-AT, Version 3.1 erzeugt. Die Auswertung geschieht mit Hilfe der entsprechenden Fachliteratur wie MOORE & REYNOLDS (1989) und TRIBUTH & LAGALLY (1991). Das verwendete Verfahren ist bei VÖLKE (1995) und MAHR (1998) detailliert erläutert. Neben der Bedeutung der Tonminerale für die bodenökologischen Verhältnisse und die Bodenstruktur ist es möglich, Schichtwechsel mit entsprechenden Analysen zu belegen. Bei der Untersuchung saprolithischer Verwitterung und periglazialer Deckschichten konnte die Röntgendiffraktion erfolgreich zur Charakterisierung der Sedimente eingesetzt werden (VÖLKE 1994, 1995, 1998a).

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) eignet sich mit ihrer hohen Auflösung und Tiefenschärfe besonders, um den mineralogischen Phasenbestand und das Gefüge zu untersuchen. Die zusätzliche EDX-Messung (EDX = Energy Dispersive X-ray analysis) erlaubt Aufschluss über die chemische Zusammensetzung (Elementaranalyse). Dabei sind

die so genannten „leichten“ Elemente, wie etwa Sauerstoff, schwieriger zu quantifizieren. Bei dem eingesetzten Rasterelektronenmikroskop handelt es sich um ein DSM 950 der Fa. Zeiss (Prof. Dr. A. Pfitzner, Institut für Anorganische Chemie, Universität Regensburg). Da es sich um ein älteres Gerätemodell handelt, können Aufnahmen der Oberfläche nur direkt als Polaroidbilder angefertigt werden. Vor der Messung müssen die Proben i.d.R. mit Gold bedampft werden. Um den mineralischen Aufbau abzubilden, sind Dünn- oder Anschliffe notwendig. Für die Anfertigung eines Anschliffs wird die Probe oder ein Teilstück der Probe in Kunststoff eingebettet. Dazu wird ein kleiner, runder Hohlbehälter mit Kunststoffpulver (Resin 3) gefüllt und das Probenstück eingefügt. Unter Druck und hoher Temperatur schmilzt das Pulver und wird kompakt. Danach wird von Hand, mit nach Körnung abgestuftem Schleifpapier (220, 320, 500, 800, 1000, 1200) und Wasser, ein Anschnitt der Probe frei geschliffen. Dabei ist auf einen möglichst ebenen Schliff zu achten. Zum Schluss wird mittels Drehscheibe und feinstem Schleifpulver poliert, um eine ganz glatte Oberfläche zu erhalten. Das REM wird eingesetzt, um ausgewählte Schlacken und Bodenproben (Feinboden, Grobskelett) zu untersuchen.

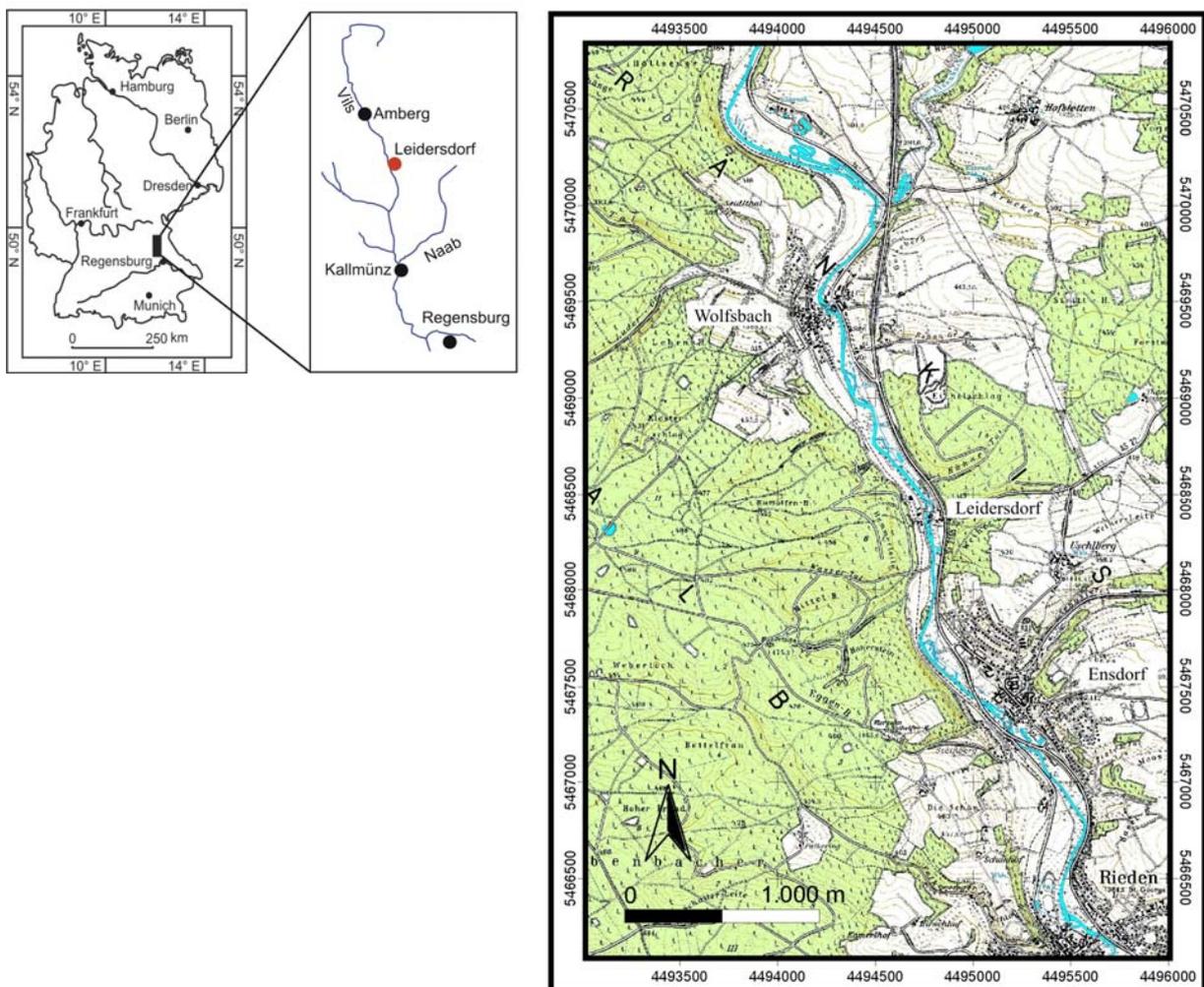
### 3.2.2 Absolutdatierungen

Die Absolutdatierung an organischem Material (Makroreste, Holzkohle, fossiles Holz) mittels der Radiokarbonmethode ( $^{14}\text{C}$ -Methode) erfolgt zum einen am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung Hannover (Zählrohr-, Mikrozahlrohrmethode), zum anderen durch das Physikalische Institut der Universität Erlangen-Nürnberg (AMS-Methode, Accelerator Mass Spectrometry). Die Probenaufbereitung führt das jeweilige Labor durch. Dabei müssen ggf. vorhandene Kontaminationen, wie beispielsweise Huminsäuren, Wurzeln oder Karbonate, berücksichtigt bzw. entfernt werden. Das konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Alter wird in Jahren BP (Before Present, Jahre vor 1950) angegeben. Für die Angabe des kalibrierten Alters wird die Schwankung der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration in der Atmosphäre als auch die korrekte  $^{14}\text{C}$ -Halbwertszeit (5730 a) mit einbezogen. Die Kalibrierungskurven basieren vor allem auf der Bestimmung des  $^{14}\text{C}$ -Alters von dendrochronologisch vermessenen Baumringen (UHL 2004). Die Kalibration erfolgt nach dem Datensatz STUIVER et al. (1998). Die Angaben im Text sind kalibrierte Alter mit größter Wahrscheinlichkeit (2 sigma). Details zur Altersdatierung liefern die ausführlichen Werke von GEYH (1980), GEYH & SCHLEICHER (1990) und WAGNER (1995) sowie die Homepage der Universität Erlangen ([www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de)). Auf die Probleme im Umgang mit den numerischen Altersangaben geht GEYH (2000) ein.

## 4 Untersuchungsgebiet – Grundzüge des Naturraums

### 4.1 Naturräumliche Lage

Das Untersuchungsgebiet im ostbayerischen Raum befindet sich etwa 12 km südlich von Amberg (Landkreis Amberg-Sulzbach/Oberpfalz) und umfasst den Flussabschnitt der Vils zwischen den Orten Wolfsbach, Leidersdorf und Ens Dorf (s. Abb. 4). Der Oberlauf der Vils liegt naturräumlich im Oberpfälzer Hügelland, welches durch postvarizische Bruchtektonik gekennzeichnet ist. Typisch sind breite, flache Täler und Fließgewässer mit geringem Gefälle sowie sandiges Substrat. Mittel- und Unterlauf der Vils südlich von Amberg gehören hingegen zur nördlichen und mittleren Frankenalb (MEYNE & SCHMITHÜSEN 1953). Diese ist vorwiegend aus Kalkstein und Dolomit aufgebaut und durch Karsteigenschaften geprägt. Kennzeichnend sind allgemeine Wasserarmut, eine geringe Anzahl von Fließgewässern, häufige Ausbildung von Trockentälern und eine kastenförmige Ausbildung der Täler. Die



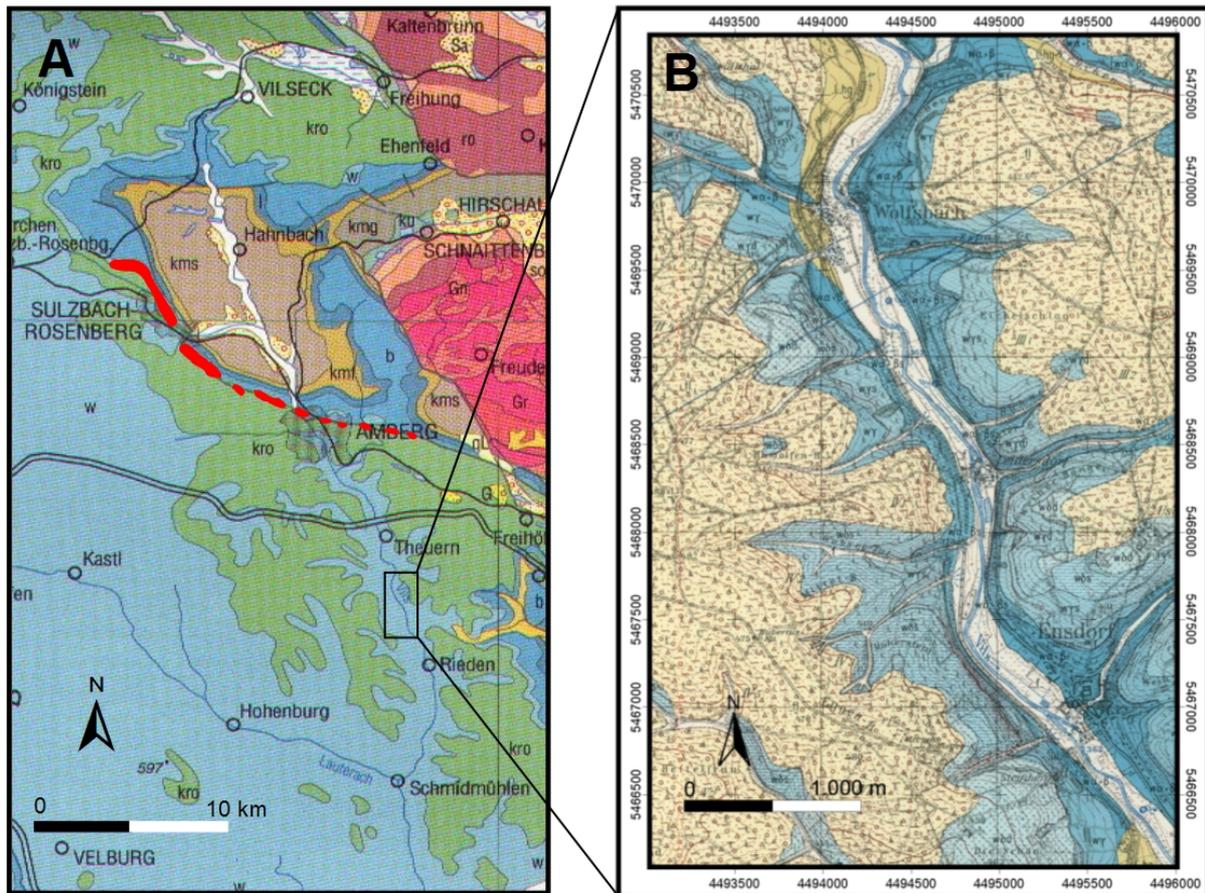
**Abb. 4:** Lage des Untersuchungsgebietes (Übersicht Deutschland sowie Ausschnitt aus der Topographischen Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)

Fränkische Alb erreicht im Untersuchungsgebiet auf den Hochflächen Höhen bis 480 m ü. NN, in den Tallagen um 365 m ü. NN.

## 4.2 Geologie

Der Untersuchungsraum liegt im Randbereich des Süddeutschen Schichtstufenlandes. Das höchste und östlichste Stockwerk der Alb ist aus Kalksteinen und Dolomiten des Jura aufgebaut. Östlich grenzt das Oberpfälzer Bruchschollenland an. Es ist die zerborstene Kontaktzone zum weiter östlich liegenden Moldanubikum, dem aus Granit und Gneisen aufgebauten Kristallin (Böhmische Masse, variszisches Grundgebirge). Ausläufer sind das Naabgebirge und der Oberpfälzer Wald. Das Oberpfälzer Bruchschollenland ist bei der tertiären Heraushebung des Kristallins entstanden und spielt mit seiner geologischen Vielfalt eine wichtige Rolle für die Bodenschätze der Region (MEYER & SCHMIDT-KALER 1995, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996).

Am bedeutendsten sind die Eisenerze der Kreidezeit der Reviere Amberg, Sulzbach-Rosenberg und Auerbach (Abb. 5). Die Haupterztröge und Lagerstätten liegen entlang einer Störungszone mit biegungs- und bruchtektonischen Linien am Ostrand der Frankenalb. Die Lagerstättenentwicklung beginnt in der Unterkreide. Das Mitteldeutsche Festland hebt sich und unter subtropischem Klima unterliegen die Jurakalke und Dolomite der Malmtafel tiefgründiger Auflösung und Verkarstung. Dabei entstehen große Karsthohlräume, die in der Sulzbach-Rosenberg-Amberger Zone zunächst als Karstcañons, später zu Talzügen und in der Auersbacher Zone als Tröge ausgebildet werden. Das Eisen stammt vor allem aus eisenreichem Doggersandstein der östlich angrenzenden Gebiete. Diese wurden gehoben, verwitterten unter humid-warmem Klima und entwässernden in die Tröge. Beim Auftreffen der eisenhaltigen Rohhumuswässer auf Kalkstein oder karbonathaltige Wässer kam es zur Ausfällung des Eisens (GUDDEN 1984, WOLF 1986, GUDDEN 1987, KAULICH et al. 2000, PFEUFER 2000). Die Genese wird bezüglich des Bildungsmilieus kontrovers diskutiert. GUDDEN (1987) geht von einer terrestrisch, in limnisch-fluviatitem Milieu entstandenen Verwitterungs-Konzentrations-Lagerstätte aus, während PFEUFER u.a. von einem limnischen Milieu mit periodisch wieder kehrendem marinem Milieu ausgehen (PFEUFER 1983, SATTLER 1991, PFEUFER 1997, 2000). Das Erz ist z.T. mit Grobsanden, Feinkiesen, Sandstein, Tonen und Dolomitedritus vergesellschaftet (PFEUFER 1983, 2000). Die Erztröge im Malm werden unterhalb durch Ornatenton (Dogger) abgegrenzt, oberhalb lagern sandig-tonige Gesteine der Oberkreide. Aufschiebungen mit Überquellcharakter brachten die Lagerstätten zum Teil an die Erdoberfläche, so dass schon in der Latènezeit Erz gewonnen werden konnte. Die präobercenomanischen Eisenerzlagerstätten enthielten ursprünglich etwa 140 Mio. t Erz. Rund 65 Mio. t Eisenerz wurde im Laufe der Jahrhunderte abgebaut (PFEUFER 2000). Davon sind 37 % Weißerz, welches hauptsächlich aus Siderit mit unterschiedlichen Beimengungen



Legende (Auswahl):

A: Geologische Karte 1 : 500.000

Kreide	kro	Oberkreide (Sande und Tone)
Jura	w	Malm (Weißer Jura)
	b	Dogger (Brauner Jura)
	l	Lias (Schwarzer Jura)
Keuper	kmf	Feuerletten (Knollenmergel)
	kms	Sandsteinkeuper
		Eisenerzlagerstätten

B: Geologische Karte 1 : 25.000

Quartär	„f	Talfüllung
	„L,hg	Hanglehm
Jura	„fl	Fließerden
	wδd	Malm Delta (Dolomit)
	wδs	Malm Delta (Schwammkalk)
	wγd	Malm Gamma (massiger Dolomit)
	wγs	Malm Gamma (Schwammkalk)
	wγ	Malm Gamma (Bankkalk)
	wα + βs	Malm Alpha und Beta (Schwammkalk)
	wα + β	Malm Alpha und Beta (Bankkalk)

**Abb. 5:** Geologische Verhältnisse im Untersuchungsraum (A: Übersicht, Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern, 1 : 500.000, Bayerisches Geologisches Landesamt 1996. Erträge und Lagerstätten nach GUDDEN 1987. B: Untersuchungsgebiet, Ausschnitt aus der Geologischen Karte, Blatt 6637 Rieden, 1 : 25.000, Bayerisches Geologisches Landesamt 1968)

von Apatit, Chamosit und anderen Mineralen besteht. Durch Oxidation entstand aus dem Weißerz häufig Brauneisenerz (Limonit), das überwiegend aus Goethit ( $\alpha$ -FeOOH) aufgebaut ist. Die Goethisierung des Weißerzes führte durch die Lösung des Apatits zu einem verminderten Phosphorgehalt und wirkte zudem eisenerhöhend und homogenisierend (PFEUFER 2000).

Die anderen Eisenerzlagerstätten in der Oberpfalz, wie etwa die Doggererze oder die kleineren Vorkommen von Bohnerzen, nehmen eine untergeordnete Stellung ein. In der näheren Umgebung von Leidersdorf und Wolfsbach gibt es keine nachgewiesenen, größeren Eisenerzvorkommen. Auch hat es keinen umfangreichen Eisenerzabbau im Bereich des Kartenblattes 6637 Rieden gegeben. Bei vereinzelt trichterförmigen Gruben handelt es sich vermutlich dennoch um Pingen. Wirtschaftlich bedeutsam sind in der Oberpfalz außerdem die Bleierzvorkommen der Trias nördlich von Amberg sowie der Abbau von Quarzsand, Feldspatsand und Kaolin (WOLF 1986, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1987).

Die Vils entspringt in der Vilsecker Kreidemulde und durchfließt die Hahnbacher Senke, bis sie südlich von Amberg in die Gesteine des Jura eintritt (s. Abb. 5, A). Die Hahnbacher Senke ist eine Keuperniederung, die im Tertiär durch Reliefumkehr entstanden ist. Das Untersuchungsgebiet südlich von Amberg liegt im Bereich des oberen Jura mit Kalk-Mergel-Abfolgen sowie massigen Riffen aus Kieselschwämmen des ehemaligen Schelfmeeres (s. Abb. 5, B) (KAULICH et al. 2000). Zwischen Wolfsbach und Ens Dorf sind vor allem die Oxfordschichten mit Malm  $\beta$  und  $\alpha$  und die Kimmeridgeschichten prägend. Typisch sind Bankkalkstein, Riffkalkstein und tafelbankiger Schwammkalkstein sowie Riffdolomitstein und tafelbankiger Dolomitstein. Bei der Schwammfazies des Unteren und Mittleren Malm ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) beginnt im Gebiet um Leidersdorf die Verschwammung schon tief im Malm  $\alpha$ . Auf den angrenzenden Hochflächen liegen, teilweise inselartig, Gesteine der Oberkreide (Präobercenoman bis Campan) mit Ton- und Sandstein, Kalksandstein und Mergelstein auf. Vorwiegend handelt es sich um Reinhausener Schichten und Knollensand des Turon. Die Kreideüberdeckung der Alb ist größtenteils abgetragen. Unter periglazialen Klimabedingungen kam es zur Aufarbeitung des, z.T. mit groben Komponenten durchsetzten, lehmig bis tonig-sandigen Materials (Fließerden) (DOBEN & HELLER 1968, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996). Vielfach wurde Löß abgelagert (DOBEN & HELLER 1968). In den Flusstälern liegen pleistozäne Terrassenschotter und -sande sowie holozäne Ablagerungen.

#### 4.3 Flussmorphologie der Vils

Im Jungtertiär entsteht zwischen Weiden und Regensburg das weit verzweigte Talsystem der Urnaab. Das Schmidgaden-Trischinger Seitental entspricht vermutlich in seiner Fortsetzung talaufwärts einer Urvils (TILLMANN et al. 1963). Nach der Auffüllung des miozänen Urnaabsystems beginnt im Pliozän eine langsame Eintiefung der Altnaab (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996). Sie „suchte sich zunächst ihren Weg um das Naabgebirge im Westen herum und hinterließ Quarz-Lydit-Grobschotter, die in Resten

noch östlich von Amberg zu finden sind“ (KAULICH et al. 2000, S. 24). Pliozäne Schotterreste der Vils finden sich nördlich von Amberg etwa 60 - 80 m über dem heutigen Tal. Sie bestehen vor allem aus Quarzgeröllen, Karneolen, Limonitsandstein, Kreidequarziten und Malmhornstein. Die Entstehung der heute das Landschaftsbild prägenden Talformen erfolgte im Wesentlichen unter eiszeitlichen Klimabedingungen im Pleistozän. Die fluviatile, linienhafte Eintiefung der Flüsse setzt sich fort. Im Mittelpleistozän hat die Vils die Freihölser Senke verlassen und bildet unterhalb von Amberg ein neues Engtal (TILLMANN et al. 1963). In den Kaltzeiten kommt es zur periglazialen Überprägung der Karstlandschaft. Die Plombierung des Untergrundes durch den Dauerfrost ließ zeitweise eine oberflächliche Entwässerung mit Talbildung zu (PFEFFER 2003). Heute handelt es sich meist um Trockentäler (s. auch Kap. 4.7).

Im Oberlauf, in den weiten flachen Tallagen der Vilsecker und Hahnbacher Mulde, ist die Vils ein stark mäandrierter Fluss. Südlich von Amberg verläuft die Vils hingegen in einem tief eingeschnittenen Kastental. Die Flussmäander folgen zumeist den Talmäandern (Zwangsmäander). Es kam im Pleistozän zu Flusslaufverlagerungen der Vils. Teilweise ist es durch Schwemmfächer und Schwemmkegel zur Abdrängung des Flusses gekommen. Eine dynamische Verlagerung von Flussschlingen, wie etwa bei frei verlaufenden Tieflandflüssen, hat nicht stattgefunden. Die Vils liegt in der terrassenarmen Mittelgebirgszone (HERGET 2003). Lokal können sich jedoch Terrassen oder Terrassentreppen gebildet haben. Unter den holozänen Auenablagerungen liegen Kiese und Tone des jüngeren Pleistozäns. Die Kiese bestehen hauptsächlich aus Kalk, Hornstein, limonitischem Sandstein und Quarz (DOBEN & HELLER 1968).

#### 4.4 Böden

Die Bodenverhältnisse im Untersuchungsgebiet werden vor allem durch die große geologische Variabilität, die unterschiedliche Zeitdauer der Bodenbildung und das Relief gesteuert. Durch Kalksteine und Dolomite des Malms, der teilweise noch vorhandenen Bedeckung mit kretazischen Sandsteinen, pleistozänen Fließerden respektive periglazialen Deckschichten und holozänen Auensedimenten, ergibt sich ein kleinräumiges Mosaik der bodenbildenden Gesteine und Substrate und damit der Bodentypenverbreitung. Die Deckschichten sind an den Hängen meist mehrschichtig ausgeprägt. In Steillagen sind auf Karbonatgestein Rendzinen ausgebildet. Typisch ist eine Durchsetzung mit Kalkbruchstücken. Im Oberhangbereich liegen z.T. mehr oder weniger mächtige Terrae Fuscae vor. In den gestreckten Hangbereichen haben sich, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Deckschichten, podsolierte Braunerden und Podsole auf sandigem Substrat sowie Braunerden und Parabraunerden auf schluffig-lehmigem Substrat entwickelt. Teilweise kommt es zu intensiv gelben oder roten Bodenfarben, die sowohl durch das

Ausgangsgestein als auch durch Verwitterungsprozesse im Tertiär zu erklären sind. Auf den Hochflächen können auch Pseudogleye vorkommen. In Talungen und an den Unterhängen sind rezente Kolluvien verbreitet. Häufig ist ein äolischer Einfluss in Form von Lößablagerungen vorhanden, wie die regelmäßige Verbreitung von Schluff und der starke Chloritanteil in den Oberbodenhorizonten belegen (DIEZ 1968, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSER-WIRTSCHAFT 1996, ADLER et al. 2003, RAAB 2005). Laut DIEZ (1968) sind in den Tallagen Braunerde-Gleye, Gleye und Auenböden aus sandigen und schluffig bis tonigen Lehmen charakteristisch. Die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass in der Vilsaue, je nach hydrologischen Verhältnissen, vor allem Auengleye und Vegen sowie die Bodentypen Vega-Gley und Gley-Vega verbreitet sind (vgl. Abb. A 11).

#### 4.5 Vegetation

Ursprünglich waren in der Fränkischen Alb Laubmischwälder verbreitet. Ein submontaner Kalk-Eichen-Buchenwald mit Rotbuche, Hainbuche, Traubeneiche und Sommerlinde auf den Höhen (etwa 400 – 500 m ü. NN), in den Auen Bruch-, Moor- und Auwälder mit Eschen und Schwarzerlen (SPÄTH 1976). Die intensive Nutzung seit prähistorischer Zeit hat die Vegetationszusammensetzung nachhaltig beeinflusst. Durch die menschliche Nutzung (Ackerbau, Beweidung, Bergbau etc.) hat sich eine offene Agrarlandschaft entwickelt. Steilere Bereiche tragen nach Aufforstungen Wald. Auf Trockenstandorten haben sich als Ersatzgesellschaften Kalkmagerrasen und Wacholderheiden entwickelt (PFEFFER 2003, siehe auch Kap. 5.2).

Im Untersuchungsgebiet dominieren an den Hängen und auf den Hochflächen, Ausläufern des Hirschwaldes, Nadel- und Mischwald mit Fichten, Kiefern und Buchen. Im Hirschwald waren 1925 noch 80 % des Bestandes Kiefern. Dieser hohe Kieferanteil geht auf Aufforstungen zur Zeit der Montanindustrie zurück. 1990 lag die Verteilung der wichtigsten Baumarten bei 40 % Kiefer, 44 % Fichte und 6 % Buche. Die Bayerische Staatsforstverwaltung ist bemüht, den Laubwaldanteil auch hier kontinuierlich zu erhöhen (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG 2002). Im Vilstal sind weite Teile der nicht bebauten Fläche unter ackerbaulicher Nutzung oder Grünlandbewirtschaftung. Entlang des Vilsufers sind zumeist bachbegleitende Busch- und Baumreihen (z.B. mit Weiden und Erlen) und Hochstaudenfluren entwickelt. Im Zuge der Renaturierungsmaßnahmen etablieren sich im Nahbereich des Flusses immer mehr Feuchtwiesen und Auwälder.

#### 4.6 Klimatische Verhältnisse

Das Klima im Untersuchungsraum ist mäßig kühl und mäßig feucht. Das Jahresmittel der Lufttemperatur in der Region beträgt 6 - 7 °C und die durchschnittlichen jährlichen

Niederschlagssummen liegen zwischen 550 - 800 mm/Jahr (Mittelungszeitraum 1961 - 1990) (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996).

Für die Messstation Amberg-Unterammersricht (386 m ü. NN; Deutscher Wetterdienst) ergibt sich für den Zeitraum 1961 bis 1990 ein mittleres tägliches Temperaturmittel von 7,8 °C bei Extremwerten von -25,7 °C und 39,5 °C. Die Tage mit Frostereignissen reichen von Oktober bis Mai, wobei die meisten Frosttage im Dezember und Januar zu verzeichnen sind. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme liegt bei 701 mm bei durchschnittlich 122 Regentagen (mind. 1 mm Niederschlag). Die Niederschläge fallen vor allem in den Monaten Juni, Juli und August. Im Winter ergibt sich ein zweites, schwächeres Maximum im Dezember und Januar (MÜLLER-WESTERMEIER 1996).

Im Einzugsgebiet der Vils beträgt die Niederschlagssumme in den westlich an die Vils angrenzenden Hochflächen 650 - 749 mm/Jahr (Mittelungszeitraum 1961 – 1990). Die Vils und die östlich angrenzenden Hochflächen verzeichnen etwas höhere Niederschlagssummen von 750 - 849 mm/Jahr. Weiter südlich, in Richtung Schmidmühlen nehmen die Niederschläge ab (640 mm). Im hydrologischen Winterhalbjahr fällt mit 300 - 349 mm/Jahr (Mittelungszeitraum 1961 - 1990) weniger Niederschlag als im hydrologischen Sommerhalbjahr (400 - 449 mm/Jahr). Östlich der Vils werden im Winter geringere Niederschlagssummen als westlich registriert. Im Sommer besteht diese klare Differenzierung nicht (SACHWEH & ENDERS 1996).

#### 4.7 Hydrologie und Hydrographie

Die jährliche Grundwasserneubildung liegt in der Region durchschnittlich bei ca. 150 - 170 mm/a bzw. bei einer Grundwasserspense von 5 bis 7 l/s km<sup>2</sup>. Auch hier zeigt sich die geologische Teilung des Vilsgebietes. Oberflächenwasser und Quellen sind im Kristallin und Bruchschollenland ausreichend vorhanden, während die Alb eher ein Wassermangelgebiet darstellt. Der Abfluss des Niederschlagswassers erfolgt in Karsthohlräumen. Nur in einigen, tief eingeschnittenen Tälern verlaufen Flüsse wie die Vils oder die Lauterach, die als Vorfluter für das Karstgrundwasser dienen. Im West- und Südwestteil des Einzugsgebietes und damit auch des näheren Untersuchungsgebietes bewirkt der verhältnismäßig tief liegende Karstwasserspiegel, dass fast alle höher liegenden Täler oder Talbereiche permanent trocken liegen. Es handelt sich teilweise um hängende Trockentäler, da eine erosive Tieferlegung des Vorfluters stattgefunden hat (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1996). In der Fränkischen Alb ist der Ornatenton des oberen Dogger der wichtigste Wasserstauer, aber auch die Mergelschichten des Malm Alpha und Gamma können Wasser stauend wirken (KAULICH et al. 2000).

Die Vils hat eine Lauflänge von 87 km von der Quelle in Kleinschönbrunn bis zur Mündung in die Naab bei Kallmünz. Das Gefälle liegt zwischen 0,5 und 1,5 Promille. Das Einzugsgebiet umfasst 1.096 km<sup>2</sup>. Es handelt sich südlich von Amberg um einen vom hoch anstehenden Grundwasser geprägten Fluss mit Austritt von Qualmwasser im Auenbereich bei Hochwasser. Markant für die Vils sind die zahlreichen Wehre und Umfluten, die aus der historischen Nutzungsgeschichte hervorgehen. 1996 waren noch 17 Triebwerksanlagen vorhanden (2 außer Betrieb). Die Schifffahrt auf der Vils wurde Mitte des 19. Jahrhunderts eingestellt.

Der Abfluss unterliegt räumlicher und zeitlicher Variabilität. Aus kontinuierlichen Messungen von Wasserstand (W) und Abfluss (Q) werden verschiedene gewässerkundliche Hauptzahlen abgeleitet. Die Abflusswerte beim Pegel Dietldorf betragen für die Jahresreihe 1963 bis 1989: MNQ 6,7 m<sup>3</sup>/s (mittlerer Niedrigwasserabfluss), MQ 10,7 m<sup>3</sup>/s (mittlerer Abfluss aller Jahre), HQ 96,5 m<sup>3</sup>/s (höchster Abfluss in einem Beobachtungszeitraum) (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996).

Zwischen Amberg und Vilshofen besteht die Gewässergüteklasse II - III, d.h. kritisch belastet. Ursache sind vor allem organische, sauerstoffzehrende Stoffe (REGIERUNG DER OBERPFALZ 2000). Einträge erfolgen durch Industrie- und Haushaltsabwässer, durch diffuse Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft sowie oberhalb von Amberg durch die Teichwirtschaft (Schlamm, Nährstoffe). Insbesondere die Seitenbäche der Vils sind belastet und tragen ihre Fracht in die Vils. Eine Verbesserung der Gewässergüte brachte Anfang der 90er Jahre der Bau einer neuen Kläranlage in Theuern.

Die Gewässerstruktur variiert kleinräumig. In seiner Gesamtheit betrachtet, ist der Flusslauf oberhalb von Amberg naturnäher als unterhalb. Im Untersuchungsgebiet ist die Gewässerstruktur im Bereich der Hammerwerke als stark geschädigt ausgewiesen. Die dazwischen liegenden Abschnitte sind meist als mäßig oder überwiegend verändert angegeben (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996).

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten im Einzugsgebiet der Vils herrschen in den Fließgewässern feinkörnige Substrattypen vor. In den Fließgewässern der Keuperformation herrscht schluffiges bis grobsandiges Material vor, in den Gebieten mit Kreideüberdeckung schluffiges Material und die Ablagerungen des Tertiärs sind feinsandig. Die Gewässer im Einzugsbereich des Jura sind durch grobkörnige Substrate gekennzeichnet. Insbesondere die Gewässer des Keupers transportieren bei Hochwasser erhebliche Sandfrachten und zeigen stärkere Extrema als die Gewässer im Jura (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1996).

## 5 Analyse der bergbauzeitlichen Landschaftsentwicklung

Die Analyse physischer und anthropogener Faktoren der Landschaftsentwicklung dient der Rekonstruktion der Umweltgeschichte während der (prä-) historischen Montanwirtschaft. Die Analyse der Landschaft gliedert sich in drei Teile. Bedeutende Geofaktoren zur Ausweisung von Phasen mit großer geomorphodynamischer Aktivität sind die historische Klimaentwicklung und Hochwasserereignisse. Kenntnisse des geochemischen Hintergrundes, der rezenten Schwermetallbelastung und des Sedimentaufbaus im Vilstal sind hingegen für die Einordnung und Interpretation der Gelände- und Laborbefunde unerlässlich (Kap. 5.1). Die Intensität der anthropogenen Einflüsse auf die Landschaft hängen stark mit der Geschichte der Montanindustrie in der Oberpfalz zusammen. Bedeutsam ist besonders die Entwicklung des Waldzustandes als Folge von Rodungen und der Holzkohlegewinnung für Bergbau und Verhüttung. Ein regionaler Schwerpunkt wird auf die Entwicklung der Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach gelegt (Kap. 5.2). Die chronologische Zusammenführung und Auswertung aller Informationen, mit der gleichzeitigen Erfassung der Stärke des jeweiligen Einflusses, ermöglicht die Ausweisung von für den Landschaftswandel besonders relevanten Phasen (vgl. Kap. 5.3). Diese werden später mit den bodenkundlich-sedimentologischen Befunden verknüpft.

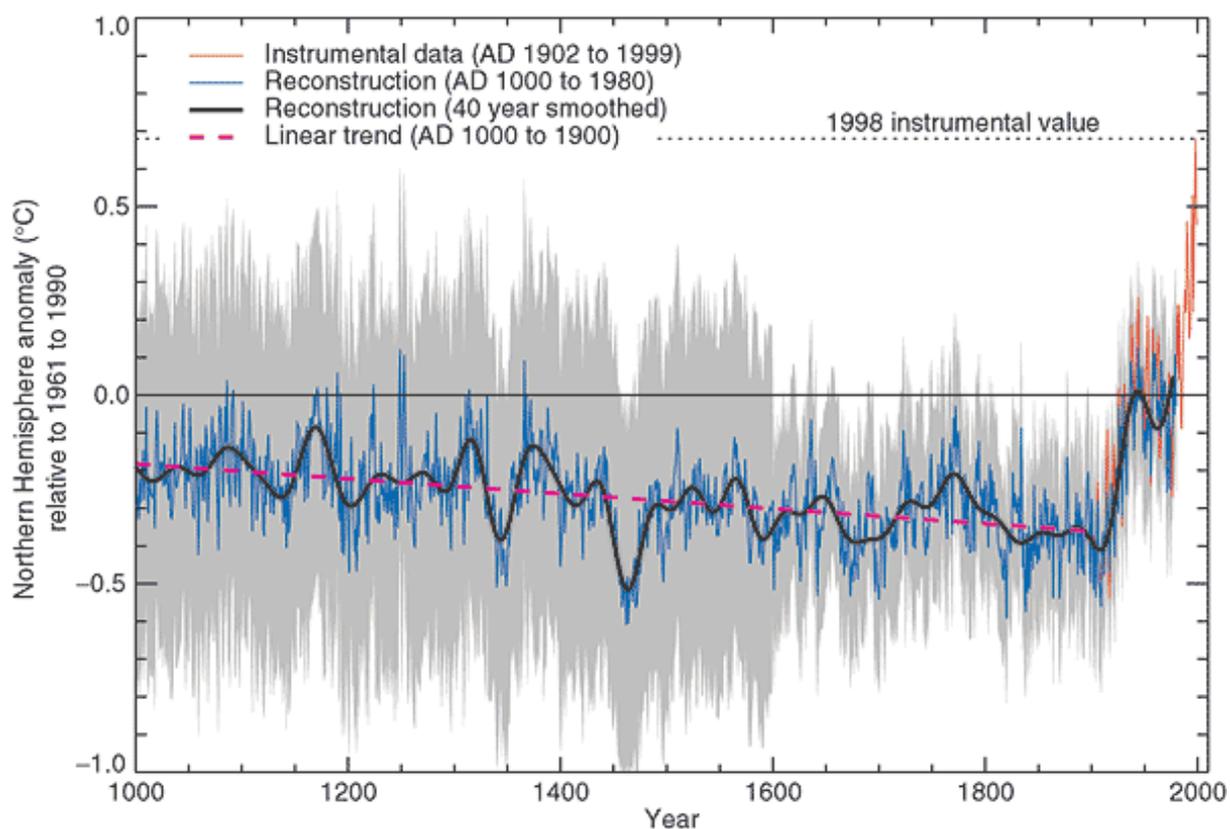
### 5.1 Relevante Geofaktoren

#### 5.1.1 Historische Klimaentwicklung in Mitteleuropa seit 1000 AD

Aktuelle Klimamessungen stellen die derzeitigen Verhältnisse dar (vgl. Kap. 4.6). Das Klima war jedoch auch während der geschichtlichen Zeit nicht statisch, sondern unterlag Veränderungen und Trends, wobei sowohl anthropogene als auch natürliche Faktoren beeinflussend wirkten. Neben direkten Messungen dienen z.B. Baumringanalysen und Sauerstoffisotopenverhältnisse aus polaren Eisproben zur Rekonstruktion des Paläoklimas (SCHÖNWIESE 1997, 2003). Eine umfassende Übersicht zur Klimaentwicklung im Holozän, insbesondere in der nördlichen Hemisphäre, liefern BRADLEY et al. (2003). Einen Vergleich von Rekonstruktionen verschiedener Autoren zum Temperatur- und Niederschlagsverlaufes im Holozän gibt LEOPOLD (2003). Klimatische Parameter haben neben der Landnutzung Einfluss auf geomorphodynamische Prozesse, wie etwa Bodenerosion (vgl. Kap. 2). Dabei sind insbesondere die Häufigkeit und Stärke der Niederschläge von Bedeutung. Diese sind außerdem häufig eng mit extremen Hochwasserereignissen verknüpft (vgl. Kap. 5.1.2).

Für die Fragestellung der Arbeit sind besonders die klimatischen Verhältnisse während der Blüte der Montanindustrie in der Oberpfalz, d.h. zur Zeit des Mittelalters und zu Beginn der Neuzeit, von Interesse. Die Abbildung 6 zeigt die Abweichung der bodennahen Luft-

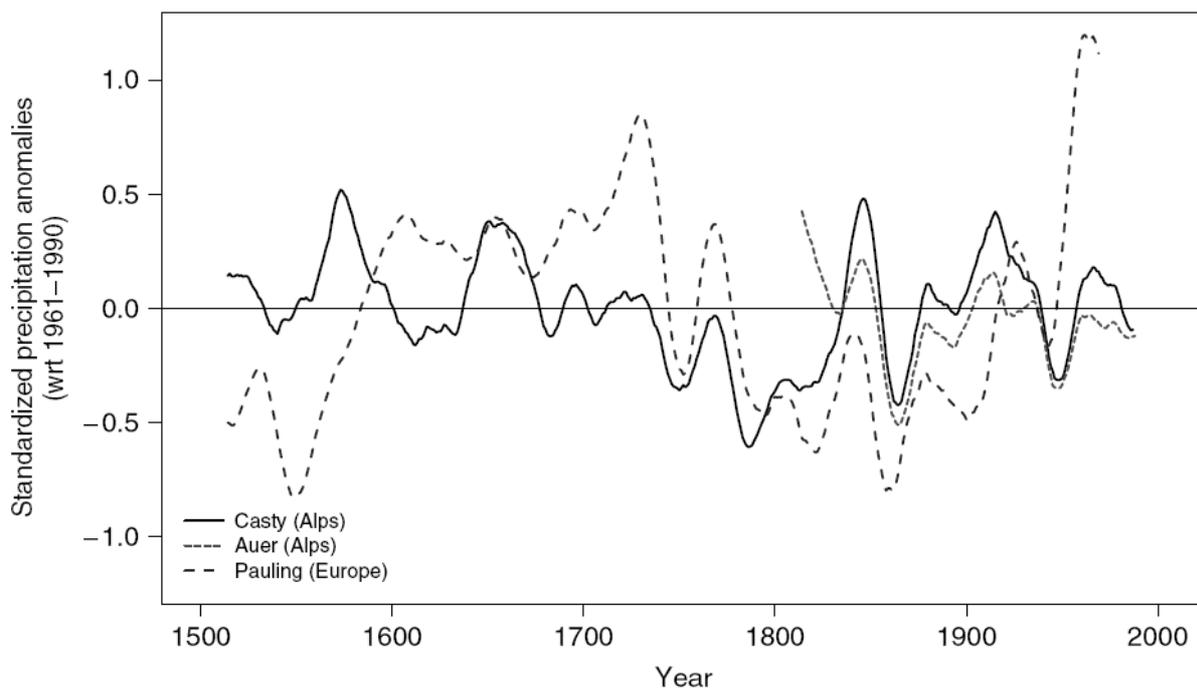
temperatur während der letzten 1000 Jahre auf der Nordhalbkugel vom langjährigen Mittel (Referenzperiode 1961 bis 1990). Eine relativ kalte Periode vom 15. bis 19. Jahrhundert (Kleine Eiszeit) folgt auf eine relativ warme Periode vom 11. bis zum 14. Jahrhundert, das so genannte „Mittelalterliche Optimum“ (CROWLEY & LOWERY 2000, JONES et al. 2003). Das mittelalterliche Wärmeoptimum zeichnete sich durch einen starken Sommer - Winter Kontrast aus, die Sommer waren heiß, die Winter sehr kalt. Obwohl die Lufttemperaturen während des Mittelalters um 0,2 °C über dem Durchschnitt vom 15. bis zum 19. Jh. lagen, sind diese jedoch deutlich niedriger, als jene des anthropogen bedingten Optimums gegen Ende des letzten Jahrtausends. Das moderne Wärmeoptimum ab 1930 ergibt sich durch milde Winter und gemäßigte Sommer. Die rekonstruierten Werte stammen aus Proxydaten von Baumringen, Korallen, Eiskernen und historischen Dokumenten (IPCC 2001).



**Abb. 6:** Abweichung der bodennahen Lufttemperatur der nördlichen Hemisphäre der letzten 1000 Jahre auf Basis von instrumentellen Beobachtungen und rekonstruierten Daten (grau: Unsicherheitsbereich) (IPCC 2001, S. 134)

Rekonstruktionen der Niederschlagsverhältnisse sind erheblich schwieriger als die der Lufttemperatur. Es ergeben sich regionale Unterschiede und große Schwankungsbreiten zwischen Mittelwerten und Extremereignissen. Die vorliegenden Rekonstruktionen beziehen verschiedene Geoarchive und Modelle als Grundlage mit ein (z.B. GLASER 2001, SEPPÄ & BIRKS 2001, CASTY et al. 2005, WILSON et al. 2005, PAULING et al. 2006). PAULING et al. (2006) können für den Zeitraum ab 1500 belegen, dass große Variationen zwischen den

Jahreszeiten und zwischen einzelnen Jahren auftreten. CASTY et al. (2005) zeigen die Abweichungen der Niederschläge seit dem Jahr 1500 in den Alpen und Europa (Abb. 7). Im Gegensatz zur Temperaturentwicklung, kann kein eindeutiger überregionaler Trend festgestellt werden. Die kühleren Phasen sind häufig auch die feuchteren. Dendroklimatische Untersuchungen im Bayerischen Wald ergaben aber auch während der Kleinen Eiszeit besonders trockene Perioden im Frühjahr und Sommer (WILSON et al. 2005).



**Abb. 7:** Geglättete standardisierte Anomalien des Niederschlags im Zeitraum 1500 bis 2000 im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990 (nach CASTY et al. 2005, S. 1867)

### 5.1.2 Hochwasserereignisse und Flussausbau

Extreme Hochwässer und die damit verbundenen Überschwemmungen sind ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung der Auensedimente und ihrer Genese. Einige Hochwasserereignisse verändern nachhaltig das Landschaftsbild, wie etwa durch Mäanderdurchbrüche (z.B. 1784, Elbe) oder durch das Abrutschen ganzer Hangpartien (z.B. Main) (GLASER 2001). Mit der Größe des Einzugsgebietes wachsen die Spitzenabflüsse bei der Überlastung der natürlichen Retentionspotentiale, aber auch in kleinen Einzugsgebieten können durch das plötzliche Ansteigen des Wasserstandes starke Überschwemmungen auftreten. Hohe Schäden treten häufig bei der Überlagerung von Hochwasserwellen auf. Im Gebiet des Jura wirkt der Karstwasserhaushalt ausgleichend. Zugleich wird die Hochwasserwelle durch den breiten Anstieg des Grundwasserspiegels im Tal abgeschwächt.

Für die Auelehmlagerung ist der Anteil des Feststofftransportes bzw. des Schwebstoffgehaltes von Bedeutung. Dieser ist abhängig von Wasserführung,

Fließgeschwindigkeit und Feststoffzufuhr. Insbesondere für das Mittelalter ist durch die starke Beanspruchung der Wälder und damit Freilegung der Bodenoberfläche mit einem erhöhten Eintrag von Sediment zu rechnen. Auswirkungen auf das natürliche System der Flüsse und Talauen haben zudem die z.T. massiven, anthropogenen Eingriffe in Form von Deichbauten, Flussbegradigungen und Einbau von Wehren und Staustufen. Sie beeinflussen zum einen den Schwebstofftransport, zum anderen können Flussregulierungen das Wasser schneller abfließen lassen, was zu verstärkter Tiefenerosion führt. Dieses führt häufig zur Beschleunigung der Hochwasserwellen und kann vor allem flussabwärts sehr hohe Wasserstände bewirken (DEUTSCH et al. 2000, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004).

Bereits im Mittelalter begann an der Vils der Bau von Umfluten, Wehren/Staustufen, Ufer- und Sohlenbefestigungen sowie die Einengung der Strömung. Damit wurde das Wasser für die Schifffahrt und als Antrieb für die Wasserräder reguliert und eine Erhöhung der Wassertiefe erreicht. In manchen Flussabschnitten wurde auch der Flusslauf begradigt, wie etwa 1825 in Schmidmühlen (ZAHN 1976). Die Veränderungen an der Vils stellen einen elementaren Eingriff dar, sind aber in ihren Ausmaßen beispielsweise nicht vergleichbar mit den neuzeitlichen, umfangreichen Eingriffen am Rhein. Die Vils wird über weite Strecken zurückgestaut, so dass freie Fließwasserstrecken selten vorkommen. Der Fluss ist durch die Stauhaltungskette „zerstückelt“, die natürliche Fließbewegung, die Dynamik und die Durchgängigkeit sind stark eingeschränkt. „Der hohe Wasserstand hat die Entwässerung des Talbodens erschwert und dazu beigetragen, dass nicht alle Flächen als Acker genutzt werden. Bei höheren Abflüssen ufert das Wasser in den Staubereichen schnell aus und sucht sich am tiefsten Punkt des Tales seinen Weg“ (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996, WWA-Info 12). Durch die geringe Fließgeschwindigkeit in den aufgestauten Bereichen wird das Gewässer breiter und tiefer. Es entsteht dort ein monotones, kaum strukturiertes Gewässerbett. Die feinkörnigen Ablagerungen führen zu Organismengemeinschaften, die typisch für Seen oder schlammige Tieflandsflüsse sind (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996, WWA-Info 12). Die aktuellen Überschwemmungshäufigkeiten variieren kleinräumig, allein zwischen Wolfsbach und Ensdorf reicht die Häufigkeit von seltener als alle 2 bis 5 Jahre bis mehrmals jährlich (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996).

Ab etwa 1000 n. Chr. berichten Hochwassermarken und alte Chroniken über Hochwässer und ihre Auswirkungen. Diese rein deskriptiven Angaben liefern, bei kritischer Betrachtung, wertvolle Hinweise. Hochwassermarken geben genaue Informationen, die teilweise mit heutigen Pegelständen in Beziehung gebracht werden können. Häufig ist daraus eine Rekonstruktion der Wasserstände sowie der meteorologischen Ursachen möglich. Zuverlässig ist allerdings nur die regelmäßige Beobachtung des Wasserstandes an

definierten Stellen. Daher erfolgen in Bayern seit 1821 Aufzeichnungen von Pegeln. Durch Veränderung der Flüsse, im Laufe der Zeit, können jedoch gleiche Wassermengen unterschiedliche Wasserstände und Schäden erzeugen. Das erschwert zum Teil einen Vergleich der Daten. In der Regel treten Hochwasserereignisse in Mitteleuropa nicht synchron auf und sind abhängig von den lokalen Gegebenheiten. Ausnahmen stellen bestimmte klimatische Phasen (z.B. Spätes Mittelalter/Frühe Neuzeit) dar. Sowohl die regionalen Unterschiede in der Ausprägung als auch Datenlücken erschweren die Rekonstruktion von Hochwasserereignissen (PÖRTGE & DEUTSCH 2000, GLASER 2001).

Das Einzugsgebiet der Vils liegt zwischen dem der Pegnitz, die über die Regnitz zum Main entwässert, und dem der Naab, in die die Vils bei Kallmünz mündet. Für die Vils selbst liegen kaum Informationen zu früheren Hochwasserereignissen vor. Hochwasser auslösende Wetterlagen treffen aber meist eine größere Region, so dass in gewissem Rahmen davon ausgegangen werden kann, dass die Vils ebenfalls Hochwasser geführt hat, wenn dies bei anderen Flüssen der Region, wie der Donau und der Naab, aber auch beim Main und der Pegnitz, der Fall war. Basierend auf alten Berichten und Chroniken sowie Pegelaufzeichnungen wurden nach BUCH (1988a), ZITZELSBERGER (1991), BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1998, 2000, 2004), GLASER (2001), HOCHWASSERMARKEN HEITZENHOFEN/NAAB, AKTEN WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG und HEINE et al. (2005) bedeutende Hochwasserereignisse an Donau, Naab und Vils zusammengestellt (s. Tab. 2). Aufgrund des großen Einzugsgebietes der Donau wurden bevorzugt Daten, die Regensburg betreffen, mit einbezogen.

Die Hochwassermarken an einem historischen Gebäude in Heitzenhofen an der Naab zeigen das Hochwasser von 1909 mit dem höchsten Wasserstand. Dieses Hochwasser ist auch an der Vils von großer Bedeutung gewesen (vgl. Kap. 6.1). Darunter folgen Hochwassermarken von 1784, 1882 und deutlich darunter von 1943, 1988, 1954 und 1995 (LEOPOLD et al. 2003). Für das Hochwasser von 1954 liegen auch Berichte über Schäden an Wehren und Kleinkraftwasseranlagen an der Vils vor. Für das Kloster Ensdorf bedeutende Hochwässer sind für die Jahre 1770 und 1987 belegt (ZITZELSBERGER 1991). Die Auswirkungen des Hochwassers an der Vils vom Januar 2003 sind in Kap. 6.1 dargestellt. Naab und Vils sind vor allem von Winterhochwässern betroffen, aber auch extreme Sommerhochwässer sind möglich. Für den Bogenbach (Unterer Bayerischer Wald) kann eine Zunahme der Hochwasser vor allem Mitte des 14. Jh. und Anfang des 15. Jh. festgestellt werden (HEINE et al. 2005). In nahezu allen Regionalreihen zur Hochwasserentwicklung in Mitteleuropa findet sich eine Intensivierung zwischen 1550 und 1730 mit einem starken Rückgang um 1630 (Kleine Eiszeit). Ab 1800 führen flussbauliche Maßnahmen dazu, dass das einheitliche Muster der Hochwasser nicht mehr zu finden ist.

**Tab. 2:** Bedeutende Hochwasserereignisse an Donau, Naab und Vils nach BUCH (1988a), ZITZELSBERGER (1991), BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1998, 2000, 2004), GLASER (2001), HOCHWASSERMARKEN HEITZENHOFEN/NAAB, AKTEN WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG und HEINE et al. (2005), Legende: Winterhochwasser: blau, Sommerhochwasser: rot

Donau				Naab		Vils
359	1316	1482	1890	1784	1954	1770
376	1342	1485	1920	1845	1954	1909
1012	1343	1490	1945	1850	1970	1954
1013	1374	1501	1954	1862	1980	1956
1051	1402	1595	1965	1882	1982	1968
1060	1405	1709	1970	1882	1987	1970
1088	1432	1732	1988	1890	1988	1982
1194	1448	1784	1993	1909	1993	1987
1210	1451	1845	1994	1923	1995	1988
1235/36	1461	1850	1995	1931	1998	1990
1280	1462	1862	1998	1943	2003	1993
1304	1462	1876	1999	1947		1995
1310	1480	1882/83	2002	1948		1998
						2003

Die Tabelle 3 zeigt Phasen mit außerordentlich vielen Hochwassern an Donau, Main und Pegnitz.

**Tab. 3:** Von zahlreichen Hochwassern geprägte Phasen an Donau, Main und Pegnitz basierend auf der Auswertung der 30-jährigen gleitenden Häufigkeiten (nach GLASER 2001)

Donau	Main	Pegnitz
1520 - 1530	1550 - 1600	um 1350
1580 - 1590	1660 - 1690	1425 - 1475
1640 - 1660	um 1750	1550 - 1600
1730 - 1740	um 1830	1650 - 1700
1775 - 1790	um 1925	1850 - 1900

GLASER hebt vier Ereignisse als Jahrhundert- bzw. Jahrtausendhochwässer hervor. Zunächst den „hydrologischen Gau von 1342“, wo mehrtägige, heftige Niederschläge in ganz Mitteleuropa zu großen Verlusten und Schäden bei Mensch, Tier, Bauten und Landschaft führten (GLASER 2001, vgl. auch BORK et al. 1998). Auch für Regensburg sind entsprechende Schäden dokumentiert. Dann eine Hochwassersequenz von 1595, die zu dramatischen Situationen führte. Hier war vor allem die lange Dauer für die schweren Schäden verantwortlich. Sowohl Franken als auch die Donauregion waren 1732 von Hochwasser extrem stark betroffen. Da das Wasser oberflächlich abfloss, war es besonders morphodynamisch wirksam. Eine der schwersten Hochwasserkatastrophen in Mitteleuropa

ist für das Jahr 1784 belegt. Ein Warmlufteinbruch verbunden mit starken Niederschlägen und Schneeschmelze sowie Eisstauwirkungen führten zu diesem Extremereignis.

BUCH (1988) geht aufgrund der starken Zunahme von extremen Hochwasserereignissen der Donau im Raum Regensburg zwischen 1560 und 1860 davon aus, dass es zu größeren Sedimentumlagerungen gekommen ist. Flussmorphologisch relevant ist in diesem Zeitraum das Auftreten von Eisstößen. Postuliert wird ein erhöhter Schwebstoffeintrag durch die Flüsse Regen und Naab als Folge der bergbaulich bedingten Waldauflichtung.

### 5.1.3 Anorganische Hintergrundwerte des Untersuchungsraumes

Um die analysierten Schwermetallgehalte und den Einfluss des historischen Bergbaus beurteilen zu können, ist die Kenntnis der Hintergrundgehalte anorganischer Stoffe erforderlich. Im Rheinischen Schiefergebirge oder im Harz sind beispielsweise die Hintergrundwerte für Blei relativ hoch (VÖLKELE 2003). Untersuchungen in ehemaligen Bergbaugebieten bestätigen, dass es zur Einordnung der ermittelten Schwermetallgehalte wichtig ist, die lokalen, geogenen Verhältnisse und Hintergrundwerte zu beachten (z.B. FOELLMER 1999). Auch DOBLER (1999) zieht zum Vergleich den aktuellen geochemischen Hintergrund heran. Er geht aber davon aus, dass dieser früher, d.h. vor der Industrialisierung, noch geringer war. Verschiedene statistische Verfahren zur Ermittlung des geochemischen Hintergrundes wurden von MATSCHULLAT et al. (2000) getestet.

Die Hintergrundgehalte für die Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Tl, V und Zn wurden für Bayern vom Bayerischen Geologischen Landesamt ermittelt (RUPPERT & SCHMIDT 1987, SUTTNER et al. 1998, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1999). Der Hintergrundgehalt eines Bodens besteht aus dem geogenen Grundgehalt und der ubiquitären Zusatzbelastung als Folge diffuser Einträge. Der geogene Grundgehalt ist der Stoffbestand des Bodens, der sich aus dem lithologischen und dem pedogenen Anteil, der An- oder Abreicherung durch pedogenetische Prozesse, zusammensetzt. Hintergrundwerte werden unter Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten, der Gesteine und Substrate, der Nutzung und der Horizonte aus den Hintergrundgehalten ermittelt (SUTTNER et al. 1998). Bei der Einschätzung der möglichen Belastungssituation helfen definierte Grenzwerte (vgl. Tab. A 2 und Tab. A 3 im Anhang). Die Tabelle 4 enthält die Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe für verschiedene Substrate und Bodenarten der Fränkischen und Schwäbischen Alb. Angegeben ist das 90-Perzentile, das bedeutet, dass 90 % aller Böden niedrigere Gehalte aufweisen. Der Wert kann als Abgrenzung zur merklichen anthropogenen Belastung herangezogen werden. In Bayern überschreiten Böden aus Lösslehm, Kalkstein, Dolomitstein, Tonschiefer, basischen und ultrabasischen Gesteinen häufig die Vorsorgewerte des Bundes-Bodenschutzgesetzes (vgl. Tab. A 2 im Anhang).

**Tab. 4:** Hintergrundwerte Fränkische und Schwäbische Alb (nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1999)

Hintergrundwerte (90 % Perzentile) [mg/kg] typischer Böden der Fränkischen und Schwäbischen Alb aufgegliedert nach Substraten, Nutzungen und Horizonten														
Substrat und meist vorherrschende Bodenart	Nutzung	Horizont	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	T	V	Zn
Humusauflagen	-	Forst	Of-Horizont	5,3	0,82	4,9	24	25	0,48	17	116	0,37	24	120
			Oh-Horizont	17	1,6	8,1	47	48	0,75	27	185	0,7	44	193
Sande und Sandsteine der Kreide	s	Forst	Oberböden	0,15	4,2	47	10	0,16	12	25	0,12	54	26	
			Unterböden	0,11	12	52	11	0,09	21	21	0,29	55	28	
			Acker, Grünland, Forst	0,13	11	54	10	0,12	24	18	0,62	72	35	
Löß, Lößlehm	l, u	Acker, Grünland	Oberböden	17	1,4	35	105	47	0,18	111	62	1	133	237
			Unterböden	15	0,92	27	95	25	0,12	53	41	0,87	110	95
	Forst	Oberböden	17	0,47	27	84	19	0,34	45	66	0,89	94	109	
		Unterböden	20	0,28	24	78	26	0,12	69	38	0,99	105	107	
Lehme des Jura und der Kreide	L	Forst	Unterböden	0,18		63	28		31	33			56	
Kalkstein und Kalksteinverwitterung	l, t	Acker, Grünland	Oberböden			19	107	0,19	107	64				241
			Unterböden	19	2,4	40	121	68	0,3	217	58	1,7	178	410
		Forst	Oberböden	0,94	20	90	32	0,29	53	69	1,2	101	175	
			Unterböden	0,59	28	122	35	0,19	129	41	1,2	157	171	
		Acker, Grünland, Forst	C-Horizonte	22	0,73	27	74	39	0,16	109	35	1,2	138	147

Ein hoher Gehalt an Tonmineralen bewirkt aufgrund der hohen Bindungskapazitäten meist höhere Problemstoffgehalte. Sandige Substrate hingegen haben i.d.R. sehr niedrige Gehalte. Lößeinfluss kann einen Anstieg der Cr-Gehalte sowie der Cd-Werte verursachen. Insbesondere in carbonatreichen Gesteinen kommt es durch Lösungsprozesse zu einer relativen Anreicherung („Aufkonzentration“) der verbleibenden Elemente. Die zurückbleibenden Silikate bilden häufig Böden aus Residualtonen, die gegenüber dem Ausgangsgestein 2 bis 24fache Anreicherungsfaktoren aufweisen (SUTTNER et al. 1998). „Im Vergleich mit den anderen Substraten haben die aus Mergel-, Kalk- und Karbonatgesteinen hervorgegangenen Böden meist die höchsten Cd-Gehalte (bis 0,7 mg/kg, in T-Horizonten bis 3 mg/kg) sowie hohe As-Gehalte (bis 12 mg/kg, in T-Horizonten bis 21 mg/kg). Bei den übrigen anorganischen Problemstoffen treten eher niedrige bis mittlere Konzentrationen auf, soweit nicht eine Anreicherung in den Residualtonen stattgefunden hat“ (SUTTNER et al. 1998, S. 21). Meist sind die höchsten Gehalte anorganischer Problemstoffe bei Böden aus Kalkgesteinen in den Unterböden. Ausnahmen stellen die Elemente Cd, Hg und Pb dar. T-Horizonte der Alb weisen vor allem bei den Elementen Cd, Ni und Zn höhere Gehalte als B-Horizonte auf. Auf der Fränkischen und Schwäbischen Alb sind Acker- und Grünlandflächen höher belastet als Waldstandorte. Neben den Kalksteinen sind auch Lehme, Löß und

sandige Substrate verbreitet. Die Sande und Sandsteine weisen die geringsten Gehalte, Kalksteine und Lehme höhere Gehalte auf. Oft sind die Böden äolisch überprägt. Landwirtschaftlich genutzte Böden aus Kalkstein und Kalksteinverwitterungsmaterial überschreiten häufig die Konzentrationen der Vorsorgewerte für Nickel und Zink. Gerade bei Kalksteinen kommt es zu einer großen Streuung der Werte für den Hintergrundgehalt. Detaillierte Tabellen mit allen ermittelten Werten liegen in SUTTNER et al. (1998) vor.

Sowohl die Hintergrundgehalte anorganischer Problemstoffe als auch die Einteilung der Grenz- und Prüfwerte (vgl. Tab. A 2 und Tab. A 3) müssen immer einer sorgfältigen, kritischen Prüfung angesichts der Fragestellung und des Standortes unterzogen werden. Probleme können beispielsweise dadurch auftreten, dass die Werte auf unterschiedlichen Erhebungen beruhen und die Horizontabgrenzung nicht differenziert genug ist.

#### 5.1.4 Schwermetallbelastung der Vils und ihrer Nebengewässer

Eine Schwermetallbelastung der Sedimente von Vils und anderer Fließgewässer im Raum Freihung ist seit längerem bekannt. Seit dem Mittelalter wurden am Oberlauf der Vils Bleierze abgebaut und verhüttet. Haupterzträger ist das Mineral Cerussit ( $\text{PbCO}_3$ , Weißbleierz). Untergeordnet kommen auch Bleiglanz ( $\text{PbS}$ ) sowie sekundäre Blei-, Zink-, Kupfer-, Mangan-, Eisen- und Silbermineralien vor (STRUNZ 1975, ZIEHR & JAKUBEC 1975). Erste detaillierte Untersuchungen wurden Anfang der 1990er Jahre vom WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG für die Vils und verschiedene Nebengewässer initiiert. Schwermetalleinträge in die Aue erfolgen aus Halden und erzführenden Schichten. Im Gegensatz dazu, ist das Gebiet unterhalb Ambergs durch die Verarbeitung und Verhüttung von Eisenerz geprägt. Das Messprogramm des Wasserwirtschaftsamtes Amberg von 1992/1993 erfasst Vilsedimente von oberhalb Freihung bis kurz vor Schmidmühlen. Die Untersuchungen liefern Informationen über die rezente Schwermetallbelastung und können als Vergleichswerte für die eigenen Untersuchungen heran gezogen werden. Insbesondere die Ergebnisse aus Theuern, nördlich von Wolfsbach, sind für die Einordnung der aktuellen Schwermetallkonzentrationen in den Flusssedimenten bedeutend.

Die Sedimente wurden an mehreren Zeitpunkten über das Jahr verteilt i.d.R. über Sammelkästen gewonnen und mittels Königswasser aufgeschlossen. Bei der Beurteilung der Schwermetallgehalte sind Wassermenge und Wasserführung sowie Verdünnung und Anreicherung durch Zuflüsse zu beachten. Nachdem die Werte unterhalb Freihungs zunächst hoch sind, fallen sie flussabwärts fortlaufend ab. Südlich von Amberg, an der Mess-Stelle Theuern, erfolgt ein starker Wiederanstieg. Blei und Arsen weisen die höchsten Gehalte unterhalb Freihung auf. Die Messwerte für Blei lagen dort zwischen 1530 und 2000 mg/kg Trockensubstanz (TS) (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG, A2 - 4428.2 -

3198/93). Neben den Fließgewässern ist auch das oberflächennahe Grundwasser betroffen. Aktuelle Untersuchungen von Auensedimenten der Vils oberhalb Freihung, im Rahmen des Graduiertenkollegs, ergaben vor allem sehr hohe Gehalte von Blei (z.B. 1520 mg/kg) und Zink (z.B. 418 mg/kg). Die Gesamtgehalte der Schwermetalle schwanken stark in den Auenprofilen. Die höchsten Konzentrationen weisen die oberflächennahen Ap-, aM- und aGo-Horizonte auf. Die Gehalte von Blei, Zink und Arsen nehmen mit zunehmender Entfernung von den Halden, als Haupteintragsquellen, ab. Die Elemente sind im vorliegenden pH-Milieu nahezu immobil und werden daher vorwiegend fluvial-partikulär transportiert (HÜRKAMP et al. 2003, RAAB et al. 2003a, HÜRKAMP 2006). Quecksilber, Kupfer, Zink und Cadmium hingegen haben die höchsten Konzentrationen im Vils sediment unterhalb von Amberg an der Messstelle Theuern (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Ursache ist hier vor allem der Zufluss des Rosenbaches, der die Abwässer eines Eisen- und Stahlwerkes in Sulzbach-Rosenberg in die Vils einbringt. Als weitere belastende Faktoren kommen kommunale Kläranlagen in Frage. Die vor allem früher hohen Cadmiumbelastungen der Vils, die sich bis in die heutige Zeit auswirken, gehen auf ehemalige Einleitungen der Fa. Siemens in Amberg zurück. Die verschiedenen Zuflüsse zur Vils sind unterschiedlich belastet und können je nach Belastungsgrad zur Verstärkung oder zur Verdünnung und damit zur Zu- oder Abnahme der Konzentrationen führen. Am Messpunkt Theuern, Gemeinde Kümmersbruck, wurden 1993 folgende Gehalte ermittelt (Tab. 5):

**Tab. 5:** Schwermetallgehalte im Vils sediment am Messpunkt Theuern 1993 (Aufschluss nach DIN 38414 - S7, Messung AAS)

Schwermetallgehalte in mg/kg Trockensubstanz	Sammelzeitraum: 08.04.1993 - 22.04.1993	Sammelzeitraum: 17.06.1993 - 01.07.1993	Sammelzeitraum: 02.09.1993 - 16.09.1993	Sammelzeitraum: 04.11.1993 – 25.11.1993
Aluminium	21.000	20.700	31.300	32.300
Arsen	14	14	11	16
Cadmium	6,3	7,0	9,7	8,0
Chrom	90	83	87	90
Kupfer	77	93	103	117
Eisen	36.700	40.000	40.000	46.700
Quecksilber	0,50	0,30	0,60	0,97
Mangan	1.570	1.630	3.330	2.370
Nickel	47	43	53	47
Blei	220	250	933	300
Selen	0,30	0,40	0,47	1,50
Zink	1.000	1.170	1.330	1.530

In Harschhof, Gemeinde Schmidmühlen (südlich Ens Dorf), dem letzten Untersuchungsstandort der Mess-Serie von 1993, sind die meisten Elementgehalte, z.B. Eisen, Blei und Zink, etwas gesunken. Dieses ist mit einem Verdünnungseffekt in weiterer Entfernung von der Quelle der Belastung zu erklären. Die Untersuchungen zeigen außerdem, dass nach kurzen Fließstrecken die Schwermetalle durch Fällungsvorgänge im Sediment gebunden werden. Neben dem Raum Freihung sind die massiven Schwermetallbelastungen ab Theuern problematisch. Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie wurden 1995 Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluss der Kläranlage in Theuern zu klären. Als Mess-Stellen wurden oberhalb der Kläranlagenableitung das Triebwerk Theuern und unterhalb die Brücke in Wolfsbach ausgewählt. Die Proben wurden mit der gleichen Methode wie 1993 gewonnen und bearbeitet. Hydrologischen Unterschieden im Jahresverlauf wird durch drei Probennahmen Rechnung getragen. In Wolfsbach wurden 1995 folgende Schwermetallgehalte im Sediment der Vils gemessen (Tab. 6):

**Tab. 6:** Schwermetallgehalte im Vils sediment beim Triebwerk Wolfsbach, unterhalb Einleitung der Kläranlage Amberg-Kümmersbruck 1995 (Aufschluss nach DIN 38414 - S7, Messung mittels AAS)

Schwermetallgehalte in mg/kg Trockensubstanz	Sammelzeitraum I:	Sammelzeitraum II:	Sammelzeitraum III:
	04.05.1995 - 18.05.1995	04.07.1995 - 19.07.1995	07.09.1995 - 19.09.1995
Aluminium	28.000	18.000	56.700
Cadmium	5,3	5,3	7,0
Chrom	73	80	80
Kupfer	80	103	97
Eisen	40.000	43.300	36.700
Mangan	1.430	1.670	1.730
Nickel	50	50	47
Blei	240	303	220
Zink	930	1.000	1.130
Quecksilber	0,47	0,50	0,87
Arsen	12	14	8,7

AKTEN WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG, A2 - 4428.2 - 264, Anlage

Die Messwerte in Theuern sind vergleichbar mit den Ergebnissen von 1993. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Abwassereinleitung der Kläranlage die Schwermetallbelastung der Vils nicht nennenswert erhöht wird (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG, A2 - 4428.2 - 264). Im Vergleich zur so genannten Grundbelastung, d.h. der Belastung der Vils oberhalb des Bleierzbergbaus, ist aber bei vielen Elementen ein z.T. deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Die im Rahmen der Offenhaltung eines Altwassers bei Rieden von 1986 bis 1999 durchgeführten Analysen auf Schwermetalle, lassen eine Verbesserung der Belastungssituation im Laufe der Zeit erkennen (s. Tab. 7).

**Tab. 7:** Schwermetallgehalte im Sediment eines Altwassers bei Rieden zwischen 1986 und 1999

Schwermetallgehalte in mg/kg Trocken- substanz	Probennahme: 01.10.1986		Probennahme: 12.12.1996		Probennahme: 13.05.1998		Probennahme: 02.12.1999	
Aluminium	-	-	-	-	28.700	-	-	-
Arsen	-	-	-	-	12	-	-	-
Cadmium	35	31,5	11,7	11,7	12	14,3	14,3	14,3
Chrom	81	50	80	80	87	63	63	63
Kupfer	146	105	110	110	113	93	93	93
Eisen	-	-	-	-	36.700	-	-	-
Quecksilber	-	0,05	-	-	0,63	1,1	1,1	1,1
Mangan	-	-	-	-	830	-	-	-
Nickel	45	35	47	47	47	37	37	37
Blei	254	250	257	257	283	190	190	190
Zink	1.320	1.450	1.170	1.170	1.230	1.100	1.100	1.100

Anmerkungen: 1986 Mischprobe aus ausgebaggertem Sediment, Aufschluss mit Salpetersäure und Wasserstoffperoxid, zwei Messungen; 1996/1998/1999: Greifersediment, Königswasseraufschluss  
AKTEN WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG, Aktenvermerke 1986 - 1999

Seit den 80er Jahren sind die Cadmiumgehalte deutlich zurückgegangen, da inzwischen keine Einleitungen mehr durch die Fa. Siemens in Amberg (Indirekteinleiter) erfolgen. Jedoch liegen die Gehalte immer noch über den Grenzwerten der Klärschlammverordnung (vgl. Tab. A 3). Die deutlich niedrigeren Schwermetallgehalte eines Altwasserarms der Vils oberhalb Hahnbachs von 1987 bestätigen zusätzlich die Ursachen der erhöhten Werte ab Amberg. Untersuchungen unterhalb Drahtammerschlößl von 1996 (5,3 mg/kg TS Cadmium, 97 mg/kg TS Chrom, 97 mg/kg TS Kupfer, 63 mg/kg TS Nickel, 400 mg/kg TS Blei und 1600 mg/kg TS Zink (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG, Aktenvermerk) und verschiedene Untersuchungen auf dem Gebiet der Stadt Amberg zeigen zudem, dass Schwermetallbelastungen von Vilsedimenten kleinräumig variieren können. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Hauptfaktoren der Schwermetallbelastung der Vils ab Amberg die früheren Einleitungen der Firma Siemens und der Zufluss des Rosenbaches mit Abwässern der Neuen Maxhütte in Sulzbach-Rosenberg sind. Inzwischen ist die Neue Maxhütte stillgelegt. Ferner wurden insgesamt höhere Umweltauflagen eingeführt. Die Ableitungen der Kläranlage sind 1995 als unbedenklich eingestuft worden. Vor dem Bau der neuen Kläranlage, bzw. als noch kein flächendeckender Anschluss an Kläranlagen vorhanden war, kann es aber zu Belastungen der Sedimente durch Abwässer gekommen sein. Erhöhte Bleigehalte können auch mit Einträgen durch den historischen Bleierzbergbau im Oberlauf der Vils zusammen hängen.

### 5.1.5 Sedimentaufbau im Vilstal anhand von Brunnen- und Brückenbaudaten

Die Auswertung vorhandener Unterlagen liefert Informationen über den Sedimentaufbau und ermöglicht eine Ergänzung der eigenen Geländeuntersuchungen. Im Rahmen von Brückenbauten und Bohrungen für Trinkwasserbrunnen wurden im Vilstal Sondagen durchgeführt und der Sedimentaufbau protokolliert (Akten WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Die Aufnahmen sind unterschiedlich detailreich, ihre Qualität und Genauigkeit schwankt. Sie liefern dennoch wertvolle, ergänzende Hinweise über den allgemein vorherrschenden Sedimentaufbau im Vilstal. Vor allem erreichen sie, im Vergleich zur normalen Rammkernsondierung, in der Regel eine größere Endtiefe. Damit können Aussagen über die Lage der Quartärbasis verifiziert werden. Die Profilbeschreibungen werden zusammengefasst wiedergegeben. Die Karte im Anhang (Abb. A 1) zeigt die Lage der Brunnen und Brücken.

Für zwei Wasserversorgungsbrunnen zwischen Ens Dorf und Rieden liegen Bohrprofile vor. Brunnen I wurde 1953 angelegt und 1982 ausgebaut. Das Profil liegt am Talrand, nördlich von Rieden, westlich der Vils. Die ersten 3,50 m sind als brauner Ton mit Kalksteingeröll aufgenommen. Bis 9 m unter Geländeroberkante folgt brauner Gehängeschutt, der dann in weißen Kalkstein mit Dolomit, teilweise mit Ton vergesellschaftet übergeht. Von 23 m bis 27 m Tiefe steht Ornatenton bzw. Ton an. Dann folgt bis in die erbohrte Tiefe von 63 m Eisensandstein in unterschiedlichen Farben (dunkelbraun, braun, braungelb, dunkelbraun, gelb, braungelb, dunkelgrau, dunkelbraun, rotbraun, dunkelrot, grau). Dieser Sandstein ist schon dem Dogger zuzurechnen, für den Eisenoolith, Mergel, Ornatenton und Eisensandstein typisch sind.

Brunnen II liegt etwas nördlich von Brunnen I. Hier zeigt sich ein vergleichbarer Aufbau. Das Profil beginnt mit Humus über braunem Sand. Ab 1,40 m folgt graubrauner Letten (ton- und mergelreiches Material), der bei 4,20 m in Gehängeschutt übergeht. Von 6 m bis 20,30 m steht grauer, harter, klüftiger Kalkstein mit Ton und Dolomit an. Nach einem schmalen Tonband (mit Kalkstein) folgt ab 20,90 m bis zur erbohrten Endtiefe von 50 m Sandstein (gelbbraun, graugelb, hellgrau mit Quarz, braun).

Zwischen Lengenfeld und Emhof wurden im Vorfeld von acht Brückenbaumaßnahmen Sondierungen des Baugrundes vorgenommen. Die Sondierungen erreichen zwar nicht die Tiefen der Brunnenbohrungen, sie wurden aber mehrere Meter in den Kalkstein hinein abgeteuft.

In Emhof erschließen fünf Bohrungen die Verhältnisse im Flussbett und den angrenzenden Auenbereichen. Die Pläne zum Neubau der Brücke stammen von 1961. In der Flusssohle

liegen 2,50 m Grob- bis Mittelkies über 1,30 m Ton. In einer Tiefe von 3,80 m (344,80 m ü. NN) beginnt der Kalkstein. Bei der westlich angrenzenden Bohrung ist die Kiesschicht mächtiger und der Ton fehlt. Daran angrenzend, in der Aue, liegt der Ton über dem Kies. Östlich der Flusssohle folgt einer schmalen Kiesschicht, Ton mit Sand und Ton mit Steinen.

Der Plan zur Brückenbau in Schmidmühlen stammt von 1974. Es wurden zwei Profile westlich und zwei östlich der Vils aufgenommen. Sie sind sich sehr ähnlich. Auf den Mutterboden folgt stark sandiger Schluff, der nach unten z.T. etwas toniger und organischer wird. Dann folgt stark sandiger Kies mit Steinen. Die Kiesschicht ist unterschiedlich mächtig und variiert von 1,50 m östlich der Vils bis 0,90 m westlich der Vils. Daran schließt sich bei einer Tiefe von 3,30 m bis 4,00 m (350,60 bis 349,90 m ü. NN) harter Kalkstein, anfangs mit Schluffeinlagen, an.

In Vilshofen wurde 1996 eine Vilsbrücke neu gebaut und zwei Bohrungen dokumentiert. Beide sind im oberen Bereich anthropogen verändert. Das östliche Profil ist vielgestaltiger. Allgemein sind sandig-tonige Schluffe und sandige Kiese mit Steinen über Kalkstein aufgenommen. Die überlagernden Schichten sind mächtiger als in Schmidmühlen, erst bei etwa 7 m Tiefe (353,50 m ü. NN) wird das Anstehende erreicht.

Die Vilsbrücke in Rieden wurde 1980/81 geplant und dazu drei Bohrungen abgeteuft. In der Flusssohle liegen etwa 3 m Kies mit Steinen und Sand über dem anstehenden Kalkstein, der bei 355,10 m ü. NN beginnt. Die beiden seitlich der Vils gebohrten Profile sind im oberen Bereich anthropogen überprägt und weisen beide eine Wechsellagerung von Sanden und Kiesen auf. Bei der östlichen Bohrung liegen schluffiger Sand über Kies mit Steinen und Sand, gefolgt von Mittelsand über steinigem Kies, vor. Ab 4,80 m Tiefe (356,59 m ü. NN) steht der Kalkstein an. Beim westlichen Profil reicht die Auffüllung bis 2,40 m Tiefe. Dann folgt eine Wechsellagerung von steinigem Kies, Sand und wieder Kies mit Steinen und Sand. In einer Tiefe von 5,60 m (356,45 m ü. NN) steht der Kalkstein an.

Mitte der 80er Jahre wurden, im Rahmen einer Ortsumgehung für Ensdorf, zwei neue Brücken über die Vils und weite Teile der Aue notwendig. Insgesamt 17 detaillierte Bohrungen erkunden den Untergrund. Die Bohrungen erschließen die Aue von Südost nach Nordwest für die erste Brücke aus Richtung Rieden. Der Beginn des Kalksteins liegt durchschnittlich bei 357,80 m ü. NN mit durchschnittlich 5,10 m Sedimentüberdeckung. Direkt über dem Kalkstein liegt sandiger Kies oder kiesiger Sand. Darüber treten Sande, Schluffe und Tone auf. Für die zweite, etwas nördlich gelegene Brücke, zeigen die Bohrungen, dass der anstehende Kalkstein zumeist absteigend von West nach Ost (359,29 - 356,19 m ü. NN) verläuft. Darüber liegt sandiger Kies, gefolgt in der Regel von kiesigen

Sanden. Die oberen Schichten bilden größtenteils Tone und Schluffe mit unterschiedlich starken Beimengungen von Feinsanden. Die kompletten Profilbeschreibungen und eine Karte zur Lage der Profile sind im Anhang (Tab. A 4 und Abb. A 1) aufgeführt.

Von der Vilsbrücke in Wolfsbach liegen ebenfalls Pläne vom Neubau 1980 vor. Die Brücke quert die Vils unterhalb des Wehres, auf Höhe der Teilung von Vils und Mühlkanal. Die 5 Bohrungen liegen im oder sehr nahe am Flussbett (Bohrung 5 westliches Ufer, Bohrung 4 Vils, Bohrung 3 Insel, Bohrung 2 Mühlkanal, Bohrung 1 östliches Ufer). Dieser Bereich ist seit dem Mittelalter durch den Bau der Umflut und die intensive Nutzung anthropogen überprägt. Das zeigen die Bohrungen am Rand des Gewässers (Bohrung 1 und 5) sowie im Inselbereich (Bohrung 3) mit Auffüllungen von 2,20 bis 3,70 m. Der Kalkstein liegt in einer Höhe von durchschnittlich 360,12 m ü. NN bei den Bohrungen 5, 3, 2 und 1. Bohrung 4 ist dabei nicht berücksichtigt, da sie mit 355 m ü. NN stark abweicht. Über dem Kalkstein liegen im Flussbett (Bohrung 4) über 9 m mächtige Kiese und schluffige Sande, im Mühlkanal dagegen nur 4,20 m.

Nördlich Theuern verläuft die Bundesautobahn A 6 Nürnberg - Amberg - Pfreimd. Im Jahr 1989 wurde die Verbreiterung der Fahrbahntrasse geplant und zahlreiche Bohrungen abgeteuft. Im Gegensatz zu den anderen Plänen, sind hier auch Hangbereiche untersucht worden, so dass ein Talquerschnitt vorhanden ist. Der Kalkstein liegt auf Höhe der heutigen Vils bei 363,80 m ü. NN und steigt zu den Seiten an. Darüber liegen wieder Kiese, vergesellschaftet mit Ton, Schluff, Sand und Steinen. Auch an den Hängen sind Kiese kartiert, da aber genetische Hinweise fehlen, ist nicht eindeutig zu klären, ob es sich um alluviale Ablagerungen handelt. In der Aue sind über dem groben Material vor allem feinsandige Tone verbreitet. In einer Bohrung, nahe der Vils, enthielt das grobe Material über dem Kalkstein viel organische Substanz.

Die Auswertung aller Daten ergibt für das Vilstal zwischen Theuern und Emhof einen Beginn des Kalksteins von zunächst 363,8 m ü. NN, welcher flussabwärts auf 344,8 m ü. NN abfällt (s. Tab. 8). Die Resultate stützen den Kalksteinbefund in den Untersuchungen bei Wolfsbach und Leidersdorf (vgl. Kap. 6.2). Über dem Kalkstein steht Kies mit Sandbeimengungen und Steinen an. Darüber folgen in der Regel sandige oder tonige Schluffe in unterschiedlichen Variationen und Mächtigkeiten. Ein klares Schema lässt sich aber nicht erstellen. Dieser Grundaufbau der Sedimente liegt auch im eigenen Untersuchungsgebiet vor (vgl. Kap. 6.2 und 7). In der Flusssohle liegen Kies- und Sandpakete, deren Mächtigkeit stark variiert (2,5 bis 9,0 m). Nur in einer Bohrung wurde organische Substanz über dem Kalkstein aufgenommen. Immer wieder liegen mehrere Meter mächtige anthropogene Auffüllungen im Auenbereich vor. Diese sind Zeugnis der erheblichen Eingriffe in die Vils, jedoch sind in keinem der Protokolle Funde von Schlacken vermerkt.

**Tab. 8:** Durchschnittlicher Beginn des Kalksteins zwischen Theuern und Emhof (nach Akten des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG)

Ort	Beginn des Kalksteins (m ü. NN)
Theuern	363,8
Wolfsbach	Ø 360,0
Ensdorf	Ø 357,0
Rieden	Ø 356,0
Vilshofen	353,5
Schmidmühlen	Ø 350,0
Emhof	344,8

## 5.2 Montangeschichte der Oberpfalz und ihre Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung

Die Geschichte der oberpfälzer Eisenindustrie und des Bergbaus ist gut untersucht. Neben alten Chroniken und Original-Quellen lieferten DENK (1902), FIRSCHING (1930), LUTZ (1941) und RESS (1950) erste detaillierte Abhandlungen. Einen ausführlichen Exkursionsführer zur Eisenwirtschaft in der Oberpfalz hat ZAHN (1976) zusammengestellt. Mit der Einrichtung des BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUMS OSTBAYERN in Theuern folgten weitere, umfangreiche Veröffentlichungen zu dieser Thematik (u.a. WOLF 1980, GÖTSCHMANN 1985, WOLF 1986, WOLF 1986a, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987a, DÄHNE & ROSER 1988). Eine umfassende Übersicht über Bergbau und Eisengewerbe in der Oberpfalz mit Auswertung von Original-Quellen aus den Archiven liefert dabei GÖTSCHMANN (1985). FRITSCH (1974), der sich mit der oberpfälzischen Forstorganisation beschäftigt, geht auch auf die Zusammenhänge mit der Eisenindustrie ein.

Allerdings fehlt bisher eine verknüpfende Darstellung von der Entwicklung der Eisenindustrie und ihrem Einfluss auf die Umwelt, insbesondere auf den Waldzustand. Gerade der Waldzustand ermöglicht einen Rückschluss auf die Bodenbedeckung und damit auf die Bodenerosionsgefährdung und den möglichen Bodenabtrag. Die Übernutzung der Wälder führt zu vermehrtem Abtrag an den Hängen und zur gesteigerten Auelehmlagerung. Deshalb werden im Folgenden die Auswirkungen der Eisenindustrie auf die Umwelt mittels historischer Quellen und Daten im Hinblick auf die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ausgewertet. Für die Einordnung der sedimentologischen und geochemischen Befunde ist zudem eine genaue Chronologie der untersuchten Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach nötig, die bisher ebenfalls nicht vorliegt.

### 5.2.1 Entwicklung der regionalen Eisenindustrie sowie deren Einfluss auf den Waldzustand

Die erste große Erzabbauphase in der Region reicht in die Eisenzeit zurück (CODREANU-WINDAUER et al. 2004). Auf den an Donau und Altmühl angrenzenden Jurahochflächen wurde früh nach Eisenerz geschürft. Insbesondere auf dem Michelsberg bei Kehlheim sind zahlreiche Pingen Zeugen der regen Abbautätigkeit der Kelten (FRITSCH 1974). In der Siedlung Berching-Pollanten konnten Rennöfen der Latènezeit nachgewiesen werden. Auf dem Frauenberg sind außerdem Eisenschmelzöfen aus dem 10. Jh. n. Chr. belegt (ZWICKER et al. 1985, RIND 2000a). Für die Region Amberg-Sulzbach ist der genaue Beginn der Eisengewinnung nicht sicher datierbar. Durch Funde von Hügelgräbern ist aber eine Besiedlung zur Hallstattzeit belegt. Planmäßig wurden die Eisenerze aber vermutlich erst seit der Latènezeit genutzt. Besondere Fundkomplexe, wie Rennöfen aus dieser Zeit, fehlen in der Oberpfalz. Nur Pingen, wie etwa im Umfeld von Theuern, sind bekannt, aber ihre zeitliche Stellung ist nicht eindeutig geklärt. Die meisten Funde zur Eisenverarbeitung, z.B. im Stadtgebiet von Amberg, sind mittelalterlich (ab 11./12. Jh.). Ursache für die Forschungslücke sind das Fehlen großräumiger Prospektionen sowie die Verwischung der Spuren durch den intensiven mittelalterlichen und neuzeitlichen Bergbau (FRITSCH 1974, DÄHNE & ROSER 1988, CODREANU-WINDAUER et al. 2004).

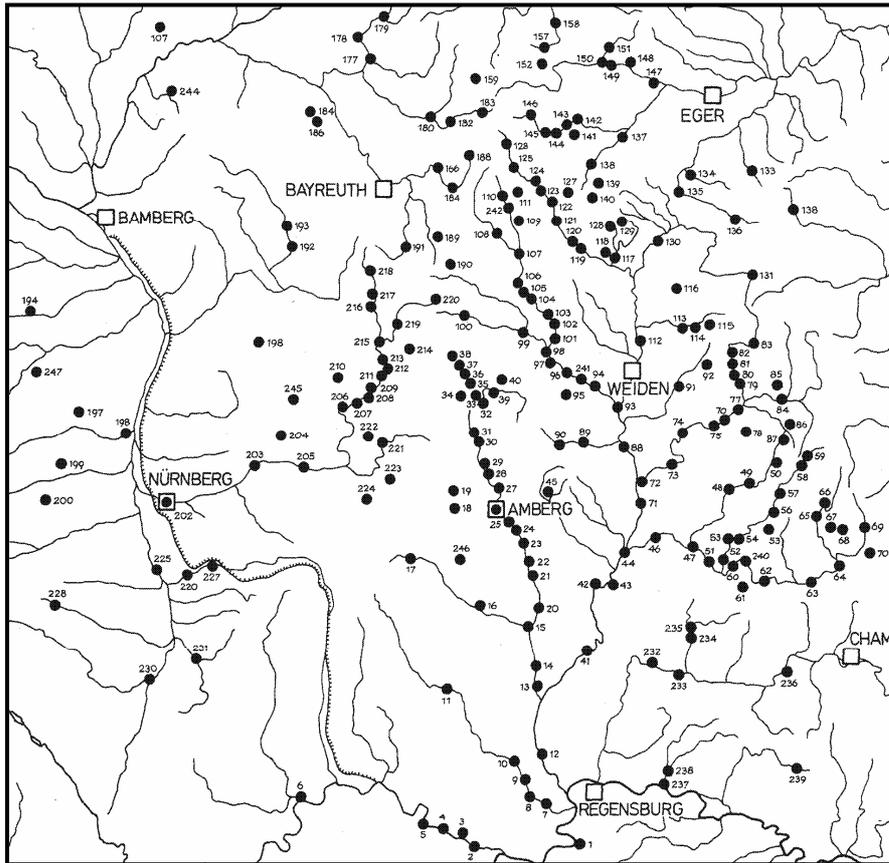
Ein zentraler Siedlungspunkt im Vils- und Naabtal ist die Höhenbefestigung oberhalb Kallmünz, deren Besiedlungsschwerpunkte die Urnenfelderzeit und die Frühe Latènezeit sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Funktion als Handelsort die größte Bedeutung hatte. Funde der Metallverarbeitung gibt es nur vereinzelt innerhalb der befestigten Siedlung. Schlackenfunde auf dem Plateau könnten aus der Frühlatènezeit stammen. Möglich wäre, dass Eisenherstellung und -verarbeitung in der näheren Umgebung der Siedlung stattfanden. Der Forschungsstand zur Metallverarbeitung während der Bronze, Urnenfelder- und Latènezeit im Raum Kallmünz ist aber, wie in der gesamten Oberpfalz, gering (SANDNER & SCHAUER 2003, SANDNER 2005).

Der so genannte Nordgau, zu dem das Gebiet um Naab und Vils mit ihren Zuflüssen gehörte, war durch seine ausgedehnten Wälder geprägt. Im 6. - 8. Jahrhundert entstehen im Zuge von Rodungen unter den Agilolfingern erste größere Siedlungen. Insbesondere Gebiete an der Naab, mit ihren Nebenflüssen Vils und Schwarzach, wurden durch die Bajuwaren frühzeitig besiedelt. Die Rodungsperiode vom 9. - 13. Jahrhundert „erfasste die bei der ersten Landnahme noch unerschlossenen Waldgebiete auf den Kreidedecken der Jurahochflächen und den Sandböden des vorgelagerten Schollenlandes, vor allem aber den undurchdringlichen Nordwald in den Randgebirgen“ (FRITSCH 1974, S. 13). Diese Phase ist

durch Ortsnamen, die auf reut, ried, richt, brand, schwend, schwand, grün, tann und schlag enden, gekennzeichnet. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Ort Rieden in diese Gründungsperiode gehört. Oft zählten die Klöster im Zuge der kirchlichen und religiösen Erneuerung zu den Förderern von Rodungen und Erschließung des Landes. Das Kloster Ensdorf (1121) wurde jedoch schon in einer bereits besiedelten Gegend angelegt und diente vor allem der wirtschaftlichen Erschließung und weniger der Schaffung von Neuland. Die Verteilung zwischen Wald und Feldflur war zumeist Ende des 13. Jahrhunderts abgeschlossen und hat sich bis heute nicht mehr stark verändert. Einzelne Siedlungen wurden aber im 14. Jahrhundert aufgrund äußerer Einflüsse, wie Ungunst oder Seuchen, wieder aufgegeben, so dass Wüstungen entstanden (FRITSCH 1974).

Der Erzberg in Amberg wird im Jahr 931 AD erstmals urkundlich erwähnt (DENK 1902). Die Städte Amberg und Sulzbach werden 1034 bzw. 1071/1106 zum ersten Mal schriftlich genannt, aber ihre Anfänge reichen einige hundert Jahre weiter zurück (CODREANU-WINDHAUER et al. 2004). Im Früh-Mittelalter lagen die Rennfeueröfen in der Nähe der Erzabbaustätten. Blasebälge und Hämmer mussten von Hand betrieben werden. Neben dem Eisenerz war Holz ein bedeutender Produktionsfaktor, da Holzkohle für alle Prozesse der Eisenverarbeitung gebraucht wurde. Für jeden Zentner gefrischtes Eisen wurden 2 Zentner Meilerkohle benötigt (FRITSCH 1974). Das Erz wurde vor Ort zerkleinert und gereinigt. Sowohl Holzkohle als auch der notwendige Kalk waren zu dieser Zeit in ausreichender Menge vorhanden (FIRSCHING 1930). Verhüttet wurde in der Region damals in kleinen, aus Lehm gebauten, kegelförmigen Rennfeueröfen bei etwa 1250 C°. Typisch sind eingemauerte Tondüsen, über die mittels Blasebalg die erforderliche Luft zugeführt wurde (siehe auch Kap. 2.2.1). Laut FIRSCHING (1930) wurde bereits 970 der erste Eisenhammer im Bereich der heutigen Stadt Amberg an der Vils errichtet. Urkundlich erwähnt ist dieser erstmals 1034. In den Bergwerken in Amberg und Sulzbach wurde vermutlich schon im 14. Jh. im Tiefbau Erz abgebaut. Das Erz aus Amberg und Sulzbach musste nicht aufwändig aufbereitet werden. Es wurde vor der Verhüttung nur gewaschen und gepocht (RESS 1950). Ab dem 14. Jahrhundert setzt sich die Nutzung der Wasserkraft für die Eisenverhüttung und -bearbeitung in der Oberpfalz flächendeckend durch. Dadurch konnten zum einen höhere Temperaturen für einen besseren Verhüttungsprozess erreicht werden, zum anderen wurden die Arbeitsprozesse effektiver und leichter (vgl. Kap. 2.2.1). Deshalb lohnte sich der z.T. weite Transport der Erze. Die Hammerwerke entstanden an den Flüssen und Bächen wie Naab, Vils, Altmühl, Pegnitz, Laber, Pfreimd, Schwarzach, Aschach und Zott (FRITSCH 1974) (s. Abb. 8).

Um eine gleichmäßige Wasserversorgung sicher zu stellen, wurden Wehre gebaut sowie Umfluten und teilweise Weiher angelegt. Man unterscheidet verschiedene Hammertypen.



**Abb. 8:** Verbreitung und Lage der Eisenhämmer in der Oberpfalz (LUTZ 1941, S. 286)

Die eisenproduzierenden werden Schien- oder Stabhämmer genannt. Diese betreiben einen Zerrennherd zur ersten Erzschnmelze und einen Wellherd, in dem die eisenreiche Rohluppe mehrmals umgeschmolzen wurde, um das Eisen von den Begleitsubstanzen zu trennen. Die eisenverarbeitenden Betriebe unterteilen sich je nach Spezialisierung in Blech-, Draht-, Zain-, Streck- und Waffenhämmer (v.a. Werkzeugherstellung). Die Blechhämmer verarbeiten besonders hochwertiges Eisen (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987a).

Im Jahr 1341 schlossen sich die Städte Amberg und Sulzbach zu einer ersten Hammereinung zusammen. 1387 wurde die Große Hammereinung der Bergstädte Amberg und Sulzbach, mit 68 Hammermeistern aus der Oberpfalz und Nürnberg, beschlossen. Dieses Kartell, mit einer Vielzahl an Verordnungen, wie etwa genormte Eisenwaren, ließ die Oberpfalz zunächst zu einer Vormachtsstellung im mitteleuropäischen Eisenmarkt gelangen. Auch die jährliche Arbeitszeit und die maximalen Produktionsmengen der Hämmer waren festgelegt. Der Abbau des Erzes erfolgte in der Regel in Abständen von 4 Jahren, dem sog. „Würken“ und war in der Amberger Bergordnung von 1408 und 1429 festgeschrieben. Die Höhe der Erzförderung richtete sich nach dem zu erwartenden Absatz der nächsten 5 Jahre. Durch die Lagerung im Freien erfolgte eine gewisse Aufbereitung in Form oxidativer Prozesse. Für den Sulzbacher Bergbau sahen die dortigen Regelungen kein periodisches

Würken vor. Je tiefer man gelangte, umso wichtiger wurde eine geregelte Wasserhaltung (Wasserstollen, Förderung mittels Bulgen) (WOLF 1986).

Trotz verschiedener kriegerischer Auseinandersetzungen, war das 15. Jahrhundert die Blütezeit der Eisenindustrie. Für das Jahr 1475 sind 139 Schienhämmer und 35 Blechhämmer bekannt. Ab der Mitte des 16. Jahrhunderts machte sich die Konkurrenz anderer Eisenzentren, wie etwa an Lahn und Sieg sowie aus Kärnten und der Steiermark, bemerkbar. Die große Krise brachte aber der Dreißigjährige Krieg im 17. Jahrhundert. Die Ursachen der wirtschaftlichen Krise liegen aber nicht allein an den Kriegsfolgen, sondern vor allem an den strikten Vorgaben der Hammereinung und dem Erzangel. Insbesondere das Festhalten am traditionellen Rennfeuerverfahren ließ eine positive wirtschaftliche Entwicklung nicht zu (RESS 1950, FRITSCH 1974, ZAHN 1976, WOLF 1986, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987, CODREANU-WINDAUER et al. 2004).

Der Bedarf an Holz zur Holzkohleherstellung war groß. Es ist jedoch schwierig, die genauen Mengen zu rekonstruieren. Gründe sind u.a. lückenhafte Quellen oder Schwierigkeiten bei der Umrechnung alter Maße. Daraus erklären sich die unterschiedlichen Angaben in der Literatur. RESS (1950) gibt als gesamten Kohlholzbedarf der oberpfälzischen Hammerwerke, einschließlich der Blechhämmer, folgende Werte an: 1387 = 174.000 Festmeter, 1475 = 375.000 Festmeter, 1545 = 305.000 Festmeter und für 1609 = 310.000 Festmeter. Hinzu kommt noch der Bedarf an sonstigem Brenn- und Nutzholz. VANGEROW geht um 1600 von einem Gesamtbedarf von rund 1,44 Mio. Festmetern Holz pro Jahr in der Oberpfalz aus (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987). Aufgrund der wenigen überlieferten Angaben hält GÖTSCHMANN (1985) Aussagen über einen Durchschnittsverbrauch an Holzkohle für nicht sinnvoll, da der Rohstoffeinsatz je nach verwendetem Erz schwankt. Der Ertrag der Wälder war aber auf jeden Fall niedriger, als der hohe Verbrauch an Holz während der Blütezeit der oberpfälzischen Eisenindustrie. Das führte auf Dauer zu einer Verschlechterung des Waldzustandes bis hin zu kahlen oder deutlich lichten Flächen. Die Schäden sind spätestens ab Mitte des 16. Jahrhunderts zu beobachten. Kiefernholzkohle eignet sich gut für den Prozess des Frischens, was zur Förderung dieser Holzart beitrug. Die Waldnutzung erfolgte in der Regel als Kahlschlag in 50 - 60jährigen Beständen. „Die Wiederbewaldung erfolgte zunächst durch natürlichen Anflug, später durch Kiefernfaat nach dem Vorbild der ‚Tannensaat im Nürnberger Reichswald‘ “ (FRITSCH 1974, S. 32). Dadurch nahm die Kiefer stetig zu. Aus Pollendiagrammen und Forstbeschreibungen aus dem späten Mittelalter geht jedoch hervor, dass sich keine größeren Reinbestände gebildet haben. Es kann von Mischwäldern mit Eiche, Fichte und Tanne ausgegangen werden. Eine Bestandsaufnahme aus dem Jahre 1801 zählte im Hirschwald noch 3048 Eichen mit einem Alter von 300 - 400 Jahren (FRITSCH 1974).

Neuere paläoökologische Untersuchungen im Raum Kallmünz zeigen, dass sich mit einsetzender Siedlungstätigkeit eine Öffnung der Wälder bereits seit der Frühen Bronzezeit vollzog. Insbesondere auf dem Schlossberg von Kallmünz ist seit der Bronzezeit ein intensiver anthropogener Einfluss auf die Landschaft festzustellen. Die Auen der Naab und Vils bei Kallmünz waren in der Bronze- und Eisenzeit noch größtenteils bewaldet. In der Vegetationsentwicklung lässt sich in der Folgezeit ein stärker werdender anthropogener Einfluss feststellen. Eine starke Auflichtung, mit Zunahme des Fichtenanteils und von Offenlandzeigern, ist ab der Römischen Kaiserzeit/Mittelalter zu beobachten. Anthrakologische Untersuchungen zeigen ebenfalls ein verstärktes Auftreten der Kiefer im Mittelalter. Im Naabtal wurde im Mittelalter Getreide angebaut (NELLE & SCHMIDGALL 2003, SCHMIDGALL 2003, BAUMANN & POSCHLOD 2005, BAUMANN et al. 2005).

Bodenerosion und damit kolluviale und alluviale Ablagerungen stehen in engem Zusammenhang mit dem Zustand der Wälder und der allgemeinen Bodenbedeckung. Auf die Qualität des Waldes hat dabei die Güte der Forstorganisation einen entscheidenden Einfluss. Ab dem Beginn des 12. Jahrhunderts gingen immer mehr Ländereien in den Besitz der Wittelsbacher über, bis ihnen zu Anfang des 14. Jahrhunderts fast die ganze Oberpfalz gehörte. Damit erfolgte eine einheitliche Verwaltungs- und Gerichtsorganisation. „Schon seit dem 13. Jhd. waren in der Oberpfalz die großen herzoglichen Waldungen in Forstbezirke eingeteilt, für die Forstbeamte bestellt waren. Deren Aufgabe war es, den Forst- und Jagdschutz auszuüben, die Forstprodukte zu verwerten und für die Ablieferung der Forstabgaben zu sorgen, die von den „Eingeforsteten“ zu entrichten waren“ (FRITSCH 1974, S. 19). Nach der Waldordnung von 1565 erließ Kurfürst Friedrich IV 1594 eine Oberpfälzer Forstordnung zur nachhaltigen Nutzung des Waldes, da die Wälder in seinem Fürstentum verödet und in einem desolaten Zustand waren (FRITSCH 1974, SEIDL 2002). Hirschwald und Rieden gehörten zum Forstamtsbezirk Amberg. Zu diesem Zeitpunkt gab es schon sehr gute Kenntnisse über die künstliche Verjüngung, sie hatte sich aber in den oberpfälzischen Forstämtern noch nicht durchgesetzt. Trotz der wohldurchdachten frühen Forstorganisation gab es Beschwerden über den schlechten Zustand der Wälder und den Mangel an schlagbarem Holz. Der Forstmeister von Pressath beklagte sich beispielsweise 1597, dass „diesorts die Hölzer und Wälder nunmehr zusammengegangen, abgetrieben und verkohlt seien“ (FRITSCH 1974, S. 60). Ursache war neben dem hohen Holzbedarf auch die schlechte Ausbildung der Forstbeamten und die unzureichende Befolgung der Dienstvorschriften. Aufgrund der kritischen Kohleversorgung mussten in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts sieben Hämmer ihren Betrieb einstellen (GÖTSCHMANN 1985). Gleichzeitig wurden aber häufig neue Hämmer in walddreichen Gebieten gegründet. Neben der Abhängigkeit vom Wasser war damit die Nähe zum Holz wichtiger, als die Nähe zum Erz (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987).

Einen großen Einschnitt brachte der Dreißigjährige Krieg nicht nur für die Eisenproduktion, sondern auch für den Waldbau. Kriegshandlungen, Plünderungen und Seuchen ließen die Oberpfalz verarmen. Einerseits konnte sich der Wald in dieser Zeit erholen, da die Köhlerei stark zurück ging, andererseits wurden Gesetze und Verordnungen nicht mehr eingehalten. Die Forstwirtschaft erreichte vom 17. bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts ihren Tiefstand. Nach dem Dreißigjährigen Krieg brachte der Spanische Erbfolgekrieg um 1700 sowie der österreichische Erbfolgekrieg um 1744 weitere Einschnitte. Neben den Kriegen führte die schlechte Besoldung und die häufig fehlende Eignung der eingestellten Förster weiterhin zu Regelverstößen. Nachteilig für den Zustand der Wälder war ferner die zwischen 1650 und 1750 ständige Erhöhung des Wildbestandes. Die Interessen der Waldwirtschaft mussten hinter den Jagd-Interessen zurück treten. Verheerend wirkte sich auch die übliche Waldweide aus, da vor allem der Jungwuchs stark geschädigt oder völlig zerstört wurde. Im 18. Jahrhundert stieg der Holzbedarf stark an, da die Bevölkerung rasch zunahm und die Eisenindustrie wieder mehr produzierte. Holz wurde zum Heizen, für den Bau von Häusern, Möbeln und sonstigen Gebrauchsgegenständen genutzt. Neben den Rodungen war die Streunutzung, die zu einem ständigen Nährstoffentzug führte, Hauptursache der Degradation. Sie führte zur Entwicklung von Kiefernkrüppelbeständen in der mittleren Oberpfalz (FRITSCH 1974). Häufig entstanden durch die Übernutzung der Wälder seit dem Mittelalter vergraste Parklandschaften. Geschlossene Waldbestände waren selten (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2002). Dass sich der Hirschwald als geschlossene Waldfläche erhalten konnte, geht zu großen Teilen auf die Ausweisung von Wildbannbereichen im 17. Jh. für die fürstliche Jagd zurück (SEIDL 2002).

Im Jahr 1752 wurde die bayerische Forstverwaltung gegründet, mit dem Ziel das Forstwesen neu zu organisieren und aufzubauen, die Ausbildung zu verbessern und eine ertragreiche Waldbewirtschaftung zu sichern. Die oberpfälzischen Herzogtümer erhielten 1796 eine eigene Forstkammer in Amberg, zu dem auch das Forstmeisteramt und Revier Hirschwald gehörte. Die Nutzung der Wälder geschah im Kahlschlagverfahren. Die Wiederaufforstung erfolgte in der Regel mit schnell wachsenden, anspruchslosen Nadelbäumen wie Fichte und Kiefer, die außerdem von Wild und Vieh gemieden werden. Es entstanden zumeist einförmige, gleichaltrige Waldbestände. Für den Privatwald galten die Verordnungen allerdings nicht. Die reinen Nadelwälder erweisen sich aber im Laufe der Zeit als anfällig gegen Sturm, Schneebruch und Insektenfraß (FRITSCH 1974, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2002).

Im 19. Jahrhundert geht zwar die Zahl der kleinen Hammerwerke zurück, aber die Hochöfen (z.B. Bodenwöhr) haben einen sehr hohen Bedarf an Holzkohle. Mit Beginn der Industrialisierung, um 1850, werden weitere riesige Holzmenen benötigt. Hinzu kommen

Waldschäden durch natürliche Faktoren, wie z.B. 380.000 Klafter durch einen Orkan 1856. Der technische Fortschritt Mitte und Ende des 19. Jahrhunderts führte zur Stilllegung der kleinen Hammerwerke. „Das Rückgrat der oberpfälzischen Eisenindustrie bildeten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts unzweifelhaft die staatlichen Werke Amberg, Bodenwöhr und Weiherhammer“ (FIRSCHING 1930, S. 51). 1847 sind in der Oberpfalz 44 Holzkohlehochöfen bekannt (WOLF 1986). Im Werk Rosenberg, dem ersten Kokshochofen in der Oberpfalz (1864), wurde 1889 das Thomasverfahren eingeführt (FRITSCH 1974, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987a). Es folgten die Gründungen der Luitpoldhütte (Amberg) und der Maxhütte (Sulzbach-Rosenberg). Damit war man bei der Herstellung von Eisen nicht mehr auf Holzkohle angewiesen. Der verstärkte Ausbau der Eisenbahn im 19. Jh. führte zum Wiederaufblühen der Region und einem Aufschwung der Eisenindustrie (STRUNZ 1974). Die Bahnlinie Nürnberg - Amberg - Regensburg wurde 1859 eröffnet. Im Zuge der weltweiten Krise in der Stahl- und Eisenindustrie erfolgte allerdings 1987 der Konkurs der Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte und die Stilllegung der Grube „Leonie“ in Auerbach. Damit ging das Ende der Tradition des Eisenerzbergbaus in der Oberpfalz einher. Die Neue Maxhütte in Sulzbach-Rosenberg wurde im Jahre 2002, als das letzte Hüttenwerk in der Region, stillgelegt (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987a, CODREANU-WINDAUER et al. 2004).

Nachdem die Eisenindustrie kein Holz mehr benötigte, entstanden im 2. Weltkrieg und den Nachkriegsjahren große Kahlfelder, die aber bis 1951 wieder bestockt werden konnten. Problematisch für den Waldbestand sind seit dem letzten Jahrhundert vor allem der Flächenverbrauch und die Schadstoffbelastung („saurer Regen“). Ende der 70er Jahre sind 46 % der Waldfläche der Oberpfalz mit Kiefer bestockt, 39 % mit Fichten (ZAHN 1976). Das heutige waldbauliche Leitbild im Staatsforst sind naturnahe, stabile und leistungsfähige Mischwälder mit biologischer Vielfalt und Verjüngung durch langfristige, kleinflächige Verfahren (FRITSCH 1974, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2002). Diese Art der Bewirtschaftung stellt einen guten Schutz vor Bodenerosion dar. Von landwirtschaftlichen Flächen geht hingegen, je nach Nutzung, weiterhin ein großes Abtragsrisiko aus.

### 5.2.2 Verkehrswege

Einflüsse auf die Umwelt erfolgten auch durch die notwendigen Transporte. Die Vils war dabei als Handelsweg für Erz, Eisenwaren, Lebensmitteln und sonstigen Waren von sehr großer Bedeutung. Die ersten schriftlichen Belege für die Schifffahrt stammen vom Anfang des 11. Jahrhunderts. Die ersten Wehre und Umfluten für die Nutzung der Wasserkraft wurden um 1000 AD errichtet. Der Umschlag der Waren erfolgte in Regensburg. Wenn die Vils aufgrund von Trockenheit oder Frost nicht schiffbar war, mussten die Waren per

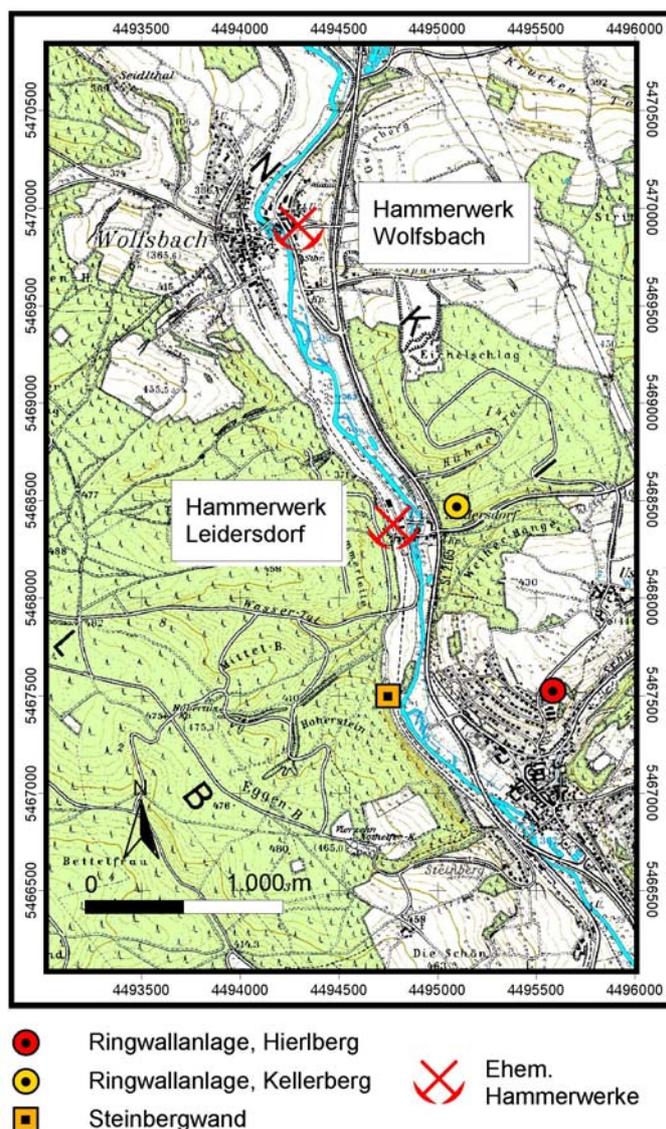
Fuhrwerk transportiert werden. Um den Transport zu erleichtern, wurde die Vils schon frühzeitig in einen schiffbaren Zustand gebracht und sehr stark ausgebaut. Damit veränderte sich die Flussmorphologie und Auelehmlagerung (vgl. auch 5.1.2). Durch die Schifffahrt waren die Stauanlagen aufwändiger und teurer, als an anderen Flüssen. An Sonntagen, an denen die Arbeit in den Hammerwerken und Mühlen ruhte, fuhren die Schiffe in Karawanen (5 - 6 Schiffe) mit jeweils ca. 350 Zentner Eisen talwärts. Dazu mussten die sog. Fälle an den Stauanlagen geöffnet werden. Die Rückfahrt flussaufwärts, meist mit Salz und Getreide von etwa 150 Zentner Ladung pro Schiff, dauerte von Regensburg nach Amberg etwa vier Tage. Die etwa 24 m langen und 3,3 m breiten Kähne mit geringem Tiefgang wurden von Pferden und Menschen am Ufer gezogen. Getreidelast durfte nur auf etwa 2 m Breite, wechselnd rechts und links des Flusses sowie teilweise im Wasser (BLÖßNER 1928, ZAHN 1976, WOLF 1986, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987a, CONRAD 1999). Es ist davon auszugehen, dass für das Treideln besondere Uferbefestigungen notwendig waren. Ein Nachweis dieser Treidelpfade, die den Uferbereich deutlich anthropogen überprägt haben müssen, konnte allerdings nicht erfolgen (RICHARD 2005). Im Jahre 1826 wurde die Fluss-Schifffahrt auf der Vils aufgrund zu hoher Kosten eingestellt (FIRSCHING 1930). Der starke Ausbau beeinflusst noch heute die Gewässerdynamik (vgl. auch 5.1.2).

Neben dem Transport zu Wasser stellte der Landtransport mittels Fuhrwerken einen wichtigen Faktor der damaligen Wirtschaft dar. Insbesondere im Mittelalter entwickelten sich besondere „Arzt-, Eysen- und Kohlstraßen“. Aufgrund der räumlichen Trennung von Lagerstätten, Meilerplätzen und Hammerwerken mussten Erz und Holzkohlen oft über weite Wege transportiert werden. Die Berechtigung zur Schifffahrt auf der Vils hatten auch nur die Städte Amberg und Schmidmühlen. Händler aus Sulzbach mussten bis Schmidmühlen den Landweg nutzen. Die Anlage von Wegen, einhergehend mit der Zerstörung der Vegetation und Verdichtung des Bodens und die Rodung der Wälder begünstigen die Entstehung und Weiterentwicklung linearer Erosionsformen. Die Wege waren in der Regel nicht befestigt und wurden verlagert, wenn ein Weg unbefahrbar geworden war. Im Hirschwald sind mehrere tief ausgefahrene, ehemalige Straßen als Hohlwegsysteme vorhanden und zu tiefen Gräben erodiert (vgl. auch RAAB 2005). Zwischen Vils und Naab werden verschiedene Routen von Altstraßen als Nord-Süd-Fernverbindung vermutet. Die Verläufe der Trassen veränderten sich im Laufe der Zeit und werden widersprüchlich diskutiert. Eine Trasse verlief danach von Kallmünz entlang der Vils über Amberg in Richtung Hof. Als Amberg später Bedeutung als Handelsplatz erreichte, verlief von Regensburg aus eine Altstraße über Schmidmühlen durch den Hirschwald nach Amberg. Eine weitere zweigte in der Nähe von Siegenthan in Richtung Amberg ab. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der Anlage von Altstraßen auf Höhenkonstanz und das Meiden von versumpften Tälern geachtet wurde. Im

Untersuchungsgebiet lassen sich noch alte Hohlwege lokalisieren, die sehr wahrscheinlich Teil eines Altstrassensystems sind. Typisch ist ein steiler, kurzer Aufstieg zur Hochfläche. Das Kloster Ensdorf wurde bewusst an einem Kreuzungspunkt zwischen einem West-Ost verlaufenden Fernweg und der Vils gegründet. Östlich von Ensdorf, in der Nähe der Vierzehnnothelfer-Kapelle, zeugen zahlreiche Fahrspuren in der Steinberggrinne von der Trasse (MANSKE 1985, FLAMMERSBERGER 1995, MANSKE 2002, CODREANU-WINDAUER et al. 2004). Im Naabtal lassen sich Teile der Nürnberger Altstraße rekonstruieren (KRABISCH 2006).

### 5.2.3 Die Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach und ihr Umfeld

Die Entwicklung der Hammerwerksstandorte Leidersdorf und Wolfsbach und die Siedlungsgeschichte der näheren Umgebung ist ein bedeutender Baustein für die Rekonstruktion der Umweltgeschichte im Untersuchungsgebiet. Zeugnisse der vor- und frühgeschichtlichen Besiedlung sind Bodendenkmäler (Abb. 9). Im Vilstal beginnt die prähistorische Besiedlung bereits in der Älteren Steinzeit. In einem Abri (Felsvorsprung) etwa 15 m über der Vils in der Steinbergwand, zwischen Ensdorf und Leidersdorf gelegen, ergab eine Grabung paläo- und mesolithische Artefakte sowie einige metallzeitliche Keramik (STROH 1975). Aufzeichnungen von 1933 aus dem BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE weisen verschiedene Schichten und mehrere Kulturen in der Steinbergwand aus. Feuerstellen, Herdanlagen, Knochensplinter und zahlreiche Funde von Werkzeugen wie Spitzen, Klingen und Klingenkratzern sowie graphitierten Scherben sind Belege für die lange Nutzungsgeschichte der Höhle (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN; CODREANU-WINDAUER et al. 2004). Eine weitere Höhle, das sog. Kuckuckhäusl oder Schlüsselloch, liegt im westlichen Steilhang des Vilstales in der Hammerleite bei Leidersdorf. Es liegen aber nur gesicherte Befunde für das Mittelalter aus einer Brandschicht vor (STROH 1975). Weitere Höhlenfunde in der Oberpfalz, mit unterschiedlicher Zeitstellung, belegen eine flächige frühe Besiedlung der Region (STROH 1975). Im Bereich Ensdorf und Leidersdorf sind zudem insgesamt 5 Grabhügel in den Ortsakten verzeichnet. Sie liegen im Kuppenbereich am Rande der Alphochfläche in den Fluren Lippertsee und Brennterschlag und sind z.T. schon stark verflacht (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN; STROH 1975). Zahlreiche Grabhügelgruppen im Umfeld von Theuern und Wolfsbach zeigen ebenfalls, dass es sich um altes Siedelland handelt. Weitere Geländedenkmäler in der Oberpfalz sind Ringwälle, einfache Abschnittsbefestigungen, Abschnittsbefestigungen mit Vorwall und kleine Herrenburgen mit unterschiedlicher Altersstellung (STROH 1975). Im Umfeld des Arbeitsgebietes sind zwei Ringwälle vorhanden, wovon sich einer nördlich Ensdorf in der Flur Hierlberg befindet. Es



**Abb. 9:** Lage der Hammerwerke und wichtigsten Bodendenkmäler (nach STROH 1975, Ortsakten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Regensburg; Datengrundlage: Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden des Bayerischen Landesvermessungsamtes, München)

handelt sich um einen kleinen, unregelmäßig runden Wall auf einer Kuppe mit verflachtem Vorwall. Die Befestigung kann trotz der Funde zahlreicher urnenfelderzeitlicher Scherben nicht datiert werden (STROH 1975). Hochmittelalterliche Scherben (Goldglimmerton) wurden 1982 von J. WEIG auf der Wallanlage als Lesefunde aufgenommen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN). Der zweite Ringwall liegt auf dem Kellerberg oberhalb Leidersdorf. Der kleine, quadratisch-gerundete Wall von etwa 28 m x 28 m Ausdehnung wurde mehrfach untersucht und Schnitte angelegt. Dabei wurden von DOLLACKER 1930 zwei Schalenmauern über Siedlungsstellen mit atypischen Silexabschlägen und urnenfelder-, vielleicht auch bronzezeitlicher Grobkeramik freigelegt (STROH 1975). Zahlreiche Lesefunde von bearbeiteten Hornsteinen und diversen Scherben im Bereich des Ringwalles von 1976 und 1984 weisen ebenfalls auf eine ältere, vorgeschichtliche Phase der

Besiedlung hin. Außerdem wurde eine nicht näher eingeordnete Eisenschlacke gefunden. Nur eine Scherbe ist eindeutig dem Hochmittelalter zuzuordnen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN). Die Ortsakten verzeichnen weiterhin einen Burgstall im heutigen Ortsrandbereich von Wolfsbach (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN). Im Archiv der Luftbildarchäologie (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, München) sind für das nähere Untersuchungsgebiet keine klar erkennbaren untertägigen Geländedenkmäler verzeichnet. Nur in Lengenfeld, Gemeinde Kümmersbrück sind in Flussnähe leichte, rundliche Verfärbungen im Getreide sichtbar (6536/034-1, KL, 7965-19, 7965-20, 05.06.01, BLFD Luftbildarchäologie).

Auch wenn viele Funde zeitlich nicht eindeutig eingeordnet werden können, ergibt sich aus der Datenlage eine eindeutig früh beginnende und relativ kontinuierliche Besiedlungsgeschichte für das Untersuchungsgebiet. Belege für eine frühere Verhüttung von Eisenerz ergeben sich nicht. Über die frühe Eisenverarbeitung in der näheren Region ist insgesamt wenig bekannt. Es gibt zwar Belege, dass auch die Kelten oberirdisch anstehendes Eisenerz abgebaut haben, aber entsprechende Rennfeueröfen für die Schmelze sind nicht ausgegraben worden. Erst für das Mittelalter ist durch die Quellenlage und die heute noch vorhandenen Bauten der ehemaligen Hammerwerke eindeutig Eisenerzverhüttung belegt (Lage siehe Abb. 9).

Das ehemalige Hammerwerk in Leidersdorf ist noch heute anhand der Bebauung und der Umflut gut zu erkennen. Das Wohnhaus der Hammermeisterfamilie, das so genannte Hammerherrenhaus oder Hammerherrenschloss, ist erhalten und steht unter Denkmalschutz (s. Abb. 10).



**Abb. 10:** Aktuelle Ansichten vom Hammerwerk Leidersdorf (eigene Aufnahmen)

Pläne vom Anfang des 20. Jahrhunderts zeigen den Umbau des Hauptgebäudes in ein Wohnhaus mit anstoßender Kunstmühle. Es wurde 1910 aufgestockt und zu einer Mühle umgebaut, die Ende der 60er Jahre stillgelegt wurde. Auf dem alten Lageplan ist noch ein Bahnhof in Leidersdorf eingetragen (BERGBAU UND INDUSTRIEMUSEUM THEUERN).

Im Urkataster sind, neben den eingezeichneten Wehranlagen und Umfluten, noch Gebäude als eisenverarbeitendes Gewerbe gekennzeichnet (s. Abb. 11). Von den ursprünglichen Erzeugungsstätten ist, wie meist in der Oberpfalz, nichts erhalten (WOLF 1986). Das ehemalige Hammerherrenhaus befindet sich nördlich der damaligen Brücke (Abb. 11). Heute befindet sich die Vilsbrücke weiter nördlich (vgl. Abb. 9).



**Abb. 11:** Ausschnitt aus dem Urkataster von 1852 (Blatt NO LVIII 12, 1 : 5.000, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)

Zum Teil sind in Leidersdorf, neben dem Hammerherrenhaus, noch weitere alte Wirtschaftsgebäude erhalten. Die noch vorhandene Kapelle wurde allerdings im Zuge des Straßenausbaus etwas versetzt. Im Bereich des jetzigen Wohnhauses stand früher zunächst ein Stallgebäude, später wurden dort Lagerhallen errichtet. Auf der Insel war bis etwa in die 60iger Jahre auch ein Sägewerk vorhanden, das nach einem Brand auf einen Standort westlich der Vils verlagert wurde (vgl. Abb. A 7 und A 8 im Anhang). Auch dieses ist, ebenso wie die Mühle, inzwischen stillgelegt. Eventuell wurden auf der so genannten „Besenhard-Wiese“ (Flur 1402/2) früher Ziegel gebrannt (vgl. Abb. A 9). Getreide- und Papiermühlen sowie Glasschleifereien und Sägewerke sind eine häufige Folgenutzung der günstigen Standorte nach dem Niedergang der Eisenindustrie. Heute erzeugen in Leidersdorf, wie an

fast allen ehemaligen Hammerwerksstandorten, noch zwei Kleinkraftwerke Strom durch Wasserkraft (s. Abb. A 8). Akten des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG belegen, dass es durch Hochwasser immer wieder zu Schäden, beispielsweise 1954, an den Triebwerksanlagen (Gräben, Spundwände, Wehr etc.) gekommen ist.

Leidersdorf wurde erstmals als „Lagadeosdorf“ zwischen 975 und 990 urkundlich erwähnt. Anfang des 12. Jahrhunderts schenkte Pfalzgraf Friedrich den Ort, Sitz des pfalzgräflichen Ministerialengeschlechtes von „Leiteratsdorf“, der Kirche (ZAHN 1976). Aus einer Urkunde im Kobialbuch geht hervor, dass bereits im Jahre 1178 der Ort „Laiderstorff“ oder richtiger „Libiusdorff“, der ganze Gutshof mit allem Recht, Äckern, Wiesen, Wäldern, Fischgewässern, der Mühle zum Gebrauch der Brüder übergeht. Dieses „Laiderstorff“ ist es, was später, nachdem es in eine Eisenwerkstatt umgewandelt worden war, der Abt Konrad dem Bürger von Nabburg, Nikolaus Romer, im Jahr 1422 verkauft hat. Nach 295 Jahren wurde es von Herrn Christopherus Bartholomäus von Reiz für das wiederhergestellte Ensdorf zurückgekauft (nach MEILLER 1730, Übersetzung freundlicherweise durch Dr. R. PAULER, Universität Regensburg). In einem Salbuch des bayerischen Herzogs wird bereits 1326 ein Hammer in Leidersdorf genannt, der aber 1387 nicht zur Hammereinung gehörte, was ein Bestehen aber nicht ausschließt (RESS 1950, GERSTENHÖFER 1970). Nach GERSTENHÖFER (1970) wurde der erste Hammer vermutlich zwischen 1411 und 1422 errichtet. RESS (1950) weist für Leidersdorf das Bestehen eines Schienhammers vom 14. - 17. Jahrhundert sowie ab dem 16. Jahrhundert einen Blechhammer (2 Blechhämmer 1636) aus. Damit beginnt der montanhistorische Einfluss auf die Aue spätestens zu Beginn des 15. Jahrhunderts in Leidersdorf.

Zwischen 1422 und 1717 wechselte das Hammerwerk mehrfach den Besitzer. 1478 wird Paul Sauerzapf von Theuern als Eigentümer genannt. 1498 kaufen die Brüder Portner den Hammer. 1515 erwirbt Peter Portner auch die Wolfsbacher Mühle, die er zu einem Blechhammer ausbaut. Später erfolgt auch der Erwerb des Gutes in Theuern. Einträge in den sogenannten Wasserbüchern belegen für die Jahre 1567 und 1579 in Leidersdorf eine offene Brücke und eine Furt (GERSTENHÖFER 1970, LASCHINGER 1994). In den Verzeichnissen des Staatsarchivs Amberg ist ein Schienhammer in Leidersdorf und Wolfsbach für die Jahre 1527 und 1557 belegt (GÖTSCHMANN 1985). Listen aus dem Stadtarchiv Amberg verzeichnen Schienhämmer und ihre Besitzer um 1579/80. Zu diesem Zeitpunkt gehört Leidersdorf Hans Portner. Dieser hatte im Jahre 1566 berichtet, dass die Wälder in der Umgebung verkohlt seien und man in die Berge müsse. Auch die Wälder in Ensdorf seien betroffen (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987). Damit ist für diesen Zeitpunkt eine starke Schädigung der umgebenden Wälder belegt. Im Jahre 1594/95 sind dann Hans und Quirin Portner als Betreiber des Hammers eingetragen (GÖTSCHMANN

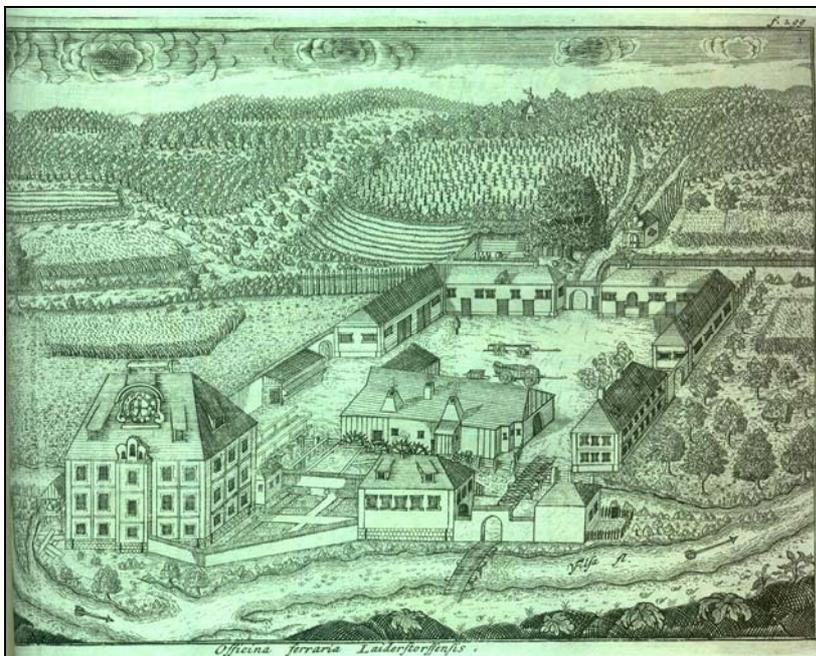
1985). In Leidersdorf wurde das Erz von Amberg und Sulzbach bezogen. Vorkommen in der Umgebung, auf die alte Bergbaupingen in den Wäldern hinweisen, waren gering (DÄHNE & ROSER 1988). Die Hämmer, die in der Nähe Ambergs lagen, waren auf den Fuhrwerkstransport angewiesen, da man erst ab Vilswörth den Schiffstransport nutzte (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987). Daraus ergibt sich ein hohes Transportvolumen mittels Fuhrwerken, dessen Folge die Ausbildung von Hohlwegen und die starke Förderung linearer Erosion in der näheren Umgebung ist (vgl. RAAB 2005).

Vor Beginn des 30jährigen Krieges (1610 bis 1615) sind die Hammerwerke in Leidersdorf und Wolfsbach als betrieben oder zumindest als betriebsbereit nachgewiesen, aber der Krieg brachte auch für die Oberpfalz tiefe Einschnitte (GÖTSCHMANN 1985). Im Jahre 1621 muss die Familie Portner den Hammer Leidersdorf wieder verkaufen (GERSTENHÖFER 1970). Die Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach gingen etwa 1629/30 an den bayerischen Landesherrn (ZAHN 1976, GÖTSCHMANN 1985). Viele Hammerwerke wurden stillgelegt. Diese Zeit, in die die Auflösung der Hammereinung fällt, war gekennzeichnet durch Unsicherheit und wirtschaftliche Stagnation. Einsetzende Teuerungen, unsichere Handelswege, Mangel an Erz bzw. dessen mangelhafte Qualität und der vermehrte Einsatz von Sinter sowie Ausfuhrbeschränkungen und Preisfestsetzungen, ließen die Oberpfalz den Wettbewerb mit der Konkurrenz aus der Steiermark oder Böhmen verlieren (GÖTSCHMANN 1985).

Der potentielle Umwelteinfluss eines Betriebes ergibt sich neben dem Produktionszeitraum auch über dessen Produktionsumfang und Ressourceneinsatz. Informationen über Produktionsmenge und Wirtschaftlichkeit des Hammers Leidersdorf liefern Abrechnungen vom Jahr 1630 (GÖTSCHMANN 1985, RESS 1950, ZAHN 1976). Jedem Werk stand seit der Hammereinung von 1387 eine Erzmenge von 403,2 t zu. Das ist aber nur ein Teil des Gesamtbezuges, da auch fremdes Erz hinzu gekauft wurde. Für den Zeitraum Juli bis Dezember 1630 wurden 753,5 t Erz gekauft. Für das Jahr 1630 kann bei 40 Arbeitswochen von einer Jahresproduktion von etwa 80 t Eisen ausgegangen werden. „Der technische Stand um 1600 ermöglichte, aus 5,6 Zentnern (1 Seidel) Amberger Erz, unter Einsatz von 1,6 Festmetern Kohlholz, 1,08 Zentner Schieneisen zu gewinnen“ (Zahn 1976, S. 32). Die Umrechnungen der Angaben aus den archivalischen Quellen auf heutige Maßeinheiten ist problematisch, so dass es zu unterschiedlichen Werten in der Literatur kommt. Aus einer Steuerbeschreibung aus Ensdorf geht hervor, das Leidersdorf 1630 in gutem Zustand war und auf insgesamt 8.222 Gulden geschätzt wurde (GÖTSCHMANN 1985).

Laut GÖTSCHMANN (1985) wurde der Hammer 1634 von Kroaten niedergebrannt (StAA St. A. Fasz. 33, 165b), während GERSTENHÖFER (1970) das Jahr 1639 nennt. Zerstörung und Verwüstung trafen besonders die Hämmer an der Vils. Neben mangelndem Kapital waren aber für den Niedergang des Eisengewerbes vor allem die schlechten Absatzmöglichkeiten

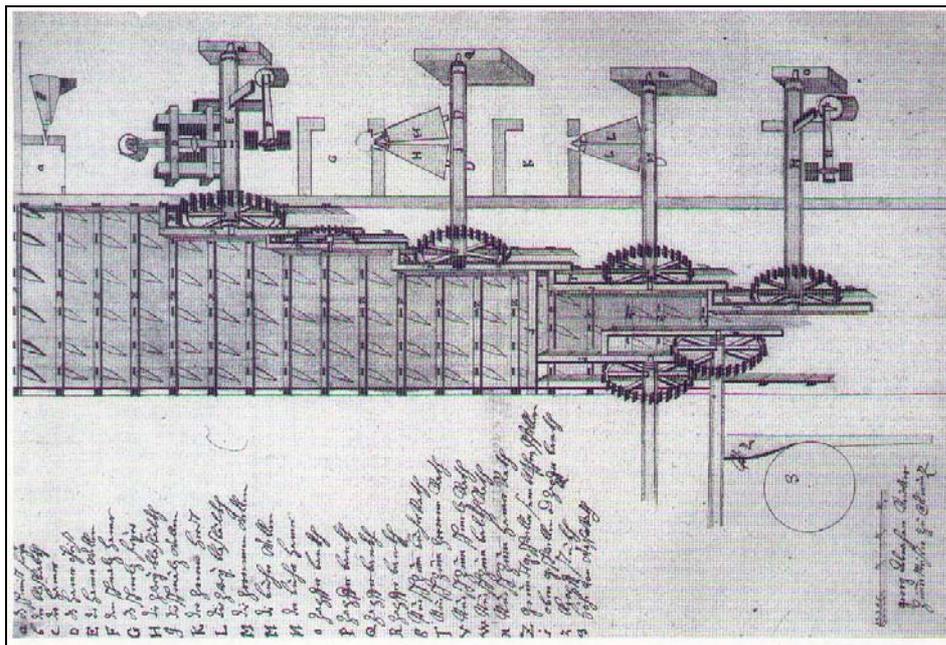
des Eisens verantwortlich. 1648/49 ist Leidersdorf immer noch als ausgebrannt verzeichnet, während es 1666 als instand gesetzt mit bevorstehender Betriebsaufnahme angegeben wird (GÖTSCHMANN 1985). Während der Stilllegungen muss der anthropogene Einfluss auf die Umwelt zurückgegangen sein, allerdings bleiben auch in diesen Zeiten die Effekte durch Wehre und Flussumbau erhalten. Nach dem Dreißigjährigen Krieg führte, neben den Kriegsfolgen, die veraltete Technologie bei der Mehrzahl der Hüttenwerke zu wirtschaftlichen Problemen. Zunächst durch die Hammereinung, später durch staatliche Verbote, waren die privaten Hüttenwerke von technischen Neuerungen wie Stucköfen oder Hochöfen ausgeschlossen. Nur die staatlichen Hüttenwerke konnten in der Regel mit der ausländischen Konkurrenz mithalten, jedoch verlor die Oberpfalz ihre überregionale Bedeutung als Eisenzentrum. Die Wirtschaftspolitik in bezug auf den Bergbau, das Eisengewerbe als auch den Eisenhandel war durch viele Restriktionen sehr nachteilig. Eine Aufnahme der Produktion in Leidersdorf ist erst wieder für das Jahr 1715 durch den Staat belegt. 1717 konnte dann das Kloster Ensdorf unter Abt Anselm Meiller das Hammergut wieder erwerben. Der Abt Anselm MEILLER (1716 - 1761) galt als Gelehrter über die Region hinaus (ZAHN 1976). In seinem 1730 in Latein veröffentlichtem Werk (MEILLER 1730) zeigt ein Bild das Hammergut Leidersdorf (Abb. 12). Es enthält aufgrund seiner detaillierten Darstellung wertvolle landschaftshistorische Informationen.



**Abb. 12:** Hammergut Leidersdorf um 1730 (MEILLER 1730, S. 298 - 299)

In der Zeichnung von Leidersdorf ist deutlich die Insel mit dem heute noch erhaltenen Hammerherrenschloss zu erkennen (Abb. 12). Die Gebäude und Brücken sowie der Flussverlauf sind mit dem Urkataster vergleichbar. Sie sind aber nicht ganz lagegetreu

wiedergegeben. Die Eisenverarbeitung ist deutlich anhand der vielen Wasserräder (für Hammer und Blasebälge) und der großen Schornsteine (für Zerren- und Wellherd) an dem am Fluss gelegenen Haus zu sehen. Im Hof befinden sich Fuhrwerke. Außerdem sind eine Obstwiese (heute noch an dieser Stelle vorhanden), Getreideanbau, forstliche Anpflanzungen mit Nadelbäumen als auch unterschiedlich dichte Waldbereiche an den Hängen eingezeichnet. Das belegt Aufforstungen und parkähnliche Landschaften zu diesem Zeitpunkt. Die Ausmaße des Hammerwerkes in Leidersdorf zeigt ein Plan für den Umbau des Hammers von 1770 (Abb. 13).



**Abb. 13:** Das Hammerwerk Leidersdorf 1770 (Riß, signiert Georg Abraham Reuter, StA Amberg, Kloster Ensdorf 77, BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987, S. 109)

Von oben nach unten, in Fließrichtung der Vils, sind dargestellt: Schmiedfeuer, Hämmer mit Rad, Balgrad, Schmelzfeuer mit Rad, Zerrenherd mit Rad, Pucherhammer mit Rad. Auf der rechten Seite sind noch zwei Mühlräder zu sehen. Alle Räder sind unterschlächtig. Damit ist eindeutig auch ein Pochen für den Standort Leidersdorf belegt.

Das Kloster betrieb das Hammerwerk trotz Holz Mangels, bis es 1802 im Zuge der Säkularisation in Staatsbesitz überging. Das war wirtschaftlich von großem Vorteil, da staatliche Betriebe über einige Privilegien, wie etwa die Befreiung vom Wegegeld oder günstiges Kohlholz aus den königlichen Waldungen, verfügten. Durchschnittlich wurden Anfang des 19. Jahrhunderts (Aufstellung von 1820) 1400 Zentner Roheisen im Hammer Leidersdorf in einem Blauofen erzeugt. Als einziges königliches Werk betrieb die Hütte 1849/50 neben einem Blauofen auch ein Frisch- und Streckfeuer (GERSTENHÖFER 1970). Der Blauofen, auch Blasofen genannt, ist ein raugemauerter Schachtofen von einigen Metern

Höhe, der höhere Temperaturen als im Stuckofen aufgrund verbesserter Windführung und Ofengeometrie ermöglicht. Er ähnelt dem Floßofen (JOCKENHÖVEL 1995). Das Brauneisenerz wurde aus Amberg und Krumbach bezogen (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987). Trotz eines Liefervertrages mit der neugegründeten Maxhütte kam es Mitte des 19. Jahrhunderts zu wirtschaftlichen Verlusten. Nachdem in Rosenberg die moderneren Kokshochöfen errichtet wurden, erfolgte etwa 1864 die Stilllegung des Hammerwerks in Leidersdorf. In der Nachfolge wurden, wie bereits dargestellt, eine Mühle und ein Sägewerk betrieben.

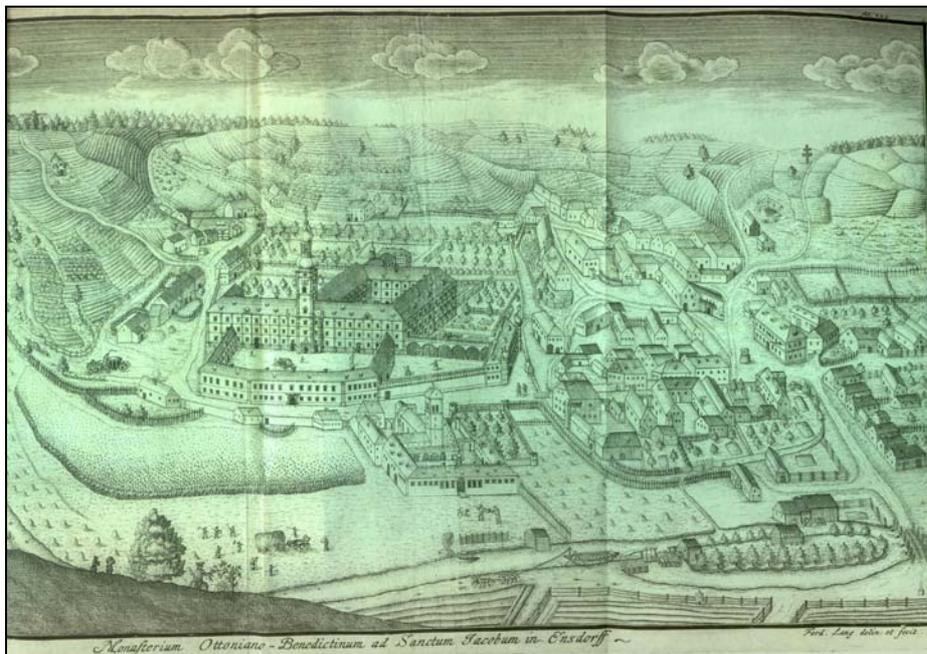
Die langjährige montanhistorische Tradition spiegelt sich auch in den Flurnamen wider. Alte Bezeichnungen ermöglichen Rückschlüsse auf die frühere Bedeutung. Der heute noch geltende Flurname „Hammerleite“, im an das Vilstal angrenzenden Wald bei Leidersdorf, ist ein Zeugnis der eisenverarbeitenden Industrie (s. Abb. A 9). In einer Karte nach DOLLACKER vom Ringwall bei Leidersdorf sind außerdem Hänge des Kellerberges als „Hammerhänge“ und eine Verbindung von Leidersdorf nach Götzenöd als „Kohlweg“ gekennzeichnet (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, ORTSAKTEN; CODREANU-WINDAUER et al. 2004). Viele Ortsnamen an der Vils weisen auch auf die Nutzung der Wasserkraft hin, wie beispielsweise Schmidmühlen oder Haselmühl.

Eng verknüpft mit der Entwicklung von Leidersdorf und den Untersuchungsflächen ist das etwas südlich gelegene, bereits erwähnte, Kloster Ensdorf (Abb. 14).



**Abb. 14:** Kloster Ensdorf mit Blick in das Vilstal in Richtung Leidersdorf. Zu sehen sind der Ort Ensdorf mit dem Gebäudekomplex des Klosters und die Flussaue mit angrenzenden Hochflächen, die sowohl unter forstlicher wie auch unter ackerbaulicher Nutzung stehen. (Ausschnitt aus Farbbild, BLFD Luftbildarchäologie Archiv-Nr. 6736/002, 7093-3, Fotograf: KL, Datum: 07.05.1994)

Das Kloster Ensdorf wurde 1121 an der Stelle einer älteren Siedlung und einem Altstraßenkreuz von Pfalzgraf Otto von Wittelsbach gegründet. Bischof Otto von Bamberg entsandte 1123 benediktinische Mönche aus St. Blasien im Schwarzwald nach Ensdorf. Die wirtschaftliche Basis des Klosters bildeten zahlreiche Güter, mehrere Pfarreien, Fischteiche, Waldbesitz, Jagdrecht, Weinanbau, Brauhäuser sowie die Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach. Auf Erbrecht war eine Mühle vergeben (ZAHN 1976). Durch das Kloster kam es vermutlich einerseits zu Rodungen im angrenzenden Hirschwald, aber andererseits auch zu Anpflanzungen von Bäumen zur Verbesserung der Jagdmöglichkeiten. Durch Brand und Verfall ist von den ursprünglichen Anlagen wenig erhalten. Heute dominiert eine Barockkirche das Ortsbild. Ein Fresko mit einem Amboss weist auf die Tradition der Eisenverarbeitung hin (DÄHNE & ROSER 1988, DEHIO 1991). Eine sehr detaillierte bildliche Darstellung aus MEILLER (1730) gibt aufschlussreiche Informationen über die Situation um 1730 (Abb. 15).

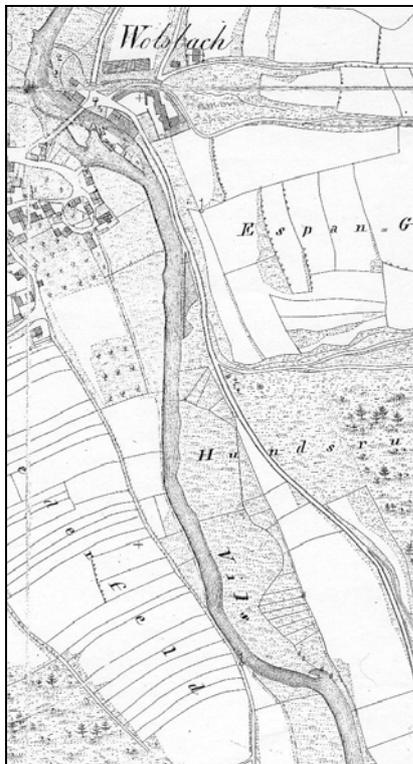


**Abb. 15:** Kloster Ensdorf um 1730 (MEILLER 1730, S. 322)

Im Mittelpunkt der Zeichnung stehen das Kloster sowie die zahlreichen Nebengebäude. Der markante Flussbogen und ein Wehr mit Umflut beim Ortskern sind gut dargestellt, allerdings sind auch hier Lage und Maßstab nicht ganz natur- bzw. lagegetreu. Insbesondere in Richtung Leidersdorf ist eine Verzerrung zu erkennen. Vermutlich aus perspektivischen Gründen wurden die Gebäude teilweise etwas versetzt gezeichnet. Andere Details, wie bestimmte Wege, entsprechen hingegen dem Urkataster. Die Flur Frauengarten (vgl. Kap. 6.2.1), unterhalb des Klosters, wird landwirtschaftlich genutzt. Es ist die Erntesituation abgebildet. Am Fluss ist ein kleines Haus ohne Schornstein mit drei Wasserrädern

eingezeichnet. Vermutlich handelt es sich um die für Ensdorf beschriebene Mühle. Eine Eisenverarbeitung ist nicht feststellbar, was auch durch fehlende Einträge in den historischen Quellen und im Urkataster bestätigt wird. In der Nähe des Wehres ist außerdem eine Treidelszene, mit Zille und Vierer-Pferdegespann, zu sehen. Landschaftsökologisch interessant sind die zahlreichen, zum Teil stark eingetieften Wege sowie die kahlen Hänge. Auf den Randhöhen ist Wald dargestellt. Noch heute lassen sich die alten Trassen nachweisen (vgl. Kap. 5.2).

Neben Leidersdorf und seinem Hammerwerk bildet Wolfsbach einen Schwerpunkt der Untersuchung (Lage s. Abb. 9). Im Urkataster ist deutlich Wehr und Umflut zu erkennen (Abb. 16).



**Abb. 16:** Ausschnitt aus dem Urkataster von 1852 (Blatt NO LIX 11, 1:5.000, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)

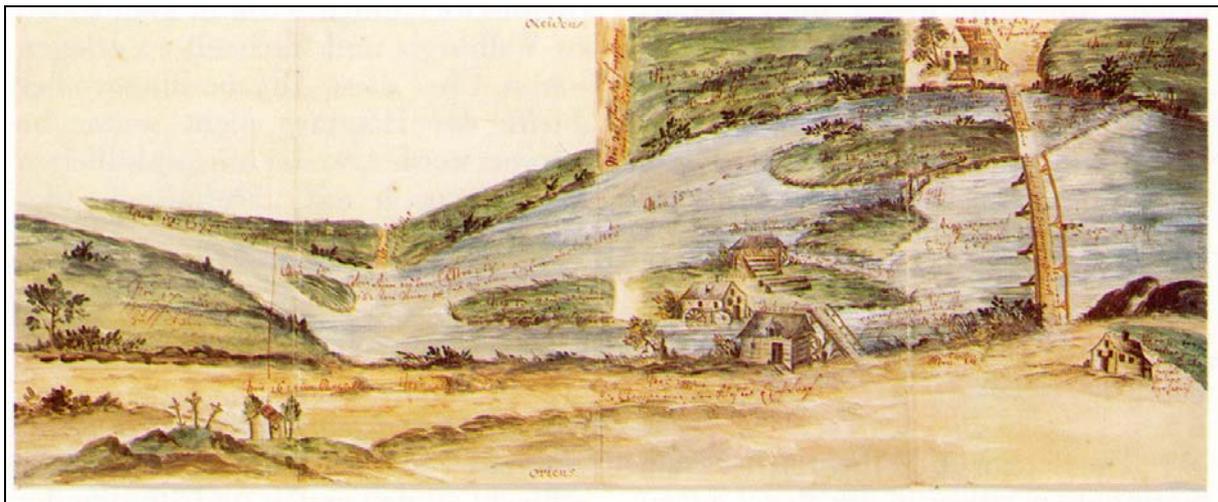
Der Ort wurde 1119 erstmals in einer Stiftungsurkunde des Klosters Ensdorf erwähnt. Die Rekonstruktion der Produktionszeiten kann nur indirekt über die in Archivalien verzeichneten Eigentümer erfolgen. Im Jahre 1282 verkaufte Albrecht der Puochberger, Edler von Haselbach, seine Güter an das Kloster (WIDENBAUER 1959, 1959a). Wahrscheinlich existierte zu diesem Zeitpunkt bereits ein Hammerwerk. In einer Aufstellung von RESS (1950) ist für Wolfsbach ein Schienhammer vom 15. - 17. Jahrhundert verzeichnet. Von 1519 (andere Quelle 1515) bis 1559 gehörte Wolfsbach den Portnern, Hammerherren von Theuern und

Wolfsbach. Nach dem Kauf erfolgte der Umbau einer Mühle zu einem Blechhammer. Die folgenden Besitzer waren Martin Zennefels, 1579 Eigentümer einer Mühle, einer Schneidsäge und eines Schienhammers und Hans Jacob Oberstetter, 1595 Betreiber eines Schienhammers (GÖTSCHMANN 1985, DÄHNE & ROSER 1988). Lohnabrechnungen von 1629 zeigen, dass zu diesem Zeitpunkt ein Zerrenmeister, ein Schmiedemeister, ein Zerrenknecht, ein Schmiedknecht, ein Handpreuer, ein Hauer und ein Kohlmesser beschäftigt waren (GÖTSCHMANN 1985). Es ist belegt, dass der Hammer, nach der Zerstörung Leidersdorfs, in landesherrlicher Regie weiterarbeitete und dort ein Hammer zum Überschmieden von Kanonenkugeln eingerichtet worden war. Der Dreißigjährige Krieg führte aber dennoch zu Unterbrechungen in der Produktion. 1639 lag der Hammer, trotz guten Zustandes, still. Aber der Besitzer war an der Lieferung von Amberger Erz interessiert (GÖTSCHMANN 1985). Die wirtschaftlichen Schwierigkeiten zu dieser Zeit zeigen sich auch daran, dass die Regierung 1653 versucht Schulden vom Hammer Wolfsbach (160 Gulden) einzutreiben. Sowohl 1648/49 als auch 1666 ist der Hammer in Wolfsbach aber als ‚in Betrieb‘ verzeichnet und produzierte regelmäßig und in größerem Umfang (GÖTSCHMANN 1985). 1693 war der wirtschaftliche Tiefpunkt überwunden und auch die Hammermeister von Leidersdorf und Wolfsbach nahmen an Verhandlungen über eine neue Eisenhüttenordnung teil, aber eine deutliche Wiederbelebung gab es nicht.

Nur selten wurden zerstörte Hammerwerke wieder aufgebaut. Insbesondere die Hämmer an der Vils konnten sich aber am Ende des Dreißigjährigen Krieges behaupten, da sie günstig und ausreichend mit Erz aus Amberg und Sulzbach versorgt wurden. Allerdings konnte nicht an die Produktionsmenge vor dem Krieg angeknüpft werden (GÖTSCHMANN 1985). Die zeitweiligen Stilllegungen und die verminderte Produktion lassen eine geringere Beeinflussung der Umwelt, wie etwa durch Holzverbrauch oder Schlackenreicherung, annehmen. Von 1670 stammt eine Betriebskostenrechnung des Hammermeisters von Wolfsbach, die der Prüfung der Rentabilität diene. Für eine Zerrenne ergeben sich, für Instandhaltung, Lohnkosten, Kohle, Erz und Erzfuhrlohn, Gesamtkosten von 3 Gulden und 29,5 Kreuzern. Vergleicht man dazu die Einnahmen für die Werkschienen, so war der Gewinn eines Arbeitsvorganges relativ gering. Daher führten schon geringfügige Verschiebungen im Kosten-Nutzenverhältnis dazu, einen Hammer unrentabel werden zu lassen und der Betrieb musste zeitweise eingestellt werden (GÖTSCHMANN 1985). In der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts war beispielsweise die Verschlechterung des Amberger Erzes und der damit einhergehende schlechtere Ertrag vor allem für die abseits gelegenen Hämmer ein Grund zur Stilllegung.

1670 beteiligte sich der Hammermeister zu Wolfsbach, Egidius Steiner, an Bemühungen in der Umgebung von Rieden Eisenerz abzubauen, aber die Aktivitäten waren nicht von

langfristigem Erfolg gekrönt. Die Grundlage der Eisenproduktion blieb also in erster Linie der Sinter (Schlacke) sowie Erz aus Amberg und Sulzbach. Der vermehrte Sinter Einsatz forderte einen höheren Kohleinsatz und einen höheren Arbeitsaufwand. Das führte wiederum zu noch höheren Lohnkosten, die aufgrund des herrschenden Arbeitskräftemangels schon auf hohem Niveau lagen. Holz mangel war jedoch nicht ein beschränkendes Problem um 1670/1680, wie aus Anweisungen und Umfragen der Forstämter hervorgeht (GÖTSCHMANN 1985). Vom deutlich kleineren Hammerwerk in Wolfsbach existiert eine sehr einfache, farbige Darstellung von Anfang des 18. Jahrhunderts (Abb. 17).



**Abb. 17:** Hammerwerk Wolfsbach, Anfang des 18. Jahrhunderts (GÖTSCHMANN 1985, Tafel 13, StAA Plansammlung 110)

Im Vordergrund ist das kleine Hammerwerk mit Wasserrad abgebildet, ein Kamin ist nicht zu sehen. Gegenüber, am gleichen Wasserlauf, liegt eine Mühle und dahinter, an einem weiteren Wassergraben, ein Sägewerk. Der Fall, den die Amberger Vilsschiffe passieren mussten, ist rechts oben im Bild zu sehen. Er ist mit einem aufziehbaren Fallbrett verschlossen. Ein Vergleich mit der heutigen Situation ist kaum möglich.

„Beinahe zwei Jahrhunderte war das Hammergut Wolfsbach im Besitz der Familie Pauer (1681 bis 1853). Wegen eines fehlenden männlichen Nachfolgers wurde der Besitz mit 100 ha Grund, einer Mahlmühle, einer Schneidsäge und dem Fischrecht in der Vils 1856 zerschlagen“ (DÄHNE & ROSER 1988, S. 25). Allerdings lag zu diesem Zeitpunkt der Hammer schon lange still (etwa seit 1750). Seit 1860 bewirtschaftet die Familie Holler das Restgut. Das ehemalige Hammerherrenschloss, das um 1600 erbaut wurde, ist heute in das Wohnhaus eines Bauernhofes integriert. Heute erzeugt noch ein Kleinkraftwasserwerk Strom (s. Abb. 18).

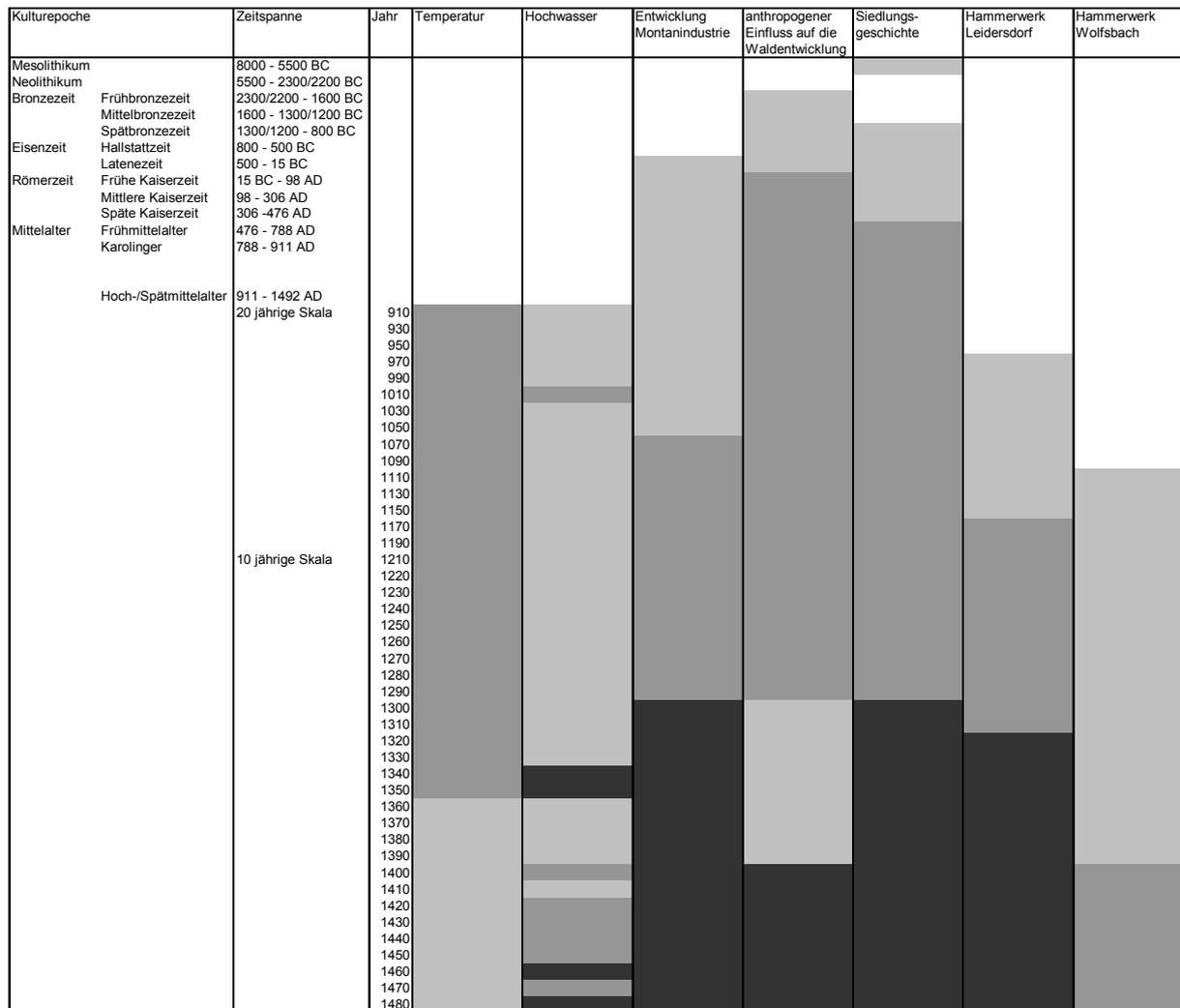


**Abb. 18:** *Teilung der Vils in Wolfsbach heute (eigene Aufnahme)*

### 5.3 Ausgliederung der Phasen des historischen Landschaftswandels für das Untersuchungsgebiet

Die Ausgliederung von Phasen des historischen Landschaftswandels für das Untersuchungsgebiet erfolgt auf Basis der relevanten physischen und anthropogenen Faktoren. Die in den Kapiteln 5.1 und 5.2 dargestellten Daten und Informationen wurden chronologisch gegliedert und ausgewertet (s. Abb. 19). An Geofaktoren werden die Temperaturentwicklung und die Häufigkeit von starken Hochwasserereignissen berücksichtigt. Als anthropogene Faktoren sind die Entwicklung der Montanindustrie in der Oberpfalz, der anthropogene Einfluss auf die Waldentwicklung, die Siedlungsgeschichte im Untersuchungsgebiet sowie die spezifische Entwicklung der Hammerwerksstandorte Leidersdorf und Wolfsbach aufgeführt. Die Informationen wurden dazu in ein bewertendes Schema überführt, um Phasen des Landschaftswandels aufzeigen zu können. Die Stärke des Einflusses bzw. die Höhe der Durchschnittstemperatur ist jeweils in drei Stufen unterteilt. Die Zeitskala, basierend auf einer Zusammenstellung von NILLER (1998), beginnt im Mesolithikum. Ab dem Mittelalter ist die Skala, entsprechend der zur Verfügung stehenden Informationsdichte und dem thematischen Schwerpunkt der Arbeit, zunächst in 20jährige, dann in 10jährige Schritte eingeteilt (s. Abb. 19a und 19b). Die Zusammenstellung ermöglicht Landnutzungsphasen mit verstärkten anthropogenen Eingriffen sowie potentiell besonders morphodynamisch wirksame Phasen auszugliedern.

Die ersten Siedlungsfunde im Untersuchungsgebiet stammen aus dem Mesolithikum. Beeinflussungen des Ökosystems durch den Menschen sind für die Region ab der Bronzezeit, insbesondere im Umfeld der Höhsiedlung Kallmünz, belegt. Großflächige Rodungen beginnen mit dem verstärkten Siedlungsausbau im Frühmittelalter. Im 14.



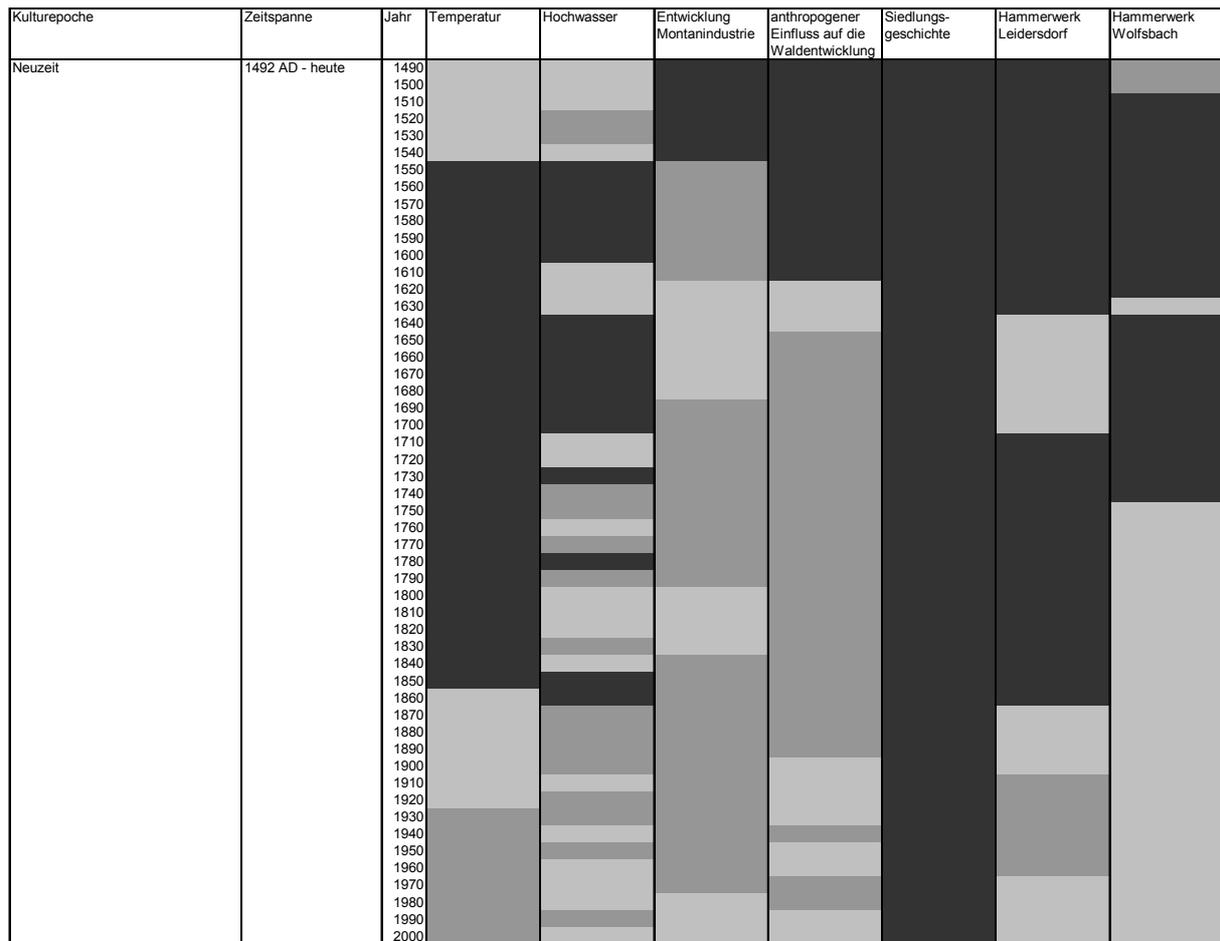
Legende

Signatur	Stärke des Einflusses	Temperatur
	gering/wenig/schwach	normal
	mittel stark	wärmer
	stark/hoch	kälter

Zeitskala basierend auf einer Zusammenstellung von Niller (1998)  
 Quellen: eigene Zusammenstellung, basierend auf Kap. 5.1 und 5.2

**Abb. 19a:** Zeitliche Entwicklung natürlicher und anthropogener Faktoren für den Landschaftswandel vom Mesolithikum bis zum Mittelalter

Jahrhundert ist, wie auch in anderen Regionen Mitteleuropas, das Jahr 1342 mit Starkregenereignissen hervorzuheben. Zu diesem Zeitpunkt existiert bereits die erste Hammereinung. Die Blüte des Bergbaus, einhergehend mit hohem Holzbedarf und damit starker Waldschädigung liegt im 15. Jahrhundert vor. Morphodynamisch wirksam müssen, aufgrund der hohen Niederschläge, abgeleitet aus der Hochwassersituation, vor allem die Jahre um 1460 und um 1480 gewesen sein. In der so genannten Kleinen Eiszeit, ab etwa 1550, nimmt die Anzahl an extremen Hochwasserereignissen stark zu. Der Höhepunkt der Eisenindustrie ist zu dieser Zeit bereits vorüber, aber es sind dennoch eine Reihe von



Legende

Signatur	Stärke des Einflusses	Temperatur
	gering/wenig/schwach	normal
	mittel stark	wärmer
	stark/hoch	kälter

Zeitskala basierend auf einer Zusammenstellung von Niller (1998)  
 Quellen: eigene Zusammenstellung, basierend auf Kap. 5.1 und 5.2

**Abb. 19b:** Zeitliche Entwicklung natürlicher und anthropogener Faktoren für den Landschaftswandel in der Neuzeit

Hammerwerken in Betrieb. Der Wald ist, trotz erster Aufforstungen, stark geschädigt. Es treffen damit meteorologische und anthropogene, erosionsfördernde Faktoren zusammen. Besonders für das ausgehende 16. Jahrhundert, als auch im 18. Jahrhundert, ist von einer Zunahme an Erosionsereignissen und Anstieg der Auelehmsedimentation auszugehen. Mitte des 19. Jahrhunderts treffen nochmals starke Hochwasser mit dem hohen Holzbedarf der Holzkohlehochöfen und dem Beginn der Industrialisierung aufeinander. Mit der Etablierung moderner Verhüttungstechniken, wie etwa Kokshochöfen, geht der Druck auf die Wälder im 20. Jahrhundert zurück und die Montanindustrie konzentriert sich auf wenige Standorte. Außerdem ist die Forstorganisation ab dem 20. Jahrhundert deutlich effektiver. Damit geht

die anthropogen geförderte Erosion zwar zurück, aber durch die moderne Industrie kommt es zu Schwermetalleinträgen in die Aue (vgl. Kap. 5.1.4).

Das Hammerwerk in Leidersdorf hat eine deutlich längere Produktionszeit als das Hammerwerk in Wolfsbach. Zudem waren in Leidersdorf mehr Hämmer sowie später ein Blauofen in Betrieb. Auch das in der Folge betriebene Sägewerk dürfte zu anthropogenen Einträgen, z.B. in Form von Schmierstoffen geführt haben. Ähnliches ergaben Untersuchungen am Standort Theuern (vgl. Kap. 7.3). Daher kann in Leidersdorf von einer größeren Beeinflussung der Sedimente, z.B. durch höhere Schlackeneinträge ausgegangen werden als in Wolfsbach.

Der an das Untersuchungsgebiet angrenzende Hirschwald war relativ früh Teil eines Forstamtsbezirkes mit mehreren Förstern. Trotzdem belegen Beschwerden des Hammermeisters von Leidersdorf eine starke Schädigung mit Kahlfächen für die Mitte des 16. Jahrhunderts. Ab dem 17. Jahrhundert war der Hirschwald zu großen Teilen als Wildbannbereich ausgewiesen. An den Hängen kommt es jedoch schon früh zu Erosion, die im Mittelalter durch ein hohes Transportvolumen mittels Fuhrwerken forciert wird. Dadurch bilden sich Runsen und tiefe Gräben (vgl. Kap. 7.1).

## **6 Ergebnisse der physisch-geographischen und bodenkundlichen Untersuchungen**

### 6.1 Detailkartierung des Untersuchungsgebietes an der Vils

Mittels Kartierungen im Gelände und der Auswertung vorhandener Daten und Karten erfolgt zunächst eine detaillierte Charakterisierung des Untersuchungsgebietes im Umfeld der ehemaligen Hammerwerke. Diese Informationen ermöglichen u.a. eine gezielte Planung der Standorte der Bodenprofile. Ungeeignet sind etwa solche Standorte, die im 20. Jahrhundert durch Baumaßnahmen stark überprägt wurden. Des Weiteren fließen die Ergebnisse der Detailkartierung in die Auswertung der Profilaufnahmen mit ein (vgl. Kap. 6.2 und 7). Die Kartierung konzentriert sich primär auf die für diese Studie relevanten Talbereiche zwischen Wolfsbach, Leidersdorf und Ensdorf. Die Überführung der Daten in ein GIS ermöglicht die Anwendung verschiedener geostatistischer Methoden und die graphische Darstellung der Ergebnisse. Die erstellten Karten sind im Anhang (Abb. A 2 - Abb. A 8) aufgeführt. Die im Text genannten Flurnamen sind in der Karte in Abb. A 9 im Anhang gekennzeichnet.

Das Relief ist ein prägender Faktor der Bodenentwicklung und des Landschaftshaushaltes. Neben der geomorphologischen Kartierung werden die in anderen Kartenwerken (Geologische Karte und Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden sowie Flurkarten 1 : 5.000, vgl. Tab. A 1) verzeichneten Reliefelemente ausgewertet (Karte der Geomorphographie siehe Anhang Abb. A 2). Die enge Scharung der Höhenlinien zeigt den recht steilen Anstieg der Hänge. Die Vils verläuft in einem Kastental und die Aue ist kaum strukturiert. An den Hängen sind zahlreiche Erosionsrinnen bzw. -systeme vorhanden. Häufig sind in der Geologischen Karte Schuttkegel (Schwemmfächer) auskartiert, allein sechs im näheren Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 5). Die Begehung zeigt jedoch, dass bis auf den Schwemmfächer südlich von Leidersdorf alle Areale so stark anthropogen überprägt sind, dass eine Untersuchung nicht sinnvoll ist. Die Schwemmfächer sind im Gelände zumeist auch nicht mehr deutlich zu erkennen. Der untersuchte Schwemmfächer südlich von Wolfsbach ist in der Geologischen Karte hingegen nicht aufgeführt. Die Vermessung des großen Erosionssystems und seines Schwemmfächers südlich von Leidersdorf hat gezeigt, dass die Grundzüge des Systems in den genannten Karten wiedergegeben werden, es aber tatsächlich viel feiner strukturiert ist (RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005). Das Erosionssystem des kleineren Schwemmfächers südlich von Wolfsbach ist in der TK 25 in Form zweier stark eingetiefter Wege dargestellt (vgl. Abb. 4 oder Abb. A 9). Die eigene Kartierung ergab eine Haupttiefenlinie. Seitlich und höher davon gelegen verlaufen verschiedene Wege, die teilweise eingetieft sind. Sie erreichen aber nicht das Ausmaß der zentralen Linie bzw. die des Hauptweges.

Die Art der Wölbung kann eine Rolle für die Bodengenese spielen. Die konkaven Areale im Auenbereich neigen eher zur Vernässung und damit einhergehender charakteristischer Bodenentwicklung, wie etwa der Ausbildung von Gleymerkmalen. Die Täler und Tiefenlinien sind meist kerb- oder kastenförmig ausgebildet. Die erosiven Prozesse führen im Auslaufbereich zu Sedimentakkumulationen, die jedoch nicht immer als deutlicher Schwemmfächer ersichtlich sein müssen. Sie sind als konvexe Wölbungen dargestellt. Durch Straßen- und Bahnbau wurden zahlreiche, z.T. steile, Stufen, Kanten und Böschungen sowie Dämme neu geschaffen (Abb. A 2). Das Höhenmodell (s. Anhang Abb. A 3) verdeutlicht die kastenförmige Ausprägung des Vilstales (vgl. Kap. 4).

Das einzige große Fließgewässer im Untersuchungsgebiet ist die Vils (Karte der Hydrographie s. Anhang Abb. A 4). Charakteristisch sind die anthropogen geschaffenen Umfluten mit Inseln in Wolfsbach und Leidersdorf. Der Fluss wird durch ein Wehr aufgestaut und ein Teil des Wassers in den sog. Mühlkanal umgeleitet. Der Vergleich mit dem Urkataster zeigt, dass die Vils ihr Flussbett seit 1900 nicht geändert hat. Heute fehlen nur zwei kleinere „Altwassernasen“ und ein größeres Altwasser südlich von Leidersdorf, bei dem es sich vermutlich um einen ehemaligen Teich handelt. Drei an die Vils angebundene Flussbögen sind Anfang der 90er Jahre künstlich angelegt worden. Ebenso die als zeitweise fließend kartierten Gewässer. Diese sind in der Karte als Vils/Renaturierung (z.T. verlandet) gekennzeichnet (siehe auch Abschnitt zur anthropogenen Beeinflussung). Die zum Zeitpunkt der Kartierung vernässten Stellen gehen zumeist mit diesen renaturierten, inzwischen verlandeten Gräben einher. Außerdem sind häufig der Südzipfel und die unteren Ränder der Flur Bergäcker saisonal vernässt. Die vernässte Stelle südöstlich von Leidersdorf zeigt ein ehemaliges Altwasser an. Gesichert ist im Untersuchungsgebiet nur eine Quelle in der Flur Frauengarten. Vermutlich werden jedoch auch die beiden größeren Teiche durch Quellen gespeist. Die kleineren Stillgewässer sind Teil des ökologischen Umbaus der Vils.

Ein wichtiges Kriterium für die Einschätzung der Hochwassergefährdung ist das Ausmaß des extremen Hochwassers von 1909. Das damals überschwemmte Areal gilt als die Maximalausdehnung der rezenten Aue bei Hochwasser (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Talquerschnitte von 1933 zeigen, dass beim Jahrhunderthochwasser 1909 in Leidersdorf der gesamte Bereich zwischen Bezirksstraße und Bahndamm überflutet war. Je nach Breite des Talquerschnittes ergibt sich eine Erhöhung zum normalen Pegel von 1,82 bis 2,41 m. Die Dimension des Überschwemmungsgebietes von 1909 wurde aus den Karten des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG übernommen. Aufgrund der geomorphologischen Kartierung sowie der sedimentologischen Befunde scheint dieser Hochwasserstand kleinräumig, wie etwa beim großen Schwemmfächer, als zu weit gefasst. Anfang 2003 ereignete sich ein starkes Hochwasser, das insbesondere flussabwärts in Kallmünz, beim

Zusammenfluss von Vils und Naab, zu großen Überschwemmungen führte. Die Kartierungen vom 5. Januar 2003 geben darüber Auskunft. Die erstellte Karte befindet sich im Anhang (Abb. A 5).



*Bild A*



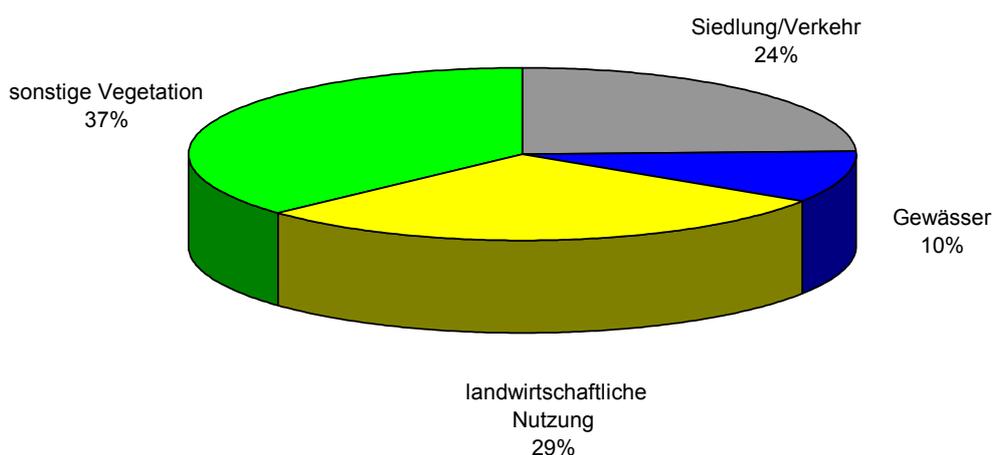
*Bild B*

**Abb. 20:** Hochwasser Januar 2003, südlich von Leidersdorf. Bild A zeigt eine buchtartige Überschwemmungsfläche, Bild B zeigt die leicht konkave Wölbung vor dem unteren Teil des großen Schwemmfächers. Sie ist stark vernässt (eigene Aufnahmen).

Die Bilder in Abbildung 20 veranschaulichen die Situation. Der aufliegende Schnee lässt die Flutmerkmale deutlich hervortreten. Das Hochwasser hat seinen Scheitelpunkt bereits überschritten und weicht langsam zurück. Südlich von Leidersdorf waren die Bereiche hinter der Streuobstwiese sowie der Weg und die Wiese auf der anderen Vilsseite buchtartig überflutet (Abb. 20, Bild A). Auf dem Weg hatten sich Rippelmarken aus Feinsand gebildet. Der Bereich hinter dem Teich war ebenfalls überflutet. Auffällig ist, dass auch das erhöhte Areal davor starke Vernässung zeigt. Ursache ist hier vermutlich eine gute hydrologische Leitfähigkeit des aufgeschütteten Materials (vgl. Abschnitt zur anthropogenen Beeinflussung). Auf dem Flurstück 259 steht zum Kartierzeitpunkt noch gefrorenes Wasser. Hingegen ist der untere Teil des Ackers der Flur Bergäcker, Auslaufbereich des großen Schwemmfächers südlich von Leidersdorf, zwar stark vernässt und teilweise steht das Wasser auf dem Feld, aber es sind keine Überflutungsmerkmale sichtbar. Dabei ist zu beobachten, dass nur die niederen Flächen vor und nach dem Scheitelpunkt des Schwemmfächers, nicht jedoch der Scheitelpunkt selber, betroffen sind (vgl. Abb. 20, Bild B). In weiten Teilen wurde die Flur Frauengarten überflutet, insbesondere der nahe der Straße gelegene Teil sowie Areale auf der gegenüber liegenden Vilsseite. Zum Kartierzeitpunkt ist noch stehendes Wasser auf den Flächen vorhanden.

Die (Feucht-) Wiesen und Hochstaudenfluren südlich des ehemaligen Hammerwerkes in Wolfsbach sind beiderseits der Vils buchtartig überschwemmt. Ebenfalls ist das Areal der Flur 1383/3 mit Auwald und Feuchtwiesen-Bestockung überschwemmt. Die Vils macht dort einen Bogen, so dass das Hochwasser den „direkten“ Weg genommen hat. Beim kleineren Schwemmfächer, südlich von Wolfsbach, sind nur im Ackerrandbereich minimal vernässte Stellen vorhanden. Hingegen sind die Flächen auf der gegenüberliegenden Seite überflutet.

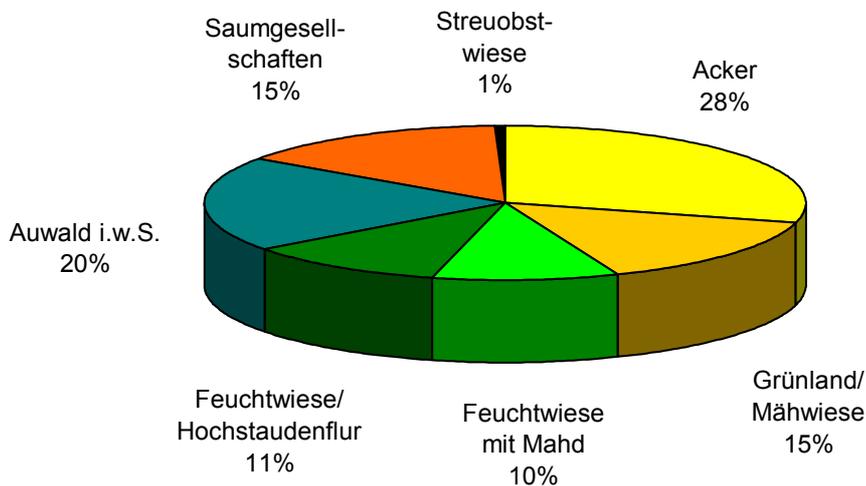
Die Kartierung der Vegetation und Landnutzung erfolgte mit einer Einteilung in 10 Klassen. Die gewählten Klassen sind: Acker, Grünland/Mähwiese, Saumgesellschaften (Waldrand, Ackerrandstreifen, Sträucher, einzelne Bäume), Nadelwald, Laubmischwald, Feuchtwiese/Hochstaudenflur, Feuchtwiese mit Mahd, Auwald i.w.S. (uferbegleitende Wald- und Staudenflur), Streuobstwiese und Siedlungsflächen/Verkehr (vgl. Kap. 3.1). Die Ergebnisse sind in der Karte im Anhang (Abb. A 6) dargestellt. Die statistische Auswertung der zusammen gefassten Klassen ergab folgende prozentuale Nutzungsverteilung im Untersuchungsgebiet (Abb. 21):



**Abb. 21:** Nutzungsverteilung im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage: eigene Kartierung Sommer 2002. Die Prozentangaben beziehen sich auf die kartierte Gesamtfläche, vgl. Karte in Abb. A 6)

Im Tal zwischen Wolfsbach und Ensdorf sind 24 % der Fläche mit Siedlungen und Verkehrswegen bebaut. Die Vils und kleinere Teiche nehmen 10 % der Fläche ein. 29 % stehen unter landwirtschaftlicher Nutzung (Acker, Grünland, Mähwiese). Auf den Äckern werden vorzugsweise Raps und Getreide angebaut. Die wichtigsten landwirtschaftlich genutzten Fluren sind Bergäcker und Niederfeld. Wie aus alten Forstkarten und dem Urkataster ersichtlich ist, hat sich die Waldgrenze in den letzten beiden Jahrhunderten nicht verändert. Die Schwemmfächer wurden über lange Zeit als Acker genutzt und stehen auch derzeit unter ackerbaulicher Nutzung. Natürliche bzw. naturnahe Vegetation in Form von Feuchtwiesen, Hochstaudenfluren, Auwald, Saumgesellschaften und einer alten Streuobstwiese bilden 37 % der Flächennutzung (= sonstige Vegetation).

Für die Aue zeigt die Vegetationsverteilung (Abb. 22), dass etwa die Hälfte der Flächen landwirtschaftlich genutzt werden, davon knapp 30 % als Acker. Die Ackerflächen sind naturgemäß eher erosionsgefährdet. Veränderungen in der Vegetationsverteilung ergaben sich in den letzten Jahren durch Renaturierung und Herausnahme von Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung.



**Abb. 22:** Vegetationsverteilung in der Aue (Datengrundlage: eigene Kartierung Sommer 2002. Die Prozentangaben beziehen sich auf die kartierte Auenfläche, vgl. Karte in Abb. A 6)

Insbesondere durch Aufkäufe und Pflegemaßnahmen des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG sind schon 41 % der Fläche in die Kategorien Auwald i.w.S. und Feuchtwiese/Hochstaudenflur sowie Feuchtwiese mit Mahd einzustufen. Die Vegetation befindet sich noch in der Entwicklung zu den auetypischen Pflanzengesellschaften. Durch das anthropogen geprägte Flussregime ist dieser Prozess jedoch langwierig. Um offene Flächen weiterhin zu erhalten, wird ein Teil der Areale ein bis zweimal jährlich gemäht. Damit werden verschiedene Ökosysteme gefördert.

Eine Form der anthropogenen Beeinflussung des Untersuchungsgebietes (s. Abb. A 7 und Abb. A 8 im Anhang) ergibt sich durch unterschiedliche Baumaßnahmen. Sie sind sowohl bei der Begutachtung der Landschaft als auch bei der Auswahl der Profilstandorte zu beachten. Ein Teil ist aus den Topographischen Karten ersichtlich und muss daher nicht gesondert aufgenommen werden. Dazu zählen Siedlungsflächen, Straßen und Wege sowie Teiche und die Umfluten der Vils. Informationen aus dem Urkataster ergänzen die heute nicht mehr direkt sichtbaren Beeinflussungen, wie etwa ehemalige Teiche und ehemals bebaute Flächen. Außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes liegt das markante Areal eines großen Steinbruchs. Mit dem Bau der Bahnlinie Schmidmühlen - Amberg, auf deren Damm heute ein Radweg verläuft, wurden die Schwemmfächer geteilt und steile Stufen geschaffen. Unterhalb von Leidersdorf ist der Hang besonders stark verändert. Unterirdisch verlegte

Leitungen für Strom und Telefon stören kleinräumig den Sedimentaufbau. Sie verlaufen in der Regel entlang von Wegen und Straßen bzw. befinden sich im Bereich der Siedlungen.

Durch Kartierung, Sondagen und Hinweise der Anwohner können mehrere Auffüllungen aufgezeigt werden. Zwischen Theuern und Wolfsbach (bis etwa Höhe des Straßenabzweigs zum Steinbruch) wurde die Vils Anfang der 50er Jahre (vermutlich 1951/52) mittels Schwimmbagger ausgehoben. Während in Richtung Theuern das ausgebaggerte Material auf Ackerflächen untergepflügt wurde, ist der Aushub in Wolfsbach vor allem an der Stelle eines damaligen Sägewerks (südwestlich des Hammerwerkes) aufgeschüttet worden. Das Material besteht aus Sand, Kies und Schlacken. Es wurde zunächst seitlich der Vils abgelagert und dann über Schienen per Lore zum endgültigen Ablagerungsort transportiert. Heute stehen auf dem erhöhten Gelände ein Stall sowie ein Wohnhaus. Oberirdisch sind dort, insbesondere beim Stall zahlreiche Schlacken zu finden. Gleichzeitig wurde auch ein ehemaliger Teich, auf der Flurkarte noch eingezeichnet, mit dem Material zugeschüttet. Das angrenzende Areal, auf Höhe der Straßeneinmündung, dient heute zum Teil als Lagerplatz für Erdaushub. Auch bei neuen Baumaßnahmen im Bereich der Aue sollen sich, nach Aussagen der Anwohner, im Aushub viele Schlacken und Kiese befinden. Eine Begehung einer frischen Baugrube in Wolfsbach (Sommer 2003) ergab jedoch keine entsprechenden Hinweise. Allerdings ist der Sedimentaufbau anthropogen gestört.

Gründe für die Ausbaggerung der Vils waren die Vertiefung des Flussbettes zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und die Absenkung des Grundwasserspiegels, um somit auch einen verbesserten Hochwasserschutz sowie eine geringere Vernässung der Äcker zu erreichen. Nach der Ausbaggerung sank der Wasserspiegel auch in den Hausbrunnen, so dass diese nachgebohrt werden mussten. Weiterhin war eine Veränderung des Wehres notwendig. Darüber hinaus bot der erhöhte Platz auf der Aufschüttung einen besseren Hochwasserschutz. Genaue Unterlagen über die Maßnahme fehlen, obwohl sie vom WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG begleitet wurde. Die Angaben beziehen sich auf Aussagen der Anwohner und eine Begehung. Weitere Auffüllungen befinden sich südlich von Leidersdorf, zwischen Zusammenfluss von Vils und Mühlkanal und dem heutigen Teich sowie auf dem Flurstück 1406/2. Auf Plänen von 1937 ist dieser Teich noch nicht vorhanden, sondern nur das inzwischen verfüllte Altwasser. Über die Aufschüttung gibt es keine Informationen. Der heutige Teich scheint durch einen Zufluss vom Hang mit Wasser versorgt zu werden.

Auf dem Areal der Insel in Leidersdorf haben sowohl das ehemalige Hammerwerk als auch ein ehemaliges Sägewerk mit Holzlagerplatz viel Schutt und Schlacken hinterlassen. Relativ mächtige Schlackenanreicherungen befinden sich in der Nähe der alten Vils-Brücke (Grabung durchgeführt, vgl. Kap. 6.3) sowie auf der gegenüber liegenden Vilsseite im

Bereich eines Transformators. Das Produktionsgebäude der Metallherstellung und -verarbeitung lag östlich an den Mühlkanal angrenzend (vgl. Kap. auch 5.2.3, Abb. 11). Die Flächen im Umfeld des neuen Sägewerks (1989 stillgelegt), westlich der Vils, nördlich von Leidersdorf, wurden durch Aushub vom Abwasserkanalbau sowie mit Material aus dem nahe gelegenen Steinbruch aufgeschüttet. Der zentrale Abwasserkanal des Zweckverbandes „Unteres Vilstal“ durchzieht das ganze Untersuchungsgebiet. Er muss häufig bei der Standortwahl berücksichtigt werden, da er dem Vilsverlauf folgend in der Aue verlegt ist. Es handelt sich um einen Freispiegel-Mischwasserkanal mit einem Kreisdurchmesser von 250 mm. Die Bettung erfolgte in Kiessand. Der Kanal verläuft etwa in einer Tiefe von 3 - 4 m. Durch die 60° Böschung der Seitenwände und einer unteren Schachtbreite von 1 m muss bei Sondagen mindestens 3 m Abstand zum Kanalverlauf eingehalten werden, um den gestörten Bereich zu meiden. Der Kanal befindet sich im Grundwasserbereich (Bestandsplan Abwasseranlage „Unteres Vilstal“, WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG; telefonische Mitteilung Ing. Büro REUTHER & SEUSS, Amberg).

Die Vils ist Teil eines Modellprojektes für die Erarbeitung ökologisch begründeter Sanierungskonzepte kleiner Fließgewässer (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1996). Umfangreicher Flächenerwerb und Gewässeraus- und umbau durch das WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG dienten auch als naturschutzfachliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme im Zuge des Straßenausbaus. Die Renaturierung der Vils von 1990/91 hat neue Flussschleifen, Altwasser, Stillgewässer und Flachwassersysteme zwischen Wolfsbach und Ensdorf geschaffen (WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG 1996) (vgl. Karte der Hydrographie). Südlich von Wolfsbach wurde ein neuer Vilsbogen angelegt. Das bestehende Vilsbett wird dadurch zum Altwasser. Ein bestehendes Altwasser wurde erweitert und Flutmulden geschaffen. Auf Höhe des kleinen Schwemmfächers erfolgte der Umbau eines Entwässerungsgrabens zum Flachwassersystem sowie die Anlage eines beidseitig an die Vils angebundenen Altwassers und eines kleinen Stillgewässers. Verschiedene Anpflanzungen und Pflegemaßnahmen (1 - 2mal jährliche Mahd) sollen die Entwicklung zu einem natürlichen Auenökosystem fördern (vgl. Karte der Vegetation und Landnutzung). Südlich von Leidersdorf wurden Feucht- und Nasswiesen (südlich des Teichs, Teile der Flur Frauengarten), Auwaldentwicklung durch Neuanpflanzung und Auwaldaufwuchs aus Stockausschlägen (randlich der Flur Bergäcker) gefördert. In der Flur Frauengarten erfolgte ebenfalls der Umbau eines Entwässerungsgrabens zum Flachwassersystem sowie die Anlage einer neuen Flussschleife. Ein eingebauter Sporn teilt den Fluss (s. Abb. 23).

Der Aushub der Renaturierungsmaßnahmen wurde teilweise auf den Feldern in der Umgebung verteilt. Der andere Teil wurde in den benachbarten Steinbruch verbracht. Es



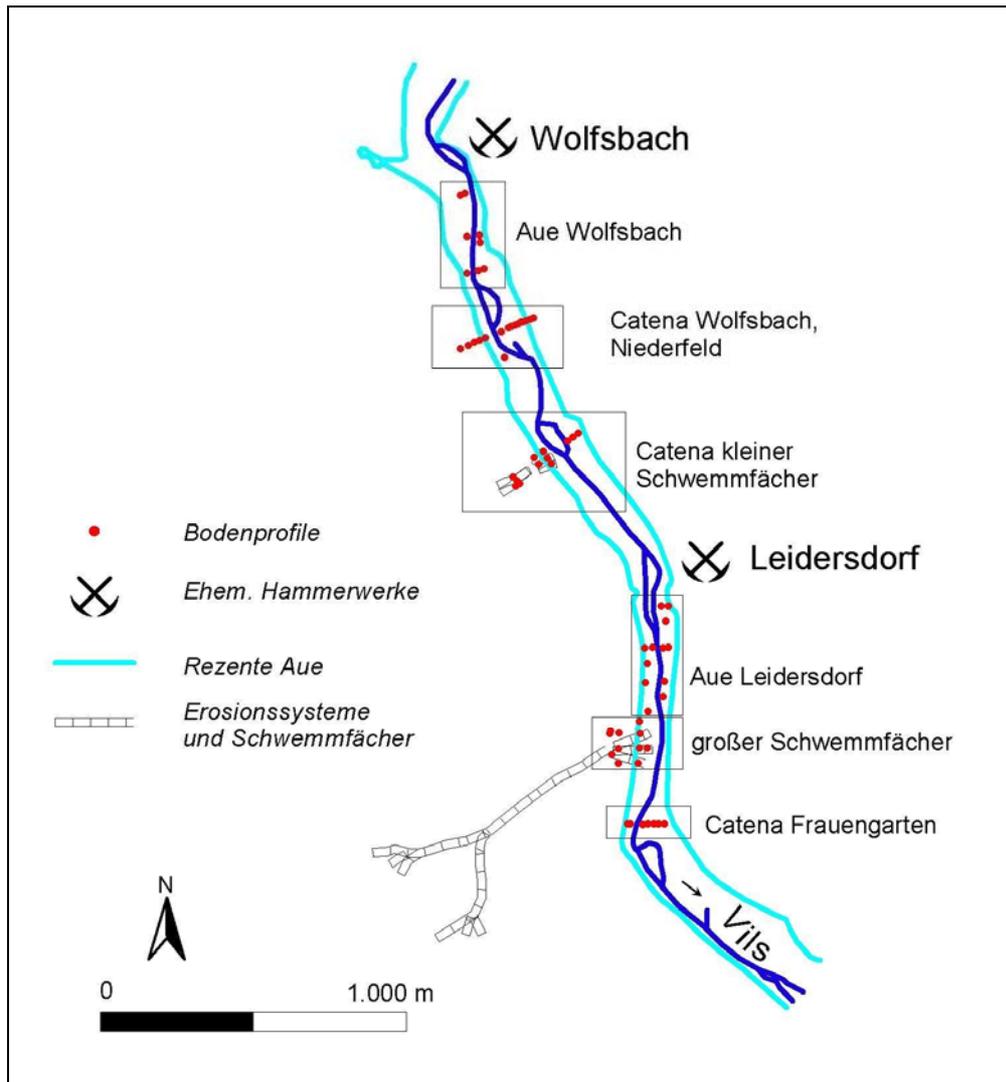
**Abb. 23:** Vils Renaturierung, Flur Frauengarten (eigene Aufnahme)

liegen keine Aufzeichnungen über den Sedimentaufbau vor. In der Regel wurde 1,8 bis 2,0 m tief ausgebaggert. Der Aushub enthielt vor allem Lehm, teilweise Sande aber keine auffälligen Schlackenanteile. Es gab kaum Probleme mit nachlaufendem Wasser bei den Baumaßnahmen (mündl. Mitteilung, Herr BAUMANN, WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Die Form der Renaturierung spiegelt aber kaum die natürliche Flusscharakteristik wider.

## 6.2 Bodenkundliche und sedimentologische Befunde

Die Kartierung des Untersuchungsgebietes zeigt eine vielfältige anthropogene Beeinflussung durch verschiedene Baumaßnahmen (vgl. Kap. 6.1). In Verbindung mit den geomorphologischen Befunden und der Fragestellung der Arbeit führt dies zur Auswahl von zwei Schwemmfächerstandorten und mehrerer Auenstandorte. Das Untersuchungsgebiet lässt sich grob in den Teilbereich unterhalb des Hammerwerkes Leidersdorf und in den Teilbereich unterhalb des Hammerwerkes Wolfsbach gliedern. Die Übersichtskarte zeigt die Lage der Catenen und Profile, die in sechs Teilgebiete zusammengefasst wurden (Abb. 24). Alle Profile liegen auf dem Blatt 6637 Rieden der TK 25. Die komplette Profilnummer ergibt sich aus der Kartenummer und einer zugewiesenen, fortlaufenden Zahl, z.B. 6637-25. Insgesamt wurden 67 Rammkernsondierungen niedergebracht und 4 Schürfguben aufgenommen. Ein zunächst geplanter Baggerschurf im Auslaufbereich des großen Schwemmfächers konnte nicht durchgeführt werden.

Zwischen Leidersdorf und Ensdorf liefert die Catena Frauengarten einen Auenquerschnitt. Die Catena liegt im Anfangsbereich eines leichten Mäanders. Oberhalb erschließt ein Bohrnetz den so genannten großen Schwemmfächer, der in Zusammenhang mit großen



**Abb. 24:** Übersichtsskizze mit Lage der Teilgebiete und Bodenprofile (Datengrundlage: Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden, Bayerisches Landesvermessungsamt, München)

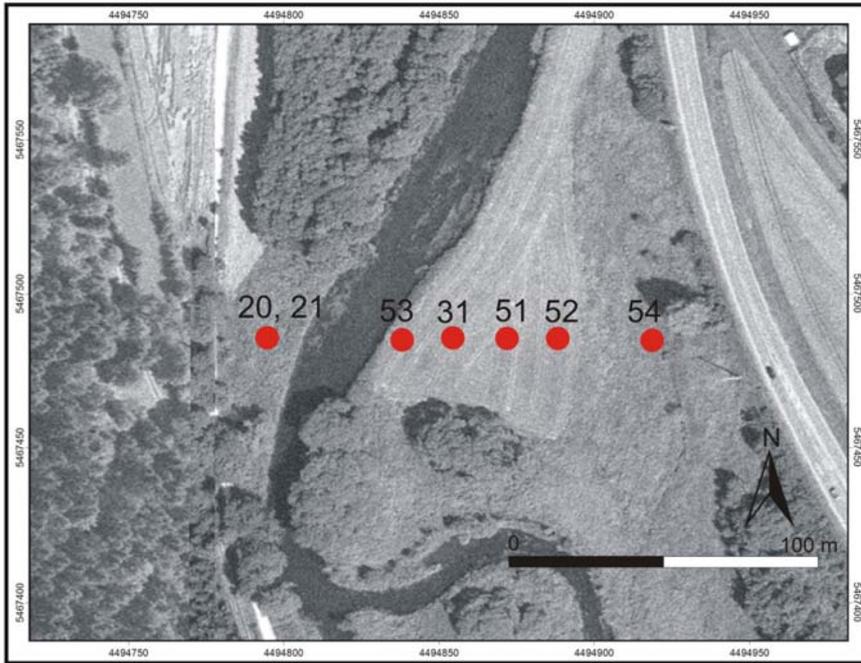
linearen Erosionsformen im Hang (Gräben, Hohlwege) steht. Hier sollen insbesondere die Verschneidungen von alluvialer und kolluvialer Sedimentation untersucht werden. Kleine Catenen und Einzelprofile unterhalb Leidersdorf sind in dem Teilgebiet Aue Leidersdorf zusammengefasst. Durch die Nähe zum ehemaligen Hammerwerk ist hier eine stärkere anthropogene Beeinflussung zu vermuten. Als Vergleichsstandort wurde ein kleines Erosionssystem mit Schwemmfächer oberhalb Leidersdorf ausgewählt. Dieses geht ebenfalls auf Hohlwege zurück. Das Teilgebiet Catena kleiner Schwemmfächer erfasst sowohl den Hangbereich, den oberen und unteren Teil des Schwemmfächers (durch die ehemalige Bahnlinie geteilt) und die anschließende Aue auf der gegenüberliegenden Vilsseite. Die Catena Wolfsbach, Niederfeld umfasst den Bereich von Unterhang, Übergang zur Aue und die Aue auf beiden Seiten der Vils mit insgesamt 15 Profilen. Unter der Bezeichnung Aue Wolfsbach sind wiederum kleine Catenen und Einzelprofile unterhalb des

ehemaligen Hammerwerks von Wolfsbach zusammengefasst. Auch hier soll der direkte Einfluss der Verhüttung erfasst werden. Außerdem wurden von Flusssedimenten Proben genommen. Sie sind insbesondere für die Einschätzung der aktuellen Schwermetallbelastung der Vils von Bedeutung.

Die Profile wurden detailliert feldbodenkundlich aufgenommen und kleinräumig beprobt. Der Aufbau der Profile wird in den folgenden Unterkapiteln in den Grundzügen wiedergegeben. Die Zentimeterangaben beziehen sich auf die Tiefe unter Geländeoberkante (GOK). Hinter der Profilnummer wird der Bodentyp angegeben. Die Details im Aufbau (Bodentyp, Schichtung, Horizont- und Probenbezeichnungen, Beschreibung) sind den Profilbeschreibungen im Anhang (Tab. A 5) zu entnehmen. Diese Vorgehensweise soll die wichtigsten Merkmale sowie den Grundaufbau der Sedimente hervorheben. Der feingliedrige Aufbau ist jedoch von ebenso großer Bedeutung. Daher werden ausgewählte Profile, die typische Standorte des Untersuchungsgebietes vertreten und die dazugehörigen Labordaten detaillierter dargestellt und erläutert. Einzelne Messwerte können fehlen, wenn nicht genügend Feinboden von einer Probe zur Verfügung stand. Bei bestimmten Profilen wurden nur ausgewählte Parameter bestimmt. Alle Labordaten befinden sich zusätzlich zu den Abbildungen in tabellarischer Form im Anhang (Tab. A 6). Bei den Rammkernsondierungen und Schürfgruben wird in der Regel der Sedimentkörper bis zum anstehenden Gestein erfasst. Aus technischen Gründen, vor allem durch grobes Material, konnte der Cv jedoch nicht immer erreicht werden. Die Begriffe Bohrung und Sondage werden gleichwertig für Rammkernsondierung verwendet. Zu jedem Teilgebiet liegt eine Detailkarte mit Angabe der Profilnummern vor.

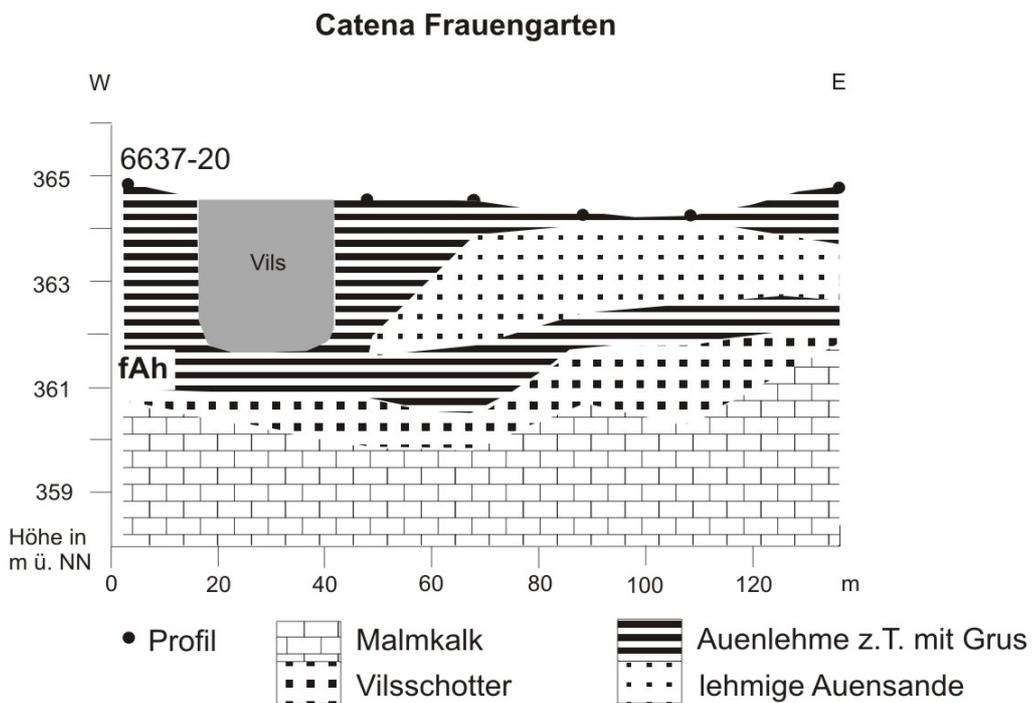
#### 6.2.1 Catena Frauengarten

Die Flur Frauengarten ist Teil der ehemaligen Klostergründe Ensdorf. Sie ist von der Flur Bergäcker durch die Vils abgetrennt, welche ihren Lauf von der östlichen Talseite zur westlichen Begrenzung des Tales verlagert. Die Catena liegt im Anfangsbereich eines schwach ausgeprägten Mäanders. Östlich der Vils wurden zwei Profile, westlich der Vils fünf Profile abgeteuft. Ein Abwasserkanal durchkreuzt die Catena. Die Aue ist heute auf der östlichen Seite durch eine Straße am Rand des Tales begrenzt. Bei dem Januar Hochwasser 2003 war dieser Bereich überflutet, so dass von regelmäßigen Überschwemmungen dieses Bereiches auszugehen ist. Die östlich der Vils bestehende Feuchtwiese wird etwa zwei bis dreimal pro Vegetationsperiode gemäht. Die benachbarte Vilsschleife wurde im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen vor einigen Jahren geschaffen (vgl. Kap. 6.1). Die Lage der Catena ist in Abb. 25 ersichtlich.



**Abb. 25:** Detailkarte des Teilgebietes Catena Frauengarten mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

Die Abbildung 26 zeigt den schematischen Aufbau der Catena Frauengarten. Von West nach Ost liegen die Profile 6637-20, -53, -31, -51, -52 und -54 vor. Zwischen Profil 52 und 54 verläuft ein Abwasserkanal. Verbreitet sind Auenlehme und z.T. Auensande über Vilsschotter. Darunter folgt der Malmkalk.



**Abb. 26:** Catena Frauengarten (vereinfacht und überhöht)

Die Catena beginnt westlich der Vils mit dem Profil **6637-20** (Auengley). Das Profil ist bis 209 cm tonig-schluffig ausgeprägt. Ab 209 bis 300 cm wird es stark skeletthaltig. Es folgt eine lehmige Schicht, bis bei 358 cm eine stark humose Schicht einsetzt. Sie liegt über sandig-kiesigem Material, dem sog. Vilsschotter. Bei 448 cm setzt der Cv mit angewittertem Kalkschutt ein (s. Abb. 27, Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 28).



**Abb. 27:** Profil 6637-20 (eigene Aufnahme)

Der Ah (Probe 1) enthält relativ viel Sand (22,6 %), was vor allem auf Kosten des Tonanteils geht (Bodenart: Lu). Der Skelettanteil von 1,9 % geht auf Kalkbruchstücke zurück. Der Ah ist stark humos und damit humoser als die Ap-Horizonte des großen Schwemmfächers. Der hohe Sandanteil deckt sich mit Beobachtungen beim Hochwasser Anfang 2003. Dort wurden beispielsweise unterhalb Leidersdorf verstärkte Feinsandablagerungen festgestellt. Unterhalb Wolfsbach kann ebenfalls die rezente fluviale Ablagerung von Sanden beobachtet werden. In der Schicht II dominiert Schluff bei hohen Tongehalten (Bodenart: Tu4). Die Proben enthalten etwas mehr Mittelschluff als Grobschluff bei geringen Feinschluffanteilen. In der folgenden Schicht III (209 - 300 cm) sinkt der Schluffanteil leicht. Im Gegenzug steigt der Tongehalt etwas an. Kennzeichnend sind die hohen Skelettgehalte von 17,9 bis 57,5 % (Ausnahme: Probe 15), die nicht mit erhöhten Sandgehalten einhergehen. Die Proben 13 und 14 sind außerdem für so hohe Skelettgehalte ungewöhnlich humos (TOC-Werte: 1,7 bzw. 0,9). Die Schluff- und Tongehalte zeigen bis 358 cm keine extremen Schwankungen. Im Vergleich mit anderen Auenprofilen ist der Sandanteil bei 6637-20 gering. In Schicht VI (300 - 358 cm) steigt der Feinsandanteil und die Bodenart wechselt zu Lehm (Lu, Lt2). Zwischen 358 und 394 cm (Proben 21 - 23) liegt eine sehr stark humose Schicht. Da der Gehalt an organischer Substanz unter 15 % liegt, erfolgt die Einordnung als fAh. Die Merkmalsausprägung der organischen Reste zeigt jedoch anmoorige Komponenten. Dieser fAh über Schotter findet sich in mehreren Auenprofilen. Er ist vergleichbar mit entsprechenden Vorkommen in anderen Regionen (vgl. Kap. 2.1 und Kap. 6.2.2.6). Probe 24

stellt einen Übergangsbereich dar. Probe 25, Schicht VII, 398 - 429 cm ist ein klassischer aIC-Horizont mit sehr hohen Sandgehalten (92,5 %) und hohem Skelettanteil (54,8 %). Es dominiert der Mittelsand. Die anschließenden ICv- und Cv-Horizonte weisen noch höhere Skelettanteile und hohe CaCO<sub>3</sub>-Gehalte auf (41,7 bzw. 69,4 %). Alle Proben enthalten organischen Kohlenstoff (im Cv liegt vermutlich eine Querverbeeinflussung aufgrund des hohen Kalkgehaltes vor). Bereiche mit höheren Gehalten an TOC sind 15 - 68 cm, 185 - 246 cm und 358 - 398 cm. Neben Makroresten sind Holzkohle und diffus verteilte organische Substanz die Ursache. Die pH-Werte liegen zwischen 5,10 (Probe 3) und 7,18 (Probe 25, aIC).

Die Konzentrationen von Blei, Zink und Kobalt haben ein rezent entstandenes Maximum in Probe 1 (15 - 35 cm) (vgl. Kap. 7.3). Kupfer hat sein Maximum in Probe 2. Die höchsten Eisengehalte des Profils finden sich in den Proben 1 und 2. In Probe 1 ist ebenfalls die Mangankonzentration am Höchsten. Diese Werte sind typisch für die Horizontausprägung (aGo-aAh bzw. aGhr-aGro). Mangan hat weitere, einzelne hohe Werte in den Proben 6, 7 und 11, die alle in einem aGr-Horizont liegen. Die hohen Konzentrationen können Folge ehemaliger oxidativer Prozesse sein. In Probe 6 ist ebenfalls der Eisengehalt höher als in den Proben ober- und unterhalb. Außerdem steigt die Mangankonzentration zum Ende des Profils (ICv und Cv) wieder an. Dies ist häufig in den kalkreichen Horizonten zu beobachten. Der verhältnismäßig hohe Eisengehalt in Probe 17 (283 - 300 cm) geht einher mit Oxidationsflecken im Feldbefund. Ab einer Tiefe von 300 cm fallen die Eisengehalte deutlich ab. Das Verhalten lässt sich nicht mit den Skelett-, Sand- oder TOC-Gehalten begründen. Im ICv- bzw. Cv-Horizont sind die Schwermetallkonzentrationen etwas höher als im vorherigen aIC, aber mit Ausnahme von Mangan kann nicht von einem sekundären Anstieg wie in anderen Profilen gesprochen werden. Die Nickelgehalte verlaufen, bis auf wenige Ausnahmen, im ganzen Profil recht gleichförmig (um 30 ppm). Die Kupferkonzentration liegt zunächst um 25 ppm und sinkt ab 173 cm ab. Es könnte sich hierbei um eine Messungenauigkeit handeln, da in der Charge 20/2 bis 20/10 auch in der Referenzprobe ein höherer Kupfergehalt gemessen wurde. In der Charge 20/11 bis 20/19 entsprach der Gehalt der Referenzprobe hingegen den Erwartungen. Dieses zeigt, wie auch an anderen Werten erläutert, dass geringe Konzentrationsunterschiede vorsichtig zu bewerten sind. Das gilt ebenfalls für die Kobaltgehalte, die im ganzen Profil 6637-20 sehr gering sind. Durch die relativ homogenen Schluff- und Tongehalte im Profil kommt es nicht frühzeitig zu einem klaren Sprung in den Schwermetallgehalten. Der aIC (Probe 25, 398 - 429 cm) der in diesem Profil recht geringmächtig ist, zeigt eine Abnahme der Gehalte von Blei und Zink. Insgesamt sind die Schwermetallwerte in Profil 6637-20 recht niedrig. Markant sind die hohen Werte von Blei, Zink, Kupfer und Chrom im Bereich der fossilen, humosen Horizonte. In Probe 21 sind bei einem TOC-Gehalt von 7,0 alle genannten Schwermetalle hoch. In den ober- und

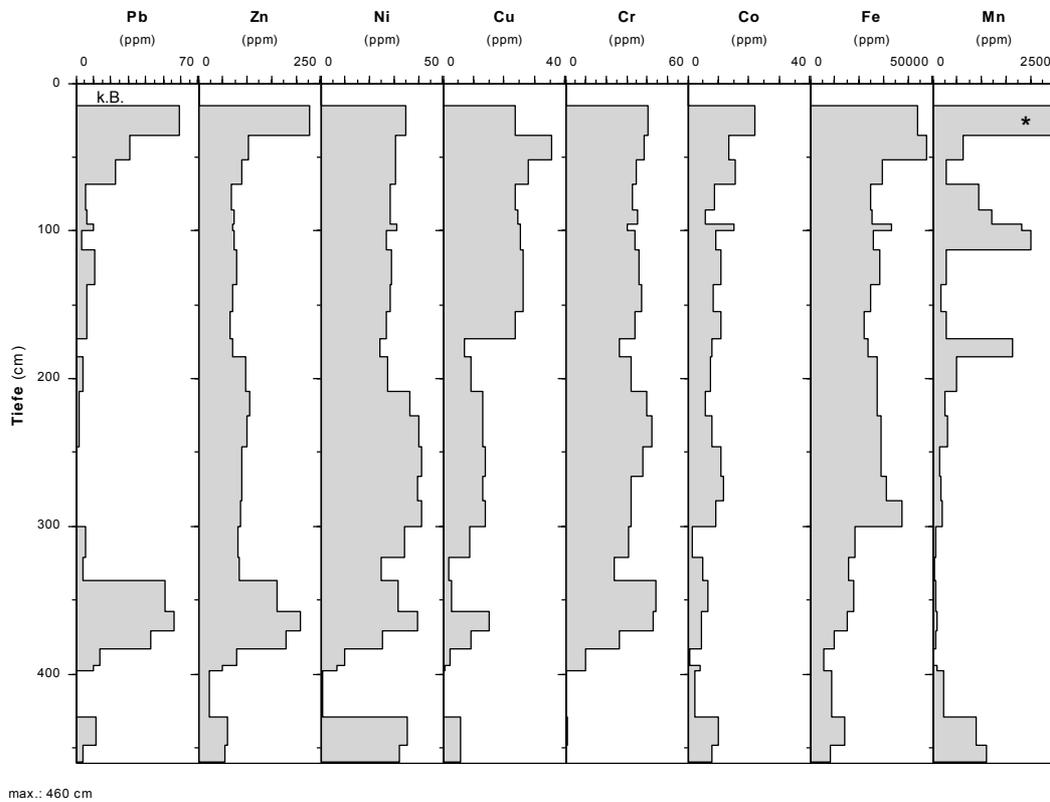
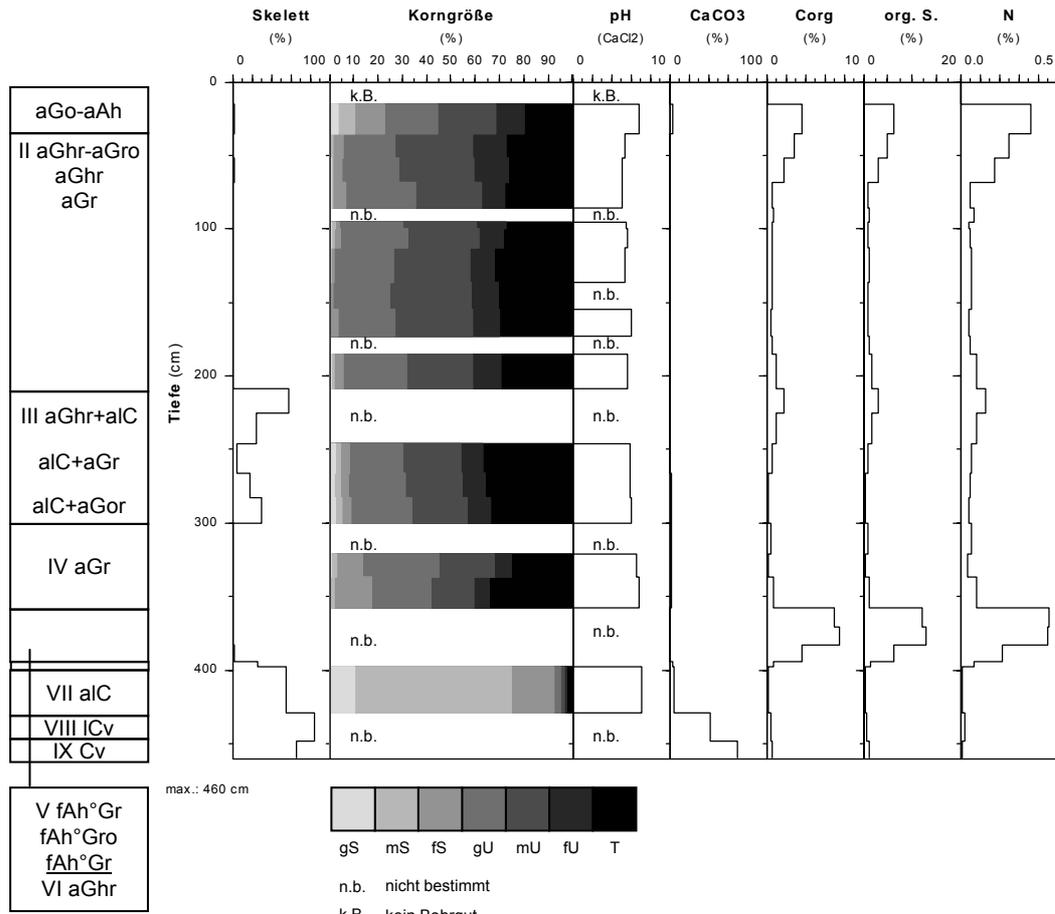


Abb. 28: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-20 (\* = Wert liegt bei 5611 ppm)

unterhalb angrenzenden Horizonten kommt es zu leichten Versetzungen zwischen Schwermetallgehalt und TOC-Wert.

Im Profil wurden vier  $^{14}\text{C}$ -Datierungen durchgeführt. Die Probe 20/18 aus 314 cm Tiefe datiert ins Frühe Mittelalter. Im fAh-Horizont (Schicht V, 358 - 394 cm) wurden drei Proben datiert, sie liegen zweimal in der Eisenzeit, einmal im Neolithikum (vgl. Kap. 7.2, Tab. 13).

Das Profil **6637-21** (Auengley) ist eine Parallelbohrung zu 6637-20. Sie erfolgte im Liner (Kunststoffrohr) um ggf. Proben zur Pollen- und Makrorestbestimmung zu entnehmen. Die ersten 1,5 m wurden daher verworfen. Es handelt sich um einen mächtigen Auehlm mit vielen Makroresten. Zwischen 257 und 300 cm steigt der Skelettgehalt, bestehend aus Grobgrus und Steinen. Darunter folgt wie oberhalb toniger Lehm mit Makroresten. Ein stark humoser Horizont befindet sich zwischen 385 und 397 cm. Es schließen sich Sande, Kies und Grus an. Bei 424 cm beginnt der ICv.

Auf der gegenüberliegenden, westlichen Vilsseite setzt sich die Catena mit den Profilen 6637-53, -31, -51, -52 und -54 fort.

Sehr nah an der Vils ergab Profil **6637-53** (Auengley) folgenden Aufbau: Nach sandigen und schluffigen Lehmen dominiert ab 85 cm toniger Schluff mit vielen Makroresten bis in eine Tiefe von 270 cm. Zwischen 270 und 313 cm, Schicht III, stehen Mittel- und Grobsande mit Makroresten an. Die anschließende Schicht besteht wieder aus tonigem Schluff. Die zwischen geschalteten Sande sind Folge einer geänderten Sedimentationsdynamik. Bei 380 cm beginnt der Schotter aus Sand, Grus und Kies. Das Anstehende beginnt erst bei 480 cm, was den tiefsten Punkt der Catena darstellt.

Profil **6637-31** (Auengley) ist zunächst von sandigem Lehm, dann bis in eine Tiefe von 280 cm von lehmigem Sand geprägt. Aus dem Feldbefund geht hervor, dass das Profil bis in eine Tiefe von 100 cm stark oxidativ beeinflusst ist. Es hat sich ein Auengley entwickelt. Eine organische Probe aus 265 - 280 cm wurde auf AD 1020 - 1224 datiert (vgl. Kap. 7.2, Tab. 13). Damit kann von etwa 260 cm Auehlmablagerung seit dem Spät-Mittelalter ausgegangen werden. Auf ein schmales Sandband (280 - 283 cm) folgt eine lehmige Schicht. In 429 cm Tiefe setzt Feinsand ein, der in Grobsand, Grus und ab 442 cm vermischt mit Kalkschutt übergeht. In unterschiedlichen Tiefen im Profil finden sich Makroreste und Holzkohle.

Bei den beiden nächsten Profilen der Catena beginnt der Cv deutlich früher. Es handelt sich vermutlich um eine alte Terrasse, die jedoch durch die holozänen Auenlehme in der heutigen Geländeoberfläche völlig nivelliert ist (vgl. Abb. 25). Profil **6637-51** (Auengley) beginnt mit einem gut entwickelten Ah aus schluffigem Lehm. Er reicht bis 32 cm und beruht auf

vormaliger ackerbaulicher Nutzung der Fläche. In den folgenden Go- und Gr-Horizonten wechseln sich sandige und schluffig-tonige Horizonte ab. Sie enthalten einzelne Makroreste. Zwischen 217 und 262 cm befindet sich eine sehr tonige, schokoladenbraune Schicht. Daran schließen sich verschiedene alC-Horizonte aus Grob- und Mittelsand, Grus und Kies an. Der schmutzig-braune Mittelsand mit teilweise weinroten, lehmig-tonigen Bereichen und Makroresten unterbricht die reinen alC-Horizonte bei 300 - 340 cm. Der Cv beginnt bei 382 cm Tiefe.

Das benachbarte Profil **6637-52** (Auengley) weicht in den absoluten Tiefen vom Profil 6637-51 ab, ist jedoch im Grundaufbau gut mit ihm vergleichbar. Im ersten Meter herrscht schluffiger Lehm vor. Zwischen 100 und 192 cm wechseln schluffig-tonige und stärker sandige Bereiche ab. Danach beginnt ein stark toniger Abschnitt, zunächst rotbraun mit Sand, dann schokoladenbraun mit Grus ausgeprägt. Von 243 bis 396 cm reichen Schichten mit Grobsand, Grus, Kies und Skelettbruchstücken. Daran schließt sich der Cv an.

Den äußersten Punkt der Catena bildet Profil **6637-54** (Auengley). Bis 100 cm ist das Profil schluffig-lehmig bzw. schluffig-tonig und wird dann deutlich sandiger (Ls2 bis Ls4). Ab 198 cm dominiert Sand. Wie in den vorherigen Profilen gibt es eine tonig-grusige Schicht (238 - 284 cm). Daran schließt sich Mittel- und Grobsand vermisch mit viel Ton, aber auch Steinen an. Der Cv beginnt hier in noch deutlich geringer Tiefe bei 300 cm. Hier wird ein zweites, ehemaliges terrassenartiges Niveau erreicht.

#### 6.2.2 Großer Schwemmfächer, Leidersdorf

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist der große Schwemmfächer südlich von Leidersdorf. Dieser steht in Zusammenhang mit einem großen Erosionssystem im Hangbereich des Hirschwaldes (RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005, vgl. auch Abb. A 2). Für die Anlage von Transportwegen wurden morphologisch günstige Stellen, wie in diesem Fall ein Trockental, in der Nähe der Hammerwerke gewählt. Diese Wege sind Leitlinien des oberflächlichen Abflusses und damit auch der linienhaften Erosion. Es bilden sich Hohlwege, Runsen und Gräben aus.

Der Schwemmfächer ist an seiner konvexen Wölbung zu erkennen (s. Abb. 29). Er wird durch den Damm der Eisenbahnlinie von Amberg nach Schmidmühlen - heute stillgelegt und als Radweg genutzt - durchschnitten. Der Damm gliedert den Schwemmfächer in einen oberen und einen unteren Teil. Die Verbindung vom Schwemmfächer zum Erosionssystem ist durch Forstwege gestört. Der Schwemmfächer steht unter intensiver ackerbaulicher Nutzung. Der reine Auenbereich kann nur ansatzweise erfasst werden, da auf der Schwemmfächerseite ein Abwasserkanal verläuft und auf der gegenüberliegenden Vilsseite

das Ufer nah an eine Straße grenzt. Die Vils verläuft dort dicht an der Talgrenze. Hinter der Straße steigt der Hang schnell stark an.



*Bild A*

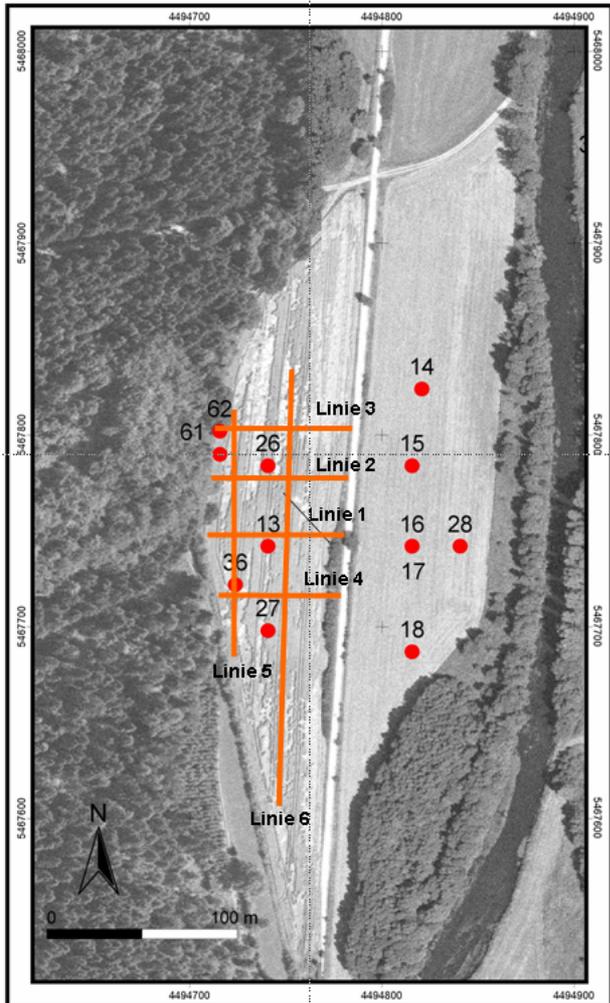


*Bild B*

**Abb. 29:** Oberer Teil des großen Schwemmfächers südlich von Leidersdorf (Bild A: Blick in Richtung Leidersdorf, Bild B: Blick von der Bahntrasse in Richtung Erosionssystem, eigene Aufnahmen)

Aufgenommen wurden eine Hauptcatena auf dem Scheitelpunkt des Schwemmfächers sowie ergänzende Bohrungen an den seitlichen Flanken (s. Abb. 30). Einzelbohrungen im oberen Teil des Schwemmfächers dienen vor allem der Eichung der geophysikalischen Prospektion (Bodenradar-Untersuchungen). Beim Hochwasser von 2003 war der Vils nahe Bereich mit zum Teil stehendem Wasser stark vernässt, aber nicht überflutet. Dies ist häufig im Vils nahen Bereich der Flur Bergäcker der Fall und führt zu Ertragseinbußen (mündl. Mitteilung GEHRING, Landwirt). Das Erosionssystem und die Hangbereiche werden von RAAB (RAAB 2005) ausführlich beschrieben. Es ist, wie auch das kleinere System, in der Topographischen Karte eingezeichnet, jedoch zeigt die von RAAB erstellte Karte, basierend auf tachymetrischer Vermessung, ein deutlich detaillierteres Bild (vgl. auch Kap. 6.1).

Der Schwemmfächer ist im oberen Teil sehr mächtig, so dass Sondagen auf der Scheitellinie nicht das Anstehende erreichen. Zudem liefern diese Punktdaten keinen flächenhaften Überblick. Geophysikalische Messungen ermöglichen hingegen einen guten Strukturüberblick des Untergrundes. Ziel war, mittels Bodenradar den Verlauf des anstehenden Malms sowie den Aufbau der Sedimentschichten aufzuzeigen. Dazu wurden vier Längslinien (Nr. 1 - 4) und zwei Querlinien (Nr. 5 und 6) gelegt (s. Abb. 30). Die Linie 1 verläuft auf dem Scheitel des Schwemmfächers, die Linien 2, 3 und 4 an den seitlich abfallenden Flanken. Die Linien wurden tachymetrisch vermessen, um die Messlinien der Topographie anzupassen und um ein reliefkorrigiertes Radargramm erstellen zu können.

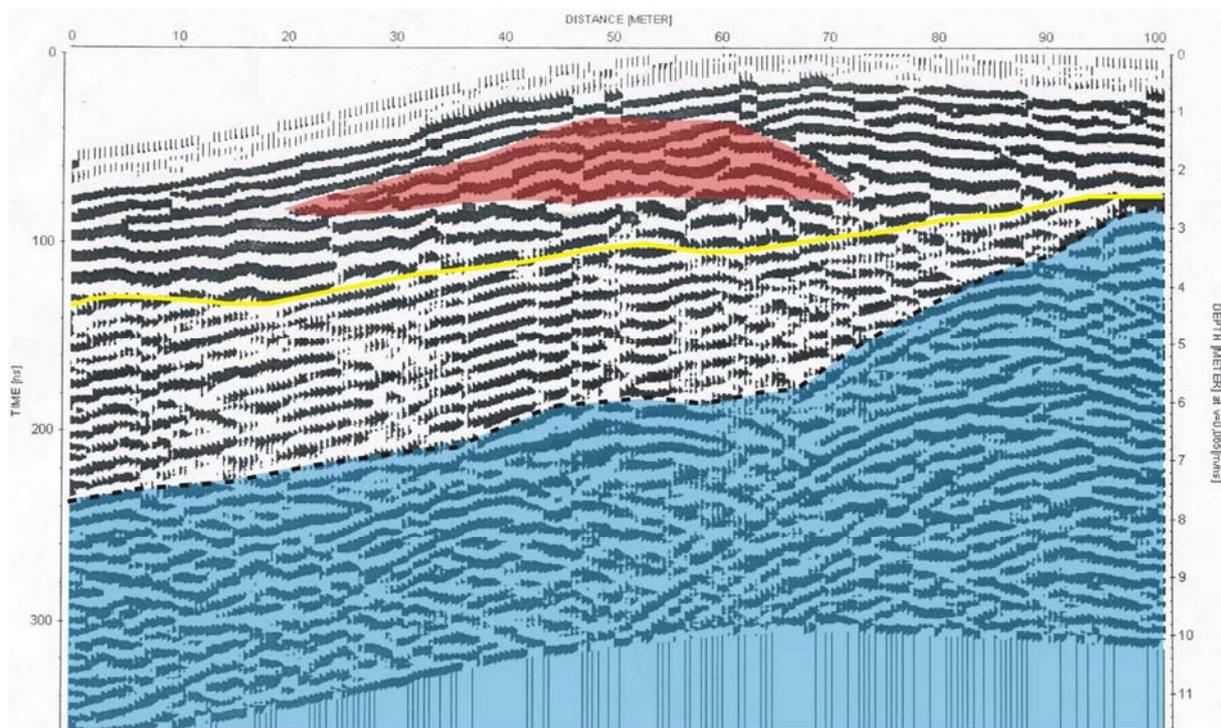


**Abb. 30:** Detailkarte des Teilgebietes großer Schwemmfächer mit Profilnummern und Lage der Radarlinien (6637-xx; Linien skizziert; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

Probemessungen im unteren Teil des Schwemmfächers brachten keine verwertbaren Ergebnisse, da der Wassergehalt einen maßgeblichen Einfluss auf die Kontraste der elektromagnetischen Eigenschaften hat. Der hohe Grundwasserstand führt daher zu einer Dämpfung des Signals und stört die Messungen im flussnahen Bereich zu stark. Detailliert ausgewertet wurden die Linien 1 und 5.

Die Messung erfolgt mit einem RAMAC CU II GPR-System bei Verwendung von 100 MHz Antennen. Die Messintervalle betragen 0,5 m. Das Zeitfenster beträgt 350 ns. Mit der Software Reflexw 3.0 wurden verschiedene Filteroperationen an den Radargrammen durchgeführt: *subtract DC shift*, *background removal*, *subtract mean (dewow)*, *stacking rate 32* sowie eine Topographie-Korrektur (weitere Informationen zu Software und Auswertung s. SANDMEIER 2002 und LEOPOLD 2003). Die Darstellung im Radargramm ist stark überhöht. Die Auswertung der Zeit-/Tiefenfunktion bedarf gewisser Vorsicht, da verschiedene Materialien/Substrate unterschiedliche Laufzeiten aufweisen.

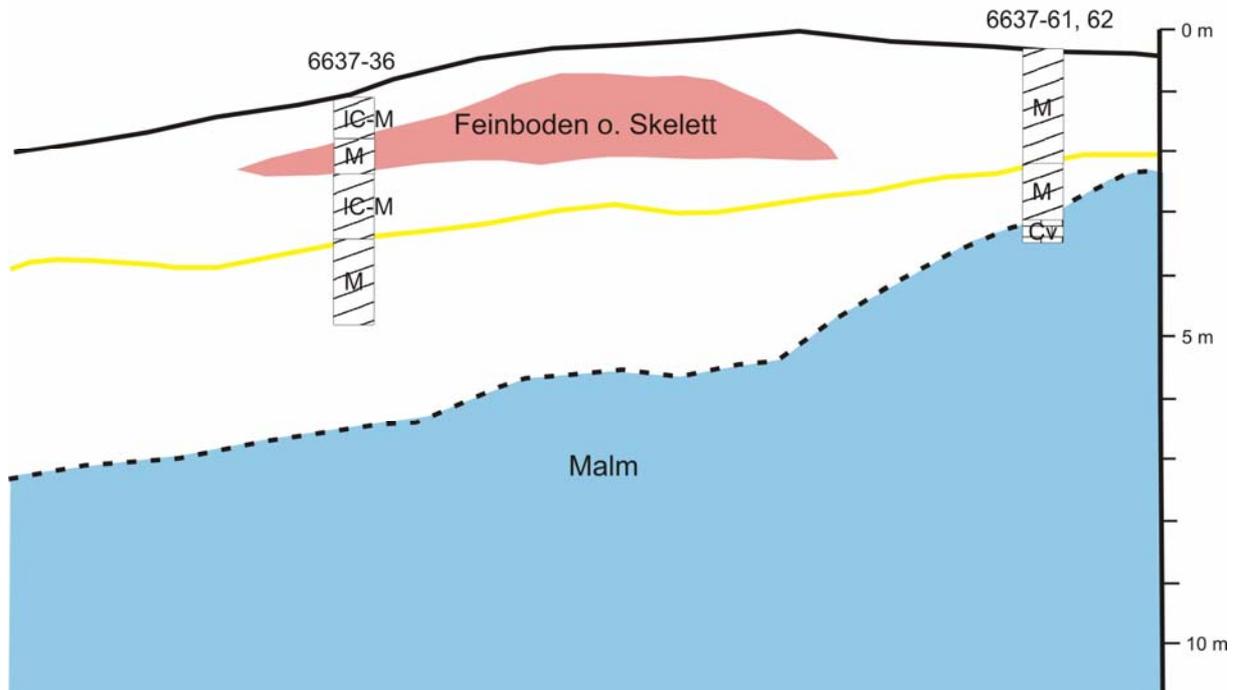
## Schwemmfächer Leidersdorf - Radarlinie 5 -



**Abb. 31:** Schwemmfächer Leidersdorf - Radargramm der Linie 5 (auffällige Radarfazieswechsel farbige markiert, Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)

Im Schwemmfächer stehen unterschiedliche Schichten an, von rein tonig-schluffigen bis stark skeletthaltigen Bereichen. Bei der ersten Auswertung betrug die verwendete Laufzeit 0,095 m/ns. Mittels einer Eichbohrung konnte die Tiefendarstellung im Radargramm optimiert werden. Die optimierte Laufzeit beträgt 0,065 m/ns. Die Auswertung der Linie 5 ergab einen Radarfazieswechsel beim 30 m Punkt in etwa 2 m Tiefe (s. Abb. 31). Eine Eichbohrung (6637-36) an diesem Punkt zeigt einen entsprechenden Schichtwechsel. Das Substrat wechselt bei 189 cm von lehmigem Sand bzw. sandigem Lehm mit viel Grobskelett zu tonigem Schluff (s. Abb. 32). Wechsel von skelettreichen und skelettarmen Schichten sind typisch für die oberen Bereiche der Schwemmfächer (vgl. Profile 6637-13, -26, -27, -41 und -42). Anhand des Radargramms lässt sich eine linsenförmige Radarfazies ausgrenzen (s. Abb. 31 und 32, rosa markiert). Im Profil 36 reicht die Schicht III M von 189 - 265 cm, sie besteht aus tonigem Schluff. Auch im Profil 13, nicht auf der Linie 5 gelegen, findet sich diese Schicht wieder. Sie reicht von 167 - 252 cm (III M) und ist damit mächtiger (Bodenart: Tu4). Das Radarbild zeigt ebenfalls, dass die Linse zum Scheitelpunkt hin am mächtigsten ist. Die Schichten ober- und unterhalb des Profils 13 sind deutlich skelettreicher. Beim Profil 26 hingegen ist nur die untere Grenze, hier II M zu III IC-M (bei 242 cm) mit dem Anstieg des Grobskeletts eindeutig vorhanden. Das Profil 27 zeigt die Ausprägung nicht in dieser Form. Damit lässt sich ein Schüttungsereignis abgrenzen. Die Bohrungen zeigen damit deutlich,

## Schwemmfächer Leidersdorf - Radarlinie 5 -



**Abb. 32:** Schwemmfächer Leidersdorf - Umzeichnung des Radargramms der Linie 5 (Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)

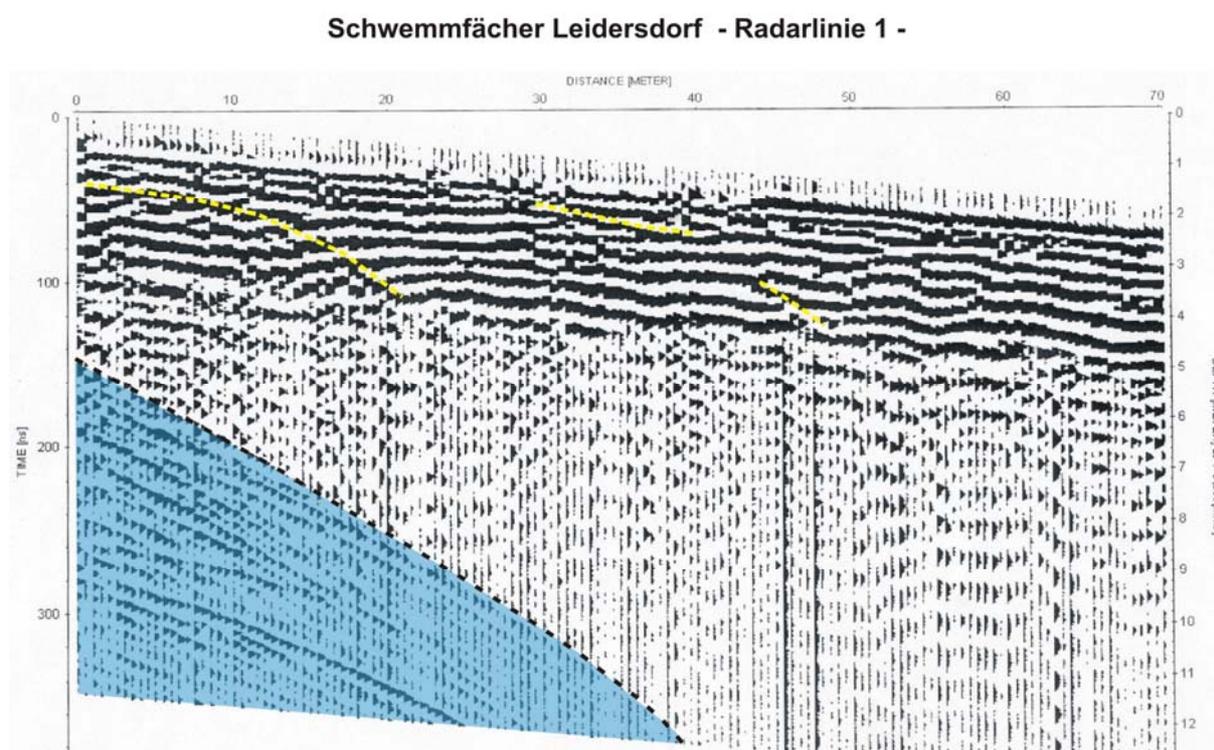
dass die Linse aus Feinmaterial aufgebaut ist. Die Sedimente ober- und unterhalb enthalten deutlich mehr Grobskelett. Ein weiterer Radarfazieswechsel ist mit der gelben Linie markiert. Weitere, kleine Auffälligkeiten im Radargramm lassen sich nicht auswerten. Feine Änderungen im Sediment, d.h. Wechsel von mehr sandigem zu mehr tonigem Feinboden innerhalb kurzer Abstände, sind in diesem Fall mit dem Bodenradar nicht erkundbar, da Reflexionen an der Grenze zweier Medien nur bei ausreichend großem Unterschied der Dielektrizitätszahl auftreten.

Das Radarbild zeigt einen Wechsel der Radarfazies bei etwa 6 - 8 m Tiefe im Zentralbereich und links vom Scheitel, abfallend von rechts nach links (s. Abb. 31 und 32, blau markiert). Vermutlich handelt es sich um die Grenze zum anstehenden Malmkalk. Im Zentralbereich des Schwemmfächers ist diese Grenze durch Rammkernsondierungen nicht zu erreichen. Bohrung 6637-13, die südlich der Radarlinie liegt, erreicht bei 685 cm Tiefe nicht den anstehenden Malmkalk. Im Radarbild steigt der Fazieswechsel von links nach rechts an. Am rechten Rand liegt der Fazieswechsel bei etwa 300 cm. Daher sind dort Sondagen zur Überprüfung der Gegebenheiten möglich. Eichbohrungen (6637-61, -62) etwa in Höhe des 90 m Punktes der Linie 5, am oberen Rand des Schwemmfächers, gingen bis in eine Tiefe von 305 cm. Bei 300 cm beginnt weißer Kalkschutt. Damit bestätigt sich die Annahme, dass

der Radarfazieswechsel den Verlauf des anstehenden Malms nachzeichnet. Das im Radargramm sichtbare Paläorelief (vgl. Malmverlauf in Abb. 32) prägte den holozänen Schwemmfächer. Der Schwemmfächer ist daher zur linken Seite stärker ausgebildet.

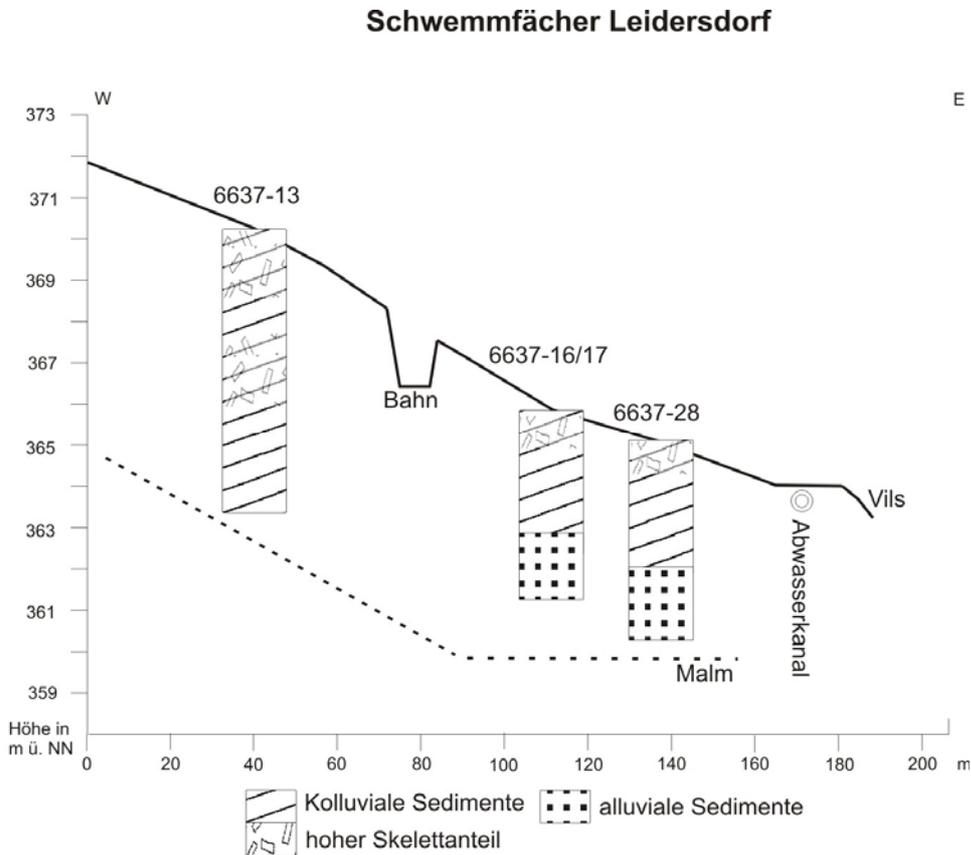
Flächige Reflektoren werden entsprechend ihrer Lage wiedergegeben, während punktförmige in der Regel als Hyperbeln in Erscheinung treten. Der Verlauf des Anstehenden (Abb. 31) ist nicht gleichmäßig, sondern verläuft „bogenförmig“ (Hyperbeln). Laut Prof. Dr. M. C. ROBERTS (Simon Fraser University, Dep. of Earth Science, Burnaby, Canada, mündl. Mitteilung) könnte es sich dabei um Einbrüche oder Klüfte im Kalkstein handeln („Minidolinen“). Dieser bogenförmige Verlauf könnte aber auch Hinweise auf Aufschüttungen geben. Möglich ist auch, dass die Hyperbel-Linien durch Kalksteinblöcke hervorgerufen werden. Bodenradaruntersuchungen in einer neolithischen Feuersteinmine in Arnhofen zeigen den anstehenden Kalkstein in vergleichbarer Weise. Die konvexe, hyperbolische Form ist dort nicht das Ergebnis von Reflektionen punktförmiger Objekte (LEOPOLD & VÖLKELE 2004).

Das Längsprofil (Linie 1) kreuzt die Linie 5. Dort ist ein Abtauchen des Kalksteins (blau markiert) zu erkennen (s. Abb. 33). Da dieses nicht näher spezifiziert werden kann, wurde der Malmverlauf gestrichelt (schwarz) dargestellt. Kleinere Abbrüche im Radargramm (gestrichelte gelbe Linien) stellen vermutlich verschiedene Schüttungskomplexe dar.



**Abb. 33:** Schwemmfächer Leidersdorf - Radargramm der Linie 1 (Radargerät: RAMAC CU II GPR-System, 100 MHz Antennen, Messintervalle 0,5 m, stacking 32, near surface velocity 0,065 m/ns)

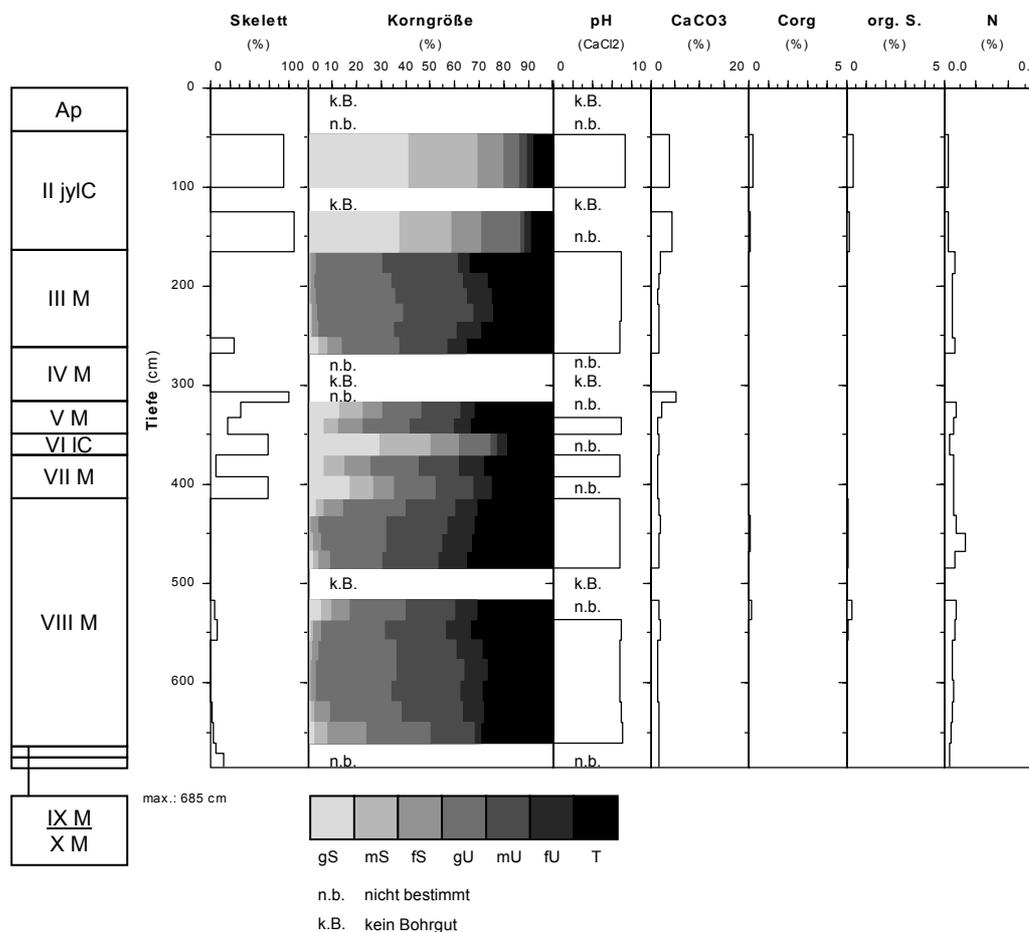
Die Abbildung 34 zeigt den schematischen, vereinfachten Aufbau des Schwemmfächers, der sich aus den Profilaufnahmen und der geophysikalischen Prospektion ergibt entlang einer Catena vom Hang in Richtung Vils. Wichtigstes Merkmal sind die mächtigen kolluvialen Ablagerungen im oberen Teil und die kolluviale Überschüttung alluvialer Sedimente im unteren Teil.



**Abb. 34:** Schwemmfächer Leidersdorf (Scheitellinie, skizziert und vereinfacht, überhöht)

Das Profil **6637-13** (Kolluvisol) liegt oberhalb der ehemaligen Bahnlinie auf der Scheitellinie des großen Schwemmfächers (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 35). Der Ap ist mit schluffig-tonigem Feinboden und hohem Skelettanteil typisch für die Schwemmfächer. Darunter folgt von 48 - 166 cm eine sehr auffällige Schicht mit hohen Sandanteilen (> 70 %), wobei Grobsand vor Mittelsand dominiert. Der Tongehalt ist sehr gering, der Skelettgehalt sehr hoch. Neben sandigem Grus finden sich auch Ziegel- und Kalkbruchstücke (jIC). Die Schicht ist kalkhaltig (um 4 %  $\text{CaCO}_3$ ). Es folgt ein kolluvialer, tonig-schluffiger Bereich (167 - 252 cm), dessen Grob- zu Mittelschluff Verhältnis recht ausgeglichen ist. Der Feinschluffanteil ist deutlich geringer. Ab 252 bis 414 cm folgen lehmig-tonige Schichten, die unterschiedlich, zumeist aufeinander wechselnd, hohe Skelettgehalte aufweisen. Probe 10 (307 - 317 cm) hat mit 80,5 % den höchsten Skelettgehalt in diesem Bereich sowie einen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt von 5,3 %. Probe 13, Schicht VI (350 - 370 cm) fällt durch höhere Sandanteile

(> 60 %) auf, dominiert von Grob- bzw. Mittelsand. Im Anschluss sinken die Skelettanteile wieder stark ab. Es handelt sich vermutlich um unterschiedliche Schüttungsereignisse. Der Feinboden der Schicht VIII, 414 - 661 cm ist von hohen Schluffanteilen, v.a. Grob- und Mittelschluff sowie um die 30 % Ton geprägt. Probe 20 hat einen etwas höheren Sandanteil (16,9 %) und einen TOC-Gehalt von 0,2 %. Probe 26 stellt durch den Anstieg des Feinsandes einen Übergang zu den darunter folgenden, mehr sandigen Schichten IX und X, bestehend aus Feinboden (Lts) mit Kalkbruchstücken, dar. Schicht X, Probe 28, schien im Feldbefund humos, die Laboranalysen konnten das jedoch nicht bestätigen. Die dunkle Farbe könnte eventuell durch Mangan hervorgerufen werden. Auffällig im Profil sind dunkel und rot gefärbte Steine unterschiedlicher Größe. In vielen Proben ist mehr als 60 % Gesamtschluff vorhanden, was außergewöhnlich hoch ist. Das Anstehende wurde nicht erreicht (Bohrung bis 685 cm). Die Bodenradarauswertung zeigt das Abtauchen des Malmkalkes an diesem Standort in etwa 7 - 8 m.

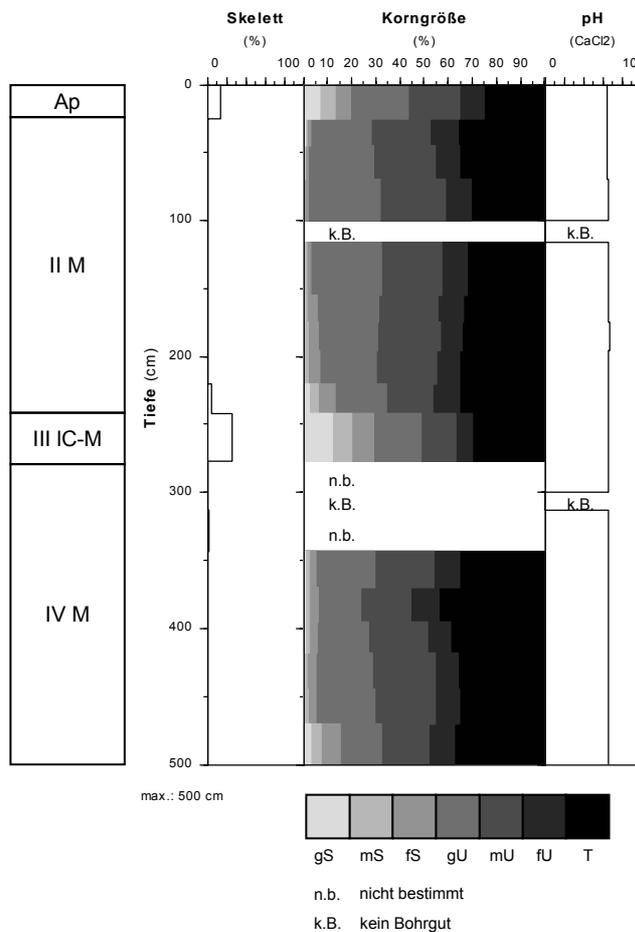


**Abb. 35:** Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-13

Insgesamt sind die TOC-Gehalte im ganzen Profil gering. Nur der Ap ist stärker humos (basierend auf Feldbefund). Leicht erhöhte TOC-Werte sind in den Proben 17, 18 und 20

durch organische Reste, wie im Feldbefund beschrieben, bedingt. Der pH-Wert liegt zumeist um 6,9. An allen Proben wurde der CaCO<sub>3</sub>-Gehalt mittels Scheibler-Analyse ermittelt. Die Proben, die im Vortest gar nicht oder minimal reagiert haben, weisen CaCO<sub>3</sub>-Konzentrationen von 1,7 - 1,9 % auf. Vermutlich gelangen durch das Mörsern kleine Kalkstückchen, die von größeren Skelettanteilen absplittern, in den Feinboden. Dieses lässt sich auch durch Aussortierung des Grobskeletts von Hand nicht vermeiden (vgl. Kap. 3.2). Auch durch natürliche Lösungs- und Ausfällungsprozesse gelangen Kalkspuren in den Feinboden. Proben, die eine stärkere Reaktion im Vortest gezeigt haben, weisen denn auch deutlich messbare Kalkanteile auf (Proben 1, 2 und 10).

Profil **6637-26** (Kolluvisol) liegt seitlich der Bohrung 6637-13. Der Ap enthält wie in allen Schwemmfächerprofilen verschiedene Bruchstücke (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 36). Das Profil ist bis auf eine skelettreiche, lehmige Zwischenlage bei 242 - 277 cm recht homogen und aus schluffig-tonigem Feinboden (Tu3) aufgebaut. Im Vergleich zu 6637-13 ist es gleichmäßiger und hat deutlich weniger Bereiche mit viel Skelett. Es gibt keinen j1C unter dem Ap. Der stark vereinfachte Schichtaufbau fein - grob - fein von Profil 6637-26 ist



**Abb. 36:** Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-26

auch bei Profil 6637-13 vorhanden. Allerdings ist der skelettreiche Abschnitt bei 6637-13 mächtiger und der feine Bereich darunter ist bei den beiden Profilen unterschiedlich gefärbt. Die unterschiedlichen Mächtigkeiten sind vermutlich schüttungsbedingt. Im Scheitelbereich sind die Mächtigkeiten erwartungsgemäß höher.

Die Skelettanteile im Ap von 13,9 % sowie einem Sandanteil von 19,5 % gehen auf Kosten des Tonanteils. Neben Kalkbruchstücken finden sich auch Ziegelreste. Die Proben 2 - 10 entsprechen alle dem schluffigen Ton (Tu3 - Tu4). Auffällig ist der hohe Schluffanteil mit ca. 60 %, wobei es zumeist nur geringe Unterschiede in den Anteilen von Grob- und Mittelschluff gibt, während der Feinschluff mit um 10 % deutlich weniger Anteil hat. Der Tonanteil liegt bei ca. 35 %, der Sandanteil ist sehr gering. Probe 11 (Schicht III, 242 - 277 cm) teilt den schluffig-tonigen Bereich. Der Skelettanteil liegt bei 25,5 % und der Feinboden ist lehmig bei 29,1 % Sand, 40,8 % Schluff und 30,1 % Ton. Proben 12 - 18 sind wieder schluffig-tonig. Der Sandanteil steigt erst wieder bei Probe 19. Der pH-Wert verläuft sehr homogen, er liegt um 6,6 und ist nur im Oberboden leicht erniedrigt. Im Profil sind häufig rostrotbraune Flecken oder Konkretionen vorhanden.

Auf der gegenüberliegenden Seite liegt Profil **6637-27** (Kolluvisol). Das Profil beginnt mit einem schluffig-lehmigen, skeletthaltigen Ap über einer sandig-grusigen Schicht (II) mit vielen Bruchstücken. Diese ist eindeutig vergleichbar mit der Schicht II in Profil 13, jedoch ist sie hier nicht so mächtig. Weiterhin ist sie dunkler gefärbt, wie auch die angrenzende Schicht. Die schmutzig braune Farbe könnte ein Indiz für organische Beimengungen sein. Die folgenden M-Horizonte (87 - 426 cm) sind tonig-lehmig und vergleichbar mit 6637-26. Zwischengeschaltete Lagen mit sehr hohen Skelettanteilen fehlen ganz im Profil, vereinzelt treten Kalkbruchstücke auf. Die Schicht V, 350 - 385 cm ist weniger tonig und enthält etwas mehr Kalkbruchstücke. Ab 426 cm steht sandiger Lehm an.

Vergleicht man die Profile der Querlinie, so ist Profil 6637-26 ab 470 cm ebenfalls etwas sandiger. Profil 6637-13 wird ab 661 cm sandiger. Die Tiefenangaben sind nicht direkt vergleichbar, aber es ist von der gleichen Schüttungsphase auszugehen. Durch unterschiedliches Abfließen, mal mehr zur einen, mal mehr zur anderen Seite, können variable Profilaufbauten entstehen. Außerdem prägt das Paläorelief den Aufbau.

Zur Eichung der geophysikalischen Prospektion wurde Profil **6637-36** (Kolluvisol) am so genannten 30 m Punkt der 5. Radarlinie angelegt. Der Oberboden ist lehmig und stark skeletthaltig. Auch die zweite Schicht enthält viel Grobskelett und ist lehmig-sandig. Bei 189 cm erfolgt ein starker Wechsel zu tonigem Schluff, der kaum Kalkbruchstücke aufweist. Zwischen 265 und 300 cm liegt sehr viel Schutt vor. Dergleichen markante Wechsel im Substrat lassen sich mittels Bodenradar erfassen. Feine Wechsellagerungen, wie sie

zwischen 372 und 500 cm vorliegen (toniger Schluff zu sandigem Lehm vergesellschaftet viel Skelett), können nicht dargestellt werden. Der Vergleich mit den benachbarten Profilen zeigt eine größere Übereinstimmung mit Profil 6637-13.

Ebenfalls zur Überprüfung der Ergebnisse der Bodenradardaten dienen die Profile 6637-61 und -62. Sie liegen etwa am 90 m Punkt der 5. Radarlinie. Der Abstand zum Weg beträgt ca. 10 m. Profil **6637-61** (Kolluvisol) ist bis in eine Tiefe von 93 cm schluffig-lehmig und enthält zahlreiche Kalkbruchstücke. Deren Anzahl nimmt ab 49 cm zu. Zwischen 93 und 247 cm steht toniger Lehm an. Daran schließen sich lehmige Sande an. Sie sind rotbraun, teilweise himbeerrot. Dies ist ein eindeutiger Beleg für die kolluviale Herkunft solcher Sande vom oberhalb gelegenen Hangbereich. Sie stehen teilweise auch im Erosionssystem an. Ab 274 cm folgt wieder toniger Lehm, der bei 300 cm abrupt in weißen Kalkschutt übergeht. Das bestätigt den Verlauf des Anstehenden im Radargramm. Um den Befund abzusichern, erfolgte in der Nähe eine weitere Sondage.

Profil **6637-62** (Kolluvisol) ist ähnlich aufgebaut wie 6637-61. Auf schluffigen und tonigen Lehm mit unterschiedlich starken Anteilen an Kalksteinbruchstücken folgen ab 237 cm rotbraune, lehmige Sande. An den Sand schließt sich bei 300 cm direkt der Cv aus weißem Kalkstein an und bestätigt damit den Befund von 6637-61. Eine lehmige Zwischenlage fehlt hier. Während sich der anstehende Kalkstein in der Aue unter Wassereinfluss meist beige, ocker oder grau zeigt, ist er hier weiß ausgeprägt.

Auf dem Scheitel des Schwemmfächers, zwischen Bahnlinie und Vils und als Catenaverlängerung zu Profil 6637-13 liegen die Profile **6637-16** und **6637-17** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten). Da die Rammkernsondierung 6637-16 nur bis in eine Tiefe von 270 cm möglich war, erfolgte eine zweite Sondage in unmittelbarer Nähe, Profil 6637-17. Hier wurde auf die Aufnahme der ersten 100 cm verzichtet und die Aufnahme von Profil 6637-16 herangezogen (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 6 im Anhang). Von Beginn an ist das Profil stark skeletthaltig und enthält auffällig viele Steine. Der IC-Ap (20 - 46 cm) ist dabei lehmig und humos. Die Schicht II, M-IC ist sandig (77,2 %), wobei Grobsand vor Mittelsand dominiert, bei Skelettgehalten von 65,1 bzw. 71,1 %. Im Profil 6637-17 fehlt zwischen 100 und 152 cm das Bohrgut. In Profil 6637-16 ist dieser Bereich stark skeletthaltig (Schutt, Kies, Grus, Grobsand, Lehm) und kann als Fortführung der Schicht II gesehen werden. Von 152 - 175 cm, Schicht III, sinkt der Skelettanteil deutlich. Der Feinboden ist schwach toniger Lehm. In der folgenden Schicht IV (175 - 245 cm) steigt der Skelettgehalt wieder an, jedoch bleibt der Feinboden weiter vom Schluff (vor allem Grobschluff) dominiert (Bodenart: Ls2). Die Schicht V, 245 - 270 cm (Proben 17/5 - 17/6) weist wieder geringere Skelettgehalte bei schluffigem Lehm auf. Sie enthält außerdem Holzkohlefliitter. Probe 7 hat ebenfalls geringe Skelettwerte aufzuweisen, ist aber von den anderen Merkmalen her als

Übergangsbereich schon eher Probe 17/8, Schicht VI, zuzuordnen. Beide sind rotbraun und kalkfrei. Bei Probe 17/8 (280 - 300 cm) handelt es sich um einen grusführenden, lehmigen Ton (38,0 % Skelett; 45,1 % Ton). Es lassen sich gewisse Parallelen zu den tonig-grusigen Schichten der Profile 6637-51, -52 und -53 (Catena Frauengarten) feststellen. Die folgenden Schichten stellen vielfältige Wechsel von stärker lehmigem zu stärker sandigem Substrat, bei insgesamt hohen Skelettanteilen, dar. Ab 368 cm (Schicht IX, aIC) kann aufgrund des hohen Sandanteils, zu dem ab 454 cm Kiese (Schicht X) hinzukommen, von alluvialer Ablagerung ausgegangen werden. Im ganzen Profil treten immer wieder Kalk- bzw. Dolomitbruchstücke sowie Holzkohle/Holzkohleflitter auf. Der pH-Wert liegt zwischen 6,7 und 7,3. Bis auf die Proben 17/6 - 17/8 enthalten alle Proben Kalk (nur Vortest durchgeführt). Der Cv wurde nicht erreicht.

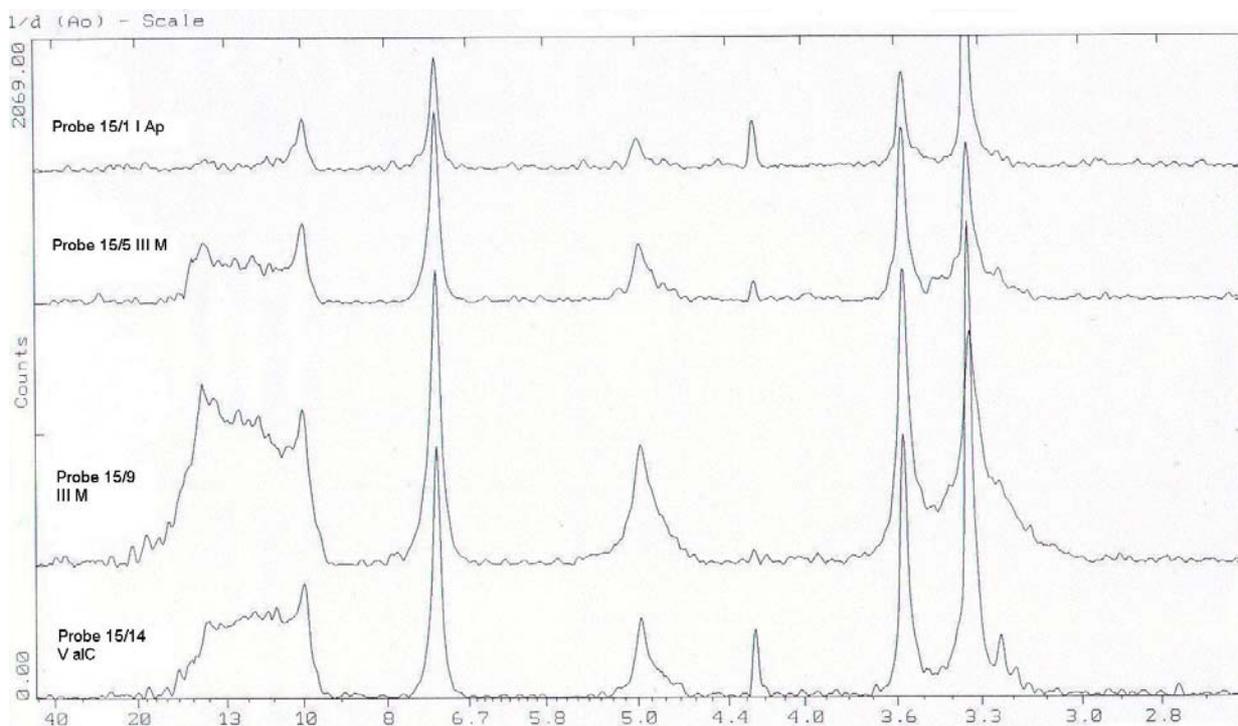
Aufgrund der Kiesanteile in Schicht IV und den Ähnlichkeiten zu Schichten in der Catena Frauengarten, ist ein früherer Beginn der alluvialen Beeinflussung nicht auszuschließen. Eine Verzahnung von kolluvialen und alluvialen Bereichen ist jedoch unter diesen Umständen nicht eindeutig festzustellen. Das Korngrößenspektrum des Feinbodens ist eng an die Textur der erodierten Böden geknüpft. In Abhängigkeit von den Liefergebieten können alluviale und kolluviale Sedimente sehr ähnliche Korngrößenzusammensetzungen haben. Daher ist der Feinboden, insbesondere die Schluff- und Tonverteilung, als einzelnes Kriterium nicht ausreichend. Nur fast reine Sande (vor allem Grob- und Mittelsande) und Kiese sind ein sicheres Indiz für alluviale Ablagerung. Diagnostische Pflanzenreste sind zumeist aufgrund schlechter Erhaltungsbedingungen oder fehlender Ablagerung nicht vorhanden. Ein Unterschied in der Zurundung der Quarze konnte bei Stichproben im Untersuchungsgebiet nicht ausgemacht werden. Gründe dafür liegen vermutlich in kurzen Transportwegen oder geringer Abriebkräfte.

Seitlich des Schwemmfächerscheitels in Richtung Leidersdorf befindet sich der Standort von Profil **6637-15** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten). Der Ap weist, wie in allen Schwemmfächerprofilen, hohe Skelettgehalte (Probe 1 > 20 %) bei lehmig-schluffigem Feinboden auf (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 6 im Anhang). Der Horizont ist mittelhumos und hat die höchsten Schluff- und Tongehalte des Profils. Damit gehen die höchsten Schwermetallgehalte des Profils einher. Erhöht sind besonders Blei, Zink, Kupfer und Chrom. Diese Anreicherung ist, neben den vorhandenen, guten Bindungskapazitäten, auch durch Einträge aus der landwirtschaftlichen Nutzung (z.B. über Düngung) zu erklären. Die Gehalte in den Proben sind aber deutlich niedriger als in Standorten mit rezenter, regelmäßiger Überschwemmung. Schicht II, Probe 4 (73 - 100 cm), fällt durch mehr als 65 % Skelett (Grus) und 58,7 % Sand (vor allem Grobsand) und geringe Schluffwerte auf. Der CaCO<sub>3</sub>-Gehalt von 3,5 % geht einher mit zahlreichen Kalkbruchstücken. Ein vergleichbarer

IC-Horizont tritt auch in anderen Profilen des Schwemmfächers auf, z.B in 6637-13, -16/17 oder -28. In Schicht III, Proben 5 - 12 (124 - 244 cm), existieren stärker schluffige und stärker sandige Bereiche. Schwankungen im Schluffgehalt führen zu leichten Verschiebungen im Schwermetallgehalt. Beispiel 1: Probe 7 enthält 25,6 % Schluff, während Probe 8 nur 12,4 % enthält. Probe 8 weist geringere Zink-, Chrom- und Eisengehalte auf als Probe 7. Beispiel 2: Probe 10 weist höhere Zink-, Nickel- und Chromgehalte auf, wobei die Probe weniger Sand als die Proben ober- und unterhalb enthält. Mit Probe 13 (244 - 263 cm, Schicht IV) beginnen die alluvialen Sedimente. Das Sandband besteht vor allem aus Mittel- und Feinsand, mit wenig Schluff und Ton. Der Zink-Gehalt sinkt von 40 ppm auf 20 ppm. In der nächsten Schicht, Probe 14, steigt die Zinkkonzentration wieder, obwohl das Substrat sandig-grusig ist. Der Skelettanteil liegt bei 58,8 %. Vermutlich aufgrund der lehmigen Beikomponente bieten sich dennoch mehr Bindungsmöglichkeiten als oberhalb. Ebenfalls erhöht sind die Nickel- und Mangankonzentrationen. Bei 283 cm erfolgt ein Wechsel zu aIC-Horizonten aus fast reinen Sanden und Kiesen (Schicht VI, Proben 15 - 24). Die Skelettanteile variieren. Beispielsweise enthalten die Proben 17 und 18 wenig Skelett bei mehr als 90 % Sand. Die Art der Sande wechselt. Während beispielsweise in Probe 17 und 18 der Mittelsand dominiert, ist es in Probe 21 der Grobsand. Mit dem Substratwechsel bei 283 cm geht ein deutlicher Abfall der Schwermetallgehalte einher. Ab 473 cm setzt der aIC-Cv gefolgt vom ICv (ab 486 cm) ein (Schicht VII). Im ICv besteht, bei hohen  $\text{CaCO}_3$ -gehalten (77,5 %), teilweise eine schwache, sekundäre Anreicherung bei den Schwermetallen (Zink, Nickel, Mangan). Im Vergleich zu anderen Profilen sind die Schluffgehalte im ganzen Profil, bis auf Probe 1 und 2, gering. Dieses erfolgt vor allem auf Kosten des Mittel- und Feinschluffs. Der pH-Wert liegt im ganzen Profil um 6,7 oder höher. Nur der Oberboden ist humos. Geringe TOC-Werte von 0,1 % in einigen Proben gehen vermutlich teilweise auf enthaltene Holzkohle zurück. Auch das Profil 6637-15 enthält insgesamt geringe Schwermetallgehalte. Gerade bei geringen Messwerten können einzelne erhöhte Werte oder leichte Unterschiede zwischen den Proben (Bsp. Nickel, Probe 6 zu 7 oder Kobalt, Probe 4) überbewertet werden.

Das Profil wurde für eine Tonmineralbestimmung ausgewählt. Es enthält ein Spektrum aus Illit, Kaolinit, Quarz und Feldspäten sowie niedrig geladenen, aufweitbaren Dreischichtsilikaten (Abb. 37, ausgewählte Proben, Kalium- und Weitungspräparat nicht dargestellt). Häufig erfolgt eine Vergrößerung bzw. Ausweitung der Peaks mit der Tiefe. Die auffällig farbigen, sandig-grusigen Schichten (aIC) enthielten kaum oder gar keine Tonfraktion, so dass z.T. nicht genügend Material für Analysen zur Verfügung stand. Im Profil 6637-15 ergibt sich eine Varianz zwischen den Schichten, allerdings auf niedrigerem Niveau als in der Aue (vgl. 6637-30). Während der Anteil der niedrig geladenen, aufweitbaren Dreischichttonminerale in Profil 6637-15 in den ersten zwei Schichten recht gering ist, steigt er in den Schichten III und IV (insbes. Proben 7 - 9, 11 - 13) stark an, obwohl

es sich um schluffigen bis lehmigen Sand bzw. Sand handelt. Im aIC-Cv (Probe 15/25-26) geht besonders der Kaolinitanteil auffällig zurück. Profil 6637-15 enthält evt. Chlorit.



**Abb. 37:** Ausgewählte Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion von Profil 6637-15, Kolluvisol (Mg-Präparate, d-Werte in Å)

Profil **6637-14** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten) liegt im seitlichen Auslaufbereich des großen Schwemmfächers. Der Ap bzw. IC-Ap Horizont ist ebenfalls stark skeletthaltig bei schluffig-lehmigem Feinboden (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 38). Nur der Oberboden ist stärker humos. Probe 1 hat etwas erhöhte Gehalte an Blei, Zink und Mangan, die durch die Bindungskapazitäten der organischen Substanz zu erklären sind. Die folgende Schicht (52 - 100 cm) ist schluffig-tonig (Tu3). In Probe 5 (80 - 100 cm) dominieren der Grobschluff und der Mittelschluff, die ab hier im Profil auf sehr geringe Werte zurück fallen. Der Feinschluff liegt im ganzen Profil unter 10 %. Schicht III (Proben 6 - 9) ist lehmig-sandig. Gegenüber der vorherigen Schicht nimmt vor allem der Feinsandanteil stark zu. Ab Probe 8 steigt ebenfalls der Mittelsand an, wodurch der Sand dominiert. Nach unten, Proben 8 und 9, nimmt der Skelettanteil zu. Mit Schicht VI (230 - 463 cm) setzen die alluvialen, sandig-grusigen Sedimente ein (aIC). Es dominiert deutlich der Sand, bei sehr geringen Schluff- und Tongehalten. Der Mittelsand ist prägend, Probe 14 hat beispielsweise 63 % Mittelsand bei 90,4 % Gesamtsandanteil. In Probe 15 ist das Verhältnis Mittel- zu Grobsand recht ausgeglichen. Die Skelettgehalte in der Schicht wechseln. Die meisten Proben sind leicht kalkhaltig. Probe 17 enthält 12,6 %  $\text{CaCO}_3$  und stellt den Übergangsbereich zur nächsten Schicht dar. Probe 18 enthält einen auffällig hohen Tonanteil von 40,4 % (Bodenart: Lts). Der

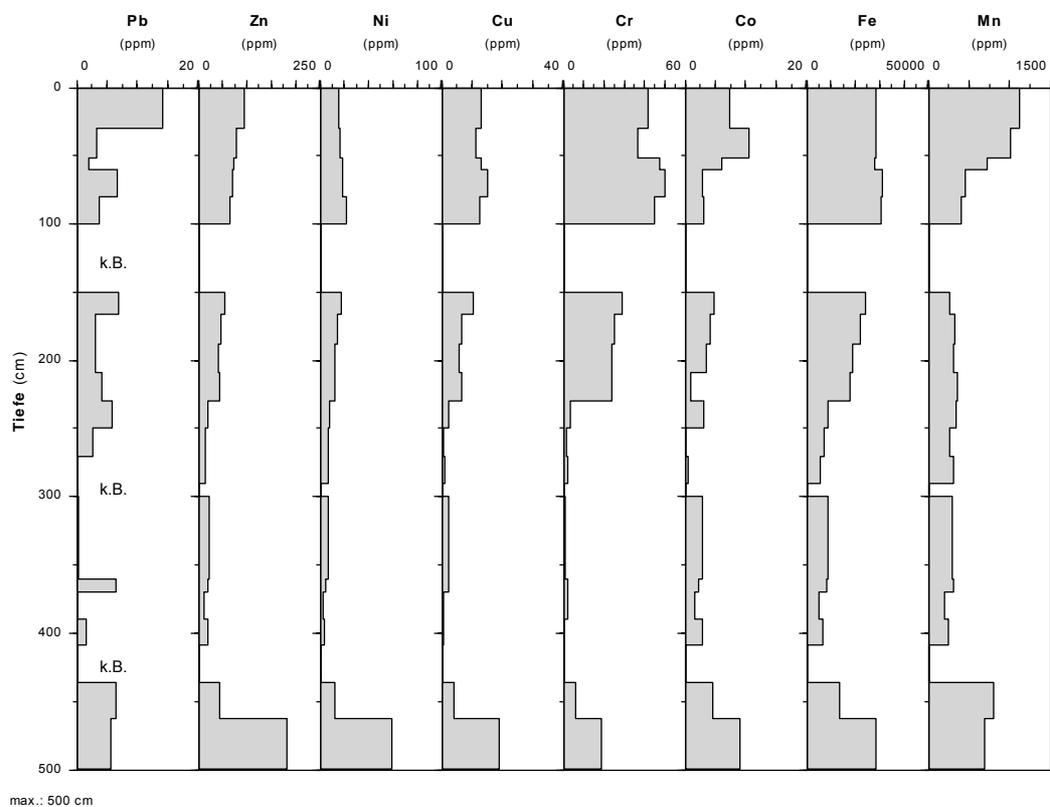
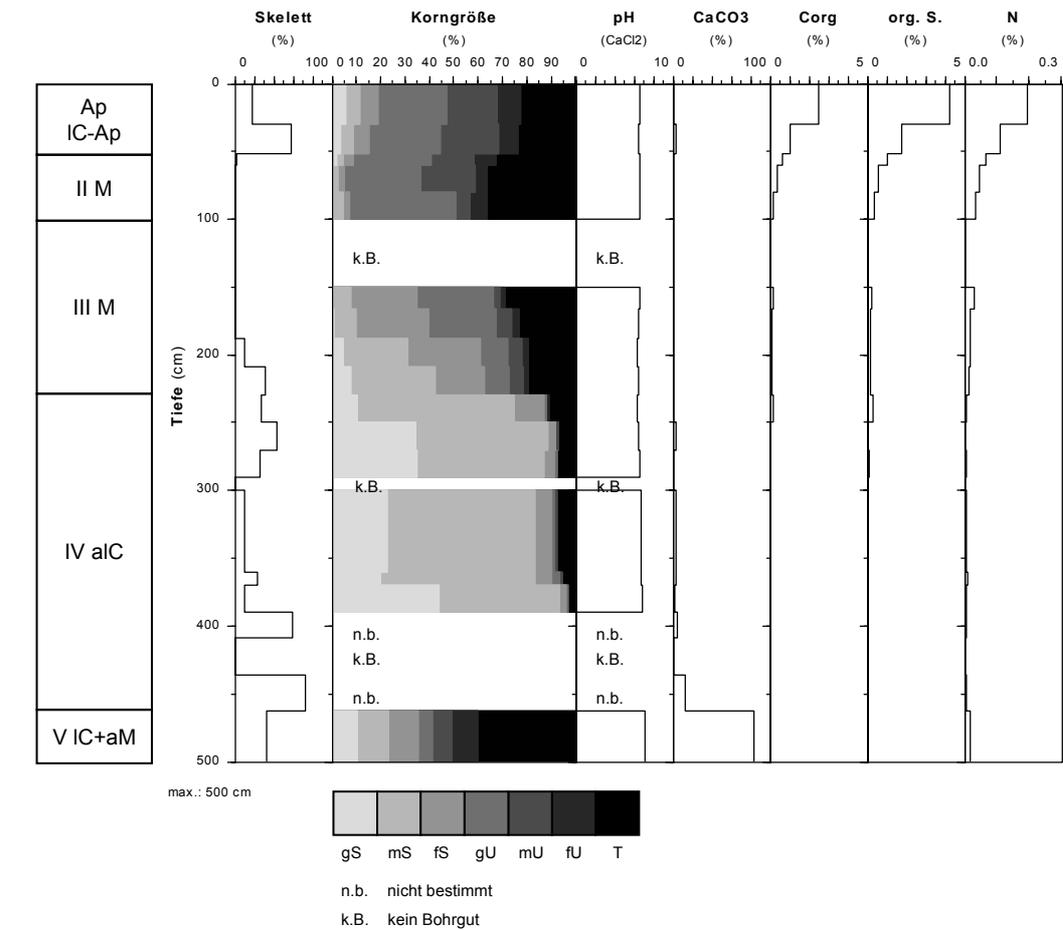


Abb. 38: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-14

Horizont zeigt sowohl rotbraune als auch graue Bereiche. Die Körnungsdaten entsprechen dem rotbraunen Bereich. Beide Teilbereiche sind kalkhaltig. Das Grobskelett, bestehend aus Gesteinsstücken befindet sich vor allem gegen Ende der Probe. Obwohl Probe 18, Schicht V, sehr hohe Kalkgehalte aufweist (83,4 %) ist sie vom Feldbefund her kein Cv. Es handelt sich um einen Verzahnungshorizont. Der Cv muss sich unmittelbar anschließen, wurde aber in der Bohrung nicht erreicht.

Die pH-Werte liegen um 6,5. Sie fallen von Probe 1 mit 6,6 bis auf 6,3 in Probe 10 (230 - 250 cm) und steigen bis auf 7,1 in der letzten Probe an. Nur der Oberboden ist humos, aber vor allem in den M-Horizonten kommen immer wieder Holzkohle bzw. Holzkohleflitter vor. Diese bewirken geringe TOC-Werte. Die Schwermetallgehalte sind insgesamt sehr gering, vor allem bei den Elementen Blei, Nickel, Kupfer und Kobalt. Insbesondere der Wechsel von Schicht III zu IV, einhergehend mit einem starken Abfall der Schluff- und Tongehalte, führt zu Einbrüchen bei den Gehalten von Zink, Chrom, Eisen und auf niedrigem Niveau bei Nickel. Der Kupfergehalt nimmt schon vorher ab (Probe 7). Ursache ist der ab diesem Punkt beginnende Tonrückgang, der sich beim Schichtwechsel noch verstärkt. Das Profil weist am Ende ein sekundäres Maximum bei den Elementengehalten von Blei, Zink, Kupfer, Chrom, Eisen und Mangan auf. Die hohen Gehalte gehen einher mit hohen Kalkgehalten bzw. in Probe 18 mit mehr als 40 % Tonanteil. Eisen hat seine höchsten Gehalte in den Proben 4 und 5. Die Gehalte um 30.000 ppm in den ersten 100 cm sind aber deutlich geringer als in den Go-Horizonten im reinen Auenbereich. Dennoch ist auch hier die pedogenetische Prägung bestimmend.

Profil **6637-18** (Kolluvisol) ist Teil des Querprofils (6637-16/17, 6637-15, 6637-14) im unteren Schwemmfächerbereich. Es liegt seitlich des Scheitels, auf der Seite von Profil 6637-27. Das Profil ist inhomogen und aufgrund seiner Horizontabfolge schwierig einzuordnen (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 6 im Anhang). Grob kann es in drei Teile gegliedert werden. Bis 184 cm ist das Profil stark skeletthaltig, dann folgt ein lehmiger Abschnitt mit wenig Skelett. Ab 289 cm nimmt der Skelettanteil wieder stark zu.

Der Ap ist schluffig-lehmig und geht fließend in einen IC-Ap bzw. IC mit schwach tonigem Lehm über. Der Skelettanteil ist in erster Linie durch Kalksteinbruchstücke geprägt. Schicht II (Probe 5) hat bei schluffigem Lehm etwas geringere Skelettgehalte, die in Schicht III (Proben 6 und 7) wieder stark ansteigen. Grus ist dominierend. Den Abschnitt mit geringen Skelettanteilen bilden die Schichten IV und V (184 - 289 cm). Probe 9 ist durch einen erbohrten Stein als Ausreißer zu bewerten. Schicht IV ist zunächst schluffig-lehmig bei hohen Schluffgehalten (Proben 8 und 9) und geht dann über in einen schwach tonigen Lehm. Der Schluffgehalt geht zurück, der Feinsandanteil steigt deutlich. Die Schicht ist als einzige neben dem Oberboden (Probe 1 und 2) kalkfrei und enthält Holzkohleflitter. In

Schicht V steigt der Feinsandanteil weiter, so dass ein sandiger Lehm zu verzeichnen ist. Der Bereich ab 289 cm zeichnet sich, wie oben erläutert, durch zumeist hohen Skelettanteil, bestehend aus Grus oder Kalkbruchstücken aus. Die Schichten sind aber in sich variabel, mal mehr lehmig, mal mehr sandig. Ab 450 cm tritt vermehrt Kies auf, der ein sicheres Indiz für alluviale Beeinflussung ist. Die Proben sind kalkhaltig. Der pH-Wert liegt bis 289 cm etwa um 6,7 (Ausnahme Probe 2 mit 6,4) und steigt danach auf über 7 (gemessenes Maximum: 7,7).

Im Abschnitt zwischen 289 und 428 cm kann es zu einer Verzahnung von alluvialer und kolluvialer Ablagerung gekommen sein. Probe 15 bzw. Schicht VI (289 - 300 cm) ist ein tonig-lehmiger, rotbrauner Schutt, der in gewissem Rahmen mit der Probe 6637-17/8 vergleichbar ist. Allerdings enthält die Probe Kalkreste. Es folgen Reste von grusig-sandigem Material, das aber leider aufgrund des Kernverlustes nicht eindeutig als aIC angesprochen werden kann. Probe 18 bzw. Schicht IX (406 - 413 cm) ist schluffig mit Sandpartikeln. Sie ist ockerfarben, stark kalkhaltig und nass-fließend. Sie lässt sich vergleichen mit entsprechenden Proben im Erosionssystem (vgl. Kap. 7.1).

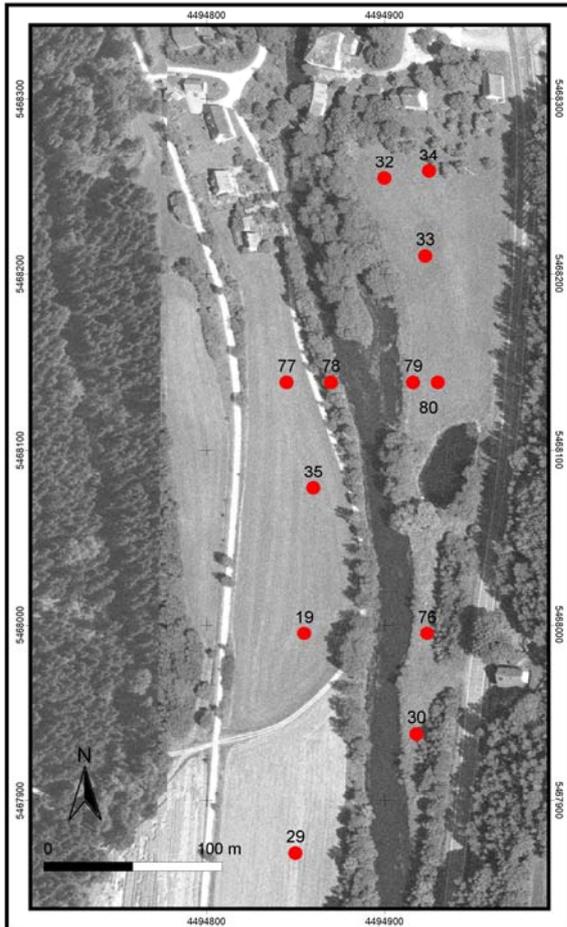
Profil **6637-28** (Kolluvisol) liegt in Verlängerung der Linie 6637-13 und 6637-16/17 im Auslaufbereich des großen Schwemmfächers. Eine Weiterführung der Catena in Richtung Vils ist aufgrund des dort verlaufenden Abwasserkanals nicht möglich. Auf der anderen Vilsseite ist ebenfalls keine weitere Bohrung möglich, da die Vils eng am Talrand liegt und sich direkt eine Straße anschließt.

Der Ap ist typisch für den Standort Schwemmfächer. Er besteht aus humosem, schluffigen Lehm mit großen Skelettbruchstücken (vor allem Kalkstein). Darauf folgt ein schuttreicher, grusiger IC-M-Horizont, der auch beim Profil 6637-16/17 zu beobachten ist. Das Profil weist auffällig viel Feinsand auf. Die M-Horizonte sind zunächst aus lehmigem Sand bzw. sandigem Lehm aufgebaut. In Schicht III, 220 - 349 cm, geht der Sandanteil zurück. Die M-Horizonte enthalten teilweise Holzkohle und Ziegelreste. Ab 349 cm Tiefe setzt ein deutlicher Wechsel zu aIC Horizonten ein. Diese bestehen zunächst aus Feinsand bzw. feinsandigem Lehm mit Skelettanteilen, dann aus Grobsand mit Grus. Der Cv wurde bei der Bohrung nicht erreicht, aber aufgrund der in den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse, folgt dieser i.d.R. auf den Grobsand.

### 6.2.3 Aue Leidersdorf

Eine kleine Catena (6637-77 bis 6637-80) sowie verschiedene Profile östlich und westlich der Vils befinden sich im vergleichsweise nahen Abstrombereich des ehemaligen Hammerwerkes Leidersdorf (s. Abb. 39). Die Flächen werden als Grünland, Mähwiese oder

Feuchtwiese mit regelmäßiger Mahd genutzt. Einige Bereiche waren im Januar 2003 überflutet. Der Bereich zwischen Streuobstwiese und heutigem Teich ist stark anthropogen geprägt. Dort befindet sich ein verfüllter, ehemaliger Teich und eine Aufschüttung (vgl. Kap. 6.1).



**Abb. 39:** Detailkarte des Teilgebietes Aue Leidersdorf mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

In unmittelbarer Nähe zum Hammerwerk Leidersdorf, angrenzend an die kleine Streuobstwiese, befinden sich die Profile 6637-32 und 6637-34. Profil **6637-32** (Vega) ist zu Beginn tonig-schluffig bis lehmig und ab 226 cm verstärkt sandig-lehmig. In 337 cm beginnt grobsandig-grusiges Substrat. Im ganzen Profil treten immer wieder Holzkohlen und Makroreste auf. Auffällig sind die großen Makroreste im Abschnitt 315 - 347 cm Tiefe. Obwohl das Profil nah am Hammerwerk im direkten Abstrom liegt, konnten keine Schlacken gefunden werden.

Einige Meter weiter vom Fluss entfernt liegt Profil **6637-34** (Vega-Gley). Wie Profil 6637-32 ist es zunächst lehmig, gefolgt von schluffigem Ton. Bei 206 cm erfolgt ein starker Wechsel zu lehmigem Sand. Der aIC-ICv aus Kalkschutt mit Grobsand und Grus beginnt in 364 cm

Tiefe. Makroreste und Holzkohle treten vereinzelt bis 206 cm auf. Die Sande sind überwiegend rotbraun. Probe 34/7 (154 - 177 cm) enthält eine nicht näher einzuordnende Scherbe.

Das im Urkataster noch eingetragene Altwasser ist heute im Gelände noch als Depression zu erkennen. Sondagen (siehe **6637-33**) zeigen eine anthropogene Verfüllung aus Lehm, Grobsand, Ziegelbruchstücken und diversen Gesteinsbruchstücken. Die Matrix ist durch den hohen Anteil an organischer Substanz glänzend brillantschwarz gefärbt.

Südlich des Hammerwerkes Leidersdorf, zwischen dem ehemaligen, inzwischen verfüllten Altwasser und dem heute vorhandenen Teich, existiert ein morphologisch erhöhter Bereich. Hinter dem Teich fällt das Gelände wieder ab. Um diesen Bereich zu erfassen wurde eine kleine Catena angelegt. Die Profile 6637-77 und -78 liegen westlich, 6637-79 und -80 östlich der Vils.

Am entferntesten von der Vils liegt in dieser Catena Profil **6637-77** (Vega). Es ist nicht hydromorph geprägt. Der Ap (1 - 40 cm) ist schluffig-lehmig und enthält zahlreiche Kalksteine. Die anschließenden Schichten (aM) sind etwas toniger und weisen unterschiedliche Anteile an Skelettbruchstücken und kleinen Kiesen auf. Zwischen 165 und 176 cm ist das Profil dann sandig-lehmig ausgeprägt. Es schließt sich eine sehr tonige Schicht (176 - 181 cm) an, auf die eine sehr gering mächtige Schicht aus Grobsand und Kies folgt. Der ICv beginnt schon in 189 cm Tiefe.

Etwa 4 m vom Vilsufer entfernt befindet sich Profil **6637-78** (Auengley). Auf den schluffig-lehmigen aAh folgt Schicht II (28 - 70 cm) aus Lehm und Sand vermischt mit Steinen und Schlacken. Sie weist außerdem stark oxidative Merkmale auf (jyC-aGo). Es schließt sich sandiger Lehm an. Von 111 bis 272 cm ist das Profil dann sehr homogen und mit schluffig-tonigem Feinboden aufgebaut. Danach folgen verschiedene Schichten aus Sand, Ton, Grus oder Lehm. Bei 388 cm beginnen stark organische Horizonte. Sie sind sandig-lehmig und enthalten z.T. große Holzstücke. In Schicht XI, 430 - 439 cm, sind zusätzlich Grus und Bruchstücke vorhanden. Der anschließende ICv konnte bis 500 cm erbohrt werden. Ein Schotterkörper über dem Anstehenden fehlt.

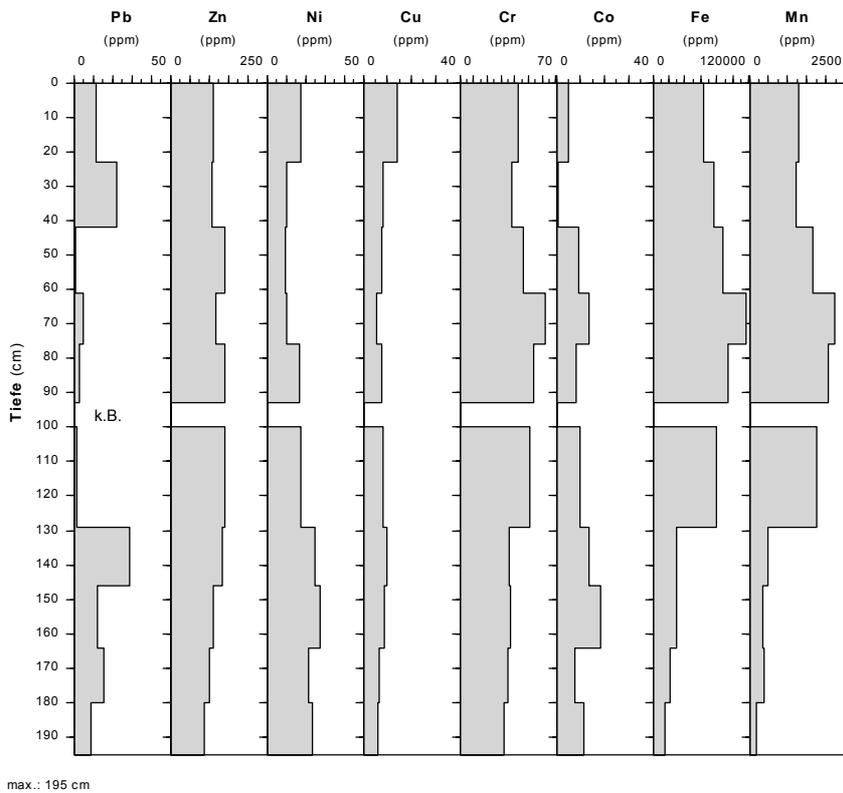
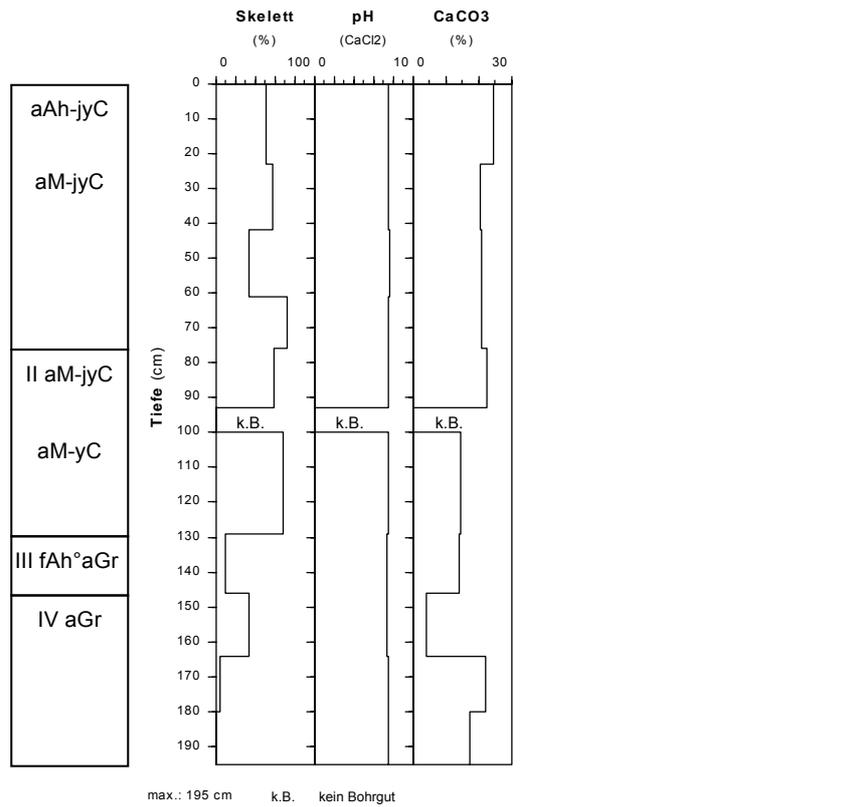
Auf der gegenüber liegenden Vilsseite, etwa 7,5 m vom Ufer entfernt, liegt **6637-79** (Auengley). An den aAh aus schluffigem Lehm schließt sich eine anthropogen aufgetragene Schicht aus Lehm, Steinen, Grus und Schlacken an (22 - 94 cm). Im Anschluss ist das Profil bis 300 cm überwiegend tonig-schluffig. Partiiell können etwas Sand oder Grus sowie organische Reste enthalten sein. Zwischen 300 und 373 cm bestehen die Sedimente aus Ton und Feinstsand. Die Horizonte sind auffallend hydromorph geprägt. Neben Eisen- und

Mangankonkretionen treten auch türkisblau gefärbte Bereiche auf. Es folgt eine Schicht aus Fein- und Mittelsanden. Von 422 - 466 cm reicht ein mächtiger, fossiler humoser Horizont mit Makroresten. Der Feinboden ist sandig-lehmig. Daran schließen sich Grus, Kies und Steine an, die in Kalkschutt übergehen (aIC-Cv).

Der Vergleich von 6637-78 und -79 zeigt eine recht gut Übereinstimmung in den mittleren, schluffig-tonigen Profilbereichen. In der Tiefenstufe 300 - 400 cm ist Profil 6637-78 jedoch stärker untergliedert. Beide weisen einen fossilen, humosen Abschnitt auf.

Profil **6637-80** (Auengley) beginnt mit einer 129 cm mächtigen anthropogen bedingten Aufschüttung (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 40, Auswahl). Zwischen 129 und 146 cm liegt der ehemalige Ah. Es schließen sich zunächst schluffig-tonige, dann schluffig-sandige aGr- und aM-Horizonte an. Ab 332 cm dominiert feiner Sand. Bei 430 cm Tiefe beginnt ein humoser Abschnitt. Ein fAh°aGr ist zwischen 434 und 447 cm mit schokobrauner, sandig-lehmiger Ausprägung entwickelt. Darauf folgt ein aIC mit Grus, Kies und Grobsand, der bei 493 cm in den Cv aus kantigem, angewittertem Kalkschutt übergeht.

Zur Charakterisierung des aufgetragenen Materials wurden an den ersten zehn Proben ausgewählte Analysen durchgeführt. In den jyC bzw. yC Horizonten, Proben 1 - 6, liegt der Skelettgehalt zwischen 34,2 und 72,9 % und setzt sich aus diversen Steinen, Schlacken und Kalkbruchstücken zusammen. Der ehemalige Ah, jetzt fAh°aGr (Probe 7), enthält einzelne Skelettbruchstücke (10,3 % Skelett). Der angrenzende aGr-Horizont (Proben 8 - 10) hat zunächst hohe Skelettgehalte, fällt dann aber in den Gehalten sehr stark ab. Die pH-Werte der Proben zeigen keine großen Unterschiede, sie liegen zwischen 7,4 und 7,6, wobei tendenziell in dem aufgeschütteten Material die pH-Werte höher sind. Auffällig sind die hohen CaCO<sub>3</sub>-Gehalte um 20 % ( $\pm 5$  %) mit Ausnahme der Proben 6, 7 und 8. Die Eisenwerte sind in den Proben 1 - 6, dem aufgeschütteten Material, mit 63.525 bis 116.517 ppm sehr hoch. Die Proben 7 - 10 weisen hingegen die typischen Gehalte der Böden auf (14.683 bis 30.331 ppm). Die Mangankonzentrationen zeigen eine vergleichbare Tiefenverteilung. Die Gehalte der ersten sechs Proben liegen über 1.200 ppm, die folgenden Proben fallen auf unter 500 ppm Mangan. Die Werte bewegen sich aber noch im normalen Schwankungsbereich für das Untersuchungsgebiet. Die Nickelkonzentration ist in den natürlichen Horizonten etwas höher als im anthropogen geprägten Substrat. Die Chromgehalte sind in der Aufschüttung leicht höher als unterhalb. Die Kupferwerte sind insgesamt sehr niedrig. Die Maxima liegen in den humoseren Proben 1 und 7. Die Zinkgehalte sind mit 108 - 141 ppm etwas höher als der Durchschnitt, allerdings sind aktuelle aAh-Horizonte deutlich stärker belastet. Der begrabene Ah in diesem Profil weist mit 133 ppm Zink ebenfalls einen vergleichbaren Wert auf. Weiter nach unten sinken die Werte bis auf 88 ppm in Probe 10.



**Abb. 40:** Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-80 (Proben 1 - 10, ausgewählte Parameter)

Es ist davon auszugehen, dass das Material aus der Vils ausgebaggert wurde. Die Eisen- und CaCO<sub>3</sub>-Gehalte sind viel höher als die Konzentrationen im heutigen Flusssediment.

Vermutlich enthält die Aufschüttung neben Schlacken auch Erz minderen Eisengehaltes und Pochsande. Die Schwermetallgehalte liegen, bis auf Eisen, im normalen Wertebereich für das Untersuchungsgebiet. Hier zeigt sich, dass eindeutig bergbaulich beeinflusstes Material, mit Ausnahme der Eisenkonzentrationen, im Untersuchungsgebiet keine besondere Anreicherung von Schwermetallen aufweist.

Das Profil 6637-80 setzt sich bis 258 cm mit schluffig-tonigem Material fort. Dieser Teilbereich ist vergleichbar mit 6637-79. Anschließend wird 6637-80 schluffig-sandig bis in eine Tiefe von 332 cm. Dort erfolgt ein Wechsel zu lehmigen Sanden. Zwischen 430 und 447 cm befinden sich humose Horizonte. Hier ist im Anschluss ein Schotterkörper aus Grobsand, Grus und Kies sowie diversen Steinen ausgebildet. In 493 cm Tiefe beginnt angewitterter, kantiger Kalkschutt.

Südlich Profil 6637-77, gegenüber dem Teich, liegt Profil **6637-35** (Vega). Der obere, lehmige Meter unter Geländeoberkante ist anthropogen beeinflusst. Er enthält Kalk-, Ziegel- und Schlackebruchstücke sowie Holzkohle. Zwischen 100 und 121 cm befindet sich ein verkohltes Holzstück. Darunter folgt wieder Lehm. Im Bereich 189 bis 236 cm liegen Wechsellagerungen von lehmig-tonigen und feinsandigen Abschnitten vor. Schicht V (236 - 244 cm) ist stark skeletthaltig, aber vor dem eigentlichen Cv ist noch einmal eine schluffig-tonige Schicht eingeschaltet. Der typische Schotter aus Grobsand, Grus und Kies über dem angewitterten Kalkschutt fehlt. Holzkohlen sind in weiten Teilen des Profils verbreitet.

Zwischen Leidersdorf und dem großen Schwemmfächer, westlich der Vils, liegt auf einem Wiesenstandort das Profil **6637-19** (Vega) (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 6 im Anhang). Der Oberboden ist deutlich skeletthaltig (16,5 %) und hat einen höheren Sandanteil (24,4 %) als unterhalb (Bodenart: Lu). Der IC-Ah ist zwar ähnlich denen des großen Schwemmfächers, enthält aber weniger Steine und Ziegelstücke. Vermutlich wurde die Wiese in früheren Zeiten als Acker genutzt. Heute ist der Oberboden durch die fehlende Pflugtätigkeit kompakter als auf dem benachbarten Ackerstandort. Der Oberboden ist deutlich humos (2,1 % TOC) und kalkhaltig. Der anschließende aM-Horizont reicht bis in eine Tiefe von 246 cm. Der Bereich 50 - 126 cm ist schluffig-tonig, dann steigt der Feinsandanteil auf Kosten des Schluffanteils und es liegt ein schwach toniger Lehm vor. Alle Proben enthalten Holzkohle bzw. Holzkohleflitter, was sich auch in den TOC-Gehalten zeigt. Bei 246 cm erfolgt ein starker Substratwechsel zu sandig-grusigem Material mit zahlreichen Steinen (Schicht III, aIC). Der Skelettgehalt der Proben steigt entsprechend an. Die Proben 12 - 14 sind leicht kalkhaltig. Zwischen 400 und 413 cm ist ein Sandband eingeschaltet, welches sich auch in den Schwermetallgehalten durchprägt. Die Gehalte von Zink, Eisen und Mangan sind dort im Verhältnis zu den Proben ober- und unterhalb erniedrigt. Die folgende

Schicht IV, Probe 17, 433 - 464 cm, ist fast skelettfrei und ist insgesamt als sandig-lehmig anzusprechen, wobei Wechsellagerungen zu verzeichnen sind. Bei 464 cm beginnt der ICv als kantiger, stark kalkhaltiger (36,8 %  $\text{CaCO}_3$ ) Verwitterungsschutt (89,8 % Skelett) mit lehmig-sandigem Feinboden. Der pH-Wert im Profil liegt bei den gemessenen Proben um 6,9.

Im IC-Ah (Probe 1) ist nur die Zinkkonzentration gegenüber den folgenden Proben etwas erhöht und mit 105 ppm im Vergleich zu anderen Profilen in Auenlage sehr niedrig. Das belegt, dass das Profil selten rezent überflutet wird. Zink weist ein langsames Abfallen bis zum starken Substratwechsel auf. Dieses steht in Zusammenhang mit abnehmenden TOC- und Schluffgehalten. Die Chromwerte zeigen ebenfalls diese Tendenz, jedoch nicht so ausgeprägt. Bei dem Substratwechsel in 246 cm Tiefe, von lehmig (aM-Horizont) zu sandig-grusig (aIC-Horizont), gehen fast alle Schwermetallgehalte (Zink, Nickel, Kupfer, Chrom, Eisen) deutlich zurück. Probe 13 ist etwas lehmiger als die anderen Proben der Schicht III, was sich in erhöhten Zink- und Eisenwerten zeigt. Es lag nicht genug Feinboden vor, um die Schwermetallgehalte im Cv zu bestimmen. Die leichten Anstiege der Gehalte von Blei, Zink, Nickel, Chrom und Eisen gegen Ende des Profils sind nicht ganz abgesichert, da z.T. schlechte Parallelen vorliegen (z.B. Probe 16: Zink, Nickel) oder gehen im Fall der Probe 17 (Schicht IV) auf die veränderte Feinbodenzusammensetzung im Verhältnis zu Schicht III zurück. Mangan hat die höchsten Gehalte in den Proben 1 und 4, den niedrigsten Wert, wie auch Eisen, im fast reinen Sandhorizont der Probe 15. Die Kobaltkonzentrationen sind insgesamt im Profil sehr niedrig. Bei Probe 11 handelt es sich um einen Ausreißerwert, der daher nicht bewertet werden kann.

Auf der anderen Vilsseite, gegenüber von Profil 6637-19 liegt das Profil **6637-76** (Vega-Gley). Im Gegensatz zu 6637-19 ist es von Beginn an hydromorph beeinflusst. Wie häufig zu beobachten, folgt auf den schluffig-lehmigen Oberboden eine Lage aus großen Kalksteinbruchstücken (29 - 47 cm). Es schließen sich schluffig-tonige Schichten an, die bis 95 cm oxidative Merkmale und bis 263 cm reduktive Merkmale aufweisen. Vereinzelt sind etwas Sand, Grus oder Makroreste beigemischt. Bei 263 cm erfolgt ein deutlicher Wechsel zu in der Regel reinen Sanden. Es handelt sich um Fein- und Mittelsande von braun über orangebraun bis blau gefärbt. Von 362 bis 410 cm Tiefe wechseln sich zwei schwach sandige, humose Lehmschichten mit zwei Schichten aus Mittel- bis Grobsand ab. Es existieren Ähnlichkeiten im Aufbau dieser Wechsellage mit Profil 6637-75, jedoch sind die Abfolgen nicht identisch. Der so genannte Vilsschotter aus sandig-grusigem Material reicht von 410 bis 423 cm. Der sich anschließende Cv aus angewittertem Kalkschutt beginnt damit in geringerer Tiefe als bei 6637-19. Auch der Aufbau der fluvialen Sedimente von Profil 6637-19 unterscheidet sich von Profil 6637-76.

Etwas südlich von Profil 6637-76 befindet sich das Profil **6637-30** (Auengley) (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 6 im Anhang). Der Ah ist schluffig-lehmig und stark bis sehr stark humos. Der anschließende aGo-Horizont ist ebenfalls schluffig-lehmig und noch mittel humos. Probe 5 stellt einen Übergangsbereich zur nächsten, deutlich sandigeren Schicht dar. Der Bereich zwischen 60 bzw. 71 und 140 cm zeichnet sich durch einen hohen Anstieg von Mittel- und Feinsand aus. Dieses geschieht vor allem auf Kosten des Schluffs. Es liegen lehmige Sande oder sandige Lehme vor. Schicht III, 140 - 243 cm, ist wieder schluffig-lehmig. Gegen Ende der Schicht nimmt der Feinsandanteil ab und der Schluffanteil steigt. In dieser Schicht dominiert leicht der Grob- vor dem Mittelschluff. Der Feinschluff liegt im ganzen Profil unter 12 %. Mit mehr als 20 % Feinsand und nur knapp mehr als 50 % Schluff und höheren TOC-Werten als oberhalb zeichnet sich Schicht IV (243 - 283 cm) aus. Bis in eine Tiefe von 373 cm tritt kaum Grobsand auf. Kennzeichnend für das Profil sind die Wechsellagerungen von lehmigem Sand und lehmigem Ton bzw. tonigem Lehm zwischen 283 und 340 cm (Schicht V). Einige Proben haben recht hohe TOC-Werte, die von diffus verteiltem Humus, Holzkohle oder Makroresten stammen. Ebenfalls markant ist die sich daran anschließende Wechselfolge (340 - 412 cm) von sandig-grusigem Substrat zu humosem, schluffigem Lehm, gefolgt von sandig-grusigem Material und entsprechend hohen Skelettgehalten. Daran anschließend folgt wieder ein Abschnitt mit schluffigem Lehm und hohem organischen Anteil (TOC 7,9 %). Zwischen 412 und 463 cm steht ein aIC (Vilsschotter) mit Grobsand, Grus, Kies und Skelettbruchstücken an. Der Skelettanteil liegt bei 51,0 bzw. 62,8 % und die  $\text{CaCO}_3$ -Werte bei 7,5 und 9,4 %. Der das Profil abschließende Cv besteht aus angewittertem Kalkschutt, was einen hohen Skelettanteil von 67,0 % und  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt von 55,9 % bedingt. Die pH-Werte liegen zwischen 6,1 und 7,2 (kalkhaltiger aIC).

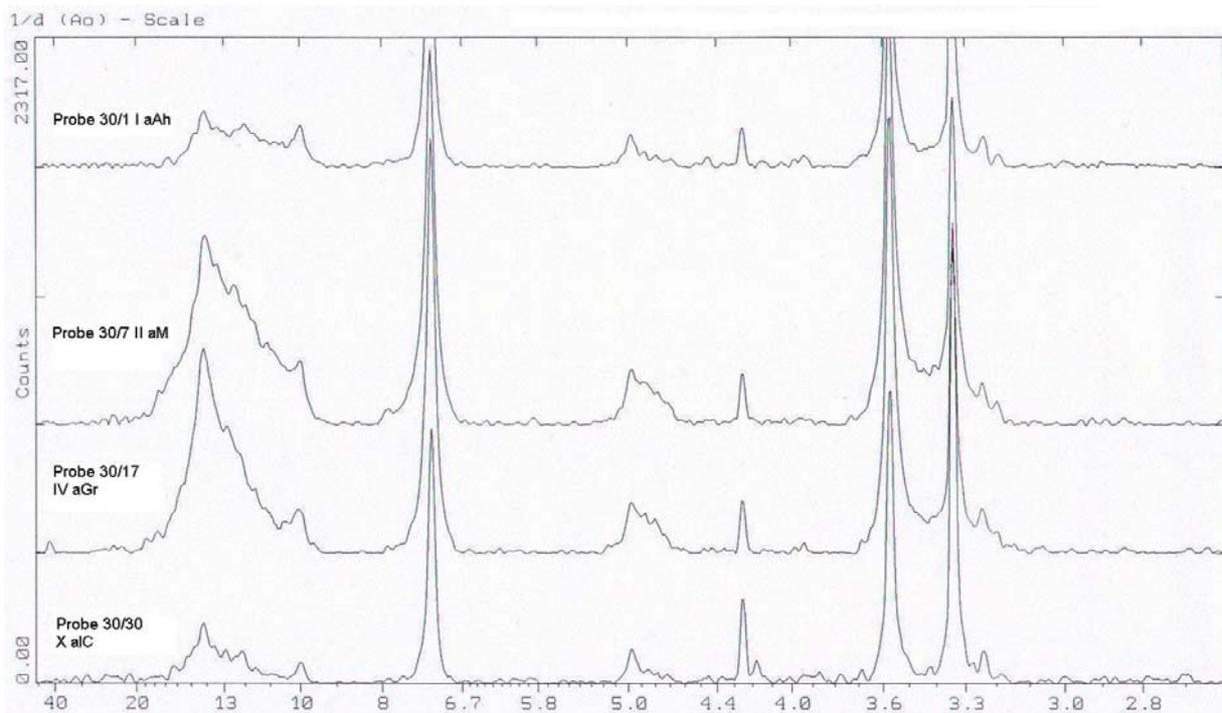
Im Oberboden (Ah, aGo-Ah) treten für das Untersuchungsgebiet sehr hohe Werte von Blei, Zink und Kupfer auf. Probe 1 zeigt die höchsten Konzentrationen mit 267 ppm Blei, 2218 ppm Zink und 129 ppm Kupfer. Auch die Gehalte von Nickel, Chrom und Kobalt sind höher als sonst im Profil. Das ist ein Beleg für die häufige, rezente Überflutung dieses Standortes und dem damit einhergehenden Eintrag anthropogen bedingter Schwermetallfrachten (vgl. Kap. 5.1.4 und 7.3). Auch beim Hochwasser Anfang 2003 war der Standort überflutet. Der hohe Anteil an organischer Substanz begünstigt insbesondere die Speicherung von Blei im Sediment. In den stark oxidativ beeinflussten Horizonten Ah, aGo-Ah und aGo haben Eisen und Mangan entsprechend hohe Konzentrationen. Die Konzentrationen beider Elemente sinken anschließend deutlich ab, nur einzelne Proben liegen geringfügig über dem Durchschnitt (Eisen: Proben 10 und 19, Mangan: Proben 10 und 16). Auffällig niedrig sind für beide Elemente die Proben 26, 28 und 30. Hierbei handelt es sich um grau gefärbte, grusig-sandige Horizonte. Im Cv steigt insbesondere der Gehalt von

Eisen (48.873 ppm) aber auch der von Mangan stark an. Bei Chrom und Kobalt können in Schicht III leicht erhöhte Werte festgestellt werden. In den Proben 19 bis 21 zeigen Blei und Zink (bei Zink auch Probe 18 und 22 höher als umgebende Proben) sowie Chrom tendenziell, Nickel und Eisen nur bei Probe 19 einen erkennbaren Anstieg der Konzentrationen. Die Proben weisen unterschiedliche Bodenarten auf. Entscheidend ist hier die organische Komponente mit bis zu 6,3 % organischer Substanz in Probe 21. Ab 325 cm bis 412 cm Tiefe sind bei Blei, Zink, Nickel, Chrom, Eisen und Mangan (auch bei Kupfer und Kobalt zu beobachten, aber aufgrund der geringen Werte vorsichtig zu bewerten) starke Wechsel der Gehalte von Probe zu Probe vorhanden. Ursache sind die bereits beschriebenen Wechsel des Substrats (lehmig vs. sandig-grusig) und die höheren Humusgehalte der lehmigen Proben 25, 27 und 29 (bis zu 7,9 % TOC). Im Cv hat neben den bereits genannten Elementen Eisen und Mangan, auch Blei ein sekundäres Maximum der Gehalte. Allerdings erscheint dieser für das Untersuchungsgebiet einmalige Wert von 473 ppm außergewöhnlich hoch. Ein Messfehler liegt jedoch nicht vor.

Altersdatierungen erfolgten an den Proben 24 und 27. Beide wurden ins Mittelalter gestellt. Allerdings ist danach Probe 24 (311 - 325 cm) älter als Probe 27 (358 - 373 cm) (vgl. Kap. 7.2, Tab. 13). Das Profil enthält insgesamt relativ viele Pflanzenreste und mehrere humose Horizonte. Neben den bereits genannten Horizonten bzw. Proben mit besonders hohen TOC-Gehalten (Proben 1, 2, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 29) weisen auch die anderen Proben klar erhöhte Werte für organischen Kohlenstoff auf. Die Werte in den Proben 31 und 32 sind Messungenauigkeiten und werden durch den Feldbefund nicht gestützt.

Die Tonmineralbestimmung ergab ein zum Kolluvisol vergleichbares Spektrum aus Illit, Kaolinit, Quarz und Feldspäten sowie niedrig geladenen, aufweitbaren Dreischichtsilikaten (Abb. 41, ausgewählte Proben, Kalium- und Weitungspräparat nicht dargestellt, nicht aus allen Proben des Profil konnte ausreichend Ton gewonnen werden). Häufig erfolgt eine Vergrößerung bzw. Ausweitung der Peaks mit der Tiefe. Profil 6637-30 (Auengley) enthält deutlich mehr Kaolinit und aufweitbare Dreischichtsilikate als Profil 6637-15 (Kolluvisol). Eine halb-quantitative Mengenbestimmung ergibt für Profil 6637-30 einen Illit-Anteil von 35 %, einen Kaolinit-Anteil von 30 % sowie 20 % Smectit, 10 % Quarz und 5 % Feldspäte. Unterschiede zwischen den Proben liegen besonders bei den schwach geladenen, aufweitbaren Dreischichtsilikaten vor. Es zeigt sich bei den gemessenen Proben eine bimodale Verteilung mit einem Maximum in Schicht II (Proben 6 - 9) und einem zweiten, schwächeren Maximum in Schicht IV (Proben 17 - 19). Es besteht ein geringer Zusammenhang zwischen der Zunahme der smectitischen Anteile und dem Anteil der Tonfraktion am Korngrößenspektrum. Die Tonanteile im Profil variieren von etwa 17 - 27 %.

Die Ursachen der Verteilung liegen in der Schichtung oder in Prozessen der Bodenbildung (z.B. Teilchenzerkleinerung durch Verwitterung, Um- oder Aufbau).



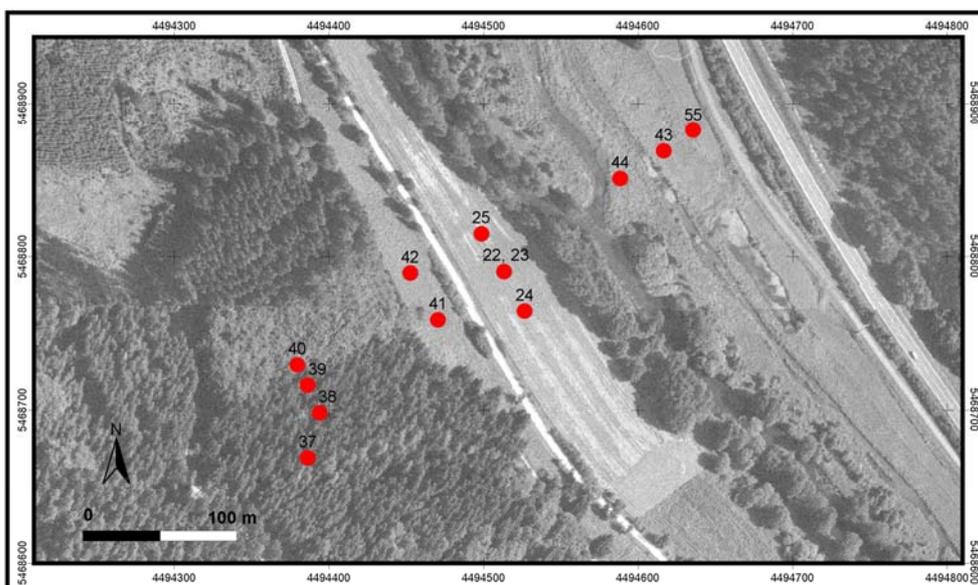
**Abb. 41:** Ausgewählte Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion von Profil 6637-30, Auengley (Mg-Präparate,  $d$ -Werte in Å)

Profil **6637-29** (Vega-Gley) liegt auf der Flur Bergäcker in einer kleinen Senke zwischen Bahndamm und Vils. Die Fläche wird landwirtschaftlich genutzt, aber es treten häufig Probleme mit Vernässung auf, die zu Ertragseinbußen führen. Aus diesem Grund wurde auf dem unteren Abschnitt der Flur Ende 2002 kein Winterweizen eingesät. Das Profil ist auch deutlich hydromorph beeinflusst. Der Ap ist schluffig-lehmig mit einzelnen Grobskelettbruchstücken. Im angrenzenden Horizont befinden sich ebenfalls einzelne Sand- und Grusbestandteile. Die Skelettanteile sind jedoch deutlich geringer als im Bereich des Schwemmfächers. Durch Pflugtätigkeit wird auf dem Acker Material verlagert und verschleppt. Unter dem Ap folgt tonig-lehmiges, ab 144 cm sandig-lehmiges Substrat. Die zahlreichen Pflanzenreste im Profil sind ein eindeutiger Beleg für die alluviale Entstehung. Aufgrund des feuchten Milieus herrschen gute Erhaltungsbedingungen. Bei 216 cm Tiefe beginnt der aIC mit Sanden, vor allem Grobsand und immer wieder Grus sowie große Skelettbruchstücke liegen vor. Der Cv wurde bei 460 cm erreicht.

#### 6.2.4 Catena kleiner Schwemmfächer, Wolfsbach

Im Erosionssystem oberhalb des Schwemmfächers wurden vier Schürfruben angelegt (s. Abb. 42). Sie erschließen unterschiedliche Reliefpositionen. Die einzelnen Fahrwege auf

unterschiedlichen Niveaus sind noch gut zu erkennen. Es gibt eine Haupttieflinie, die auf der Flurkarte als Weg eingetragen ist. Insgesamt ist das System kleiner und weniger eingetieft als der Vergleichsstandort südlich Leidersdorf (vgl. Kap. 6.1). Der Hangbereich ist bewaldet. Auch hier ist die Verbindung zum Schwemmfächer durch einen Weg zerschnitten. Der Schwemmfächer ist ebenfalls kleiner. Der obere, relativ kurze Teil wird vom unteren Teil durch die ehemalige Bahnstrecke abgetrennt. Sondiert wurden die Scheitellinie sowie die seitlichen angrenzenden Bereiche. Der obere Teil des Schwemmfächers wird als Mähwiese genutzt, der untere als Acker. Bei hohen Wasserständen ist das Vils nahe Areal vernässt. Im Randbereich zur Vils ist durch den dort verlaufenden Abwasserkanal keine Sondierung möglich. Auf der gegenüberliegenden Vilsseite wird die Catena im Auenbereich fortgeführt. Hier sind Feuchtwiesen, Hochstaudenfluren sowie Grünland verbreitet. Durch Renaturierungsmaßnahmen (ökologischer Ausbau der Vils) des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG wurde in diesem Areal eine Vilsschleife, ein kleines Stillgewässer und ein Wassergraben geschaffen (vgl. Kap. 6.1). Es wurden jedoch nur diese Rinnen ausgebagert, so dass die anderen Flächen unbeeinflusst geblieben sind.



**Abb. 42:** Detailkarte des Teilgebietes Catena kleiner Schwemmfächer mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

Vier Schürfgruben charakterisieren das Erosionssystem im Hang oberhalb des kleinen Schwemmfächers. Je nach Reliefposition sind sehr unterschiedlich entwickelte Profile vorhanden.

Im Oberhangbereich ist eine Braunerde-Rendzina (**6637-37**) ausgebildet (Abb. 43). Es hat sich ein gering mächtiger Ah mit einem schmalen, verbrauchten Übergangsbereich entwickelt. Der Feinboden ist tonig-lehmig. Das Anstehende (ab 11 cm) besteht aus hellbraunen,

kalkhaltigen Blöcken, die zu sandig-grusigem Substrat verwittern. Diese Form der Dolomitverwitterung kann auch im großen Erosionssystem festgestellt werden (RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005).



**Abb. 43:** Profil 6637-37 (eigene Aufnahme)

Am Seitenbereich eines oberen Hohlweges liegt Profil **6637-38**. Es liegt ein Kolluvisol aus schwach tonigem Lehm mit einzelnen Steinen und Holzkohleflittern vor. Das Profil wurde bis 83 cm Tiefe aufgegraben.

In der Haupttiefenlinie, Profil **6637-39** (Kolluvisol) ist ein etwa 6 cm mächtiger Ah aus lehmigem Schluff mit Steinen entwickelt (Abb. 44). Die folgende, kolluviale Schicht geht ab 34 cm Tiefe zunehmend in Grobskelett aus Grus und Steinen bis hin zu Blöcken über. Der Feinboden wird mit der Tiefe sandig-lehmig und enthält auch Holzkohlen.



*Bild A*

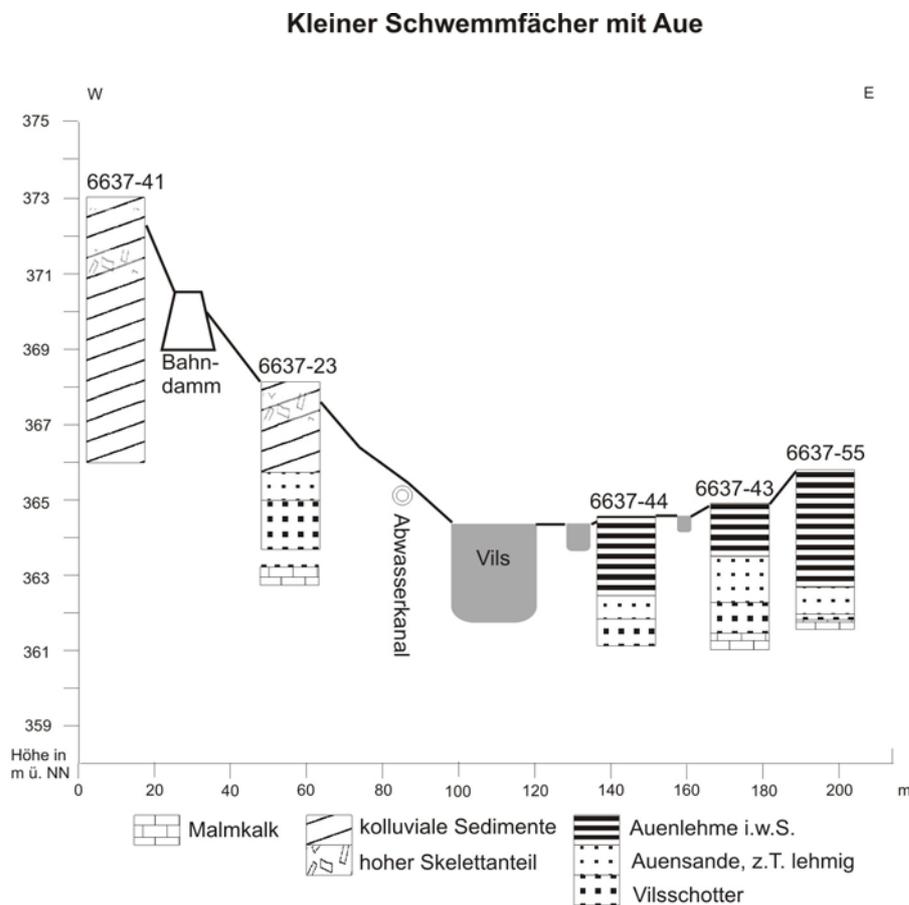


*Bild B*

**Abb. 44:** Bild A: Hohlweg mit Profil 6637-39 im Vordergrund, Profil 6637-40 liegt rechts oberhalb; Bild B: Profil 6637-40 (eigene Aufnahmen)

An einer Mittelrippe zwischen zwei Erosionsrinnen, etwa auf der gleichen Höhe wie 6637-38, liegen mächtige kolluviale Ablagerungen, die in Profil **6637-40** (Kolluvisol) aufgeschlossen wurden. Der Ah ist unterschiedlich mächtig. Er reicht von 2 bis 20 cm. In den stärker entwickelten Abschnitten zeigt sich beginnende Lessivierung. Es folgt ein kolluvialer Horizont aus braun bis rötlich braunem, kalkfreiem Lehm, einzelnen Bruchstücken und viel Holzkohle. Das Profil wurde bis 117 cm Tiefe freigelegt (s. Abb. 44).

Die Abbildung 45 zeigt schematisch den Aufbau des kleinen Schwemmfächers sowie den anschließenden Auenbereich. Der Grundaufbau ist vergleichbar mit dem großen Schwemmfächer. Im oberen Teil stehen mächtige kolluviale Ablagerungen an. Im Unterhang liegen kolluviale über alluvialen Sedimenten vor.



**Abb. 45:** Kleiner Schwemmfächer mit angrenzender Aue (skizziert u. vereinfacht, überhöht)

Der kleine Schwemmfächer ist ebenfalls durch den Bahndamm geteilt. Profil **6637-41** (Kolluvisol) liegt auf dem Scheitelpunkt im oberen Teil des Schwemmfächers. Der Oberboden besteht aus dunkelbraunem, schluffigem Lehm mit verschiedenen Skelettbruchstücken. Von 41 bis 100 cm geht der Skelettanteil stark zurück und steigt wieder stark zwischen 140 und 196 cm an. Ab dieser Tiefe überwiegt bis 700 cm schwach sandiger Lehm mit vereinzelt Skelettanteilen (vor allem Kalkbruchstücke). Auffällig sind eine

humose Zwischenlage von 472 - 475 cm und eine tonig-schluffige Lage von 475 - 500 cm. Es sind kaum Holzkohleflitter vorhanden. Die kolluvialen Ablagerungen sind so mächtig, dass das Anstehende bei 700 cm Tiefe nicht erreicht wurde.

Seitlich vom Scheitel zeigt Profil **6637-42** (Kolluvisol) einen ähnlichen Aufbau. Bis 163 cm ist das Profil schluffig-lehmig und enthält in weiten Teilen viel Skelettmaterial. Es folgt bis 300 cm eine Schicht mit schwach feinsandigem Lehm mit nur vereinzelt Skelettbruchstücken. Ab 363 cm steigt der Schutt- und Grusanteil deutlich, bis ab 544 cm der Feinboden schluffiger wird und der Skelettanteil stark zurückgeht. Bei 700 cm konnte auch hier das Anstehende nicht erreicht werden. Die humose Zwischenlage von Profil 6637-41 fehlt.

Der Grundaufbau mit hohen Skelettanteilen im Oberboden und in einer Zwischenschicht ist vergleichbar mit dem Aufbau des großen Schwemmfächers. Die ausgeprägte humose Zwischenlage in dieser Reliefposition ist für das Untersuchungsgebiet einmalig. Im unteren Teil des kleinen Schwemmfächers liegen, wie beim Schwemmfächer südlich von Leidersdorf, kolluviale Ablagerungen über sandig-kiesigen, alluvialen Sedimenten (vgl. Abb. 34 und 45).

Im unteren Teil des Schwemmfächers, zwischen Bahndamm und Vils, liegt auf dem Scheitel das Profil **6637-23** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten). Im Anschluss an den schluffig-lehmigen Ap folgt bis in eine Tiefe von 85 cm eine Schicht mit viel Skelett und Sand (IC-M), die häufig im ersten Meter unter Geländeoberkante bei den Schwemmfächern vorliegt. Es schließen sich Schichten mit schluffigem und feinsandigem Lehm an. Bei 234 cm Tiefe erfolgt ein deutlicher Wechsel von kolluvialem Material zu alluvialem Sand und Grus bzw. Kies. Es sind Schichtungen/Wechselagerungen unterschiedlicher Sande vorhanden. Der Bereich aM-aIC bzw. aIC ist sehr mächtig (234 - 450 cm). Der Cv konnte nicht erbohrt werden, aber der aIC ist vergleichbar zu den benachbarten Profilen. Für das Profil liegen einzelne Laborwerte vor. Höhere Skelettgehalte weisen erwartungsgemäß die Proben 1 - 3 (1 - 85 cm) sowie Probe 16 (327 - 340 cm, aIC) und die Proben 19 und 20 (420 - 450 cm, aIC) auf. Die pH-Werte liegen um 6,8 - 6,9 (sehr schwach sauer), im Oberboden sind die Werte etwas niedriger.

**6637-22** ist eine Parallelsondage zu 6637-23, die abgebrochen werden musste. Der Abstand beträgt etwa 0,5 m. Es bestehen leichte Unterschiede zwischen den Bohrungen, die die natürliche Varianz, z.B. im Bezug auf Tiefenangaben, zeigen. Die Profile sind jedoch insgesamt gut vergleichbar. Das Profil beginnt mit schluffigem Lehm, wechselt zu sandiger Feinbodenfraktion mit viel Skelett, auf die wieder schluffiger Lehm folgt.

Das Profil **6637-24** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten) liegt seitlich des Scheitels im unteren Teil des kleinen Schwemmfächers. Der Ap ist schluffig-lehmig mit etwas Bodenskelett. Der folgende Horizont (jyC-M) ist sehr wahrscheinlich durch den nahen Lagerplatz des dortigen Sägewerks beeinflusst. Er enthält Ziegel- und Kalkbruchstücke sowie sehr viel Holzkohle. Es schließt sich ein IC-M-Horizont aus Lehm mit vielen Skelettbruchstücken an, wie er häufig in den Schwemmfächern zu finden ist an. Allerdings ist er hier recht mächtig. In 183 bis 217 cm Tiefe steht toniger Lehm an auf den unterschiedlich geschichtete, alluviale Sande (alC) folgen. Ab 284 cm steigt der Grusanteil deutlich an. Der Cv, bestehend aus angewittertem Kalkschutt beginnt bei 425 cm unter Geländeoberkante. Der Grundaufbau entspricht dem Profil 6637-25, jedoch fehlt dort ein ausgeprägter IC-M- bzw. jyC-M-Horizont (68 - 183 cm). Das Profil 6637-24 ist in den sandigen Horizonten mehr untergliedert.

Auf der gegenüberliegenden Seite des Schwemmfächerscheitels befindet sich der Standort von Profil **6637-25** (Kolluvisol über alluvialen Sedimenten). Das Profil ist aus einem schluffig-lehmigen Ap mit Grobskelettanteilen über lehmig-tonigen M-Horizonten aufgebaut. Von 224 cm bis 368 cm steht sandiges Substrat an, das von einer skelettreicheren Zwischenschicht geteilt wird. Ab 368 cm Tiefe folgt Sand und Grus. Der Cv mit angewittertem Kalkschutt beginnt bei 446 cm.

Das Profil wurde für detaillierte Laboranalysen ausgewählt (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 46). Der Ap besteht aus schluffigem Lehm mit einem erheblichen Skelettanteil (20,5 %). Die Proben 2 - 5 (21 - 224 cm) sind nahezu Skelett frei bei mittel tonigem Lehm. Von 100 - 155 cm ist kein Bohrgut vorhanden. Insgesamt zeigen die Proben weniger Gesamtschluff als beispielsweise am Oberhang oder in den Auenstandorten. Der Schichtwechsel bei 224 cm geht einher mit dem Anstieg der Sandanteile. In Probe 6 steigt zunächst vor allem der Feinsandanteil auf 29,3 %. In Probe 7 steigt zusätzlich der Mittelsandanteil (mS: 18,6 %; fS: 48,4 %). Mit dem weiteren Anstieg des Sandes gehen die Schluff- und Tonanteile deutlich zurück. Probe 8 (Schicht IV, 267 - 300 cm) hat einen sehr hohen Skelettgehalt (50,3 %) und hohe Gehalte an Mittel- und Grobsand. In den Proben 9 und 10 ist kaum noch Skelett vorhanden und es dominiert wieder mit mehr als 50% der Feinsand bei > 70 % Gesamtanteil Sand. Schicht VI, Proben 11 und 12 (368 - 446 cm), bildet mit rund 30 % Skelettanteil und mit viel Mittel- und Grobsand einen typischen alC kurz vor Beginn des Anstehenden. Der ICv weist laut Korngrößenanalyse einen sandigen Lehm und mehr als 70 % Skelettanteil auf. Schluff und Ton sind in etwa in gleichen Teilen vorhanden. Der dominierende Sand setzt sich vor allem aus Grobsand (32,7 %) zusammen. Der CaCO<sub>3</sub>-Gehalt liegt bei 50,6 %. Nur der Ap ist deutlich humos. Leicht erhöhte TOC Werte einiger Proben, z.B. Probe 3 und 5, gehen vermutlich auf Holzkohlereste zurück. Der pH-Wert ist

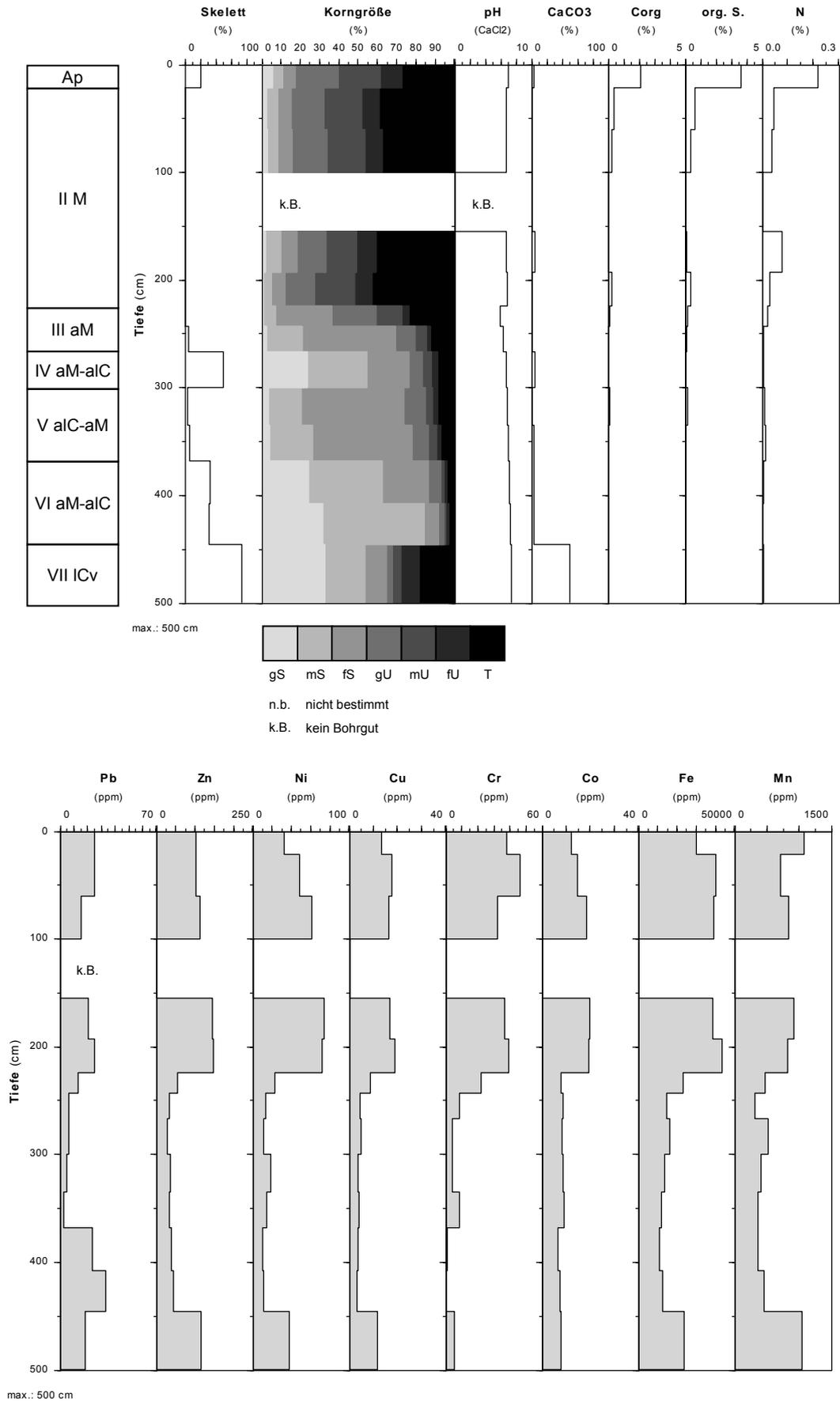


Abb. 46: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-25

zunächst relativ hoch (6,9) und sinkt langsam bis auf 6,0 in Probe 6. Dann steigt er wieder langsam bis auf 7,4 im ICv. Neben dem Cv sind weitere Proben carbonathaltig. Die Werte liegen zwischen 3,2 und 4,8 % CaCO<sub>3</sub>. Ursache sind in der Regel Kalkbruchstücke in den Horizonten, die neben Splittern auch das Feinsubstrat selber beeinflussen. Der aIC über dem Cv ist hingegen häufig carbonathaltig.

Die Schwermetallgehalte sind im Ap nicht höher als in den darunter liegenden Horizonten. So hat Zink beispielsweise die höchsten Gehalte in den Proben 4 und 5 (146 bzw. 149 ppm). Als Ursache können die hohen Ton-Gehalte von mehr als 40 % herangezogen werden. Alle Schwermetallgehalte fallen ab der Probe 6 (bei 224 cm) deutlich ab. Dies geht einher mit einem Anstieg des Sandanteils und Rückgang der Schluff- und Tonanteile. In Probe 7 steigt der Sandanteil auf fast 70 %, die Schwermetallgehalte sinken i.d.R. noch weiter. Die Konzentration von Zink weist ab diesem Punkt beispielsweise nur noch 34 ppm, die von Nickel 14 ppm und die von Chrom 8 ppm auf. Im ICv ist ein sekundäres Maximum von Zink, Nickel, Kupfer, Eisen und Mangan, bei einem Anteil von 74,6 % Skelett und 50,6 % CaCO<sub>3</sub>, zu beobachten. Dieser Anstieg ist häufig vorhanden. Die Bleiwerte steigen schon in der Schicht VI, Proben 11 und 12 an, obwohl Sand, hohe Skelettgehalte und geringere Carbonatgehalte vorliegen. Insgesamt sind die Werte, sowohl im Vergleich zu den reinen Auenprofilen als auch zum geochemischen Hintergrund, als gering einzustufen.

Der Grundaufbau der Profile 6637-25, 23 und 24, die den Schwemmfächer als Querprofil erfassen, ist für die unteren Teile der Schwemmfächer charakteristisch. Die vereinfachte Horizontabfolge ist: Ap - M - aIC - Cv. Die Profile 23 und 24 weisen beide einen IC-M-Horizont und eine Wechsellagerung von Sanden auf. Der Wechsel von M zu aIC bzw. aIC zu Cv ist gut vergleichbar (Profil 25: 224 bzw. 446 cm; Profil 23: 234 cm, zu Cv nicht erfasst; Profil 24: 217 bzw. 425 cm).

Die Catena vom Scheitel des kleinen Schwemmfächers (6637-41, 6637-22/23) wird auf der gegenüberliegenden Vilsseite durch die Profile 6637-44, 6637-43 und 6637-55 fortgesetzt (vgl. Abb. 42). Die Aue ist grob aus Auenlehmen, gefolgt von z.T. lehmigen Auensanden und anschließendem Vilsschotter aufgebaut. Darunter folgt der Malmkalk. Die Renaturierungsmaßnahmen und die dort verlaufenden Wassergräben erschwerten die Standortwahl.

Profil **6637-44** (Auengley) liegt zwischen einem wassergefüllten Graben und einem Vilsarm. Es zeichnet sich durch seine Lage im stark Hochwasser gefährdeten Bereich aus. Das Profil lässt sich grob in drei Teile gliedern. Bis 194 cm dominieren Schluff und Ton, dann folgen sehr sandige Horizonte, die z.T. viel Skelett enthalten. Ab 300 cm Tiefe steigt der Skelettanteil auf über 65 % und es dominiert Grobsand. Der Cv wurde nicht erreicht. Der

erste Teilbereich umfasst die Proben 1 - 8 (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. A 5 im Anhang). Alle haben hohe Schluffgehalte von 60 % und höher. Grob- und Mittelschluff sind recht homogen verteilt, der Feinschluff ist durchschnittlich etwas mehr vorhanden, als in vergleichbaren Profilen. Die Proben 3 - 5 haben weniger Sand (unter 10 %) und dafür leicht höhere Tongehalte. Der starke Sandanstieg bei Probe 9 (194 cm, Schicht III) geht einher mit einem Abfall der Schluffgehalte. Der Sandanteil steigt bis auf 80,9 %, wobei durchgängig der Mittelsand dominiert und Grob- und Feinsand in ihren Anteilen schwanken. Auffällig ist die Probe 11, 224 - 245 cm mit 50,8 % Skelett. Der a1C ab 300 cm ist zunächst geprägt von Grobsand und mehr als 65 % Skelett. Dann geht er in eine fein- bis mittelsandige Ausprägung über. Der pH-Wert fällt von 7,1 in Probe 1 bis auf 4,9 in Probe 5 (100 - 123 cm) und steigt dann tendenziell bis auf 8,0 im a1C an. Das Abfallen des pH-Wertes in den rezent redoximorph geprägten Horizonten ist häufig zu beobachten. Neben dem aAh mit 2 % CaCO<sub>3</sub> ist der Abschnitt ab 300 cm kalkhaltig. Probe 16 mit dem höchsten CaCO<sub>3</sub>-Gehalt im Profil von 10,4 % ist, wie die zahlreichen Kalkbruchstücke und die beige Farbe zeigen, schon stark vom anstehenden Gestein beeinflusst. Das Profil hat die höchsten TOC-Gehalte im Oberboden, die dann stetig mit der Tiefe abnehmen. Von 5,3 % im aAh sinkt der Wert bis 123 cm Tiefe auf 1,6 %. Es sind zahlreiche Makroreste vorhanden. Von 123 bis 209 cm ist, neben Makroresten, auch diffus verteilte organische Substanz vorhanden (0,8 - 1,0 % TOC, Farbe graubraun bis grauschwarz). Es gibt keine fossilen, stark humosen Horizonte.

Die Blei-, Zink-, Kupfer- und Chromkonzentrationen haben ihre Maxima im aAh, zurückzuführen auf den rezenten Einfluss. Insgesamt sind die Schwermetallgehalte gering. Die Kobaltgehalte nehmen relativ gleichmäßig mit der Tiefe ab. Eine Ausnahme besteht in den Proben 9 und 10. Es handelt sich aber trotz guter Parallelen um sehr geringe Unterschiede in den Messwerten sowie um den messanalytischen Grenzbereich. Allerdings weist die Probe 10 bei allen Schwermetallen einen Einbruch der Gehalte auf. Ursache ist sicher der hohe Sandgehalt (80,9 %) bei gleichzeitig sehr geringen Tongehalten (8,5 %). In Probe 11 steigen mit dem Tongehalt auch wieder die Schwermetallgehalte. Mangan weist in Probe 2 (aGho) mit 2.589 ppm einen der höchsten Werte im Untersuchungsgebiet auf. Im Feldbefund waren auch Manganausfällungen besonders auffällig. Ebenfalls mehr als 2.000 ppm Mangan enthält Probe 8, die aber im Feldbefund keine entsprechenden Merkmale aufwies. Eisen ist am höchsten in den oxidativ beeinflussten Horizonten, wie etwa Probe 2 (aGho), konzentriert. Bei den Elementen Blei, Zink, und schwächer ausgeprägt bei Kupfer, erfolgt ein Schnitt bei 123 cm Tiefe (Probe 3). Die Konzentration von Zink sinkt unter 100 ppm, die von Blei unter 20 ppm, gleichzeitig gehen die TOC- und Tongehalte zurück. Die fast reinen Sande (Probe 10, 15 und 17) haben die niedrigsten Gehalte an Schwermetallen. Hohe Kalkgehalte, wenn sie verbunden sind mit Kalkbruchstücken, können die Werte z.B. von Eisen erhöhen (Bsp. Probe 16). Rötliche oder orangefarbene Sande sind nicht zwingend

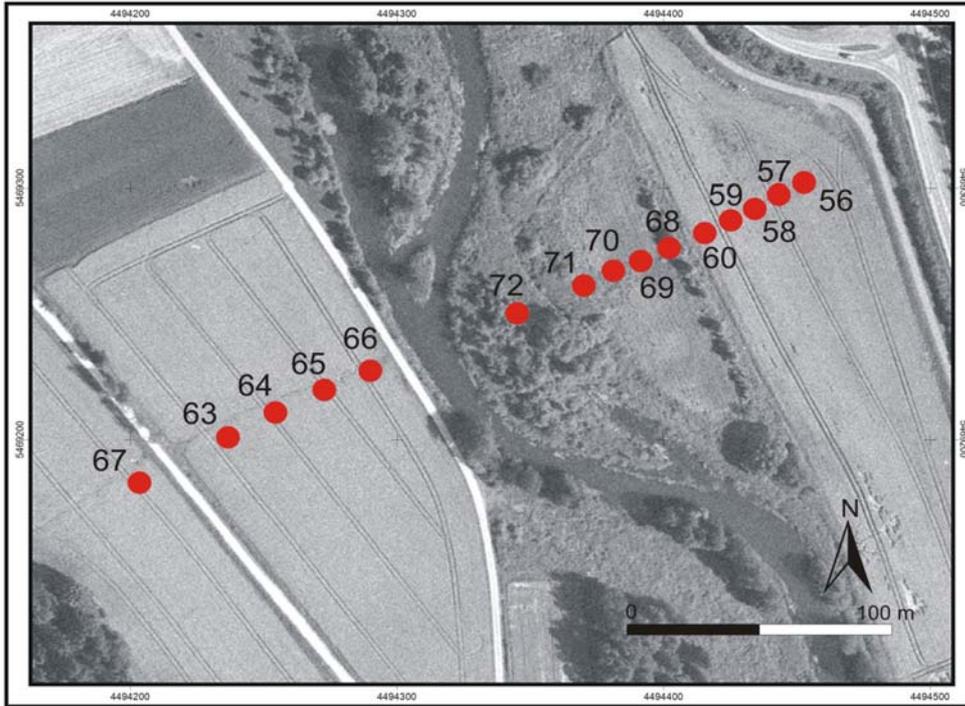
stärker eisenhaltig, was der Vergleich der Proben 10, 12, 14 (rötlich braun, braunorange) mit den Proben 15, 16, 17 (sandfarben), zeigt. Allerdings ist bei dem Vergleich zu berücksichtigen, dass andere Faktoren wie etwa Kalkgehalt oder der Tonanteil der Probe die Ergebnisse überlagern können.

Die Catena wird fortgesetzt von Profil **6637-43** (Auengley). Das Profil beginnt im Oberboden mit schluffigem Lehm sowie Makroresten und Holz. Die stark oxidativ beeinflussten Horizonte (34 - 117 cm) sind stärker schluffig und tonig. Die Schicht II, 117 - 270 cm, ist durch Wechsellagerungen geprägt und die Makroreste nehmen ab. Ab 270 cm dominieren Grus, Grobsand und Grobskelett, die rotbraun gefärbt sind. Bei 348 cm vermischt sich der a1C mit Kalkschutt (Cv). Profil 6637-43 ist wie 6637-44 ab etwa 200 cm sandiger als oberhalb. Eine stark skeletthaltige Zwischenschicht fehlt jedoch. Der a1C beginnt bei beiden Profilen in ähnlicher Tiefe, aber Farbe und Zusammensetzung unterscheiden sich.

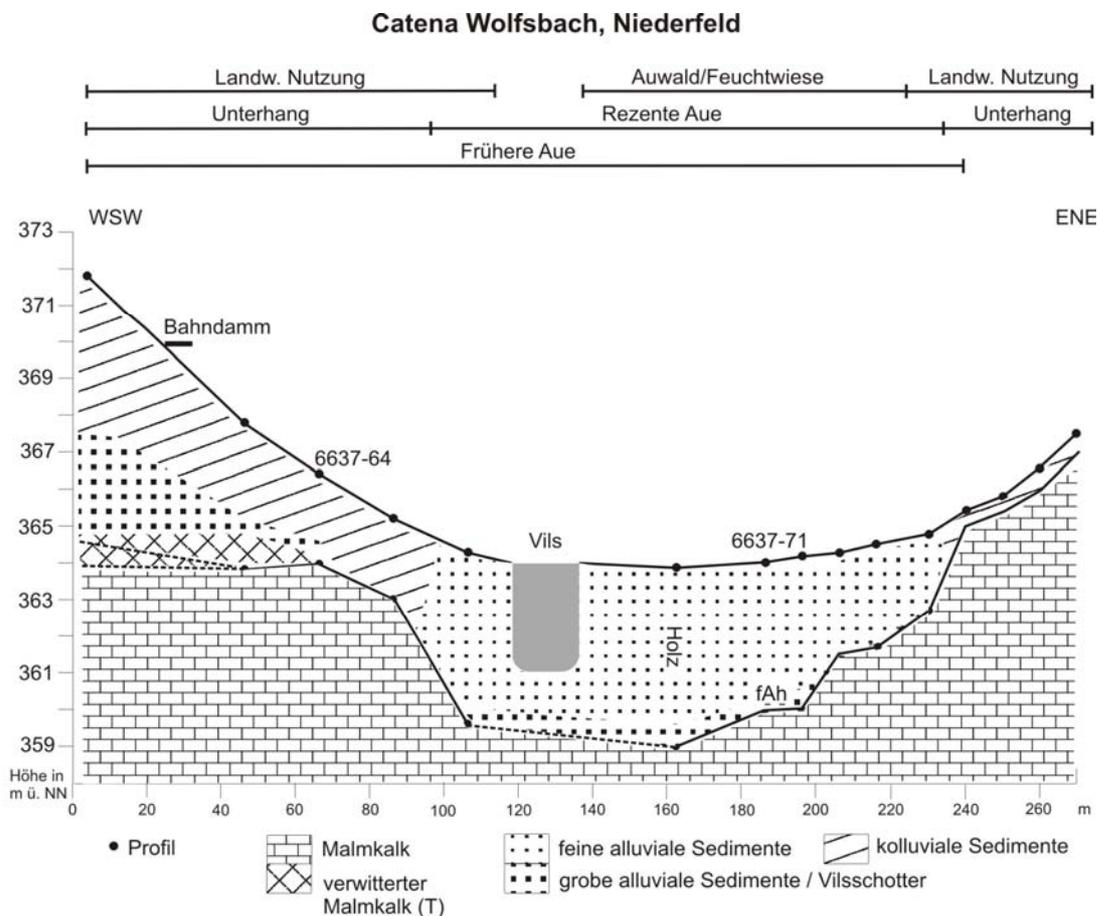
Den Endpunkt der Catena bildet Profil **6637-55** (Vega). Durch die ehemalige, ackerbauliche Nutzung ist ein recht mächtiger Ap in schluffigem Lehm entwickelt. Die Schicht enthält viele Skelettbruchstücke, ebenso wie die folgende Schicht, die jedoch stärker schluffig ist. Dieser hohe Anteil an weißen Skelettbruchstücken ist eher typisch für kolluviale oder anthropogen beeinflusste Schichten. Die beiden folgenden Schichten, schluffig-tonig sowie lehmig, enthalten kaum grobes Material. In 320 cm Tiefe erfolgt der Wechsel zu lehmigen Sanden, die bis 376 cm reichen. Dann beginnt der a1C aus Grobsand, Grus und einigen Skelettbruchstücken. Bei 398 cm beginnt der angewitterte Malmkalk in Form von schluffig-grusigem Feinboden mit kantigen Skelettbruchstücken. 6637-55 weist weniger Wechsel auf als 6637-43 und der a1C ist weniger mächtig. Beides ist vermutlich Folge der größeren Entfernung vom Fluss.

#### 6.2.5 Catena Wolfsbach, Niederfeld

Die Catena Wolfsbach, Niederfeld liegt zwischen den Hammerwerken Wolfsbach und Leidersdorf. Sie hat mit 15 Einzelprofilen die höchste räumliche Auflösung und erschließt nahezu den ganzen Talbereich (s. Abb. 47). Die Catena erfasst sowohl kolluviale Hangbereiche als auch alluviale Talauensedimente über eine Breite von etwa 270 m (s. Abb. 48). Auf beiden Talseiten sind die Unterhänge unter ackerbaulicher Nutzung. In der Talaue haben sich nach Renaturierungsmaßnahmen Auwald und Feuchtwiesen, die einmal jährlich gemäht werden, entwickelt. Die Talhänge sind unterschiedlich stratigraphisch entwickelt. Der Talhang im Osten ist der Auslaufbereich einer muldenförmigen Tiefenlinie. Heute trennt eine Straße diese Reliefelemente voneinander. Der Boden ist flachgründig und stark erodiert. Neben sehr zahlreichen Kalkbruchstücken sind auch immer wieder Lesefunde



**Abb. 47:** Detailkarte des Teilgebietes Catena Wolfsbach, Niederfeld mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)



**Abb. 48:** Catena Wolfsbach, Niederfeld (vereinfacht und überhöht)

von unterschiedlichen Schlacken anzutreffen. Die Aue weist mehrere Meter mächtige alluviale Sedimente auf. Der Hang auf der westlichen Talseite ist hingegen durch mächtige kolluviale Auflagen geprägt. Die Beschreibung der Einzelprofile erfolgt von Ost nach West.

Für Profil **6637-56** (Rendzina) am östlichen Rand der Catena, erfolgten mehrere Bohrversuche, wobei die erste schon bei 30 cm Tiefe wegen Steinen abgebrochen werden musste. Die Fläche wird ackerbaulich genutzt (s. Abb. 49). Der jyC-Ap aus sandigem Lehm enthält zahlreiche Kalkbruchstücke sowie Schlacken. Auf dem ganzen Feld konnten zum Teil sehr große Schlacken als Lesefunde aufgenommen werden. Die beiden folgenden Schichten sind durch rötliche, z.T. lehmige Mittelsande und weißen Kalkschutt geprägt. Das Profil erreichte eine Endtiefe von 77 cm. Aufgrund der Horizontausprägung wird das Profil als Rendzina angesprochen, die jedoch kolluvial und stark erosiv beeinflusst ist.



Bild A



Tiefe in cm unter GOK

Bild B

**Abb. 49:** Bild A: Catena Wolfsbach, Niederfeld, östlicher Teil; Bild B: Profil 6637-56 (eigene Aufnahmen)

Profil **6637-57** (Rendzina) reicht nur bis in eine Tiefe von 49 cm. Der jyC-Ap ist schwach sandig-lehmig und enthält viel weißen Kalkschutt sowie Ziegelreste. Ab 27 cm folgt lehmiger Sand mit weißem Kalkschutt. Die rotbraune Farbe geht nach unten langsam in grau über, was ein Indiz für eine Beeinflussung durch Grundwasser ist.

Das anschließende Profil **6637-58** (Kolluvisol) beginnt ebenfalls mit schwach sandigem Lehm und weißem Kalkschutt. Ab 25 cm herrscht lehmiger Sand mit weißen Kalkbruchstücken vor. Die letzte Schicht, 44 - 74 cm besteht aus rotbraunen bis orangefarbenen Sanden und Kalkschutt.

Für das Profil **6637-59** (Kolluvisol) wurden exemplarisch einige Laborwerte ermittelt (s. auch Tab. A 6 im Anhang). Der Ap hat mit 30,3 % einen sehr hohen Skelettgehalt für einen

Ackerstandort. Neben Kalkschutt sind auch Ziegelreste und Schlacke enthalten. Der Feinboden besteht aus sandigem Lehm. In der folgenden Schicht sinkt der Skelettgehalt auf 8,8 %. Der tonige bis stark lehmige Sand enthält nur einzelne Kalkbruchstücke. Die Schicht III reicht von 50 bis 98 cm Tiefe und enthält rotbraune bis hellrotbraune Sande, Kalkschutt und Kiese. Damit steigt der Skelettgehalt auf über 60 bzw. 70 % an. Der pH-Wert ist hoch, er beginnt mit 7,3 und steigt in Probe 4 bis auf 7,8. Die  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte liegen zwischen 1,5 und 3,6 %. Die Werte für Skelett und Kalk entsprechen dem Feldbefund. Das Profil enthält ungewöhnlich viel Sand und Kalkschutt.

Die Böden sind außerordentlich skelettreich und kaum entwickelt. Wahrscheinlich wurde der ehemalige Ah erosiv abgetragen und der jetzige Ap ist der ehemalige Bv-cCv Horizont. Nicht auszuschließen sind auch negative Beeinflussungen durch den Straßen- und Wegebau. Beide verlaufen oberhalb der Fläche und sind durch eine steile Böschung abgetrennt. Die Fläche stand vor dem Bau in Verbindung mit einer großen, muldenförmigen Tiefenlinie oberhalb der Straße. Begehungen ergaben, dass dort weiße Kalksteine oberflächlich vorliegen. Die roten, rotbraunen oder orangefarbenen Sande können aufgrund der Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet sowohl kolluvial als auch alluvial eingetragen worden sein. Sie finden sich häufig in den tiefen Schichten der Auenprofile, aber auch im Erosionssystem oberhalb des großen Schwemmfächers konnten am Hang rötliche Sande aufgeschlossen werden.

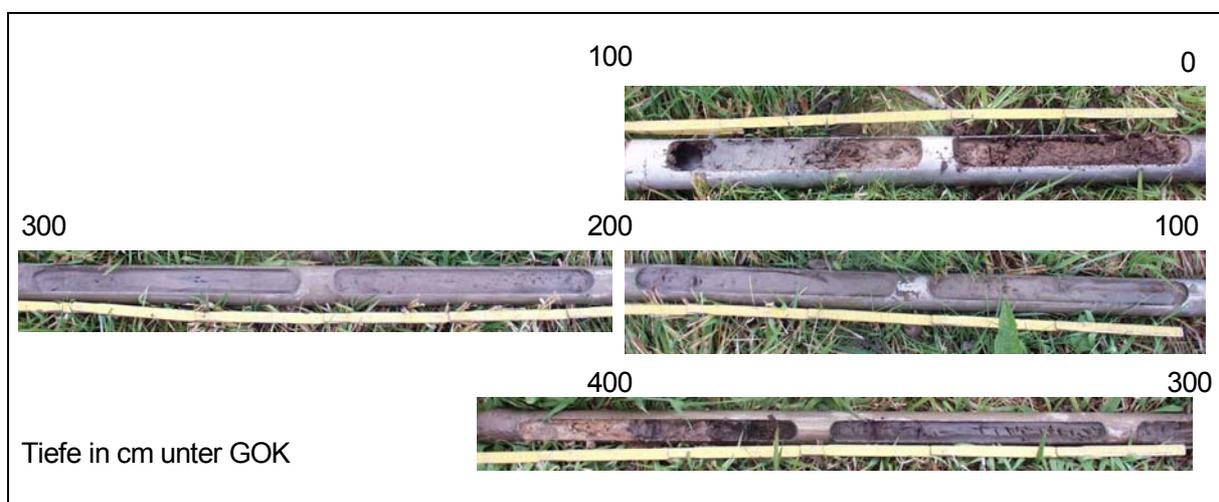
Im Profil **6637-60** (Kolluvisol) kommt es zur Verschneidung kolluvialer und fluvialer Sedimente. Der Oberboden besteht aus sandigem Lehm und Kalksteinen, die ab 50 cm abnehmen. Zwischen 76 und 91 cm ist eine Kalkschuttlage ausgebildet. Es schließt sich eine Schicht aus rötlich-braunem, lehmigem Sand an. In 124 cm Tiefe beginnt der fluviale Einfluss. Es folgt Grob- bis Mittelsand, Kies und Grus. Zwischen 140 und 180 cm liegt toniger Lehm vor, darunter folgt wieder Grobsand. Der angewitterte, ockerfarbene Kalkschutt beginnt in 190 cm.

Ein Entwässerungsgraben teilt die Catena an dieser Stelle. Mit Profil **6637-68** (Auengley) setzen anschließend die hydromorph geprägten Böden ein. Das Profil beginnt schluffig-lehmig. Im Bereich 37 - 100 cm wird es etwas sandiger und enthält, wie die vorausgehenden Profile, zahlreiche Kalksteine. Bis 146 cm wechseln sich eher schluffige mit eher lehmig-sandigen Horizonten ab. Sie sind überwiegend von reduzierenden Bedingungen geprägt. Dann erfolgt ein Wechsel zu lehmigen Sanden, die zum Teil orangebraun sind. In 213 cm Tiefe verändert sich das Bild. Es steht tonig-sandiger Feinboden vermischt mit Steinen an. Der a1C aus Steinen und Grus beginnt bei 255 cm und geht fließend über in den ICv (276 - 310 cm) aus Schluff und Kalkschutt. Das Anstehende beginnt bei Profil 6637-68 noch einmal deutlich tiefer.

Das in sich in 10 m anschließende Profil **6637-69** (Auengley) beginnt lehmig und wird im aGo-Horizont (31 - 56 cm) schluffiger. Dieser Horizont weist stark ausgeprägte oxidative Merkmale auf. Zwischen 56 und 63 cm treten, vergleichbar mit 6637-68, zahlreiche Kalksteine auf. Die anschließenden aGr-Horizonte (63 - 151 cm) sind tonig-schluffig und damit weniger sandig als bei 6637-68. In 151 cm beginnt ein tonig-sandiger bis lehmig-sandiger Bereich. Er ist überwiegend dunkelgraubraun, aber zwischen 213 und 231 cm orangerot. Bei 256 cm erfolgt ein langsamer Übergang zum alC mit der Zunahme von Kiesen und Kalkbruchstücken. Der ICv aus Kalkschutt steht ab 277 cm an. Dies entspricht Profil 6637-68.

Profil **6637-70** (Auengley) beginnt wie die benachbarten Profile mit einem lehmigen Ah und einem daran anschließenden tonig-schluffigen Abschnitt. Eine Lage mit vermehrten Kalksteinen tritt nicht mehr auf. In 120 cm setzen mächtige, Sand dominierte Schichten ein. Makroreste sind nur bis 167 cm vorhanden. Bis 247 cm ist das Profil sandig-lehmig, wobei sowohl Feinsand als auch Mittel- bis Grobsand dominieren kann. Grobsande sind an dieser Position ungewöhnlich. Dann folgen tonige Feinsande bis 353 cm. Ein ausgeprägter Schotterkörper fehlt. Mittelsande mit kleinen Gruspartikeln (353 - 368 cm) liegen über schluffigem Kalkschutt (368 - 407 cm). Der Cv steht nochmals deutlich tiefer an, als beim vorherigen Profil.

Weitere 10 m in Richtung Vils liegt Profil **6637-71** (Auengley). Von den Auenprofilen der Catena wurde es als Referenzprofil ausgewählt (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 51). Es liegen schluffig-lehmige Horizonte über stark lehmigen Sanden (ab 120 cm), gefolgt von einem stark organischen Horizont (fAh, 343 - 376 cm), vor. Darunter schließen sich Grobsand, Kies, Grus und Steine an, die bei 399 cm Tiefe in den angewitterten Kalkschutt übergehen (Abb. 50).



**Abb. 50:** Profil 6637-71 (eigene Aufnahmen)

Der aAh (Probe 1) zeichnet sich durch einen sehr hohen Schluffgehalt (74,9 %) aus. Die Proben 2 - 4 haben die typische Korngrößenverteilung eines schluffigen Lehms. Die Schluffgehalte sinken im folgenden von über 60 % auf zunächst um 40 % in den Proben 6 - 8 und fallen dann auf um 30 % zurück (Proben 9 - 15). Während in den oberen 83 cm alle Schluff-Fractionen stark vorhanden sind, gehen ab diesem Punkt zunächst vor allem der Mittel- und Feinschluff deutlich zurück und ab Probe 9 auch der Grobschluff. Mit dem Rückgang des Schluffs vollzieht sich ein Anstieg des Sandes. In den Proben 5 - 8 geschieht dies durch die Zunahme von Fein- und Mittelsand. Ab Probe 9 steigt der Grobsandanteil auf Kosten des Feinsandes. Es dominiert der Mittelsand. Damit einher geht ein geringer Skelettgehalt (Ausnahme: Probe 9). Hohe Skelettgehalte liegen z.T. im fAh°aGr sowie in den aIC und ICv Schichten vor. Die Tongehalte sind in den Proben 2 und 3 am höchsten (Maximum 26,8 %) und bleiben im Profil recht konstant. Den niedrigsten gemessenen Wert weist die sandig-grusige Probe 18 mit 8,0 % auf. Neben dem Ah (Probe 1) ist auch der fAh+aIC (Probe 18) leicht kalkhaltig. Der ICv-aIC und der ICv, Proben 19 und 20 haben typischerweise hohe CaCO<sub>3</sub>-Gehalte mit 20,2 bzw. 59,4 %. Der pH-Wert ist im Oberboden mit 7,2 (Probe 1) recht hoch und fällt im aGor (Probe 4, 64 - 83 cm) auf 5,0 ab. Im Rest des Profils schwankt der Wert um 6 (schwach bis mittel sauer) und steigt in Richtung des Anstehenden auf über 7. Der Oberboden weist hohe TOC-Werte (aAh, 6,7 %) auf, die z.T. durch ausgeprägtes Wurzelwerk hervorgerufen werden. Die Wurzeln reichen bis in 83 cm Tiefe. Vereinzelt treten, im Profil verteilt, Makroreste auf. In den lehmigen Sanden und sandigen Lehmen liegen die TOC-Werte zwischen 0,3 und 0,9. Schicht VI (343 - 376 cm) und auch noch die angrenzende Schicht VII bilden einen fossilen, stark organisch geprägten Abschnitt. Probe 16 (343 - 356 cm) ist sandig-lehmig und hat einen erheblichen Skelettanteil bei 1,8 % organischem Kohlenstoff. Probe 17 (356 - 376 cm) besteht fast nur aus organischer Substanz (TOC: 10,0 %), die Farbe reicht von braun bis schwarz. Der Horizont ist kein typischer fAh bzw. fAa, da er zahlreiche Holzstückchen, aber auch Makroreste enthält. Probe 18, Schicht VII (376 - 388 cm) ist einerseits durch 13,1 % Skelett und 84,6 % Sand, den typischen aIC Merkmalen geprägt, andererseits enthält sie zahlreiche organische Reste und ist entsprechend schwarzbraun gefärbt.

In den Schwermetallgehalten des aAh zeigt sich der rezente Einfluss durch häufige Überflutungen des Standortes. Sehr hoch sind die Konzentrationen von Blei (170 ppm) und Zink (496 ppm). Ebenso deutlich erhöht sind die Werte von Kupfer und Chrom. Die Proben 1 bis 3 weisen für das Untersuchungsgebiet außergewöhnlich hohe Eisenwerte (57.321 - 81.835 ppm) auf. Probe 2 hat außerdem einen extrem hohen Mangangehalt (9.574 ppm). Ursache sind vor allem die im Feldbefund aufgenommenen kleinen und großen oxidativen Ausfällungen der verschiedenen Go-Horizonte, die bis Probe 5 reichen. Mangan weist noch mal in Probe 9 einen hohen Wert auf. In Probe 17 haben die Gehalte von Blei und Zink im

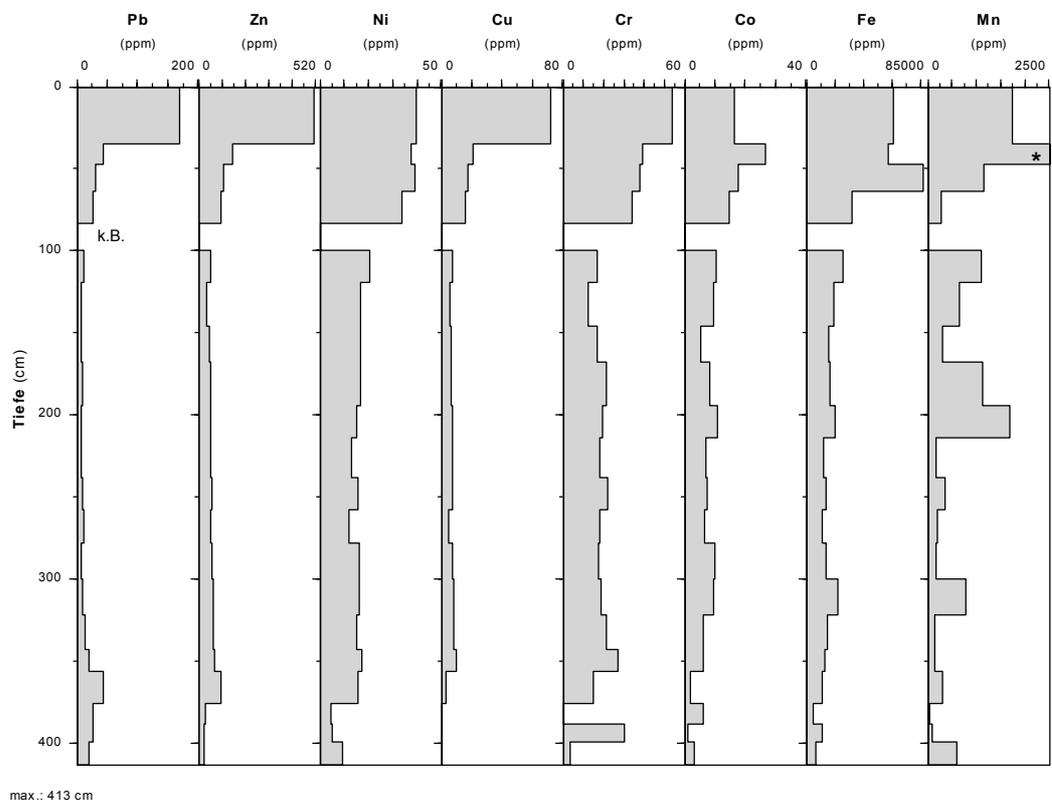
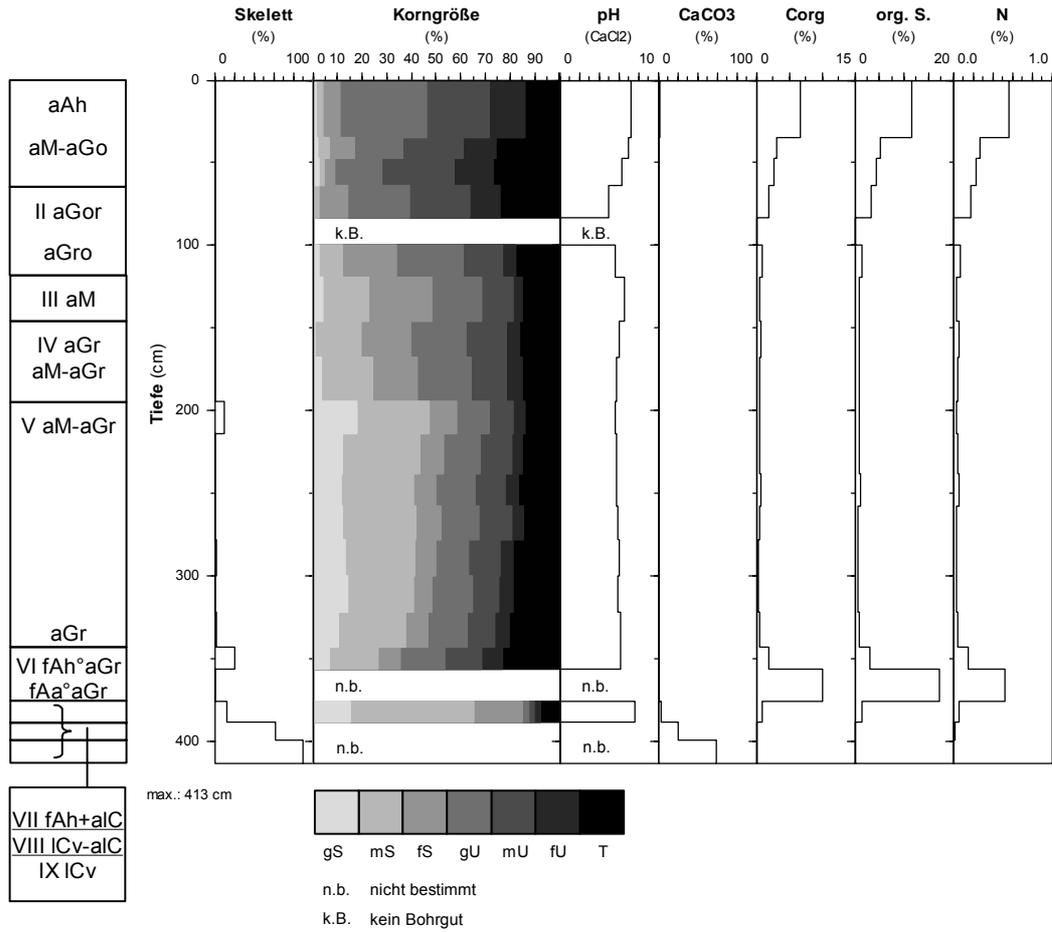


Abb. 51: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-71 (\* = Wert liegt bei 9574 ppm)

Verhältnis zu den umgebenden Proben ein kleines, sekundäres Maximum aufgrund des hohen organischen Anteils und der damit verbundenen höheren Bindungskapazitäten. Insbesondere Blei bindet sich stark an die organische Substanz. Die daran anschließende, sehr sandige Schicht hat entsprechend niedrige Gehalte u.a. an Eisen und Mangan. Der relativ hohe Chromwert der Probe 19 ist auf nicht optimale Messparallelen zurückzuführen. Insgesamt, mit Ausnahme des aAh, sind die Schwermetallgehalte gering.

Die <sup>14</sup>C-Datierung von Holz des fAh°aGr Horizontes ergab ein Alter von 1318 - 1106 BC (cal. 2 sigma, Erl-6568) (vgl. Kap. 7.2, Tab. 13). Der lehmige bzw. schluffig-tonige Beginn und die Sanddominanz des Profils sind vergleichbar zu 6637-70. Der fAh-Horizont sowie ein Schotterkörper fehlen aber bei 6637-70.

Zwischen 6637-71 und 6637-72 liegen ein wassergefüllter Graben sowie eine mit Auwald bestandene Fläche. Die größere räumliche Entfernung zeigt sich im abweichenden Aufbau des Profils **6637-72** (Gley-Vega). Das Profil weist bis 162 cm Wechsel von mehr sandigen und weniger sandigen Partien auf. Es folgen sandiger Lehm, toniger Schluff, toniger Sand und toniger Lehm aufeinander. Einen im Untersuchungsgebiet außergewöhnlichen Fund stellt Schicht V, 162 - 261 cm, dar. Sie besteht überwiegend aus Holz mit sehr wenig Feinboden vermischt. Profil 6637-71 enthält zwar auch Holzstückchen, aber deutlich weniger und an anderer stratigraphischer Position. Das Profil wird durch eine zumeist schluffig-tonige Schicht fortgesetzt, die viele organische Reste enthält. Bei 347 cm setzt eine Sequenz aus schluffigem Ton, Schotter bestehend aus Kies, Sand, Grus, Schluff und Makroresten, gefolgt von Ton, ein. Diese letzte Ton-Schicht ist recht mächtig (384 - 419 cm). Nur Profil 6637-50 weist in Auenlage eine vergleichbare Schicht auf. Allerdings ist die stratigraphische Position unterschiedlich. In Profil 6637-50 folgt auf die tonige Schicht ein fAh, dann folgt der alC. Bei Profil 6637-72 folgt auf den Ton ein scharfer Wechsel zu Grob- und Mittelsand, Kies und Grus (alC, Vilsschotter). In 476 cm beginnt der Übergangsbereich zum ICv, der ab 487 cm Tiefe ansteht. Hier liegt der tiefste Punkt des Anstehenden in der Catena Wolfsbach, Niederfeld.

Auf der westlichen Seite der Vils setzt sich die Catena mit Profil **6637-66** (Vega) fort. Der Ap und der angrenzende aM-Horizont sind schluffig-lehmig. Bis 54 cm treten weiße Kalksteine auf. Zwischen 100 und 171 cm konnte keine Aufnahme erfolgen. Die folgenden Horizonte bis 415 cm variieren von lehmig bis schluffig-tonig und enthalten Makroreste und Holzkohle. Dann erfolgt ein starker Wechsel zu blauem Feinsand. In 427 cm beginnt der so genannte Vilsschotter mit Mittelsand, Kies und Grus. Ab 463 cm vermischt sich der alC mit Kalksteinen.

Zwischen den Profilen 6637-66 und 6637-65 (Abstand 20 m) vollzieht sich der Wechsel zu den stärker kolluvial geprägten Profilen des Unterhanges. Es findet ein deutlicher Sprung in der Lage des Cv statt. Profil **6637-65** (Kolluvisol) ist im Ap und anschließenden M-Horizonten bis 100 cm schluffig-lehmig und enthält bis etwa 50 cm neben Kalkbruchstücken auch Schlacke. Die folgenden, lehmigen M-Horizonte reichen bis 195 cm Tiefe. Schluff- und Tonanteile schwanken. Schicht III, 195 - 220 cm, enthält neben stark tonigem Feinboden, Kalkbruchstücken auch Kiese. Aufgrund der gesamten Befundsituation (vgl. Profile 6637-64, -63) handelt es sich hier mit großer Wahrscheinlichkeit um die Vermischung eines ehemaligen T-Horizontes mit alluvialen Sedimenten (aIC-T). Ein reiner aIC fehlt. Es schließt sich angewitterter Kalkschutt an.

Das Profil **6637-64** (Kolluvisol über Terra Rest) liegt im Verschneidungsbereich von kolluvialem Hangmaterial und alluvialen Grobsanden mit Grus und Kies (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 52). Der Ap ist schluffig-tonig mit Kalkbruchstücken und Ziegelstücken. Der Grobskelettanteil liegt bei 18,4 %. Der angrenzende M-Horizont hat einen höheren Sandanteil, als die Proben unterhalb. Probe 3 stellt mit 10 % Sand einen Übergangsbereich zur nächsten Schicht dar. Die M-Horizonte der Schicht II, 62 - 171 cm, sind geprägt von sehr hohen Schluffgehalten (62 - 75 %) und deutlichem Tonanteil (Bodenarten: Ut4, Tu4). Es dominiert zumeist Grobschluff vor Mittelschluff. Gegen Ende der Schicht steigt v.a. der Feinsandanteil an (Probe 8). Schicht II enthält wenige Holzkohlefragmente und kleine Eisen/Mangan-Ausfällungen. Mit Schicht III, aIC, erfolgt ein starker Wechsel zu sandig-grusigem Material. Der Skelettanteil aus Kiesen, Steinen und Grus nimmt 50,2 % ein. Sand dominiert mit 76,5 % den Feinbodenanteil. In Schicht IV, 205 - 222 cm, geht der Skelettanteil um etwa die Hälfte zurück. Der Sandanteil steigt auf 85,9 %. Es dominiert der Mittelsand vor Grob- und Feinsand. Schicht V, 222 - 241 cm, stellt eine Besonderheit im Untersuchungsgebiet dar. Mit 69,4 % Ton und 24,4 % Schluff ergibt sich als Bodenart ein reiner Ton (Tt). Daran schließt sich der Cv (Probe 12 und 13) aus Kalkschutt mit etwa 90 % Skelettanteil an. Probe 12 ist etwas sandig und enthält 41,4 % CaCO<sub>3</sub>, Probe 13 ist der typische, leicht schluffige, beige Verwitterungsschutt mit 61,9 % CaCO<sub>3</sub>. Der pH-Wert liegt um 7, im Cv etwas höher. Nur der Ah (Probe 1) ist deutlich humos mit 3,5 % organischer Substanz. Die Proben 2 und 3 enthalten Wurzeln, die 0,9 bzw. 0,6 % TOC ergeben.

Die Schwermetallgehalte sind insgesamt gering. Sie sind im Ah aufgrund der organischen Substanz und ggf. rezenter Einflüsse, wie etwa Düngung oder atmosphärischer Eintrag, etwas höher als in den folgenden M-Horizonten, bleiben aber dann aber relativ konstant (z.B. Zink, Nickel, Kupfer). Die Gehalte von Chrom nehmen bis zur Probe 11 gleichmäßig ab. Mangan weist recht hohe Gehalte in den ersten 100 cm auf. Eisen hat ein schwaches Maximum in den Proben 4 und 5 was sich im Feldbefund als Eisenausfällungen in Form

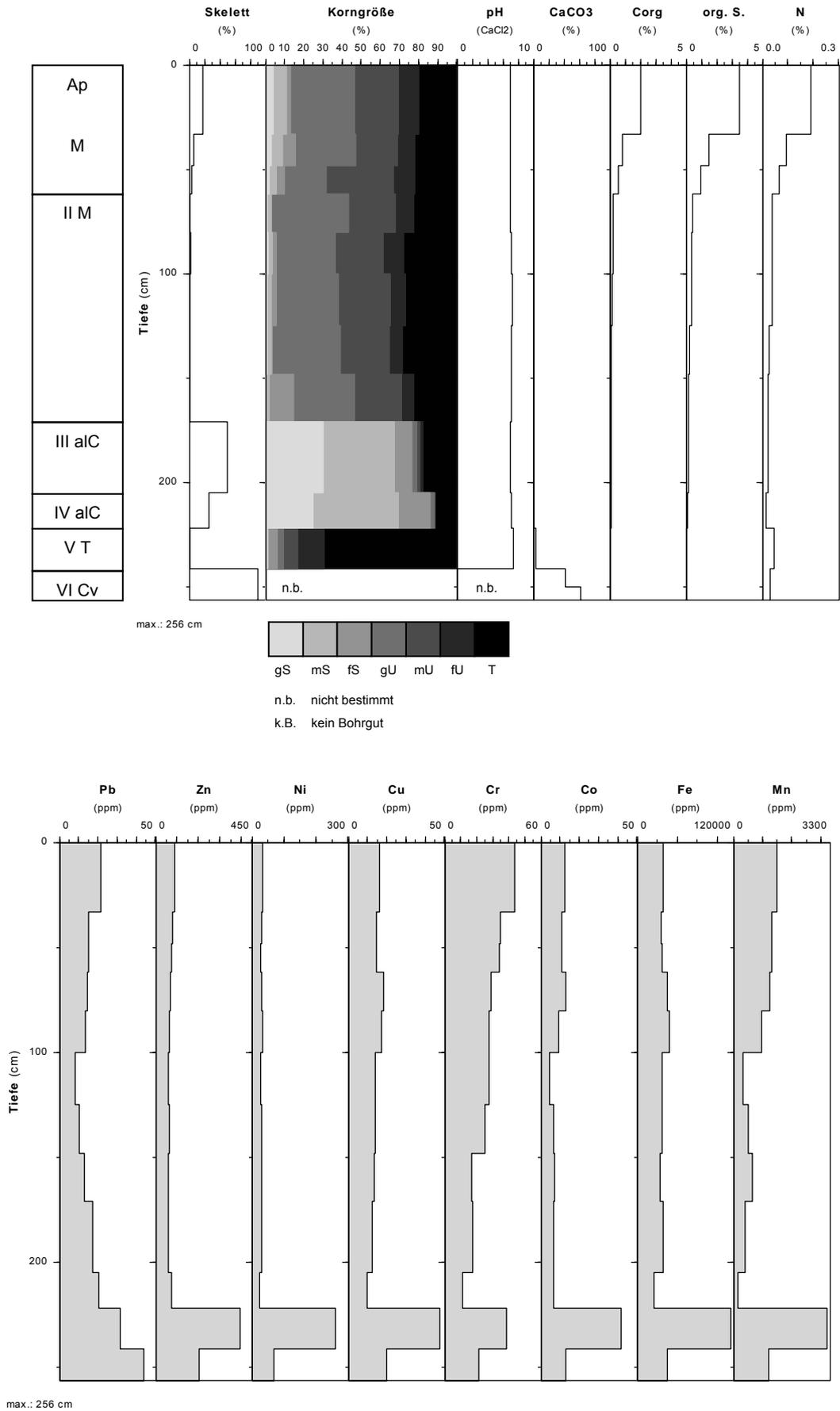


Abb. 52: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-64

orangefarbener Flecken darstellt. Die Eisen- und Mangankonzentrationen sind vergleichbar mit denen in Auengleyen. In den sandig-grusigen a1C-Horizonten kann jedoch nicht, wie erwartet, ein plötzlicher Abfall der Schwermetallgehalte beobachtet werden. Ursache sind die nur geringfügig zurückgehenden Tongehalte. Die Proben enthalten immer noch 17,9 bzw. 11,2 % Ton. Der Schwermetallgehalt des Cv wurde als Mischprobe aus den Proben 12 und 13 ermittelt. Einige Elemente, z.B. Blei und Zink, zeigen gegenüber den M-Horizonten ein klares Maximum in den Gehalten. Außergewöhnlich hohe Schwermetallgehalte weist die Probe 11, Schicht V, auf (vgl. auch oben). Die Werte liegen z.B. für Zink bei 394 ppm, Nickel weist 261 ppm, Kobalt 42 ppm und Eisen 116.481 ppm auf. Die hohen Tongehalte (69,4 %) und die Position des Horizontes über dem Cv lassen auf einen T-Horizont schließen. Dieser mineralische Unterbodenhorizont entsteht aus dem Lösungsrückstand von Carbonatgesteinen und hat einen Tongehalt von mehr als 65 %. Typisch sind braungelbe bis braunrote Farben und das Fehlen von Primärcarbonat (AD-HOC-AG BODEN 2005). Die Analysen zeigen einen Gehalt von 3,3 % CaCO<sub>3</sub>. Im Feldbefund war der Feinboden allerdings kalkfrei, so dass davon ausgegangen werden kann, dass durch das Mörsern der Probe kleine Kalkpartikel von großen Bruchstücken abgeschlagen wurden und eingetragen worden sind. Eine relative Anreicherung von Schwermetallen im Residualton ist typisch.

Profil **6637-63** (Kolluvisol) liegt 20 m weiter oberhalb. An den Ap aus schluffigem Lehm schließen sich schluffig-lehmige, braune bis rötlich braune M-Horizonte an. Zwischen 124 und 140 cm steht orangefarbener Feinsand an. Es folgt toniger Lehm bis 278 cm. Die kolluvialen Ablagerungen sind gegenüber den vorherigen Profilen deutlich mächtiger. Ab 278 cm tritt toniger Lehm mit Kiesen vermischt auf. Damit ist die Schicht IV (278 - 300 cm) alluvial beeinflusst. Es fehlt aber eine typische fluviale Schicht aus Grobsand, Grus und Kies, wie in Profil 6637-64. In 300 cm Tiefe setzt eine sehr tonige, rotbraune und kalkfreie Schicht ein. Hierbei handelt es sich sehr wahrscheinlich um einen reliktschen T-Horizont, wie er sich auch in Profil 6637-64 befindet. Ab 364 cm beginnt ein langsamer Übergang zum Cv. Zunächst treten Kalkbruchstücke auf und ab 390 cm wird der Feinboden schluffiger. Der ICv aus angewittertem, beigefarbenem Kalkschutt beginnt in 397 cm Tiefe.

Als letztes Profil der Catena liegt **6637-67** (Kolluvisol) jenseits des Bahndammes. Es zeichnet sich durch sehr mächtige, kolluviale Ablagerungen über groben, fluvialen Sedimenten aus. Schicht I reicht bis 147 cm Tiefe. Neben schluffigen Lehm sind zahlreiche Kalksteine enthalten. Dieser Befund ist vergleichbar mit den oberen Teilen der Schwemmfächer. Die anschließende, ebenfalls kolluviale Schicht ist tonig-lehmig und sehr homogen. Gegen Ende sind einige Grus und Kiespartikel eingemischt. Bei 409 cm Tiefe erfolgt ein Wechsel zu überwiegend orange-roten Sanden. In Schicht IV, 446 - 645 cm, liegen Grob- und Mittelsand mit Grus und Kies in unterschiedlichen Farben vor (a1C). Diese

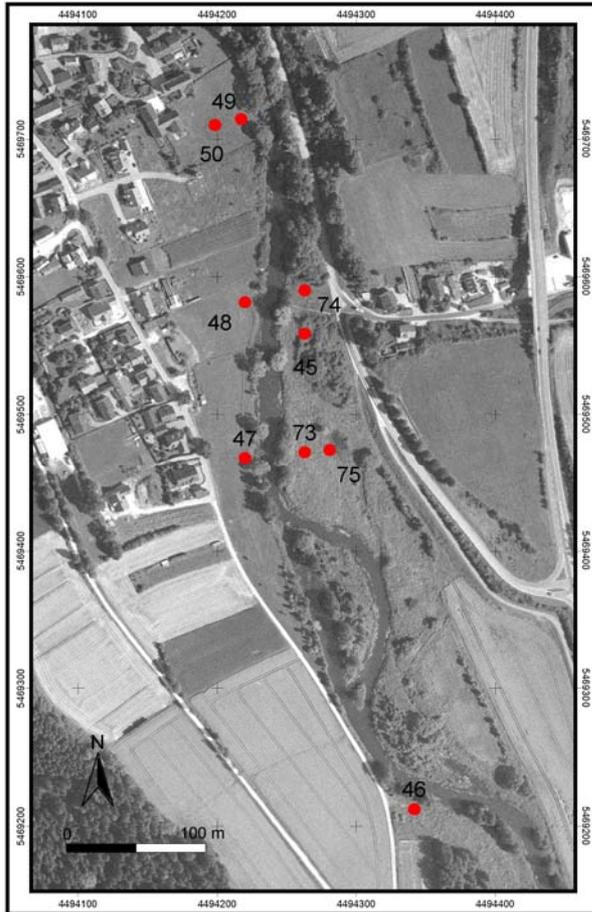
mächtigen fluvialen Sedimente in dieser Reliefposition sind außergewöhnlich. Die Vergleiche der Gerölle mit anderen Profilen ergaben aber eine sichere Zuordnung. Insbesondere ein markantes, schwarzes Leitgeröll konnte eindeutig identifiziert werden. Wahrscheinlich wurden sie durch die kolluviale Überdeckung vor Ausräumung bewahrt. Es schließt sich eine Übergangsschicht an, die neben Ton auch Kiese und Grus enthält. Von 695 - 700 cm steht hellbrauner, schluffiger Ton an. Es könnte sich, obwohl die Farbe variiert, um den Beginn des in den vorherigen Profilen aufgenommenen T-Horizontes handeln. Ein eindeutiger Befund ist jedoch in den wenigen Zentimetern nicht möglich. Der Cv konnte nicht erbohrt werden. Dieses Profil zeigt damit eine weite Ausdehnung der früheren Aue an.

Anhand der Bohrprofile kann das frühere Talrelief rekonstruiert werden (siehe Abb. 48, Skizze Catena Wolfsbach, Niederfeld). An der Basis liegt grobkantiger Kalkschutt, der mit Schluff durchsetzt ist. Dieser ist stark kalkhaltig und beige bis graubraun. Die darüber liegenden groben Schotter, bestehend aus Grobsand, Kiesen und Steinen, stellen die älteste, erhaltene alluviale Ablagerung dar. Diese ist zum Teil auf der westlichen Seite des Tales unter den kolluvialen Sedimenten erhalten. Die vormalige Aue war demnach wesentlich breiter, als dieses heute der Fall ist. Die heutige Aue, der Bereich der sich durch feine alluviale Sedimente, Auenböden und Gleye mit starken hydromorphen Merkmalen und Überflutung und/oder Qualmwasser bei Hochwasser auszeichnet, ist mit etwa 140 m Breite deutlich schmaler. Die in der Abbildung 48 auf der östlichen Seite dargestellten kleinen Terrassenansätze sind heute völlig aufgefüllt und nivelliert. Auf der westlichen Seite der Catena konnte kein terrassenartiger Aufbau des Anstehenden gefunden werden. Einen vergleichbaren Befund konnten URZ et al. (2002) an der Lahn zeigen.

#### 6.2.6 Aue Wolfsbach

Südlich des ehemaligen Hammerwerkes Wolfsbach zeigen die Sondagen den Aufbau der Aue in Einzelprofilen und kleinen Catenen (Lage s. Abb. 53). Das Gebiet ist vielfach anthropogen beeinflusst, was die Auswahl der Untersuchungsstandorte erschwert. Dazu zählen u.a. Renaturierungen und Baumaßnahmen. Das Hochwasser Anfang 2003 hat gezeigt, dass ein großer Teil der Standorte bei starkem Hochwasser überflutet wird. Verbreitet sind westlich der Vils vor allem Mähwiesen, östlich des Flusses Feuchtwiesen und Hochstaudenfluren. Dieses Areal ist ebenfalls in den ökologischen Umbau der Vils eingebunden. Die Flächen wurden vom Wasserwirtschaftsamt Amberg erworben und zum Teil umgestaltet sowie entsprechend bewirtschaftet (vgl. Kap. 6.1).

In der Nähe des Hammerwerkes Wolfsbach bilden die Profile 6637-49 und 6637-50 eine kleine Catena. Der Wiesenstandort wird hin und wieder überflutet. In Profil **6637-50** hat sich ein Auengley entwickelt (Laboranalytische Kennwerte s. Abb. 54). Die ersten drei Schichten



**Abb. 53:** Detailkarte des Teilgebietes Aue Wolfsbach mit Profilnummern (6637-xx; Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

(bis 215 cm) sind von schluffigem Lehm dominiert. Die Proben 3 - 5 weisen in diesem Abschnitt die niedrigsten Sandanteile auf. Das Profil ist bereits ab 16 cm hydromorph geprägt. In Schicht III liegt ein aGhr-Horizont vor. Zwischen 215 und 300 cm (Schicht IV) liegt eine Wechsellagerung von lehmigem (Ls2) und sandigem (Sl4) Substrat vor. Die Sandanteile springen zwischen etwa 30 % (Proben 12 und 15) und etwas mehr als 50 % (Proben 11, 13, 14). Dies geschieht durch die Zunahme von Mittel- und Feinsand. In den lehmigeren Horizonten liegen die Schluffgehalte bei knapp 50 % und der Tonanteil bei 20 %. Schicht V (300 - 331 cm, Proben 16 und 17) kann noch als eine gewisse Weiterführung gesehen werden (Ls4). Auffällig ist Probe 18, Schicht VI, mit 40,3 % Ton sowie erhöhtem TOC-Wert. In Probe 19, Schicht VII, bleibt der Sandgehalt wie oberhalb, aber das Ton-Schluffverhältnis wechselt. Hier liegen 40,1 % Schluff vor. Es schließt sich eine stark organisch geprägte Schicht an. Probe 20 (357 - 372 cm) ist teilweise torfig und weist 27,1 % organische Substanz auf (fAa°aGr). Probe 21 ist deutlich geringer humos (4,8 % organische Substanz) und sandiger. Mit der folgenden, stark sandigen Schicht IX beginnen die alC-Horizonte in 383 cm Tiefe. Sowohl in Probe 22 als auch in 23 dominiert der Mittelsand. Schicht X, 414 -

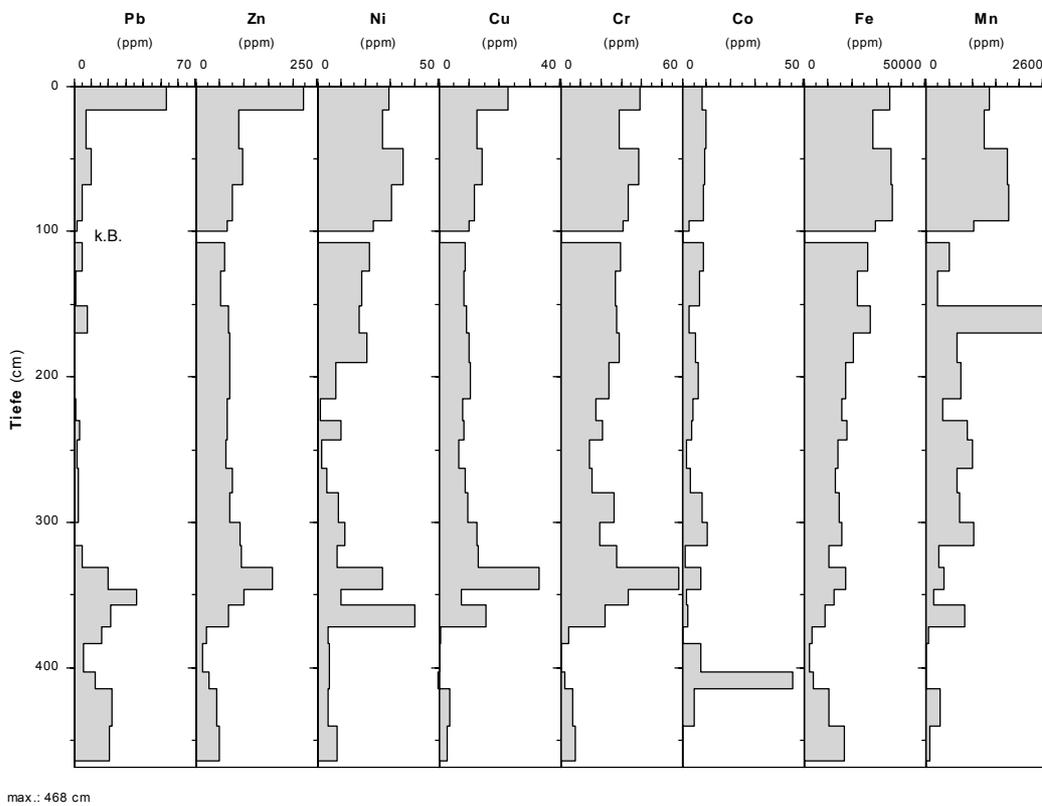
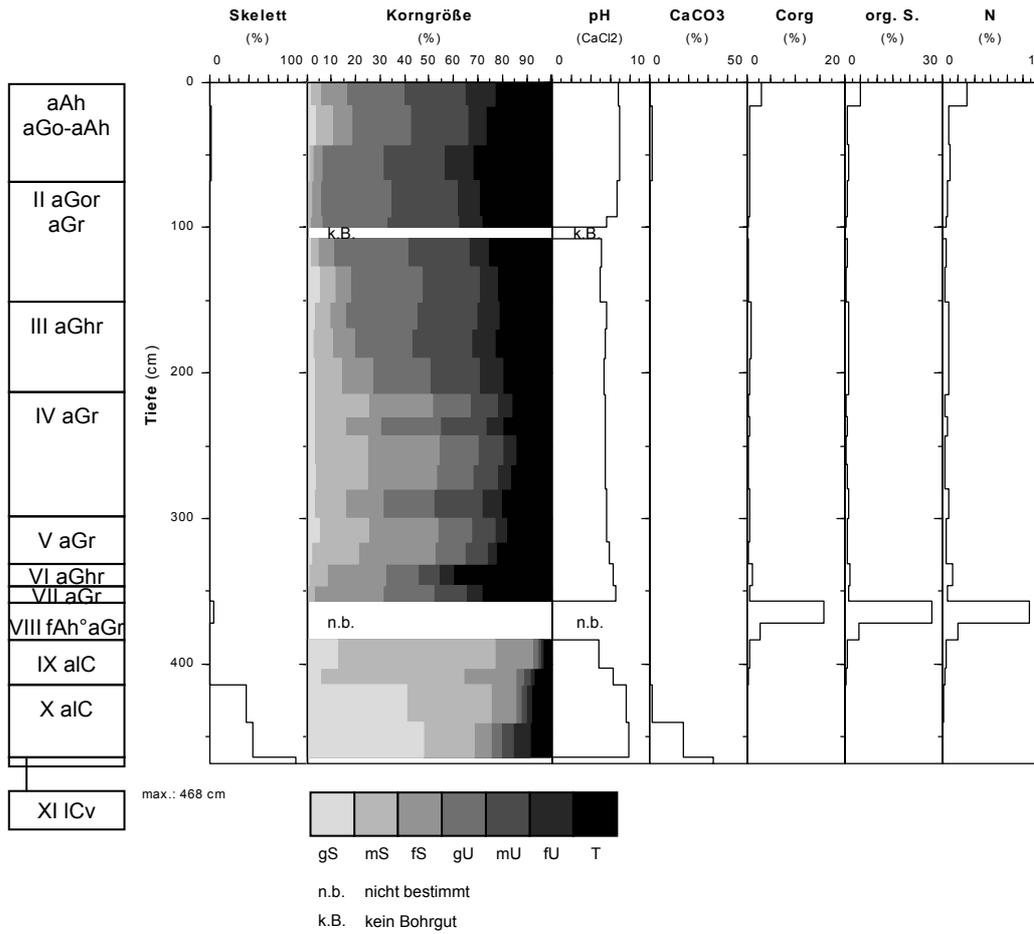


Abb. 54: Laboranalytische Kennwerte von Profil 6637-50

464 cm, ist hingegen viel stärker durch Grobsand und den hohen Skelettanteil geprägt. Probe 25 ist mit 17,4 %  $\text{CaCO}_3$  stark vom anschließenden ICv beeinflusst. Der ICv besteht aus angewittertem Kalkschutt, was sich in 88,7 % Skelettanteil und 32,9 %  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt zeigt. Der aAh hat einen pH-Wert von 6,8. Der pH-Wert sinkt, mit kleinen Schwankungen, bis auf 5,0 in Probe 7 und steigt folgend bis auf 7,9 im kalkhaltigen aIC an. Auffallend ist der niedrige pH-Wert von 4,9 in einem aIC-Horizont (Probe 22). Es handelt sich um einen grauen, reduktiv geprägten, fast reinen Sand. Im ganzen Profil treten immer wieder Makroreste oder diffus verteilte organische Substanz auf, was sich auch in den TOC-Werten widerspiegelt. Horizonte mit höheren Gehalten sind über das ganze Profil verteilt, aAh, Probe 1, auch durch Wurzelreste beeinflusst; aGhr, Probe 8 - 10; aGhr, Probe 18; fAa°aGr, Probe 20; fAh°aGr, Probe 21.

Insgesamt sind die Schwermetallgehalte im Profil nicht hoch. Der rezente, anthropogen bedingte Eintrag in den Oberboden ist besonders bei den Konzentrationen von Blei (53 ppm), Zink (221 ppm) und Kupfer in Probe 1 sichtbar. Mangan hat im Go-Bereich bis 93 cm hohe Konzentrationen, beispielsweise 1.760 ppm in Probe 3. Einen höheren Gehalt hat nur die Probe 8 mit 2.534 ppm. Dort ist ebenfalls der Eisenwert erhöht. Die Eisengehalte nehmen tendenziell mit der Tiefe ab. Die höchsten Werte liegen in den oxidativ beeinflussten Horizonten. Die geringsten Werte haben die Proben 20 - 23, die entweder stark humos oder sehr sandig (> 85 %) sind. Kobalt hat durchweg Gehalte unter 11 ppm mit Ausnahme der Probe 23 mit 46 ppm. Da die Parallelen bei der Messung gut waren, könnte der Grund in der speziellen Sandausprägung, braunorange mit kleinen dunkelroten Flecken, liegen. Auffällig ist Probe 18, Schicht VI, mit den höchsten Kupfer- und Chromgehalten des Profils. Auch andere Elemente, wie etwa Zink, sind dort eindeutig erhöht. Dieses hängt mit den hohen Tongehalten von 40,3 % zusammen. Das Element Nickel hat sein Maximum mit 40 ppm im fAa°aGr (Probe 20). Die anderen Elemente sind, trotz des hohen Anteils organischer Substanz im fossilen organischen Horizont (Schicht VIII) nicht stark erhöht. Im Vergleich zu anderen fossilen Oberbodenhorizonten, die eine Anreicherung von Schwermetallen aufweisen, könnten die Gründe in der unterschiedlichen Ausprägung liegen. Hier überwiegt torfiges Material.

Profil **6637-49** (Vega) ist bis in eine Tiefe von 104 cm von schluffigem bis sandigem Lehm aufgebaut, unterbrochen von einer sicher anthropogen hervorgerufenen, weißen Kalkschuttlage bei 46 - 63 cm. Die folgenden Schichten (104 - 209 cm) sind von Schluff und Ton dominiert. Es schließen sich von Sand beherrschte Schichten an, so dass in diesem Profil eine gute Untergliederung in sog. Auenlehme und darauf folgende Auensande vorliegt. Die grobsandig-grusigen Sedimente liegen zwischen 269 und 294 cm. Der typische ockerfarbene Kalkschutt beginnt ungewöhnlich früh bei 294 cm Tiefe. Allerdings ist er im

Folgenden bis 477 cm nicht rein, sondern tritt in Vermischung mit Grobsand, Grus und verschiedenen Steinen auf. Im Gegensatz zu Profil 6637-50 fehlt ein fAh sowie die darüber liegenden tonigen Schichten. Obwohl näher an der Vils gelegen, ist 6637-49 weniger hydromorph beeinflusst, als 6637-50. Die Befundsituation aus beiden Profilen lässt darauf schließen, dass 6637-50 in einer alten Rinne liegt, die natürlich zusedimentiert wurde.

Im Profil **6637-45** (Auengley) dominiert Sand. Außerdem enthält es viele Makroreste sowie stark organische Horizonte. Bis in eine Tiefe von 227 cm ist das Profil sandig-lehmig. Dann folgt mit Schicht IV bis 260 cm Grobsand und Schutt (vor allem Dolomit). Es sind, wie auch im anschließenden Horizont, große Makroreste enthalten. Im Folgenden wechseln sich unterschiedliche Sande, von Feinsand bis Grobsand mit Grus, bis in eine Tiefe von 544 cm ab. Die Sande im Profil weisen ein weites Farbspektrum auf, von sandfarben über rostrotbraun bis leuchtend orange. Diese Abfolge von Sandlagen ist außergewöhnlich für das Untersuchungsgebiet. Unterbrochen werden die Sandlagen durch den Abschnitt von 375 - 418 cm (Schicht VII). In dieser Wechsellagerung von schluffig-tonigem und lehmig-sandigem Feinboden mit viel organischer Substanz (aGhr) befanden sich einige Teichrosenkapseln (Bestimmung freundlicher Weise durch Dr. F. KIENAST, Alfred-Wegener-Institut, Potsdam). Das deutet auf einen verfüllten Altarm hin, da es sich aufgrund der für Teichrosen typischen Standortbedingungen um ein länger stehendes Gewässer gehalten haben muss. Die Kapseln sind für das Untersuchungsgebiet ein einmaliger Fund. Von 544 bis 580 cm mischen sich Grobsand und Grus mit kantigen Kalkbruchstücken. Der eigentliche Cv wurde nicht erreicht.

Profil **6637-74** (Gley-Vega) liegt östlich der Vils, einige Meter oberhalb von 6637-45 und gegenüber von 6637-48. Im Gegensatz zu 6637-48 ist 6637-74 jedoch ein stark inhomogenes Profil mit vielen Wechseln. Bis 100 cm ist das Profil lehmig, wobei die Ton- und Sandanteile variieren. Nach einer Lücke (kein Bohrgut) setzt bei 122 cm Grob- und Mittelsand ein, unterbrochen durch schluffig-lehmigen Feinboden zwischen 135 und 143 cm. Grobsand und zusätzlich Grus und organische Substanz setzen danach wieder ein. Derart grobes Material ist in dieser stratigraphischen Position im Untersuchungsgebiet außergewöhnlich und geht vermutlich auf ein besonderes Hochwasserereignis zurück. Von 185 bis 260 cm schließt sich eine feine Schichtung von lehmigem Sand im Wechsel mit tonigem Schluff an. Vereinzelt treten Makroreste auf. Große Holzkohlestückchen dominieren zwischen 260 und 283,5 cm. Es schließen sich z.T. reine Sande an, bis von 384 bis 419 cm wieder mehr lehmiges Material ansteht. Der anschließende mächtige Schotterkörper aus Grobsand, Grus, Kies und Steinen mit unterschiedlichen Farben geht bei 532 cm in einen alC-Cv über.

Auf der gegenüberliegenden Seite der Vils befindet sich Profil **6637-48** (Auengley). Die oberen 272 cm können als Auelehm zusammengefasst werden. Untergliedert ist er in einen lehmigen Abschnitt mit Kalkstückchen, dann folgt von 47 bis 174 cm schluffig-toniges Material mit wenig Grusanteilen. Es folgt toniger, teilweise sandig-toniger Lehm, der in der Schicht V (250 - 272 cm) auffallend starke Hydromorphiemerkmale aufweist (blaugrau mit rostroten Konkretionen). Zwischen 272 und 322 cm stehen unterschiedliche Sande an, auf die der so genannte Vilsschotter mit Grobsand, Grus und Steinen folgt. Ab 352 cm geht die Schicht langsam in den angewitterten Kalkschutt über. Makroreste und Holzkohle sind selten und treten nur bis 174 cm auf.

Eine kleine Catena bilden die Profile 6637-47, -73 und -75. Östlich der Vils liegt **6637-47** (Vega-Gley). Es ist klar gegliedert. Bis 80 cm Tiefe ist das Profil lehmig, dann geht der Feinboden über in tonigen Schluff mit etwas Grus. Kleine Makroreste kommen vor. Zwischen 163 und 213 cm steht Feinsand an. Anschließend erfolgt ein starker Wechsel zu sandig-grusigem Substrat mit zahlreichen Steinen. Im Gegensatz zu den meisten Profilen folgt danach, 300 - 330 cm, eine Wechsellagerung von schluffig-tonigen und mittelsandigen Bereichen. Von 330 bis 380 cm steht angewitterter Kalkschutt an.

Profil **6637-73** (Auengley) ist bis in eine Tiefe von 189 cm sandig-lehmig. An der Geländeoberfläche und in den ersten Zentimetern finden sich frische Sandablagerungen durch aktuelle Hochwässer. Das Profil liegt nur 10 m vom Vilsufer entfernt. Zwischen 189 und 278 cm weist das Profil eine interessante Wechsellagerung von Holz und Feinboden auf. Diese beginnt mit einer Holzlage, welche von schmalen Sandbändern durchzogen ist. Es schließt sich toniger Lehm mit Makroresten an, auf den Holz vermischt mit Lehm folgt. Ein schluffiger Ton mit Makroresten bildet den Abschluss. In 278 cm erfolgt dann ein Wechsel zu Horizonten aus Kiesen, Grus und Sanden mit einzelnen Makroresten. Bei 444 cm beginnt zunächst grauer, dann beigefarbener kantiger Kalkschutt. Im Vergleich zu Profil 6637-47 fällt auf, dass a1C und Cv tiefer liegen.

Etwa weitere 10 m vom Ufer entfernt liegt Profil **6637-75** (Vega). Die ersten 9 cm werden durch eine ziemlich frisch abgelagerte Sandauflage gebildet (vgl. 6637-73). Darunter befindet sich der schluffig-lehmige, humose aAh, der in einen etwas sandigeren aGo-aAh übergeht. Schicht III, 39 - 107 cm, ist von wenig entwickeltem Fein- und Mittelsand geprägt. Die folgende Schicht IV aus lehmigem und tonigem Sand enthält viele Makroreste und ist reduziert, erkennbar an der grauen Färbung des Substrates. Wie in Profil 6637-47 stehen ab 221 cm ungewöhnlich früh Grobsande, Steine und Grus an. Der a1C reicht hier aber bis 366 cm. Daran schließt sich eine Wechsellagerung von drei organisch geprägten Schichten aus Grobsand, Steinen und Grus an. Der letzte a1C, von 444 - 470 cm, zeigt erste Kalksteine. Das Anstehende wurde nicht erreicht.

In dieser kleinen Catena weist nur 6637-73 Holz auf, während 6637-75 durch die fossilen humosen Horizonte auffällt. Beide Profile belegen, dass es rezent zu Sandablagerungen kommen kann.

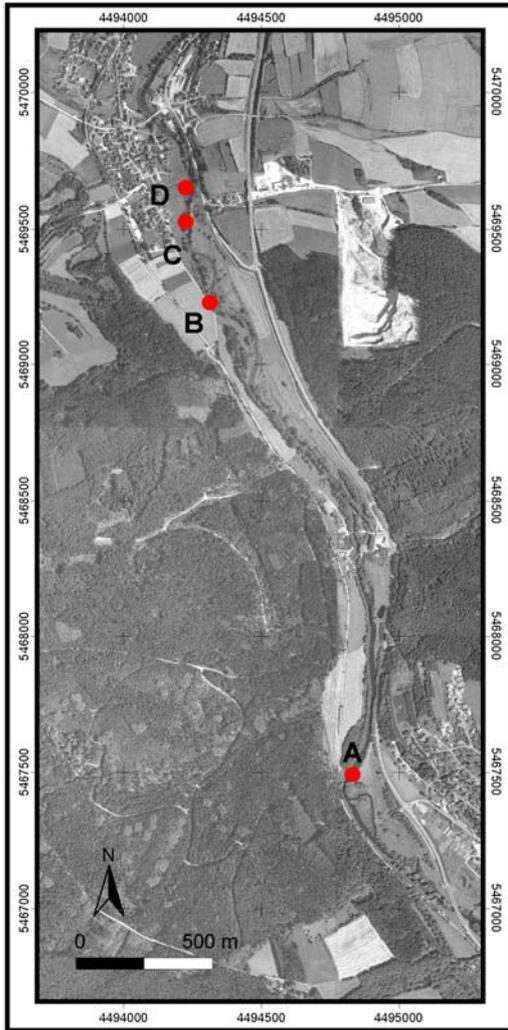
In Flussnähe, wenige Meter südlich der Catena Wolfsbach, Niederfeld, befindet sich Profil **6637-46** (Vega-Gley). Es beginnt mit stark sandigem Lehm und wird am 46 cm toniger. Zwischen 100 und 150 cm fehlt Bohrgut bzw. ist das Profil gestört. Danach folgen Schichten mit schluffigem Sand, schluffigem Ton, lehmigen Sand, z.T. mit Grobskelett, schluffigem Ton und Lehm. Bei 390 cm setzt lehmiger Sand und Grus ein, der Makroreste enthält. Ab 456 cm steigt der Skelettanteil stark an (Vilsschotter, Schicht IX). Das Anstehende beginnt bei 473 cm.

#### 6.2.7 Sondagen im Flussbett der Vils

Um insbesondere die Schwermetallgehalte in den Böden besser beurteilen zu können, wurden an vier Stellen im Untersuchungsgebiet Sedimentproben vom Flussbett genommen. Aufgrund der Tiefe und Strömung der Vils sowie des schlammigen Uferrandbereiches war die Probennahme erschwert (Lage s. Abb. 55).

An den Punkten A (Catena Frauengarten) und B (Catena Wolfsbach, Niederfeld) wurden mit dem Drehbohrer Mischproben des oberen Flusssediments entnommen. Die Probe A ist lehmig-schluffig, von grauer Farbe, mit kleinen Makroresten und enthält kein Grobskelett. Probe B ist lehmig-sandig. Die Standorte C und D liegen in Wolfsbach im Bereich der privaten Wiesen und Felder. Am Standort C wurde 3 mal gebohrt (C1 bis C3), am Standort D zweimal (D1 und D2). Hier konnten z.T. Bohrungen mit Tiefenfunktion aufgenommen werden. Am Standort C dominieren lehmige Sande vor sandigen Lehmen. In etwa sind die oberen 20 cm Bohrgut grau gefärbt, dann wird das Material rostrot oder orange. Die Proben enthalten z.T. Makroreste, Muscheln und einzelne Schlackenstückchen. Bedingt durch einen vorhandenen Steg konnte am Standort D etwa 1,50 m vom Ufer entfernt gebohrt werden. Hier wurde die Vils Mitte des 20. Jh. ausgebaggert. Bei D1 liegt sandig-lehmiges, grau bis rostrotes Substrat mit Makroresten über grobsandig-kiesigem, fleischfarbenen Flussschotter vor. In Bohrung D2 wechseln sich schluffig-lehmige Abschnitte und sandige Bänder ab. Bei 40 cm Tiefe beginnt lehmiger Grobsand mit Kalksteinbruchstücken (Flussschotter).

Die sog. Fluss-Schotterproben haben mit 25,7 und 73,5 % die höchsten Skelettgehalte. Schwermetalle und organische Substanz wurden an den Proben A, B, C3-1, C3-2 und C3-3 exemplarisch bestimmt (Laboranalytische Kennwerte s. Tab. 9 und Tab. A 6 im Anhang). Proben A und B enthalten mehr organische Substanz als C3. Die Schwermetallgehalte sind im typischen Bereich für das Untersuchungsgebiet und bis auf Einzelwerte nicht besonders



**Abb. 55:** Entnahmepunkte der Flusssedimentproben (Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B - 3094)

**Tab. 9:** Laboranalytische Kennwerte der Flusssedimente

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org. S. %	N %	Schwermetalle in ppm							
							Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn
A	0,0	10 YR 3/2	2,79	3,494	6,0	0,20	18	100	22	12	28	13	37.388	638
B	0,0	10 YR 3/2	3,53	2,785	4,8	0,21	174	667	20	67	38	6	29.348	833
C3-1	3,1	7,5 YR 4/4	1,61	1,038	1,8	0,08	37	67	12	5	17	10	33.694	182
C3-2	2,9	7,5 YR 4/3	2,08	1,342	2,3	0,08	36	58	6	3	12	8	22.649	111
C3-3	2,5	7,5 YR 3/3	2,86	1,338	2,3	0,10	60	183	6	14	11	6	17.273	194

hoch. Auffallend sind die gegenüber dem Durchschnitt etwas erhöhten Bleigehalte. Am stärksten ist die Probe B mit Blei, Zink, Kupfer und Chrom belastet. Ansonsten sind die Gehalte in den Proben geringer, als durchschnittlich in den aAh-Horizonten. Die Bohrung C3

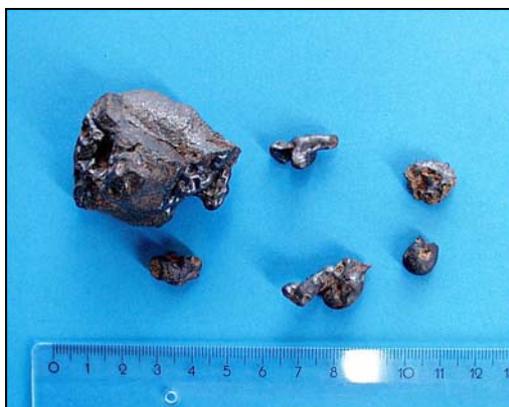
weist einen deutlichen Anstieg der Konzentrationen von Blei und Zink in Probe C3-3 (rostroter, lehmiger Sand) auf. Alle Proben vom Flusssediment sind kalkhaltig. Die Laboranalysen an den ausgewählten Proben weisen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte von 1,3 bis 3,5 % auf.

### 6.3 Schlacken im Untersuchungsgebiet

Schlacken sind Relikte der Montanindustrie, die über ihre Zusammensetzung Auskunft über Prozessführung, Alter und verwendete Erze geben können. Ihre Fundlage kann zudem wertvolle Informationen zur Landschaftsentwicklung liefern (vgl. Kap. 2.2.1). Neben der Darstellung und Diskussion der Verbreitung von Schlacken im Untersuchungsgebiet erfolgten Analysen mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM), Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und Röntgendiffraktion (RDA).

#### 6.3.1 Verbreitung der Schlacken

Im Untersuchungsgebiet wurden Schlacken sowohl als Lesefunde auf Äckern als auch in Bohrungen oder Gruben mit unterschiedlicher Ausprägung gefunden (siehe Karte in Abb. A 10 im Anhang). Neben Funden in Einzelprofilen (6637-19, -35, -48, -49, -78) sind Schlacken vor allem im unteren Teil des kleinen Schwemmfächers, im großen Schwemmfächer, in der Catena Wolfsbach, Niederfeld und in den Aufschüttungen bzw. Halden im nahen Umfeld der Hammerwerke Wolfsbach und Leidersdorf verbreitet. Die Aufschüttungen stammen z.T. aus dem Aushub der Vils. Die Schlacken treten, in Abhängigkeit vom Verhüttungsprozess, in unterschiedlicher Größe und Ausprägung auf. Es sind poröse, glasartige als auch Schlacken mit Fließ-Strukturen vorhanden. Häufig treten Blasen durch Lufteinschlüsse auf. Die Farben reichen von blau-grün über braun bis zu metallisch glänzendem grau. Insbesondere größere Fundstücke sind makroskopisch an markanten Strukturen und auffälliger Färbung zu erkennen (Beispiele s. Abb. 56).



*Bild A: Fließ-Schlacke, Eisenreich*



*Bild B: glasartige Schlacken*

**Abb. 56:** Charakteristische Schlacken aus dem Untersuchungsgebiet (Auswahl)

Beim Hammerwerk Leidersdorf sind vier Schlackenhalden bekannt. Sie befinden sich alle in unmittelbarer Nähe des ehemaligen Hammerwerkes. Auf einem Areal befindet sich heute eine Transformatorstation, daher konnte diese Halde nicht untersucht werden. Die anderen Halden wurden aufgegeben und untersucht. Eine liegt südlich der ehemaligen Produktionsstätten des Hammerwerkes (östlich am Mühlkanal) und zwei eng benachbart im Bereich eines ehemaligen Viehstalls. Sie enthalten unterschiedliche Arten von Schlacken, aber auch Ziegelreste und Bauschutt. Durch die klar ersichtliche Störung der Halden in neuerer Zeit, ist keine chronostratigraphische Aufnahme möglich. Neben der Aufschüttung in Wolfsbach (Ausbaggerung der Vils) enthält auch die Auffüllung südlich Leidersdorf zahlreiche Schlacken (vgl. Kap. 6.1). Viele größere Lesefunde sind zudem auf den Äckern der Flur Wolfsbach, Niederfeld als auch auf der gegenüberliegenden Ackerfläche zu finden. Vereinzelt treten Schlackenstücke auch in anderen Profilen auf (siehe oben), allerdings hauptsächlich in A-Horizonten flussnaher Standorte. Große Schlackenreste lassen sich in der Regel makroskopisch eindeutig identifizieren. Um das Spektrum der Funde zu dokumentieren, wurde ein Teil der Schlacken nach der Methode von SPERL (1980) aufgenommen (s. Tab. A 7 im Anhang). Die makroskopische Beschreibung umfasst die Probenbezeichnung, das Funddatum, eine Fundbeschreibung sowie Gewicht und Abmessungen der Probe. Weitere Schlackenfunde sind in der Liste der Sonderproben verzeichnet (s. Tab. A 8 im Anhang). Feinste Schlackenreste im Feinboden sind hingegen analytisch schwierig nachzuweisen. Die sandig-grusigen Horizonte im Untersuchungsgebiet enthalten häufig schwarze bis dunkelgraue „Körnchen“, die unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Um zu prüfen, ob es sich zum Teil um Schlackenreste oder Pochsand handelt, wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt.

### 6.3.2 Zusammensetzung der Schlacken

Über die Beschaffenheit der Schlacken lassen sich unter bestimmten Umständen Rückschlüsse auf Verhüttungsprozesse und ihren potentiellen Umwelteinfluss schließen. Der Nachweis feinsten Schlackenreste kann bei der chronostratigraphischen Einordnung der Sedimente helfen. Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung ausgewählter Proben erfolgte mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) am REM und der RFA. Zur mineralogischen Charakterisierung wurden Schliche angefertigt und am REM und Lichtmikroskop untersucht (Methodenbeschreibung siehe Kap. 3) sowie Untersuchungen mit der Röntgendiffraktometrie durchgeführt. Aufgrund des großen Spektrums von Schlacken, eignen sich Trennungsvorgänge über Magnetismus oder Dichte nicht (vgl. Kap. 2.2). Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analysen vorgestellt.

Am REM wurden ausgewählte Schlacken, schwarze „Körnchen“ und Bodenproben untersucht. Die Probennummern entsprechen den Angaben der Profilbeschreibungen aus

denen die Sonderproben entnommen wurden (s. auch Sonderprobenliste, Anhang Tab. A 8) oder der Liste der makroskopisch beschriebenen Schlacken (s. Anhang Tab. A 7). Die einzelnen EDX-Messungen am REM erhalten eine Kennnummer, bestehend aus „SCH“ und einer fortlaufenden Zahl. Die Angaben erfolgen in Atom. % (Atomare Anteile in Prozent). Das zeigt die Verhältnisse der Elemente zueinander an.

Bei der Sonderprobe aus 6637-19/10 handelt es sich um eine unklare Gesteinsprobe mit Feinbodenanhaftungen. Die Probe wurde vor der Messung mit Gold bestäubt und nicht angeschliffen. Bildgebende Aufnahmen mit dem REM sind durch das unruhige Relief nicht möglich. Auch die EDX-Messung ist entsprechend erschwert. Bei der ersten Messreihe konnten zwei sog. Fensteraufnahmen ausgewertet werden. Die Spektren der Messungen SCH3911 und SCH3913 sind vergleichbar und ergaben folgende Gehalte: Fe 16 % bzw. 16,2 %, Al 6,7 % bzw. 6,9 %, Mn 0,6 % bzw. 0,6 %. Bei SCH3913 konnte zudem Barium nachgewiesen werden (0,2 %). Eine zweite Messreihe an unterschiedlichen Stellen der Probe 19/10 ergab, dass nur die Messungen an direkt benachbarten Bereichen (SCH412 und SCH413) vergleichbare Werte zeigen (s. Tab. 10).

**Tab. 10:** Elementgehalte der Sonderproben aus 6637-19/10 und 6637-19/1 in verschiedenen Messungen

Element	6637-19/10				6637-19/1		
	SCH411	SCH412	SCH413	SCH414	SCH401	SCH402	SCH403
Fe	26,1	8,9	8,3	16,7	45,6	36,0	37,0
Si	14,9	21,4	21,5	14,8	11,4	12,0	12,0
Al	4,7	7,2	8,3	4,6	3,9	4,8	4,3
Mn	0,6	0,5	0,8	-	-	-	-
P	-	-	-	-	2,0	2,0	1,8

(Mengenanteile in Atom. %)

Die zweite Sonderprobe aus 6637-19/1 ist nach makroskopischer Ansprache eine poröse Schlacke. Auch diese Probe wurde mit Gold bestäubt und nicht angeschliffen. Eine erste Messreihe von Fenstermessungen (SCH401, SCH402, SCH403) ergibt relativ gute Parallelen und sowohl die Eisen- als auch die Phosphorgehalte sind höher als in Probe 19/10 (s. Tab. 10). Eine zweite Messreihe an dieser Probe (SCH421, SCH422, SCH423) zeigte leicht erhöhte Werte für Si und Al, während die Fe-Gehalte mit 23,3 bis 29,3 % niedriger waren. Phosphor wurde dabei nicht bestimmt. Damit sind die Unterschiede zwischen den beiden Sonderproben nicht so deutlich wie erwartet.

Nach den Vergleichen der Sonderproben stellt sich die Frage, in wiefern anthropogene Einflüsse bzw. Anreicherungen kleinster Schlacken- und Erzreste im Feinboden nachweisbar sind. Unterschiedlich große Feinbodenaggregate der Probe 6637-14/13-15 (alluviale,

sandige Mischprobe, < 2mm) wurden dazu mit Gold bestäubt und mittels EDX untersucht. Die Messungen an verschiedenen Stellen der aufgetragenen Probe zeigen bei Eisen die größte Spanne. Der Nachweis von Titan ist nicht gesichert, da die Barium- und Titan-Linien einen sehr ähnlichen Verlauf haben, so dass sie sich nicht immer trennen lassen (Tab. 11).

**Tab. 11:** Variationen innerhalb der Feinbodenprobe 6637-14/13-15

Element	großes Aggregat I	großes Aggregat II	mittleres Aggregat	kleines Aggregat I	kleines Aggregat II
Fe	12,0	21,9	11,3	2,3	3,3
Si	14,2	7,3	20,3	16,4	20,5
Al	12,2	6,1	11,8	8,6	8,1
Mn	0,4	-	0,5	-	-
Ti	0,3	-	0,3	0,2	0,3

(Mengenanteile in Atom. %)

Die Messungen an Sonderproben und Feinboden zeigen zum Teil eine deutliche Heterogenität in den Elementgehalten. Aus diesem Grund wurden Feinbodenproben (6637-14/13-15, 6637-19/7, 6637-19/12) sowie eine Schlacke (Teilstück von Nr. 14) mit einer Kugelmühle gemahlen und gemessen. Weitere Schlacken konnten aus technischen Gründen nicht gemahlen werden. Die Messwerte der gemahlenden Proben zeigen erwartungsgemäß deutlich bessere Parallelen, insbesondere bei Fe, Al und Si. Unterschiede zwischen den Parallelen entstehen hauptsächlich bei den schwächeren Begleitelementen. Bei der EDX-Methode ist zu beachten, dass die Reproduktion von Messergebnissen durch den Fit-Index sowie die Vergrößerung beeinflusst wird. Außerdem lassen sich Elemente in reinen Proben deutlich besser, als in heterogenen Mischproben mit vielen Elementen bestimmen. Die Tabelle 12 enthält Mittelwerte aus mehreren Messungen der gemahlenden Proben.

**Tab. 12:** Mittelwerte für gemahlene Proben aus 3 - 4 Messungen

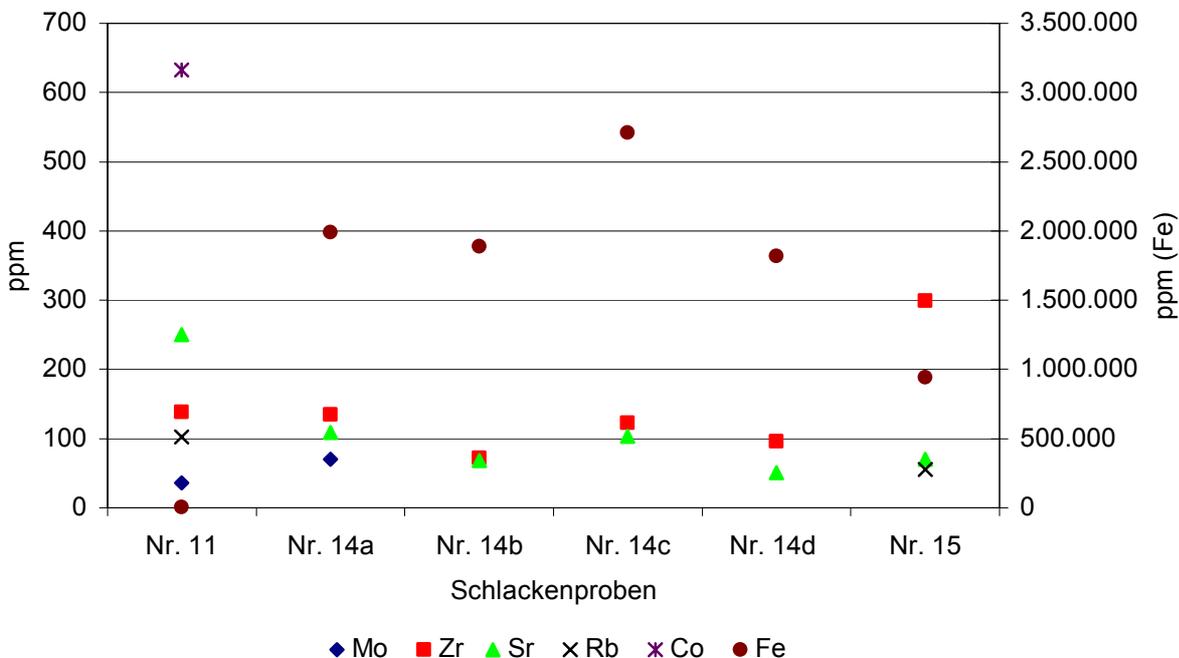
Element	6637-19/7	6637-19/12	6637-14/13-15	Schlacke Nr.14
Fe	3,53	0,96	1,79	39,06
Al	7,43	2,25	2,95	2,17
Si	17,67	22,82	25,19	8,71
K	2,01	0,82	1,24	0,57
S	0,80	-	0,45	0,85
Cu	0,67	-	-	0,95
Ba	0,14	-	-	-

(Mengenanteile in Atom. %)

Der Vergleich der Mittelwerte zeigt, dass die Schlacke, wie zu erwarten, einen deutlich höheren Fe-Gehalt hat. Allerdings lassen sich Schlackenreste oder sonstiger Einfluss durch

das Hammerwerk in den Bodenproben nicht nachweisen. Die Probe 14/13-15 enthält auffällig viele „schwarze Körnchen“ ist aber in den Analysenwerten unauffällig. Unterschiede ergeben sich bei den Bodenproben nur durch die Bodenart. Probe 6637-19/7 ist lehmig-tonig während die Proben 6637-19/12 und 6637-14/13-15 sandig-grusig ausgeprägt sind. In den sandig-grusigen Proben geht der Fe- und Mn-Gehalt zurück, während der Si-Anteil aufgrund des höheren Quarzanteils der Proben steigt.

Neben der EDX-Messung gibt auch die Röntgenfluoreszenzanalyse Aufschluss über die Elementzusammensetzung einer Probe. Bei dieser Methode handelt es sich um ein anderes Messprinzip und es kann z.T. ein anderes Elementspektrum gemessen werden (vgl. Kap. 3). Untersucht wurden die Schlacken Nr. 11, 14 und 15. Die Gehalte wurden auch mit den Ergebnissen aus den RFA-Untersuchungen an Sedimentproben (s. Kap. 7.3) verglichen. Die Messungen erfolgten mit der Cd-Quelle an kompakten Schlackenstücken. Die Messzeit konnte aus technischen Gründen nicht immer gleich gehalten werden. Die Auswirkungen auf die Messwerte sind jedoch zu vernachlässigen. Die ausgewählten Schlacken unterscheiden sich in ihrem Habitus. Die Schlacke Nr. 11 ist blassgrün bis dunkelgrau, glasartig und kompakt, während Schlacke Nr. 14 grau-silbern ist und viele Blasen enthält. Die Schlacke Nr. 15 ist hingegen grau-braun, teils blasig, teils kompakt ausgebildet (detaillierte Beschreibungen s. Tab. A 7 im Anhang). Ausgewählte Messergebnisse sind in Abbildung 57 dargestellt.



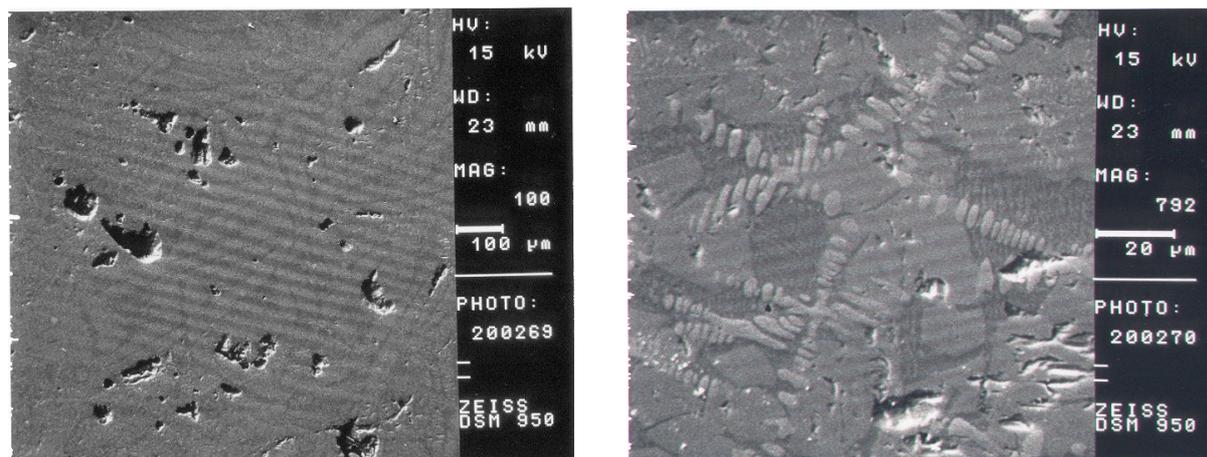
**Abb. 57:** Messwerte ausgewählter Elemente mittels RFA-Analyse an den Schlacken Nr. 11, 14 und 15

Die Schlacke Nr. 11 weist sehr geringe Eisengehalte auf. Das ist typisch für glasartige Schlacke, wie sie hier vorliegt. Auffällig ist der sehr hohe Kobaltgehalt. Der Strontiumwert (Sr) ist ebenfalls höher, als in den anderen Schlackenproben. Am Probenstück 14 wurden mehrere Messungen (14a - 14d), auch in gemahlener Form (14d), durchgeführt und im Vergleich zu den anderen Schlacken die höchsten Eisenkonzentrationen gemessen. Bis auf einen Ausreißer ergeben sich bei den Eisengehalten gute Parallelen. Die Eisengehalte liegen jedoch z.T. über dem Kalibrationsbereich des Gerätes. Damit können die beträchtlichen Eisengehalte zu Interferenzen bei Mn und Co führen (NITON CORPORATION 1998). Die hohen Eisengehalte korrelieren mit den EDX-Messungen am REM. Dort wurden Fe-Gehalte von 39 % bestimmt. Des Weiteren wurden bei 14c und 14d erhöhte Mangangehalte gemessen. Nur bei einer Messung (14a) konnte, im Gegensatz zu FRÖHLICH (1980), ein hoher Chromgehalt festgestellt werden. An der Probe 14d erfolgte auch eine Messung mit der Am-Quelle. Fast alle Werte bleiben jedoch unter der Nachweisgrenze. Der Wert für Barium liegt innerhalb der Spannbreite der Proben vom Bodenprofil 6637-14. Die Zinnkonzentration (Sn) ist mit 284 ppm höher, als in den beiden Bodenproben mit Messwert. Schlacke Nr. 15 hat ebenfalls einen hohen Eisengehalt, der jedoch unter den Gehalten von Nr. 14 bleibt. Auffällig ist, gegenüber den anderen Proben, ein erhöhter Zirkoniumgehalt. Unter der Nachweisgrenze bleiben in allen Proben die Elemente Pb, Se, As, Hg, Zn und Cu.

Die Messergebnisse der Schlackenproben spiegeln den makroskopisch sichtbaren unterschiedlichen Typus wider und weisen auf die verschiedenartige Genese hin. Die glasartigen Schlacken enthalten kaum Eisen, während die anderen Schlacken extrem hohe Eisengehalte aufweisen. Ein signifikant höherer Schwermetallgehalt, als in den Bodenproben, kann mit Ausnahme von Eisen nicht festgestellt werden. Ein unauffälliges Spurenelementspektrum wurde auch bei Schlacken aus einer Grabung im Regensburger Dom festgestellt (BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN 1987). Außerdem können die Elementkonzentrationen eines Schlackentypus weit streuen.

Der mineralogische Bestand von Schlacken kann u.a. Auskünfte über die Prozessführung und das Alter geben (vgl. Kap. 2.2). Außerdem lassen sich kleine Bruchstücke, die makroskopisch nicht eindeutig als Schlacken zu identifizieren sind, auf diese Weise bestimmen. Um die kristallinen Phasen optisch untersuchen zu können, sind An- oder Dünnschliffe erforderlich. Angefertigt wurden mehrere Anschliffe (Methodik siehe Kap. 3). Die Auswertung erfolgte bei der Fließ-Schlacke Nr. 3 am REM. Die anderen Proben wurden am Lichtmikroskop untersucht. Die Ansprache der Anschliffe erfolgte unter zu Hilfenahme folgender Literatur: FREUND (1955), SPERL (1980), MACKENZIE & GUILFORD (1981), ADAMS et al. (1986), MACKENZIE et al. (1989), PICHLER & SCHMITT-RIEGRAF (1993), YALÇIN & HAUPTMANN (1995).

Als Referenzprobe dient die Fließ-Schlacke Nr. 3, ein Lesefund vom Flurstück 1390. Ein Teil der Schlacke wurde abgebrochen, in Kunststoff eingebettet, geschliffen und mit Gold bestäubt. Die REM-Aufnahme 1 (Nr. 200269) zeigt in einer Übersichtsaufnahme (Vergrößerungsfaktor: 100) die typischen Strukturen der Fließ-Schlacke (Abb. 58, Bild A). Der obere, rechte Bereich ist amorph. Der andere, größere Teil zeigt eine Struktur von länglichen, hellen und dunklen Bereichen. Teilweise treten auch dunkle, dreieckige Formen, ähnlich eines „Mercedessterns“, auf.



A: REM-Aufnahme 1, Vergrößerungsfaktor: 100      B: REM-Aufnahme 2, Vergrößerungsfaktor: 792

**Abb. 58:** REM-Aufnahmen der Fließ-Schlacke Nr. 3

Die REM-Aufnahme 2 (Nr. 200270, Abb. 58, Bild B) ist stärker vergrößert (Faktor: 792). Neben den bekannten dunklen (dunkelgrau) und hellen (mittelgrau) Bereichen, tritt eine überlagernde, hellgraue bis weißliche Struktur auf. Diese dendritischen Gebilde, ovale Formen, die sich kreuzende Linien bilden, sind die für Schlacken typischen Wüstite. Die grauen Leisten sind vermutlich Fayalit (vgl. SPERL 1980, Abbildungsanhang). Beides sind typische kristalline Phasen von eisenhaltiger Rennfeuerschlacke (vgl. Kap. 2.2.1).

Ergänzend wurden EDX-Messungen in dunklen und hellen sowie den dendritischen Bereichen durchgeführt. Bei der REM-Aufnahme 1 gibt es kaum Unterschiede zwischen den amorphen Bereichen (ohne Struktur) und dem Muster. Die Phosphorgehalte sind mit 1,8 % relativ hoch. Eisen liegt bei ca. 12,5 %. In der REM-Aufnahme 2 ergibt die Messung im dendritischen Gebilde, dem Wüstit, erwartungsgemäß höhere Eisengehalte (63,8 %). Allerdings zeigt eine zweite Messung, ebenfalls in einer „Insel“ des dendritischen Systems, einen deutlich niedrigeren Fe-Gehalt (25,4 %). Verschiedene Messungen in dem mittelgrauen und dunkelgrauen Muster ergeben ähnliche Werte. Die Fe-Gehalte sind mit ca. 44 % niedriger, die Si-Gehalte deutlich höher (ca. 16 %), als bei der Messung im Wüstit. Dies bestätigt, dass es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um ein zusammengehöriges System,

den Fayalit handelt. Weitere Messungen in anderen dunklen und hellen Stellen (z.B. „Mercedesstern“) ergaben Abweichungen zu den bisherigen Messpunkten. Die Fe- und Si-Gehalte sind niedriger, aber auch hier sind benachbarte helle und dunkle Stellen ähnlich in ihrer Zusammensetzung. Der Fe-Gehalt lag zwischen 11,7 und 16,8 % und der von Si zwischen 6,5 und 8,2 %. Diese Varianzen zeigen die häufige Heterogenität von Schlacken.

Die Untersuchung der Fließ-Schlacke (Nr. 3, Lesefund von Flurstück 1390) am REM mit EDX-Messung zeigt demzufolge eindeutig Fayalite (Leistenstruktur) und Wüstite (helle dendritische Strukturen). Insbesondere die dendritischen Formen sind ein kennzeichnendes Merkmal für Schlacken. Die Güte der Ausbildung kann allerdings variieren (vgl. SPERL 1980, Abbildungsanhang). Dendritisches Wachstum ist z.B. auch noch beim Olivin möglich, das Erscheinungsbild ist aber anders (vgl. MACKENZIE et al. 1989).

Da die EDX-Messungen an verschiedenen Gesteins- und Feinbodenproben keinen eindeutigen Befund lieferten, wurde von weiteren Proben (A-G) Schliche angefertigt. Ausgewählt wurden sowohl eindeutig als Schlacken identifizierte Probenstücke, als auch Proben unklarer Entstehung. Probe A ist ein Stück von der Schlacke Nr. 14. Sie stellt, wie auch die Fließ-Schlacke Nr. 3, eine Referenzprobe dar. Bei den Proben B und C handelt es sich um die häufig vorkommenden, nicht eindeutig identifizierbaren, schwarzen Körnchen im Sediment. Die Proben D bis G sind auffällige Steine oder nicht zu zuordnende Bruchstücke.

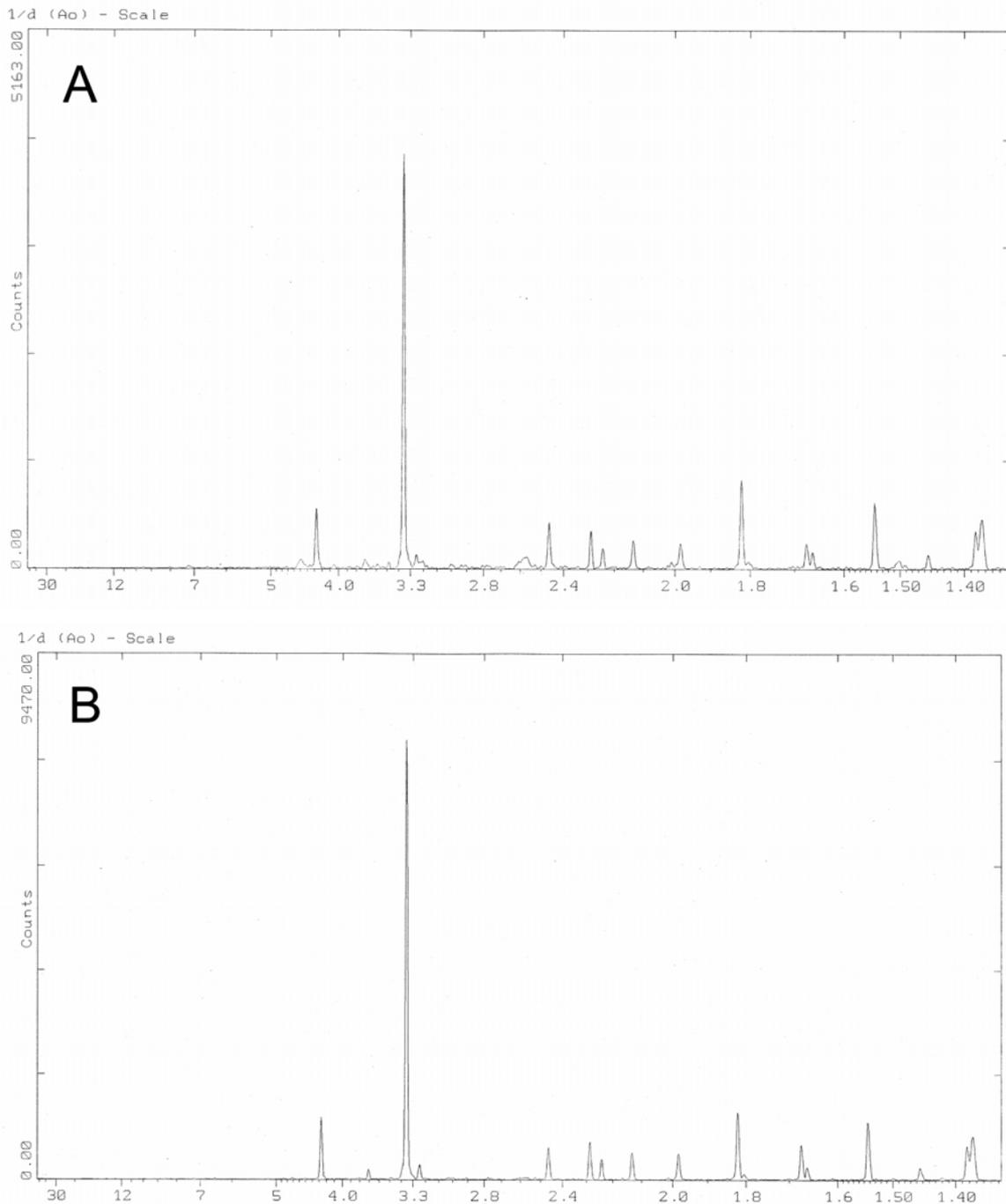
Das poröse Schlackenstück Nr. 14 (= A), obwohl in seinem äußeren Erscheinungsbild stark abweichend von Nr. 3, zeigt im Schliff unter dem Lichtmikroskop ebenfalls Dendrite. Die zwei dunklen Körnchen (B: magnetisch, C: nicht magnetisch) stammen aus der Mischprobe 6637-14/13-15. Dominierend ist eine schwarze Matrix mit eingebetteten hellen Einschlüssen. Hierbei handelt es sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit um Quarz (vgl. ADAMS et al. 1986). B und C sind ähnlich, aber nicht gleich ausgebildet. Es handelt sich nicht um Schlacke, da keine dendritischen Strukturen zu sehen sind. In Probe B sind zusätzlich hellbraune, glasartige Stellen, die bei hoher Vergrößerung gelblich erscheinen, vorhanden. Dabei handelt sich wahrscheinlich um Feldspat (vgl. ADAMS et al. 1986). Probe D ist eine dunkelgraue Gesteinsprobe, innen rötlich gefärbt. Sie stammt aus der Probe 6637-19/10. Auch Probe D hat neben der schwarzen Matrix helle Quarzeinschlüsse. Daneben sind zusätzlich ovale Wirbel („Biskuitrollen“) zu erkennen. Solch ein schalenartiger Aufbau findet sich oft in Karbonatgesteinen. Mikritische Karbonatpartikel dienen als Kern der Ooide. Oolithische Formen treten aber auch bei Eisenerz auf (ADAMS et al. 1986). Die Begutachtung unter dem Mikroskop bestätigt demnach die Annahme, dass es sich nicht um Schlacke handelt. Probe E (Sonderprobe aus 6637-19/16) ist nach der makroskopischen Betrachtung eine kompakte, glänzende Schlacke. Probe F stammt aus der Bodenprobe 6637-20/25 und G aus 6637-30/31. Die Proben E und G ähneln sich Aufbau. Die Oberfläche ist grau

glänzend. Im Innern zeigt sich viel amorphe Masse mit Einschlüssen. Probe G weist außerdem eine rostrotbraune Schleiffarbe auf und die einzelnen Einschlüsse lassen sich klar abgrenzen. Sie sind teils gelblich-braun, teils weiß. Probe F ist außen dunkelrot und innen rot. Eine Begutachtung der Proben durch Dipl.-Geol. C. HELM (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover) ergab, dass Probe D ein Sandstein mit Eisenoolithen ist. Bei Probe E handelt es sich vermutlich um ein Bruchstück von Bohnerz. Probe F könnte eine Schlacke sein, während Probe G mit sehr großer Wahrscheinlichkeit ein Bohnerz mit schalenförmigem Aufbau ist.

Bohnerz ist häufig in der Alb anzutreffen. In der östlichen Schwäbischen Alb enthalten beispielsweise Lehme stellenweise Bohnerz. Es ist ein Verwitterungsprodukt der eisenhaltigen Malmkalksteine. Der Eisengehalt beträgt bis zu 40 %. Die konzentrisch-schalig aufgebauten, meist glatten Kügelchen oder Knollen bestehen überwiegend aus Brauneisenstein bzw. mineralogisch aus Goethit. Die Größe der Kügelchen liegt zwischen 2 und 15 mm, größere „Bohnen“ oder Knollen bestehen aus zahlreichen kleineren, miteinander verkitteten Kügelchen. Dieses Erz steht häufig oberflächennah an und wurde somit seit frühester Zeit (Kelten) von den Menschen genutzt (REIFF & BÖHM 1995). Vergleiche mit Bohnerzfunden aus dem Landkreis Eichstätt weisen ebenfalls darauf hin, dass es sich bei den in den Sedimenten gefundenen kleinen dunklen Kügelchen und größeren schwarzen Bruchstücken um Bohnerz handelt. Auch in Sanden der Rednitz erwiesen sich Brauneisenoolithe als Leitmineral für den liefernden Jura (GRIMM 1956).

Eine weitere Methode, um den mineralischen Bestand einer Probe zu bestimmen, ist die Röntgendiffraktion (vgl. Kap. 3.2.1). Ziele der Untersuchungen sind der Aufschluss über die Zusammensetzung von Schlacken und Feinboden sowie der Nachweis von Verhüttungsprodukten im Feinboden. Minerale müssen bei diesem Verfahren charakteristische Reflexe aufweisen. Insbesondere markante Zeigerminerale, wie etwa Quarz oder Kaolin, können gut bestimmt werden. Die untere Nachweisgrenze liegt etwa bei 5 Gew. %. Die Pulverpräparate wurden aus gemahlenem Feinboden bzw. gemahlenem Schlackenmaterial hergestellt. Die Messung erfolgt je nach Probe in den Messbereichen 2 - 84° und 20 - 130°. An den Diffraktogrammen wurden ein Untergrundabzug sowie eine Glättung durchgeführt. Die Auswertung erfolgt sowohl im 2-Theta Scale als auch im 1/d-Scale. Die ausgewählten Proben repräsentieren unterschiedliche Standorte und Bodenarten: 6637-14/13-15, 6637-13/5, 6637-13/22, 6637-19/1, 6637-19/3, 6637-19/7, 6637-19/10, 6637-19/12, 6637-19/17 sowie Schlacke Nr. 14 (Beschreibungen der Profile und der Schlacke siehe Anhang Tab. A 5 und Tab. A 7). Das Profil 6637-13 liegt außerhalb des Hochwassereinflusses im oberen Teil des großen Schwemmfächers. Im unteren Teil des

Schwemmfächers liegt Profil 6637-14. Das Profil 6637-19 befindet sich im Auenbereich. Ausgewählte Diffraktogramme zeigen die Abbildungen 59 und 60.



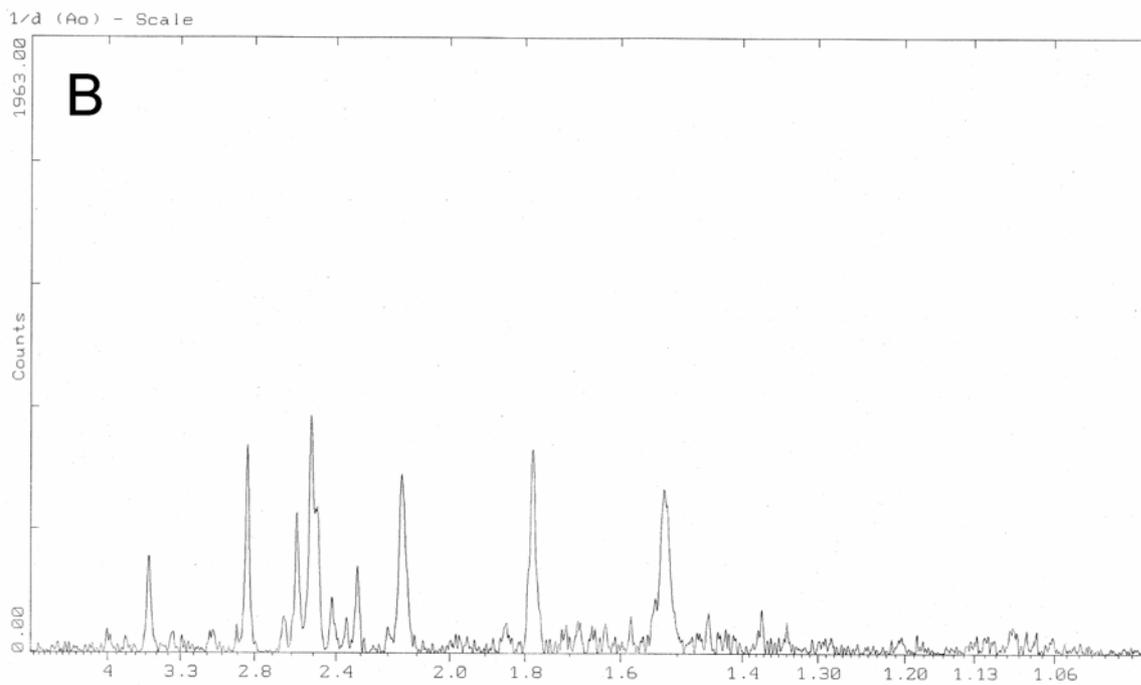
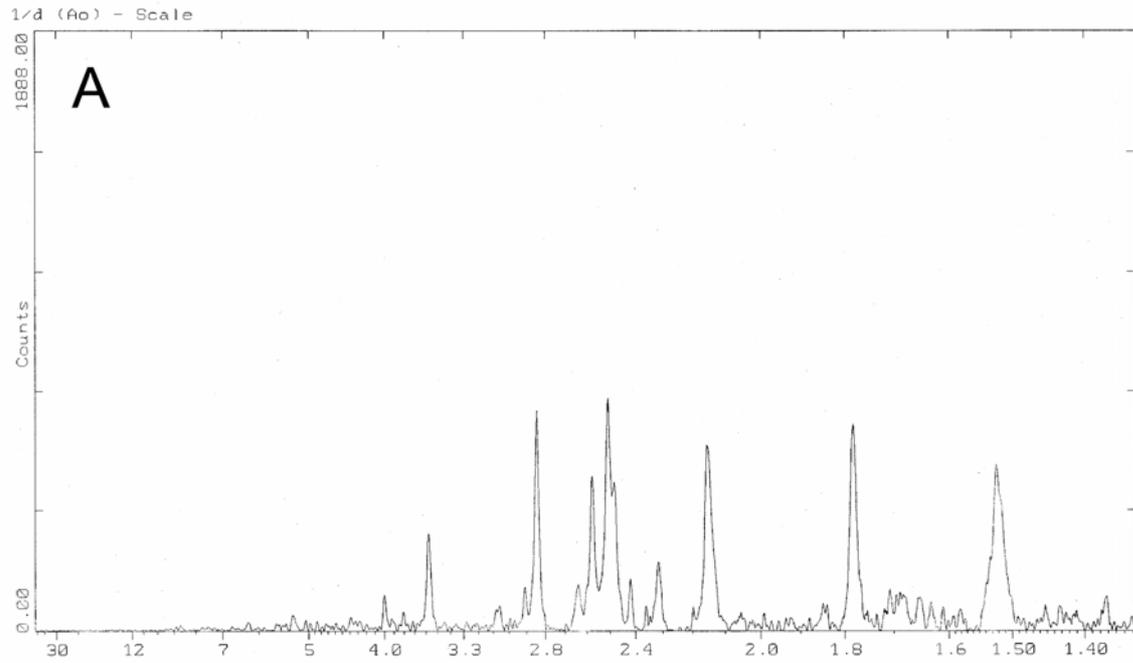
**Abb. 59:** Ausgewählte Röntgendiffraktogramme des Feinbodens (Pulverpräparate)  
A: Probe 6637-19/7, Tiefe: 170 - 196cm, Bodenart: Lt2, Farbe: rotbraun (d-Werte in Å)  
B: Probe 6637-19/12, Tiefe: 300 - 330cm, Bodenart: sandig-grusig, Farbe: rötlich braun (d-Werte in Å)

Die sandig-grusigen Proben (14/13-15, 19/10, 19/12) weisen sehr ähnliche Diffraktogramme auf. Bei allen Messungen liegen deutliche Quarz-Reflexe vor (vgl. ALLMANN 2003, LEOPOLD 2003). Bei den lehmig-tonigen Proben von Profil 19 (z.B. 19/3, 19/7) sind neben den Quarz-Peaks drei weitere, eher breite Peaks auffällig (ca. ~ 3,3; ~ 2,6; ~ 1,5; d-Werte in Å). Bei dem

kleinen Doppelpeak im Bereich  $\sim 3,3$  (d-Wert in Å) handelt es sich sehr wahrscheinlich um Kalifeldspäte und Plagioklase (vgl. LEOPOLD 2003). Diese zeigen auch die tonig-schluffigen Proben 13/5 und 13/22, die oberhalb des Bahndammes entnommen wurden. In den Röntendiffraktogrammen sind die unterschiedlichen Bodenarten (sandig-grusig vs. lehmig-tonig) prägend (s. Abb. 59). Ein Einfluss durch Hochwasser und Verhüttungsprozesse (Vergleich 6637-19 mit 6637-13) kann nicht aufgezeigt werden.

Um ggf. durch Schlacken oder andere Verhüttungsreste eingetragene Komponenten herausfiltern zu können, erfolgte ebenfalls die Messung einer makroskopisch identifizierten Schlacke (Nr. 14, vgl. Tab. A 7). Die Hintergrundkorrektur der Schlackendiagramme ist aufgrund des welligen Verlaufs und der vielen kleinen Peaks, verglichen mit den Spektren der Bodenproben, deutlich problematischer. Mit dem Auswerteprogramm Diffrac AT V30 lassen sich bessere Ergebnisse, als mit dem Programm DiffTool erzielen. Im Messbereich  $2 - 84^\circ$  zeigen sich deutliche Unterschiede der Reflexe im Vergleich zu den Bodenproben (Abb. 60 A). Einige Messungen wurden im Bereich  $20 - 130^\circ$  durchgeführt (Abb. 60 B), da in diesem Messbereich typische Reflexe von Wüstit und Fayalit als Hauptbestandteile von Schlacken liegen (SPERL 1980). Zum Teil kam es gegen Ende der Messung durch den hohen Winkel zur Störung der Probe. Dieses konnte durch veränderte Einstellungen behoben werden. Auch in diesem Messbereich besteht sehr große Ähnlichkeit der Diagramme der Proben 14/13-15, 19/7 und 19/10, im Gegensatz zum Diagramm der Schlacke. Jedoch sind kleine Unterschiede auszumachen, wobei 14/13-15 und 19/10 (beide sandig-grusig) enger korrelieren. Bedingt durch die komplexe, häufig variierende mineralogische Zusammensetzung der Schlackenproben sind die Diffraktogramme nur eingeschränkt auswertbar. Trotzdem konnten, besonders in der  $1/d$  Skalierung mit d-Werten zwischen 3 und 2 sowie um 1,8 (d-Werte in Å), Fayalit-Reflexe identifiziert werden. Bei dem Reflex bei 1,5 (d-Wert in Å) handelt es sich um Wüstit.

Diffraktogramme einer Schlacke (Messbereich:  $2 - 84^\circ$ ,  $20 - 130^\circ$ ) zeigen also deutliche Unterschiede in der Lage und Breite der Peaks zu den Feinbodendiffraktogrammen. Bestimmt werden konnten Fayalit und Wüstit. In den Sediment-Diffraktogrammen konnten aber keine schlackentypischen Reflexe ausgemacht werden, so dass keine Unterschiede zwischen Sedimenten im Einflussbereich von Hochwasser bzw. dem Hammerwerk und davon unbeeinflussten Sedimenten (oberhalb Radweg) festgestellt werden konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass der Nachweis von Spuren mit dieser Methode bei den hier vorliegenden Konzentrationen nicht möglich ist.



**Abb. 60:** Röntgendiffraktogramme Pulverpräparat Schlacke Nr. 14 (A: 2 - 84°, B: 20 - 130°)  
(d-Werte in Å)

## 7 Diskussion der Geoarchive

Während sich die Darstellung der Ergebnisse der Gelände- und Laboruntersuchungen in Kapitel 6 an der Lage der Bodenprofile im Untersuchungsgebiet orientiert, erfolgt in Kapitel 7 eine räumlich übergreifende Diskussion der Kolluvien und Auensedimente als relevante Geoarchive dieser Arbeit. In den Kapiteln 7.1 und 7.2 wird auf die Eigenschaften und die Genese der kolluvial geprägten Hangstandorte und Schwemmfächer bzw. der Auenstandorte eingegangen. Schwermetallgehalte und Schlacken in den Sedimenten stellen einen besonderen Ansatz zum Nachweis montanindustrieller Einflüsse dar und werden deshalb im Anschluss jeweils gesondert diskutiert (Kap. 7.3 und 7.4).

### 7.1 Eigenschaften und Genese kolluvial geprägter Hangstandorte und Schwemmfächer

Das Vilstal weist einen flachen Talboden und steile Hänge auf. An den Seiten existieren einige Trockentäler mit Grabenerosion und Hohlwegen. Kretazische Sandsteine mit verschiedenen Kalkgehalten überdecken z.T. das carbonatische Gestein der Alb (Malmdolomite). An den Oberhängen sind im Untersuchungsgebiet periglaziale Deckschichten und holozäne, kolluviale, anthropogen geförderte Ablagerungen weit verbreitet. Die Hauptlage ist reich an Ton und Steinen. Schluff reiche Schichten sind stark von Löß beeinflusst. Der verwitterte Dolomit weist zwei Faziestypen auf, die zu unterschiedlicher Bodenentwicklung auf den Hängen geführt haben. Zum einen eine sandige, carbonatreiche, zum anderen eine tonreiche, carbonatfreie Fazies mit T-Merkmalen. Im oberen Teil des großen Erosionssystems, südlich von Leidersdorf, sind Rendzinen, Braunerde - Terra fusca und Parabraunerde bzw. Parabraunerde - Terra fusca verbreitet. Alle Profile sind sehr wahrscheinlich durch Bodenerosion verkürzt. Im unteren Teil des Erosionssystems liegen kolluviale über periglazialen Ablagerungen vor, in die später ein Einschnitt erfolgte (RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005).

An den Unterhängen und Schwemmfächern sind überwiegend Kolluvisole verbreitet, zum Teil auch Rendzinen (Abb. A 11). Die Gehalte an organischer Substanz sind durchgängig in allen Kolluvien gering (sehr schwach humos). Ausnahmen bilden nur die Oberböden. Im Untersuchungsgebiet haben die kolluvialen Standorte durchschnittlich einen TOC-Gehalt von 0,28 % (n = 70, ermittelt aus allen Proben der Profile 6637-14, -15, -25 und -64). Dieses zeigt sich auch im Einzelprofil 6637-64, welches einen durchschnittlichen TOC-Wert von 0,35 (n = 13) aufweist. Die Bodenreaktion (pH in CaCl<sub>2</sub>) liegt i.d.R. zwischen schwach sauer und sehr schwach sauer. Die Sedimente sind überwiegend kalkfrei. Durch Kalkbruchstücke sind einige Horizonte der Kolluvien carbonatarm bis schwach carbonathaltig.

Auf dem Schlossberg bei Kallmünz (Unterlauf der Vils) stehen wie im Untersuchungsgebiet dolomitisierte Malm-Kalke in unterschiedlichen Verwitterungsstadien an. Dort sind sowohl Fließerden als auch Terra Fuscae Relikte mit tonig-lehmigen, rotbraunen Horizonten (T bzw. Bv-T) verbreitet (SCHMIDGALL 2003). Zwischen Wolfsbach und Ensdorf konnte nur im Profil 6637-64 der Catena Wolfsbach, Niederfeld ein ausgeprägter T-Horizont mit alluvialer und kolluvialer Überdeckung festgestellt werden. Die benachbarten Profile am Hang enthalten reliktsche Terra-Reste. Bei tonreichen Schichten im großen Schwemmfächer handelt es sich vermutlich um verlagertes T-Material aus dem Bereich des oberhalb gelegenen Erosionssystems. Horizonte direkt über dem Anstehenden wurden allerdings bei den Sondagen in den Schwemmfächern selten erreicht, so dass eine dortige Verbreitung nicht ausgeschlossen ist.

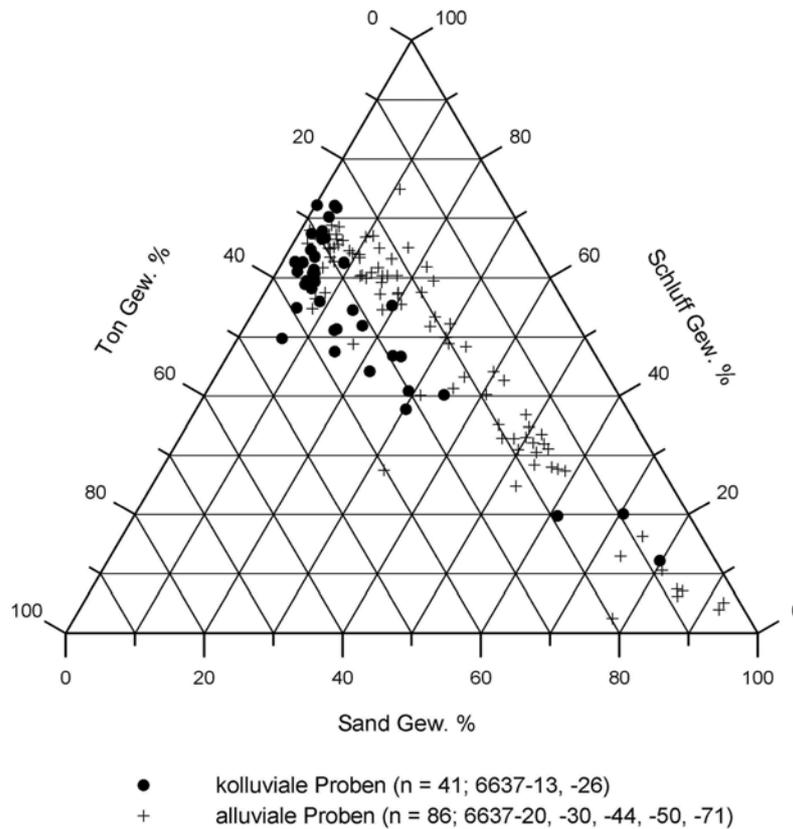
Die Schwemmfächer bei Leidersdorf und Wolfsbach stehen im Zusammenhang mit linearen, anthropogen geförderten Erosionssystemen an den Hängen. Besonders im Mittelalter erfolgten umfangreiche Transporte mittels Fuhrwerken zu den Hammerwerken und dadurch die Ausbildung von Hohlwegen (vgl. Kap. 5.2). Das Erosionssystem und der Schwemmfächer unterhalb des Hammerwerkes Leidersdorf sind deutlich stärker ausgeprägt, als südlich von Wolfsbach. Die detaillierte Untersuchung des Systems im Hirschwald, südlich von Leidersdorf ergab, dass erosive Prozesse ein Trockental überprägt und zu einer nachhaltigen Umgestaltung der Böden und der Landschaft geführt haben. Der auftretende Fazieswechsel ist wahrscheinlich der initiale Grund für die Entwicklung des Trockentals. Das Erosionssystem lässt sich in sechs Abschnitte untergliedern. Den Schwemmfächer, den breiten Auslaufbereich des Trockentales oberhalb des Schwemmfächers, daran anschließend ein zweigeteiltes Grabensystem, dass sich im vierten Abschnitt in zwei Arme teilt. Dort ist jeweils ein Graben entwickelt, der sich im Ausgangsbereich des Trockentales auffingert. Oberhalb schließen sich Hohlwege an. Die Ausdehnung beträgt etwa 1000 m. Die Gräben (Gullies) sind bis zu 5 m in die Lockersedimente eingetieft. Zusammen mit den <sup>14</sup>C-Altern aus Datierungen an Holzkohlen, lassen sich zwei Hauptphasen der Erosion ausgliedern. Die Datierungen der Basis von Kolluvien an der Schulter einer Runse sowie einem Rücken zwischen zwei Runsen ergaben, dreimal ein eisenzeitliches Alter und einmal ein bronzezeitliches Alter. Im Endbereich der Runse, kurz vor dem Übergang in den Schwemmfächer, wurde organisches Material aus etwa 2,5 m Tiefe der kolluvialen Verfüllung datiert. Es ergaben sich Alter sowohl aus der Bronzezeit als auch aus dem Frühen Mittelalter (LEOPOLD et al. 2003, RAAB & VÖLKELE 2005). Damit erfolgte die Erosion holozäner Böden und Ablagerungen von Kolluvien in der Eisenzeit. Eine <sup>14</sup>C-Datierung deutet aber auch schon auf frühere Landschaftseingriffe hin. Im Mittelalter haben sich Runsen in die kolluvialen Ablagerungen eingeschnitten. Im unteren Teil des Trockentals wurde ein Grabenzweig später mit mehrschichtigen kolluvialen Ablagerungen z.T. wieder verfüllt. Die

ungleiche Tiefe der beiden Zweige resultiert wahrscheinlich aus der unterschiedlichen Nutzung der Fahrwege zur gleichen Zeit. Damit existierte bereits zur Zeit der mittelalterlichen Eisenindustrie eine Kulturlandschaft (LEOPOLD et al. 2003, RAAB et al. 2003, RAAB 2005, RAAB & VÖLKELE 2005). SCHMIDGALL (2003) konnte bei Kallmünz (Unterlauf der Vils) ein mächtiges hochmittelalterliches Kolluvium aufzeigen, welches am Unterhang Auelehme überschüttet. Zeitliche Inversionen in den Kolluvien weisen auf eine Zwischenlagerung hin. SCHMIDGALL (2003) konnte anhand von einem extremen Niederschlagsereignis (1982) auch zeigen, dass mit Einzelereignissen eine erhebliche Bodenabspülung (bis über 50 cm) einhergehen kann.

Die beiden untersuchten Schwemmfächer sind vielschichtig und heterogen aufgebaut. Im oberen Teil der Schwemmfächer sind Wechsellagerungen von unterschiedlich ausgeprägten kolluvialen, schluffig-tonigen Schichten sowie z.T. sandig-lehmige Schichten mit hohem Grobskelettanteil (z.B. Grus, Kalksteinbruchstücke) verbreitet. Der Grundaufbau der Unterhänge des großen und kleinen Schwemmfächers ist gut vergleichbar. Im Auslaufbereich der Schwemmfächer überlagern schluffig-tonige M-Horizonte, alluviale, sandig-kiesige Horizonte (alC, Vilsschotter). Aus den Karten des Jahrhunderthochwassers von 1909 geht hervor, dass die unteren Teilbereiche der Schwemmfächer im damaligen Überschwemmungsbereich lagen. Bei dem starken Januar-Hochwasser 2003 waren nur die tiefliegenden Bereiche außerhalb der Schwemmfächer überflutet oder vernässt. Die Oberböden der Schwemmfächer und Hangstandorte, insbesondere der Ackerstandorte, sind stark anthropogen und z.T. erosiv überprägt. Das zeigt sich vor allem an sehr hohen Skelettgehalten im Ah (z.T. auch Ziegelreste und Schlacken). Die Kolluvien enthalten wenig Holzkohle. Humose Zwischenlagen in kolluvialen Schichten sind nur in Profil 6637-41 und Profil 6637-13 vorhanden. Der Vergleich von kolluvialen und alluvialen Standorten zeigt, dass die Korngrößenverteilung z.T. ähnliche Zusammensetzungen aufweist (Abb. 61).

Beide sind eng an die Textur der erodierten Böden geknüpft. Klar tritt die Sanddominanz im alluvialen Bereich hervor, aber auch in den Kolluvien treten vereinzelt hohe Sandgehalte auf. Die Grobsandfraktion der kolluvialen und alluvialen Horizonte unterscheidet sich in ihrer Beschaffenheit. Die kolluviale Grobsandfraktion ist heterogen zusammengesetzt, mit einem bunten Farbeindruck, während die alluviale wenig gefärbt ist und homogener erscheint. Ein Unterschied in der Zurundung der Quarze zwischen den Standorten konnte in Stichproben nicht festgestellt werden.

Die Schwemmfächergenese steht in ursächlichem Zusammenhang mit dem Erosionssystem. Um die Entwicklung des Schwemmfächers aufzeigen zu können, ist ein Vergleich der bodenkundlich-sedimentologischen Detailbefunde wichtig. Im Erosionssystem sind, wie im



**Abb. 61:** Korngrößenverteilung in kolluvialen und alluvialen Profilen

großen Schwemmfächer, schluffig-tonige als auch stärker lehmige Bodenarten vorhanden. Schmutzig-braune Bt-Horizonte und rötlich-braune Horizonte im Erosionssystem sind ggf. vergleichbar mit ähnlich gefärbten Horizonten des Schwemmfächers. Das Anstehende ist ebenfalls vergleichbar (gelblich brauner ICv mit hohem Skelettgehalt), allerdings ist der Feinboden im Erosionssystem z.T. carbonatfrei, enthält aber Kalkbruchstücke. Einige Profile im Erosionssystem enthalten sowohl Schutt aus sandig-kiesigem Material mit hohem Skelettanteil als auch Sand (SI4, St3). Diese Befunde zeigen, ergänzend zu den Untersuchungen im kleineren Erosionssystem südlich von Wolfsbach (vgl. Profil 6637-37), dass Sande natürlicherweise in den Hangbereichen vorkommen. Dies erklärt auch die entsprechenden Befunde im oberen Teil der Schwemmfächer. Eine Verknüpfung lässt sich zudem über die Fließerden herstellen. RAAB (2005) findet in Profil 6637-6 (395 - 400 cm) eine ockerbraune Fließerde und in Profil 6637-7 (195 - 230 cm, Probe 7/11) eine hellbraune (10 YR 4/4), carbonathaltige Lößlehmfließerde. Diese ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit der Probe 6637-18/18 (Schicht IX) im Auslaufbereich des großen Schwemmfächers vergleichbar. Die Probe 18/18 (413 - 428 cm) ist hellbraun bis ockerfarben (10 YR 7/6) und von braunen Horizonten (7,5 YR 4/3 bzw. 4/6) umgeben. Sie ist stark kalkhaltig. Die Probe 7/11 ist ebenfalls von braunen Horizonten (7,5 YR 4/3 bzw. 7,5 YR 5/6) umgeben und hat

einen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt von 8,13 %. Damit kann ein klarer Bezug zwischen den Profilen hergestellt werden.

Die Bildung muss aufgrund der Skelettunterschiede im Schwemmfächer in mehreren Phasen erfolgt sein. Es handelt sich, wie die Untersuchungen von RAAB (2005) gezeigt haben, um mehrfach umgelagertes Material. Das erschwert die Interpretation der Fundlage. Holzkohlereste sind spärlich und Keramikfunde fehlen. Es liegen keine  $^{14}\text{C}$ -Datierungen aus den Schwemmfächersedimenten vor. Auch wenn diese vorhanden wären, wäre eine zeitliche Einordnung aufgrund der vielfältigen Aufarbeitung des Materials und der ggf. stattgefundenen Zwischenlagerung problematisch (vgl. auch Kaskadenmodell, Kap. 2.1). Schüttungsereignisse sind gebunden an intensive Nutzung und starke Niederschlagsereignisse, die häufig zu bestimmten Zeitabschnitten verstärkt auftreten (vgl. Kap. 2.1.1, z.B. BORK et al. 1998, SCHATZ 2000, DOTTERWEICH et al. 2003a). Datierungen und Befunde aus dem Erosionssystem zeigen einen beginnenden anthropogenen Eingriff ab der Bronzezeit mit Verstärkung in der Eisenzeit. Im Mittelalter kommt es zur Einschneidung von Runsen (RAAB & VÖLKELE 2005). Das zu diesen Zeitpunkten erodierte Material wurde größtenteils im Schwemmfächer abgelagert. Diese Schwerpunkte kolluvialer Ablagerung zeigt LANG (2003) auch in anderen Regionen auf. Für das Untersuchungsgebiet konnten zudem, insbesondere für das Mittelalter und die Neuzeit, verschiedene potenziell morphodynamisch aktivere Abschnitte festgestellt werden (vgl. Kap. 5.3). Sie basieren auf der Intensität des Bergbaus, des Waldzustandes und klimatischer Einflüsse. In Zusammenhang mit Befunden aus der Aue ist daher eine Schüttungsphase für das Ende des 15. Jahrhunderts wahrscheinlich (vgl. Kap. 7.2). Für den Wolfsgraben, nahe Bamberg, ist hingegen für das 14. und frühe 15. Jahrhundert eine besonders starke Einschneidungsphase nachgewiesen (DOTTERWEICH et al. 2003a). Während des 30jährigen Krieges ging dort, wie auch im Untersuchungsgebiet, der Druck auf die Landschaft zurück. Die Orientierung der Erosion an anthropogenen Elementen, wie den Transportwegen, konnte beispielsweise auch in der Slowakei beobachtet werden (STANKOVIANSKY 2003). Eine genaue zeitliche Zuordnung der einzelnen Akkumulationsphasen des Schwemmfächers ist jedoch anhand der Befundsituation nicht möglich. Auch bei Untersuchungen von BAUMHAUER et al. (2002) konnten ebenfalls nicht alle Aktivitätsphasen eindeutig zugeordnet werden. Dort, wie auch bei STANKOVIANSKY (2003), treten zudem regionale Unterschiede auf.

Im unteren Teil überschüttet der Schwemmfächer die alluvialen Ablagerungen der Vils in Form von sandigen Schottern. Es handelt sich um ein offenes System, so dass ein Teil des Materials weiter verlagert wurde. Eine Bilanzierung ist daher nicht möglich. Eine ausgeprägte Verzahnung von kolluvialen und alluvialen Sedimenten konnte nicht festgestellt werden. An der oberen Weser liegen ebenfalls Schwemmfächersedimente über alluvialen Kiesen,

allerdings handelt es sich hier um frühholozäne Bachschüttungen, die später mit Auenlehmen überdeckt wurden (THOMAS 1991). Die Vilsschotter sind, wie in anderen Mittelgebirgstälern, vermutlich in das Spätglazial zu stellen (DOBEN & HELLER 1968, vgl. auch Kap. 2.1.2). Damit ist eine relative Datierung des Schwemmfächers möglich. Der heute existente Schwemmfächer ist demnach durch die holozäne Grabenerosion aufgebaut. Die kolluvialen Ablagerungen sind jünger als die Schotter. Damit sind die Auenlehme und der Schwemmfächer in seiner heutigen Form zur gleichen Zeit entstanden. Die Anlage des Schwemmfächers ist jedoch, aufgrund der vorangegangenen Trockentalgenese und der Erfahrung aus anderen Studien, in das Pleistozän zu stellen (vgl. Kap. 4 und 2.1.1, z.B. RÖHRIG 1991, TAVEKHELIDSE 2001, POPE et al. 2003.).

## 7.2 Eigenschaften und Genese der Auenstandorte

Die Auenstandorte sind häufig stark hydromorph überprägt und enthalten i.d.R. kaum Kalkbruchstücke. Die Bodentypen im Untersuchungsgebiet stehen in Beziehung zu den morphologischen Standortbedingungen (Übersichtskarte zur Bodentypenverbreitung s. Abb. A 11 im Anhang). Charakteristisch in der Aue ist in flussnahen Lagen der Auengley. Vereinzelt treten auch, je nach Mikrorelief, die Bodentypen Vega, Gley-Vega und Vega-Gley auf. Verbreitet sind bis zu 4 m mächtige Auenlehme und Auensande über grobsandigen Kiesen (Vilsschotter) gefolgt von angewittertem Kalkschutt. In einigen Auenprofilen kommt es zu kleinskaligen Wechsellagerungen von tonig-schluffigen und sandig-lehmigen Abschnitten (z.B. 6637-30, 6637-50), welche Folge lokaler, räumlich eng begrenzter geänderter Strömungsverhältnisse sind. In etwa 4,5 - 5 m Tiefe wird sowohl bei den Bohrungen im unteren Teil der Schwemmfächer als auch in der Aue die Verwitterungszone des anstehenden Gesteins (hellbrauner, karbonatreicher kantiger Schutt) erreicht. Diese Tiefenlage des Malmkalkes entspricht den Ergebnissen aus Sondagen im Rahmen von Brunnen- und Brückenbauten (vgl. Kap. 5.1.5), so dass der Befund abgesichert ist. Teilweise befindet sich ein fossiler, humoser Horizont über dem Schotter. Er ist in den Profilen 6637-20, -21, -30 (zweigeteilt), -50, -71, -75 (zweigeteilt), -76, -78 (alC fehlt), -79 und -80 vorhanden. Die Gehalte an organischer Substanz sind, bis auf die fossilen Ah-Horizonte und Oberböden, durchgängig in allen Auensedimenten gering (sehr schwach humos). Der durchschnittliche TOC-Gehalt der alluvialen Sedimente der Auenstandorte liegt bei 1,47 % (n = 121, ermittelt aus allen Proben der Profile 6637-20, -30, -44, -50 und -71). Vergleichbare Werte konnte FOELLMER (1999) im Schwarzwald aufzeigen. Die Gehalte im Auenbereich sind naturgemäß höher, als in den kolluvialen Sedimenten und werden stark von den fossilen Ah-Horizonten bestimmt. Das Profil 6637-71, ein Auengley, weist beispielsweise einen durchschnittlichen TOC-Wert von 1,65 % (n = 20) auf. Der Anteil an Makroresten in den Auenprofilen variiert. Die Bodenreaktion (pH in CaCl<sub>2</sub>) liegt i.d.R. zwischen schwach sauer

und sehr schwach sauer. Carbonatreiche Horizonte sind sehr schwach alkalisch, während einzelne Auenhorizonte mittel sauer sind. Überwiegend sind die Sedimente kalkfrei. Die A-Horizonte, alC-Horizonte über dem Cv und die Flusssedimente sind häufig carbonathaltig. Ein deutlicher Anstieg des Carbonatgehaltes erfolgt naturgemäß im Anstehenden (sehr carbonatreich bis extrem carbonatreich). Eine zeitliche Gliederung des Auelehms anhand des Kalkgehaltes können z.T. ROTHER (1989) und MÜNZBERGER (2005) vornehmen. GAIDA et al. (1993) stellen ebenfalls eine von den Sedimentationsphasen abhängige Kalkverteilung fest. Diese ist aber recht ungleichmäßig und kann nicht allein zur zeitlichen Einteilung des Auelehms verwendet werden (vgl. Kap. 2.1.2). Im Auelehm des Untersuchungsgebietes treten sehr vereinzelt Kalkanomalien außerhalb der oben genannten Horizonte auf. Daher lassen sich nur die jüngsten (aAh-Horizonte) und die ältesten alluvialen Ablagerungen (carbonatreiche alC-Horizonte über dem Anstehenden) anhand der Kalkverteilung zuordnen.

Sowohl die Auensedimente als auch die kolluvialen Standorte enthalten Illit, Kaolinit, Quarz und Feldspäte sowie niedrig geladene, aufweitbare Dreischichtsilikate, wobei in der Aue ein höherer Anteil von Kaolinit und Smectit vorhanden ist. Aufgrund des vorverwitterten Materials in Kolluvien und Auensedimenten ist eine Bestimmung bzw. Trennung der primären und sekundären Chlorite mittels Erhitzungspräparaten nur von untergeordneter Aussagekraft. Die günstigsten Bedingungen zur Bildung pedogener (sekundäre) Chlorite liegen ferner in einem pH-Bereich von 4 bis 5 (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Daher wurde, neben Magnesium-, Kaliumbelegten und Weitungs-Präparaten auf die Anfertigung weiterer Präparatvarianten verzichtet. Laut DOBEN & HELLER (1968) ist der Illit das charakteristische Tonmineral der Kalksteine in der Region, während hohe Kaolinitanteile typisch für Horizonte sind, die aus den Schutzfelsschichten entstanden sind. In den aus Reinhausener Schichten entwickelten Horizonten dominieren Illit und Illit-Wechselschichten (DOBEN & HELLER 1968). Sowohl das alluviale Material der Aue als auch die kolluvialen Sedimente am Hang sind vorverwittert. Allerdings hat die Aue ein größeres Einzugsgebiet und erhält damit naturgemäß eine größere und differentere Sedimentfracht. Der höhere Anteil von Kaolinit und der höhere, wechselnde Smectitanteil in der Aue stammt demnach entweder aus dem weiteren Einzugsgebiet der Vils oder aus der vermehrten erosiven Abtragung gut entwickelter Oberbodenhorizonte während Phasen intensiver Landnutzung.

Besonders mit den Catenen Wolfsbach, Niederfeld und Frauengarten kann gezeigt werden, dass die Auelehmablagerung zu einer Nivellierung des Talbodens führte. Im Untergrund sind z.T. Terrassenkanten vorhanden (vgl. Abb. 26 und 48), während die heutige Talaue ein ausgeglichenes Relief zeigt. Ein Reliefausgleich ab der Römerzeit, mit Verstärkung im Mittelalter, als Folge intensiver Landnutzung ist ebenfalls für das Lahntal ausgewiesen (URZ et al. 2002). An der Sieg kann hingegen die Entstehung von Auenterrassen mit dem Bergbau

in Verbindung gebracht werden. Dort war vermutlich, aufgrund der Haubergswirtschaft im Einzugsgebiet, die Sedimentfracht geringer (HEUSCH 1997). An der Vils ist anhand der Untersuchungsergebnisse ein Wechsel der Gewässerdynamik und Beginn der Nivellierung im Frühmittelalter anzunehmen. Neben der intensiven Landnutzung ist ein Einfluss des frühen Ausbaus der Vils auf Auelehmsedimentation und Hochwasserdynamik wahrscheinlich.

Die alluvialen Schotter sind i.d.R. unter den kolluvialen Ablagerungen mächtiger. Mögliche Erklärungen sind zum einen ein Schutz vor Abtragung durch die Überdeckung und zum anderen die Ablagerung von mehr Schottermaterial in randlichen Reliefpositionen während des Spätglazials. Allerdings gibt es auch Ausnahmen in der Schottermächtigkeit. Daher kann keine eindeutige Aussage getroffen werden. Außerdem gibt es Belege, dass es auch im Holozän, bis in die Neuzeit hinein, noch zu Um- oder Ablagerungen von Schotterkörpern (Kiese etc.) gekommen ist (vgl. Kap. 2.1.2, z.B. ROTHER 1989, HEUSCH 1997, MÄCKEL & FRIEDMANN 1999).

Zur regionalen Einordnung der Befunde in dem eng begrenzten Untersuchungsgebiet eignen sich verschiedene Studien, die im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs an Vils und Naab durchgeführt wurden. Zwischen Ensdorf und Schmidmühlen untersuchte RICHARD (2005) die Auswirkungen der anthropogen gesteuerten fluvialen Morphodynamik im Vilstal. Die Vils wurde, wie bereits in Kap. 5.2 dargestellt, früh ausgebaut und zur Zeit des mittelalterlichen Eisenerzbergbaus intensiv als Wasserstraße genutzt. Um den anthropogenen Einfluss auf die Vils näher zu untersuchen, wurde von RICHARD historisches Kartenmaterial (z.B. von 1597 - 1600, 1614, 1640 sowie aus dem 18. Jh.) in einem GIS mit aktuellen Karten und Luftbildern zusammengeführt sowie sedimentologische Untersuchungen durchgeführt (LEOPOLD et al. 2003, RICHARD 2005). Die Altkartenanalyse hat ergeben, dass sich der Lauf der Vils etwa seit dem 16. Jh. nicht verändert hat. Sie war auch in historischer Zeit sehr schwach gewunden und erweist sich als ein undynamisches und lagestabiles Gewässer. Nur südlich von Rieden erreicht sie einen höheren Windungsgrad. Im 20. Jh. wurden bei Rieden und Schmidmühlen drei Mäander begradigt. Die Vils verfügt jedoch über ein natürliches, dynamisches Potenzial. Die festgestellte Lagekonstanz über ca. 400 Jahre lässt auf Uferbefestigungen schließen. Ab dem frühen 14. Jh. ist der Transport von Eisen und Erz auf der Vils schriftlich belegt. Die dazu gehörenden Treidelpfade konnten jedoch nicht nachgewiesen und rekonstruiert werden (RICHARD 2005). RICHARD (2005) weist im untersuchten Flussabschnitt vier Hauptschichten über dem Anstehenden aus. Die Abfolge beginnt zunächst mit einer kiesigen Fazies, gefolgt von einer sandigen Fazies, deren Mächtigkeit variiert. Darüber liegen bis zu 4 m mächtige Auelehme, die in eine lehmig-sandige Fazies (Auenlehm 2) und eine lehmige Fazies (Auenlehm 1) aufgeteilt werden.

Organische Lagen treten in unterschiedlichen Tiefen auf. Ein Umbruch in der Landschaftsentwicklung wird anhand von Datierungen zwischen 642 - 694 AD und 1039 - 1142 AD gesehen. Der Hochstand der Eisenindustrie im 15. - 16. Jh. wird von RICHARD (2005) mit dem Wechsel von Auelehm 2 zu 1 korreliert. In den Auelehmen lassen sich keine Alt- und Nebenläufe der Vils feststellen. Das zeigt, dass die Vils zur Zeit der Auelehmablagerung lagestabil war. Hinweise für Verlagerungen finden sich nur in Sanden und Schottern. Der Sandanteil im Auelehm 2 und die Bänderung mancher Profile wird mit der Anschneidung und Beimischung der unterliegenden sandigen Fazies erklärt. Da der Auelehm 1 keinen Sand enthält, hat ab diesem Zeitpunkt nach RICHARD (2005) kein Aufarbeiten mehr von sandiger oder lehmig-sandiger Fazies stattgefunden. Das Fehlen von rein sandiger Fazies in den Uferprofilen wird durch die Auswaschung der Sande begründet und führte damit zu natürlicher Uferbefestigung (Eigenstabilisierung). RICHARD (2005) geht davon aus, dass die Ufer in der Folgezeit zusätzlich anthropogen gesichert wurden. Wehre wurden vor allem in Positionen mit geringer Fließdynamik errichtet. Im Regelfall sind Wehre Sedimentfallen. Das stoßweise Öffnen für den Schiffsverkehr wirkte dem entgegen. Die Vilssohle verlief damals vermutlich im Anstehenden (massive Eintiefung, Ausräumung der Sohle). Da das Gewässer Schwebfracht dominiert ist, kam es im Laufe der Zeit zu einer kontinuierlichen Aufsedimentation der Aue und paralleler Uferfestlegung. Heute kommt es im Rückstau der Wehre zur Aufsedimentation. Aktuell finden noch kleinere Uferabbrüche statt, aber eine weitere Einschneidung ist nicht zu erwarten (RAAB et al. 2005, RICHARD 2005).

Der Grundaufbau der Sedimente, mit anstehendem Malmkalk, gefolgt von Vilsschotter und Sanden und anschließendem Auelehm, liegt zumeist auch im Untersuchungsgebiet bei Wolfsbach und Leidersdorf vor. Allerdings zeigen nur einige Profile, wie etwa 6637-34 mit dem Aufbau Kalkschutt - gS/Grus - Sand - sandig-lehmiger Auenlehm - schluffig-tonig bis lehmiger Auenlehm, das von RICHARD vorgestellte Schema. Die generelle Unterteilung des Auelehms in zwei zeitlich getrennte Phasen anhand der Sandanteile kann zwischen Wolfsbach und Leidersdorf nicht erfolgen. Die Sandanteile sowie die Sandverteilung in den Profilen variieren. Die Sandablagerung ist in erster Linie an die Strömungsdynamik geknüpft (vgl. Kap. 2.1.2). Auch heute wird im Untersuchungsgebiet noch Sand abgelagert (s. Kap. 6.1). Verschiedene Studien (u.a. HEUSCH et al. 1996, FRIEDMANN & MÄCKEL 1998, SCHMIDGALL 2003) zeigen ebenfalls, dass es auch in jüngerer Zeit noch zur Ab- oder Umlagerung sandiger oder sogar größerer Sedimentkomponenten kommen kann. Dieses trifft auch auf stark ausgebaute Flüsse zu. Beim Vergleich der beiden Untersuchungsgebiete ist zu beachten, dass das Vilstal zwischen Ensdorf und Schmidmühlen breiter ist, was die Sedimentablagerung verändern kann.

Übereinstimmend zu den Untersuchungsergebnissen von RICHARD (2005) können auch zwischen Wolfsbach und Leidersdorf kaum Belege für Laufveränderungen während der Auelehmlagerung festgestellt werden. Nur südlich Wolfsbach kann ein natürliches Altwasser (vgl. Teichrosenkapseln in Profil 6637-45) nachgewiesen werden. Außerdem wird eine kleine Rinnenstruktur (vgl. Profil 6637-50) im Ortsbereich von Wolfsbach vermutet.

Der ehemalige Hammerwerksstandort Traidendorf liegt kurz vor der Einmündung der Vils in die Naab bei Kallmünz. Nördlich von Traidendorf, oberhalb des ehemaligen Hammerwerkes, ergaben sedimentologische und geophysikalische Untersuchungen eine etwa 2 m mächtige Auelehmschicht über Sand, gefolgt von z.T. sandigem Kies. Darunter schließt sich grusig-sandiges Material an. Südlich von Traidendorf ist nur etwa 1 m Auelehm vorhanden. Die sandige Schicht fehlt. Es folgen Kies und Grus (persönliche Mitteilung HEEMSKERK 2005). In Leidersdorf konnte ein vergleichbarer Befund, d.h. eine Variation im Sedimentaufbau vor und nach dem Hammerwerk, nicht festgestellt werden.

Der Raum Kallmünz hat eine jahrhundertelange Siedlungsgeschichte und liegt ebenfalls im Einflussbereich der historischen Montanindustrie. Bodenkundlich-sedimentologische Untersuchungen im Auenbereich des Vils- und Naabtals ergaben zum Teil regelhafte Abfolgen. Häufig ist über dem Anstehenden ein Flussschotter verbreitet, der wahrscheinlich ins Spätglazial zu datieren ist (SCHMIDGALL 2003). Die recht flächenhafte Verbreitung eines organischen Horizontes über dem Schotter und die Pollenspektren lassen im Naabtal darauf schließen, dass es sich dort um einen Schwarzen Auenboden handelt. Im Vilstal im Raum Kallmünz sind hingegen die fAh-Horizonte nicht flächenhaft verbreitet (Bsp. Profil 6837-VA23). Sie sind auch zeitlich nicht klar einzuordnen. Die Ursachen liegen vermutlich im engeren Tal und dem Fehlen von ruhigen, ungestörten Ablagerungsbedingungen (SCHMIDGALL 2003). Die Ergebnisse von SCHMIDGALL (2003) an der Vils lassen sich gut mit den Ergebnissen im Untersuchungsgebiet vergleichen. Der fAh ist im Untersuchungsgebiet ebenfalls nicht flächig bzw. nicht regelmäßig verbreitet. Vergleichbar ist weiterhin das Vorkommen eines Schotterkörpers über dem Anstehenden.

Für die chronostratigraphische Einordnung der Auensedimente spielen  $^{14}\text{C}$ -Datierungen eine wichtige Rolle. Im Rahmen der Untersuchungen wurden zehn  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an organischem Material aus Auensedimenten durchgeführt (s. Tab. 13). Bei der Auswertung sind Fehlerquellen, wie mögliche Umlagerungen (z.B. Aufarbeitung älteren Materials, Mehrfachumlagerung, Zwischenspeicherung) oder Materialunterschiede (Holzkohle, Makroreste) zu beachten. Sowohl bei Profil 6637-20 als auch bei Profil 6637-30 ergeben sich inverse Alter. Insbesondere die in Profil 6637-20 genommenen Proben weisen geringe Abstände in der Tiefe auf. Durch eine entsprechende Vorbehandlung wurden störende Faktoren wie Huminsäuren, Wurzelbeimengungen oder Kalkanteile vor der Messung

weitgehend entfernt. Ein gewisses Risiko der Beeinflussung durch diese Faktoren bleibt jedoch. Bei der Ablagerung von Hochflutlehm kommt es zudem häufig zu variablen Mischungsverhältnissen und inhomogenem Probenmaterial. Inverse Alter konnten auch bei anderen Untersuchungen an Aue-sedimenten festgestellt werden z.B. an der Weißen Elster (HILLER et al. 2003).

**Tab. 13:**  $^{14}\text{C}$ -Datierungen

Proben-nummer	Labor-nummer	Datiertes Material	Tiefe (in cm)	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	BP	BP Fehler	kalibriertes Alter (cal. 2 sigma)
6637-20/18	Hv 24634	Makrorest	314	-27,5	1455	110	AD 535-670
6637-20/21	Hv 24635	Makrorest	368	-27,8	2200	120	BC 390-60
6637-20/22	Hv 24632	Organ. Material	371-383	-29,1	4005	130	BC 2855-2335
6637-20/23	Hv 24633	Organ. Material	383-394	-28,2	2390	125	BC 765-370
6637-30/24	Erl 5828	Makrorest	311-325	-26,9	1185	59	AD 760-980
6637-30/27	Hv 24787	Makrorest	358-373	-	910	80	AD 1025-1225
6637-31/15	Erl 5827	Organ. Reste	265-280	-28,4	906	58	AD 1020-1224
6637-50/20	Erl 6567	Makrorest, torfig mit Feinboden	357-372	-28,0	8561	68	BC 7757-7517
6637-71/17	Erl 6568	Holz	356-376	-26,8	2980	44	BC 1318-1106
6637-78/23	Erl 6569	Holz	417-430	-27,2	1847	45	AD 70-257

Die Proben 6637-31/15 und 6637-30/27 haben nahezu ein identisches  $^{14}\text{C}$ -Alter. Der Vergleich der Proben und der angrenzenden Bereiche miteinander lässt jedoch darauf schließen, dass diese sehr wahrscheinlich nicht vom gleichen Hochwasserereignis stammen. Die Datierungen im Auelehm zwischen Wolfsbach und Leidersdorf ergaben folgende Alter: 20/18 AD 535 - 670 (lehmig), 30/24 AD 760 - 980 (toniger Lehm, zwischen sandigen Horizonten), beide etwa um 315 cm Tiefe sowie 31/15 AD 1020 - 1224 (lehmige und sandige Bereiche, 265 - 280 cm Tiefe). Damit liegt in den lehmigen oder lehmig-sandigen Schichten der Aue eine Spanne vom Frühmittelalter bis zum Spätmittelalter vor. Daraus ergibt sich etwa 3 m Sedimentablagerung seit dem Mittelalter. Dies ist vergleichbar mit anderen Untersuchungsergebnissen an der Vils. Die Vilsaue bei Schmidmühlen baut sich, wie bereits erläutert, aus dem anstehenden Kalkgestein, gefolgt von einer kiesigen Schicht, an die sich erst eine sandige und dann eine lehmige Fazies anschließt, auf. Die Datierungen ergaben für die kiesige Schicht dort ein bronzezeitliches Alter. Die sandige Schicht weist  $^{14}\text{C}$ -Alter vom Spätmittelalter bis zur Neuzeit auf (LEOPOLD et al. 2003). Damit wurden bis zu 2 m Auelehm seit dem späten Mittelalter abgelagert. In Traidendorf an der Vils weisen erste Ergebnisse auf eine (spät-) mittelalterliche Auelehmablagerung hin (persönliche Mitteilung, HEEMSKERK 2005).

Die Proben 78/23, 71/17, 50/20, 30/27, 20/23, 20/22, 20/21 liegen in ähnlicher stratigraphischer Position (fAh über Schotter), zeigen aber eine sehr große Spannbreite bei den  $^{14}\text{C}$ -Altern. Sie reichen vom Mesolithikum bis zum Mittelalter. Es lässt sich ein gewisser Trend in Form einer Abnahme der Alter von Wolfsbach in Richtung Leidersdorf feststellen. Für eine weitergehende Interpretation ist diese Tendenz jedoch nicht ausreichend. Die beiden Holzproben (78/23; 71/17) liegen innerhalb der Spanne der Makroreste. Im Profil 6637-78 fehlt ein ausgeprägter aIC. Unter der mittelalterlichen Probe 30/27 folgt im Profil ein aIC, aber im Unterschied zu den anderen Profilen schließt sich ein weiterer humoser Horizont an. Dieser zweite humose Horizont liegt einem aIC über Cv auf. Wenn man aufgrund dieser stratigraphischen Abweichung die Probe 30/27 aus der Auswertung herausnimmt, ergibt sich für den fAh über Schotter eine Entstehung ab der Römerzeit und älter. Die möglichen Ursachen für inverse Alter innerhalb eines Profils, wie oben beschrieben, gelten auch für die Proben über Schotter. Nicht auszuschließen ist eine Aufarbeitung von älterem Sediment in jüngerer Zeit (vgl. Kap. 2, u.a. ROTHER 1989, SCHMIDGALL 2003).

Humose, schwarze Horizonte zwischen spätglazialen Schottern und holozänen Auenlehmen können in vielen Flusstälern Mitteleuropas beobachtet werden. Sie sind gebunden an morphologisch stabile Phasen oder Areale. Ihre zeitliche Stellung variiert. Die Entwicklung so genannter „Schwarzer Auenböden“ wird vor allem ins Boreal bis Atlantikum gestellt. An der Schülme (Niedersachsen) ist die Entstehung der Mudde in die Jüngere Dryas bis ins Präboreal einzuordnen (BUBENZER 1999). Die Mudden sind deutlich mächtiger und flächenhafter verbreitet als die fAh-Horizonte an der Vils. Auch dort treten inverse  $^{14}\text{C}$ -Alter auf, die auf Sedimentumlagerungen zurückgeführt werden. Ebenfalls ins Präboreal sind die älteren Anmoor-Torf-Pakete an der Kleinen Laaber (Bayern) zu stellen (NILLER 1998). Jünger ist der Schwarze Auenboden in der Bogenbachaue (Bayern) mit einer Entwicklung im ausgehenden Boreal bis Atlantikum (HEINE et al. 2005). Ähnlich sind die humosen Horizonte an der Naab einzuordnen (SCHMIDGALL 2003). Im Unterlauf der Ilme (Niedersachsen) wurde die humose Basisschicht über dem pleistozänen Schotter ab dem Frühmittelalter überlagert (ROTHER 1989). Aus anderen Gebieten ist ein deutlich früherer Beginn der anthropogen geförderten Auelehmlagerung bekannt (NILLER 1998, HEINE et al. 2005, MÜNZZBERGER 2005). Der fAh über Schotter ließ sich in Kallmünz (Vils) zeitlich nur eingeschränkt einordnen. Über paläobotanische Untersuchungen konnte in einem Profil der fAh in das späte Subboreal bis frühe Subatlantikum (etwa Eisenzeit) eingegrenzt werden (SCHMIDGALL 2003). Auch im Untersuchungsgebiet zwischen Leidersdorf und Wolfsbach liegen zwei Datierungen des fAh in der Eisenzeit. Eine Probe wurde in das Ende der Bronzezeit und eine in die Römerzeit datiert.

Die zeitliche Einordnung des fAh im Untersuchungsgebiet ist aufgrund der Befundsituation schwierig. Zusammenfassend betrachtet ist aber eine Entstehung zur Eisenzeit wahrscheinlich. Es handelt sich weder von der zeitlichen Stellung, noch von der Fundlage her um einen Schwarzen Auenboden. Im Untersuchungsgebiet sind die fAh-Horizonten i.d.R. ufernah und vereinzelt entwickelt. Das zeigt, dass die Vils im Holozän kaum größere Flusslaufveränderungen mit ausgedehnten, länger vorhandenen Stillwasser- oder Verlandungsbereichen aufweist. Der Abtrag an den Hängen und die Auelehmsedimentation stehen in einem direkten Zusammenhang zueinander. Dabei ist zu beachten, dass es zur Zwischenspeicherung von kolluvialem Material kommen kann (vgl. Kap. 2). Die Kolluvien kennzeichnen den Beginn des anthropogenen Einflusses. Im Hirschwald, oberhalb des großen Schwemmfächers, liegen sowohl historische als auch prähistorische Kolluvien vor (vgl. Kap. 7.1). Eine ausgeprägte Ablagerung von Auelehm setzt vermutlich mit Verstärkung der Montanindustrie zum Ende des Frühmittelalters und Beginn des Hoch-/Spätmittelalters ein. Die <sup>14</sup>C-Datierungen belegen eine Akkumulation von etwa 3 m Sediment seit dem Mittelalter.

Neben <sup>14</sup>C-Datierungen an organischem Material werden häufig Artefakte zur Einordnung der Sedimentationsabläufe herangezogen. Keramikscherben wurden nur in den alluvialen Proben 6637-34/7, 43/11, -50/11, 51/10 und 71/13 gefunden. Sie können nicht einer Kulturepoche zugeordnet werden und eignen sich daher nicht zur chronostratigraphischen Gliederung der Auensedimente.

Die Profile 6637-71, -72, -73, -74 und -78 enthalten Holzablagerungen. Die mächtigsten Holzlagen befinden sich in den Profilen 6637-72 und -73. Die Tiefenlage bei den beiden Profilen (um 200 cm unter GOK) ist durchaus vergleichbar, auch wenn Mächtigkeit und Stratigraphie nicht identisch sind. KUKULAK (2003) konnte in Polen Holzablagerungen, die mit 120 cm Auelehm überdeckt sind, auf Ende Spätmittelalter/Anfang Neuzeit datieren. Er stellt sie in Beziehung mit dem hochmittelalterlichen Ausbau der Siedlungen und Verstärkung der Landwirtschaft. An der Vils könnte es sich aufgrund der Ufernähe um ehemalige Uferbefestigungen handeln. Dagegen spricht allerdings die Zusammensetzung aus unterschiedlichen Hölzern. Aufgrund der Datierungen in den Profilen 6637-20 und -31 (s. Tab. 13) ist auch an der Vils eine Ablagerung Ende Spätmittelalter / Anfang Neuzeit in der Hochphase der Montanindustrie (vgl. Kap. 5.3) wahrscheinlich. Insbesondere die Jahre um 1460 und 1480 waren durch Starkregen- und Hochwasserereignisse besonders morphodynamisch wirksam. In zahlreichen anderen Auenprofilen sind zudem in vergleichbarer Lage einzelne Steine, Kiese, Kalkbruchstücke und Scherben vorhanden. Vermutlich lässt sich auch ein Teil der stark skeletthaltigen Schichten der Schwemmfächer dieser Zeitspanne zuordnen. Ein genauer zeitlicher Vergleich ist jedoch nicht möglich, da je

nach erosiver Kraft unterschiedlich mächtige Sedimentpakete abgelagert werden können. Die Holzfunde in 6637-71 und -78 sind von ihrer Position hingegen eher den fAh-Horizonten zuzuordnen. Holzkohlebänder, die bei HEUSCH (1997) und MÄCKEL & FRIEDMANN (1999) auf bergbaulichem Einfluss zurückgeführt werden, liegen in der Aue im Untersuchungsgebiet mit Ausnahme von Profil 6637-35 hingegen nicht vor.

### 7.3 Schwermetallgehalte in Kolluvien und Auensedimenten

Neben der Genese der kolluvialen und alluvialen Sedimente ist die Klärung des anthropogenen Einflusses durch die Montanindustrie, insbesondere der Verhüttung, auf den Stoffbestand ein Ziel der Arbeit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf potentiellen Einträgen von Schwermetallen und Schlacken.

In der Betrachtung der Einzelprofile zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Schwermetallgehalten und pedologischen Merkmalen (vgl. Kap. 6.2). Zur Gesamtcharakterisierung des Untersuchungsgebietes wurden Schwermetallmittelwerte aus vergleichbaren Horizonten verschiedener Profile gebildet. Für die Gruppe der Auenstandorte gingen die Profile 6637-20, -30, -44, -50 und -71, für die kolluvial geprägten Unterhangstandorte die Profile 6637-14, -15, -25 und -64 in die Berechnung ein. Die Horizonte wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasst die Horizontklassen Ap/Ah, M, aIC und Cv. Die zweite Gruppe enthält die Horizonte aAp/aAh, aGr/aM, aIC, fAh/Ghr und Cv. Die diagnostischen Horizonte gehen in unterschiedlicher Probenanzahl, je nach Situation des jeweiligen Profils, ein. Korngrößenzusammensetzung und der Anteil an organischer Substanz haben Einfluss auf die Höhe der Schwermetallgehalte. Dem wurde Rechnung getragen, indem z.B. humose Horizonte, d.h. aAp/aAh mit Ap/Ah verglichen wurden sowie in ihren Eigenschaften ähnliche Proben zusammengefasst wurden. Geringe Unterschiede im TOC-Wert sind in diesem Vergleich nicht von entscheidender Bedeutung. Körnungsunterschiede in den Proben sind nicht vermeidbar, aber die Feinboden dominierten Horizonte, wie etwa aM, aGr, M, sind getrennt von reinen Sanden bzw. Groboden dominierten Horizonten (aIC) erfasst. Hier ergeben sich die größten Merkmalsunterschiede und damit auch der deutlichste Einfluss auf die Schwermetallgehalte. Die Klassen enthalten eine unterschiedliche Anzahl an Proben (n).

Wie schon bei der detaillierten Betrachtung der Einzelprofile deutlich wurde, sind die rezent vom Hochwasser betroffenen Standorte und deren Oberbodenhorizonte am stärksten mit Schwermetallen angereichert. Die mittleren Schwermetallgehalte des Untersuchungsgebietes zeigen dieses ebenfalls (s. Tab. 14).

**Tab. 14:** Mittelwerte der Schwermetalle an Unterhang- und Auenstandorten

Schwermetallmittelwerte Unterhang in ppm (6637-14, -15, -25, -64)									
Horizont	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn	n
Ap/Ah	17	88	22	14	41	9	28.603	1.153	6
M	11	65	26	12	30	6	27.411	543	26
aIC	7	27	9	4	6	4	10.785	345	29
Cv	18	97	33	11	11	6	19.956	830	4

Schwermetallmittelwerte Aue in ppm (6637-20, -30, -44, -50, -71)									
Horizont	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn	n
aAp/aAh	157	845	36	73	50	16	43.341	1.999	6
aGr/aM	11	77	23	12	28	9	23.723	886	68
aIC	10	51	15	5	14	7	16.714	148	25
fAh/Ghr	22	114	22	9	26	6	13.279	212	19
Cv	127*	52	27	5	3	7	19.371	775	4

\* ohne Ausreißerwert 12 ppm

In den Unterhängen ist zu beobachten, dass die Gehalte der Elemente, in unterschiedlichen Größenordnungen, vom humosen Oberboden zum aIC hin absinken und zumeist im Cv wieder leicht ansteigen. Dieses sekundäre Maximum tritt in einigen Einzelprofilen stark auf und ist auf den geochemischen Hintergrund zurückzuführen (vgl. Kap. 5.1.3). Bei den Auenstandorten erfolgt ebenfalls ein Abfall der Werte in Richtung aIC. Dort kann jedoch im Cv, im Vergleich zum aIC, nur bei Mangan und Eisen ein eindeutiger Anstieg der Mittelwerte verzeichnet werden. Der Wert von Blei im Cv (Aue) ist kritisch zu beurteilen. Die Probe 6637-30/32 stellt einen einmaligen Extremwert dar und führt zu dem hohen, durchschnittlichen Gehalt von 127 ppm Blei im Cv. Ohne diesen Ausreißerwert wird ein durchschnittlicher Gehalt von 12 ppm erreicht, der sich gut mit den Ergebnissen der Unterhanggruppe vergleichen lässt.

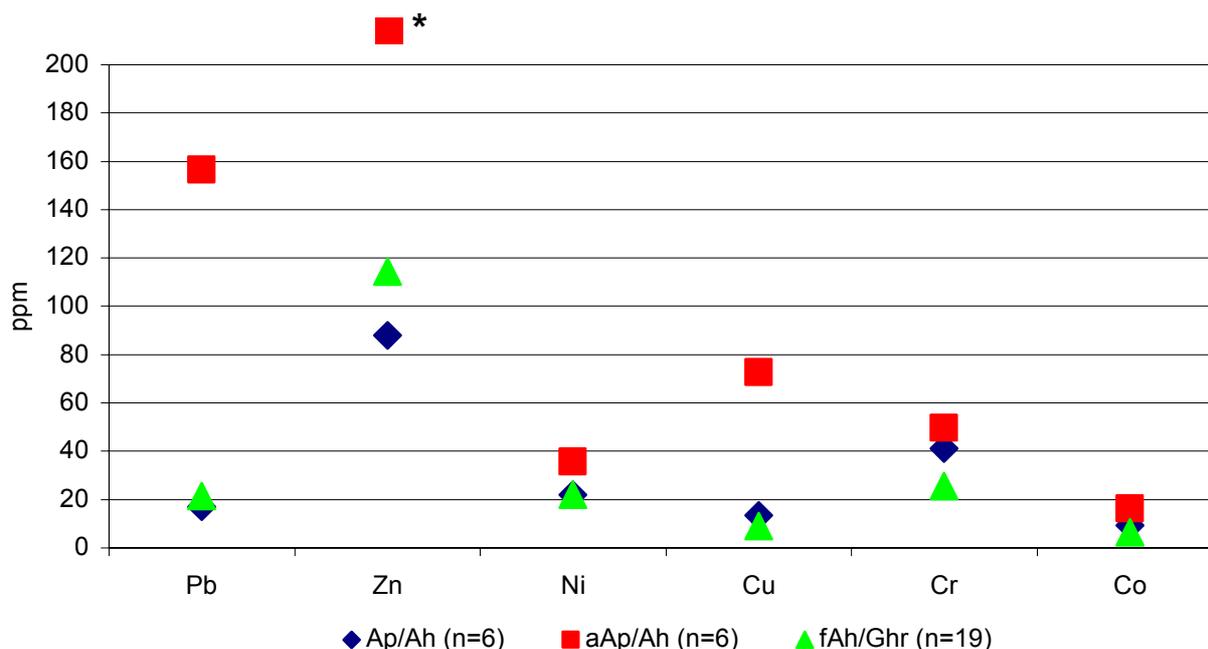
Im Auenbereich sind vor allem die Elementgehalte von Blei und Zink im aAp/aAh sehr stark erhöht. Für fluviale Sedimente sind Werte von etwa 90 - 100 mg/kg Zink normal, unbelastete Böden liegen, je nach Ausgangsgestein, noch weit darunter (GAIDA et al. 1993). Die bedenklichen Gehalte für Blei richten sich vor allem nach Bodenart und pH-Wert (vgl. Tab. A 2 und A 3). In den fossilen organischen Horizonten fAh/Ghr zeigen vor allem Zink und deutlich abgeschwächt Blei und Chrom, einen Anstieg der Konzentrationen im Vergleich zum aIC. Zink ist dort deutlich höher konzentriert als im aGr/aM, aber viel niedriger als im rezenten aAp/aAh. Zink ist jedoch häufig sehr mobil und eignet sich daher schlecht zur stratigraphischen Einordnung (vgl. GAIDA et al. 1993, CISZEWSKI & MALIK 2004). Eine verstärkte Anreicherung von Blei, Zink und Chrom in organischen Horizonten wurde auch von VREČA et al. (2001) festgestellt.

Im Vergleich der humosen Oberbodenhorizonte von Aue zu Unterhang sind die alluvial beeinflussten Horizonte deutlich stärker mit Schwermetallen (Blei, Zink, Nickel, Kupfer, Chrom, Kobalt) angereichert. Vor allem die Blei-, Zink- und Kupfergehalte weisen große Unterschiede auf, hingegen sind die Gehalte von Nickel, Chrom und Kobalt nur minimal erhöht. Hier kommt der rezente Eintrag bestimmter Elemente durch Hochwasser zum Tragen, während die anderen die Grundbelastung anzeigen (vgl. geochemische Hintergrundwerte/Schwermetallbelastung der Vils, Kap. 5.1). Beim Element Kupfer gelten Böden mit 2 - 40 mg/kg als unbelastet (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Im Gegensatz dazu sind die Elementgehalte von M- und aGr/aM-Horizonten fast identisch (Zink in den alluvialen Horizonten minimal höher, vermutlich verlagert). Im aIC der Hänge und der aktuellen Aue ergeben sich vor allem Unterschiede bei den Zink- und Chromkonzentrationen, die in der aktuellen Aue höhere Gehalte aufweisen. Die Blei- und Kupfergehalte sind gut vergleichbar, während die Nickel- und Kobaltkonzentrationen in der heutigen Aue leicht höher sind. Im Cv sind bei korrigierter Bleikonzentration (siehe oben) die Werte gut vergleichbar. Die Übereinstimmung der Elemente im Cv sollte auch gegeben sein, da es sich in allen Profilen um das gleiche Ausgangsgestein handelt.

In den Auenstandorten sind die Eisen- und Mangangehalte u.a. durch Hydromorphieeinfluss und ggf. rezenten Einträgen in den A-Horizonten sehr stark gegenüber den Unterhängen erhöht. In den Unterbodenhorizonten (M, aM/aGr, aIC) zeigt sich kein klares Bild. In den fossilen humosen Horizonten erreichen die Eisen- und Mangankonzentrationen vergleichbare Spannen wie in den aIC-Horizonten. Sie sind damit niedriger als die Gehalte der aktuellen A-Horizonte. Die Eisengehalte sind aufgrund ihrer starken Bindung an die wechselnden Reduktions- und Oxidationsverhältnisse schwierig chronostratigraphisch einzuordnen (vgl. auch CASPERS 1994). Vereinzelt Anomalien von Eisen und Mangan in den unteren Sedimentschichten gehen wahrscheinlich auf reliktsche Grundwasserspiegelschwankungen zurück (vgl. SCHMIDTCHEN et al. 2003).

Bei den anderen Elementen ergibt sich eine gute Vergleichbarkeit der Konzentrationen von Ap/Ah-Horizonten mit den fAh/aGhr Horizonten (s. Abb. 62). Die Zinkkonzentration ist in den fossilen humosen Horizonten etwas höher, während die Chromkonzentration etwas geringer ist. Die aAp/aAh Horizonte sind am stärksten mit Schwermetallen belastet, wobei Blei, Zink und Kupfer die entscheidenden Elemente darstellen. Die Nickel-, Chrom- und Kobaltgehalte zeigen eine gute Übereinstimmung zu den anderen organisch geprägten Horizonten. Das belegt eine Grundbelastung, die auch schon in den sehr alten Horizonten der heutigen gleicht, sofern kein spezieller, rezenter Eintrag erfolgt ist.

Da die mittleren Gehalte der Schwermetalle in den alluvialen aM/aGr-Horizonten mit denen in den kolluvialen M-Horizonten vergleichbar sind, lässt sich kein deutlicher Einfluss durch



**Abb. 62:** Schwermetallmittelwerte organisch geprägter Horizonte (\* = Wert liegt bei 845 ppm)

Bergbau und Verhüttung auf die Schwermetallgehalte in der Aue nachweisen. Für die Harzbode konnte DOBLER (1999) ebenfalls feststellen, dass es durch die frühe Eisenverhüttung zwar zu höheren Sedimentationsraten, aber nicht zur Anreicherung von Schwermetallen gekommen ist. Auch am Unterlauf der Sieg ist ein Einfluss durch den Bergbau auf Eisenerz und andere Erze im Einzugsgebiet anhand der Schwermetallgehalte nicht eindeutig nachzuweisen (HEUSCH 1997). Im Bezug auf andere Gebiete mit historischer Montanindustrie, wie etwa an der Selke im Harz (DOBLER 1999) oder im mittleren Schwarzwald (BERGFELDT 1995), zeigt sich demnach im Untersuchungsgebiet keine entsprechend starke Anreicherung von Schwermetallen (vgl. auch Kap. 2.2.2, z.B. CASPERS 1994, HUDSON-EDWARD et al. 1997). In den belasteten Regionen wurden jedoch vorwiegend Buntmetallerze verhüttet, die erhebliche Schwermetallgehalte aufweisen. Häufig sind zudem Halden Hauptemissionsquellen (z.B. EGGERS 1996).

Eine Unterteilung in einen älteren und jüngeren Auelehm anhand der Schwermetallgehalte ist nicht möglich (vgl. Beschreibung der Einzelprofile). Ebenfalls können keine signifikanten Streufahren bzw. Konzentrationsabnahmen in Abhängigkeit zur Entfernung von den Hammerwerken festgestellt werden (Beispiele: 6637-14 zu -15; Vergleich von 6637-50, -71 und -44). Aufgrund der längeren Produktionsdauer und des Betriebes eines Blaufens, wurde für das Umfeld des Hammers Leidersdorf eine stärkere Beeinflussung vermutet (vgl. Kap. 5.3). Das kann jedoch anhand der Schwermetallkonzentrationen nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Um den rezenten Eintrag besser einordnen zu können, eignet sich der Vergleich der Schwermetallgehalte mit vorhandenen Messreihen des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG. Die Schwermetallgehalte der Vilsedimente, die in Wolfsbach 1995, in Drahtammerschlößl 1996 und in Theuern 1993/1995 gemessen wurden (vgl. Kap. 5.1.4), sind i.d.R. deutlich höher als die Gehalte aus den Flusssedimenten und den aAh-Horizonten (Mittelwert) zwischen Wolfsbach und Leidersdorf. Im Detail zeigt sich, dass Eisen in Böden oder Flusssedimenten aus dem Untersuchungsgebiet ähnliche Werte, wie die vom WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG ermittelten Gehalte, z.B. in Theuern 1993, erreichen kann. Beim Altwasser Rieden sind ebenfalls die Eisengehalte vergleichbar. Mangan ist im Untersuchungsgebiet in den aAh-Horizonten höher und in den Flusssedimenten geringer konzentriert. Das deutet auf eine stärkere Kopplung der Mangangehalte an pedogenetische Prozesse hin. Die Nickelgehalte sind in den aAh-Horizonten vergleichbar und in den Flusssedimenten niedriger. Die anderen Elementgehalte (Ausnahme Chrom 1986) sind in den Untersuchungen des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG durchweg höher. Die Ursachen und Gründe für die Unterschiede sind vielfältig. Die abweichenden chemischen Aufschlussverfahren sind zu vernachlässigen (vgl. EIBERWEISER 1995). Die Proben wurden jedoch auf unterschiedliche Art und Weise gewonnen. Sammelkästen nehmen die im Strom dispergierten Partikel auf, während die Sondagen die im Flussbett abgelagerten Sedimente erfassen. Des Weiteren liegen die Untersuchungen des Wasserwirtschaftsamtes schon einige Jahre zurück, so dass seitdem eine Verminderung der Belastungssituation durch geringere Einleitungen eingetreten ist. Außerdem treten, wie die eigenen und die Untersuchungen des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG an Flusssedimenten zeigen, räumlich unterschiedlich verteilte Konzentrationen auf.

Im Untersuchungsgebiet zwischen Wolfsbach und Leidersdorf sind die A-Horizonte in Auenlage am stärksten belastet. Haupteintragspfade für Schwermetalle sind dort periodische Überflutungen durch Hochwasserereignisse. Viele dieser Standorte wurden lange Zeit, oder werden derzeit noch, ackerbaulich genutzt. Auf landwirtschaftlichen Flächen sind Klärschlamm, Dünger oder andere Stoffe weitere Eintragspfade. Für den Triebwerkskanal in Theuern ist eine Ausräumung von 1991 belegt. Der Schlamm wurde auf benachbarten, landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht. Eine vorherige Untersuchung des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG ergab vergleichbare oder niedrigere Schwermetallgehalte, als bei der Probennahme von 1993 (vgl. Kap. 5.1.4). Damit lag das Material unterhalb der Grenzwerte der Klärschlammverordnung (siehe Tab. A 3 im Anhang) und konnte auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Es enthielt aber dennoch eine erhebliche Schwermetallfracht. Belegt sind im Untersuchungsgebiet die Ausbaggerung der Vils bei Wolfsbach mit ortsnahem Auftrag sowie die Ablagerung von Material auf Auenstandorten im Rahmen des Kanalbaus beim Sägewerk in Leidersdorf (vgl. Kap. 6.1).

Über eine vergleichbare Maßnahme sind wahrscheinlich auch die großen Schlackenstücke im Bereich der Catena Wolfsbach, Niederfeld in den Oberboden gelangt.

Die vom Wasserwirtschaftsamt ermittelten, rezenten Schwermetallgehalte im Vilsediment erklären den größten Anteil der erhöhten Blei-, Kupfer- und Zinkgehalte in den aAh-Horizonten (aAh i.d.R. am höchsten belastet) sowie in der Probe B der Flusssedimente. Bei entsprechenden Hochwässern wurden die belasteten Vilsedimente auf den Auenstandorten abgelagert. Die Unterschiede im Gehalt sind die Folge von Verdünnungseffekten. Die Nickelkonzentrationen in den verschiedenen Untersuchungen stimmen gut überein, so dass es sich um den Grundgehalt von Nickel handelt. Da die jetzigen Flusssedimente geringer belastet sind, kann von einer Verbesserung der Situation ausgegangen werden. Die Anreicherung in der Aue geschah im letzten Jahrhundert und ist eine typische Begleiterscheinung der verstärkten Industrialisierung im 19. und 20. Jahrhundert (vgl. Kap. 2.2.2; 5.1.4). Dies tritt auch in Regionen mit eher geringem Industriebesatz auf (MARTIN 2004). Blei kann zudem aus Halden des ehemaligen Bleierzbergbaus am Oberlauf der Vils eingetragen werden (HÜRKAMP et al. 2003, HÜRKAMP 2006).

Insgesamt bleibt festzustellen, dass die Gehalte in den Böden, mit Ausnahme weniger Proben, im Bezug auf derzeit gültige Grenzwerte und Verordnungen (vgl. Tab. A 2 und Tab. A 3 im Anhang), gering sind. Aufgrund des vorherrschenden pH-Wertes ist die Mobilität der Schwermetalle außerdem als relativ gering einzuschätzen. Untersuchungen von weiteren Standorten an der Vils unterhalb Ambergs bestätigen die Aussagen. Aus dem Erosionssystem oberhalb des großen Schwemmfächers liegen von einem Profil Schwermetallgehalte vor. Profil 6637-5 (Parabraunerde) befindet sich im Kulminationsbereich einer Tiefenlinie unter forstlicher Nutzung. Blei hat dort sein Maximum im M-Ahl mit 15 ppm. Die Zinkwerte liegen im Profil zwischen 52 und 72 ppm. Nickel sowie auch Kupfer, weisen in den lessivierten Horizonten die geringsten Gehalte auf. Das Maximum im Profil liegt für Nickel bei 39 ppm, für Kupfer bei 13 ppm. Chrom erreicht Werte von 24 - 31 ppm, Kobalt 9 - 18 ppm (RAAB 2005). Der Vergleich mit den Mittelwerten aus den kolluvialen Horizonten der Unterhangstandorte, aber auch mit den aGr/aM-Horizonten der Aue, zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Nickel- und Kobaltgehalte sind bei Profil 6637-5 minimal höher. Das ist ein weiterer Hinweis darauf, dass es sich bei den gemessenen Schwermetallgehalten um die Grundbelastung der Sedimente handelt (Ausnahme aAh).

Die Schwermetallgehalte in den Auenprofilen der Vils bei Kallmünz sind ebenfalls sehr gering und unauffällig. Im aAh sind die Zinkwerte, wie auch im Untersuchungsgebiet zwischen Wolfsbach und Leidersdorf, deutlich erhöht. Leichte Anstiege der Gehalte von Zink, Nickel, Chrom und Kupfer treten in den etwas humoseren oder tonigeren Lagen auf. Die maximalen Werte in Profil VA25 sind: Pb 16 ppm, Zn 124 ppm, Ni 29 ppm, Cu 13 ppm,

Cr 36 ppm, Co 7 ppm. Die Naabauenprofile weisen, auch in der Tiefe, höhere Zinkgehalte auf (SCHMIDGALL 2003). Aufgrund des geologisch anderen Einzugsgebietes, können die Werte der Naabaue jedoch nicht direkt für Vergleiche herangezogen werden. Eine leichte, anthropogen bedingte Anreicherung im Raum Kallmünz kann nur deutlich in den Hortisolen auf dem Schlossberg-Plateau nachgewiesen werden. Die durchgeführten Schwermetallanalysen weisen auf dem Schlossberg die höchsten Werte bei Zink auf. Auch hier kann ein Anstieg in tonreicheren Proben verzeichnet werden. Die durchweg geringen Schwermetallgehalte in der Aue führt SCHMIDGALL (2003) auf Verdünnungsprozesse sowie geringere montanhistorische Aktivität als erwartet zurück. Die Schwermetallgehalte erreichen im Raum Kallmünz insgesamt ähnliche Werte wie im Untersuchungsgebiet.

In Theuern, nördlich Wolfsbach, befindet sich ebenfalls ein alter Hammerwerksstandort mit Wehr und Umflut. Zuletzt war an diesem Standort ein Sägewerk in Betrieb. In der Baugrube eines Neubaus (Nov. 2003) lagen sehr viel Schutt, Ziegel, große Steine und Brocken sowie Schlacken vor. Laut Aussagen des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG sind Schlacken ansonsten vor allem im Inselbereich anzutreffen. Die Begehung des Geländes und der Grubenbefund zeigen, dass es sich um eine Aufschüttung handeln muss. Die betroffene Fläche ist deutlich erhöht. Die vom WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG durchgeführten Sondierungen ergaben das Vorkommen von Bauschutt, Ziegelresten, Kalkschottern, Metallen und Asphaltbrocken. Außerdem lag tiefschwarzes, feinkörniges Material mit auffälligem Geruch nach Kohlenwasserstoffen in unterschiedlichen Anteilen vor. Aber auch Bereiche mit unauffälligen Boden- und Humusauffüllungen befinden sich auf der Fläche. Aufgrund der organoleptischen Auffälligkeiten wurden im Auftrag des WASSERWIRTSCHAFTSAMTES AMBERG weitere Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen von Proben aus Gruben und Bohrungen im Gebäudebereich belegen eine erhöhte Belastung von Mineralölkohlenwasserstoffen unterhalb der Werkshalle durch Öleinträge (Akten WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG). Messungen mit der portablen RFA an Proben aus einem schwarzen Schlackehorizont in der Nähe der ehemaligen Betriebsgebäude ergaben folgende Werte: Zr  $100,0 \pm 10,0$  ppm, Rb  $30,7 \pm 6,5$  ppm, Zn  $274,6 \pm 44,3$  ppm, Fe  $131.993,59 \pm 2.200,0$  ppm und Ba  $235,2 \pm 80,7$  ppm. Alle anderen messbaren Elemente lagen unter der Nachweisgrenze. Der Zinkgehalt ist, im Vergleich mit dem Mittelwert aus den Untersuchungen zwischen Wolfsbach und Leidersdorf, höher als der Grundgehalt. Er liegt jedoch im Rahmen der Werte, die in aAh-Horizonten erreicht werden. Aus ökologischer Sicht bedenkliche Gehalte an kritischen Schwermetallen (z.B. Blei), sind nicht nachgewiesen worden. Der Eisengehalt ist sehr hoch. Vermutlich liegt auch hier eine Verunreinigung mit technischen Ölen, die auch Abrieb von den Maschinen enthalten, vor. Zur Einschätzung fehlen jedoch weitere Parameter, die nicht untersucht wurden, da der Standort außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes liegt. Aufgrund der Befunde in Theuern, ist auch im

Bereich des ehemaligen Sägewerkes in Leidersdorf (alter Standort auf dem Inselareal) eine Verunreinigung mit Altöl und Schmierstoffen zu vermuten.

Neben den absoluten Elementgehalten können auch die Verhältnisse der Elemente zueinander Aufschluss über eine natürliche oder anthropogenbedingte, montanindustrielle Belastung geben (z.B. bei FOELLMER 1999). Der bivariate Korrelationskoeffizient nach Pearson ist ein Maß für den linearen Zusammenhang. Es wurden die Schwermetallkonzentrationen, die Korngrößenzusammensetzung, die TOC-Werte und die Kalkgehalte in die Berechnung mit einbezogen. Dabei ist zu beachten, dass insbesondere bei den Korngrößen aufgrund des zum Teil geringen Feinbodenanteils nicht immer für alle Proben eines Profils Daten vorliegen.

Die Korrelationskoeffizienten zeigen kein klares Bild. Die Profile der Unterhänge weisen in der Regel höhere Zusammenhänge, als die Auenprofile auf. Viele positive Korrelationskoeffizienten (über 0,9) bestehen bei 6637-15, 6637-25 und 6637-64. Es existieren Zusammenhänge sowohl zwischen den verschiedenen Schwermetallen als auch zwischen Schwermetallen und Schluff oder Ton. In den Auenprofilen sind deutlich weniger starke Zusammenhänge vorhanden, insbesondere bei den Profilen 6637-20, 6637-30 und 6637-50. Eine größere Anzahl hoher Korrelationskoeffizienten bestehen bei 6637-71 und 6637-44. Die tendenziell niedrigen Zusammenhänge in der Aue können in der größeren Ablagerungsdynamik und im anthropogenen Einfluss begründet sein. Laut CASPERS (1994) kann eine hohe Streuung der Elementgehalte ein Indiz für den anthropogenen bzw. bergbaulichen Einfluss sein. Er konnte zudem keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Sedimente und der Korngröße an der Aller feststellen. Schwermetalle sind häufig an die organische Substanz gebunden (vgl. Kap. 2.2.2, z.B. MILLER 1997). Eine starke Korrelation von TOC und Metallen kann aber nur bei 6637-44 und den Elementen Blei, Zink und Kupfer aufgezeigt werden. In der Diskussion der Messwerte der Einzelprofile (s. Kap. 6.2) kann aber häufig ein Zusammenhang zwischen organischer Substanz und den Schwermetallgehalten hergestellt werden.

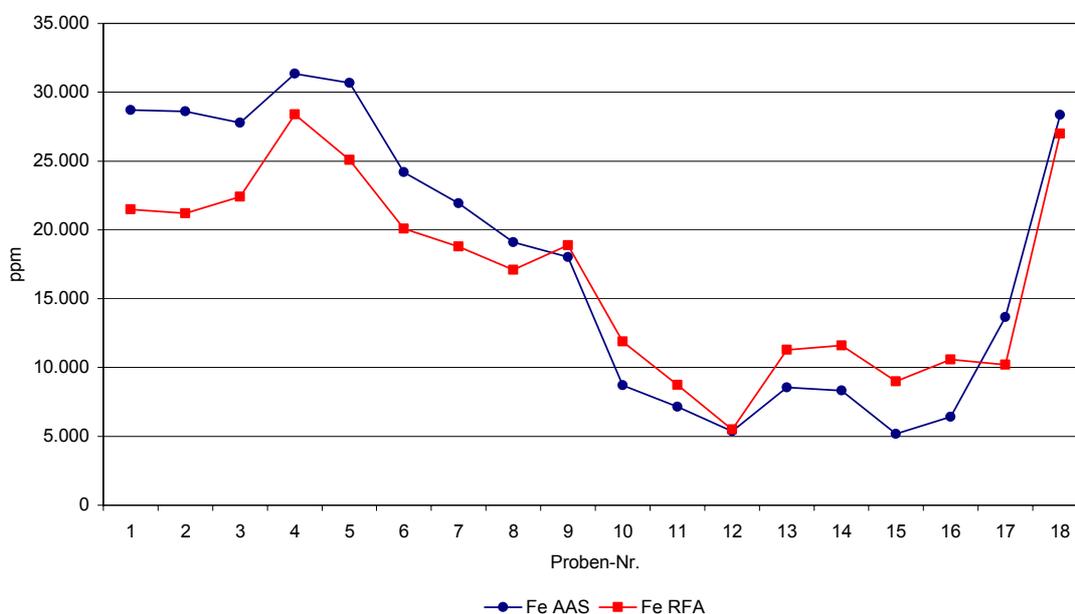
Obwohl Studien zeigen, dass in einigen Bergbaugebieten eine Schwermetallanreicherung auch in der Sandfraktion erfolgen kann (vgl. Kap. 2.2.2; MACKLIN & DOWSETT 1989, DOBLER 1999, FOELLMER 1999), ist dies im Untersuchungsgebiet nicht der Fall. Sand und Schwermetalle sind häufig stark negativ korreliert. Bei Schluff und Ton ist dagegen kein eindeutiges Muster zu erkennen. Gerade in den Auenprofilen treten sowohl hohe als auch eher geringe Korrelationskoeffizienten zwischen Ton, Schluff und den Schwermetallen auf. Bei der Betrachtung der Messwerte der Einzelprofile ergab sich hingegen zumeist eine enge Beziehung zwischen Schwermetallgehalt und Ton- bzw. Schluffgehalt. Der Vergleich der Schwermetalle untereinander ergab, dass am häufigsten eine hohe, positive Korrelation

zwischen Zink und Kupfer, gefolgt von Chrom und Eisen auftritt. Auch CASPERS (1994) stellt für Zink und Kupfer ein ähnliches Verhalten fest.

Zusätzlich zu dem nasschemischen Schwermetallgesamtaufschluss mit Messung an der AAS wurden Untersuchungen mit der portablen Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt (Methode s. Kap. 3.2.1). Sie ermöglicht die schnelle Bestimmung eines breiten Elementspektrums. Ihr Einsatz ist in bodenkundlichen Anwendungen recht neu. Daher wurden zunächst verschiedene Tests mit anerkannten Standards, mit unterschiedlichen Messzeiten und verschiedenen Proben durchgeführt. Eine Messzeit von 120 Sekunden erwies sich als ein geeigneter Kompromiss zwischen Messzeit, Erhöhung der Nachweisgrenze (Zeit abhängig) und Standardabweichung. Eine Vergleichsuntersuchung einer Probe in ungemahlenem und gemahlenem Zustand, mit beiden Strahlenquellen und 12 direkten Wiederholungsmessungen, ergab zum Teil erhebliche Abweichungen der Parallelen. Außerdem traten Unterschiede zwischen gemahlener und ungemahlener Probe auf. Am stärksten ist dieser Effekt bei Eisen und Mangan. Die Mittelwerte von Eisen ergeben 5.836 ppm (gemahlen) zu 10.604 ppm (ungemahlen), die Mittelwerte bei Mangan 1.064 ppm (gemahlen) zu 345 ppm (ungemahlen), während die Mittelwerte von Blei gut übereinstimmen (17 zu 19 ppm). Bei den Messungen des Elementes Eisen kann zudem ein gegenläufiger Verlauf der Werte bei der gemahlener zu der ungemahlener Probe festgestellt werden. Bei der ungemahlener Probe nehmen die Eisenkonzentrationen bei wiederholter Messung der gleichen Probe zu, bei den gemahlener ab. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass sowohl die Probenbeschaffenheit als auch die wiederholte Bestrahlung Einfluss auf die Messwerte haben.

Das Profil 6637-14, ein Kolluvisol über alluvialen Sedimenten, wurde für ein Screening ausgewählt. Neben den Erkenntnissen über zusätzliche Elemente erfolgt auch ein Vergleich mit den Ergebnissen aus den bisherigen Analysen. Die Messung aller Proben des Profils erfolgte ohne Wiederholung bei einer Messzeit von 120 Sekunden unter Verwendung beider Quellen. Mit der Cadmium-Quelle konnten die Elemente Mo, Se, As, Hg, Cu, Co und Mn in keiner oder nur in einzelnen Proben des Profils bestimmt werden. Gut auswertbare Messergebnisse wurden bei Rubidium (Rb) erzielt. Der Verlauf der Werte im Profil ähnelt dem von Eisen, mit Maxima bei den Proben 4 und 18 (s. Abb. 63 und 64). Die Gehalte von Zink weisen starke Sprünge auf und liegen z.T. unter der Nachweisgrenze. Gute Übereinstimmung von RFA und Schwermetallgesamtaufschluss wird nur bei zwei Proben erreicht. Das Maximum liegt in Probe 18 vor, in der ebenfalls ein Anstieg bei den Elementen Sr, Rb, Cr und Fe zu beobachten ist. Die Werte von Zirkonium (Zr) zeigen mehrere Anstiege und Abfälle, die nicht allein durch Korngrößenunterschiede erklärt werden können (Abb. 64). Zirkoniumsilikat ist ein relativ häufiges Begleitmineral in Graniten und Gneisen. Die

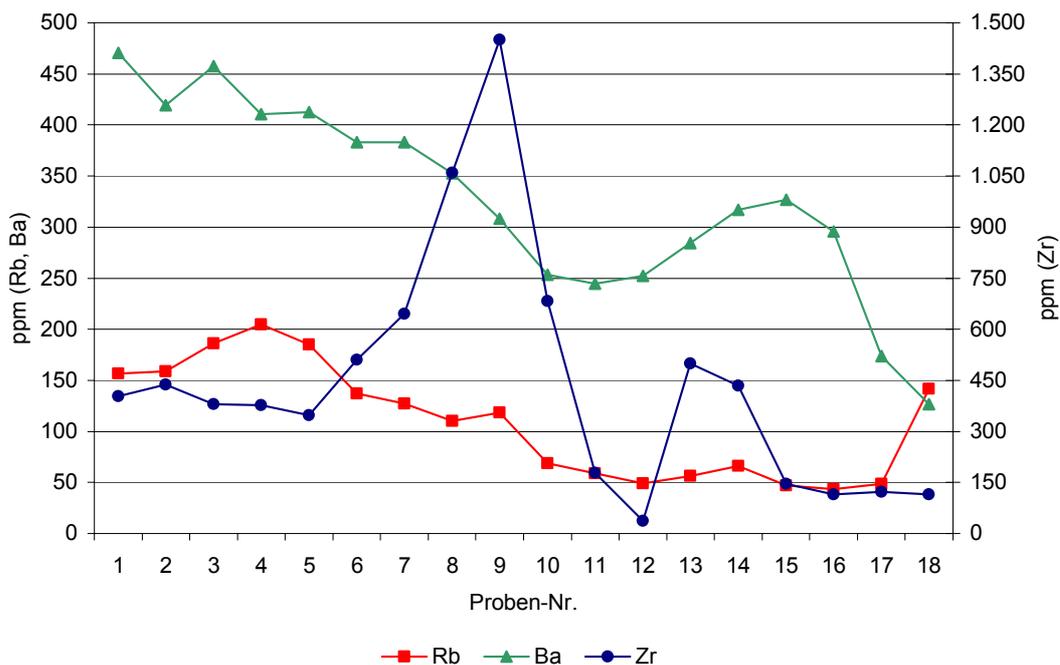
gemessenen Bleikonzentrationen sind bei den Methoden unterschiedlich, wobei die RFA zu höheren Werten tendiert. Mangan lag bei der RFA-Messung nur in den ersten beiden Proben über der Nachweisgrenze mit Gehalten von 1.140 ppm in Probe 1 und 710 ppm in Probe 2. Auch im Gesamtaufschluss haben die ersten Proben die höchsten Gehalte mit 1.128 ppm und 1.020 ppm. Dann fallen die Konzentrationen ab, bis zu einem starken Anstieg am Ende des Profils. Dieser Verlauf der Gehalte konnte mit der RFA nicht erfasst werden. Chrom weist bei der RFA eine große Spannbreite der Gehalte auf. Der Wertebereich von Gesamtaufschluss und RFA ist stark unterschiedlich (Gesamtaufschluss 0 - 50 ppm, RFA 0 - 913 ppm), was zu einer schlechten Korrelation führt. Bei dem Element Eisen ist hingegen der Verlauf, aber auch insgesamt das Wertespektrum zwischen Schwermetallgesamtaufschluss und der RFA-Messung relativ gut vergleichbar (s. Abb. 63). Allerdings kommt es auch hier zu z.T. recht deutlichen Abweichungen in den Konzentrationen. Die Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) der Gehalte von den Elementen Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, Co, Fe und Mn zwischen RFA und Schwermetallgesamtaufschluss sind, mit Ausnahme von Eisen, nicht zufrieden stellend. Ursache sind neben dem vergleichbaren Tiefenverlauf auch die hohen Gehalte, obwohl das Auflösungsvermögen der RFA bei Eisen als eher gering gilt. Darin zeigt sich eine schwächere Empfindlichkeit der RFA gegenüber dem Gesamtaufschluss mit Messung an der AAS. Ausgewählte Streudiagramme sind in Abb. A 12 im Anhang dargestellt.



**Abb. 63:** Vergleich der Eisengehalte von Profil 6637-14 (AAS - RFA)

Bei der Americium-Quelle lagen die Elemente Te, Sb, Cd und Pd unter der Nachweisgrenze. Einzelne Werte wurden bei Ag, Sn, Eu und Cs gemessen, während La in etwa der Hälfte der Proben messbar war. Die Verlängerung der Messzeit von 120 auf 240 Sekunden an einer

ausgewählten Probe zeigte keine deutliche Verbesserung bei der Nachweisgrenze. Nur das Element Barium (Ba) zeigt einen gut auswertbaren Kurvenverlauf (s. Abb. 64). Die höchsten Gehalte, die aber stetig abfallen, liegen in den obersten, kolluvialen Horizonten (Proben 1 - 9). In den alluvialen Proben kommt es zu einem langsamen Wiederanstieg. Der starke Rückgang der Bariumgehalte in den beiden letzten Proben geht mit einem Anstieg des Kalkgehaltes einher. FOELLMER (1999) konnte im oberen Möhlintal (Schwarzwald) eine Korrelation von erhöhten Bariumgehalten und dem Vorkommen von Schlackenkörnern in der Sandfraktion feststellen. Allerdings liegen im Untersuchungsgebiet keine Schlackenreicherungen in der Sandfraktion vor. CISZEWSKI & MALIK (2004) stellen einen Zusammenhang des Anstieges von Kupfer, Blei und Barium mit der Zunahme industrieller Einleitungen ab 1960 fest (vgl. Kap. 2.2.2). Die Einträge durch die Hammerwerke sind jedoch nicht vergleichbar mit industriellen Einleitungen des 20. Jahrhunderts. Die gemessenen Werte liegen im Rahmen der durchschnittlichen Werte in mitteleuropäischen Böden, so dass sich insgesamt hier keine Aussage über den Verhüttungseinfluss anhand der Bariumgehalte treffen lässt. Zudem ist Barium ein relativ häufiges Element, z.B. in Schwerspat.



**Abb. 64:** Ausgewählte Spurenelemente von Profil 6637-14 (RFA)

Insgesamt konnten von den Spurenelementen Rubidium, Barium und Zirkonium (vgl. Abb. 64) ausgewertet werden, aber es lassen sich keine Rückschlüsse auf anthropogene Einflüsse verfolgen. Der Vergleich der Messergebnisse zeigt zudem, dass sich die Werte der RFA, insbesondere bei geringen Gehalten, nicht direkt mit denen aus dem Nassaufschluss und Messung mittels AAS vergleichen lassen. In anderen Studien hat sich ebenfalls gezeigt, dass Ergebnisse aus verschiedenen Methoden nicht immer direkt miteinander verglichen

werden können. Bei Untersuchungen zur Schwermetallkontamination im mittleren Schwarzwald führte BERGFELDT (1995) Methodenvergleiche in der Elementanalytik durch. Diese ergaben, dass es sowohl zu guten Übereinstimmungen, aber z.T. auch zu erheblichen Abweichungen kommen kann. Auch bei methodischen Vergleichen von RFA und Königswasseraufschluss mit Messung an der AAS von GAIDA et al. (1993), ergaben sich bei den Schwermetallgehalten z.T. beachtliche Unterschiede in den Messwerten. Beim Element Nickel lieferte die RFA etwa einen ca. 80 % höheren Wert, als die AAS-Messung. Abweichungen zwischen AAS und RFA sind jedoch zu erwarten, da es sich um unterschiedliche Messprinzipien handelt. Zudem sind die Empfindlichkeit und Messgenauigkeit des Handgerätes geringer, als bei der klassischen RFA-Analyse. Es handelt sich um ein gröber auflösendes Verfahren. Die Nachweißgrenze ist relativ hoch und es können Matrixeffekte auftreten. Um belastbare Aussagen treffen zu können, müssen Werte unterschiedlicher Proben mindestens um den Faktor 10 differieren. Bei den z.T. geringen Elementgehalten in den Proben aus dem Untersuchungsgebiet, ist die Messung mit der RFA aufgrund der Nachweisgrenzen problematisch. Diesen Effekt bestätigen auch Untersuchungen von RAAB et al. (2003a), wo sich bei hohen Gehalten von Blei und Zink gute, bei den sehr niedrigen Arsengehalten hingegen schlechte Korrelationen im Vergleich zu Messungen mittels ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ergeben. Von HÜRKAMP und RAAB wurden weitere Methodenvergleiche mit größerer Probenanzahl durchgeführt (HÜRKAMP et al. 2003, RAAB et al. 2003a, RAAB 2005, HÜRKAMP 2006). Die Vorteile der portablen RFA sind dennoch die Einfachheit, Schnelligkeit und das große, messbare Elementspektrum. Außerdem kann sie sowohl im Labor als auch im Feld eingesetzt werden.

#### 7.4 Schlackenbefunde

Im Untersuchungsgebiet zwischen Wolfsbach und Leidersdorf wurden zahlreiche Schlacken in unterschiedlicher Ausprägung sowohl als Lesefunde auf Äckern, in Halden als auch in Rammkernsondierungen in flussnahen Standorten gefunden (vgl. Kap. 6.3, Abb. A 10). Bei anderen Untersuchungen im Vilstal sind Schlacken vor allem in der Stadt Amberg (ZAHN 1976) sowie an ehemaligen Hammerwerksstandorten, jedoch auch kaum in Auensedimenten angetroffen worden. RICHARD (2005) hat Schlacken vor allem im Bereich der Hammerwerke Schmidmühlen und Vilswörth entdeckt. Auf der Flussinsel in Vilswörth, im Umfeld des ehemaligen Hammers, konnten zahlreiche Schlacken in anthropogen überprägten Auensedimenten sowie in Fundamenten von Gebäuden festgestellt werden. Südlich des ehemaligen Hammerwerkes Vilswörth wurden an der Auelehmbasis von RICHARD (2005) zudem eisenhaltige Sande und Schlackenreste als Hinweis von Pochen im Mittelalter ausgewiesen. Auf dem Schlossberg von Kallmünz sowie vereinzelt in der angrenzenden

Vilsaue wurden ebenfalls Schlacken gefunden. Aufgrund der stratigraphischen Lage und anhand weiterer Befunde kann dort vermutlich von einer Einmischung der Schlacken in den Schotterkörper der Vils während der Römischen Kaiserzeit ausgegangen werden (SCHMIDGALL 2003). Bei Renaturierungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet (vgl. Kap. 6.1), als auch bei diversen Baumaßnahmen (vgl. Kap. 5.1.5), wurden keine auffälligen Schlackeanreicherungen festgestellt.

Größere Schlackenstücke lassen sich eindeutig makroskopisch identifizieren. Im Schliff sind im REM oder Lichtmikroskop die für Schlacken typischen Merkmale, wie dendritischer Wüstit und Fayalit, nachweisbar. Die in den Sedimenten häufig gefundenen kleinen schwarzen Körner und Bruchstücke, bei denen es sich ebenfalls um Schlackenreste handeln könnte, zeigen bei den untersuchten Proben diese mineralischen Komponenten jedoch nicht. Es handelt sich daher bei den Funden mit großer Wahrscheinlichkeit um Bohnerze. Zudem wurden einige EDX-Messungen an Schliffen, unbehandelten Bruchstellen und Pulverproben von Schlacken und Feinboden durchgeführt. Die durch das Mahlen homogenisierten Pulverproben minimieren dabei die Heterogenität in den Messwerten. Hauptbestandteile sind Fe, Si und Al. Die untersuchten Schlacken haben im Vergleich zum Feinboden deutlich höhere Eisengehalte. Spuren von Schlacken im Feinboden konnten mittels Schwermetallgesamtaufschluss, REM mit EDX-Messung und RDA nicht nachgewiesen werden. Auch lassen sich zwischen Wolfsbach und Leidersdorf keine Pochsande im Auensediment, wie etwa von DOBLER (1999) im Harz oder von RICHARD (2005) in Vilswörth, ausweisen. Bei einem Hammerwerk an der Elz (Schwarzwald) ergaben Untersuchungen ebenfalls keine Hinweise auf Pochsande (SCHNEIDER 1998).

Die oberpfälzischen Eisenerze zeichnen sich durch einen relativ hohen Phosphorgehalt aus, der von Apatit oder sekundären Phosphaten rührt. Der Phosphorgehalt kann erheblich schwanken, im Leonie-Erzverband etwa von 0,3 - 11 %. Dieser wurde sogar zur Düngerherstellung genutzt (PFEUFER 1997). Das Erzlager Leonie bei Auerbach, die zuletzt genutzte Eisenerzgrube in Bayern (1987 stillgelegt), hatte bei einer Stichprobe einen Apatit-Gehalt von 16,2 % und einen Phosphorgehalt von rund 3 %. Diffraktogramme von Phosphaten aus der Grube Leonie zeigen eindeutig, dass es sich um Fluor-Apatit ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) handelt, der ca. 4 % Fluor enthält (SATTLER 1991). Bei den EDX-Messungen wurde in einer Schlacke 1,8 - 2,0 Atom. % P (Sonderprobe aus 6637-19/1) gemessen. In den anderen Proben konnte Phosphor nicht bestimmt werden. Ob eine Anreicherung von Phosphor in den Sedimenten durch die Verhüttung stattgefunden hat, lässt sich nur sehr schwierig nachweisen. Es gibt eine Reihe, z.T. sehr aufwändiger Bestimmungsverfahren für Phosphor bzw. Phosphate (LANGE & VEJDELEK 1980, ZÖLITZ 1980, RUTTENBERG 1992, SCHLICHTING et al. 2002). Problematisch sind dabei die zahlreichen Quellen für Phosphor,

insbesondere durch Düngung mit phosphathaltigen Produkten. Ein Test am Profil 6637-15, mit der photometrischen Bestimmung von Phosphat am Extrakt des Schwermetallgesamtaufschlusses, zeigte vor allem den landwirtschaftlichen Einfluss im Oberboden. In den unteren Horizonten prägte, vergleichbar zu den Schwermetallgehalten, die Korngrößenverteilung der Proben das Wertespektrum von Phosphat. Im Mittelalter wurde zudem hauptsächlich Brauneisenerz verhüttet, welches durchschnittlich nur 0,4 bis 0,9 % Phosphor enthält. Die phosphatreichen Erze, wie etwa von Leonie, konnten erst mit neuen technischen Verfahren verhüttet und wirtschaftlich genutzt werden. Aufgrund dieser Faktoren wird davon ausgegangen, dass über den Phosphorgehalt keine Rückschlüsse möglich sind.

Röntgenfluoreszenz-Messungen an ausgewählten Schlacken ergaben, dass die glasartigen Schlacken erwartungsgemäß kaum Eisen enthalten, während die anderen Schlacken extrem hohe Fe-Gehalte aufweisen. Die stichprobenartig untersuchten Schlacken weisen keine anderen signifikant hohen Schwermetallbelastungen auf. Die von FRÖHLICH (1980) in Schlacken festgestellten erhöhten Chromgehalte konnten weder in der Schlackenstichprobe noch im Auesediment wieder gefunden werden. Häufig sind glasartige Schlacken jünger, als stärker eisenhaltige Schlacken. Allerdings zeigen verschiedene Untersuchungen, dass glasartige Schlacken nicht immer neuzeitlich sind (vgl. auch Kap. 2.2.1). Dies bestätigten auch Dr. W. SCHARFF (GEOARCH, Gaildorf-Münster, schriftl. und mündl. Mitteilung) und Prof. Dr. A. JOCKENHÖVEL (Abt. für Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie des Historischen Seminars, Universität Münster, mündl. Mitteilung). Zudem wurden auch in der Oberpfalz stark eisenhaltige Schlacken häufig nochmals eingeschmolzen. Eigentlich war die Verwendung von Sinter in der Oberpfalz laut Hammereinung nicht erlaubt, jedoch verstießen viele Hammermeister Anfang des 17. Jahrhunderts gegen diese Bestimmung. In den Verhandlungen der Hammereinung von 1616 heißt es, dass die Verwendung von Sinter „böses Eisen ins Land gebracht und der ganz Erinnerung ein böser Ruf gemacht würdt“ (GÖTSCHMANN 1985, S. 119). Ursache für den Einsatz von Schlacken waren damals die angeblich schlechte Qualität des Sulzbacher Erzes sowie die nicht ausreichende Verfügbarkeit von Amberger Erz. Die Streitereien zogen sich viele Jahre hin und ein gewünschtes Probeschmelzen wurde erst 1656 durchgeführt. Ein Gutachten von 1625 in dieser Sache belegt, dass zu diesem Zeitpunkt sowohl Wolfsbach als auch Leidersdorf Erz aus Sulzbach bezogen (GÖTSCHMANN 1985). Das spricht für eine Verwendung von Sinter in diesen Hammerwerken, was die Festlegung des Alters über chemische und mineralogische Untersuchungen, z.B. über den Wüstitanteil, zusätzlich erschwert. Das Alter der Schlacken kann daher kaum eingegrenzt werden.

Selbst wenn eine genaue Bestimmung der Schlacken und damit ggf. ihre zeitliche Stellung möglich ist, was durch die oben belegte Praxis der Wiedereinschmelzung erschwert wird, so

ergibt sich zusätzlich das Problem der Fundsituation. Es gibt im Untersuchungsgebiet kaum Funde in situ. Die Schlackenhalde in Leidersdorf sind mit Baumaterial vermengt, was eine Umlagerung belegt. Die Schlacken im Aushub (siehe Aufschüttungen in Wolfsbach und südlich Leidersdorf) sind ebenfalls gestört. Lesefunde auf den Äckern können auch keiner stratigraphisch verwertbaren Lagerung zugeordnet werden. Bei den in den Auensedimenten gefundenen Stücken tritt das Problem auf, dass diese nur vereinzelt im oberen Meter unter Geländeroberfläche vorkommen oder nicht eindeutig identifizierbar sind. Damit kann keine Chronostratigraphie aufgestellt werden. Die gefundenen Schlacken weisen eine große Varianz auf, aber wie bereits oben erläutert, ist eine eindeutige zeitliche Zuordnung anhand des Eisenanteils problematisch. Aufgrund des langen Festhaltens am Rennfeuerverfahren fehlten technische Innovationen, die zu signifikant unterschiedlichen Schlacken hätten führen können. Daher wäre auch bei anderer Fundlage keine Schlackegliederung, wie im Harz, möglich (vgl. Kap. 2.2.2). Erst 1848/1849 ist für Leidersdorf ein Blaufeuer mit Frischfeuer belegt, indem sicher ein großer Teil der glasartigen Schlacken entstanden ist.

Insgesamt wurden deutlich weniger Schlacken gefunden, als aufgrund der hohen und langjährigen Produktion zu erwarten gewesen wäre. Diesen Befund bestätigen auch andere Profilaufnahmen im Vilstal (siehe oben). Ursache ist neben der sicher belegten Aufarbeitung der Schlacken in einer erneuten Schmelze, die Verwendung als Baumaterial (vgl. Kap. 2.2 und 5.2). Das Areal um den ehemaligen Hammer in Theuern ist dabei ein zusätzlicher Beleg, dass schlackenhaltiges Material zu Aufschüttungszwecken genutzt wurde. Eine dauerhafte Einbringung in die Vils hätte deren Durchlässigkeit sowie im Mittelalter auch deren Schiffbarkeit negativ beeinflusst. Außerdem wird durch die Erhöhung der Flächen ein verbesserter Hochwasserschutz erreicht.

## 8 Einfluss der historischen Montanindustrie – Synthese

Indikatoren für die anthropogene Beeinflussung der Kolluvien und Auensedimente im Untersuchungsgebiet durch die Montanwirtschaft, speziell der Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach, sind Anreicherungen von Schwermetallen, Schlacken, Pochsanden und anderen Verhüttungsresten sowie der bodenkundlich-sedimentologische Aufbau. Über die Analyse physischer und anthropogener Faktoren der bergbauzeitlichen Landschaftsentwicklung konnten besonders bedeutsame Phasen für den Landschaftswandel in der Oberpfalz ausgewiesen werden. Insbesondere Phasen, in denen Starkregen- und Hochwasserereignisse mit der montan bedingten Übernutzung der Wälder zusammentreffen, sind geomorphodynamisch wirksam. In der Region sind das vor allem die Jahre um 1460 und 1480, das ausgehende 16. Jahrhundert, teilweise das 18. Jahrhundert sowie die Mitte des 19. Jahrhunderts (vgl. Kap. 5.3).

Die Schwermetallgehalte im Umfeld der Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach sind unter Beachtung der geochemischen Hintergrundwerte im Vergleich zu anderen Bergbaugebieten als gering einzustufen (vgl. Kap. 2.2.2, 5.1.3 und 7.3). Die Schwermetallkonzentrationen zeigen keine montan bedingten Belastungsschwerpunkte an. Schwankungen in den Schwermetallgehalten korrelieren i.d.R. mit pedologischen Merkmalen, wie dem Gehalt an organischer Substanz, dem Ton- und Schluffanteil oder der Hydromorphie. Lediglich Horizonte mit rezentem Auendynamikeinfluss oder reliktsche T-Horizonte weisen hohe Schwermetallkonzentrationen auf. Es liegen weiterhin keine Schwermetallanreicherungen in sandigen oder gröberen Fraktionen, z.B. in Form von Pochsanden, vor, wie dies in einigen Bergbaugebieten zu beobachten ist (vgl. Kap. 6.2 und 7.3). Eine chronostratigraphische Gliederung der Auenlehme, wie etwa bei CASPERS (1994), ist daher im Untersuchungsgebiet anhand der Schwermetallgehalte nicht möglich.

Die Ursache liegt in der chemischen Zusammensetzung der verarbeiteten Eisenerze. Lagerstättenkundliche Untersuchungen zeigen, dass aufgrund der Genese das Eisen in carbonatischen Phasen (vor allem Siderit,  $\text{Fe}(\text{CO}_3)$ ) gebunden vorliegt und keine Schwermetallanreicherungen enthält (PFEUFER 1975, GUDDEN 1987). In den Rohhumuswässern des Doggers, die zur Lagerstättenbildung geführt haben, waren entweder keine Schwermetalle enthalten oder sie wurden in der Lagerstätte nicht ausgefällt. Die Zusammensetzung der Erze unterliegt natürlichen Schwankungen. Das feuchte Erz enthält durchschnittlich 38,6 % Fe, 12,1 %  $\text{SiO}_2$ , 7,2 % CaO, 2,6 % P, 0,3 % Mn, 1,3  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 0,13 % MgO (GUDDEN 1987). FIRSCHING (1930) gibt einen durchschnittlichen Eisengehalt des Brauneisensteins von 50 % sowie 0,5 % Mangan und Phosphor, 14,5 % Kieselsäure und Tonerde bei 10 % Wassergehalt an. Außerdem führt er auf, „bemerkenswert

ist weiter ein gewisser Gehalt der Erze an Zink und Blei, der sich meist erst in Ausscheidungen bei der Verhüttung bemerkbar macht“ (FIRSCHING 1930, S. 2). Für den Zink- und Bleigehalt konnten jedoch keine weiteren Belege in der Literatur gefunden werden. ZAHN (1976) gibt für das Brauneisenerz der Oberpfalz 40 - 50 % Eisen, 0,4 - 1,5 % Mangan und 0,5 - 1,5 % Phosphor an. Im Vergleich mit anderen europäischen Bergbaugebieten liegt der Eisengehalt im mittleren Bereich (ZAHN 1976). Im Gegensatz dazu sind sulfidische Minerale, wie beispielsweise Pyrit (Eisenkies,  $\text{FeS}_2$ ), Bleiglanz ( $\text{PbS}$ ) oder Zinkblende ( $\text{ZnS}$ ), häufig mit anderen, schwermetallhaltigen Mineralen vergesellschaftet. Damit fehlen, neben dem Eisen, entsprechende Begleitmetalle im Erz der Amberg-Sulzbacher Lagerstätte. Verdünnungsprozesse und geringere montanhistorische Aktivität als erwartet sind daher für die vorliegenden Schwermetallkonzentrationen kaum von Bedeutung.

Im rezenten Auenbereich sind z.T. hohe Schwermetallgehalte vorhanden, wobei insbesondere bei Zink Vorsorge- und Prüfwerte (vgl. Tab. A 2 und Tab. A 3) überschritten werden. Diese Anreicherung ist in Auen häufig anzutreffen und ist in erster Linie eine Folge der Einleitung von Industrie- und Haushaltsabwässern in die Flüsse (MARTIN 2004). Schadstoffe sind in der Regel partikulär gebunden und werden bei Hochwässern mit dem Sediment in den Auen abgelagert. Aufgrund der vorherrschenden pH-Werte ist von geringer Mobilität der Schwermetalle auszugehen. Bei den erhöhten Bleikonzentrationen im Oberboden ist eine Beeinflussung durch Austräge aus Halden des ehemaligen Bleierzbergbaus im Oberlauf der Vils nicht auszuschließen (vgl. HÜRKAMP 2006). Die Belastung der Flusssedimente ist rückläufig, was auf die Einhaltung verbesserter Umweltauflagen zurückgeht (vgl. Kap. 5.1.4 und 7.3).

Ein weiterer Ansatz, die anthropogene Beeinflussung der Umwelt aufzuzeigen, besteht darin, die Anreicherung von Eisen in Horizonten als Indikator für die Eisenerzverhüttung zu verwenden. In einigen Profilen sind im Vergleich zum durchschnittlichen Gehalt erhöhte Eisenkonzentrationen festzustellen. Diese fallen jedoch mit pedogenetischen Merkmalen zusammen, wie etwa der Ausbildung von Go-Horizonten oder tonreichen T-Horizonten (relative Anreicherung im Residualton). Außergewöhnlich hohe Eisengehalte sind ansonsten nur in der Aufschüttung von Profil 6637-80, in der neben Schlacken wahrscheinlich auch Pochsande enthalten sind, vorhanden. Die Werte sind jedoch vergleichbar mit dem Eisengehalt des T-Horizontes und liegen deutlich unterhalb der Gehalte von Pochsanden aus der Bunt- und Eisenerzverhüttung im Harz (DOBLER 1999). Die Proben weisen ansonsten ein unauffälliges Schwermetallspektrum auf. Außerhalb dieser Horizonte treten Eisenanomalien nur vereinzelt auf, so dass sie nicht als Indikator verwendet werden können.

Schlacken, als Nebenprodukte der Verhüttung, können bei entsprechender Fundlage als Indikator für den montanindustriellen Einfluss und zur Rekonstruktion der Montangeschichte

genutzt werden (vgl. Kap. 2.2). Im Untersuchungsgebiet treten Schlacken in vielfältiger Ausprägung auf. Verbreitet sind sie vor allem im Umfeld der Hammerwerke, als Lese funde auf den Äckern und vereinzelt in flussnahen Standorten in den ersten 100 cm unter Geländeoberkante sowie in zwei anthropogenen Aufschüttungen. Die vorhandenen Halden sind gestört (vgl. Kap. 6.3 und 7.4). In Relation zur jahrhundertelangen Eisenerzproduktion ist die Fundmenge jedoch gering. Daher ist von einer Folgenutzung in Form von nochmaliger Schmelze der eisenreichen Schlacken sowie von der Verwendung bei Baumaßnahmen auszugehen. Außerdem verhindert vermutlich die eingeschränkte Flussdynamik weit reichende Verlagerungen. Für das heutige Flussbett sind des Weiteren Ausbaggerungen belegt. Insbesondere in den sandig-grusigen Schichten der Profile treten häufig kleine, schwarze Körnchen und Bruchstücke auf. Die mikroskopischen Analysen zeigen, dass es sich hierbei nicht um Schlacken oder andere Verhüttungsreste sondern sehr wahrscheinlich um Bohnerze handelt. Diese sind in der Schwäbischen und Fränkischen Alb häufig verbreitet (REIFF & BÖHM 1995). Die Schlacken können aufgrund der Fundlage nicht als Marker in den Sedimentschichten oder als Leitgeröll verwendet werden, da sie zum einen in geringer Anzahl, zum anderen vor allem im ersten Meter unter der Geländeoberkante auftreten. Auch ist eine eindeutige zeitliche Zuordnung nicht möglich, da markante Charakteristika einer spezifischen Verhüttungsphase fehlen, wie etwa an der Bode im Harz (vgl. Kap. 2.2, KLEßEN 1993, DOBLER 1999).

Die stichprobenartig untersuchten Schlacken enthalten bis auf Eisen keine signifikant hohen Schwermetallbelastungen. Sideritische Erze weisen auch in anderen Regionen kaum Schwermetalle auf. Schlacken aus diesen Erzen können die gleiche Zusammensetzung wie Sande haben. Selbst wenn Belastungen vorliegen, führen sie nur bei nicht festgebundenen Elementen zu einem Austrag. Ein Aufschlussverfahren mit Flusssäure könnte zwar auch den silikatisch gebundenen Schwermetallanteil lösen, aber es ist davon auszugehen, dass dieser sehr festgebundene Anteil vernachlässigbar ist. Damit kann auch keine Belastung der Auensedimente aus den Schlacken erfolgen.

Eine erste Auslese des Erzes erfolgte zumeist direkt bei den Lagerstätten. Vor der Verhüttung muss das erzhaltige Gestein in der Regel gepocht, d.h. zerkleinert, gewaschen und ggf. geröstet werden (vgl. Kap. 2.2). Durch diese Aufbereitungsprozesse können Erz, taubes Material und Schwermetalle in die Umwelt, respektive in die Sedimente gelangen. Aufgrund seiner Beschaffenheit musste das Oberpfälzer Erz jedoch nicht besonders aufbereitet werden und wurde nur gepocht (FIRSCHING 1930, vgl. auch Pucherhammer in Leidersdorf, Kap. 5.2.3). Sideritische Erze sind zudem leicht mechanisch zu zerkleinern. Lagerstätte und Einzugsgebiet des Untersuchungsareals weisen außerdem ähnliche geologische Verhältnisse auf (vgl. Kap. 4.2). Untersuchungen ergaben ferner die

Vergesellschaftung der Erze mit aufgearbeitetem Malmdolomit (SATTLER 1991). Eine Trennung der anthropogen und natürlich eingetragenen Sedimente, über eine signifikante Verschiebung des Spektrums der Korngrößenfraktionen durch das Pochen, ist daher nur sehr eingeschränkt möglich. Es ist weiterhin zu vermuten, dass das auf diese Weise eingetragene Material im Bezug auf die gesamte Sedimentfracht der Vils mengenmäßig relativ gering ist. Zum einen sind die allgemeinen Abtragsraten im Mittelalter hoch, zum anderen wurde schon in den Abbaugebieten auf hohe Erzgehalte geachtet, um unnötige Transporte zu vermeiden. Eine Bilanzierung oder Abschätzung der Eisenerzproduktion und der Stoffeinträge, z.B. in Form von Erz, Pochsand oder Schlacken, ist hier aufgrund der Datenlage der archivalischen Quellen und der bodenkundlich-sedimentologischen Befunde für ein einzelnes Hammerwerk nicht möglich. Außerdem wurden bei röntgen-diffraktometrischen Untersuchungen (Pulverpräparate) und EDX-Messungen am Rasterelektronenmikroskop kolluviale und alluviale Sedimente miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass vor allem die Bodenart und nicht der Standort prägend ist. Kleinste Verhüttungsreste waren weder mineralogisch noch elementanalytisch nachweisbar (vgl. Kap. 6.3).

Die beiden untersuchten Schwemmfächer unterscheiden sich in ihren Ausmaßen, gehen jedoch beide auf lineare, anthropogen geförderte Erosion, insbesondere durch die Ausbildung von Hohlwegen, zurück. Im Fall des großen Schwemmfächers, südlich von Leidersdorf, ist eine pleistozäne Trockentalgenese vorausgegangen. Die geophysikalische Prospektion zeigt, dass das Paläorelief die holozäne Morphodynamik gesteuert hat. Der Schwerpunkt der holozänen Erosion liegt in der Eisenzeit und im Mittelalter. Aufgrund der unterschiedlichen Skelettgehalte ist von einer mehrphasigen Schwemmfächergenese auszugehen. Eine Zuordnung zu bestimmten Zeitphasen ist jedoch nicht möglich (vgl. Kap. 7.1). Der Aufbau der beiden Schwemmfächer ist gut miteinander vergleichbar. In den oberen Abschnitten liegen mächtige kolluviale Schichten vor. Die auffällig skelettreichen Schichten müssen Folge von Starkregenereignissen sein (vgl. Abb. 32, 34 und 45). Im unteren Teil der Schwemmfächer überschütten die kolluvialen, schluffig-tonigen M-Horizonte alluviale, sandig-grusige bis sandig-kiesige a1C-Horizonte. Eine deutliche Verzahnung von alluvialen und kolluvialen Sedimenten konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Auensedimente im Untersuchungsgebiet bestehen aus bis zu 4 m mächtigen Auenlehmen und Auensanden, über grobsandigen Kiesen, gefolgt von angewittertem Kalkschutt. Im Untersuchungsgebiet liegt eine kleinräumige Variabilität im Aufbau der Auenlehme und Auensande vor. Anhand der Schotterverbreitung kann gezeigt werden, dass die frühere Aue ausgedehnter war, als die rezente. In ufernahen Stillwasserbereichen oder kleinen Verlandungsflächen hat sich an einigen Stellen im Untersuchungsgebiet ein fAh über

dem Vilsschotter (aIC) entwickelt. Dieser tritt nur in den reinen Auenbereichen, nie unter den Schwemmfächern auf. Dort ist demnach keine ausreichend lange Stabilitätsphase aufgetreten. Der sandig-grusig oder sandig-kiesig ausgeprägte Schotterkörper ist in den Übergang vom Spätglazial zum Holozän zu stellen (vgl. Kap. 7.1). Er ist unterschiedlich mächtig. Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen der darüber liegenden fAh-Horizonte zeigen eine große Spannbreite. Die Bildung der fAh-Horizonte erfolgte aber wahrscheinlich zur Eisenzeit (vgl. Kap. 7.2). Damit unterscheiden sie sich von denen in anderen Mittelgebirgstälern, welche häufig im Präboreal oder Boreal entstanden und flächenhafter verbreitet sind. Die Vils erweist sich, wie auch bei RICHARD (2005) ausgeführt, als verhältnismäßig lagestabil im Holozän. Eine kleine Rinnenstruktur (vgl. Profil 6637-50) und ein vermutlich natürliches Altwasser (vgl. Teichrosenkapseln in Profil 6637-45) sind die einzigen Belege für Laufveränderungen während der Auelehmablagerung. Die Auelehmablagerung führte ab dem Frühmittelalter zu einer Nivellierung des Talbodens, was besonders an den Catenen Wolfsbach, Niederfeld und Frauengarten gezeigt werden kann. Im Untergrund sind dort z.T. Terrassenkanten ausgebildet. Indirekt kann durch den Reliefausgleich ein Verweis zur anthropogenen Erosionsförderung infolge von Rodungen und ggf. zum Flussausbau erfolgen. Daraus resultierte zum einen eine höhere Sedimentfracht, zum anderen fand eine Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit statt. Dieses wird durch den Befund der röntgendiffraktometrischen Analyse der silikatischen Tonfraktion gestützt, der höhere Gehalte von Kaolinit und Smectit in der Aue, als Folge von Oberbodenabtrag, aufzeigt. Auffällige Holzfunde und Grobskelettablagerungen in der Aue, um 2 m Tiefe unter Geländeroberkante, sind sehr wahrscheinlich das Ergebnis von Starkregen- und Hochwasserereignissen und Umlagerungen gegen Ende des 15. Jahrhunderts, während der Hochphase der Montanindustrie (vgl. Kap. 7.2). Insgesamt kann eine Ablagerung von etwa 3 m Auelehm seit dem Frühmittelalter verzeichnet werden.

Als abschließendes Fazit lässt sich feststellen, dass durch die Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach keine dauerhafte, großflächige Schwermetall- und Schlackenreicherung in der angrenzenden Vilsaue entstanden ist. Historische Verhüttungsprozesse müssen daher nicht immer zu lokalen Belastungsschwerpunkten geführt haben. Mit den hier eingesetzten Methoden ist kein direkter, deutlich ausgeprägter Einfluss der Eisenerzverhüttung auf den stofflichen Bestand der Sedimente nachweisbar. Jedoch sind Beeinflussungen auf Landschaft und Umwelt durch das Wirtschaften des Menschen aufzeigbar, da die intensive Landnutzung zu einer erhöhten Sedimentationsrate geführt hat. Stratigraphie und  $^{14}\text{C}$ -Datierungen weisen im Untersuchungsgebiet mächtige Auenlehme und Kolluvien aus. Der Schwerpunkt der Sedimentation liegt im Mittelalter. Insbesondere der hohe Holzbedarf der Montanindustrie führte zu großflächigen Rodungen und förderte erosive Prozesse (vgl. Kap. 5.3).

## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie ist Teil eines Projektes des DFG-Graduiertenkollegs 462 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“ zur Erfassung der bergbaubedingten Folgen auf die Landschaft der Oberpfalz. Der ostbayerische Raum besitzt eine jahrhundertelange Tradition im Abbau und der Verarbeitung von Erzen. Südlich von Amberg wurden an der Vils zahlreiche Hammerwerke zur Verhüttung und Verarbeitung von Eisenerz errichtet. Hauptziel der Arbeit ist es, die anthropogene Beeinflussung der Sedimente durch die frühindustriellen Zentren des Montanwesens herauszuarbeiten. Als Geoarchive dienen fluviale und kolluviale Sedimente von Schwemmfächern, der Flussaue und ihrer Verschneidungsbereiche im Umfeld der Hammerwerke Leidersdorf und Wolfsbach. Diese waren vom 14. bis 19. Jahrhundert in Betrieb. Den methodischen Fokus bilden geomorphologische, sedimentologische, bodenchemische und mineralogische Untersuchungen. Zudem wird der naturräumliche und geschichtliche Hintergrund erfasst und in die Analyse miteinbezogen.

Die Errichtung der Hammerwerke hat zu massiven Eingriffen in den Flusslauf und die Flusssdynamik durch den Bau von Umfluten, Wehren und Uferbefestigungen geführt. Die Versorgung der Betriebe mit Eisenerz und Holzkohle mittels Fuhrwerken förderte die lineare Erosion. An den Hängen entstanden Hohlwege. Es haben sich Schwemmfächer gebildet, die dem Schotterkörper der Vils aufliegen. Die Schwemmfächer weisen eine mehrphasige Genese auf. Die Ablagerungsschwerpunkte liegen in der Eisenzeit und im Mittelalter. Die stark skeletthaltigen Schichten gehen auf Starkregenereignisse zurück. Die Auesedimente belegen insgesamt eine hohe Lagestabilität der Vils im Holozän. Die Ablagerung mächtiger Auelehme, als Folge von großflächigen Rodungen, führte seit dem Frühmittelalter zu einer Nivellierung des Talbodens. Belegt ist des Weiteren eine besondere morphodynamische Aktivität während der Hochphase der Montanindustrie gegen Ende des 15. Jahrhunderts.

Die Schwermetallgehalte der Sedimente sind in der Regel gering und erlauben keine chronostratigraphische Gliederung der Auenlehme. Dies ist auf die Zusammensetzung der Erze im Amberg-Sulzbacher Revier zurückzuführen. Auch die Schlacken, ein Abfallprodukt der Verhüttung, können aufgrund ihrer Beschaffenheit und Fundlage nicht als Marker verwendet werden. Es ist hier, im Gegensatz zu anderen Bergbauregionen in Mitteleuropa, keine großflächige Schwermetall- und Schlackenreicherung, z.B. in Form von Pochsand, im Umfeld der untersuchten Hammerstandorte in der Aue feststellbar.

Die Studie belegt, dass zur Rekonstruktion der Nutzungs- und Umweltgeschichte sowohl ein interdisziplinärer Ansatz als auch ein weites Methodenspektrum nötig ist. Nur so kann auf die spezifischen Eigenschaften der Landschaft und der Geschichte einer Region eingegangen werden.

## Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbes. und erw. Aufl.* - Hannover.
- ADAMS, A. E.; MACKENZIE, W. S. & C. GUILFORD (1986): *Atlas der Sedimentgesteine in Dünnschliffen.* - Stuttgart.
- ADLER, G.; BEHRENS, J.; ECKELMANN, W.; HARTWICH, R. & A. RICHTER (2003): *Böden im Überblick.* In: Institut für Länderkunde, Leipzig (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Relief, Boden und Wasser.* - Heidelberg, Berlin. S. 100-103.
- AG BODEN (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. verbes. und erw. Aufl.* - Hannover.
- AG VÖLKEL (Hrsg., 1998): *Labormethoden.* - Regensburg.
- AGRICOLA, G. (1978): *Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Übersetzt und bearbeitet von Carl Schiffler. Original von 1556.* - Düsseldorf.
- ALLMANN, R. (2003): *Röntgenpulverdiffraktometrie. Rechnergestützte Auswertung, Phasenanalyse und Strukturbestimmung. 2. Aufl.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a.
- ALLOWAY, B. J. (Hrsg., 1999): *Schwermetalle in Böden. Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a.
- ALPER, G. (2002): *Die Erforschung einer früh-/hochmittelalterlichen Montanlandschaft am Beispiel des Harzes.* In: Stadt Sulzbach-Rosenberg (Hrsg.): *Sulzbach und das Land zwischen Naab und Vils im frühen Mittelalter. Tagung vom 13. - 14. Juni 2002 in Sulzbach-Rosenberg.* - Sulzbach-Rosenberg. (= Schriftenreihe des Stadtmuseums und Stadtarchivs Sulzbach-Rosenberg. 19) S. 123-134.
- ALVERSON, K. D.; BRADLEY, R. S. & T. F. PEDERSEN (Eds., 2003): *Paleoclimate, global change and the future.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a.
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (Hrsg., 1998): *Systematik der Böden und der bodenkundlichen Substrate Deutschlands.* - Kiel. (= Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 86)
- BAADE, J.; DAUT, G.; GUDE, M. & R. MÄUSBACHER (Hrsg., 2000): *Neuere Beiträge zur geomorphologischen Prozeßforschung.* - Jena. (= Jenaer Geographische Schriften. 9)
- BACHMANN, H.-G. (2000): *Vom Erz zum Metall (Kupfer, Silber, Eisen). Die chemischen Prozesse im Schaubild.* In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe.* -Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 35-40.
- BARSCH, D. & M. GAMPER (Hrsg., 1988): *Alpen und Alpenvorland. Beiträge zur Geomorphologie.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 70)
- BAUER, A. W. (1993): *Bodenerosion in den Waldgebieten des östlichen Taunus in historischer und heutiger Zeit - Ausmaß, Ursachen und geoökologische Auswirkungen.* - Frankfurt a. M. (= Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D, Physische Geographie. 14)
- BAUMANN, A.; BLATTNER, S. & P. POSCHLOD (2005): *Neuzeitliche Geschichte der Kalkmagerrasen in der Umgebung von Kallmünz (Mittlere Frankenalb, Lkr. Regensburg).* - Hoppea, Denkschrift Regensburgische Botanische Gesellschaft, 66. Jg., S.469-487.
- BAUMANN, A. & P. POSCHLOD (2005, submitted): *Did calcareous grasslands exist in prehistoric times? An archaeobotanical research on the surroundings of the prehistoric settlement above Kallmünz (Bavaria, Germany).* - Oxford. (= British Archaeological Reports. International Series)
- BAUMHAUER, R.; LÖHR, H. & B. SCHÜTT (2002): *Umweltgeschichte der Region Trier. Landschaftsgeschichte in der Region und ihre natürlichen und anthropogenen Ursachen.* In: Müller, P.; Monheim, H. & S. Rumpf (Hrsg.): *Umwelt und Region. Umweltanalyse und Umweltmanagementstrategien für eine nachhaltige Entwicklung im ländlichen Raum. Ergebnisbericht der ersten Förderphase 1999/2 - 2002/1. SFB 522 Universität Trier.* - Trier. S. 233-262.
- BAUMHAUER, R. & B. SCHÜTT (Eds., 2002): *Environmental change and geomorphology.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 128)
- BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg., 2000): *Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit.* - München. (= Rundgespräche der Kommission für Ökologie. 18)

- BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (Hrsg., 2002): *Waldbaugrundsätze für den bayerischen Staatswald*. - München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg., 1987): *Der Bergbau in Bayern*. - München. (= Geologica Bavarica. 91)
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg., 1996): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern. 1:500.000. 4. Neubearb. Aufl.* - München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg., 1999): *Bodenschutz in Bayern. Hintergrundwerte anorganischer Schadstoffe in den Böden Bayerns*. - München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg., 2000): *Geo-Wissen für die Zukunft. Beiträge zur Geologie, Bodenkunde und Geochemie Bayerns*. - München. (= Geologica Bavarica. 105)
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg., 1985): *Archäologische Denkmalpflege in Niederbayern. 10 Jahre Außenstelle des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege in Landshut (1973 - 1983)*. - München. (= Arbeitsheft des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. 26)
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg., 1996): *Ökologisch begründete Sanierungskonzepte kleiner Fließgewässer. Fallbeispiel Vils/Oberpfalz*. - München. (= Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. 26)
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg., 1998): *Spektrum Wasser 1. Hochwasser*. - München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg., 2000): *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Donauebiet*. - München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg., 2004): *Spektrum Wasser 1. Hochwasser. 2. akt. Aufl.* - München.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg., 2002): *Bayerns Wälder im Wandel. 250 Jahre Bayerische Staatsforstverwaltung*. - München.
- BECKER, A.; SCHRECK, P. & W. KLÖCK (2000): *Schwermetallführung und Mineralbestand von Bachsedimenten im Mansfelder Land als Indikatoren geogener und anthropogener Schadstoffquellen*. In: Wippermann, T. (Hrsg.): *Bergbau und Umwelt. Langfristige geochemische Einflüsse*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. (= GUG-Schriftenreihe Geowissenschaften und Umwelt) S. 121-135.
- BECKERS, N. (2005): *Böden auf künstlichen und natürlichen Substraten der ostthüringischen Bergbaufolgelandschaft als Senken und Quellen bergbauinduzierter Stoffe*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 5)
- BECKERS, N.; RAAB, T. & J. VÖLKE (2003): *Grundlagen des Stofftransfers in der Pedosphäre einer rekultivierten Halde im Gebiet des ehemaligen Uranbergbaus Ostthüringens*. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 102. Jg., S. 47-48.
- BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN (Hrsg., 1987): *Die Oberpfalz, ein europäisches Eisenzentrum. 600 Jahre große Hammereinung. Textband*. - Amberg. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 12/1)
- BERGBAU- UND INDUSTRIEMUSEUM OSTBAYERN (Hrsg., 1987a): *Die Oberpfalz. Ein Europäisches Eisenzentrum. 600 Jahre große Hammereinung. Katalog*. - Amberg. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 12/2)
- BERGFELDT, T. (1995): *Untersuchungen der Arsen- und Schwermetallmobilität in Bergbauhalden und kontaminierten Böden im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes*. - Karlsruhe. (= Karlsruher Geochemische Hefte. 6)
- BERGFELDT, T. (1995a): *Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Mittleren Schwarzwald*. - Stuttgart. (= Umweltministerium Baden-Württemberg Luft Boden Abfall. 33)
- BLANKENBURG, H.-J. & G. NEUHOF (1984): *Eisenschlacken - eine Übersicht*. In: Rektor der Bergakademie Freiberg (Hrsg.): *Komplexe Nutzung mineralischer Rohstoffe. Vorträge zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 1983 in Freiberg*. - Leipzig. (= Freiburger Forschungshefte C. 399) S. 63-107.

- BLÖBNER, G. (1928): *Die Schifffahrt auf der Vils in früheren Jahrhunderten*. - *Zeitschrift für bayerische Landesgeschichte*, 1. Jg., S. 416-423.
- BORK, H.-R.; BORK, H. & C. DALCHOW (1998): *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften*. - Gotha, Stuttgart.
- BORK, H.-R.; SCHMIDTCHEN, G. & M. DOTTERWEICH (Hrsg., 2003): *Bodenbildung, Bodenerosion und Reliefentwicklung im Mittel- und Jungholozän Deutschlands*. - Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 253)
- BRACHMANN, H. (Hrsg., 1992): *Mensch und Umwelt: Studien zu Siedlungsausgriff und Landesausbau in Ur- und Frühgeschichte*. - Berlin.
- BRADLEY, R. S.; BRIFFA, K. R.; COLE, J.; HUGHES, M. K. & T. J. OSBORN (2003): *The Climate of the Last Millenium*. In: Alverson, K. D.; Bradley, R. S. & T. F. Pedersen (Eds.): *Paleoclimate, global change and the future*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. S. 105-120.
- BROWN, A. G. (1997): *Alluvial geoarchaeology. Floodplain archaeology and environmental change*. - Cambridge.
- BROWN, A. G. & T. A. QUINE (Eds., 1999): *Fluvial Processes and Environmental Change*. - Chichester, New York, Weinheim u.a.
- BUBENZER, O. (1999): *Sedimentfallen als Zeugen der spät- und postglazialen Hang- und Talbodenentwicklung im Einzugsgebiet der Schwülme (Süd-niedersachsen)*. - Köln. (= Kölner Geographische Arbeiten. 72)
- BUBENZER, O. (2000): *Sedimentologische und gerinnemorphologische Befunde im Einzugsgebiet der Schwülme (Süd-niedersachsen) zur Rekonstruktion der spätglazialen bis mittelholozänen Morphodynamik*. In: Mäusbacher, R.; Baade, J. & M. Gude (Hrsg.): *Geomorphologische Prozeßforschung. Stofftransport, Methodik und Regionale Aspekte*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 121) S. 23-44.
- BUCH, M. W. (1988): *Spätpleistozäne und holozäne fluviale Geomorphodynamik im Donautal zwischen Regensburg und Straubing*. - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 21)
- BUCH, M. W. (1988a): *Zur Frage einer kausalen Verknüpfung fluvialer Prozesse und Klimaschwankungen im Spätpleistozän und Holozän. Versuch einer geomorphodynamischen Deutung von Befunden von Donau und Main*. In: Barsch, D. & M. Gamper (Hrsg.): *Alpen und Alpenvorland. Beiträge zur Geomorphologie*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 70) S. 131-162.
- BUCH, M. W. & K. HEINE (1995): *Fluvial geomorphodynamics in the Danube River valley and tributary river systems near Regensburg during the Upper Quaternary - theses, questions and conclusions*. In: Hagedorn, J. (Hrsg.): *Late Quaternary and present-day fluvial processes in Central Europe*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 100) S. 53-64.
- CASPERS, G. (1994): *Metallkonzentrationen in mittelalterlichen und neuzeitlichen Flußablagerungen im Mündungsbereich der Aller*. - *Zeitschrift für angewandte Geologie*, 40. Jg., H. 1, S. 31-37.
- CASTY, C.; WANNER, H.; LUTERBACHER, J.; ESPER, J. & R. BÖHM (2005): *Temperature and precipitation variability in the european alps since 1500*. - *International Journal of Climatology*, 25. Jg., S. 1855-1880.
- CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A. & D. E. SUGDEN (1984): *Geomorphology*. - London, New York u.a.
- CISZEWSKI, D. & I. MALIK (2004): *The use of heavy metal concentrations and dendrochronology in the reconstruction of sediment accumulation, Mala Panew River Valley, southern Poland*. - *Geomorphology*, 58. Jg., H. 1-4, S. 161-174.
- CODREANU-WINDAUER, S.; KIRPAL, U. & G. RABHOFER (Hrsg., 2004): *Amberg und das Land an Naab und Vils*. - Stuttgart. (= Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland. 44)
- CONRAD, M. (1999): *Die Vils. Ein Flußportrait*. - *Der Eisengau*, H. 3, S. 5-12.
- CROWLEY, T. J. & T. S. Lowery (2000): *How warm was the medieval warm period? A comment on „Man-made versus natural climate change“*. - *Ambio*, 29. Jg., H. 1, S. 51-54.
- DÄHNE, R. & W. ROSER (1988): *Die Bayerische Eisenstraße. Von Pegnitz bis Regensburg*. - München. (= Hefte zur Bayerischen Geschichte und Kultur. 5)

- DEHIO, G. (1991): *Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler. Bayern V: Regensburg und die Oberpfalz.* - Darmstadt.
- DENK, J. (1902): *Beiträge zur Geschichte des Berg- und Hammerwesens in der churfürstlichen Oberpfalz.* - Stadthof.
- DEUTSCH, M.; PÖRTGE, K.-H. & H. TELTSCHER (Hrsg., 2000): *Beiträge zum Hochwasser/Hochwasserschutz in Vergangenheit und Gegenwart.* - Erfurt. (= Erfurter Geographische Studien. 9)
- DIEZ, T. (1968): *Die Böden.* In: Doben, K. & F. Heller: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000. Blatt Nr. 6637 Rieden.* - München. S. 40-50.
- DOBEN, K. & F. HELLER (1968): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000. Blatt Nr. 6637 Rieden.* - München.
- DOBLER, L. (1999): *Der Einfluß der Bergbaugeschichte im Osthartz auf die Schwermetalltiefergradienten in historischen Sedimenten und die fluviale Schwermetalldispersion in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz.* - Halle/Saale. Diss.
- DOBLER, L. (2000): *Schwermetalltiefergradienten in Auensedimenten der Selke als Ausdruck der historischen Montanwirtschaft im Osthartz.* In: Wippermann, T. (Hrsg.): *Bergbau und Umwelt. Langfristige geochemische Einflüsse.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a. (= GUG-Schriftenreihe Geowissenschaften und Umwelt) S. 67-85.
- DOBLER, L. (2003): *Schwermetalltiefergradienten in Auensedimenten der Selke als Ausdruck der historischen Montanwirtschaft Osthartz.* In: Frühauf, M. & H.-J. Beug (Hrsg.): *Neue Befunde zur (Kultur-) Landschaftsgenese im Harz und seinem östlichen Vorland unter besonderer Berücksichtigung von Bergbauaktionen. Exkursionsführer zur Jahrestagung des AK VMFZE.* - Halle/Saale. S. 1-9.
- DOTTERWEICH, M.; HABERSTROH, J. & H.-R. BORK (2003): *Mittel- und jungholozäne Siedlungsentwicklung, Landnutzung, Bodenbildung und Bodenerosion an einer mittelalterlichen Wüstung bei Friesen, Landkreis Kronach in Oberfranken.* In: Bork, H.-R.; Schmidtchen, G. & M. Dotterweich (Hrsg.): *Bodenbildung, Bodenerosion und Reliefentwicklung im Mittel- und Jungholozän Deutschlands.* - Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 253) S. 17-56.
- DOTTERWEICH, M.; SCHMITT, A.; BORK, H.-R. & G. SCHMIDTCHEN (2003a): *Jungholozäne Bodenerosion und Kerbenentwicklung im Wolfgraben bei Bamberg.* In: Bork, H.-R.; Schmidtchen, G. & M. Dotterweich (Hrsg.): *Bodenbildung, Bodenerosion und Reliefentwicklung im Mittel- und Jungholozän Deutschlands.* - Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 253) S. 129-164.
- DOTTERWEICH, M.; SCHMITT, A.; SCHMIDTCHEN, G. & H.-R. BORK (2003b): *Quantifying historical gully erosion in northern Bavaria.* - *Catena*, 50. Jg., S. 135-150.
- DOUGLAS, I. & J. HAGEDORN (Eds., 1993): *Geomorphology and Geoecology. Fluvial Geomorphology.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 88)
- EGGERS, B. (1996): *Schwermetallbelastung von Schwebstoffen und Sediment an Oker und Innerste.* - Hildesheim. (= Arbeitsgemeinschaft zur Reinhaltung der Weser. 4)
- EIBERWEISER, M. (1995): *Untersuchung zur Schwermetall-Tiefenverteilung in Böden und periglazialen Deckschichten des ostbayerischen Kristallins und seiner Randgebiete.* - Regensburg. Diss.
- ELEMENTAR ANALYSENSYSTEME GMBH (Hrsg., 2001): *vario EL III. CHNOS Elementaranalysator. Bedienungsanleitung.* - Hanau.
- ELITUSCH, C.-M. (1984): *Thermolumineszenz-Untersuchungen an Schlacken frühgeschichtlicher Metallurgie.* - Heidelberg. Diss.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. stark veränd. und verb. Aufl.* - Stuttgart.
- FAUST, D.; DIAZ DEL OLMO, F. & R. BAENA ESCUDERO (2000): *Soils in the Holocene alluvial sediments of the Rio Fraja Valley, Spain: in situ or soil-sediments?.* - *Catena*, 41. Jg., S. 133-142.

- FIELLER, N. R.; GILBERTSON, D. D. & N. G. RALPH (Eds., 1985): *Palaeoenvironmental Investigations. Research Design, Methods and Data Analysis. Symposia of the Association for Environmental Archaeology No. 5A.* - Oxford. (= British Archaeological Reports. International Series. 258)
- FIRSCHING, W. (1930): *1000 Jahre Amberger Bergbau und Eisenindustrie.* - Würzburg. Diss.
- FITTSCHEN, R. & A. GRÖNGRÖFT (2000): *Eisen- und Manganverteilung in eingedeichten Auenböden der Mittelelbe.* In: Friese, K.; Witter, B.; Miehlich, G. & M. Rode (Hrsg.): *Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a. S. 79-88.
- FLAMMERSBERGER, F. (1995): *Die Bernsteinstraße. Der Verlauf einer alten Handelsstraße in der mittleren Oberpfalz.* - *Der Eisengau*, H. 4, S. 65-92.
- FOELLMER, A. (1999): *Schwermetalleinträge durch den Schwarzwälder Bergbau in die südliche Oberrheinebene zwischen Möhlin und Sulzbach.* - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geowissenschaftliche Beiträge. 13)
- FREUND, H. (Hrsg., 1955): *Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Band II. Mikroskopie der Bodenschätze. Teil 2: Mikroskopie der Erze, Aufbereitungsprodukte und Hüttenschlacken.* - Frankfurt a. M.
- FRIEDMANN, A. & R. MÄCKEL (1998): *Jungquartäre Geomorphodynamik im Zartener Becken (Mittlerer Schwarzwald).* In: Mäkel, R. & A. Friedmann (Hrsg.): *Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15.000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald.* - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 54) S. 113-126.
- FRIESE, K.; WITTER, B.; MIEHLICH, G. & M. RODE (Hrsg., 2000): *Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a.
- FRITSCH, F. X. (1974): *Geschichte der oberpfälzischen Forstorganisation. Ihre Entwicklung vom Mittelalter bis zur Jetztzeit (1973) in Zusammenhang mit der Oberpfälzer Eisenindustrie.* - München. (= Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns. 39)
- FRÖHLICH, F. (1980): *Eisenschlacken im Oberpfälzer Jura.* In: Wolf, H. (Hrsg.): *Die Bergbauabteilung. Das Projekt Bayerische Eisenstraße.* - Theuern. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 2) S. 35-36.
- FRÜHAUF, M. & H.-J. BEUG (Hrsg., 2003): *Neue Befunde zur (Kultur-) Landschaftsgenese im Harz und seinem östlichen Vorland unter besonderer Berücksichtigung von Bergbauaktionen. Exkursionsführer zur Jahrestagung des AK VMFZE.* - Halle/Saale.
- GAIDA, R.; RADTKE, U.; BECK, G.; SAUER, K.-H. & W. ANDRES (1993): *Geochemisch-pedologische Detailanalyse eines Wuppersedimentes bei Leichlingen (Bergisches Land, Rheinland) unter besonderer Berücksichtigung der Bindungsformen der Schwermetalle.* In: Radtke, U. (Hrsg.): *Schwermetalle. Untersuchungen zur Schwermetallverteilung und -dynamik in rezenten Böden, Paläoböden, Flußsedimenten, Mooren und Kinderspielplätzen.* - Düsseldorf. (= Düsseldorfer Geographische Schriften. 31) S. 169-201.
- GASSMANN, G. (1993): *Neuere Untersuchungen zur vor- und frühgeschichtlichen Eisengewinnung im südlichen Oberrheingebiet.* In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Montanarchäologie in Europa.* - Sigmaringen. (= Archäologie und Geschichte. 4) S. 497-504.
- GESELLSCHAFT FÜR BERGBAU, METALLURGIE, ROHSTOFF- UND UMWELTTECHNIK (Hrsg., 1997): *Spurenelemente in Lagerstätten. Vorträge des GDMB-Lagerstättenausschusses im November 1996 in Halle.* - Clausthal-Zellerfeld. (= Schriftenreihe der GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik. 80)
- GEE, C.; RAMSEY, M. H.; MASKALL, J. & I. THORNTON (1997): *Mineralogy and weathering processes in historical smelting slags and their effect on the mobilisation of lead.* - *Journal of Geochemical Exploration*, 58. Jg., S. 249-257.
- GERLACH, R.; SAUER, K.-H.; BRÜCKNER, H. & U. RADTKE (1993): *Historische Schwermetallbelastung in Duisburger Stadtböden: vom Mittelalter bis heute.* In: Radtke, U. (Hrsg.): *Schwermetalle. Untersuchungen zur Schwermetallverteilung und -dynamik in rezenten Böden, Paläoböden, Flußsedimenten, Mooren und Kinderspielplätzen.* - Düsseldorf. (= Düsseldorfer Geographische Schriften. 31) S. 155-168.

- GERSTENHÖFER, R. (1970): *Klosterdorf und Hammerstatt Leidersdorf*. - *Die Oberpfalz*, 58. Jg., S. 30-35.
- GEYH, M. A. (1980): *Einführung in die Methoden der physikalischen und chemischen Altersbestimmung*. - Darmstadt.
- GEYH, M. A. (2000): *Zum Umgang mit numerischen Altersangaben*. In: Völkel, J. & H.-J. Barth (Hrsg.): *Beiträge zur Quartärforschung. Festschrift für Klaus Heine zum 60. Geburtstag*. - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 33) S. 1-17.
- GEYH, M. A. & H. SCHLEICHER (1990): *Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and their Application*. - Berlin, Heidelberg, New York.
- GLASER, R. (2001): *Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. - Darmstadt.
- GOLDENBERG, G. (1990): *Die montanarchäologische Prospektion. Methoden und Ergebnisse*. In: Steuer, H. (Hrsg.): *Erze, Schlacken und Metalle. Früher Bergbau im Südschwarzwald*. - Freiburg i. Br. (= Freiburger Universitätsblätter. 109) S. 85-113.
- GOLDENBERG, G. (1990a): *Die Schlacken und ihre Analysen. Relikte der Metallgewinnung und Metallverarbeitung*. In: Steuer, H. (Hrsg.): *Erze, Schlacken und Metalle. Früher Bergbau im Südschwarzwald*. - Freiburg i. Br. (= Freiburger Universitätsblätter. 109) S. 147-172.
- GOLDENBERG, G. (2000): *Frühe Umweltbelastungen durch Bergbau und Hüttenwesen*. In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe*. - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 107-113.
- GÖTSCHMANN, D. (1985): *Oberpfälzer Eisen. Bergbau und Eisengewerbe im 16. und 17. Jahrhundert*. - Theuern. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 5)
- GRIMM, E. (1956): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an rezenten Sanden der Rednitz (Mittelfranken) und der Naab (Bayr. Oberpfalz) unter besonderer Berücksichtigung der opaken Mineralien*. - Köln. Diss.
- GUDDEN, H. (1984): *Zur Entstehung der nordostbayerischen Kreide-Eisenerzlagerstätten*. - *Geologisches Jahrbuch*, D66. Jg., S. 3-49.
- GUDDEN, H. (1987): *Eisenerz*. In: Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.): *Der Bergbau in Bayern*. - München. (= Geologica Bavarica. 91) S. 25-35.
- HAGEDORN, J. (Ed., 1995): *Late Quaternary and present-day fluvial processes in Central Europe*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 100)
- HEINE, K. (1970): *Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg. Eine geomorphologische Studie*. - Bonn. (= Bonner Geographische Abhandlungen. 42)
- HEINE, K. (2001): *Fließgewässer und Flußauen - geologisch-geomorphologische Betrachtungen. Eine Einführung zum Symposium "Fließgewässer und Flußauen" - schützenswürdige Naturlandschaften und/oder moderne Wasserstraßen?*. In: Heine, K. & K.-H. Pfeffer (Hrsg.): *Angewandte Geomorphologie in verschiedenen Geoökosystemen. Beiträge der Symposien der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften: "Fließgewässer und Flußauen" und "Tropische Geomorphologie"*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 124) S. 1-24.
- HEINE, K.; NILLER, H.-P.; NUBER, T. & R. SCHEIBE (2005): *Slope and valley sediments as evidence of deforestation and land-use in prehistoric and historic Eastern Bavaria*. In: Völkel, J. (Ed.): *Colluvial sediments, flood loams and peat bogs. Kolluvien, Auensedimente und Moore*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 139) S. 147-171.
- HEINE, K. & K.-H. PFEFFER (Hrsg., 2001): *Angewandte Geomorphologie in verschiedenen Geoökosystemen. Beiträge der Symposien der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften: "Fließgewässer und Flußauen" und "Tropische Geomorphologie"*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 124)
- HEINRICH, H. & G. HERRMANN (1990): *Praktikum der analytischen Geochemie*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a.

- HERGET, J. (2003): *Fluss- und Tallandschaften*. In: Institut für Länderkunde, Leipzig (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Relief, Boden und Wasser*. - Heidelberg, Berlin. S. 90-91.
- HERZ, P. & G. WALDHERR (Hrsg., 2001): *Landwirtschaft im Imperium Romanum*. - St. Katharinen. (= Pharos - Studien zur griechisch-römischen Antike. 14)
- HEUSCH, K. (1997): *Auenböden im fluvialen Stoffsystem - dargestellt am Beispiel der Siegaue bei Hennef*. - Bonn. (= Bonner Bodenkundliche Abhandlungen. 19)
- HEUSCH, K.; BOTSCHKE, J. & A. SKOWRONEK (1996): *Zur jungholozänen Oberflächen- und Bodenentwicklung der Siegaue im Hennefer Mäanderbogen*. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 46. Jg., S. 18-31.
- HILGART, M. (1995): *Die geomorphologische Entwicklung des Altmühl- und Donautales im Raum Diefurt-Kehlheim-Regensburg im jüngeren Quartär*. - Trier. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 242)
- HILLER, A.; TINAPP, C.; GROOTES, P. M. & M.-J. NADEAU (2003): *Ungewöhnliche Probleme bei der <sup>14</sup>C-Datierung organischer Komponenten und Fraktionen fluvialer Sedimente aus der Aue der Weißen Elster bei Leipzig*. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 52. Jg., S. 4-12.
- HILLIER, S.; SUZUKI, K. & J. COTTER-HOWELLS (2001): *Quantitative determination of cerussite (lead carbonate) by X-ray powder diffraction and interferences for lead speciation and transport in stream sediments from a former lead mining area in Scotland*. - *Applied Geochemistry*, 16. Jg., S. 597-608.
- HINTERMAIER-ERHARD, G. & W. ZECH (1997): *Wörterbuch der Bodenkunde*. - Stuttgart.
- HOLZWARTH, F.; RADTKE, H.; HILGER, B. & G. BACHMANN (2000): *Bundes-Bodenschutzgesetz/Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Handkommentar. 2. Neubearb. u. erw. Aufl.* - Berlin. (= Bodenschutz und Altlasten. 5)
- HUDSON-EDWARDS, K.; MACKLIN, M. & M. TAYLOR (1997): *Historic metal mining inputs to Tees river sediment*. - *The Science of the Total Environment*, 194-195. Jg., S. 437-445.
- HUDSON-EDWARDS, K. A.; SCHELL, C. & M. G. MACKLIN (1999): *Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest Spain*. - *Applied Geochemistry*, 14. Jg., S. 1015-1030.
- HÜRKAMP, K. (2006): *Bewertung der potentiellen Gefährdung von Grund- und Oberflächenwässern infolge Mobilisierung von Schwermetallen aus bergbaubedingt kontaminierten Auensedimenten im nördlichen Vilstal/Opf.* - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 9)
- HÜRKAMP, K.; RAAB, T. & J. VÖLKELE (2003): *Retention und Mobilisierungspotential montan-historischer Schwermetalleinträge in Auenböden am Oberlauf der Vils/Opf.* - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 102. Jg., S. 183-184.
- INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE, LEIPZIG (Hrsg., 2003): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Relief, Boden und Wasser*. - Heidelberg, Berlin.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. - Cambridge, New York.
- JERZ, H.; SCHNEIDER, T. & K.-H. KRAUSE (2000): *Zur Entwicklung der Schwemmfächer und Schwemmkegel in Randbereichen des Murnauer Moores. Mit Ergebnissen der GLA-Forschungsbohrungen bei Grafenaschau und Eschenlohe*. In: Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.): *Geo-Wissen für die Zukunft. Beiträge zur Geologie, Bodenkunde und Geochemie Bayerns*. - München. (= Geologica Bavarica. 105) S. 251-264.
- JOCKENHÖVEL, A. (1995): *Der Weg zum Hochofen - Die Zeit der spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Massenhütten*. In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altentümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995*. - Wiesbaden. S. 83-98.
- JOCKENHÖVEL, A. (2000): *Eisengewinnung im Mittelgebirgsraum*. In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe*. - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 70-74.

- JOL, H. M.; LAWTON, D. C. & D. G. SMITH (2002): *Ground penetrating radar: 2-D and 3-D subsurface imaging of a coastal barrier spit, Long Beach, WA, USA.* - *Geomorphology*, 53. Jg., S. 165-181.
- JONES, M. P. (1997): *Methoden der Mineralogie.* - Stuttgart.
- JONES, P. D.; Briffa, K. R. & T. J. Osborn (2003): *Changes in the Northern Hemisphere annual cycle: Implications for paleoclimatology?.* - *Journal of Geophysical Research*, 108. Jg., H. D18.
- KADEREIT, A.; LANG, A.; HÖNSCHIEDT, S.; MÜTH, J. & G. A. WAGNER (2002): *IR-OSL-dated colluvial archives as evidence for the Holocene landscape history. Case studies from SW-Germany.* In: Baumhauer, R. & B. Schütt (Eds.): *Environmental change and geomorphology.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 128) S. 191-207.
- KAULICH, B.; MEYER, R. K. & H. SCHMIDT-KALER (2000): *Von Nürnberg durch die Pegnitz-Alb zur Bayerischen Eisenstraße.* - München. (= Wanderungen in die Erdgeschichte. 11)
- KAUSCH, B. (2003): *Geoarchäologische Untersuchungen an Schwemmfächern als korrelierten Sedimentkörpern holozäner Bodenerosion zur Erfassung morphodynamischer Prozessphasen und Schwermetallbelastungen in der Region Trier.* - Trier. Diss.
- KAUSCH, B.; BAUMHAUER, R.; LÖHR, H. & B. SCHÜTT (2002): *Erste Ergebnisse einer Recherche auf gravitative Massenbewegungen im Trierischen Volksfreund.* In: Müller, P; Rumpf, S. & H. Monheim (Hrsg.): *Umwelt und Region. Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522.* - Trier. S. 255-261.
- KAUSCH, B.; BAUMHAUER, R.; LÖHR, H. & B. SCHÜTT (2002a): *Sedimentologisch-geochemische Untersuchungen an historischen Schwemmfächern am Beispiel der Gaugracht, nördlicher Saargau.* In: Müller, P; Rumpf, S. & H. Monheim (Hrsg.): *Umwelt und Region. Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522.* - Trier. S. 263-269.
- KEMPA, M. (1995): *Die Verhüttungsplätze.* In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.): *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb.* - Stuttgart. (= Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg. 55) S. 147-192.
- KLEBEN, R. (1984): *Herkunft und Transportverhalten klastischer, technischer Gesteine (insbesondere Hüttenschlacken) im rezenten Sediment der Bode/Harz.* - Berlin. Diss.
- KLEBEN, R. (1993): *Zu geowissenschaftlichen Aussagemöglichkeiten von Hüttenschlacken im rezenten Transportgut der Bode (Harz und nördliches Vorland).* - *Berliner Geographische Arbeiten*, H. 78, S. 193-210.
- KLEBEN, R. & S. M. CHROBOK (1989): *Historische Hüttenstandorte im Mittelharz und ihre fluvial transportierbaren technogenen Gesteine.* - *Zeitschrift für angewandte Geologie*, 35. Jg., S. 24-31.
- KLIMEK, K. (1999): *A 1000 Year Alluvial Sequence as an Indicator of Catchment/Floodplain Interaction: The Ruda Valley, Sub-Carpathians, Poland.* In: Brown, A. G. & T. A. Quine (Eds.): *Fluvial Processes and Environmental Change.* - Chichester, New York, Weinheim u.a. S. 329-344.
- KRABISCH, N. (2006): *Anthropogeomorphologische Untersuchungen an der Nürnberger Altraße in der südlichen Frankenalb bei Regensburg - Bodenkundlich-geomorphologische und geophysikalische Feldstudien zur Quantifizierung der anthropogen induzierten Landschaftsveränderung.* - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 11)
- KRAUSE, R. & K.-H. PFEFFER (Hrsg., 2004): *Studien zum Ökosystem einer keltisch-römischen Siedlungskammer am Nördlinger Ries.* - Tübingen. (= Tübinger Geographische Studien. 130)
- KREHER, U. & R. B. HEIMANN (1999): *Alles nur Routine? Chemisch-mineralogische Zusammensetzung germanischer Eisenschlacken von Groß Jauer und Wolkenberg.* In: Kunow, J. (Hrsg.): *Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier. 1998.* - Pritzen. (= Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg. 3) S. 105-116.
- KREUZ, A.; NOLTE, S. & A. STOBBE (1998): *Interpretation pflanzlicher Reste aus holozänen Auensedimenten am Beispiel von drei Bohrkernen des Wettertales (Hessen).* - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 48. Jg., S. 133-161.

- KRONZ, A. & I. KEESMANN (1995): *Die vorneuzeitliche Eisentechnologie im Lahn-Dill-Gebiet: Chemische und mineralogische Untersuchungen*. In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995*. - Wiesbaden. S. 215-234.
- KUKULAK, J. (2003): *Impact of mediaval agriculture on the alluvium in the San River headwaters (Polish Eastern Carpathians)*. - *Catena*, 51. Jg., S. 255-266.
- KULBE, T. (1997): *Die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte der Bunger-Oase, Ostantarktis*. - Bremerhaven. (= Berichte zur Polarforschung. 254)
- KUNOW, J. (Hrsg., 1999): *Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier*. 1998. - Pritzen. (= Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg. 3)
- KÜSTER, H.; LANG, A. & P. SCHAUER (Hrsg., 1998): *Archäologische Forschungen in urgeschichtlichen Siedlungslandschaften. Festschrift für Georg Kossack zum 75. Geburtstag*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur prähistorischen Archäologie. 5)
- LACKNER, H. (1984): *Die Brennstoffversorgung des steirischen Eisenwesens*. In: Roth, P. W. (Hrsg.): *Erz und Eisen in der Grünen Mark. Beiträge zum steirischen Eisenwesen*. - Graz. S. 189-202.
- LAMMERS, D. (1995): *Der Rennofenstandort B 88 - ein Beispiel für einen Eisenerzverhüttungsplatz des 13./14. Jahrhunderts im Lahn-Dill-Gebiet*. In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995*. - Wiesbaden. S. 43-56.
- LANDESDENKMALAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg., 1995): *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb*. - Stuttgart. (= Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg. 55)
- LANG, A. (1996): *Die Infrarot-Stimulierte-Lumineszenz als Datierungsmethode für holozäne Lössderivate. Ein Beitrag zur Chronometrie kolluvialer, alluvialer und limnischer Sedimente in Südwestdeutschland*. - Heidelberg. (= Heidelberger Geographische Arbeiten. 103)
- LANG, A. (2003): *Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany*. - *Catena*, 51. Jg., S. 209-221.
- LANG, A. & S. HÖNSCHIEDT (1999): *Age and source of colluvial sediments at Vaihingen-Enz, Germany*. - *Catena*, 38. Jg., S. 89-107.
- LANGE, B. & Z. J. VEJDELEK (1980): *Photometrische Analyse*. - Weinheim.
- LARUE, J. P. (2002): *Small valley bottom deposits in the sandy districts of the Sarthe basin (France): climatic and/or human origin?*. - *Geomorphology*, 45. Jg., S. 309-323.
- LASCHINGER, J. (1994): *Theuern. Herrschaft - Hofmark - Hammerschloß*. - Theuern. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 31)
- LECCE, S. A. & R. T. PAVLOWSKY (2001): *Use of mining-contaminated sediment tracers to investigate the timing and rates of historical flood plain sedimentation*. - *Geomorphology*, 38. Jg., S. 85-108.
- LEOPOLD, M. (2003): *Multivariate Analyse von Geoarchiven zur Rekonstruktion eisenzeitlicher Landnutzung im Umfeld der spätlatenezeitlichen Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 2)
- LEOPOLD, M.; RAAB, T. & J. VÖLKELE (Hrsg., 2003): *Kolluvien, Auensedimente und Landschaftsgeschichte. Tagungsband und Exkursionsführer des Arbeitskreises für Bodengeographie in der Deutschen Gesellschaft für Geographie vom 1. bis 3. Mai 2003 in Regensburg*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 3)
- LEOPOLD, M. & J. VÖLKELE (2002): *Fragen der Eignung kolluvialer Sedimente im Rahmen der holozänen Paläoklimarekonstruktion*. - *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, H. 3-4, S. 317-334.
- LEOPOLD, M. & J. VÖLKELE (2004): *Neolithic Flint Mines in Arnhofen, Southern Germany: A Groundpenetrating Radar Survey*. - *Archaeological Prospection*, 11. Jg., S. 57-64.
- LESER, H. (1977): *Feld- und Labor-Methoden der Geomorphologie*. - Berlin, New York.

- LESER, H. & G. STÄBLEIN (Hrsg., 1975): *Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1 : 25.000.* - Berlin.
- LIEßMANN, W. (1997): *Historischer Bergbau im Harz. Ein Kurzführer. 2. korr. und erg. Aufl.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a.
- LIETZMANN, K.-D.; SCHLEGEL, J. & A. HENSEL (1984): *Metallformung. Geschichte Kunst Technik.* - Leipzig.
- LUTZ, J. (1941): *Die ehemaligen Eisenhämmer und Hüttenwerke und die Waldentwicklung im nordöstlichen Bayern.* - *Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft*, H. 3, S. 277-294.
- MÄCKEL, R. & A. FRIEDMANN (Hrsg., 1998): *Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15.000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald.* - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 54)
- MÄCKEL, R. & A. FRIEDMANN (1999): *Holozäner Landschaftswandel im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald.* - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 49. Jg., S. 1-20.
- MÄCKEL, R. & A. RÖHRIG (Hrsg., 1991): *Forschungen zur Fluß- und Hangdynamik.* - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 33)
- MÄCKEL, R.; SCHNEIDER, R.; FRIEDMANN, A. & J. SEIDEL (2002): *Environmental changes and human impact on the relief development in the Upper Rhine valley and Black Forest (South-West Germany) during the Holocene.* In: Baumhauer, R. & B. Schütt (Eds.): *Environmental change and geomorphology.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 128) S. 31-45.
- MACKENZIE, W. S.; DONALDSON, C. H. & C. GUILFORD (1989): *Atlas der magmatischen Gesteine in Dünnschliffen.* - Stuttgart.
- MACKENZIE, W. S. & C. GUILFORD (1981): *Atlas gesteinsbildender Minerale in Dünnschliffen.* - Stuttgart.
- MACKLIN, M. G.; BRADLEY, S. B. & C. O. HUNT (1985): *Early mining in Britain: the stratigraphic implications of heavy metals in alluvial sediments.* In: Fieller, N. R.; Gilbertson, D. D. & N. G. Ralph (Eds.): *Palaeoenvironmental Investigations. Research Design, Methods and Data Analysis. Symposia of the Association for Environmental Archaeology No. 5A.* - Oxford. (= British Archaeological Reports. International Series. 258) S. 45-54.
- MACKLIN, M. G. & R. B. DOWSETT (1989): *The chemical and physical speciation of trace metals in fine grained overbank flood sediments in the Tyne basin, north-east England.* - *Catena*, 16. Jg., S. 135-151.
- MACKLIN, M. G.; HUDSON-EDWARDS, K. A. & E. J. DAWSON (1997): *The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine orefield on river sediment contaminant fluxes to the North Sea.* - *The Science of the Total Environment*, 194/195. Jg., S. 391-397.
- MAHR, A. (1998): *Lockerbraunerden und periglaziale Hangsedimente im Bayerischen Wald. Untersuchungen zu Paläoumwelt und Geomorphodynamik im Spätglazial und ihrem Einfluß auf die Pedogenese.* - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 30)
- MANSKE, D. (1985): *Ambergs Lage im Straßennetz der Oberpfalz während des Mittelalters und der Neuzeit.* - Regensburg. (= Schriftenreihe der Universität Regensburg. 11)
- MANSKE, D. (2002): *Sulzbach und sein Umland - Verkehrspfortensituation vom frühen Mittelalter bis heute.* In: Stadt Sulzbach-Rosenberg (Hrsg.): *Sulzbach und das Land zwischen Naab und Vils im frühen Mittelalter. Tagung vom 13. - 14. Juni 2002 in Sulzbach-Rosenberg.* - Sulzbach-Rosenberg. (= Schriftenreihe des Stadtmuseums und Stadtarchivs Sulzbach-Rosenberg. 19) S. 103-111.
- MARTIN, C. W. (2004): *Heavy metal storage in near channel sediments of the Lahn River, Germany.* - *Geomorphology*, 61. Jg., H. 3-4, S. 275-285.
- MATSCHULLAT, J.; ELLMINGER, F.; AGDEMIR, N.; CRAMER, S.; LIEßMANN, W. & N. NIEHOFF (1997): *Overbank sediments profiles - evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany.* - *Applied Geochemistry*, 12. Jg., S. 105-114.
- MATSCHULLAT, J.; NIEHOFF, N. & K.-H. PÖRTGE (1992): *Bergbau- und Zivilisationsgeschichte des Harzes am Beispiel eines Auelehmpfils der Oker (Niedersachsen).* - *Neue Bergbautechnik*, 22. Jg., H. 8, S. 322-326.

- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R. & C. REIMANN (2000): *Geochemischer Hintergrund - berechenbar?*. In: Wippermann, T. (Hrsg.): *Bergbau und Umwelt. Langfristige geochemische Einflüsse*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. (= GUG-Schriftenreihe Geowissenschaften und Umwelt) S. 1-23.
- MAUS, H. (2000): *Europas Mitte - reich an Erzen. Lagerstätten in Karte und Bild*. In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe*. - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 16-23.
- MÄUSBACHER, R.; BAADE, J. & M. GUDE (Hrsg., 2000): *Geomorphologische Prozeßforschung. Stofftransport, Methodik und Regionale Aspekte*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 121)
- MEILLER, A. (1730): *Mundi miraculum seu S. Otto episcopus Bambergensis Pomeranie apostolus et exempti monasterii Ensdorffensis praecipuus dotator cum eiusdem monasterii fundatorum Ottonis Com. Palat. de Wittelspach ac Helicae conjugum eorumque filiorum historia ...*. - Amberg.
- MEYER, R. K. & H. SCHMIDT-KALER (1995): *Rund um Regensburg*. - München. (= Wanderungen in die Erdgeschichte. 7)
- MEYNEN, E. & J. SCHMITHÜSEN (1953): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Band I*. - Remagen.
- MIEHLICH, G. (2000): *Eigenschaften, Genese und Funktionen von Böden in Auen Mitteleuropas*. In: Friese, K.; Witter, B.; Miehlich, G. & M. Rode (Hrsg.): *Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. S. 3-18.
- MILITZER, H. & F. WEBER (Hrsg., 1985): *Angewandte Geophysik. Band 2, Geoelektrik, Geothermik, Radiometrie, Aerogeophysik*. - Wien, New York, Berlin.
- MILLER, J. R. (1997): *The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites*. - *Journal of Geochemical Exploration*, 58. Jg., S. 101-118.
- MOORE, D. M. & R. C. REYNOLDS, Jr. (1989): *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. - Oxford, New York.
- MOORES, A. J.; PASSMORE, D. G. & A. C. STEVENSON (1999): *High Resolution Palaeochannel Records of Holocene Valley Floor Environments in the North Tyne Basin, Northern England*. In: Brown, A. G. & T. A. Quine (Eds.): *Fluvial Processes and Environmental Change*. - Chichester, New York, Weinheim u.a. S. 283-310.
- MÜLLER, P.; MONHEIM, H. & S. RUMPF (Hrsg., 2002): *Umwelt und Region. Umweltanalyse und Umweltmanagementstrategien für eine nachhaltige Entwicklung im ländlichen Raum. Ergebnisbericht der ersten Förderphase 1999/2 - 2002/1. SFB 522 Universität Trier*. - Trier.
- MÜLLER, P.; RUMPF, S. & H. MONHEIM (Hrsg., 2002a): *Umwelt und Region. Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522*. - Trier.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): *Klimadaten von Deutschland. Zeitraum 1961 - 1990. (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung)*. - Offenbach am Main.
- MUNSELL COLOR COMPANY (1975): *Munsell Soil Color Charts*. - Baltimore.
- MÜNZBERGER, P. (2005): *Jungquartäre Talgeschichte der Donau und ihrer Nebenflüsse im Raum Straubing - Deggendorf in Abhängigkeit natürlicher und anthropogener Einflüsse*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 8)
- NELLE, O. & J. SCHMIDGALL (2003): *Der Beitrag der Paläobotanik zur Landschaftsgeschichte von Karstgebieten am Beispiel der bronzezeitlichen Höhensiedlung von Kallmünz (südöstliche Frankenalb)*. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 53. Jg., S. 55-73.
- NILLER, H.-P. (1998): *Prähistorische Landschaften im Lößgebiet bei Regensburg. Kolluvien, Auenlehme und Böden als Archive der Paläoumwelt*. - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 31)
- NILLER, H.-P. (2001): *Wandel prähistorischer Landschaften. Kolluvien, Auenlehme und Böden: Archive zur Rekonstruktion vorgeschichtlicher anthropogener Landschaftsveränderungen im Lößgebiet bei Regensburg*. - *Erdkunde*, 55. Jg., S. 32-48.
- NITON CORPORATION (Ed., 1998): *300series and 700series User's Guide version 5.2*. - Billerica.

- OLDFIELD, F. & K. ALVERSON (2003): *The Societal Relevance of Paleoenvironmental Research*. In: Alverson, K. D.; Bradley, R. S. & T. F. Pedersen (Eds.): *Paleoclimate, global change and the future*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. S. 1-11.
- OLDFIELD, F. & J. A. DEARING (2003): *The Role of Human Activities in Past Environmental Change*. In: Alverson, K. D.; Bradley, R. S. & T. F. Pedersen (Eds.): *Paleoclimate, global change and the future*. - Berlin, Heidelberg, New York u.a. S. 143-162.
- PASSMORE, D. G. & M. G. MACKLIN (1994): *Provenance of fine-grained alluvium and late Holocene land-use change in the Tyne basin, northern England*. - *Geomorphology*, 9. Jg., S. 127-142.
- PAULING, A.; LUTERBACHER, J.; CASTY, C. & H. WANNER (2006): *Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation*. - *Climate Dynamics*, 26. Jg., S. 387-405.
- PFEFFER, K.-H. (2003): *Karstlandschaften*. In: Institut für Länderkunde, Leipzig (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Relief, Boden und Wasser*. - Heidelberg, Berlin. S. 94-95.
- PFEUFER, J. (1975): *Die Eisenerzlagerstätten von Auerbach/Opf. und deren Abbau*. - *Der Aufschluß*, 25. Jg., S. 317-327.
- PFEUFER, J. (1983): *Zur Genese der Eisenerzlagerstätten von Auerbach - Sulzbach-Rosenberg - Amberg (Oberpfalz)*. - *Geologisches Jahrbuch*, D64., S. 3-69.
- PFEUFER, J. (1997): *Phosphor im Eisenerz der Lagerstätte Leonie in Auerbach (Oberpfalz)*. In: Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik (Hrsg.): *Spurenelemente in Lagerstätten. Vorträge des GDMB-Lagerstättenausschusses im November 1996 in Halle*. - Clausthal-Zellerfeld. (= Schriftenreihe der GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik. 80) S. 41-51.
- PFEUFER, J. (2000): *Der Oberpfälzer Eisenerzbergbau nach dem Zweiten Weltkrieg. Erlebte und gestaltete Bergbaugeschichte*. - Bochum. (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbaumuseum Bochum. 89)
- PICHLER, H. & C. SCHMITT-RIEGRAF (1993): *Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff. 2. völlig Neubearb. Aufl.* - Stuttgart.
- PINSKER, B. (Hrsg., 1995): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995*. - Wiesbaden.
- PIRRIE, D.; POWER, M. R.; WHEELER, P. D.; CUNDY, A.; BRIDGES, C. & G. DAVEY (2002): *Geochemical signature of historical mining: Fowey Estuary, Cornwall, UK*. - *Journal of Geochemical Exploration*, 76. Jg., S. 31-43.
- PÖRTGE, K.-H. & M. Deutsch (2000): *Hochwasser in Vergangenheit und Gegenwart*. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit*. - München. (= Rundgespräche der Kommission für Ökologie. 18) S. 139-151.
- POPE, R. J.; WILKINSON, K. N. & A. C. MILLINGTON (2003): *Human and Climatic Impact on Late Quaternary Deposition in the Sparta Basin Piedmont: Evidence from Alluvial Fan Systems*. - *Geoarchaeology*, 18. Jg., H. 7, S. 685-724.
- PREUSSER, F. (1999): *Lumineszenzdatierung fluviatiler Sedimente. Fallbeispiele aus der Schweiz und Norddeutschland*. - Köln. (= Kölner Forum für Geologie und Paläontologie. 3/1999)
- RAAB, T. (1999): *Würmzeitliche Vergletscherung des Bayerischen Waldes im Arbergebiet*. - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 32)
- RAAB, T. (2005): *Erfassung und Bewertung von Landschaftswandel in (prä-) historischen Montangebieten am Beispiel Ostbayerns*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 7)
- RAAB, T.; BECKMANN, S.; HÜRKAMP, K.; RICHARD, N. & J. VÖLKEL (2003): *Auswirkungen vorzeitiger Bodenerosion auf Verbreitung und Eigenschaften von Böden im Umfeld historischer Montanstandorte der Oberpfalz*. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 102. Jg., S. 543-544.
- RAAB, T.; BECKMANN, S.; RICHARD, N. & J. VÖLKEL (2005): *Reconstruction of floodplain evolution in former mining areas - The Vils River case study*. - *Die Erde*, 136 Jg., H. 1, S. 47-62.

- RAAB, T.; HÜRKAMP, K. & J. VÖLKELE (2003a): *Die Bewertung von Bodenfunktionen im Sinne des Bodenschutzes vor dem Hintergrund montanhistorischer Landschaftsveränderungen in der Oberpfalz*. In: Stadt Marktredwitz (Hrsg.): *Bodenschutz im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Vollzug. Marktredwitzer Bodenschutztag. 13.-15. Oktober 2003*. - Marktredwitz. (= Marktredwitzer Bodenschutztag Tagungsband. 3) S. 80-86.
- RAAB, T. & J. VÖLKELE (2005): *Soil geomorphological studies on the Prehistoric to Historic landscape change in the former mining area at the Vils River (Bavaria, Germany)*. In: Völkel, J. (Ed.): *Colluvial sediments, flood loams and peat bogs. Kolluvien, Auensedimente und Moore*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 139) S. 129-145.
- RADTKE, U. (Hrsg., 1993): *Schwermetalle. Untersuchungen zur Schwermetallverteilung und -dynamik in rezenten Böden, Paläoböden, Flußsedimenten, Mooren und Kinderspielplätzen*. - Düsseldorf. (= Düsseldorfer Geographische Schriften. 31)
- REGIERUNG DER OBERPFALZ (2000): *Gewässergütekarte der Oberpfalz*. - Regensburg.
- REIFF, W. & M. BÖHM (1995): *Die Eisenerze und ihre Gewinnung im Bereich der östlichen und im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb*. In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.): *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb*. - Stuttgart. (= Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg. 55) S. 15-36.
- REKTOR DER BERGAKADEMIE FREIBERG (Hrsg., 1984): *Komplexe Nutzung mineralischer Rohstoffe. Vorträge zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 1983 in Freiberg*. - Leipzig. (= Freiburger Forschungshefte C. 399)
- RESS, M. (1950): *Geschichte und wirtschaftliche Bedeutung der oberpfälzischen Eisenindustrie von den Anfängen bis zur Zeit des 30-jährigen Krieges*. - Regensburg. (= Verhandlungen des Historischen Vereins von Oberpfalz und Regensburg. 91)
- REUTER, G. (1962): *Gelände- und Laborpraktikum der Bodenkunde*. - Berlin.
- RICHARD, N. (2005): *Historischer Ausbau oder natürliche Entwicklung? Die fluviale Morphologie der Vils unter dem Einfluss des historischen Bergbaus*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, BOLAQ. 6)
- RIND, M. M. (Hrsg., 2000): *Geschichte ans Licht gebracht. Archäologie im Landkreis Kehlheim. Band 3 (1997 - 1999)*. - Büchenbach.
- RIND, M. M. (2000a): *Eisenschmelzöfen aus der Zeit der Ungarnkriege vom Weltenburger Frauenberg*. In: Rind, M. M. (Hrsg.): *Geschichte ans Licht gebracht. Archäologie im Landkreis Kehlheim. Band 3 (1997 - 1999)*. - Büchenbach. S. 165-173.
- ROBERTS, M. C. (2003): *Radar Stratigraphy and Radar Facies. Analysis and Interpretation. Workshop Notes. Universität Regensburg. June 2003*. - Regensburg.
- RÖHRIG, A. (1991): *Die zeitliche Einordnung der Schwemmfächer im mittleren Elztal bei Waldkirch/Mittlerer Schwarzwald*. In: Mäkel, R. & A. Röhrig (Hrsg.): *Forschungen zur Fluß- und Hangdynamik*. - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 33) S. 1-8.
- ROTH, P. W. (Hrsg., 1984): *Erz und Eisen in der Grünen Mark. Beiträge zum steirischen Eisenwesen*. - Graz.
- ROTH, P. W. (1984a): *Die Roheisenproduktion als Maßstab für die Wirtschaftsentwicklung der Steiermark*. In: Roth, P. W. (Hrsg.): *Erz und Eisen in der Grünen Mark. Beiträge zum steirischen Eisenwesen*. - Graz. S. 13-21.
- ROTHER, N. (1989): *Holozäne fluviale Morphodynamik im Ilmetal und an der Nordostabdachung des Sollings (Süd-niedersachsen)*. - Göttingen. (= Göttinger Geographische Abhandlungen. 87)
- ROWAN, J.S.; BLACK, S. & C. SCHELL (1999): *Floodplain Evolution and Sediment Provenance Reconstructed from Channel Fill Sequences: The Upper Clyde Basin, Scotland*. In: Brown, A. G. & T. A. Quine (Eds.): *Fluvial Processes and Environmental Change*. - Chichester, New York, Weinheim u.a. S. 223-240.
- RUPPERT, H. & F. SCHMIDT (1987): *Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns*. - München. (= GLA-Fachberichte. 2)
- RUTTENBERG, K. C. (1992): *Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments*. - *Limnology and Oceanography*, 37. Jg., H. 7, S. 1460-1482.

- SACHWEH, M. & G. ENDERS (1996): *Klimaatlas von Bayern*. - München.
- SALVADOR, P. G.; BRAVARD, J. P.; VITAL, J. & J. L. VORUZ (1993): *Archaeological evidence for Holocene floodplain development in the Rhone valley, France*. In: Douglas, I. & J. Hagedorn (Eds.): *Geomorphology and Geoecology. Fluvial Geomorphology*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 88) S. 81-95.
- SANDMEIER, K. J. (2002): *Reflexw 3.0. Manual. Windows program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data*. - Karlsruhe.
- SANDNER, R. (2005): *Siedlungsarchäologische Untersuchungen auf dem Schloss-, Kirchen- und dem Hirmesberg oberhalb Kallmünz, Lkr. Regensburg /Opf.* - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Prähistorischen Archäologie. 14)
- SANDNER, R. & P. SCHAUER (2003): *Der Schlossberg oberhalb Kallmünz, Oberpfalz. Vorbericht über die archäologischen Untersuchungsergebnisse 2002 - 2003*. - *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 33. Jg., H. 4, S. 505-524.
- SATTLER, C.-D. (1991): *Präzipitation und Alteration sedimentärer Apatite und Siderite aus der Oberkreide (Leonie-Trog, Oberpfalz). Ein Beitrag zur Genese der nordostbayerischen Eisenerzlagerstätten*. - Clausthal. Diss.
- SCHATZ, T. (2000): *Untersuchungen zur holozänen Landschaftsentwicklung Nordostdeutschlands*. - Müncheberg. (= ZALF-Bericht. 41)
- SCHEFFER, F & P. SCHACHTSCHABEL (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde. 15. neubearb. u. erw. Aufl.* - Heidelberg, Berlin.
- SCHEIBE, R. (2003): *Landschaftsentwicklung und Besiedlung in der Donauebene und im Falkensteiner Vorwald - eine Analyse von Geoarchiven und historischen Überlieferungen*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur Prähistorischen Archäologie. 10)
- SHELL, K. (1998): *Differenzierung und Charakterisierung kolluvialer Archive anhand von Schwermetallen in einer prähistorischen Siedlungskammer im Nördlinger Ries*. - Tübingen. Diss.
- SCHLICHTING, A.; LEINWEBER, P.; MEISSNER, R. & M. ALTERMANN (2002): *Sequentially extracted phosphorus fractions in peat-derived soils*. - *Journal of plant nutrition and soil science*, 165. Jg., H. 3, S. 290-298.
- SCHMIDGALL, J. (2003): *Bodenkundlich-sedimentologische Untersuchungen zum anthropogen induzierten Landschaftswandel von Karstgebieten am Beispiel des Schlossbergs von Kallmünz (südöstliche Fränkische Alb)*. - Regensburg. Diss.
- SCHMIDTCHEN, G.; GOVEDARICA, B. & H.-R. BORK (2003): *Besiedlung, Bodenerosion und Wasserhaushalt - die Entwicklung einer Insel im Oderbruch bei Rathsdorf in Ostbrandenburg*. In: Bork, H.-R.; Schmidtchen, G. & M. Dotterweich (Hrsg.): *Bodenbildung, Bodenerosion und Reliefentwicklung im Mittel- und Jungholozän Deutschlands*. - Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 253) S. 195-212.
- SCHNEIDER, R. (1998): *Die Fluß- und Talgeschichte der Elz von der Quelle bis Waldkirch*. In: Mäkel, R. & A. Friedmann (Hrsg.): *Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15000 Jahren im südlichen Oberrheintiefland und Schwarzwald*. - Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 54) S. 127-148.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1997): *Anthropogene und natürliche Signale im Klimageschehen*. - *Naturwissenschaften*, 84. Jg., S. 65-73.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003): *Klimatologie. 2. neubearb. u. akt. Aufl.* - Stuttgart.
- SCHULTE, A. & M. STUMBÖCK (2000): *Sedimentologische Befunde für den neolithischen und bronzezeitlichen Landschaftswandel im Hegau, SW-Deutschland. Erste Ergebnisse*. In: Mäusbacher, R.; Baade, J. & M. Gude (Hrsg.): *Geomorphologische Prozeßforschung. Stofftransport, Methodik und Regionale Aspekte*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 121) S. 151-169.
- SCHWABENICKY, W. (1992): *Der mittelalterliche Bergbau und wüste Bergstädte im Erzgebirge und Erzgebirgsvorland*. In: Brachmann, H. (Hrsg.): *Mensch und Umwelt: Studien zu Siedlungsausgriff und Landesausbau in Ur- und Frühgeschichte*. - Berlin. S. 165-175.

- SEIDL, J. (2002): *Zehntausend Jahre Wald und Mensch. Ein Streifzug durch die Wald- und Kulturgeschichte des Hirschwaldes anlässlich der 250 Jahrfeier der Bayerischen Staatsforstverwaltung.* In: Wolf, H. (Hrsg.): *Holzwege. Wald und Wasser - Bergbau und Glashütten.* - Kümmerbruck. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 44) S. 71-76.
- SEPPÄ, H. & H. J. B. BIRKS (2001): *July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line area: pollen-based climate reconstructions.* - *The Holocene*, 11. Jg., H. 5, S. 527-539.
- SLAYMAKER, O. (Ed., 2000): *Geomorphology, Human Activity and Global Environmental Change.* - Chichester, New York, Weinheim u.a.
- SPÄTH, W. (1976): *Zur Hydrogeographie der Naab.* - Erlangen. (= Mitteilungen der Fränkischen Geographischen Gesellschaft. 21/22)
- SPEIER, M. & R. POTT (1995): *Paläobotanische Untersuchungen zur Entwicklung prähistorischer und historischer Waldfeldbausysteme im Lahn-Dill-Bergland.* In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995.* - Wiesbaden. S. 235-256.
- SPERL, G. (1980): *Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken.* - Wien. (= Studien zur Industrie-Archäologie. 7)
- SPERL, G. (1984): *Die Technologie der direkten Eisenherstellung.* In: Roth, P. W. (Hrsg.): *Erz und Eisen in der Grünen Mark. Beiträge zum steirischen Eisenwesen.* - Graz. S. 95-108.
- SPERL, G. (1993): *Die Entwicklung der Eisenmetallurgie von römischer Zeit bis ins Mittelalter.* In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Montanarchäologie in Europa.* - Sigmaringen. (= Archäologie und Geschichte. 4) S. 461-475.
- STADT MARKTREDWITZ (Hrsg., 2003): *Bodenschutz im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Vollzug. Marktredwitzer Bodenschutztage. 13.-15. Oktober 2003.* - Marktredwitz. (= Marktredwitzer Bodenschutztage Tagungsband. 3)
- STADT SULZBACH-ROSENBERG (Hrsg., 2002): *Sulzbach und das Land zwischen Naab und Vils im frühen Mittelalter. Tagung vom 13. - 14. Juni 2002 in Sulzbach-Rosenberg.* - Sulzbach-Rosenberg. (= Schriftenreihe des Stadtmuseums und Stadtarchivs Sulzbach-Rosenberg. 19)
- STANKOVIANSKY, M. (2003): *Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia.* - *Catena*, 51. Jg., S. 223-239.
- STARKEL, L. (2005): *Anthropogenic soil erosion since the Neolithic in Poland.* In: Völkel, J. (Ed.): *Colluvial sediments, flood loams and peat bogs. Kolluvien, Auensedimente und Moore.* - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 139) S. 189-201.
- STEUER, H. (Hrsg., 1990): *Erze, Schlacken und Metalle. Früher Bergbau im Südschwarzwald.* - Freiburg i. Br. (= Freiburger Universitätsblätter. 109)
- STEUER, H. (2000): *Von der Steinzeit bis zum Mittelalter - Erzgewinnung als Spiegel der Epochen.* In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe.* - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 7-15.
- STEUER, H. & U. ZIMMERMANN (Hrsg., 1993): *Montanarchäologie in Europa.* - Sigmaringen. (= Archäologie und Geschichte. 4)
- STEUER, H. & U. ZIMMERMANN (Hrsg., 2000): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe.* - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland)
- STROH, A. (1975): *Die vor- und frühgeschichtlichen Geländedenkmäler der Oberpfalz. Text und Atlasband.* - Kallmünz. (= Materialhefte zur Bayerischen Vorgeschichte Reihe B - Inventare der Geländedenkmäler. 3)
- STRUNZ, H. (Hrsg., 1975): *Zur Mineralogie und Geologie der Oberpfalz.* - Heidelberg. (= Der Aufschluß. 26 (Sonderband Oberpfalz))
- STRUNZ, J. (1974): *Die Industrieansiedlungen in der Oberpfalz in den Jahren 1957 bis 1966.* - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 4)

- STUIVER, M.; REIMER, P. J.; BARD, E.; BECK, J. W.; BURR, G. S.; HUGHEN, K. A.; KROMER, B.; MCCORMAC, F. G.; PLICHT, J. v.d. & M. SPURK (1998): *INTCAL 98 Radiocarbon Age Calibration 24.000 - 0 cal BP*. - *Radiocarbon*, 40. Jg., S. 1041-1083.
- SUTTNER, T.; AUßENDORF, M. & W. MARTIN (1998): *Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns*. - München. (= GLA Fachberichte. 16)
- TAVKHELIDSE, T. (2001): *Wandel der quartären Geomorphodynamik im Einzugsgebiet des Finkenbaches im Odenwald*. - Heidelberg. Diss.
- TAVKHELIDSE, T.; SCHULTE, A.; STUMBÖCK, M. & G. SCHUKRAFT (2000): *Aufbau und Entwicklung der Schuttkegel im Finkenbachtal, südlicher Odenwald*. In: Baade, J.; Daut, G.; Gude, M. & R. Mäusbacher (Hrsg.): *Neuere Beiträge zur geomorphologischen Prozeßforschung*. - Jena. (= Jenaer Geographische Schriften. 9) S. 95-110.
- THOMAS, J. (1991): *Talau und Schwemmfächer als Indikatoren der holozänen fluvialen Geomorphodynamik an der oberen Weser*. In: Mäkel, R. & A. Röhrig (Hrsg.): *Forschungen zur Fluß- und Hangdynamik*. Freiburg i. Br. (= Freiburger Geographische Hefte. 33) S. 67-77.
- TILLMANN, H.; TREIBS, W. & H. ZIEHR (1963): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000. Blatt Nr. 6537 Amberg*. - München.
- TIPPING, R.; MILBURN, P. & S. HALLIDAY (1999): *Fluvial Processes, Land Use and Climate Change 2000 Years Ago in Upper Annandale, Southern Scotland*. In: Brown, A. G. & T. A. Quine (Eds.): *Fluvial Processes and Environmental Change*. - Chichester, New York, Weinheim u.a. S. 311-328.
- TRIBUTH, H. & G. LAGALY (Hrsg., 1991): *Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen. Tagung der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe Gießen und Schloß Rauischholzhausen 10. - 12. Mai 1989*. - Gießen. (= Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe e.V.)
- TYLECOTE, R. F. (1987): *The early history of metallurgy in Europe*. - London, New York. (= Longman Archaeology Series)
- UHL, T. (2004): *AMS Radiokarbonlabor Erlangen*. - Erlangen (KORA). [www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de).
- URZ, R.; RÖTTGER, K. & H. THIEMEYER (2002): *Von der Natur- zur Kulturlandschaft. Das mittlere Lahntal (Hessen) in vor- und frühgeschichtlicher Zeit*. - *Germania*, 80. Jg., H. 1, S. 269-293.
- VÖLKEL, J. (Ed., 2005): *Colluvial sediments, flood loams and peat bogs. Kolluvien, Auensedimente und Moore*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementvolume. 139)
- VÖLKEL, J. (1994): *Zur Frage der Merkmalcharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes*. - *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 138. Jg., H. 4, S. 207-217.
- VÖLKEL, J. (1995): *Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte*. - Berlin, Stuttgart. (= Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. Supplementband. 96)
- VÖLKEL, J. (1998): *Methoden zur Bilanzierung spätlatènezeitlicher Bodenerosion am Beispiel der Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg*. In: Küster, H.; Lang, A. & P. Schauer (Hrsg.): *Archäologische Forschungen in urgeschichtlichen Siedlungslandschaften. Festschrift für Georg Kossack zum 75. Geburtstag*. - Regensburg. (= Regensburger Beiträge zur prähistorischen Archäologie. 5) S. 541-558.
- VÖLKEL, J. (1998a): *Charakterisierung saprolithischer Verwitterung im südwestlichen Moldanubikum durch röntgendiffraktometrische Untersuchungen*. - *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, H. 5-6, S. 289-304.
- VÖLKEL, J. (2001): *Paläoökosystemforschung auf der Basis von Forschungen zur Bilanzierung der landnutzungsabhängigen Bodenerosion in Altsiedelgebieten*. In: Herz, P. & G. Waldherr (Hrsg.): *Landwirtschaft im Imperium Romanum*. - St. Katharinen. (= Pharos - Studien zur griechisch-römischen Antike. 14) S. 319-329.
- VÖLKEL, J. (2003): *Bodenbelastung durch Schwermetalle*. In: Institut für Länderkunde, Leipzig (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Relief, Boden und Wasser*. - Heidelberg, Berlin. S. 112-113.

- VÖLKEL, J. & H.-J. BARTH (Hrsg., 2000): *Beiträge zur Quartärforschung. Festschrift für Klaus Heine zum 60. Geburtstag.* - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften. 33)
- VÖLKEL, J. & T. RAAB (1999): *Zur Differenzierung periglazialer, glazigener und kolluvialer Sedimente im Hangrelief von Mittel- und Hochgebirgen.* - *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, H. 5-6, S. 305-318.
- VREČA, P.; PIRC, S. & R. SAJN (2001): *Natural and anthropogenic influences on geochemistry of soils in terrains of barren and mineralized carbonate rocks in the Pb-Zn mining district of Mezica, Slovenia.* - *Journal of Geochemical Exploration*, 74. Jg., S. 99-108.
- WAGNER, G. A. (1995): *Altersbestimmung von jungen Gesteinen und Artefakten. Physikalische und chemische Uhren in Quartärgeologie und Archäologie.* - Stuttgart.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT AMBERG (Hrsg., 1996): *Ökologisch begründete Sanierungskonzepte kleiner Fließgewässer. Fallbeispiel Vils/Oberpfalz. Arbeitsblätter für die Praxis.* - Amberg.
- WEISGERBER, G. (2000): *Zur technischen Revolution des Bergbaus im Mittelalter.* In: Steuer, H. & U. Zimmermann (Hrsg.): *Alter Bergbau in Deutschland. Sonderausgabe.* - Hamburg. (= Sonderheft der Zeitschrift Archäologie in Deutschland) S. 99-106.
- WESTDEUTSCHER RUNDFUNK KÖLN (Hrsg., 2004): *Das Siegener Loch und andere Bergschäden.* - Köln. CD-ROM.
- WIDENBAUER, G. (1959): *Das Hammergut Wolfsbach.* - *Die Oberpfalz*, 47. Jg., S. 10-12.
- WIDENBAUER, G. (1959a): *Das Hammergut Wolfsbach.* - *Die Oberpfalz*, 47. Jg., S. 30-33.
- WILMS, C. (1995): *Der keltische Kupferverhüttungsplatz B 97 am Himberg.* In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995.* - Wiesbaden. S. 29-40.
- WILMS, C. (1995a): *Hoch- und spätmittelalterliche Eisengewinnung an der oberen Dill/Dietzhölze.* In: Pinsker, B. (Hrsg.): *Eisenland zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden 29. Januar - 23. Juli 1995.* - Wiesbaden. S. 57-81.
- WILSON, R. J.S.; LUCKMAN, B. H. & J. ESPER (2005): *A 500 year dendroclimatic reconstruction of spring-summer precipitation from the lower Bavarian Forest region, Germany.* - *International Journal of Climatology*, 25. Jg., S. 611-630.
- WIPPERMANN, T. (Hrsg., 2000): *Bergbau und Umwelt. Langfristige geochemische Einflüsse.* - Berlin, Heidelberg, New York u.a. (= GUG-Schriftenreihe Geowissenschaften und Umwelt)
- WOLF, H. (Hrsg., 1980): *Die Bergbauabteilung. Das Projekt Bayerische Eisenstraße.* - Theuern. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 2)
- WOLF, H. (1986): *Eisenerzbergbau und Eisenverhüttung in der Oberpfalz von den Anfängen bis zur Gegenwart.* - München. (= Hefte zur Bayerischen Geschichte und Kultur. 3)
- WOLF, H. (1986a): *Bergbau in Ostbayern. Geschichte - Geologie - Bergtechnik.* - Theuern. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 7)
- WOLF, H. (Hrsg., 2002): *Holzwege. Wald und Wasser - Bergbau und Glashütten.* - Kümmersbruck. (= Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern. 44)
- YALCIN, Ü. (1995): *Exkurs: Das Rennfeuerverfahren.* In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.): *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb.* - Stuttgart. (= Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg. 55) S. 299-300.
- YALCIN, Ü. & A. HAUPTMANN (1995): *Archäometallurgie des Eisens auf der Schwäbischen Alb.* In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.): *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb.* - Stuttgart. (= Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg. 55) S. 269-309.
- ZAHN, U. (1976): *Die Eisenwirtschaft in der Oberpfalz vom Mittelalter bis in die Gegenwart. Exkursionen in Ostbayern, Teil II, 4.* - Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften)

- ZEIEN, H. & G. W. BRÜMMER (1989): *Chemische Extraktion zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden.* - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 59/I. Jg., S. 505-510.
- ZIEHR, H. & F. JAKUBEC (1975): *Erzminerale von Freihung und Wollau (Oberpfalz) und die Spurenelemente in Bleiglanz und Cerussit.* - *Der Aufschluß*, 26. Jg., S. 307-316.
- ZIEKUR, R. (2000): *Georadar in der Bodenkunde.* - *Geologisches Jahrbuch*, E 52. Jg., S. 9-34.
- ZITZELSBERGER, H. (1991): *Chronik von Ensdorf.* - Ensdorf.
- ZÖLITZ, R. (1980): *Bodenphosphat als Siedlungsindikator. Möglichkeiten und Grenzen der siedlungsgeographischen und archäologischen Phosphatmethode.* - Neumünster. (= OFFA-Ergänzungsreihe. 5)
- ZWICKER, U; NIGGE, K. & M. KÜHL (1985): *Analytische und metallographische Untersuchungen von Metall- und Schlackenfunden der Grabung Frauenberg bei Kehlheim 1978.* In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): *Archäologische Denkmalpflege in Niederbayern. 10 Jahre Außenstelle des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege in Landshut (1973 - 1983).* - München. (= Arbeitsheft des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. 26) S. 201-204.

## Anhang

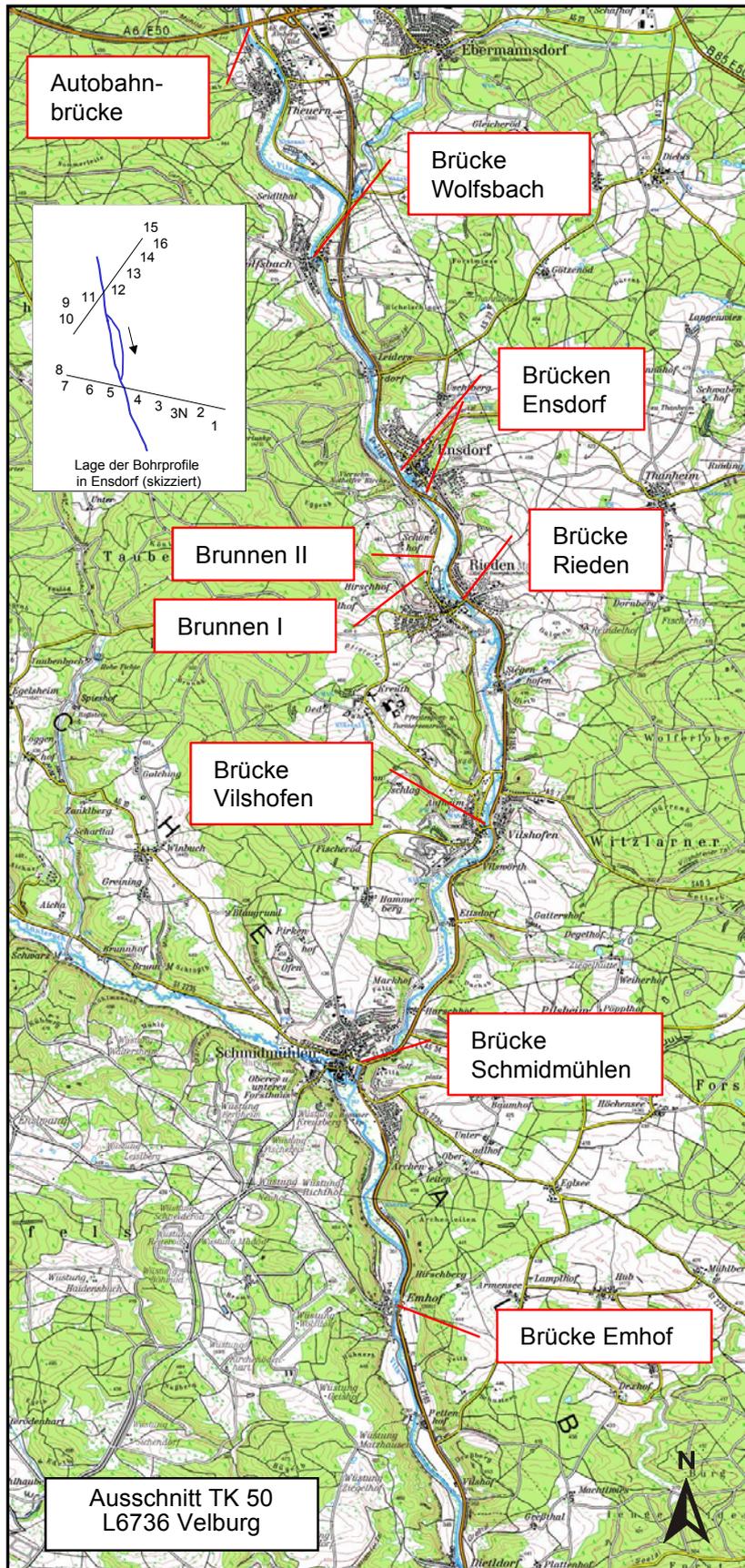
Abkürzungen im Anhang:

HK-Probe = Holzkohlenprobe

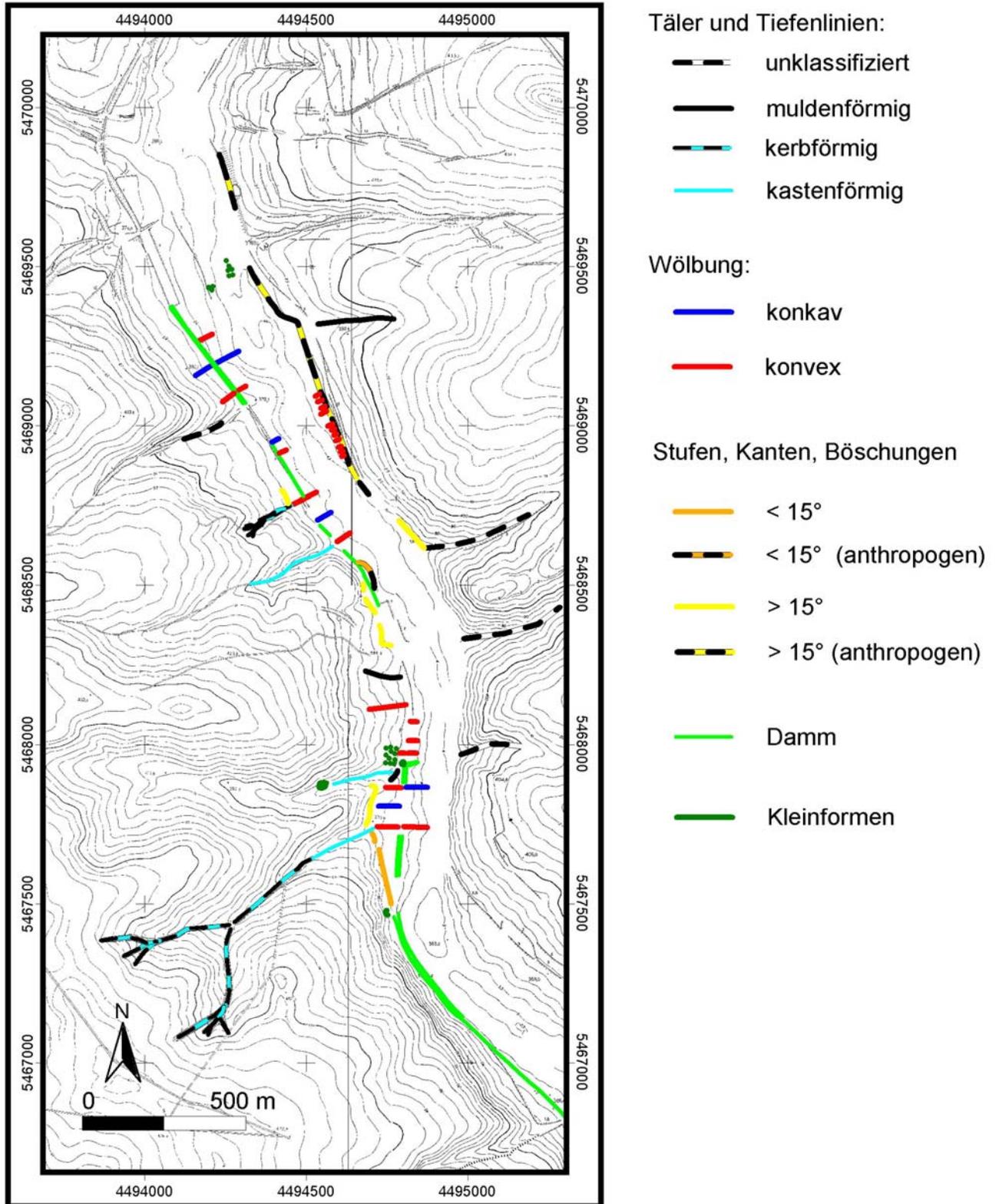
GP-Probe = Gesteinsprobe

z.w.M. = zu wenig Material

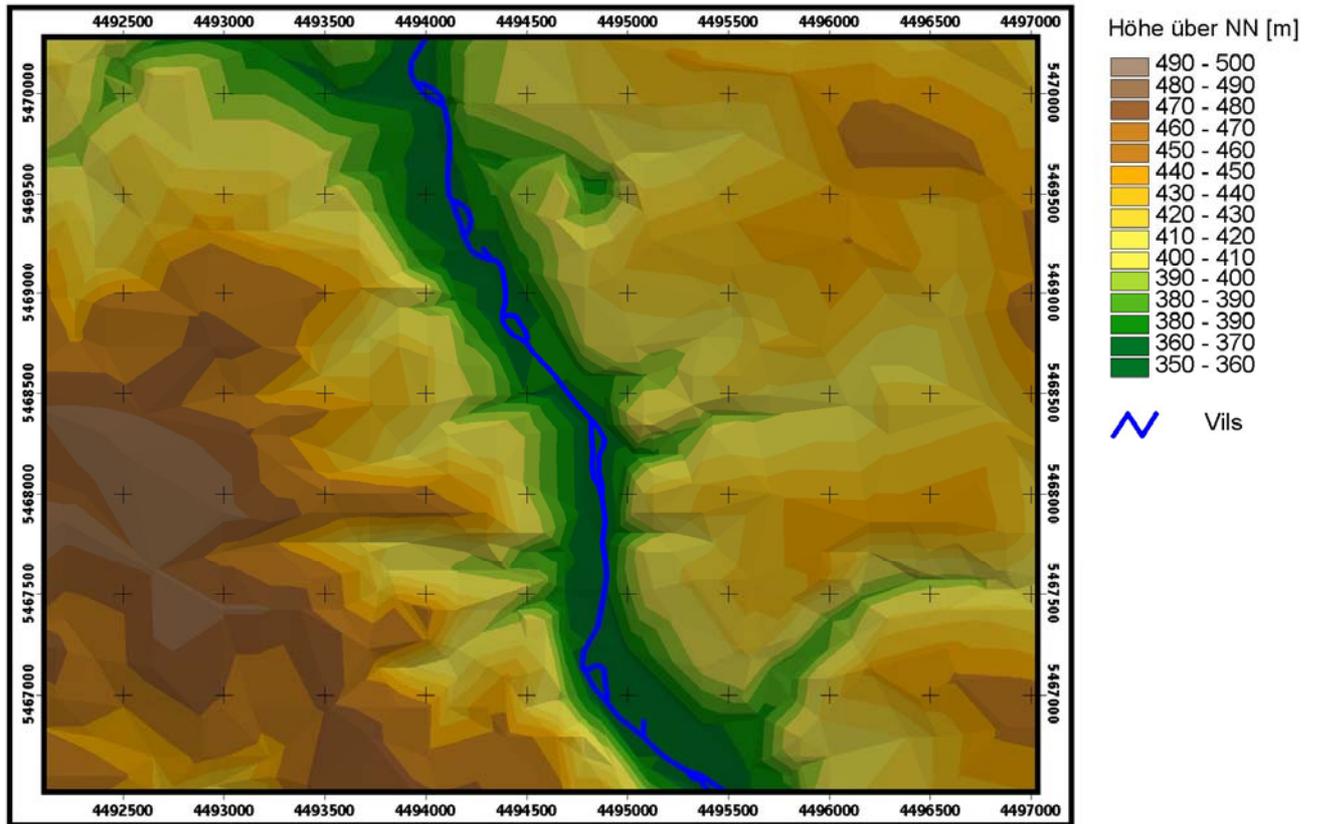
n.b. = nicht bestimmt



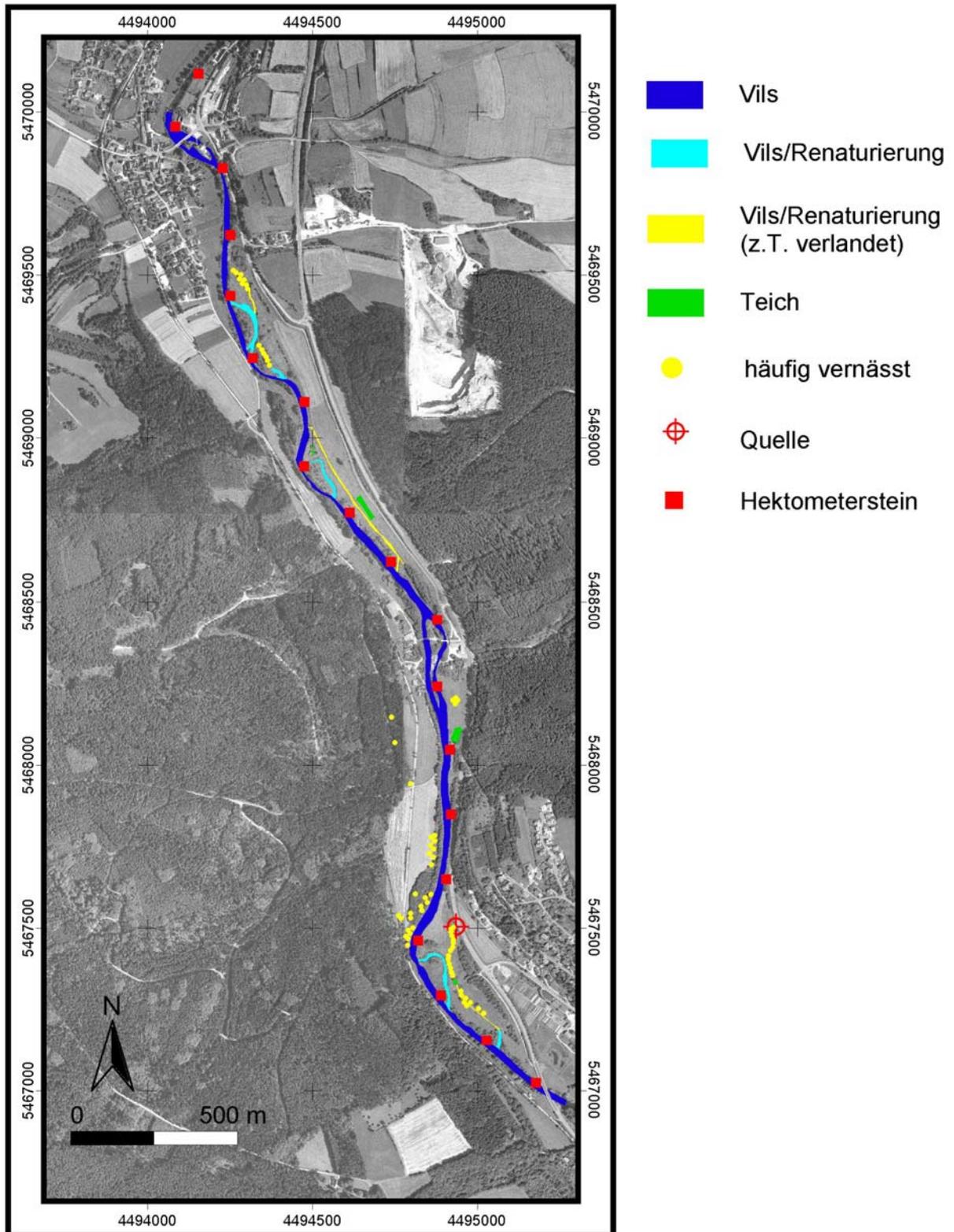
**Abb. A 1:** Lage der Brunnen und Brücken (Datengrundlage: Digitale Topographische Karte 1 : 50.000, Blatt L6736 Velburg des Bayerischen Landesvermessungsamtes, München, 2004, Nutzungserlaubnis vom 17.10.2005, Az.: VM 3850 B - 4126)



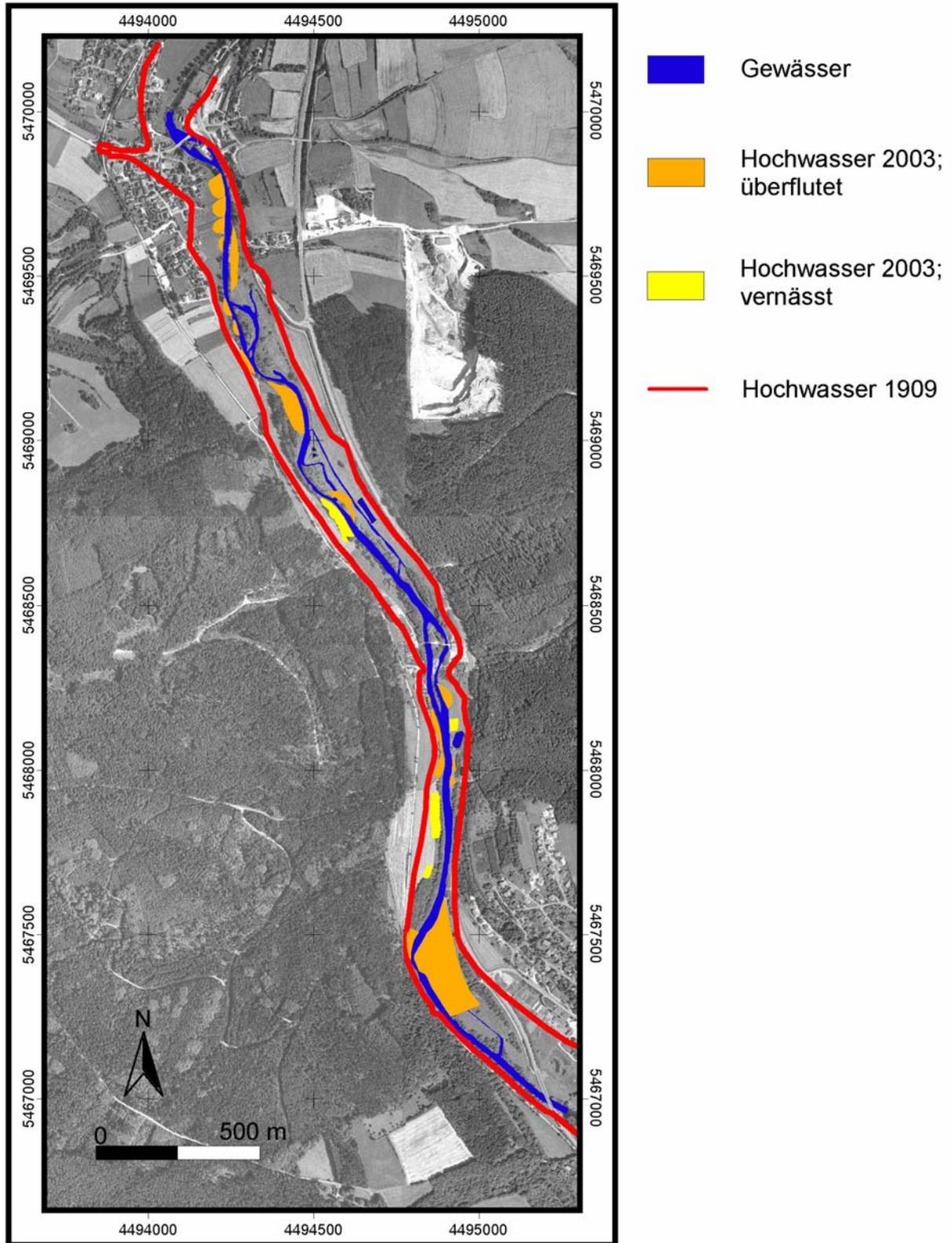
**Abb. A 2:** Karte der Geomorphographie (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Höhenlinien der Flurkarte 98 des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



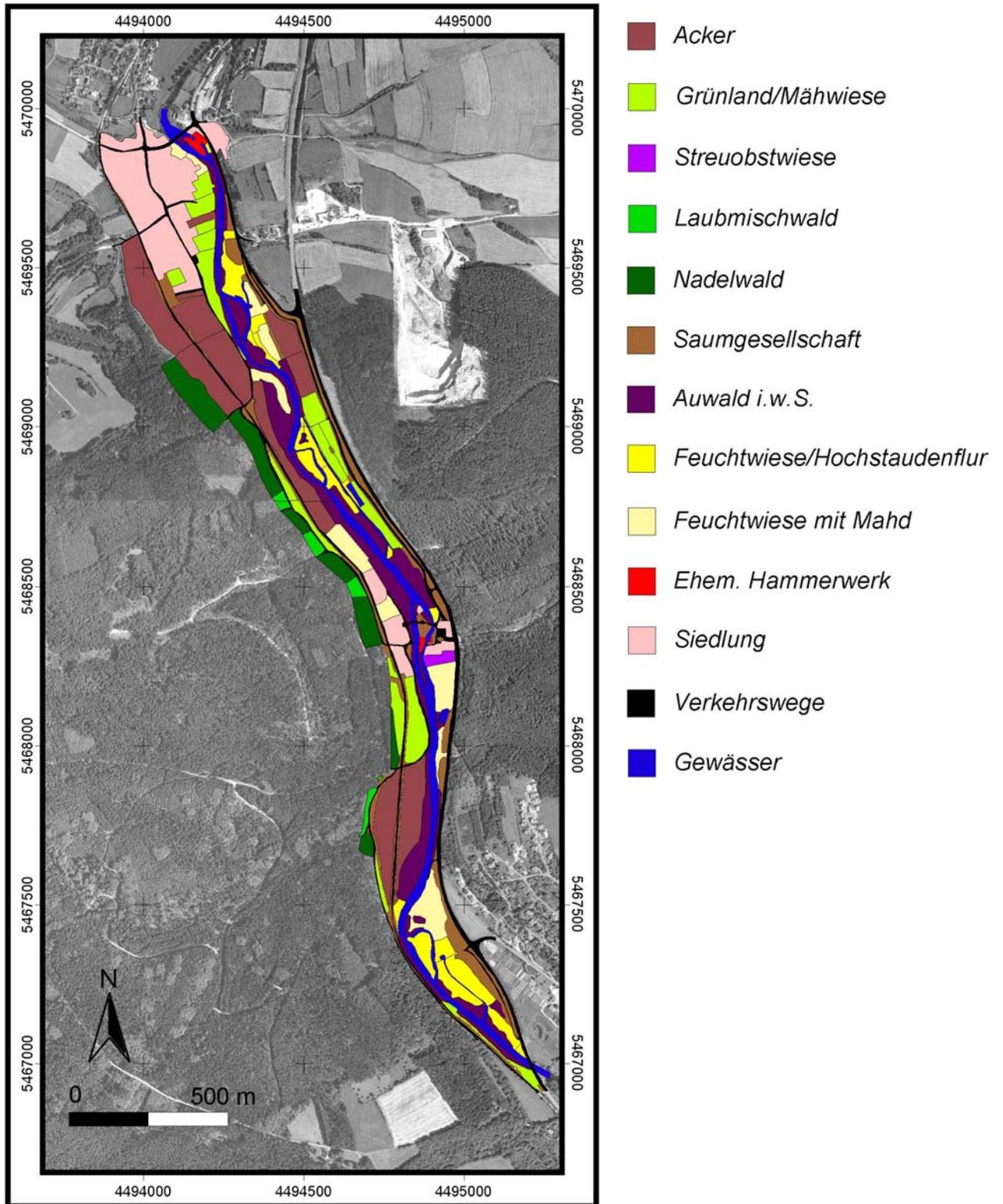
**Abb. A 3:** Höhenmodell (Datengrundlage: DGM25 des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



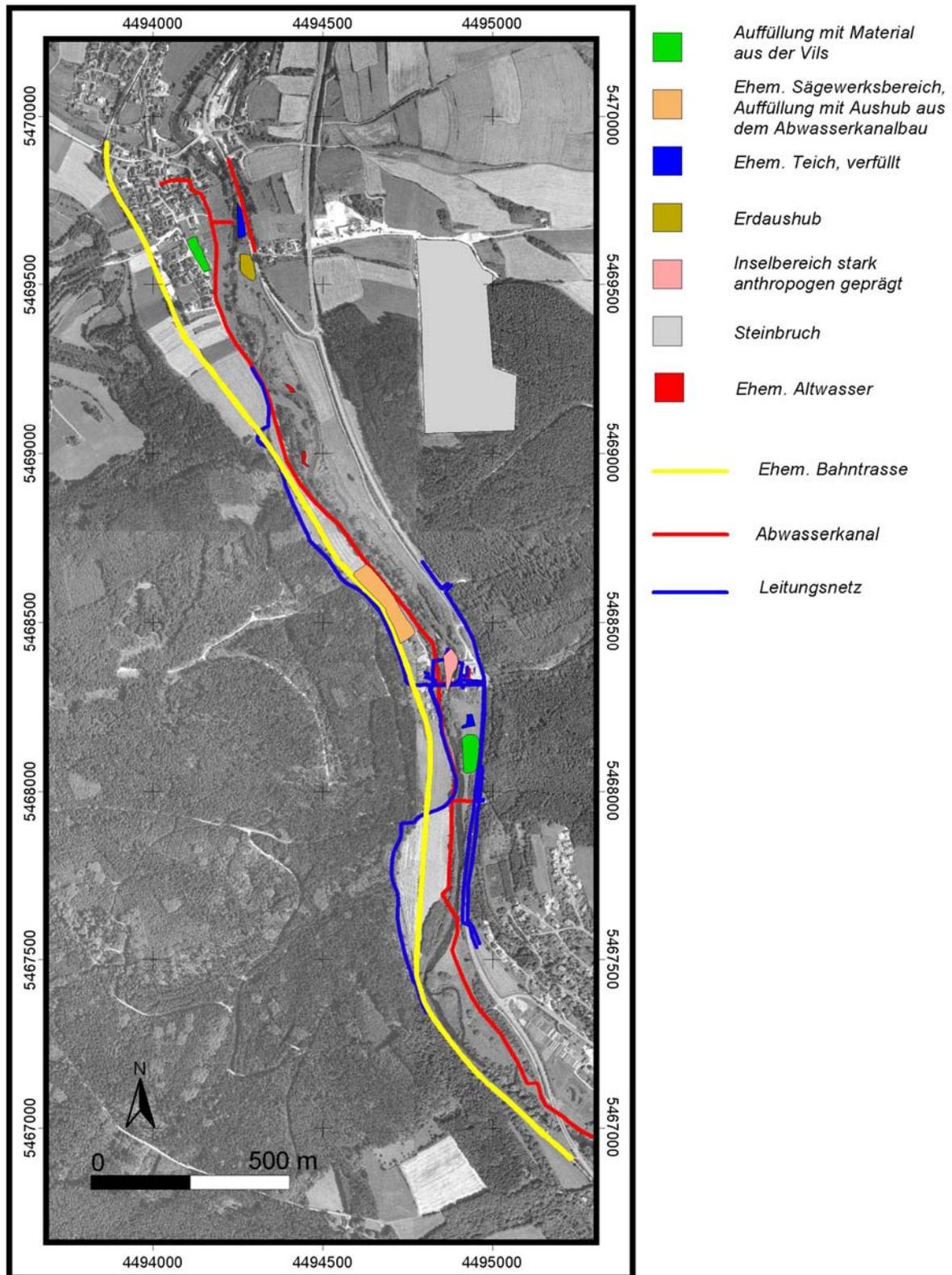
**Abb. A 4:** Karte der Hydrographie (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungslaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



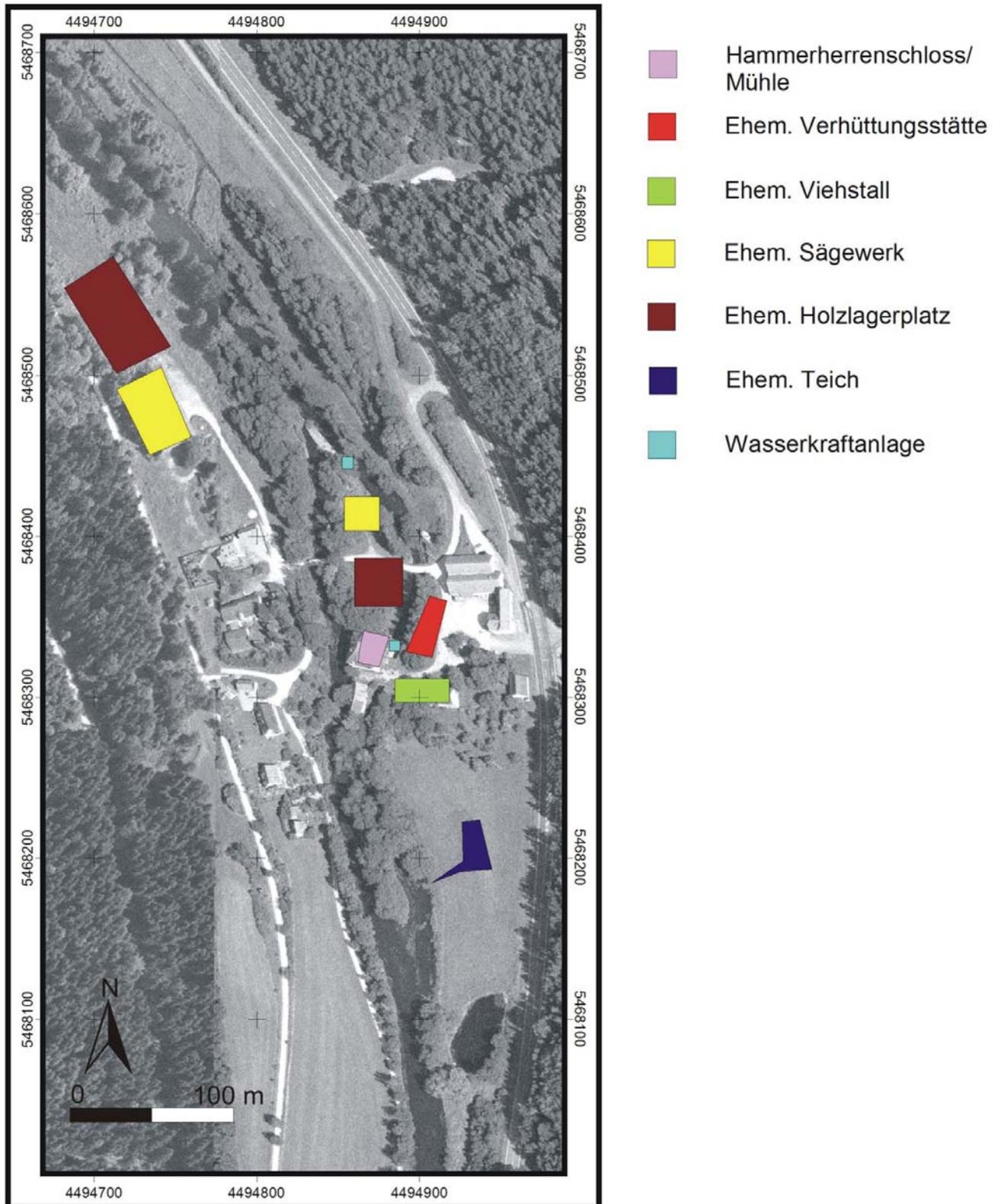
**Abb. A 5:** Karte der Hochwasserlage 1909 und 2003 (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



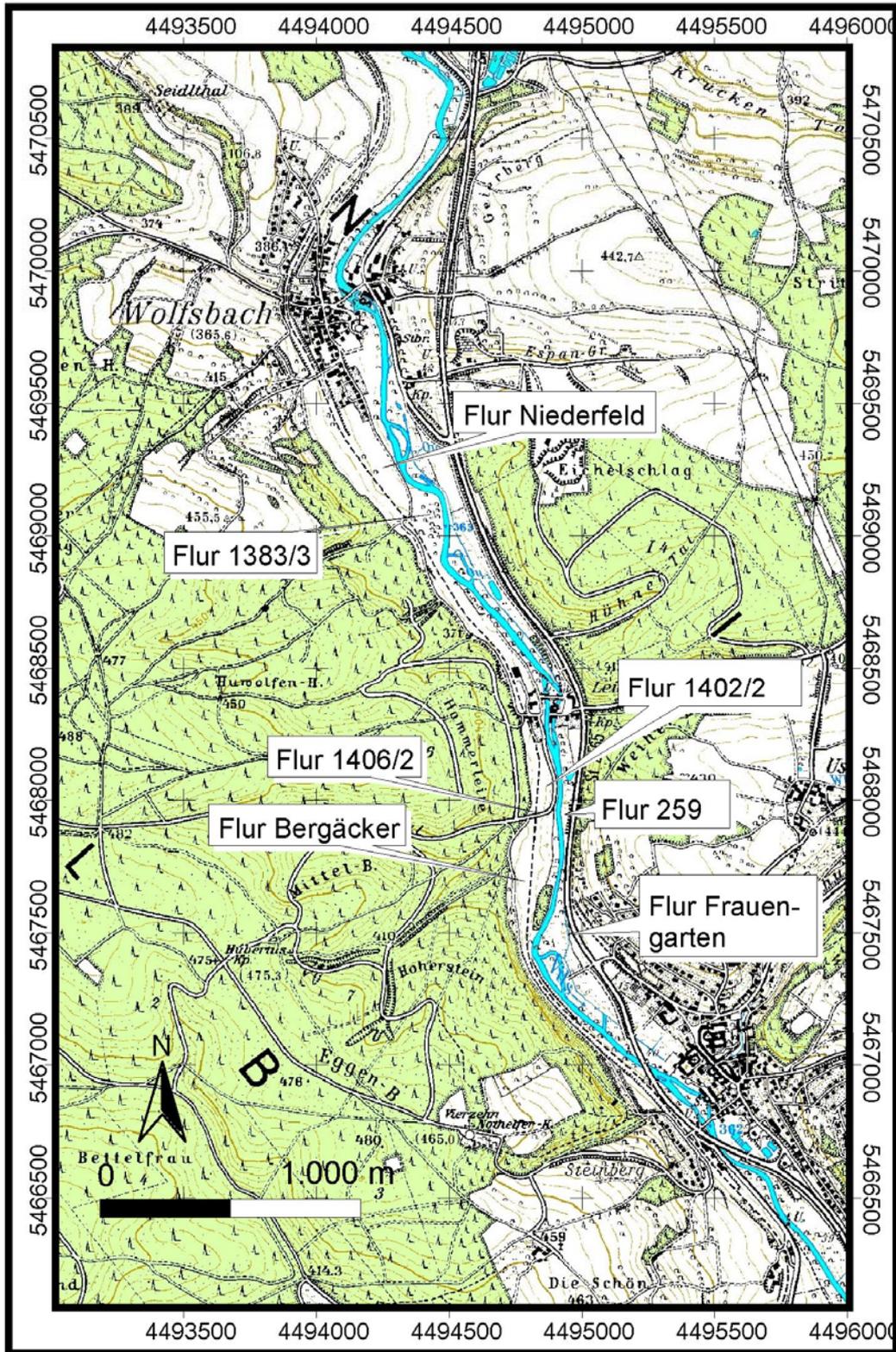
**Abb. A 6:** Karte der Vegetation und Landnutzung (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungsurlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



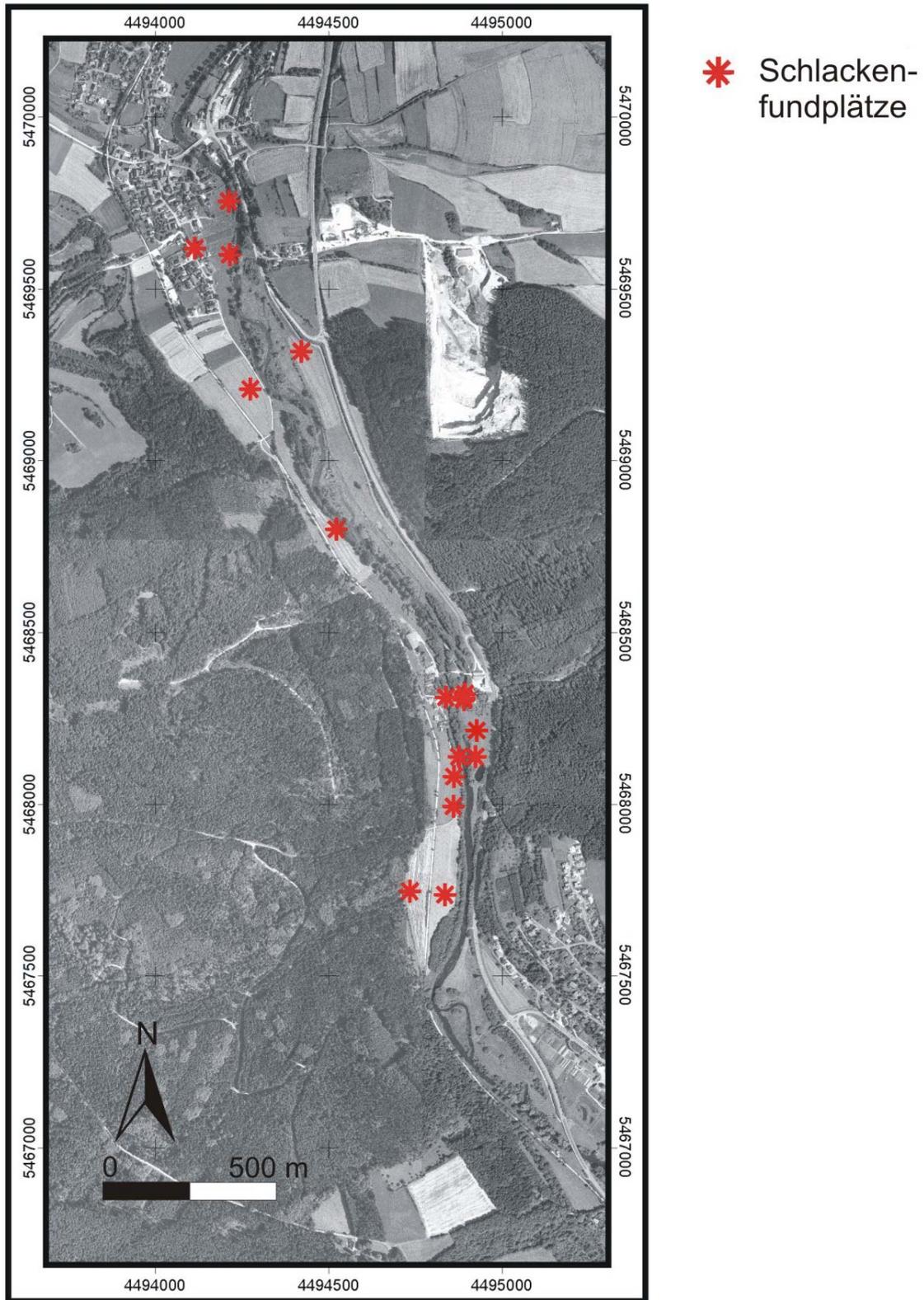
**Abb. A 7:** Karte der anthropogenen Beeinflussung (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Urkataster, Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



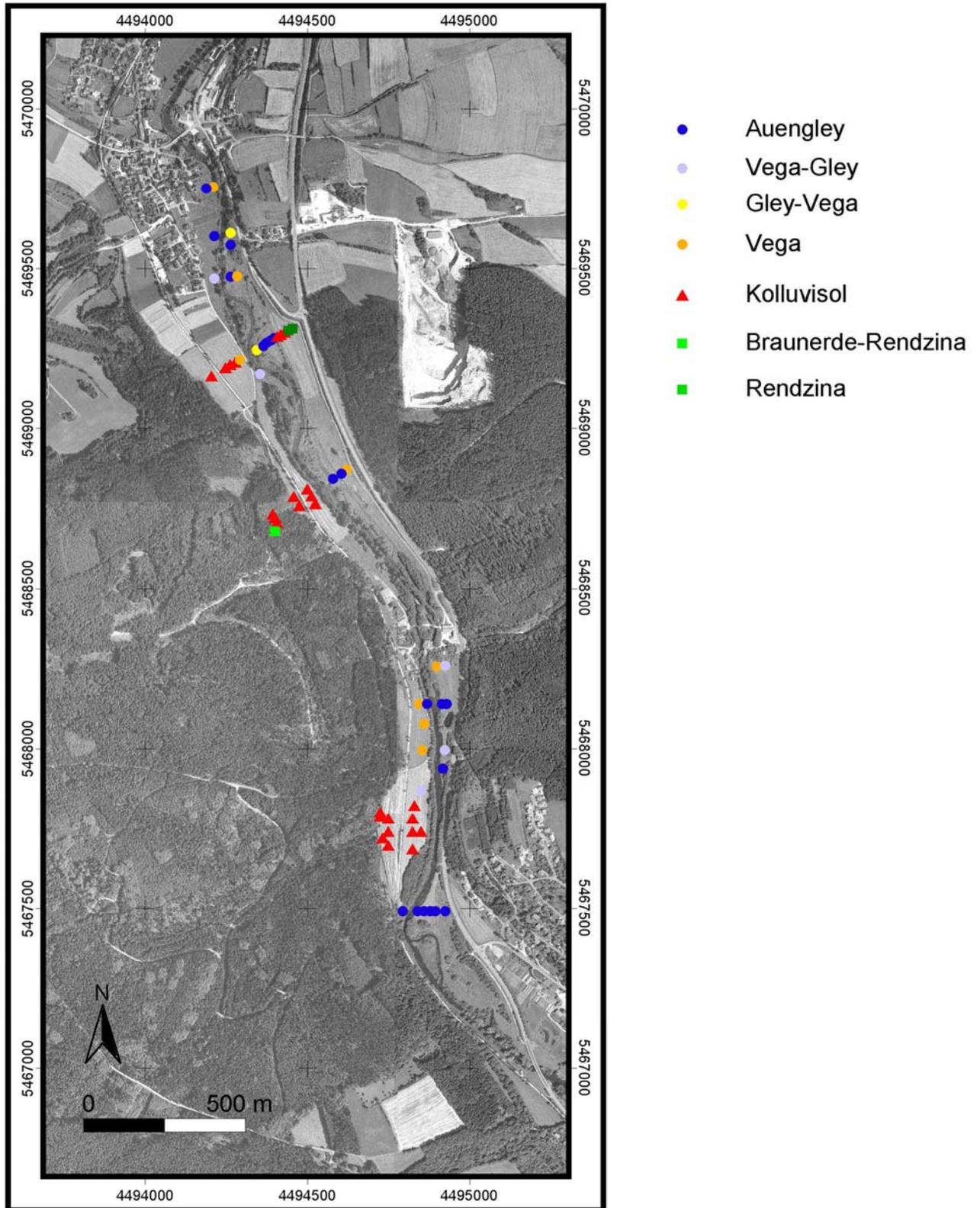
**Abb. A 8:** *Detailkarte der anthropogenen Beeinflussung in Leidersdorf (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Urkataster, Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)*



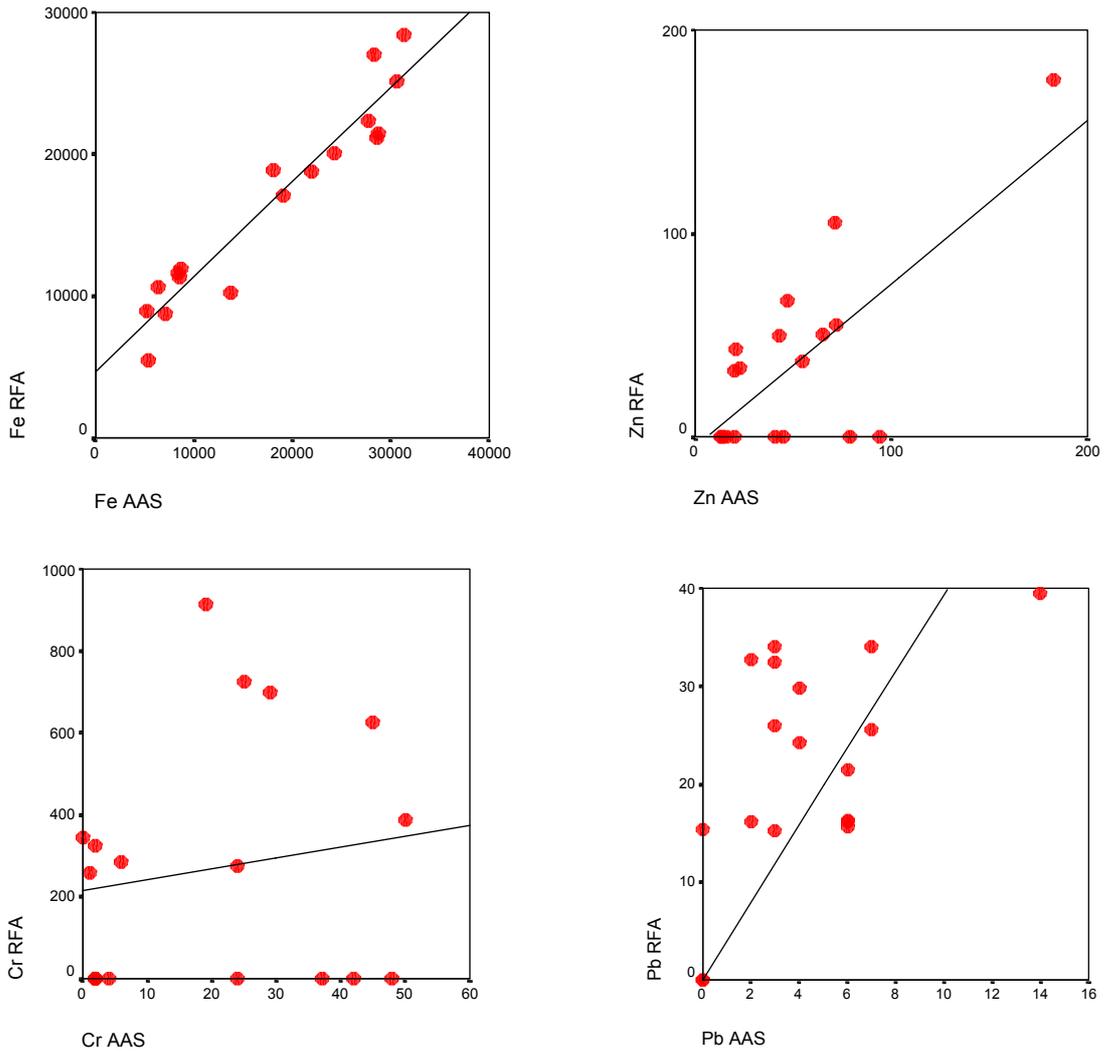
**Abb. A 9:** Bezeichnungen ausgewählter Fluren (Datengrundlage: Flurkarte 98 und Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden des Bayerischen Landesvermessungsamtes, München)



**Abb. A 10:** Karte der Schlackenfundplätze (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



**Abb. A 11:** Karte der Bodentypenverbreitung (eigene Aufnahme, Datengrundlage: Digitale Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Nutzungserlaubnis vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094)



**Abb. A 12:** Vergleich der Gehaltsbestimmung ausgewählter Elemente mittels RFA - AAS, Profil 6637-14 (alle Angaben in ppm)

**Tab. A 1:** *Verwendete Karten, Pläne und digitale Daten*

Karten, Pläne und digitale Daten	Herausgeber
Geologische Übersichtskarte 1 : 500.000, Bayern, mit Erläuterungen	Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1996
Geologische Übersichtskarte 1 : 200.000, Blatt CC 7134 Regensburg	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland und benachbarter Staaten, Hannover 1994
Geologische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden	Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1968
Topographische Karte 1 : 25.000, Blatt 6637 Rieden	Bayerisches Landesvermessungsamt, München 2002
Digitale Topographische Karte 1 : 50.000, Blatt L 6736 Velburg	Bayerisches Landesvermessungsamt, München 2004; Nutzungserlaubnis für die digitalen Daten vom 17.10.2005, Az.: VM 3850 B - 4126
Urkataster 1 : 5.000 (NO LVIII 11, NO LVIII 12, NO LIX 11)	Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1852, 1919
Flurkarten mit Höhenlinien 1 : 5.000 (NO 58-11, NO 58-12, NO 59-11, NO 59-12)	Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1983
Digitale Flurkarte 98 mit Höhenlinien (NO 58-11, NO 58-12, NO 59-11, NO 59-12)	Bayerisches Landesvermessungsamt, München; Nutzungserlaubnis für die digitalen Daten vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094
Digitale Orthophotos	Bayerisches Landesvermessungsamt, München; Nutzungserlaubnis für die digitalen Daten vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094
Digitales Geländemodell (DGM25), 50 m Raster	Bayerisches Landesvermessungsamt, München; Nutzungserlaubnis für die digitalen Daten vom 15.10.2002, Az.: VM 3820 B – 3094
Auszüge aus dem Geographischen Informationssystem Wasserwirtschaft, Gewässer I + II – Vils, 1 : 5.000	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Koordinaten und Höhen der Hektometersteine, Vils Gew. I, Flusskilometer 21.000 bis 33.000	Wasserwirtschaftsamt Amberg, Fachbereich Wasserbau
Passpunkte der Luftbilddauswertung Vils	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Terrestrisch erfasste Flussprofile der Vils, Flusskilometer 21.000 bis 33.000	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Planungsunterlagen der Renaturierungen an der Vils (ökologischer Flussumbau)	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Pläne von Baugrunduntersuchungen im Rahmen von Brückenbauten im Vilstal	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Pläne von Bohrungen für Trinkwasserbrunnen	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Querprofil der Vils von Wolfsbach bis Ensdorf von 1921	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Talquerschnitte von 1933	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Alte Lagepläne der Triebwerksanlagen in Leidersdorf und Wolfsbach	Wasserwirtschaftsamt Amberg
Bestandspläne Abwasseranlage „Unteres Vilstal“, 1 : 1.000, Leidersdorf - Wolfsbach, Leidersdorf - Ensdorf	Zweckverband „Unteres Vilstal“, Landkreis Amberg-Sulzbach, 1986, 1994, 1997
Pläne zur Lage der Versorgungskabel	E.ON Bayern AG
Pläne zur Lage der Telekommunikationsanlagen	Deutsche Telekom AG

**Tab. A 2:** Vorsorgewerte Bundes-Bodenschutzverordnung (Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) 17. März 1998, Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung (BBodschV) 12. Juli 1999) (nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1999, HOLZWARTH et al. 2000)

Vorsorgewerte in mg/kg Boden nach BBodSchV	Cadmium Cd	Blei Pb	Chrom Cr	Kupfer Cu	Quecksilber Hg	Nickel Ni	Zink Zn
Bodenart Sand *	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Bodenart Lehm / Schluff	1 für pH <6,0: 0,4	70 für pH <5,0: 40	60	40	0,5	50 für pH <6,0: 15	150 für pH <6,0: 60
Bodenart Ton	1,5 für pH <6,0: 1	100 für pH <5,0: 70	100	60	1	70 für pH <6,0: 50	200 für pH <6,0: 150
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	Unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach §8 Abs. 2 und 3 der BBodSchV keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.						

\* Stark schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/Schluff zu bewerten

**Tab. A 3:** Zusammenstellung von Grenz- und Prüfwerten für Schwermetalle nach HINTERMAIER-ERHARD & ZECH (1997) und Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992

Schwermetalle in mg/kg Trockenmasse	Klärschlammverordnung Bodengrenzwerte für die Ausbringung	Klärschlammverordnung Klärschlammgrenzwerte für die Ausbringung	Niederländische Liste Prüfwerte für nähere Untersuchung	Niederländische Liste Prüfwerte für Sanierung (sunterforschung)
Cadmium	1,5 / 1 *	10 / 5 *	5	20
Nickel	50	200	100	500
Chrom	100	900	250	800
Blei	100	900	k. A.	k. A.
Kupfer	60	800	100	500
Zink	200 / 150 *	2.500 / 2.000 *	500	3.000
Kobalt	k. A.	k. A.	50	300
Quecksilber	1	8	2	10

\* pH-Wert von mehr als 5 und weniger als 6 oder Tongehalt unter 5 von Hundert

**Tab. A 4:** Bohrprofile im Rahmen des Baus der Vilsbrücken bei Ensdorf

Tiefenangaben in Meter unter Geländeoberkante      Lage der Bohrprofile: siehe Abbildung A 1

**Bohrung 1**

Höhe ü. NN: 362,35 m      Grundwasser bei - 0,70

0,30	Feinsand, schluffig - stark schluffig
2,20	Ton, feinsandig, schwach organisch, weich
3,20	Ton, stark feinsandig, z.T. grobkiesig, schwach organisch, weich
4,00	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dichtgelagert
4,80	Kies, z.T. dünn-schichtig bis schichtig, fest gelagert
5,40	Fels und Mergel im Wechsel, Kalkstein, fest gelagert
7,80	Fels, plattig bis bankig, Kalkstein, hart

**Bohrung 2**

Höhe ü. NN: 362,45 m      Grundwasser bei - 0,60

0,30	Schluff, schwach feinsandig
1,20	Ton, stark feinsandig, weich
2,30	Ton, stark feinsandig, schwach organisch, weich
3,20	Feinsand, stark schluffig, dicht gelagert
4,00	Kies, stark sandig, schwach schluffig, dicht gelagert
5,00	Fels und Mergel, fest gelagert
7,50	Fels, plattig-dünnschichtig, schwach klüftig, hart, Kalkstein

**Bohrung 3 N**

Höhe ü. NN: 362,49 m      Grundwasser bei - 0,60

0,30	Feinsand, schluffig
1,00	Ton, stark feinsandig, weich
2,00	Fein - Mittelsand, stark schluffig, dicht gelagert
3,10	Ton, stark feinsandig, schwach organisch, weich
4,00	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
4,80	Kies, stark sandig, schwach schluffig, z.T. steinig, dicht gelagert
7,80	Fels, schichtig-plattig, Mergelschichten von 3 - 5cm, hart, Kalkstein
8,40	Fels, dünnbankig, hart, Kalkstein

**Bohrung 3**

Höhe ü. NN: 362,62 m      Grundwasser bei - 1,10

0,30	Feinsand, schluffig
1,60	Fein- Mittelsand, schluffig, dicht gelagert
2,10	Fein- Mittelsand, schluffig - stark schluffig
3,20	Sand, schluffig, dicht gelagert
4,00	Sand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
4,70	Sand, kiesig, schwach schluffig, steinig, dicht gelagert
5,00	Kies, dünn-schichtig - schichtig, fest gelagert
5,40	Fels, schichtig, hart, Kalkstein
8,30	Fels, schwach klüftig, plattig, dünnbankig, mit Mergelschichten bis 5 cm, hart, Kalkstein

#### *Bohrung 4*

Höhe ü. NN: 362,65 m                      Grundwasser bei - 1,00

0,30	Feinsand, schluffig
1,20	Fein- Mittelsand, schluffig, dicht gelagert
2,00	Fein- Mittelsand, stark schluffig, dicht gelagert
2,80	Fein- Mittelsand, schwach organisch, Holzreste, Steinbrocken
4,00	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
5,00	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
7,30	Fels, klüftig, schichtig, plattig, hart, Kalkstein
8,00	Fels, dünnbankig mit Mergelschichten bis 5 cm, hart, Kalkstein

#### *Bohrung 5*

Höhe ü. NN: 362,76 m                      Grundwasser bei - 1,05

0,50	Feinsand, schluffig
1,50	Sand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert, Auffüllung
2,40	Kies, sandig, schwach schluffig, dicht gelagert, Auffüllung
4,40	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
5,30	Sand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
8,60	Fels, plattig - dünnbankig, z.T. mit Schluffschichten bis 3 cm, hart, Kalkstein

#### *Bohrung 6*

Höhe ü. NN: 362,95 m                      Grundwasser bei - 1,15

0,30	Feinsand, schluffig
1,20	Fein- Mittelsand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
2,10	Schluff, stark feinsandig, organisch, weich
3,30	Fein- Mittelsand, schluffig, dicht gelagert
5,00	Sand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
7,00	Fels, schichtig, dünnbankig, hart, Kalkstein

#### *Bohrung 7*

Höhe ü. NN: 364,19 m                      Grundwasser bei - 2,30

0,50	Ton, stark feinsandig
1,40	Ton, stark fein- mittelsandig, Ziegelreste, z.T. kiesig
2,10	Schluff, feinsandig, steif
2,80	Ton, schwach feinsandig, steif
3,50	Fein- Mittelsand, stark schluffig, dicht gelagert
4,30	Kies, schwach schluffig, stark sandig, dicht gelagert
5,20	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
6,00	Kies, stark sandig, schwach schluffig, dicht gelagert
8,00	Fels, schichtig, dünnbankig, schwach klüftig mit Schluffschichten bis 3 cm, hart, Kalkstein

### Bohrung 8

Höhe ü. NN: 363,50 m Grundwasser bei - 1,62

0,30	Fein- Mittelsand, schluffig, Auffüllung
1,00	Fein- Mittelsand, schwach schluffig, Auffüllung
1,60	Sand, schwach schluffig, kiesig, dicht gelagert
2,30	Schluff, fein- mittelsandig, kiesig, organisch, weich
2,80	Ton, schwach feinsandig, steif
3,80	Sand, kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
4,70	Kies, stark sandig, schwach schluffig, steinig, dicht gelagert
5,20	Kies, wie vor
6,00	Kies, z.T. feinsandig, schluffig, steinig, fest gelagert
6,30	Fels, schichtig, hart, Kalkstein
8,00	Fels, plattig, dünnbankig, Schluffschichten bis 2 cm, hart, Kalkstein

### Bohrung 9

Höhe ü. NN: 364,49 m Grundwasser bei - 2,25

0,50	Schluff, fein- mittelsandig, schwach kiesig
0,90	Ton, schwach feinsandig, schwach fein- mittelkiesig
2,00	Ton, schwach feinsandig, steif
2,50	Feinsand, bindig, dicht gelagert
4,10	Kies, sandig, schwach bindig, dicht gelagert
4,50	Sand, feinkiesig, schwach bindig - bindig
5,20	Kies, fest gelagert, (Kalkstein)
7,70	Fels, dünnschichtig, plattig, schwach klüftig, z.T. mit Schluffschichten bis 2 cm, hart, (Kalkstein)
10,20	Fels, dünnbankig, z.T. mit Schluffschichten von 2 - 5 cm, hart, (Kalkstein)

### Bohrung 10

Höhe ü. NN: 364,28 m Grundwasser bei - 2,30

1,10	Schluff, schwach feinsandig, dicht gelagert
1,60	Ton, feinsandig, steif
2,40	Schluff, sandig, steif
3,20	Kies, sandig, schwach bindig, dicht gelagert
4,10	Kies, stark sandig, schwach bindig, dicht gelagert
5,00	Kies, feinsandig, bindig - stark bindig, fest gelagert
6,60	Fels, schichtig - plattig, z.T. schwach klüftig, z.T. mit Schluffschichten von 2 cm, hart, (Kalkstein)
8,00	Fels, dünnbankig, z.T. mit Schluffschichten bis 3 cm, hart, (Kalkstein)

### Bohrung 11

Höhe ü. NN: 364,21 m Grundwasser bei - 2,05

0,90	Schluff, fein- mittelsandig, kiesig
1,80	Ton, fein- mittelsandig, schwach feinkiesig
2,30	Schluff, feinsandig
4,30	Kies, stark sandig, schwach bindig, dicht gelagert
5,00	Kies, feinsandig, z.T. bindig, fest gelagert
8,00	Fels, plattig- dünnbankig, z.T. mit Schluffschichten bis 2 cm, schwach klüftig, hart, (Kalkstein)

*Bohrung 12*

Höhe ü. NN: 363,24 m                      Grundwasser bei - 0,60

0,30	Schluff, schwach feinsandig
1,00	Schluff, schwach feinsandig
3,80	Feinsand, stark bindig, organisch, dicht gelagert
4,60	Sand, schwach bindig, z.T. fein- mittelkiesig, dicht gelagert
5,00	Kies, fest gelagert, (Kalkstein)
8,80	Fels, schwach klüftig, plattig- dünnbankig, hart, (Kalkstein)

*Bohrung 13*

Höhe ü. NN: 363,44 m                      Grundwasser bei - 0,95

0,40	Fein- Mittelsand
1,20	Schluff, sandig, z.T. mit Ziegelresten, weich - steif
3,00	Schluff, schwach feinsandig, organisch, weich
3,90	Feinsand, stark bindig, organisch, dicht gelagert
4,90	Feinsand, stark bindig, (Holzreste), dicht gelagert
5,40	Sand, schwach bindig, fein- mittelkiesig
6,50	Kies, sandig, bindig, z.T. stark bindig, fest gelagert, (Kalkstein)
6,80	Fels, dünnplattig, (Kalkstein)
8,00	Fels, klüftig, bröckelig, hart, (Kalkstein)
9,80	Fels, klüftig, plattig - dünnbankig, hart, (Kalkstein)

*Bohrung 14*

Höhe ü. NN: 363,39 m                      Grundwasser bei - 0,85

0,70	Fein- Mittelsand, bindig
1,00	Schluff, sandig, fein- mittelkiesig
3,40	Ton, schwach feinsandig, organisch, weich
3,80	Schluff, mit Holzresten, organisch
4,90	Sand, schwach bindig, kiesig, dicht gelagert
5,30	Kies, sandig, schwach bindig, dicht gelagert
5,60	Kies, dünnbankig
6,90	Fels, schwach klüftig, bröckelig, plattig, hart, (Kalkstein)
8,10	Fels, schwach klüftig, dünnbankig, hart, (Kalkstein)

*Bohrung 15*

Höhe ü. NN: 363,34 m                      Grundwasser bei - 0,80

0,70	Kies, schwach feinsandig
1,30	Ton, schwach feinsandig, steif
2,40	Ton, schwach feinsandig, weich
3,30	Schluff, stark feinsandig, weich
3,70	Ton, stark fein- mittelsandig, steif
4,30	Sand, schwach bindig, kiesig, dicht gelagert
5,00	Sand, schwach bindig, kiesig, dicht gelagert
6,00	Kies, feinsandig, stark bindig, fest gelagert, (Kalkstein)
6,50	Kies, fest gelagert, (Kalkstein)
8,50	Fels, plattig, dünnbankig, hart, (Kalkstein)

*Bohrung 16*

Höhe ü. NN: 363,19 m

Grundwasser bei - 1,05

0,60	Feinsand, kiesig
1,00	Schluff, feinsandig, schwach kiesig, organisch
1,90	Ton, schwach feinsandig, organisch, weich
2,80	Ton, schwach feinsandig, weich
3,50	Sand, schwach schluffig, kiesig, dicht gelagert
4,40	Mittel- Grobsand, schwach schluffig, dicht gelagert
5,10	Sand, stark kiesig, schwach schluffig, dicht gelagert
7,00	Kies, z.T. fein- mittelsandig, schluffig, z.T. dünnplattig, fest gelagert, (Kalkstein)
8,10	Fels, stark klüftig, plattig, hart, (Kalkstein)
10,00	Fels, dünnbankig - bankig, hart, (Kalkstein)

Quelle:

Brückenplan, Vilsbrücke bei Ensdorf, St 2165 Etterzhausen - Amberg, Straßenbauamt Amberg  
20.07.1984, 18.04.1984, BW 1-1, BW 1-2

**Tab. A 5:** Profilbeschreibungen (6637-13 - 6637-80, Flusssedimente)

**Profil-Nr.: 6637-13**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, Scheitel

Aufnahmedatum: 11.12.01

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494750 H: 5467740

Höhe über NN: 370,2 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker, gepflügt, ohne Bestand

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-48		Ap	-	0-27 27-48	erbohrt, kein Bohrgut viel Schluff und Ton; Gesteinsbruchstücke, hoher Anteil organischer Substanz, Pflanzenreste, dunkelgraubraun
48-166	II	jylC	13/1	48-100	SI3, sandiger Grus, Schutt, Ziegel- und Kalkbruchstücke (z.T. Dolomit), stark bis sehr stark grusig, gelblichbraun, Einzelkorngefüge
		jylC	-	100-125 125-166	erbohrt, kein Bohrgut SI3, Schutt (Fortführung), gegen Ende skelettärmer
166-252	III	M	13/3	167-187	stark bis sehr stark grusig, gelblichbraun, Einzelkorngefüge
			13/4	187-203	Tu4
			13/5	203-219	Tu4
			13/6	219-235	Ut4
			13/7	235-252	Tu4
252-317	IV	M	13/8	252-268	Glimmerstückchen, organische Reststückchen (schwarz), 13/3 stärker rötlichbraun, Kohärentgefüge
			13/9	268-285	Tu3, skelettreicher Probe 13/9 fehlt
			-	285-307	große und kleine Kalkbruchstücke (schwach grusig), organische Reststückchen, rötlichbraun
		IC-M	13/10	307-317	erbohrt, kein Bohrgut Fortführung (Rest)
317-350	V	M	13/11	317-333	ähnlich 13/1, Feinboden toniger als 13/1, sandiger als 13/8, rötliche u. helle Bruchstücke, braun
			13/12	333-350	Lt2
350-370	VI	IC	13/13	350-370	Lt2 Kalkbruchstücke, Glimmer, organ. Reste, braun
370-414	VII	M	13/14	370-392	13/11: > größere Bruchstücke
			13/15	392-414	13/12: feiner, mehr glänzende Reibflächen, dunkle Steinchen Bruchstücke, vergleichbar zu 13/10, braun
414-661	VIII	M	13/16	414-432	Lt2, wechselnder Skelettgehalt, dunkle Steine
			13/17	432-450	13/14, organische Reststückchen (schwarz), gelbliches braun
			13/18	450-468	13/15 mittel grusig, Kalkbruchstücke, dunkle u. rote Steinchen
			13/19	468-485	Tu3, dunkle u. rote Steinchen
			-	485-517	nach unten Zunahme von wenigen, kleinen Kalkbruchstücken, auffallend viel organische Reste, gelbliches braun (s. 13/14)
		M	13/20	517-537	erbohrt, kein Bohrgut
			13/21	537-557	Tu3
			13/22	557-577	Tu3
			13/23	577-598	Tu4
			13/24	598-619	Tu4
			13/25	619-640	Tu4
			13/26	640-661	Lu Lt2
661-671	IX	M	13/27	661-671	wenige Bruchstücke: 20, 21, 26, organische Reste, schwarze Flecken, gelbliches braun, glänzend, 13/20 u. 21 graue große Flecken/Bereiche
671-685	X	M	13/28	671-685	Übergangsbereich Lts, höherer Feinsandgehalt, rote Gesteinsspuren, Kalkbruchstücke mit rötlichen u. schwarzen Flecken, Glimmer, braun
					Lts, Kalkbruchstücke, braun, dunkelgraue Flecken, humos?, zur Basis hin dunkler

## Bemerkungen:

Feinboden im Profil carbonatfrei; Probe 13/9 nicht beprobt; rote Bruchstücke: evt. gebrannte Kalksteine

**Profil-Nr.: 6637-14**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, seitlicher Auslaufbereich im unteren Teil des großen Schwemmfächers, seitlich 6637-15

Aufnahmedatum: 17.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494830 H: 5467822

Höhe über NN: 365,3 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-52		Ap	14/1	0-30	Lu, Ziegelreste, Strohreste, dunkelbraun, kalkfrei
52-100	II	IC-Ap	14/2	30-52	Lu, Gesteinsreste, Wurzelreste, dunkelbraun bis schwarz schluffig-tonig (Tu3), Holzkohleflitter, dunkel rötlich braun, schwarze Schlieren
		M	14/3	52-60	schluffig-tonig (Tu3), Holzkohleflitter, hell rotbraun, schwarze Schlieren, kalkfrei
		M	14/4	60-80	schluffig-tonig (Tu3), Holzkohleflitter, hell rotbraun, schwarze Schlieren, kalkfrei
100-230	III		14/5	80-100	schluffig-tonig (Tu3), Holzkohleflitter, hell rotbraun, braune Bereiche
			-	100-140	erbohrt, kein Bohrgut (vermutlich komprimiert)
			-	140-150	keine Probennahme möglich, zu komprimiert
		M	14/6	150-166	z.T. lehmig, z.T. sandig, Lt2, Holzkohleflitter, Pflanzenreste (schwarz)?, rotbraun
			14/7	166-188	Übergang zu tonigem und sandigem Substrat (Ls3), Holzkohle, rotbraun
230-463	IV		14/8	188-209	lehmig-sandig (Ls4), Gesteinsbruchstücke, Holzkohle, Pflanzenreste?, rotbraun
			14/9	209-230	lehmig-sandig (Ls4), mehr Steine wie oben, rotbraun
			14/10	230-250	14/10 – 14/14: St2, sandig-grusig, teilweise einzelne Steine, alle hellrotbraun
			14/11	230-270	
			14/12	270-290	
			-	290-300	kein Bohrgut
			14/13	300-360	steiniger
			14/14	360-370	sandiger (mSgs), Schlackenreste?
			14/15	370-390	stärker grusig, mehr Steine
			14/16	390-409	
463-500	V		-	409-436	kein Bohrgut, Grenze des Wechsels nicht genau bekannt
		alC	14/17	436-463	grusig, Steine, kalkhaltig
		IC+aM	14/18	463-500	tonig-lehmig (Lts), gegen Ende Gesteinsstücke, rotbraun, graue Teilbereiche (siehe extra Tüte), kalkhaltig

## Bemerkungen:

Grundwasser ab 100 cm

Mischprobe von 14/13-14/15

**Profil-Nr.: 6637-15**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, unterer Teil des großen Schwemmfächers,  
seitlich des Scheitels

Aufnahmedatum: 17.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494825 H: 5467782

Höhe über NN: 365,7 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-73			-	1-23	erbohrt, kein Bohrgut
		Ap	15/1	23-38	Lu, auffälliger roter Stein, schwarzbraun
			15/2	38-56	lehmig-schluffig, dunkelbraun-schwarz, Schlacken
		IC-M	15/3	56-73	toniger Lehm (Lt2), Kalkbruchstücke, braun bis rotbraun, graue Flecken, leicht kalkhaltig
73-124	II	IC	15/4	73-100	sandig-grusig, Feinboden Ls4, Gesteinsbruchstücke (Kalk, Ziegel?), v.a. zwischen 86-100 Kalksteinbruchstücke, braun, leicht kalkhaltig
			-	100-124	kein Bohrgut
124-244	III	M			sandig-lehmig, graduelle Übergänge zwischen mehr sandigen und mehr schluffigen Teilen (v.a. 15/7), schwarze Körnchen, Holzkohle, rötlich braun
			15/5	124-139	Lt2, Übergangsbereich
			15/6	139-154	Lts
			15/7	154-170	Ls4
			15/8	170-184	St3
			15/9	184-198	
		M	15/10	198-206	lehmig-schluffig, rötlich braun
		M	15/11	206-225	Ls4, Fe/Mn-Konkretionen?, Holzkohle
			15/12	225-244	
244-263	IV	alC	15/13	244-263	Sand (St2), rötlich braun, schwarz-braune Flecken
263-283	V	alC	15/14	263-283	lehmiger Sand (Sl3-Sl4), deutlicher Kies und Grus Anteil, Farbwechsel zum Hangenden: dunkelbraun mit schwarzen Bereichen
283-473	VI (Wechsel)	alC	15/15	283-300	Grobsand, einzelne Gesteinsbruchstücke (v.a. Kalk), schwarze Partikel in unterschiedlicher Korngröße, Farbwechsel zu hellbraun-rötlich braun
			15/16	300-325	Fortführung von 15/15, 15/16+15/17 Grobsand, Quarz reich,
			15/17	325-350	15/18 Übergangsbereich mit Zunahme von Feinkies/Grus, braun-
			15/18	350-368	rötlichbraun, 15/16: GP-Probe
		alC	15/19	368-386	Feinkies-Mittelkies, rötlich braun, viele kleine schwarze Steinchen
		alC	15/20	386-406	grobsandig-kiesig (gSms), in 15/21 graduell mehr Kies, rötlich
			15/21	406-426	braun
		alC	15/22	426-443	mittel-grobsandiges Band (feiner als 15/21, 15/24), hell rötlich
					braun
		alC	15/23	443-460	schwach sandiger Feinkies, zahlreiche Mineralbruchstücke (z.B. Quarze), heterogene Farbe
		alC	15/24	460-473	grobsandiges Band, Skelettbruchstücke, rötlich braun, kalkhaltig
473-500	VII	alC-Cv	15/25	473-486	Mittelgrus, teilweise verlehmt, kantige Skelettbruchstücke, hellbraun, kalkhaltig
		ICv	15/26	486-500	verlehmt, gräulich braun/oliv, GW beeinflusst?, stark kalkhaltig

## Bemerkungen:

überall schwarze Bruchstücke in den Tiefen 300-500cm

**Profil-Nr.: 6637-16**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, unterer Teil des großen Schwemmfächers,  
Scheitel

Aufnahmedatum: 17.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494825 H: 5467740

Höhe über NN: 365,8 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-46		IC-Ap	-	1-20	kein Bohrgut
			16/1	20-35	schluffig-lehmig, viele Gesteinsbruchstücke, schwarz-braun, Krümelgefüge, kalkhaltig
			16/2	35-46	Ls3, große Kalksteinbruchstücke, überwiegend dunkelbraun, Übergangsbereich, kalkhaltig
46-100	II	M-IC	16/3	46-70	sandig (Sl3), grusig, Steine (rote; helle; Kiesel), kein Übergang, sichtbar zwischen 16/3 und 16/4, 16/4 kompakter (vermutlich Verdichtung durch das Bohren), hellbraun, kalkhaltig
			16/4	70-100	lockerer Schutt, Grus und Kies, Fein bis Grob, auch größere Steine, vorwiegend Kalkbruchstücke, trocken
100-130					Grobsand mit Lehm vermischt, einzelne größere Steine, rotbraun
130-160					lehmiger Sand mit Grobgrus und Kies, dunkelrotbraun
160-194					feinsandiger Lehm, große Steine, braun
194-206					heterogener Bereich, große Bruchstücke, dazwischen Lehm und Sand
206-224					Lehm, schmutzig braun
224-238					Übergangsbereich von braun zu rot
238-256					tonig, mit Kies und Grus, rotbraun
256-262					tonig, Kalkbruchstücke, dunkelrotbraun
262-270					

**Bemerkungen:**

nur bis 270 cm, nachträgliche Kurzansprache im Liner, siehe 6637-17 (Parallelbohrung)

**Profil-Nr.: 6637-17**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, unterer Teil des großen Schwemmfächers, Scheitel

Aufnahmedatum: 17.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494825 H: 5467740

Höhe über NN: 365,8 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-46		IC-Ap	-	1-20	kein Bohrgut
			16/1	20-35	schluffig-lehmig, viele Gesteinsbruchstücke, schwarz-braun, Krümelgefüge, kalkhaltig
			16/2	35-46	Ls3, große Kalksteinbruchstücke, überwiegend dunkelbraun, Übergangsbereich, kalkhaltig
46-152	II	M-IC	16/3	46-70	sandig (Sl3), grusig, Steine (rote; helle; Kiesel), kein Übergang, sichtbar zwischen 16/3 und 16/4, 16/4 kompakter (vermutlich Verdichtung durch das Bohren), hellbraun, kalkhaltig
			16/4	70-100	
152-175	III	M	-	100-152	kein Bohrgut
			17/1	152-175	schwach toniger Lehm (Lt2), Kalkbruchstücke (fein- bis mittelgrusig, vermutlich Dolomit, schwache Reaktion auf HCl, lang anhaltend), Holzkohleflitter, braun (10 YR 4/6), schwach carbonathaltig, mäßig kompakt, HK-Probe
175-245	IV	M-aIC?	17/2	175-199	stark sandiger Lehm/lehmiger Kies, zahlreiche Bruchstücke (Grobkiese), vergleichbar zu 17/1, aber Zunahme des Skelettanteils, braun, hellere Erscheinung durch Bruchstücke (7,5 YR 5/6), HK-Probe
			17/3	199-224	kiesführender Lehm (Feinboden: Ls2), vergleichbar zu 17/1, jedoch geringerer Skelettgehalt, mehr Feinboden als 17/2, braun (7,5 YR 4/4), HK-Probe, GP-Probe
			17/4	224-245	sandig lehmiger Kies, ähnliches Skelett/Feinbodenverhältnis wie bei 17/2 (> 50/70 % Skelett), sandiger, braun (7,5 YR 4/4), HK-Probe
245-270	V	M	17/5	245-257	schluffiger Lehm, Holzkohle, schmutzig braun (7,5 YR 4/3), mäßig kompakt (kompakter als 17/6), HK-Probe
			17/6	257-270	schluffiger Lehm, Holzkohle, braun (7,5 YR 4/4), schwach kompakt, HK-Probe
270-300	VI	fT-M?	17/7	270-280	Übergangsbereich, beginnender Farbwechsel zu rotbraun (5 YR 4/6), HK-Probe
			17/8	280-300	Grusführender Ton (Feinboden sehr tonreich, Gesteinsbruchstücke), rotbraun (5 YR 3/4), kleine schwarze mineralische Stückchen, GP-Probe
300-346	VII	IC-Gr	17/9	300-340	kein Bohrgut, Schichtwechsel in der Lücke
				340-346	sandiger Fein bis Mittelgrus (kantig, weiße und dunkle Bestandteile), grau (7,5 YR 4/2), nass
346-368	VIII	M-IC	17/10	346-368	schluffiger Lehm, Kalk bzw. Dolomitbruchstücke (mittel-grobgrusig), braun (7,5 YR 4/4), mäßig kompakt
368-454	IX	aIC	17/11	368-387	schwach grusführender Sand (Mittel-Grobsand, Sand dominiert, Skelett < 30%), braun (7,5 YR 5/6), schwach kompakt, feucht
		aIC-IC	17/12	387-420	sandiger (Grob-)Grus, Skelettanteil > 50-70%, Dolomit/Kalkbruchstücke, schwarze Bruchstücke (Verhüttungsrelikte? Erz/Schlacke?), helles braun (5 YR 5/6), aber rötlicher als 17/13
			17/13	420-454	siehe 17/12, helles braun (7,5 YR 5/6)
454-500	X	aIC	17/14	454-476	feinkiesiger Sand (Quarzkiese, Dolomite), helles braun (7,5 YR 5/6)
			-	476-500	erbohrt, kein Bohrgut

## Bemerkungen:

Parallelbohrung zu 6637-16, daher 0-100 cm verworfen; hohes Grundwasser nur Proben 6-8 kalkfrei

**Profil-Nr.: 6637-18**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, unterer Teil des großen Schwemmfächers,  
seitlich des Scheitelpunktes

Aufnahmedatum: 17.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494825 H: 5467685

Höhe über NN: 365,6 m

Neigung: sehr schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-70		Ap IC-Ap	18/1	1-20	schluffig-lehmig, Wurzelreste, dunkelbraun, kalkfrei
			18/2	20-35	Lt2, große Steine, dunkelbraun, kalkfrei
			18/3	35-47	Lt2, Übergangsbereich mit vielen Steinen (weiß/Kalk, gelb, schwarz/rot), braun
70-100	II	IC M	18/4	47-70	mehr Grus, Kalksteinbruchstücke, helleres braun
			18/5	70-100	deutlicher Wechsel zu schluffig-lehmigem Substrat (Lu), Holzkohleflitter, rotbraun mit dunkelgrauen Bereichen
100-184	III	- M-IC	-	100-143	kein Bohrgut, Schichtwechsel?
			-	143-146	verworfen
			18/6	146-154	Feinboden lehmig, Feingrus-Grobgrus, dunkelbraun (7,5 YR 4/4), Feinboden kalkhaltig, mäßig kompakt
184-240	IV	M	18/7	154-184	eingeschlammter lehmiger FB, überwiegend Fein-Mittelgrus, viele kleine schwarze Steinchen, braun (7,5 YR 5/6), kalkhaltig, GP-Probe
			18/8	184-197	deutlicher Wechsel zu schluffigem Lehm (Lu), schwarze Partikel, Holzkohleflitter, 2 HK-Proben, schmutzig braun (7,5 YR 4/3), kalkfrei, schwach kompakt
			18/9	197-211	Übergangsbereich (Lu), gekennzeichnet durch Farbwechsel, großer Stein erbohrt, Kalkbruchstücke
240-289	V	M	18/10	211-225	schwach toniger Lehm (Lt2), schwarzes amorphes Material, Holzkohleflitter?, rotbraun (5 YR 4/8), kalkfrei, sehr kompakt, *
			18/11	225-240	wie 18/10, *
			18/12	240-256	18/12-18/14: sandiger Lehm (Ls3), teilweise stärker lehmige Bänder, schwarzes amorphes Material, Holzkohleflitter?, rotbraun (5 YR 5/8), Farben changierend zwischen hellerem und dunklerem rot, minimal kalkhaltig, mäßig bis sehr kompakt, *
			18/13	256-271	
289-300	VI	M	18/14	271-289	
			18/15	289-300	tonig-lehmiger Schutt, überwiegend Gesteinsbruchstücke (versch.), Kalkreste (HCl-Test positiv), FB rot dunkelbraun (5 YR 3/4, 5 YR 3/6), GP-Probe
300-394	VII	-	-	300-380	kein Bohrgut, vermutlich ausgelaufen, Schichtgrenze auch hier möglich
394-406	VIII	aIC ?	18/16	380-394	grusig, sandig, nur noch Reste, kalkhaltig
406-413	IX	M	18/17	394-406	lehmig, braun (7,5 YR 4/3), kalkhaltig, nass
		M	18/18	406-413	schluffig mit Sandpartikeln, hellbraun/ocker (10 YR 7/6), stark kalkhaltig, nass/schmierig/fließend
413-428	X	M	18/19	413-428	lehmig, Kalkstückchen, auch große Kalkbruchstücke, rötliches braun (7,5 YR 4/6), kalkhaltig, wieder kompakter/mäßig kompakt
428-482	XI	aM-IC	18/20	428-450	Feinboden feinsandig, v.a. mit Dolomitbruchstücken, dunkelrotbraun (5 YR 4/6 bis 5 YR 3/6), Farbe durch Toneinschlammung?, kalkhaltig
		aIC	18/21	450-482	mittelsandig, Mittel-Feingrus und Kies, große Bruchstücke (v.a. Dolomit, Kalk), > 70% Skelett, braun (7,5 YR 5/6), kalkhaltig
482-500	XII	aIC	18/22	482-500	sandiger Feinkies (Grobsand, feiner Grus und Kies), Quarze, Farbe heterogen durch unterschiedliche Bestandteile, kalkhaltig, 2 GP-Proben

Bemerkungen:

\* = gesonderte Beprobung des Feinbodens mit schwarzen Partikeln, Mangan?

**Profil-Nr.: 6637-19**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf

Aufnahmedatum: 18.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494855 H: 5467995

Höhe über NN: 364,9 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-47		IC-Ah	19/1	0-7 7-36	kein Bohrgut Lu, Wurzelreste bzw. gut durchwurzelt, dunkelbraun, leicht kalkhaltig, kompakter als Vergleichsproben auf dem Acker, Krümel-Gefüge
			-	36-47	Übergangsbereich, vermehrt Ziegelstücke, Steine (aber weniger als in den Ackerproben)
47-246	II	aM	19/2	50-70	schluffig-tonig (Ut4 bis Lu), einzelne große Steine, Holzkohleflitter/Holzkohlestückchen, HK-Probe, braun, kalkfrei
			19/3	70-90	rötliches braun
		aM	19/4	100-126	Holzkohleflitter, braun, rote Schlieren
			19/5	126-150	lehmig-tonig (Lt2), leicht toniger als oberhalb, Holzkohleflitter, fließende Übergänge im Bereich 126-246cm, rotbraun
			19/6	150-170	
			19/7	170-196	
			19/8	196-220	
			19/9	220-246	
246-433	III (lagig)	aIC	19/10	246-273	Substratwechsel: sandig-grusig, größere Steine (z.B. bei 380/381, 394/395), fließende Übergänge zwischen 246-400cm, 19/12-19/14 relativ ähnlich, 19/12: HK-Probe, 19/13: lagige
			19/11	273-300	Wechsel von feinsandigem und lehmigem Substrat, rötlich braun, 12-14 leicht kalkhaltig
			19/12	300-330	
			19/13	330-360	
			19/14	360-395	
		aIC	19/15	400-413	deutlicher Wechsel, Fein-Grobsand oder Fein(st)sand, rotbraun
		aIC	19/16	413-433	deutlicher Wechsel, scharfkantige Steine mit eingeschlammtem Feinmaterial, Quarze
433-464	IV	aIC-aM	19/17	433-464	sandig-lehmig, rotbraun
					433-444: feinsandig-grobschluffige Wechsellage
464-500	V	ICv	19/18	464-500	450-464: feinsandig-grobsandige Wechsellage
					kantiger Verwitterungsschutt mit lehmig-sandigem Material, hellbraun, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-20**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, westliches Vilsufer, Catena Frauengarten

Aufnahmedatum: 18.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494795 H: 5467490

Höhe über NN: 365,0 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich, Aue

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung	<sup>14</sup> C-Datierung (cal. 2 sigma)
1-15				1-15	verworfen	
15-35		aGo-aAh	20/1	15-35	Lu, stark humos, oxidiert, Kalkbruchstückchen	
35-209	II	aGhr-aGro	20/2	35-52	Tu4, humos, oxidiert und reduziert	
		aGhr	20/3	52-68	Tu4, Skelettbruchstück (1), humos, sehr grau, reduziert	
		aGr	20/4	68-86	Tu4, bräunlich grau, reduziert	
			20/5	86-95	Probe nur bis 87 dunkelgrau	
			20/6	95-100	Tu4, Bohrkernende, sonst gleich 20/7	
			20/7	100-113	Tu4, bräunlicher Reduktionshorizont	
			20/8	113-136	Tu4, grauer als 20/7	
			20/9	136-155	Tu4, brauner als 20/8, etwas bräunlicher	
			20/10	155-173	als 20/7	
			20/11	173-185	etwas grauer als 20/10, evt. mehr Holzkohle	
			20/12	185-209	Lu, Übergangshorizont von bräunlich grau zu dunkelgrau	
209-300	III	aGhr+aIC	20/13	209-225	viele Skelettbruchstücke, Feinboden	
			20/14	225-246	humos, dunkelgrau	
		aIC+aGr	20/15	246-266	Tu3, viele Skelettbruchstücke, dunkelgrau,	
			20/16	266-283	bräunlicher als 20/13+14, 20/16 kalkhaltig	
		aIC+aGor	20/17	283-300	Tu3, viel Skelett, Oxidationsflecken, ein wenig Holzkohle, Übergangsbereich, kalkhaltig	
300-358	IV	IV aGr	20/18	300-321	bräunlich grauer Horizont, sehr schwach oxidiert, Holzkohlestückchen, MR-Probe, kalkhaltig	AD 535-670 Früh. MA
			20/19	321-337	Lu, schlierig brauner Übergang zu blaugrau, etwas Holzkohle, kalkhaltig	
			20/20	337-358	Lt2, etwas humos, blaugrauer Horizont mit durchgehend (vgl. 20/19) braun	
358-394	V	fAh°Gr	20/21	358-371	Übergangshorizont von blaugrau reduziert zu stark humos und dunkelbraunem	BC 390-60 Latènezeit (Eisenzeit)
		fAh°Gro	20/22	371-383	20/22, MR-Probe sehr stark humoser Horizont, Oxidationsflecken	BC 2855-2335 End-Neol.
		fAh°Gr	20/23	383-394	sehr stark humoser Horizont, nach unten fahler, Holzkohle	BC 765-370 Eisenzeit
394-398	VI	aGhr	20/24	394-398	schmalere Übergangshorizont, sandig, Skelett, humos, kalkhaltig	
398-429	VII	aIC	20/25	398-429	mSgs, sandig kiesiges Material, nicht reduziert, kalkhaltig	
429-448	VIII	aIC+ICv	20/26	429-448	grob-kiesig, Steine, graubraun, Übergang zu Cv, aber noch Fremdmaterial, stark kalkhaltig	
448-460	IX	Cv	20/27	448-460	sandig, schluffige Verwitterungszone des anstehenden Gesteins, hell/fahl-braun, stark kalkhaltig	

## Bemerkungen:

Sonderproben: Organische Reste: 1, 2, 3, 6, 11, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24; Gestein: 12, 25 (evt. Schlacke, 20/25 nach lichtmikroskopischer Beurteilung keine Schlacke)

**Profil-Nr.: 6637-21**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, westliches Vilsufer, neben 6637-20

Aufnahmedatum: 18.04.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494795 H: 5467490

Höhe über NN: 365,0 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich, Aue

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Horizonttiefe in cm	Beschreibung
0-146		fehlt	0-100 100-145	verworfen, siehe 6637-20 kein Bohrgut
147-267	II	aGr	145-146 147-208	rotbraun, evt. zu verwerfen toniger Lehm, bei 170-177 großer Kalkstein, z.T. große, einzelne Makroreste, grau-braun
		aGhr	208-232 232-248	toniger Lehm, kleine Makroreste, nach unten humoser und dunkler, grau schluffiger Ton, z.T. große Makroreste, dunkelgrau bis schwarzbraun
267-300	III	aGr	248-267 267-283	toniger Lehm, kleine Makroreste, dunkelgrau toniger Lehm, einzelne Kiese, grau-braun
300-327	IV	aGr aC+aGr aM+aGhr	283-300 300-319 319-327	toniger Lehm mit Grobgrus und einzelnen großen Steinen lehmiger Ton, nur noch Reste, viele Makroreste, dunkelgraubraun schluffig toniger Lehm, ebenfalls viele Makroreste, braun mit hellbraunen Teilbereichen
327-374	V	aGr	327-334 334-350 350-374	grau, reduziert grau, vereinzelt Makroreste, sehr nass und weich schluffiger Ton, kleine Makroreste und HK, sehr kompakt, grau
374-385	VI	aGhr	374-385	mehr Feinsand, einzelne Steine, große Makroreste, grau, etwas heller als oberhalb
385-397	VII	fAh°Gr	385-397	stark humoser Horizont mit zahlreichen, großen Makroresten, schwarzbraun
397-410	VIII	aIC-aM	397-410	feinsandige Bänder mit z.T. großen Kiesen, 397-404 blasses hellbraun, 404-406 helles braun, 406-410 Kaffeebraun
410-424	IX	aIC	410-424	Kies und Grus vermischt mit Grobsand, schwarze Steine, Kalkbruchstücke, rötliches braun
424-430	X	ICv	424-430	Übergangsbereich, Kalkschutt mit Grobsand und Feinkies
430-440	XI	Cv	430-440	angewitterter Kalkschutt, helles, gelbliches braun

Bemerkungen:

Parallelbohrung im Liner für evt. Pollenbeprobung, Ansprache im Liner

**Profil-Nr.: 6637-22**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, unterer Teil des kleinen Schwemmfächers, Scheitel

Aufnahmedatum: 22.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494513 H: 5468788

Höhe über NN: 368,1 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-27		Ap	22/1	1-27	schluffiger Lehm, kleinere Bruchstücke (weiß, schwarz), durchwurzelt, Strohreste, dunkelbraun-schwarz, kalkfrei
27-67	II	IC-M	22/2	27-67	sandig-grusig (Quarze, Schlacken, Kalk), hoher Skelettanteil, große Steine, braun bis hellbraun, kalkfrei bis auf Bruchstücke
67-100	III	M	22/3	67-81	schluffiger Lehm, feine schwarze Partikel (Schlacke?), Holzkohle, braun, kalkfrei, weniger kompakt als 22/4
			22/4	81-100	schluffiger Lehm, kleine und mittelgroße Bruchstücke, schwarze Partikel, hellbraun, kalkfrei bis auf Kalkbruchstücke, sehr kompakt

Bemerkungen:

Parallelbohrung zu 6637-23

**Profil-Nr.: 6637-23**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, unterer Teil des kleinen Schwemmfächers,  
Scheitel

Aufnahmedatum: 22.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494513 H: 5468788

Höhe über NN: 368,1 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-27		Ap	23/1	1-27	schluffiger Lehm, durchwurzelt, dunkelbraun-schwarz
27-85	II	IC-M	23/2	27-76	Schutt vermischt mit sandig-lehmigem Feinboden, große Kalkbruchstücke, hellbraun-braun
			23/3	76-85	sandiges Band mit Grobskelett vermischt, teilweise lehmig, hellbraun
85-100	III	M	23/4	85-100	schluffiger Lehm, braun
100-234	IV	-	-	100-114	kein Bohrgut
		M	23/5	114-124	feinsandig-schluffig, braun
			23/6	124-158	schwarze Partikel, hellrötlich braun
			23/7	158-165	wie 23/6, aber mit einzelnen Gruspartikeln (schwarz, rot, weiß)
			23/8	165-196	hellbraun
			23/9	196-220	feinsandiger Lehm, wie 23/8
			23/10	220-234	rotbraun, 23/10 Übergangsbereich
234-300	V (Wechsel-lagerung)	aM-aIC	23/11	234-259	stark sandige Bänder zwischen Lehm, rotbraun
			23/12	259-261	grobsandiges Band, dunkelrotbraun
			23/13	261-265	sandiges Band, rötliches hellbraun
			23/14	265-273	feinsandiger Lehm
			23/15	273-300	feinsandig, geschichtet, Farbe wechselnd zwischen sandfarben und rotbraun und schwarzbraun
300-420	VI	-	-	300-327	kein Bohrgut
		aIC	23/16	327-340	Grobsand mit Feinkies/-grus (Quarz etc.), einzelne größere Kiese, braun
			23/17	340-372	Grobsand, feiner als 23/16, braun
			23/18	372-420	Sand wie 23/17, mit mittelkiesigen Bereichen, verschiedene Bruchstücke, Schlacke?, kalkhaltig
420-432	VII	aIC	23/19	420-432	Kies/Grus, fast nur Grobboden, kalkhaltig
432-450	VIII	aIC	23/20	432-450	Grobsand mit Lehm, einzelne Skelettbruchstücke, Schlacken?, rötliches hellbraun, kalkhaltig

Bemerkungen:

Parallelbohrung zu 6637-22

**Profil-Nr.: 6637-24**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, unterer Teil des kleinen Schwemmfächers, seitlich des Scheitels

Aufnahmedatum: 22.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494525 H: 5468765

Höhe über NN: 367,6 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-68		Ap	24/1	1-33	schluffiger Lehm, Schlacke, humos, durchwurzelt, Strohreste, dunkelbraun-schwarz
68-183	II	jyC-M	24/2	33-68	schluffiger Lehm, dunkelbraun, Bruchstücke
			24/3	68-100	toniger Lehm, rote Ziegel und weißliche (Kalk?) Bruchstücke, viel Holzkohle, sehr dunkelbraun, vom Sägewerk beeinflusst
		-	100-118	kein Bohrgut	
		IC-M	24/4	118-137	Lehm mit Schutt, Farbe heterogen, vermutlich gestört
			24/5	137-164	lehmiger Feinboden mit vielen Bruchstücken, v.a. Kalk, Farbe heterogen
183-217	III	M	24/6	164-183	deutlicher Wechsel: toniger Lehm, sattes braun mit rotbraunen Schlieren, Gesamtbild homogener
			24/7	183-217	
217-284	IV (Wechsel-lagerung)	alC	24/8	217-219	grobsandiges Band, dunkelrotbraun
			24/9	219-225	feinsandiger Lehm, braun, mit roten und grauen Bereichen
			24/10	225-230	grobsandiges Band, dunkelrotbraun
			24/11	230-237	grobsandiges Band, braun
			24/12	237-260	deutlicher Wechsel: feinsandiger Lehm, braun
		alC	24/13	260-284	Fein- Mittelsand, geschichtet, braun, mit helleren und rötlichen Bändern
284-300	V	alC	24/14	284-300	deutlicher Wechsel: Sand und Grus (v.a. Mittelgrus), verschiedene Bruchstücke, Farbe heterogen, kalkhaltig
300-357	VI	alC	24/15	300-357	Mittel- Grobsand, rotbraun, im oberen Bereich sehr feucht bis flüssig
357-425	VII	aM-alC	24/16	357-379	neben Sand (wie 24/15) tonig-lehmige Bereiche (grau-schwarz), kalkhaltig
			24/17	379-397	Grobsand, viele Quarze, schmutziges braun, kalkhaltig
			24/18	397-425	Mittelsand mit Grus, Schlacke?, kalkhaltig
425-500	VIII	Cv	24/19	425-460	tonig-lehmig, verwitterter Kalk, hellbraun, nach unten heller bzw. übergehend in gelbliches hellbraun (wie 24/20), stark kalkhaltig
			24/20	460-500	tonig-schluffig, mit Kalkbruchstücken, gelbliches hellbraun, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-25**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, unterer Teil des kleinen Schwemmfächers, seitlich des Scheitels

Aufnahmedatum: 23.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494500 H: 5468810

Höhe über NN: 367,5 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-21		Ap	25/1	1-21	schluffiger Lehm (Lu), Kalkbruchstücke, Schlacke, durchwurzelt, Strohreste, dunkelbraun-schwarz
21-224	II	M	25/2	21-60	toniger Lehm (Lt3) mit Feinsandanteilen, kleine Kalkbruchstücke, sattes braun, kompakt
			25/3	60-100	Feinboden wie 25/2, Schlacke, schwarze Schlieren, vermutlich Holzkohle, auch schwarze mehr metallische Partikel, Mn?, kleine helle „Konkretionen“
			-	100-155	kein Bohrgut, vermutlich komprimiert
		M	25/4	155-193	schluffig-toniger Lehm (Lt3), Kalkbruchstücke, braun, teilweise dunklere Bereiche, komprimiert
			25/5	193-224	schluffig-toniger Lehm (Lt3), z.T. toniger oder auch feiner Sand, schwarze Partikel, braun
224-267	III	aM	25/6	224-243	deutlicher Wechsel: Fein-Mittelsand (Ls3), rötlich braun, feucht, nach unten schmutzig
			25/7	243-267	SI4, brauner
267-300	IV	aM-aIC	25/8	267-300	Grobsand mit Grus (Fein-Grob), Feinboden SI3, Kalkbruchstücke, Schlacke?, schmutzig braun, feucht-nass
300-368	V	aIC-aM	25/9	300-335	Fein-Mittelsand (SI3), rötlich braun, nass
			25/10	335-368	wie 25/9 (SI2), aber mehr Grobskelett (Kalkbruchstücke etc.)
368-446	VI	aM-aIC	25/11	368-408	Mittel-Grobsand mit Fein-Mittelgrus (mSgs, ca. 30 % Skelett),
			25/12	408-446	etwas Schluff dazwischen, Schlacke?, Kalkbruchstücke, Quarze, nach unten gröber, schmutzig braun, kalkhaltig
446-500	VII	ICv	25/13	446-500	schluffig-toniges Feinmaterial zwischen angewitterten Kalkbruchstücken (Ls4, > 70 % Skelett), ocker hellbraun, stark kalkhaltig

## Bemerkungen:

Lesefunde von Schlacke im Ap

**Profil-Nr.: 6637-26**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, seitlich des Scheitels

Aufnahmedatum: 23.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494750 H: 5467782

Höhe über NN: 369,4 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-25		Ap	26/1	1-25	schluffiger Lehm (Lu), Kalkschutt, Ziegelreste, Schlacke, durchwurzelt, Strohreste, dunkelbraun-schwarz
25-242	II	M	26/2	25-45	schluffig-tonig (Tu3), Wurzeln, Wurmgänge, rotbraun bis braun, Glimmer, Übergangsbereich, obwohl recht klare Farbgenze
		M	26/3	45-70	schluffig-tonig (Tu3 – Tu4), Holzkohle, rotbraun
		-	26/4	70-100	
		-	-	100-116	kein Bohrgut
		M	26/5	116-134	schluffig-tonig (Tu3), etwas feinsandiger, Wurmgänge?, braun, schwarze Schlieren, rostrotbraune Konkretionen, komprimiert
		M	26/6	134-155	
		M	26/7	155-175	schluffig-tonig (Tu3), kleine Kalkbruchstücke, schwarze kleine „Kügelchen“, sattes braun
			26/8	175-196	
			26/9	196-220	
			26/10	220-242	26/10: evt. Schlacke
242-277	III	IC-M	26/11	242-277	toniger Lehm (Lt2), Anteile von Grobskelett (Kalk, Schlacke?), schwarze „Kügelchen“, sattes braun
242-500	IV	M	26/12	277-300	schluffig toniger Lehm, kein Grobskelett, rostrotbraune kleine Flecken, schwarze Ausfällungen
			-	300-313	verwürgt, verworfen
		M	26/13	313-343	homogener Horizont:
			26/14	343-370	schluffig-tonig (Lt3 – Tu3), nach unten toniger, Schlacken?, sattes braun, rostrotbraune Ausfällungen
			26/15	370-395	
			26/16	395-418	
			26/17	418-445	
			26/18	445-470	
			26/19	470-500	

Bemerkungen:

Mischprobe von 26/5 und 26/6

**Profil-Nr.: 6637-27**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, seitlich des Scheitels

Aufnahmedatum: 23.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494750 H: 5467696

Höhe über NN: 369,5 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-32		IC-Ap	27/1	1-32	schluffiger Lehm, stark skeletthaltig (schuttartig), v.a. Kalkstein, dunkelbraun-schwarz
32-87	II	jIC	27/2	32-46	Grobsand-Grus, stark skeletthaltig, v.a. Kalk, braun, teilweise dunkelbraun, Übergangsbereich
			27/3	46-58	
87-146	III	M	27/4	58-87	Grobgrus, viele Kalkbruchstücke, schmutzig braun, Molluskenhäuser
			27/5	87-100	
146-350	IV	M	-	100-118	Zunahme von Ton, schmutzig braun zu verwerfen
			27/6	118-146	
350-385	V	M	27/7	146-170	Fortführung von 27/5, einzelne Kalkbruchstücke, schmutzig braun, schwarze Partikel/"Konkretionen"/HK?
			27/8	170-195	
			27/9	195-220	
			27/10	220-245	
			27/11	245-270	
			27/12	270-300	
385-426	VI	M	27/13	300-350	Material von oben nachgestürzt lehmig, Kalkbruchstücke, schmutzig braun, viele schwarze Schlieren
			27/14	350-385	
426-500	VII	M	27/15	385-408	toniger Lehm, vereinzelt Kalkbruchstücke, gelbliches rotbraun, schwarze und rostrotbraune Schlieren
			27/16	408-426	
426-500	VII	M	27/17	426-453	Wechsel zu sandigem Lehm, vereinzelt Kalkbruchstücke, rötlich braun, nach unten (27/19) Sand zunehmend rotbraun
			27/18	453-477	
			27/19	477-500	

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-28**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, unterer Teil des großen Schwemmfächers, Scheitel

Aufnahmedatum: 24.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494850 H: 5467740

Höhe über NN: 365,1 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-31		Ap	28/1	1-31	schluffiger Lehm, große Skelettbruchstücke, v.a. Kalkstein, Strohreste, dunkelbraun, Feinboden minimal kalkhaltig, Molluskenreste
31-220	II	IC-M	28/2	31-64	lehmiger (Fein-) Sand, Wechsellagerung von Feinboden und Schutt/Grus, braun, großes Kalkstück erbohrt, Molluskenreste
			28/3	64-100	feinsandiger Lehm, Wechsellagerung von Feinboden und Schutt, Schlacke, braun
			-	100-130	kein Bohrgut, vermutlich komprimiert
		M	28/4	130-150	lehmiger Fein- bis Mittelsand, dazwischen Mittelgrus (weiß, rot, schwarz), Feinboden braun, komprimiert
		M	28/5	150-176	lehmiger Sand, vereinzelt Grobskelett (Fein-Grobgrus) z.B. Kalkstein, Schlacke?, Holzkohle, schmutzig braun
			28/6	176-200	feinsandiger Lehm, ansonsten wie 28/5
			28/7	200-220	schluffiger Lehm, ansonsten wie 28/5
220-349	III	M	28/8	220-248	toniger Lehm, vereinzelt kleineres Grobskelett (Kalk, Ziegelreste), Holzkohle, Übergangsbereich zum rötlich braun
			28/9	248-274	schluffiger Lehm, vereinzelt kleineres Grobskelett (Kalk, Ziegelreste?), Holzkohle
			28/10	274-300	schluffig toniger Lehm, braun
		M	28/11	300-320	toniger Lehm mit Feinsand, schmutzig braun, nass, glänzend
			28/12	320-335	schluffiger Lehm, kompakter als 28/11
			28/13	335-349	wie 28/12, mehr Grobskelett
349-426	IV	alC	28/14	349-369	Wechsel zu Feinsand, rotbraun, noch Einfluss von 28/13
			28/15	369-385	Feinsand, rotbraun
			28/16	385-414	Feinsand, mit deutlich mehr Skelettanteilen, rotbraun
		IC-aM	28/17	414-426	feinsandiger Lehm, Grobskelett, schmutzigbraun, Übergangsbereich
426-500	V	alC	28/18	426-458	Grobsand, etwas Lehm eingeschlämmt, rötlich
			28/19	458-500	Grobsand bis Mittelgrus, Quarze, Schlacken?, bräunlich

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-29**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, kleine Senke am Randbereich des Schwemmfächers

Aufnahmedatum: 25.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494850 H: 5467870

Höhe über NN: 364,2 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Vega-Gley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-144		Ap	29/1	1-25	schluffiger Lehm, einzelne Grobskelettbruchstücke, Strohreste, dunkelbraun-schwarz, recht kompakt
		aM-Gro	29/2	25-44	toniger Lehm mit einzelnen Sand- und Grusbestandteilen (z.B. Kalk), dunkles braun, auch schon graue bzw. rote Partien (= oxidative und reduktive Bereiche)
			29/3	44-58	Übergangsbereich
		aGro	29/4	58-73	toniger Lehm, Holzkohle bzw. Pflanzenreste, Grundfarbe braun, graue und rostrotbraune Partien
			29/5	73-89	graue und rostrotbraune Partien
		aGhr	29/6	89-100	lehmgiger Ton oder stark toniger Lehm, viele schwarze Pflanzenreste, grau, reduziert
			29/7	100-126	lehmgiger Ton, viele schwarze (große) Pflanzenreste, grau, reduziert
		aGor	29/8	126-144	toniger Lehm, Holzkohle bzw. kleine Pflanzenreste, grau bis schmutzig braun, vereinzelt rostrote „Konkretionen“, Übergangsbereich
144-216	II	aM	29/9	144-164	sandig-toniger Lehm, nach unten Feinsand zunehmend, Holzkohle/schwarze Pflanzenreste, rötliches schmutzig braun
			29/10	164-180	Holzkohle/schwarze Pflanzenreste, rötliches schmutzig braun
		aM	29/11	180-200	feinsandiger Lehm, vereinzelt Kalkbruchstückchen, kaum noch Pflanzenreste, rotbraun, 29/12 sehr kompakt
			29/12	200-216	Pflanzenreste, rotbraun, 29/12 sehr kompakt
216-245	III	aIC	29/13	216-231	deutlicher Wechsel:
			29/14	231-245	Mittelsand mit Kalkbruchstückchen, eingeschlammter Lehm/Ton, dunkelrotbraun
245-300	IV	aIC			Wechsel zu:
			29/15	245-266	Grobsand mit Grus, Wechsellagen von mehr sandigen und mehr grobskeletthaltigen Bereichen (bei 150, 163, 186 cm), schmutzig braun
			29/16	266-279	grob-skeletthaltigen Bereichen (bei 150, 163, 186 cm), schmutzig braun
			29/17	279-300	braun
300-445	V	aIC	29/19	300-324	Mittel-Grobsand, etwas Grus, rötlich schmutzig braun
			29/20	324-340	Mittel-Grobsand, Farbe wie 29/19
			29/21	340-360	Grobsand mit Grus (mehr Mittelgrus als 29/19; Quarze, schwarze runde Körnchen/Kügelchen = Schlacke?)
		aIC	29/22	360-373	Mittel bis Grobsand, etwas gröber als 29/20, sandfarben
		aIC	29/23	373-406	Grobsand mit Grus, auch größere Skelettbruchstücke (Kalk), Quarze, schwarze Körnchen, Farbe heterogen, dunkelrötlich bis schmutzig braun
445-460	VI	aIC	29/24	406-445	v.a. Grobskelett (Kalk u.a.) mit eingeschlammtem Mittelsand
460-465	VII	aM-ICv	29/25	445-460	Schutt mit sandigem Lehm, braun, sehr kompakt
		ICv	29/26	460-465	angewitterter Kalkschutt, ockerfarben

## Bemerkungen:

Grundwasserstand bei Bohrung: etwa 80 cm unter Geländeoberfläche häufig vernässt

**Profil-Nr.: 6637-30**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, östlich der Vils, unterhalb des Teiches

Aufnahmedatum: 26.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494918 H: 5467938

Höhe über NN: 366,7 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung	<sup>14</sup> C-Dat. (cal. 2 sigma)
1-71		Ah (Ap)	30/1	1-18	schluffiger Lehm (Lu), gut durchwurzelt, viele Feinwurzeln, dunkelbraun, mittel kompakt	
		aGo-Ah	30/2	18-28	schluffiger Lehm, noch durchwurzelt, Farbe von dunkelbraun übergehend in braun mit rostroten oxidativen Partien, mittel kompakt, Übergangsbereich	
		aGo	30/3 30/4	28-44 44-60	tonig bis schluffiger Lehm (Lu), sehr wenig schwarze Pflanzenreste/Holzkohle, braun, rostrote und wenige graue Partien	
71-140	II	aGor	30/5 30/6	60-71 71-88	30/5: Übergangsbereich, Zunahme von Feinsand (Ls3) lehmiger Sand (Sl4), grau mit einzelnen rostbraunen Partien	
		aM	30/7	88-100	schluffiger Lehm, aber auch stark tonige Sand-Partien, feucht, gut formbar	
		aM-aGr	30/8 30/9	100-121 121-140	feinsandig-lehmig (Sl4), gräulich braun Zunahme von Schluff und Ton (Ls2), schwarze Pflanzenreste, gräulich braun	
140-243	III	aGr	30/10 30/11 30/12 30/13 30/14 30/15 30/16	140-155 155-170 170-185 185-200 200-215 215-230 230-243	schluffiger Lehm bis schluffiger Ton (Lu bis Tu4), Holzkohle bzw. Pflanzenreste, grau-braun, deutlich grauer nach unten	
243-283	IV	aGr	30/17	243-258	schluffiger Lehm, blau-grau	
		aGhr	30/18	258-267	30/18: dunkel blau-grau, hoher Humusanteil	
		aGhr	30/19	267-283	blau-grau	
283-340	V (Wech- sellager- ung)	aGhr	30/20	283-291	lehmiger Ton, schwarz-grau, viel Humus	
		aGhr	30/21	291-300	lehmiger Sand, Quarze, schwarz-grau	
		aGr	30/22	300-308	lehmiger Ton, blau-grau	
		aM	30/23	308-311	Sandband (lehmiger Sand), braun	
		aGr	30/24	311-325	toniger Lehm, vereinzelt Holzkohle, grau-braun, sehr weich	AD 760-980
		aGhr	30/25	325-340	sandig toniger Lehm, Makroreste, humos, schwarz-grau, weich	
340-358	VI	aGr-aM	30/26	340-358	deutlicher Wechsel: lehmiger Sand (v.a. Mittelsand), vereinzelt Grus, grau-braun, teilweise fehlt Bohrgut	
358-373	VII	fAh°Gr	30/27	358-373	schluffiger Lehm (Lu), vereinzelt Makroreste, humos, schwarz	AD 1025-1225
373-391	VIII	aIC	30/28	373-391	deutlicher Wechsel: Grobsand (Quarze u.a.) mit Grus, Kalkbruchstücke, kalkhaltig	
391-412	IX	fAh°Gr	30/29	391-412	deutlicher Wechsel: schluffiger Lehm (Lu), vergleichbar mit 30/27, vereinzelt Makroreste, schwarz-braun	
412-463	X	aIC	30/30	412-441	Grobsand, Grus, große Skelettbruchstücke, grau, kalkhaltig	
		aIC	30/31	441-463	Schutt: Mittel-Grobkies und Grus, gelblich braun, kalkhaltig	
463-470	XI	Cv	30/32	463-470	angewitterter Kalkschutt, ocker gelb, stark kalkhaltig	

Bemerkungen:

0-100 cm: kalkfrei

**Profil-Nr.: 6637-31**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, östlich der Vils, Catena Frauengarten

Aufnahmedatum: 26.08.02

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494860 H: 5467490

Höhe über NN: 364,6 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung	<sup>14</sup> C-Dat. (cal. 2 sigma)
1-67		aAp	31/1	1-17	schwach sandiger Lehm, Quarzkörner, durchwurzelt, viele Feinwurzeln, humos, dunkelbraun, kalkhaltig	
		aGo-aAp	31/2	17-29	schwach sandiger Lehm, dunkelbraun mit dunkel rostrotbraunen Partien (oxidativ), Übergangsbereich	
		aGo	31/3	29-50	sandiger Lehm, Holzkohle, braun, aber geprägt durch rostrotbraune Partien, grauen Flecken, kalkhaltig	
		aGro	31/4	50-67	sandig-toniger Lehm, Holzkohle, Zunahme reduzierter (grauer) Bereiche, feuchter	
67-204	II	aGor	31/5	67-81	lehmiger Sand, starke Zunahme der Trennung von oxidativen und reduktiven Partien (rostrotbraun und grau)	
		aGor	31/6	81-100	lehmiger Sand, v.a. Mittelsand, grau, rostrotbraune Bereiche	
			-	100-123	kein Bohrgut	
			31/7	123-140	schwach lehmiger Sand, braun, vermutlich nachgestürzt	
		aGr	31/8	140-159	lehmiger Sand, kleinere schwarze Pflanzenreste, grau	
			31/9	159-175	lehmiger Sand, feinerer Sand als 31/8, graubraun	
			31/10	175-191	stark lehmiger Sand, graubraun, kalkhaltig	
		aM-aGr	31/11	191-204	stärkere Trennung von sandigen und lehmigen Bereichen, Sand: braun, Lehm: grau	
204-223	III	aGr	31/12	204-223	schwach sandiger Lehm, Holzkohle, grau	
223-280	IV	aGr	31/13	223-244	lehmiger Sand, größere und gröbere Sandanteile als z.B. 31/9, einzelne Kiese, Holzkohle, grau, kalkhaltig	
		aM-aGr	31/14	244-265	lehmige und sandige Bereiche eng vergesellschaftet, grau, sandige Bereiche: braun	
			31/15	265-280	siehe 31/14	AD 1020-1224 Spät-MA
280-283	V	aIC	31/16	280-283	Sandband, Mittel-Grobsand	
283-429	VI	aGr	31/17	283-300	sandig-toniger Lehm, braun-grau	
		aM-aGr	31/18	300-329	Wechselagerung von lehmigem Sand und sandigem Lehm, grau-braun, sehr weich, sehr „klebrig“, kalkhaltig	
		aGr	31/19	329-349	schluffiger bis toniger Lehm, Tongehalt nach unten	
			31/20	349-369	zunehmend, vereinzelt Holzkohle, graubraun, insbes.	
			31/21	369-389	20 und 21 kalkhaltig	
			31/22	389-409		
			31/23	409-429	31/23: einzelne Kiese	
429-431	VII	aIC	31/24	429-431	Feinsand, rostrotbraun	
431-442	VIII	aIC	31/25	431-442	Grobsand mit Feingrus, sandfarben, etwas bleich, kalkhaltig	
442-500	IX	Cv-aIC	31/26	442-460	Mittel- Grobsand mit Schutt (Kalk, schwarze	
			31/27	460-480	Bruchstücke), rötlich braun, kalkhaltig	
			31/28	480-500		

## Bemerkungen:

300-500cm: kalkhaltig

**Profil-Nr.: 6637-32**

Ortsangabe: Leidersdorf, Rand der Streuobstwiese

Aufnahmedatum: 24.03.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494900 H: 5468254

Höhe über NN: 362,8 m

Neigung: sehr schwach geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Streuobstwiese

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-34		aAp	32/1	1-18	schwach toniger Lehm (Lt2), sehr wenig Grobskelett, mittel bis stark humos (h3-h4), stark durchwurzelt (w3-w4), dunkelbraun, schwach kalkhaltig, mittel kompakt
		aGo-Ap	32/2	18-34	Übergangshorizont, Lt2, einzelne Wurzeln, dunkelbraun bis braun, rostrote Fe-Ausfällungen, sehr kompakt, einzelne Holzkohle
34-80	II	aM	32/3	34-51	stark toniger Lehm (Lt3 oder Tu2), braun, kalkfrei, Holzkohle, bei 67-72 großen Kalkstein erbohrt
			32/4	51-80	
80-123	III	aGr-aM	32/5	80-100	schluffiger Ton (Tu), grau-braun, minimal Kalk, weicher
			32/6	100-110	siehe 32/5, Makroreste, kalkfrei
			32/7	110-123	Übergangshorizont, Lt2, graubraun bis hellbraun, Holzkohle, kalkfrei, reduziert
123-150	IV	aM	32/8	123-150	sandig toniger Lehm, sattes braun, kalkfrei, mäßig kompakt bis weich
150-226	V	aGr	32/9	150-172	toniger Lehm, vereinzelt Grobskelett (Kalkbruchstücke), dunkel-graubraun, Holzkohle
			32/10	172-198	
			32/11	198-226	
226-337	VI	aGr	32/12	226-245	feinsandiger Lehm, graubraun, Makroreste, Holzkohle
			32/13	245-261	mittelsandiger Lehm, graubraun, vereinzelt Makroreste, mäßig kompakt
		aGr	32/14	261-278	lehmiger Sand, blaugrau, reduziert
		fGro	32/15	278-300	sandiger Lehm, blaugrau, Eisenausfällungen, reduziert und oxidiert, sehr kompakt
			32/16	300-315	Fortführung 32/15, Nachsturz oberhalb verworfen, sandiger Lehm, blaugrau, rostrotbraune Ausfällungen, Makroreste, kalkfrei
		aGr	32/17	315-337	Lehm, einzelne Kiese, blaugrau, wenige Oxidationsbereiche, große Makroreste, kalkfrei
337-365	VII	alC	32/18	337-347	grobsandig-grusig, eingeschlammter Feinboden, braun, großer Makroreste, kalkhaltig
			-	347-365	kein Bohrgut
365-395	VIII	alC	32/19	365-383	Grobsand – Grus/Kies, nach unten zunehmend große Steine, kalkhaltig
			32/20	383-395	Grobsand, einzelne große Skelettstücke, rostrotbraun, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-33**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, zwischen Streuobstwiese und vorhandenem Teich, ehem. Teich/Altwasser

Aufnahmedatum: 24.03.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494923 H: 5468210

Höhe über NN: 364,2 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: anthropogene Verfüllung eines ehem. Teiches

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-26		Ah			wie bei Profil 32, dunkelbraun
26-40	II	yIC-aM			Lehm, Ziegelbruchstücke, braun, Übergangsbereich
40-80	III	aGhr+jyC	33/1	40-80	Grobsand, Ziegelbruchstücke, helle große Gesteinsbruchstücke, glänzend brillant schwarz, auch wenige hellbraune Bereiche, locker, Holzkohle, kalkhaltig => anthropogene Auffüllung

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-34**

Ortsangabe: Leidersdorf, Rand der Streuobstwiese

Aufnahmedatum: 25.03.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494925 H: 5468258

Höhe über NN: 364,9 m

Neigung: sehr schwach geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Streuobstwiese

Bodentyp: Vega-Gley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-59		aAp	34/1	1-25	schluffiger Lehm (Lu), schwach skeletthaltig, stark humos, stark durchwurzelt, dunkelbraun – schwarz, schwach carbonathaltig, mittel kompakt
		aM-Go	34/2	25-59	schwach toniger Lehm, einzelne Ziegelstücke, einzelne Wurzeln und Makroreste, braun, rostrotbraune Fe-Ausfällungen, Mn-Konkretionen, schwach carbonathaltig, Holzkohle
59-206	II	aGr-aM	34/3	59-79	mittel schluffiger Ton, gräulich braun, Fe- und Mn-Ausfällungen, kalkfrei, Holzkohle
			34/4	79-100	Fortführung von 34/4, etwas gestaucht
		aGr	34/5	100-128	Fortführung von 34/4, etwas gestaucht
			34/6	128-154	schwach schluffiger Ton, einzelne Steine, grau, vereinzelt
			34/7	154-177	Holzkohle/Makroreste, Scherbe, kalkfrei
			34/8	177-206	
206-344	III	aM	34/9	206-237	starker Wechsel zu Sand (Übergangsbereich aber fließend): lehmiger Sand, fahles graubraun mit einzelnen rötlichen Bereichen, kalkfrei
			-	237-249	Übergangsbereich zwischen 34/9 und 34/10
		aM	34/10	249-270	lehmiger Sand, unterschiedliche Rottöne, changierend (rotbraun, fahlbraun, rosa)
		aIC	34/11	270-300	Sand (Fein und Mittelsand), beide kalkfrei
			-	300-320	zu verwerfen, Fremdmaterial
344	IV	aM	z.w.M	320-344	Fortführung von 34/11, z.T. Verlust von Sediment
344-364	V	aM	z.w.M	344	fahles Lehmband
364-380	VI	aIC	34/12	344-364	Sand (Mittelsand), rostrotbraun, nach unten fahler, kalkfrei
		aIC-ICv	34/13	364-380	Kalkschutt mit Grobsand und Grus, rostrotbraun, übergehend in gelblich braunen Kalkschutt, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-35**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, westlich der Vils, gegenüber dem Teich

Aufnahmedatum: 25.03.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494860 H: 5468078

Höhe über NN: 364,5 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-100		aAp	35/1	1-29	Lehm, einzelne kleine Kalkbruchstückchen, stark humos, starke Durchwurzelung, dunkelbraun – schwarz, carbonatarm, Holzkohle, sehr kompakt
		gyC-Ap	35/2	29-42	Übergangsbereich, wie 35/1, aber skelettreich (Ziegelbruchstücke, Kalkbruchstücke, versch. Bruchstücke), carbonatarm
		aM	35/3	42-72	toniger Lehm, Kalk/Ziegelstückchen, Schlackestücke, sattes braun, vereinzelt leichte Fe/Mn-Ausfällungen, Holzkohle/Makroreste, carbonatfrei, mittel kompakt
			35/4	72-100	verkohltes Holzstück, vermischt mit 35/6
100-121	II	aGhr	35/5	100-121	Lehm, fahles braun-grau, nach unten rötlicher, Holzkohle, carbonatfrei, mäßig kompakt
121-189	III	aGr	35/6	121-147	35/8 Übergangsbereich
		aM	35/7	147-166	Wechsel zu Feinsand, Wechsellagerungen von lehmig-tonigen (fahles graubraun) zu sandigen (rot) Bereichen, Holzkohle, carbonatfrei
			35/8	166-189	lehmiger Feinsand, rostrotbraun, carbonatfrei
189-236	IV (Wechsel-lagerungen)	aM	35/9	189-220	Feinboden oben wie 35/10, unten toniger (wie 35/12), stark skeletthaltig, Kiesel, Kalkbruchstücke
236-244	V	aM-aIC	35/10	220-236	schluffiger Ton, rötliches braun, Holzkohle und Mn-Konkretionen, carbonatfrei
244-256	VI	aM?	35/11	236-244	Verwürgungen, geht von Material 35/12 über in ockerfarbenen Kalkschutt, skelettreich, carbonathaltig
256-285	VII	Cv	35/12	244-256	
			35/13	256-285	

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-36**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, 30 m  
Punkt der Radarlinie 5

Aufnahmedatum: 27.03.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494733 H: 5467720

Höhe über NN: 370 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker, Raps-Jungwuchs

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-45		IC-Ap	36/1	1-45	schluffiger Lehm (Lu), viel Grobskelett (Kalkbruchstücke, teilw. Dolomit), stark humos, Stroh- und Wurzelreste, dunkelbraun, schwach carbonathaltig, ziemlich kompakt
45-189	II	IC-M	36/2	45-69	Übergangsbereich, lehmiger Sand, mit z.T. stärker lehmigen Bereichen, starke Zunahme von Schutt, humose Teilbereiche, carbonatreich
			36/3	69-100	lehmiger Sand, Grobsand, Grus, braun, carbonatreich
			-	100-154	leer
			36/4	154-189	sandiger Lehm, mit vielen Bruchstücken (Kalk u.a.), sattes braun, carbonatreich, sehr kompakt
189-265	III	M	36/5	189-201	toniger Schluff, schmutzig braun, carbonatfrei
			36/6	201-223	toniger Schluff, nur noch vereinzelt Kalkbruchstücke, rötliches braun, carbonatfrei (36/6 noch eher wie 36/5)
			36/7	223-243	
			36/8	243-265	
265-278	IV	IC-M	36/9	265-278	toniger Schluff mit Grus, viele Kalkbruchstücke, schmutziges rotbraun, Feinboden carbonatfrei (Übergangsbereich)
278-372	V	IC-M	36/10	278-300	sandiger Lehm, viel Schutt (überwiegend Kalk), dunkelrotbraun, carbonathaltig
			-	300-350	kein Bohrgut/leer
			-	350-372	zu verwerfen
372-500	VI (Wechsel-lagerung)	M	36/11	372-398	toniger Schluff, dunkelrotbraun, relativ carbonatarm
			36/12	398-419	etwa wie 36/11, kalkhaltig
			36/13	419-433	sandiger, braun, kalkhaltig
			36/14	433-450	toniger Schluff, braun, kalkhaltig
			36/15	450-481	sandiger Lehm, kalkhaltig
			36/16	481-500	toniger Schluff, Feinboden carbonatfrei
					36/11 – 36/16: überall viel Skelett (v.a. Kalkbruchstücke)

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-37**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, seitlich des Erosionssystems

Aufnahmedatum: 27.05.03

Aufschlussart: Schürfgrube

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494400 H: 5468680

Höhe über NN: 393,8 m

Neigung: mittel geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Fichtenforst mit Unterwuchs aus Sauerklee, Moos u. Farnen

Bodentyp: Braunerde-Rendzina

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-11		Ah		0-2	toniger Lehm, humos, durchwurzelt, schwarz bis schmutzig braun, kalkfrei
		Bv-cCv			z.T. schmaler brauner Übergangsbereich zum Cv, der Grus enthält
11-23	II	cCv			Blöcke, z.T. angewittert, verwittern zu Sand, hellbraun, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-38**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Erosionssystem, Seitenbereich eines hoch gelegenen Hohlweges

Aufnahmedatum: 27.05.03

Aufschlussart: Schürfgrube

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494407 H: 5468706

Höhe über NN: 382,4 m

Neigung: mittel geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Fichtenforst

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-2		Ah	-	0-2	überwiegend Schluff, schwarz, kalkfrei
2-37		Ah-M	-	2-37	schwach toniger Lehm, größere und kleinere Steine, sehr viele Wurzeln, Wurmlosungen, schmutzig braun, locker, kalkfrei
37-82		M	-	37-82	schwach toniger Lehm, einzelne Steine, rötliches braun, weniger kompakt als Profil 40, viel weniger Holzkohle als bei Profil 40, kalkfrei

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-39**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Erosionssystem, Haupttiefenlinie

Aufnahmedatum: 27.05.03

Aufschlussart: Schürfgrube

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494400 H: 5468722

Höhe über NN: 379,7 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Fichtenforst mit krautigem Unterwuchs

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-9		Auflage		1-3	farnartiges Moos, übergehend in Moder
		Ah	-	3-9	lehmiger Schluff, Steine, gut durchwurzelt, dunkelbraun
9-80	II	M-C	-	9-80	lehmiger Schluff (9-33), ab 34cm zunehmend Grobskelett, auch sehr große Steine bis zu Blöcken, Grus, sowie nach unten übergehend zu schwach sandigem Lehm, ziegelfarbene Bruchstücke, braun, Holzkohle, carbonatfrei

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-40**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Erosionssystem, Mittelrippe zwischen zwei Erosionsrinnen

Aufnahmedatum: 27.05.03

Aufschlussart: Schürfgrube

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494394 H: 5468734

Höhe über NN: 381,3 m

Neigung: mittel geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Fichten/Buchen mit krautigem Unterwuchs

Bodentyp: Kolluvisol mit beginnender Lessivierung

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
0-2		Ah			moosige Auflage z.T. kaum vorhandener Ah, schwarz, gut durchwurzelt, krümelig, nicht gleichförmig, dort wo der Ah stärker ausgebildet ist, bis zu 20 cm Lessivierungserscheinungen (fahlbraun)
2-117		M			schwach toniger Lehm, sowohl helle als auch ziegelrotfarbene Bruchstücke, vereinzelt große Steine, vereinzelt große Wurzeln, braun bis rötlich braun, viel Holzkohle, kompakt, obere Bereiche etwas lockerer, Feinboden im ganzen Profil carbonatfrei

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-41**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, oberer Teil des kleinen Schwemmfächers, Scheitel

Aufnahmedatum: 16.05.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494475 H: 5468760

Höhe über NN: 373,0 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-100		Ap	41/1	1-25	Lu, versch. Skelettbruchstücke, durchwurzelt, dunkelbraun, sehr kompakt, kalkfrei, recht trocken
			41/2	25-41	Übergangsbereich, Lu, viel Skelett, dunkelbraun bis sattes braun, kalkfrei
		M	41/3	41-70	schluffiger Lehm, etwas toniger, nur noch vereinzelt kleine, helle Bruchstücke, rotbraun, Holzkohle, Mn, kompakt, kalkfrei
100-196	II		41/4	70-100	verwürgt, verworfen
		IC-M	-	100-140	Lu, sehr viel Skelett (u.a. Kalk, Dolomit), rötlich braun, Mn, Feinboden kalkfrei
			41/5	140-163	
196-377	III	M	41/6	163-196	
			41/7	196-225	vergleichbar mit oberhalb, aber Feinsandanteil zunehmend, schwach sandiger Lehm
			41/8	225-245	
			41/9	245-278	
			41/10	278-300	
				300-347	kein Bohrgut
			41/11	347-377	Fortführung von 41/10
377-472	IV	M	41/12	377-399	schwach sandiger Lehm, vereinzelt Skelettbruchstücke (kalkhaltig), rötliches braun bis sattes braun, Feinboden kalkfrei
			41/13	399-421	
			41/14	421-444	
			41/15	444-472	
472-475	V	fAh-M	41/16	472-475	humose Zwischenlage, schwarzbraun
475-500	VI	M	41/17	475-500	toniger Schluff
500-700	VII		-	500-544	verwürgt, verworfen
		M	41/18	544-570	schwach sandiger Lehm, braun
			41/19	570-610	schwach feinsandiger Lehm, leicht schmutzig braun
			41/20	610-641	schwach feinsandiger Lehm, Kalkbruchstücke, schmutzig braun, schwarze Schlieren
			41/21	641-663	wie 41/20, aber deutlich mehr Grobskelett
			41/22	663-700	schwach toniger Lehm, z.T. Skelett, rötlich braun
					41/18-41/22: Feinboden kalkfrei, überall Mn-Konkretionen

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-42**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, oberer Teil des kleinen Schwemmfächers, seitlich Scheitel

Aufnahmedatum: 16.05.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494459 H: 5468787

Höhe über NN: 372,5 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-163		Ap		1-20	Lu, einzelne Skelettbruchstücke, durchwurzelt, humos, dunkelbraun, kalkfrei
				20-47	Lu, viel Skelett, sattes braun, Feinboden kalkfrei
		M		47-66	Lu, nur nach unten Zunahme von Skelett, rotbraun
		M		66-100	Lu, viel Skelett, warmes braun, kalkhaltig
				100-131	kein Bohrgut (komprimiert)
		M		131-163	Fortführung von 66-100, sehr kompakt
163-363	II	M		163-300	schwach feinsandiger Lehm, z. T. stärker sandige Bereiche dazwischen (lehmiger Sand), nur vereinzelt Skelettbruchstücke, sattes braun, Mn-Ausfällungen, kalkhaltig
				300-363	kein Bohrgut
363-544	III	M		363-500	Wechselagerungen von Feinboden (mal mehr tonig, mal mehr sandiger Lehm) und Schutt/Grus (sowohl Sandstein, als auch Kalk und Dolomit), kalkhaltig
				500-524	kein Bohrgut
		M		524-544	Fortführung von Schutt/Grus mit Feinboden
544-700	IV	M		544-700	lehmiger Schluff, teilweise Feinsand, nur vereinzelt Grobskelett in Form von Steinen, braun, ab 644cm fahler und toniger, braun, Mn-Ausfällungen, überwiegend kalkfrei

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-43**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena kleiner Schwemmfächer, Aue

Aufnahmedatum: 28.05.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494605 H: 5468858

Höhe über NN: 364,9 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-117		aAh	43/1	1-17	schluffiger Lehm, stark durchwurzelt, humos, schmutziges dunkles braun, schlecht ausgeprägt, carbonatfrei
		aAh-aGr	43/2	17-29	schluffiger Lehm, Wurzeln/Makroreste, graubraun
		aGhr	43/3	29-34	verrottetes Holz, schwarz
		aGro	43/4	34-58	schluffiger Ton (Tu3), durchwurzelt, grau mit Oxidationsbereichen, Makroreste, kalkfrei
			43/5	58-81	blaugrau und braun, Makroreste
			43/6	81-100	schluffiger Lehm, durchwurzelt, dunkelgrau, Makroreste, Abnahme Oxidationsbereich
		aGor	43/7	100-117	stark toniger Lehm bis lehmiger Ton, fahles hellbraun, nur noch vereinzelt kleine Makroreste
117-270	II (Wechsel-lagerung)	aM	43/8	117-148	sandig-toniger Lehm, weiße große Kalkbruchstücke, schmutzig graubraun, vereinzelt Makroreste
		aGr-aM	43/9	148-177	sandiger Schluff, weiße recht große Kalkbruchstücke, dunkelgraubraun, einzelne Makroreste, kalkfrei, in 43/11 kaum Steine
		aGr-aM	43/10	177-198	sandiger Lehm, hellbraun
		aM	43/12	221-240	vergleichbar zu 177-221, dunkel graubraun, kalkfrei
		aGr-aM	43/13	240-248	stark lehmiger und toniger Sand, langsam von fahlem braun in hellrötliches braun übergehend
		aM	43/14	248-270	viel Grus, Grobsand und Grobskelett (Steine), Feinboden lehmig-schluffig, hell rotbraun
270-312	III	aIC	43/15	270-300	Versturz
312-319	IV	aM	43/16	312-319	feinsandiger Lehm, rotbraun, klebrig
319-348	V	aIC	43/17	319-335	viel Grobsand und Grus, Feinboden mehr Schluff/Ton, klebrig, dunkel rotbraun, ähnlich 43/15 aber kalkhaltig (bis dahin Profil kalkfrei)
		aIC	43/18	335-348	deutlich weniger Feinboden, viel Grobsand und Grus, hell braunrot, kalkhaltig
348-390	VI	Cv+aIC	43/19	348-390	Schutt, viele versch. Steine, vermischt mit lehmigem Grobsand bis Grus, viele Kalkbruchstücke, rotbraun, kalkhaltig

## Bemerkungen:

43/17a = 18

43/17b = 17

**Profil-Nr.: 6637-44**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena kleiner Schwemmfächer, Aue

Aufnahmedatum: 2.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494580 H: 5468842

Höhe über NN: 364,5 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese/Hochstaudenflur

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-123		aAh	44/1	1-36	schluffiger Lehm, sehr stark durchwurzelt, humos, dunkel graubraun, kleine Oxidationsflecken, kalkhaltig (leichtes aufbrausen)
		aGho	44/2	36-53	schluffiger Lehm, grau, starke rostrote Oxidationsflecken (Fe), schwarze Mn-Ausfällungen, carbonatfrei
		aGhor	44/3	53-74	schluffiger Ton, blaugrau, kleinste Fe- und Mn-Ausfällungen, Makroreste, kalkfrei
		aGor	44/4	74-100	Fortführung von 44/4
			44/5	100-123	
123-194	II	aGr	44/6	123-147	stark toniger Schluff, teils Sand (Fein- bis Mittelsand) eingelagert, graubraun, kein Fe/Mn, kleinste Makrorestchen
			44/7	147-168	
			44/8	168-194	
194-209	III	aGr	44/9	194-209	stark lehmiger Sand, grau schwarz, Übergangsbereich
209-224	IV	aIC	44/10	209-224	Mittel- bis Grobsand (SI3), schmutziges rötliches braun
224-245	V	aIC	44/11	224-245	viele Steine, dazwischen Grobsand und Grus, braun-orange
245-266	VI	aM-aIC	44/12	245-266	stark lehmiger Fein- bis Mittelsand, braun-orange
266-300	VII	aM	44/13	266-300	Wechselagerungen von schluffigem Ton (grau) und Feinsand, wahrscheinlich laminar geschichtet, aber durch Bohrung gestört, einzelne schwarze Steine (Schlacken?), etwa von 285-300 cm Bohrgut fehlend
300-346	VIII	aIC	44/14	300-315	viel Skelett, braun bis braun-orange
		aIC	44/15	315-334	Grobsand, kupfer bis sandfarben, kalkhaltig
		aIC	44/16	334-346	Grobsand, große Kalkbruchstücke, beige bis sandfarben, kalkhaltig
346-395	IX	aIC	44/17	346-354	Fein- bis Mittelsand, hellbraun und sandfarben, kalkhaltig
			-	354-395	kein Bohrgut

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-45**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, östliches Vilsufer, nahe Halde (Erdaushub)

Aufnahmedatum: 03.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494263 H: 5469573

Höhe über NN: 365,0 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung		
1-75		Ah aM-aGo	45/1	1-21	gut durchwurzelt, dunkelbraun, relativ stark kalkhaltig		
			45/2	21-46	lehmgiger Sand (Sl), graubraun, kalkhaltig		
			45/3	46-75	Wechsellagerungen von Ls4 bis Sl, graubraun, kalkfrei		
75-195	II	aGr	45/4	75-100	beide: Fe/Mn-Ausfällungen, kaum Makroreste Ts4, blaugrau bis oliv, Makroreste, kalkfrei		
			45/5	100-125	Fortführung von 45/4, Ts4 (Mittelsand), blaugrau, vereinzelt		
			45/6	125-150	Makroreste, mit der Tiefe zunehmend, Proben 5-7 kalkfrei, Probe		
			45/7	150-175	8 minimal kalkhaltig		
			45/8	175-195			
195-227	III	aGr	45/9	195-211	stark lehmiger Feinsand, bräunlich grau, viele Makroreste		
227-260	IV	alC-aGhr	45/10	211-227	Mittel- bis Grobsand mit tonig-lehmigen Wechsellagerungen		
			45/11	227-260	Grobsand, 240-258cm Schuttbereich (v.a. Dolomit), braun, Makroreste, z.T. brillant schwarz ölig glänzend, minimal Kalk durch Kalkrestchen		
260-283	V	aGhr aM-aGr	45/12	260-270	Ton-Sand-Wechsellagerungen, grau, sehr große Makroreste, z.T. braun		
			45/13	270-283	Mittelsand, graubraun, 270-280 ohne Makroreste, 280-283 Makroreste		
283-375	VI	alC  alC	45/14	283-285	Fein- bis Mittelsand, dunkel rostrotbraun		
			45/15	285-289	Fein- bis Mittelsand, sandfarben		
			-	289-300	kein Bohrgut (Verlust)		
				300-310	Mittel- bis Grobsand		
				310-324	Grobsand mit Grus		
				324-338	feiner		
				338-360	Grobsand mit Grus		
				360-375	Feinsand => mittel braun bis rostig braun („bunt“), nach unten abnehmend, dort eher sandfarben, durch Kalkbruchstücke kalkhaltig		
				Proben	45/16 45/17	300-350 350-375	
			375-418	VII (Wechsellagerung)	aM aGhr	45/18	375-384
45/19	384-395	Übergangsbereich von schluffig-tonig zu Sanden, Skelettbruchstücke, dunkelbraun, schwarze Kapseln* (in 18, 19 und 20, Maximum in 19)					
418-530	VIII	aGhr aGhr alC alC	45/20	395-410	lehmgiger Sand (Feinsand), dunkel graubraun		
			45/21	410-418	toniger Schluff, dunkel graubraun		
			45/22	418-439	Mittelsand, einzelne große Steine, rostrotbraun		
			45/23	439-450	Sand, braun-orange		
530-544	IX	alC	45/24	ca. 450-500	Mischprobe aus Verstoß (ca. 85cm), bestehend aus Grob- bis Mittelsand, gegen Ende Zunahme von Skelettbruchstücken (u.a. Kalk), dunkles braun-orange		
			45/25	500-530	Fortführung von 45/24		
			45/26	530-544	feine Schichtung von leuchtend orangefarbenen Sanden (Fein- bis Mittelsand) und grauen lehmig-tonigen Sanden		
544-580	X	alC	45/27	544-580	Grobsand und Grus, kantige Kalkbruchstücke, Steine (schwarz), Feinboden schmutzig braun-orange bis braungrau		

Bemerkungen:

\* Es handelt sich um Teichrosenkapseln.

**Profil-Nr.: 6637-46**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, nahe Catena Wolfsbach, Niederfeld, zwischen Weg und Vils

Aufnahmedatum: 11.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494355 H: 5469170

Höhe über NN: 364,2 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese/Hochstaudenflur

Bodentyp: Vega-Gley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-46		aAh aAh-aGo	46/1 46/2	1-33 33-46	Ls4, gut durchwurzelt, dunkelbraun, kalkfrei, sehr trocken Ls4, braun, Fe- und Mn-Ausfällungen, schwach kalkhaltig, Übergangsbereich
46-150	II	aGo [aM]	46/3 46/4 - -	46-75 75-100 100-136 136-150	feinsandiger Ton, bisschen lagig, viele Fe- und Mn-Konkretionen, fahles braun mit rostroten Fe-Ausfällungen, schwach kalkhaltig kein Bohrgut nicht einordbar, z.T. verwürgt, lehmig-tonig, dunkelbraun bis graubraun
150-183	III	aM	46/5	150-183	Su4, etwas Grus, gegen Ende einzelne Kiese und Skelettbruchstücke, sandfarben, schwach carbonathaltig, anthropogene Einflüsse?
183-190	IV	aM	46/6	183-190	Tu3, fahles graubraun, schwach carbonathaltig
190-239	V	aIC aM-aIC	46/7 46/8 46/9	190-202 202-220 220-239	SI/St (Grobsand, „klebrig“), sandfarben, schwach carbonathaltig Grobsand, Grus, „klebrig“, viel Grobskelett, i.d.R. Steine, sandfarben, etwas mehr Kalk Übergangsbereich, SI, Mischbereich aus 46/8 und 46/10, vereinzelt Skelettbruchstücke, von sandfarben in grau übergehend => z.T. gestört (v.a. 46/5, 46/6), humoses, dunkelbraunes Oberbodenmaterial mit grünen Pflanzenanteilen in oder unter den sandfarbenen Bereichen
239-300	VI	aGr-aM	46/10 46/11 46/12	239-255 255-275 275-300	Tu, ab und zu etwas Feinstsand, bräunlich grau
300-390	VII	aM-aGr	46/13 46/14	300-350 350-390	tonig-schluffiger Lehm, etwas Grus, einzelne Kiese und Skelettbruchstücke, blaugrau, feucht, gestört?
390-456	VIII	aIC-aGr aIC	46/15 46/16	390-428 428-456	SI bis Grus, überwiegend Mittelsand, Skelettbruchstücke (z.B. Kalk), überwiegend grau, Makroreste SI bis Grus, überwiegend Grobsand, schwarze Steine, schmutzig braun bis „bunt“, Makroreste => heterogener Bereich, kalkhaltig
456-473	IX	aIC	46/17 46/18	456-464 464-473	Grobsand, Grus, sehr viel Skelett, orange, kalkhaltig Grobsand, Grus, sehr viel Skelett, rötliches schokobraun, kalkhaltig
473-500	X	Cv	46/19 46/20	473-487 487-500	Lt, sehr viel Skelett, ocker, stark kalkhaltig angewitterter Kalkschutt: Lt, sehr viel Skelett, hellgrau bis beige, sehr stark kalkhaltig

Bemerkungen:  
vermutlich gestört

**Profil-Nr.: 6637-47**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, auf Höhe des letzten Hauses, westliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 12.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494213 H: 5469468

Höhe über NN: 364,5 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland/Mähwiese

Bodentyp: Vega-Gley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-80		aAp	47/1	1-20	Lu, gut durchwurzelt, humos, dunkelbraun, trocken, krümelig aber kompakt
			47/2	20-41	Lu, braun, Holzkohle, fließender Übergang
		aM-aGo	47/3	41-64	Lt, Feinwurzeln, rötlich braun, viel Mn, kein Fe, Go schwach ausgeprägt
			47/4	64-80	Lt, minimal Grus, kleine Kalkbruchstücke, rötlich braun bis gräulich braun, kleine Makroreste, Übergangsbereich zu Gr
80-163	II	aGr	47/5	80-100	Ut, minimal Grus, graubraun, kleine dunkelrote Bereiche, Mn, Gr schwach ausgeprägt
			47/6	100-113	Fortführung Gr
		aGr-aM	47/7	113-143	Ut mit leicht feindsandigen (roten) Bereichen, vereinzelt Grus, grau bis orange/rötlich braun, kleine Makroreste und Holzkohle, evt. durch Verwürgung entstanden (Mischhorizont?)
		aM	47/8	143-163	z.T. Ut, z.T. St3, einzelne Skelettbruchstücke (Kalkstein), orangebraun mit grauen Flecken
163-213	III	aM	47/9	163-190	St3, Feinsand, rotbraun
			47/10	190-213	
213-300	IV	aIC			starker Wechsel: sandig-grusig mit Steinen/Grobskelettbruchstücken, schmutzig rotbraun, kalkfrei
			47/11	213-240	überwiegend Mittelsand
			47/12	240-267	240-255 Grobsand/Grus, 255-267 sehr viele Steine, evt. Schlacken, auch stärker tonige Bereiche (gräulich)
			47/13	267-300	Grobsand/Grus, „klebrig“, sehr weich
300-330	V	aM	47/14	300-330	Wechselagerung von sehr weichen schluffig-tonigen und mittelsandigen Bereichen, evt. Schichtung, aber in der Bohrung nicht mehr klar zu erkennen, 314-320 Ton, 320-xxx (Steg) Sand, fahles rotbraun, kalkhaltig
330-380	VI	ICv	47/15	330-355	angew. Kalkschutt: z.T. sehr weich, schmierig, klebrig mit
			47/16	355-380	zahlreichen, kantigen Skelettbruchstücken (Kalk), hellgrau, stark kalkhaltig

## Bemerkungen:

47/1 bis 47/10 kalkfrei

**Profil-Nr.: 6637-48**

Ortsangabe: Wolfsbach, westliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 12.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494213 H: 5469600

Höhe über NN: 364,5 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland/Mähwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-47		aAp	48/1	1-24	Lu, kleine Kalkstückchen, stark durchwurzelt, dunkelbraun bis braun, trocken
		aAp-aGro	48/2	24-47	Lt, kleine Kalkstückchen, Wurzeln, braun bis grau, Fe- und Mn-Ausfällungen, glasartige Schlacken
47-100	II	aM-aGr	48/3	47-65	Tu4, rötliches braun bis grau
		aGr	48/4	65-80	Tu4, braungrau, Makroreste (Wurzeln)
			48/5	80-100	Tu4, braungrau, Wurzeln, Holzkohle => einzelne Kalkstückchen, ganz wenig Holzkohle, kalkfrei
100-174	III	aGr	48/6	100-129	Ut mit wenigen Sand/Grusanteilen (Kalk u.a.), bräunlich grau, kl. Makroreste
			48/7	129-150	Feinboden wie oben, dunkelgrau
			48/8	150-174	Feinboden wie oben, schmutziges dunkelgrau, rostrote Flecken (nicht oxidativ), Holzkohle, Schlacken? => kalkfrei
174-250	IV	aM-aGr	48/9	174-199	Lt mit wenigen Grusstückchen, braungrau
			48/10	199-221	sandig-toniger Lehm (mehr Feinsand als 48/9), gräuliches braun
			48/11	221-250	Mischhorizont (Verzug?), Lt - Lts, blaugrau und rötlich braun (durch rote Sandkonkretionen)
250-272	V	fGro	48/12	250-262	Lt, glänzend blaugrau, dunkel rostrote Konkretionen, kalkfrei
			48/13	262-272	blaugrau, aber deutlich mehr Konkretionen (Flecken), kalkfrei
272-284	VI	aIC	48/14	272-284	SI (Feinsand), fahl, hell, „Vogelsandfarben“, kalkfrei
284-322	VII	aIC	48/15	284-296	Mittel- bis Grobsand, leicht klebrig, Steine, zahlreiche Skelettbruchstücke, schmutziges braun, kalkfrei
		aIC	48/16	296-322	Mittelsand, sandfarben, kalkfrei
322-352	VIII	aIC	48/17	322-352	Grob- und Mittelsand, Grus, Steine, Farbe wechselnd (braunorange, fahles braun, dunkelrot), kalkhaltig
352-387	IX	aIC-Cv	48/18	352-387	zu Beginn unterschiedliche, große Steine, dann vermehrt angewitterter, kantiger Kalkschutt, dazwischen Feinsand und Schluff, überwiegend hellgrau, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-49**

Ortsangabe: Wolfsbach, zwischen Wasserreservoir und Vils

Aufnahmedatum: 16.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494210 H: 5469755

Höhe über NN: 364,9 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland/Mähwiese

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-46		aAh	49/1	1-22	Ls, stark durchwurzelt, braun bis dunkelbraun, schwach kalkhaltig, sehr kompakt, krümelig
			49/2	22-46	Ls (Feinsand), braun, Stichflächen schwarz glänzend, kalkfrei, nur Kalkbruchstücke, extrem kompakt, Schlacke
46-63	II	jlC	49/3	46-63	Kalkschutt, sehr viel Skelett, weiß, stark kalkhaltig
63-104	III	aGo-aM	49/4	63-89	Lu bis Ls, sattes braun, kleine Fe- und Mn-Ausfällungen, kalkfrei, kompakt, Go-Merkmale nicht stark ausgeprägt
			49/5	89-104	Lu bis Ls, schmutziges braun, Fe- und Mn-Ausfällungen, kalkfrei
104-150	IV		-	104-134	kein Bohrgut
		aGr	49/6	134-150	Us, grau, kalkfrei, minimal Holzkohle
150-209	V	aGr	49/7	150-168	Tu3, vereinzelt Gruspartikel, grau bis braubraun, kalkfrei, weich
			49/8	168-188	
			49/9	188-209	
209-269	VI	aM	49/10	209-231	St3 (Feinstsand), graubraun, vereinzelt Makroreste, kalkfrei
			49/11	231-257	St3 bis Sl4, klebriger, mehr Schluff, vermehrt Grus, einzelne Kiese, rötlich braun, vereinzelt Makroreste, kalkfrei
		aM	49/12	257-269	Mittelsand mit Schluff und Tonanteilen (klebrig), schmutziges rotbraun, kalkfrei
269-294	VII	alC-aM	49/13	269-280	Grobsand und Grus, klebt zusammen, einzelne Kiese, schmutzig braun, kalkfrei
		alC-aM	49/14	280-294	Mittel- bis Grobsand, etwas Grus, rotbraun, kalkhaltig
294-500	VIII	alC-Cv	49/15	294-300	Kalkschutt, kantig, dazwischen Material wie 49/13, ockerfarben, stark kalkhaltig
			-	300-370	kein Bohrgut
		Cv-alC	49/16	370-407	Grobsand, Grus, große Kalkbruchstücke, braun, kalkhaltig
		Cv-alC	49/17	407-428	wie 49/16, rotbraun, stark kalkhaltig
		alC-Cv	49/18	428-453	viel Kalkschutt, dazwischen Sand und Grus, dunkelbraun
		Cv-alC	49/19	453-477	viele, unterschiedliche Steine
			-	477-500	kein Bohrgut

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-50**

Ortsangabe: Wolfsbach, zwischen Wasserreservoir und Vils

Aufnahmedatum: 16.06.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494188 H: 5469750

Höhe über NN: 363,9 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland/Mähwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-68		aAh	50/1	1-16	Lu, durchwurzelt, dunkelbraun, sehr kompakt, kalkfrei, trocken, Scherbe
		aGo-aAh	50/2	16-43	Lu, einzelne Skelettbruchstücke (Kalk), braun, feinverteilt Fe, kleinste Mn-Konkretionen, kalkfrei, extrem kompakt
			50/3	43-68	ähnlich 50/2 (Tu3), dunkelbraun 50/1-50/3: schwarzer markanter Makrorest, Hülle sehr hart, mit Knoten, Schachtelhalm?
68-151	II	aGor	50/4	68-93	Lu, fahlbraun bis grau, feinverteilt Fe (rostrot), kalkfrei
		aGr	50/5	93-100	Tu4, grau
			-	100-108	kein Bohrgut, vermutlich komprimiert
			50/6	108-127	Lu, blaugrau, kleine Makroreste, kalkfrei
			50/7	127-151	Lu, mit wenig Grobsand und Gruspartikeln, fahles graubraun, kleine Makroreste, kalkfrei
151-215	III	aGhr	50/8	151-170	Lu, sehr dunkles grau, humos, hellblaue sehr kleine
			50/9	170-190	Konkretionen, vereinzelt Makroreste und Holzkohle, kalkfrei
			50/10	190-215	
215-300	IV (Wechsel-lagerung)	aGr	50/11	215-230	Sl4, Feinsand, gut rollbar, schmutziges dunkelgrau, kalkfrei
		aGr	50/12	230-243	Ls2, graubraun
		aGr	50/13	243-263	Sl4 (Feinsand), gut rollbar, dunkel bis schmutzig grau und
			50/14	263-280	blaugrau
		aGhr	50/15	280-300	Ls2, graubraun, kalkfrei
300-331	V	aGr	50/16	300-316	Ls4, schmutziges grau, kalkfrei
			50/17	316-331	Ls4, Übergangsbereich, zunächst mehr sandig, dann übergehend zu mehr tonigem Material, grau, kalkfrei
331-346	VI	aGhr	50/18	331-346	lehmig-tonig (Lts), fast schwarz, glänzend, kalkfrei
346-357	VII	aGr	50/19	346-357	Lt2, hellgraublau, kompakt, kalkfrei
357-383	VIII	fAa°aGr	50/20	357-372	Us, sehr humos, fein, teilw. torfig, Makroreste, schwarz, kalkfrei, <sup>14</sup> C-Dat.(cal. 2 sigma): BC 7757 - 7517
		fAh°aGr	50/21	372-383	Übergangsbereich, stärker sandig: Su4, humos, Makroreste, dunkelbraun bis „kirschbaumfarben“, kalkfrei
383-414	IX	alC	50/22	383-403	fast reiner Mittelsand (mSgs) grau, kalkfrei
		alC	50/23	403-414	v.a. Mittelsand (St2), vereinzelt kleine Skelettbruchstücke, braunorange, kl. dunkelrote Flecken, kalkfrei
414-464	X	alC	50/24	414-440	Grobsand (St2 – Sl3) mit Grus, mehrfarbig (gelb, braun, grau),
			50/25	440-464	schwach kalkhaltig, weich
464-468	XI	ICv	50/26	464-468	angewitterter Kalkschutt mit Schluff und Grus, ocker bis hellgrau, stark kalkhaltig

## Bemerkungen:

50/11 mit 50/13 und 50/14 vergleichbar

50/12 vergleichbar mit 50/15

**Profil-Nr.: 6637-51**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, Catena Frauengarten, östlich der Vils

Aufnahmedatum: 01.07.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494879 H: 5467490

Höhe über NN: 364,4 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-32		aAh	51/1	1-21	Lu, humos, gut durchwurzelt, dunkelbraun bis schwarz, kalkhaltig, ehemaliger Ap
			51/2	21-32	Übergangsbereich, Lu, kleinste Kalkbruchstücke, dunkelbraun, einzelne Sandflecken rot, kalkhaltig
32-46	II	aGro	51/3	32-46	Wechselagerungen von Ls4 (grau) und Grobsand (rot), Fe- und Mn-Ausfällungen, Holzkohle, kalkfrei
46-82	III	aGo	51/4	46-70	schwach toniger Lehm, klebrig, aber auch Sandkörner fühlbar, grau, rostrote Flecken und Konkretionen (Fe), kalkfrei
		aGor	51/5	70-82	Bodenart wie 51/4, überwiegend grau, Fe-Flecken (rostrot), kalkfrei, weich
82-128	IV	aGr	51/6	82-100	Su, grau, kalkfrei, weich
		aGr	51/7	100-128	Sl, hellgrau, einzelne Makroreste
128-180	V	aGr	51/8	128-150	Ut, hellgrau, einzelne Makroreste
			51/9	150-180	Ut, hellgrau, nach unten leicht übergehend in weinrot, einzelne Makroreste
180-217	VI	aGr-aM	51/10	180-196	Sl, viele Steine, grau bis weinrot
		aM	51/11	196-217	St3, rötliches schokobraun, kalkfrei
217-262	VII	aM	51/12	217-230	Ts mit etwas Schluff, Farbe wie 51/11, kalkfrei, kompakter
		aM	51/13	230-262	Tu, etwas Grus und Steine, Farbe ähnlich 51/11 und 12, etwas schmutziger, klebrig, kalkfrei, Makroreste
262-276	VIII	aM-aIC	51/14	262-276	sehr viel Grobskelett (Steine, Grus), v.a. Kalk/Dolomit, dazwischen Lehm, Farbe wie oberhalb, kalkfrei
276-300	IX	aIC	51/15	276-300	Grobsand, Grus, Steine (u.a. Kalk, Quarz), hellbraun, kalkhaltig
300-340	X	aIC-aM	51/16	300-340	Mittelsand, schmutzig braun, teilweise weinrote lehmig-tonige Bereiche, Makroreste, kalkfrei
340-374	XI	aIC	51/17	340-374	fast reines Grobskelett (Steine, Bruchstücke), stark kalkhaltig
374-382	XII	aIC	51/18	374-382	Mittelsand, Grus, Kies, fleischfarben, stark kalkhaltig
382-417	XIII	Cv	51/19	382-417	grusig, schluffig, einzelne Bruchstücke, helles beige, kompakt, stark kalkhaltig

## Bemerkungen:

Überschwemmungsbereich, hoher Grundwasserstand

**Profil-Nr.: 6637-52**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, Catena Frauengarten, östlich der Vils

Aufnahmedatum: 01.07.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494895 H: 5467490

Höhe über NN: 364,3 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-100		aAp	52/1	1-28	Lu, humos, Wurzeln, dunkelbraun bis dunkelgrau, kalkfrei
		aGo	52/2	28-61	Lu, Wurzeln, grau, viele rostrot-braune Flecken und Konkretionen (Fe), Makroreste, kalkfrei
		aGr	52/3	61-81	Lu, nach unten etwas Zunahme von Feinsand, grau (reduziert), Makroreste, kalkfrei
100-175	II (Wechsel-lagerung)		-	81-100	kein Bohrgut
		aGr	52/4	100-113	Su, grau, kalkfrei
		aGr	52/5	113-124	Tu, bisschen Feinsand, fahles graubraun, kleinste Makroreste, kalkfrei
		aGr	52/6	124-138	SI4, kleinste Makroreste, kalkfrei
		aGr	52/7	138-159	Bodenart ähnlich 52/5, Tu, fahles graubraun, nach unten leicht rötlich, kleinste Makroreste, kalkfrei
		aGr	52/8	159-175	Übergangsbereich zwischen 52/7 und 52/9, Tu und Sand, einzelne Steine, kalkfrei
175-192	III	aM	52/9	175-192	Ls4, einzelne Steine, schokobraun, kalkfrei
192-231	IV	aM	52/10	192-215	Ts, rotbraun, wenige kleine Makroreste, kalkfrei
			52/11	215-231	
231-243	V	aM	52/12	231-243	Tt mit viel Grus (Quarz, u.a., evt. Schlackenreste?), schmutzig schokobraun, kalkfrei
243-325	VI	aM-aIC	52/13	243-270	Skelettbruchstücke, Grus, Kies, Grobsand, vermischt mit Lehm, rötlichbraun bis hellbraun, kalkhaltig
			52/14	270-300	
			52/15	300-325	
325-342	VII	aIC	52/16	325-342	Grobsand mit wenig Grus und Kies, fahles grau, leicht kalkhaltig
342-378	VIII	aIC	52/17	342-378	v.a. weiße Skelettbruchstücke (Kalk), etwas Grus und Sand dazwischen
378-396	IX	aIC	52/18	378-396	zuerst lockerer Grus, dann St, fleischfarben, vergleichbar 6637-51/18, stark kalkhaltig
396-437	X	Cv	52/19	396-437	grusig bis schluffig, Skelettbruchstücke, beige bis weiß, stark kalkhaltig

Bemerkungen:  
Überschwemmungsbereich

**Profil-Nr.: 6637-53**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, Catena Frauengarten, östliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 15.07.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494841 H: 5467490

Höhe über NN: 364,7 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-68		aAp	53/1	1-26	Ls, humos, durchwurzelt, dunkelbraun, leicht kalkhaltig, trocken
		aAp-aGo	53/2	26-45	Lu, nach unten Feinsandzunahme, braun, Fe-Ausfällungen (dunkelrotrot), kalkfrei
68-270	II	aGo	53/3	45-68	Ls, braun, sehr viele Fe-Ausfällungen, kalkfrei, feucht
		aGor	53/4	68-85	Lu, fahles graubraun, kalkfrei, Makroreste
		aGr	53/5	85-100	Ut3/Uls, grau, kalkfrei, Makroreste
			-	100-121	kein Bohrgut
		aG(h)r	53/6	121-140	53/6-53/12: Ut4, grau, große Makroreste, kalkfrei
			53/7	140-160	
			53/8	160-182	besonders viele Makroreste
			53/9	182-193	erhöhter Sandanteil
			53/10	193-220	gegen Ende vermehrt Makroreste
			53/11	220-245	
			53/12	245-270	vermehrt Makroreste
270-313	III	aGhr-aIC	53/13	270-286	Mittel und Grobsand, grau, Makroreste, kalkfrei
			-	286-300	kein Bohrgut
			53/14	300-313	Fortführung 53/13
313-380	IV	aGr	53/15	313-340	Ut, fahles graubraun, klebrig, weich
			53/16	340-360	
			53/17	360-380	
380-480	V	aIC			Sand, Grus, Kies, Skelettbruchstücke, kalkhaltig
			53/18	380-399	graubraun
			53/19	399-420	viele Steine, grau
			53/20	420-435	ocker
			53/21	435-447	Grobsand/Grus, dunkel rotbraun
			53/22	447-480	Grobsand, Grus, Kies, fleischfarben
480-500	VI	Cv	53/23	480-500	schluffig bis grobsandig, Skelettbruchstücke, beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-54**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, Catena Frauengarten, östlich der Vils

Aufnahmedatum: 15.07.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494925 H: 5467490

Höhe über NN: 365,0 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-23		aAp	54/1	1-23	Lu, humos, durchwurzelt, dunkelbraun bis schwarz, schwach kalkhaltig
23-44	II	jlC+aGo	54/2	23-44	Lu, Steine erbohrt, braun bis grau, vermischte Übergänge, Fe-Ausfällungen und Konkretionen, schwach kalkhaltig
44-100	II	aGr	54/3 54/4 54/5	44-64 64-80 80-100	Ut, grau, vereinzelt schwarze und rostrote schmale Schlieren, kleine Makroreste, etwas Holzkohle, kalkfrei
100-198	IV	aGr	54/6 54/7	100-125 125-148	Ls2, hellgrau, kalkfrei
		aGr-aM	54/8 54/9	148-175 175-198	Ls3-4, einzelne Steine, humos, dunkelgrau bis schokobraun, kalkfrei
198-238	V	aM	54/10 54/11	198-220 220-238	St, 54/10: graubraun, vermutlich Einwaschung von 54/9 54/11: rotbraun, kalkfrei
238-284	VI	aM	54/12 54/13 54/14	238-258 258-276 276-284	Grus mit viel Ton verklebt, 54/12: rötliches braun, kompakt; 54/13: schmutzig braun, vermehrt Steine; 54/14: rotbraun; kalkfrei
284-300	VII	aM-aIC	54/15	284-300	statt Gruspartikel vermehrt Mittel- und Grobsand, viel Ton, viele Steine (Kalkbruchstücke), rotbraun, kalkhaltig
300-310	VIII	Cv	54/16	300-310	schluffig-grusig mit vielen Skelettbruchstücken, beige/ocker, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-55**

Aufnahmedatum: 16.07.03

Lage: R: 4494622 H: 5468870

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Bodentyp: Vega

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena kleiner Schwemmfächer, Aue

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 365,8 m

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Geologie: Malmkalk

Neigung: sehr schwach geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-47		Ap	55/1	1-25	Lu, Skelettbruchstücke (Kalk), stark durchwurzelt, dunkelbraun bis schwarz, kalkfrei
		IC-Ap	55/2	25-47	Lu, evt. etwas toniger als 55/1, viele Kalkbruchstücke und Steine (auffallend abgerundet), dunkelbraun bis dunkelgrau, Holzkohle, kalkfrei
47-148	II	IC-aM	55/3	47-74	Uls, sehr viel Skelett (weiße Kalksteine), schmutzig braun, kalkfrei
			55/4	74-100	kalkfrei
			55/5	100-125	Fortführung von 55/4, kalkhaltig
			55/6	125-148	
148-245	III	aGr-aM	55/7	148-168	Ut mit einzelnen Grus/Sandpartikeln, schmutzig braun, fahl, vereinzelt Makroreste, kalkfrei
			55/8	168-188	
			55/9	188-208	
		aM	55/10	208-228	Ut mit einzelnen Grus/Sandpartikeln, rötliches braun, Zunahme von Mn, kalkfrei
			55/11	228-245	
245-320	IV	aM	55/12	245-270	Lt, sattes braun, viele kleine Mn-Konkretionen, kalkfrei gegen Ende Kalksandsteinschlieren, kalkhaltig
			55/13	270-300	Fortführung von 55/13, nach unten Zunahme von Sand
			55/14	300-320	Ls4, Übergangsbereich, braun, kalkfrei
320-376	V	aM	55/15	320-339	SI3, Feinsand, braun, kalkfrei
			55/16	339-355	SI, Mittelsand, braun, kalkfrei
			55/17	355-376	
376-398	VI	aIC	55/18	376-398	Grobsand, Grus mit etwas Feinboden dazwischen, einige Skelettbruchstücke, schmutzig braun, feucht, kalkhaltig
398-429	VII	ICv	55/19	398-429	schluffig-grusig mit kantigen Skelettbruchstücken, beige-gräulich, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-56**

Aufnahmedatum: 17.07.03

Lage: R: 4494455 H: 5469313

Reliefformtyp: Unterhang

Bodentyp: Rendzina

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 367,5 m

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Geologie: Malmkalk

Neigung: schwach geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-29		lyC-Ap	56/1	1-29	Ls2, zahlreiche Kalkbruchstücke, Schlacken, kaum durchwurzelt, dunkelbraun, leicht kalkhaltig
29-53	II	IC-Ap	56/2	29-53	L (braun), weißer Kalkschutt, rötlicher Mittelsand (SI), trocken, kalkhaltig
53-77	III	clC	56/3	53-77	SI, Kalkschutt (weiß), teilweise rote Sande, Rest hellgrau, teilw. rotbraune Bereiche mit Wurzeln, trocken, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-57**

Aufnahmedatum: 17.07.03

Lage: R: 4494443 H: 5469308

Reliefformtyp: Unterhang

Bodentyp: Rendzina

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 366,6 m

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Geologie: Malmkalk

Neigung: schwach geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-27		jlC-Ap	57/1	1-27	Ls2, weißer Kalkschutt, Ziegelreste, stärker durchwurzelt, dunkelbraun, kalkhaltig
27-49	II	clC	57/2	27-49	Sl, weißer Kalkschutt (deutlich weniger als bei 6637-56), rotbraun, nach unten langsam Übergang zu grau (siehe 6637-56), kalkhaltig

Bemerkungen:

10m unterhalb von 6637-56

**Profil-Nr.: 6637-58**

Aufnahmedatum: 17.07.03

Lage: R: 4494430 H: 5469301

Reliefformtyp: Unterhang

Bodentyp: Kolluvisol

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 365,9 m

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Geologie: Malmkalk

Neigung: schwach geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-25		jlC-Ap	58/1	1-25	Ls2, weißer Kalkschutt, kantiger als z.B. bei 6637-55, viele Feinwurzeln, dunkelbraun bis schwarz, schwach kalkhaltig
25-44	II	IC-M	58/2	25-44	Sl3 bis Sl4, weißer Kalkschutt, Feinwurzeln, dunkelrotbraun, sehr kompakt, kalkfrei
44-74	III	IC	58/3	44-74	reiner, lockerer Sand, Kalkschutt, einzelne Kiese, hell rotbraun, fast orange braun

Bemerkungen:

10m unterhalb von 6637-57

**Profil-Nr.: 6637-59**

Aufnahmedatum: 17.07.03

Lage: R: 4494418 H: 5469294

Reliefformtyp: Unterhang

Bodentyp: Kolluvisol

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 365,4 m

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Geologie: Malmkalk

Neigung: sehr schwach geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-30		jlC-Ap	59/1	1-30	Ls, Kalkschutt, Ziegelreste, Schlacke, Wurzeln, dunkelbraun bis schwarz, schwach kalkhaltig
30-50	II	M	59/2	30-50	St bis Sl4, einzelne Kalkbruchstücke, dunkelrotbraun, kalkfrei
50-98	III	IC	59/3 59/4	50-72 72-98	Sl2, Kalkschutt bis Kalkbrocken, große Kiese, rotbraun bis hellrotbraun, kalkhaltig

Bemerkungen:

10m unterhalb 6637-58

**Profil-Nr.: 6637-60**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 17.07.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494408 H: 5469288

Höhe über NN: 364,7 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-76		jIC-Ap	60/1	1-50	Ls (schluffiger als 60/2), Kalksteine, Wurzeln, dunkelbraun bis schwarz, kalkhaltig
		M	60/2	50-76	Ls4, vereinzelt Kalkbruchstücke (mehr im Grenzbereich zu Ap), dunkelrotbraun, kalkfrei
76-91	II	jIC	60/3	76-91	Kalkschutt, weiß
91-124	III	M	60/4	91-98	SI
			60/5	98-124	Fortführung von 60/4, SI (Fein- bis Mittelsand), einzelne Kalkbruchstücke, rötliches braun, kalkfrei (minimal)
124-140	IV	aM-aIC	60/6	124-140	SI, Grob- bis Mittelsand, Kiese und Gruse, rötliches braun, weicher, schwach kalkhaltig
140-180	V	aM	60/7	140-160	Lt, einzelne kleine Skelettbruchstücke, helles braun (mal mehr gelblicher, mal mehr rötlicher), kalkhaltig
			60/8	160-180	
180-190	VI	aIC	60/9	180-190	v.a. Grobsand, schmutzig braun, kalkhaltig
190-196	VII	ICv	60/10	190-196	angewitterter Kalkschutt (siehe andere Bohrungen), beige/ocker, weich, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

10m unterhalb 6637-59

**Profil-Nr.: 6637-61**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, etwa 90 m Punkt der Radarlinie 5

Aufnahmedatum: 4.08.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494725 H: 5467788

Höhe über NN: 371 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-93		Ap	61/1	1-29	Lu, Kalkbruchstücke, dunkelbraun, kalkfrei, trocken, sehr kompakt
			61/2	29-49	Lu, braun, Holzkohle, kalkfrei, sehr kompakt
		IC-Ap	61/3	49-63	Lu, zahlreiche Kalkbruchstücke, braun, kalkfrei, sehr kompakt
			61/4	63-93	Lu, Kalkbruchstücke, rötlich braun, kalkfrei
93-247	II	M	61/5	93-100	Lt2 (deutlich toniger als oberhalb), rotbraun, kalkfrei, sehr kompakt
			-	100-140	kein Bohrgut (Komprimierung)
			-	140-160	gestört
			61/6	160-198	Fortführung von 61/5, Lt3, Kalkbruchstücke (weiß, gelb, dolomitisiert), rotbraun, kalkfrei
			61/7	198-223	Lt2, einzelne Steine/Bruchstücke, hellrotbraun
			61/8	223-247	Lts, einzelne Steine/Bruchstücke, hellrotbraun
247-274	III	M	61/9	247-274	SI4, rotbraun, himbeerrote Bereiche
274-300	IV	IC-M	61/10	274-300	Lt3, einzelne Steine und Grus, z.T. schwarze Partikel bzw. kleine schwarze Steinchen, rotbraun, Mn?
300-305	V	Cv	s. 62/1	300-305	weißer Kalkschutt, Bohrung musste abgebrochen werden

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-62**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, oberer Teil des großen Schwemmfächers, etwa  
90 m Punkt der Radarlinie 5

Aufnahmedatum: 4.08.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494725 H: 5467800

Höhe über NN: 371,2 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker (Raps, geerntet)

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-50		IC-Ap		1-28	Lu, Kalksteinbruchstücke, dunkelbraun, Wurzeln bzw. Strohrefte
				28-50	braun
50-237	II	M		50-70	Lt, braun bis rötlich braun, in 50-70 mehr Kalksteinbruchstücke
				70-100	
				100-120	kein Bohrgut (Komprimierung)
				120-195	Lt, braun bis rötlichbraun, immer wieder Kalksteine
				195-237	Lt, hell rötlich braun
237-300	III	M		237-300	Wechsel zu rotbraunem Sand (SI4), Kalkbruchstücke
300-305	IV	Cv	62/1	300-305	weißer Kalkstein

Bemerkungen:

zweite Eichbohrung, vergleichbar zu 6637-61, nicht beprobt

**Profil-Nr.: 6637-63**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 8.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494248 H: 5469190

Höhe über NN: 367,9 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-124		Ap	63/1	1-26	Lu, dunkelbraun, kalkfrei
		M	63/2	26-47	Lu, braun, kalkfrei, sehr kompakt
		M	63/3	47-62	Lu, braun, kalkfrei, Fe- und Mn-Ausfällungen
		M	63/4	62-80	Lu bis Lt2, toniger als oben, kleine Kalkbruchstücke, rötliches
			63/5	80-100	braun, kalkfrei, Fe- und Mn-Ausfällungen
		M	63/6	100-124	Lu, hellbraun, kalkfrei
124-140	II	IC-M	63/7	124-140	Sand (Feinsand), nach unten etwas Lehm (Verzug), orange, kalkfrei
140-278	III	M	63/8	140-165	Lt, Mn-Konkretionen, z.T. größer, kalkfrei, feucht; rotbraun
			63/9	165-190	dunkles rotbraun
			63/10	190-215	helles rotbraun
			63/11	215-240	helles rotbraun
			63/12	240-260	
			63/13	260-278	
278-300	IV	aM	63/14	278-300	Lt mit Kiesen, evt. Schlacken, Mn-Ausfällungen, dunkel rotbraun, kalkfrei
300-397	V	T	63/15	300-320	Tu, rotbraun, kalkfrei
			63/16	320-340	
			63/17	340-364	nach unten Kalkreste
		Cv-T	63/18	364-390	Tu, Kalkbruchstücke (beige), braun, kalkfrei
			63/19	390-397	Übergangsbereich, Ut, viel Grobskelett, rotbraun, kalkfrei
397-404	VI	ICv	63/20	397-404	Kalkschutt (schluffig-tonig und Kalkbruchstücke), beige, stark kalkhaltig, nass

Bemerkungen:

12 m unterhalb der Bahntrasse

**Profil-Nr.: 6637-64**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 08.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494262 H: 5469200

Höhe über NN: 366,4 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol über Terra Rest

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-62		Ap	64/1	1-33	Ut4, Kalkbruchstücke, Ziegelstückchen, kaum durchwurzelt, dunkelbraun, minimal Kalk
		M	64/2	33-48	Lu, kleine Kalkbruchstücke, einzelne Wurzeln, braun, kalkfrei
		M	64/3	48-62	Übergangsbereich, Ut4, einzelne Wurzeln, hellbraun, kalkfrei
62-171	II	M	64/4	62-80	Ut4 – Tu4, einzelne Wurzeln, rötlich braun, Fe (orange) und Mn (schwarz) Ausfällungen, evt. Tonverlagerung, kalkfrei
		M	64/5	80-100	Tu4 – Lu, hell rötlich braun, nach unten dunkler, gelbliche Flecken, Fe/Mn (aber weniger als bei 64/4 und 64/5), sehr kompakt, kalkfrei, 64/6: Holzkohle
			64/6	100-125	
			64/7	125-148	
			64/8	148-171	
171-205	III	aiC	64/9	171-205	Grobsand (St3), Grus, Kiese, Steine, dunkel rotbraun, kalkfrei
205-222	IV	aiC	64/10	205-222	überwiegend Mittelsand (St2), rotbraun, kalkfrei
222-241	V	T	64/11	222-241	Tt, wenige, einzelne Gruspartikel, braun, schwarze Schlieren, kalkfrei
241-256	VI	Cv	64/12	241-250	Kalkschutt, Sand, teils trocken, teils feucht, kalkhaltig
			64/13	250-256	Kalkschutt (Schluff und Kalkbruchstücke), beige, feucht/nass, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

20 m unterhalb 6637-63

**Profil-Nr.: 6637-65**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 08.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494278 H: 5469208

Höhe über NN: 365,3 m

Neigung: sehr schwach geneigt

Reliefformtyp: Unterhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-100		Ap	65/1	1-30	Lu, div. Steine, Schlacke, einzelne Wurzeln, Wurmlösung, dunkelbraun, leicht kalkhaltig
		jC-M	65/2	30-54	Lu, große Kalkbrocken, braun, leicht kalkhaltig (Umlagerung durch Pflug)
		M	65/3	54-76	Lu, kleine schwarze Partikel, „Wurzellocher“, braun, an Bruchflächen dunkel rot braun (Tonverlagerung?), leicht kalkhaltig
			65/4	76-100	
100-195	II	M	65/5	100-117	Lu, braun
			65/6	117-132	Mischbereich
			65/7	132-147	toniger, dunkler, Mn, alles kalkfrei
		M	65/8	147-160	Lu, hellbraun (noch von oberhalb beeinflusst)
			65/9	160-178	Ut
			65/10	178-195	Ut, alles kalkfrei
195-220	III	aiC-T	65/11	195-220	Tt mit Kalkbruchstücken, div. Kiese, kleine Steine, kalkfrei
220-236	IV	ICv	65/12	220-236	Kalkschutt (Schluff und kantige Kalkbruchstücke), beige, stark kalkhaltig

Bemerkungen:

20 m unterhalb 6637-64

**Profil-Nr.: 6637-66**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 08.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494293 H: 5469215

Höhe über NN: 364,3 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-171		Ap	66/1	1-33	Lu, weiße Kalksteine, Wurzeln, dunkelbraun, leicht kalkhaltig
		aM	66/2	33-54	Lu, einzelne Kalkbruchstücke, Wurzeln, braun, leicht kalkhaltig
			66/3	54-73	Lu, braun, Aggregatinnenflächen rotbraun, Mangan-Ausfällungen, sehr kompakt, leicht kalkhaltig
			66/4	73-100	sehr kompakt, leicht kalkhaltig
			-	100-135	kein Bohrgut
			-	135-171	Versturz, folgende Sedimente komprimiert
171-415	II	aM	66/5	171-195	Lu mit feinen Gruspartikeln, einzelne Bruchstücke, feucht, kalkfrei
		aM-aGr	66/6	195-215	Ut, vereinzelt Gruspartikel (Quarz, schwarzes Material), teilweise Makroreste, Holzkohle, Mn, kalkfrei
			66/7	215-235	66/6 und 66/7: rötlich braun, 66/8 und 66/9: etwas fahler
			66/8	235-255	
			66/9	255-275	
			66/10	275-300	66/10: grau, reduzierte Bereiche
		aGr	66/11	300-325	Uls, Holzkohle, hellgrau, kalkfrei
			66/12	325-343	
			66/13	343-365	
		aGor	66/14	365-390	Ut4 bis Tu4, Makroreste, dunkel metallisch grau, dunkel rotbraune Konkretionen, meist klein, teilweise größer (v.a. in 66/15), kalkfrei
			66/15	390-415	
415-427	III	aIC-aGr	66/16	415-427	Feinsand, blau
427-463	IV	aIC	66/17	427-455	Mittelsand mit Kiesen und Grus, grau, braun, rotbraun, kalkhaltig
			66/18	455-463	oberflächlich blauer Feinsand, im Untergrund wie 66/17
463-468	V	aIC-Cv	66/19	463-468	Kalksteine u.a.

Bemerkungen:

20 m unterhalb 6637-65

**Profil-Nr.: 6637-67**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 09.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494205 H: 5469165

Höhe über NN: 371,9 m

Neigung: schwach geneigt

Reliefformtyp: Oberhang

Vegetation/Landnutzung: Acker

Bodentyp: Kolluvisol

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-147		Ap	67/1	1-26	Lu, Kalksteine, humos, Pflanzenreste, Feinwurzeln, dunkelbraun, Feinboden kalkfrei
		jC-M	67/2	26-49	Lu, teilweise sehr große Kalksteine erbohrt, sattes braun,
			67/3	49-75	Feinboden kalkfrei, aber zahlreiche kleine, feine Kalkpartikel, an
			67/4	75-100	Aggregatflächen dunkelrotbraun (ggf. Tonverlagerung)
		jC-M	67/5	100-107	Fortführung von 67/4
		jC-M	67/6	107-127	Lu, Kalksteine, Grus, leicht rötliches braun, kleine Fe und Mn-
147-409	II	M	67/7	127-147	Konkretionen, leicht kalkhaltig
			67/8	147-171	Lt2, leicht rötliches braun, nach unten sattes braun, 67/9 etwas
			67/9	171-196	kompakt, andere relativ weich, sehr homogener Profilabschnitt,
			67/10	196-221	kalkfrei
			67/11	221-244	
			67/12	244-271	
			67/13	271-300	
			-	300-329	verworfen (gestört)
		M	67/14	329-354	Fortführung von 67/13, Lt2, nach unten einzelne Grus und
			67/15	354-379	Kiespartikel, Steine, teilweise Mn-Ausfällungen, rötliches braun,
			67/16	379-409	kalkfrei
409-446	III	alC	67/17	409-427	Mittelsand, überwiegend orange-rot, Farben wechselnd
			67/18	427-446	(sandfarben, mehr Fe-rot oder orange-rot), kalkfrei
446-645	IV	alC	67/19	446-465	Grob- und Mittelsand, Grus, einzelne größere Kiese, in 69/19
					großer Stein, orange, kalkfrei
				67/20	orange mit viel schwarz
				67/21	sandfarben, 482-484 Lehmband
			-	500-533	kein Bohrgut
			-	533-548	verworfen (gestört)
		alC			Fortführung von 67/21, Grobsand mit Kies und Grus,
			67/22	548-576	sandfarben
			67/23	576-598	fahl
			67/24	598-620	bunt
			67/25	620-645	bunt
645-695	V	T-alC?	67/26	645-662	Übergangs-/ Mischhorizont
			67/27	662-688	Ton, mit Kiesen und Grus, schwarzes Steine/Partikel, rotbraun
			67/28	688-695	ähnlich wie 67/26
695-700	VI	T?	67/29	695-700	Tu, hellbraun

## Bemerkungen:

13 m oberhalb Bahntrasse

**Profil-Nr.: 6637-68**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 09.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494398 H: 5469283

Höhe über NN: 364,5 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-37		aAh	68/1	1-21	ehemaliger Ap, jetzt überprägt, Ut, stark durchwurzelt, etwas fahles dunkelbraun, schwach kalkhaltig
37-100	II	aGor jIC-aGr	68/2 68/3 68/4	21-37 37-81 81-100	Lt2, Wurzeln, grau mit kleinen Fe-Flecken, schwach kalkhaltig Ls2, zahlreiche Kalksteine, Wurzeln, grau, schwach kalkhaltig, feuchter als 68/2, klebrig, 37-45 voll, 45-65 leer, 65-97 voll
100-118	III	aGr	68/5	100-118	Ut, Holzkohle, dunkelgraubraun, leicht grünlich, kalkfrei
118-140,5	IV	aM-aGr aM-aGr aM	68/6 68/7 68/8	118-126 126-139 139-140,5	Ls3, Kalkbruchstücke, dunkelgraubraun, kalkfrei Ls4 (Grobsand), dunkelgraubraun, kalkfrei Sl4, sattes braun, weich, kalkfrei
140,5-146	V	aGr	68/9	140,5-146	Ut, dunkelgraubraun und grünlich (vergleichbar zu 68/5), Makroreste, weich
146-213	VI	aM	68/10 68/11 68/12 68/13	146-168 168-181 181-198 198-213	Sl4, leicht fahles braun, ähnlich zu 68/8, kalkfrei Sl4, Übergangsbereich, Farbe übergehend von 68/10 zu 68/12 Sl4, orangebraun, kalkfrei Sl4, kleinere Gruspartikel, orangerotbraun, kalkfrei
213-255	VII (Wechsel-lagerung)	aM aIC-aM	68/14 68/15	213-232 232-244	Ts, teils sandiger, teils toniger, Steine, leuchtend rot Sl, Mittelsand, Steine, orangebraun
255-276	VIII	aIC-aM aIC	68/16 68/17	244-255 255-266	Ts3, Steine, rotbraun, klebrig Steine, Grus mit St, dunkelrot, auch schon Vermischungen
276-310	IX	aIC-ICv ICv	68/18 68/19 68/20	266-276 276-300 300-310	Übergangsbereich, Steine, braun bis beige, kalkhaltig Schluff und Kalkschutt, beige bis grau, kalkhaltig Fortführung von 68/19

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-69**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 09.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494388 H: 5469275

Höhe über NN: 364,3 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-31		aAh	69/1	1-31	Lt2, organische Reste, sehr stark durchwurzelt, dunkelgraubraun, Fe/Mn Ausfällungen, leicht kalkhaltig
31-56	II	aGo	69/2	31-56	Ut, viele Wurzeln, grau, große Fe-Flecken, Mn-Konkretionen, leicht kalkhaltig
56-63	III	jIC	69/3	56-63	Kalksteine, Feinboden grau, kalkfrei
63-151	IV	aGr	69/4 69/5 69/6	63-81 81-100 100-127	Tu4, graublau, teilweise leichte Fe-Flecken, Makroreste, kalkfrei Fortführung Gr, Tu4, Wurzeln, graublau, Makroreste
151-256	V	aGr aGr aM-aGr aM aGr	69/7 69/8 69/9 69/10 69/11	127-151 151-177 177-213 213-231 231-256	Tu4 mit einzelnen Sandkörnern, fahles graubraun, sehr weich Ts4, dunkelgraubraun, Makroreste, klebrig fließender Übergang zu 69/10 Sl, Feinsand, orangerot, Makroreste Ts4, Feinsand
256-277	VI	aIC-aM	69/12	256-277	Sl, ähnlich 69/10, gegen Ende Zunahme von Kiesen, Kalkbruchstücken, weich, klebrig
277-282	VII	ICv	69/13	277-282	Kalkschutt, nass, von oberhalb beeinflusst

Bemerkungen:

10 m Abstand zu 6637-68

100-300cm: homogener als in Profil 6637-68

**Profil-Nr.: 6637-70**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufnahmedatum: 09.09.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494375 H: 5469268

Höhe über NN: 364,2 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-32		aAh	70/1 70/2	1-15 15-32	Lu, stark durchwurzelt, braun schwarz, kalkfrei, ehem. Ap Lt, organische Reste, Wurzeln, graubraun, kleine Fe/Mn-Flecken, kalkfrei
32-61	II	aGo	70/3	32-61	Ut, grau mit großen Fe-Flecken, kalkfrei
61-120	III	aGr	70/4	61-86	Tu3, blaugrau, Makroreste, kalkfrei
			-	86-100	verworfen (gestört)
		aGr	70/5	100-120	Fortführung 70/4
120-160	IV	aM-aGr	70/6	120-143	SI4 (Feinsand), grau mit bunten Flecken, weich
		aM-aGr	70/7	143-160	SI4 (Mittel- bis Grobsand), graubraun, Makroreste
160-167	V	aGr	70/8	160-167	Ls, graubraun, Makroreste
167-247	VI	aM-aGr	70/9	167-190	SI4 (Mittel- bis Grobsand), weicher als 70/7
			70/10	190-212	70/10: rotbräunliche Bereiche
			70/11	212-229	
			70/12	229-247	
247-353	VII	aGr	70/13	247-268	St3, Feinsand, dunkles blaugrau, kalkfrei
		aGr	70/14	268-283	St3/Ts4, Feinsand, olivgrün, kalkfrei
		aM	70/15	283-300	St3/Ts4, Feinsand, orangebraun, kalkfrei
		aM	70/16	300-321	Fortführung von 70/15, 70/16 durch Versturz beeinflusst
			70/17	321-338	St3/Ts4, Feinsand, orangebraun, teilweise hellbeige Bereiche, kalkfrei
			70/18	338-353	
353-368	VIII	aIC-ICv	70/19	353-368	Mittelsand mit kleinen Gruspartikeln, beige, kalkhaltig
368-407	IX	ICv	70/20	368-407	Kalkschutt mit weichem Schluff, weiß-grau, kalkhaltig

Bemerkungen:

10 m Abstand zu 6637-69

**Profil-Nr.: 6637-71**

Aufnahmedatum: 06.10.03

Lage: R: 4494365 H: 5469258

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Bodentyp: Auengley

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 364,1 m

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Geologie: Malmkalk

Neigung: nicht geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-64		aAh	71/1	1-35	Ut3, stark durchwurzelt, dunkelbraun, relativ kompakt
		aM-aGo	71/2	35-47	Lu, braun, kleine oxidative Fe-Flecken
			71/3	47-64	Lu, fahles braun, große oxidative Fe-Bereiche (rotbraun)
64-119	II	aGor	71/4	64-83	Lu, kleine Wurzelreste, grau, reduziert, weich, kleine Fe-Flecken, kleinste Mn-Ausfällungen
			-	83-100	kein Bohrgut
		aGro	71/5	100-119	Fortführung von 71/4, Ls2, etwas mehr Go-Merkmale (Fe/Mn), Übergangshorizont
119-146	III	aM	71/6	119-146	SI4, fahles braun
146-194	IV	aGr	71/7	146-168	Slu, graubraun, Makroreste
		aM-aGr	71/8	168-194	Slu, Feinsand, fahles graubraun, einzelne Makroreste
194-343	V	aM-aGr	71/9	194-214	SI4 bis Ls3, Sand gröber (Mittelsand), Skelettbruchstücke, schmutziges braun, vereinzelt Makroreste u. Holzkohle
			71/10	214-238	
			71/11	238-258	
			71/12	258-278	
			71/13	278-300	
			71/14	300-322	Fortführung von 71/13, Ls3, Grob- bis Mittelsand, graubraun
343-376	VI	aGr	71/15	322-343	Ls3, grau
		fAh°aGr	71/16	343-356	schluffig-tonig mit organischer Substanz, einzelne Grus/Sandpartikel, fahles dunkelbraungrau
		f Aa°aGr	71/17	356-376	stark organisch, Holzstücke, z.T. noch braun, überwiegend schwarz, <sup>14</sup> C-Dat. (cal. 2 sigma): BC 1318 - 1106
376-388	VII	fAh+alC	71/18	376-388	Kiese, Grobsand, schwarz braun, organische Reste, sehr weich, nass
388-399	VIII	ICv-alC	71/19	388-399	Steine, Grus, ockerbraun
399-413	IX	ICv	71/20	399-413	Kalkschutt, Grobsand, Schluff, beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

10 m Abstand zu 6637-70

**Profil-Nr.: 6637-72**

Aufnahmedatum: 06.10.03

Lage: R: 4494344 H: 5469245

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Bodentyp: Gley-Vega

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, Catena Wolfsbach, Niederfeld

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Höhe über NN: 363,9 m

Vegetation/Landnutzung: Hochstaudenflur

Geologie: Malmkalk

Neigung: nicht geneigt

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-77		aAh	72/1	1-30	Ls2, Ziegelrestchen, Wurzeln, braun bis dunkelbraun, etwas Holzkohle, relativ trocken
		aM	72/2	30-54	Ls2, Wurzeln, braun
		aGo-aM	72/3	54-77	Ls2, Wurzeln, kleine rostrote Flecken, auch große Fe-Ausfällungen (ab 65cm), erste Gr-Merkmale, braun
77-83	II	aGr	72/4	77-83	Ut3, dunkelgraubraun
83-93	III	aGr	72/5	83-93	St, Mittelsand, minimal organische Reste, grau, Sandkörner gebleicht
93-162	IV	aGr	-	-	93-94 Reste von Lt2, graubraun, Holzkohle, anschließend leer kein Bohrgut
		aGr	72/6	142-162	Fortführung von Resten aus der vorherigen Bohrkronen, graubraun
162-261	V	aGhr	72/7	162-180	7-11: überwiegend Holz, unterschiedliche Stücke, dazwischen Ut
			72/8	180-200	
			72/9	200-216	
			72/9a	216-220	9a wie 10
			72/10	220-240	72/10: kompaktes Holzstück, Sandkörner dazwischen
			72/11	240-261	
261-347	VI	aM-aGr	72/12	261-280	Ut3, braungrau, teilweise satt braune Bereiche, zahlreiche organ. Reste, weiße Bereiche (Pilz?)
			72/13	280-300	
			72/14	300-330	Ut, schmutzig graubraun, organische Reste, sehr weich
			72/15	330-347	Us, graubraun, kleine organische Reste, weich
347-366	VII	aM-aGr	72/16	347-366	Tu, graubraun
366-384	VIII	alC	72/17	366-384	Kiese, Sand, Grus, Schluff, Makroreste, nass
384-419	IX	aM	72/18	384-397	Tt, braun, Holzkohle-Stückchen
			72/19	397-419	Tt, braun
419-476	X	alC	72/20	419-445	scharfer Wechsel: Grobsand mit Kiesen, orangebraun
			72/21	445-453	Kies und Grus, Steine, orangebraun
			72/22	453-463	Mittelsand, sandfarben
			72/23	463-476	Mittelsand, Grus, Kies, Steine, orangebraun
476-500	XI	alC-ICv	72/24	476-487	Übergangsbereich, Mittelsand, Kalkschutt/kantige Bruchstücke
		ICv	72/25	487-500	angewitterter Kalkschutt: Schluff, Grus, kantige Bruchstücke, beige

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-73**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, gegenüber 6637-47

Aufnahmedatum: 07.10.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494263 H: 5469473

Höhe über NN: 363,4 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Mähwiese

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-87		aM+aAh	73/1	1-19	Ls4, gut durchwurzelt, dunkelbraun, größere sandfarbene Sandflecken (Hochwasserablagerungen)
		aM-aGo	73/2	19-30	Ls4, Wurzeln, braun, fein verteilte Fe/Mn-Flecken
		aGor	73/3	30-57	graubraun, fein verteilte Fe/Mn-Flecken, kleine Holzkohlestückchen, Ls4 bis Sl4
			-	57-87	nur wenig Bohrgut (wie auch bei einer Wiederholungsbohrung, daher Substrat bedingt), vergleichbar zu 73/3, Ls4 bis Sl4
87-100	II	aGro	73/4	87-91	St3, Feinsand, grau
			-	91-100	kein Bohrgut
100-189	III	aM-aGr	73/5	100-125	durch Verstoß und Komprimierung gestört, sandiger Lehm, teilweise kleine Gruspartikel, graubraun, zu Beginn hellbraune Einmischung, schwarze Schlieren
		aM-aGr	73/7	148-160	Ls3, weiße Muschelreste (?), fahles graubraun
			73/8	160-167	Sl3-4, graubraun, schwarze Schlieren, vermutlich von organischer Substanz
			73/9	167-181	Ls2, einzelne Steine, graubraun
			73/10	181-189	Sl2, fahles braun
189-236	IV	aM+Ghr	73/11	189-217	Holz, zuerst schwarz gefärbt, dann Sandlage von 202-204, dann helllila gefärbtes Holz, anschließend Sand von 214-217
			73/12	217-236	Holz, von 217-225 sehr kompaktes, braunes Stück
236-252	V	aGr	73/13	236-252	Lt2, graubraun, Makroreste (Ästchen etc.)
252-267	VI	aGhr	73/14	252-267	Holz, Lehm, graubraun
267-278	VII	aGr	73/15	267-278	Tu3-4, graubraun, Makroreste
278-339	VIII	alC	73/16	278-281	Kiese, weiß, ab 281 kein Bohrgut (Verlust)
		alC	73/17	300-307	bunte Kiese, Gruse (kleiner und größere, bis Steingröße), Grobsand
			-	307-339	kein Bohrgut
339-409	IX	alC	73/18	339-360	Sand, Grob- und Mittelsand, einzelne bunte Kiese, Makroreste
			73/19	360-380	
			73/20	380-409	
409-444	X	alC	73/21	409-429	Kiese und Grus, überwiegend gelborange, einzelne schwarze und helle Steine
		alC	73/22	429-444	Steine, Grus, Kies, größer als in 73/21, überwiegend hell
444-460	XI	ICv	73/23	444-453	kantiger, grauer Schutt
		Cv	73/24	453-460	Kalkschutt: Skelettbruchstücke, Grus, Schluff, beige

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-74**

Ortsangabe: Wolfsbach, östliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 10.10.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494263 H: 5469610

Höhe über NN: 365,3 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese

Bodentyp: Gley-Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-100		aAh	74/1	1-21	Lu, einzelne Steine, mittel durchwurzelt, dunkelbraun, kalkhaltig
		aM	74/2	21-51	Ls4, Wurzeln, braun, kleinere Marmorierungen, kalkhaltig
		aM-aGo	74/3	51-72	Lt, z.T. Lts (deutlicher Sandanteil), braun, graue Schlieren, große Fe-Flecken, kleinere Mn-Flecken, kalkfrei
		aGr	74/4	72-88	z.T. Ls4, z.T. Lt, grau, schwarze Flecken durch organische Reste, kalkfrei
		aM	74/5	88-91	Sl, braun, kalkhaltig
		aGr	74/6	91-100	vergleichbar mit 74/4, grau
100-135	II	-	-	100-122	kein Bohrgut
		aIC	74/7	122-135	Grob- und Mittelsand, kleine weiße Kalkstückchen, braun, feucht
135-143	III	aGr	74/8	135-143	Uls/Lu, grau, kleine schwarze Makroreste
143-185	IV	aIC	74/9	143-164	Mittel- bis Grobsand, Grus, kleine Kalkstückchen, schmutziges grau, sehr weich
		aIC-aGhr	74/10	164-185	Grobsand, Steine, Grus, schwarzgrau, Holzkohle, sonstige organische Substanz
185-260	V (Wechsel-lagerung)	aM-aGr			Wechsel von Sand und Schluff, graubraun, vereinzelt Makroreste, schwach kalkhaltig
			74/11	185-198	Sl4 (Feinsand)
			74/12	198-205,5	Ut
			74/13	205,5-208,5	Sl2
			74/14	208,5-211,5	Ut
			74/15	211,5-217	Sl3
			74/16	217-223	Ut mit größeren Makroresten
			74/17	223-245	S (von Feinsand in Grobsand übergehend, kleine Kalkbruchstücke)
			74/18	245-252	Ut, Makroreste am Übergang zu 74/19
			74/19	252-258	Sl3-4
260-283,5	VI	aGhr	74/21	260-283,5	Ut, Makroreste
					große Holzkohlestückchen, z.T. noch sehr fest, kaum
283,5-384	VII	aIC-aM	74/22	283,5-288	Feinboden (Ls), Feinboden graubraun, ansonsten schwarz
			-	288-300	Sl2, Grobsand, braun, organische Restchen, kalkhaltig
		aIC	74/23	300-320	kein Bohrgut
			74/24	320-340	Ss, Mittelsand, schmutziges grau, kalkhaltig
			74/25	340-360	
			74/26	360-376	
			74/27	376-384	Grobsand, wenige kleine Kiese, leicht orangebraun, kalkhaltig
384-419	VIII	aM	74/28	384-399	Ls, Horizont indifferent, Makroreste
		aM	74/29	399-419	Lu, Horizont indifferent
419-444	IX	aIC	74/30	419-432	Grobsand, Steine, Grus, Kies, fahles braun, kalkhaltig
			74/31	432-444	mehr kantige Bruchstücke, Grobsand, blasses hellbraun, kalkhaltig
444-532	X	aIC	74/32	444-457	Grobsand, Grus, Kies, Steine, Farbe insgesamt orangebraun, in 74/32 auch rote Farben, kalkfrei
			74/33	457-480	
			74/34	480-500	
			74/35	500-509	Fortführung von 74/34, Grobsand, Grus, Kies, Steine, helles
			74/36	509-532	braun, 74/36: orangebraun
532-544	XI	aIC-Cv	74/37	532-544	Steine, etwas Schluff, braun, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-75**

Ortsangabe: südlich Wolfsbach, 9,50 m neben 6637-73

Aufnahmedatum: 10.10.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494284 H: 5469475

Höhe über NN: 363,6 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Mähwiese

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-9		aM	75/1	1-9	Sandauflage, vermutlich vom letzten großen Hochwasser, schon durchwurzelt, hellbraun bis sandfarben, kalkhaltig
9-39	II	aAh aGo-aAh	75/2 75/3	9-26 26-39	Lu - Ls2, stark durchwurzelt, dunkelbraun bis schwarz von Ls2 bis Ls4 nach unten übergehend, Wurzeln, dunkelbraun mit grauen Schlieren, größere Mn-Konkretionen, kleine Fe-Flecken, kalkfrei
39-107	III	aM	75/4	39-61	Sl, Feinsand, Wurzeln, sandbraun, kleine, leicht rötliche Fe-Verfärbungen, kalkfrei
		aIC	75/5	61-65	Mittelsand, sandbraun, kalkfrei
			-	65-100	kein Bohrgut
107-221	IV	aIC aGr aM-aGr	75/6 75/7 75/8	100-107 107-126 126-148	Mittelsand, sandfarben St/Sl, grau Ls4, Feinsand, Steine, grau
			75/9	148-167	Sl, Feinsand, schmutziges braun
			75/10	167-190	St, Feinsand, grau, Makroreste
			75/11	190-215	St, Feinsand, grau, Makroreste
221-346	V	aIC	75/12 75/13	215-221 221-242	St, Mittelsand, Kalkbruchstücke, grau, Makroreste Grobsand, Steine, Grus, braun
			75/14	242-261	Steine (Kalk u.a.)
			75/15	261-281	Grus, Steine, Schlacke?
			75/16	281-300	sehr dicker Kalkstein erbohrt, dazwischen Grobsand, Grus
		aIC	75/17	300-325	Grobsand mit feinem Grus und Kies, fahles hellbraun/sandfarben
			75/18	325-346	
346-366	VI	aIC	75/19	346-366	Steine, etwas Grobsand und Grus
366-374	VII	aGhr	75/20	366-374	feine Schichtung von Sand und Lehm, nicht trennbar, organische Reste
374-390	VIII	aIC	75/21	374-390	wie 75/19
390-409	IX	fAh <sup>o</sup> aGr evt. Ghr	75/22	390-409	Ut mit fein aufgelöster organischer Substanz, schwarz, unsauberer Übergang zu 75/23
409-430	X	aIC	75/23	409-430	Grobsand, Kiese, einzelne Steine, braun, unsaubere Übergänge
430-444	XI	aGhr	75/24	430-444	feine Schichtung von Sand und Ut, nicht trennbar, schwarzgrau
444-470	XII	aIC	75/25	444-470	div. Steine (Kalksteine, schwarze u.a.)

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-76**

Ortsangabe: südlich Leidersdorf, östlich der Vils, unterhalb des Teiches

Aufnahmedatum: 13.10.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494924 H: 5467995

Höhe über NN: 366 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: Vega-Gley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-29		aAh	76/1	1-21	Lu, stark durchwurzelt, humos, dunkelbraun, kompakt, kalkfrei
		aGo-aM	76/2	21-29	Lu, Wurzeln, braun, kleine Fe/Mn-Konkretionen (schwarz bzw. rostrot), kalkfrei
29-47	II	yIC-aM	76/3	29-47	zahlreiche, große Kalkbruchstücke/Steine, braun, Feinboden kalkhaltig
47-100	III	aGo	76/4	47-60	Uls/Lu, Wurzelreste, braungrau, größere Fe-Flecken (nur schwaches rostrot), kalkfrei
		Gor	76/5	60-75	Ut, graubraun, nach unten grau, kleine Fe-Flecken, kalkfrei
			76/6	75-95	
			-	95-100	kein Bohrgut
100-132	IV	aM-aGr	76/7	100-132	Ls4, braungrau, kalkhaltig
132-263	V	aGr	76/8	132-152	Ut, braungrau, kalkfrei
			76/9	152-172	Ut, grau, kleine Makroreste, kalkfrei
			76/10	172-197	Uls bis Ut, kleine Sandpartikel, grau, kalkfrei
			76/11	197-209	Ut, dunkelgrau
		aGr	76/12	209-232	Ut mit etwas Grus und einzelnen Steinen, grau, kalkfrei
			76/13	232-252	
		aGr	76/14	252-263	Übergangsbereich, Uls, grau, kalkfrei
263-362	VI	aIC	76/15	263-279	SI, kalkfrei
			76/16	279-288	Ss, Mittel- bis Feinsand, fahles grau, kalkfrei
			76/17	288-300	Ss, Mittel- bis Feinsand, braun, kalkfrei
			76/18	300-323	Mittelsand, fahlbraun
			76/19	323-336	Feinsand, von orangebraun bis zu fahlem braun und blaugrau
			76/20	336-347	Feinsand, braun, teilweise blau (dort toniger)
		aGr-aIC	76/21	347-362	Mittelsand, hellblau
362-373	VII	fAh°aGr	76/22	362-373	Ls, feine Pflanzenreste, dunkelbraun
373-384	VIII	aIC	76/23	373-384	Mittel- bis Grobsand, kleine Gruspartikel, sandfarben
384-391	IX	fAh°aGr	76/24	384-391	Ls2, etwas weniger Pflanzenreste, dunkelgraubraun
391-410	X	aIC	76/25	391-410	Mittel- bis Grobsand, fahles braun bis braun
410-423	XI	aIC	76/26	410-423	Steine (schwarz u.a.), Kies, Grus, Grobsand, fahles braun, kalkhaltig
423-427	XII	ICv	76/27	423-427	angewitterter Kalkschutt: Skelettbruchstücke, Grus, Schluff, beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-77**

Ortsangabe: Leidersdorf, westlich der Vils

Aufnahmedatum: 06.11.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494845 H: 5468138

Höhe über NN: 365 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Grünland

Bodentyp: Vega

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-40		Ap	77/1	1-23	Lu, Grobskelett, viele Feinwurzeln, dunkelbraun, kalkhaltig, sehr kompakt
40-107	II	Ap-jlC aM	77/2	23-40	v.a. sehr große Steine/Brocken (weiß, Kalk), kalkhaltig
			77/3	40-63	Lu, kleinere Kiese (Quarze u.a.), größere Skelettbruchstücke (Dolomit, Kalk), sattes braun, z.T. kalkhaltig (von oberhalb beeinflusst), sehr kompakt
			77/4	63-81	Lt2, wenige kleine Kiese, sattes braun, kalkfrei, sehr kompakt
			77/5	81-107	Lt3, einzelne Quarzkiese, sattes braun, kalkfrei, sehr kompakt 77/3-77/5: kleinste Fe/Mn-Konkretionen
107-135	III	aM	77/6	107-135	Lt3, rotbraun, schwarze Schlieren, kalkfrei
135-165	IV	aM	77/7	152-165	135-152 kein Bohrgut (Verlust), schluffig-lehmig, kantige Skelettbruchstücke, braun, Feinboden weich bis flüssig, kalkfrei
165-176	V	aM	77/8	165-176	Sl bis Ls, leicht rötlich braun, kalkfrei
176-181	VI	aM	77/9	176-181	Tu, leicht rötlich braun, kalkfrei
181-189	VII	aIC	77/10	181-189	Grobsand, kleinere Kiese, leicht rötlich braun, kalkhaltig
189-255	VIII	ICv	77/11	189-212	v.a. kantige Skelettbruchstücke, schluffiger Feinboden, braun, kalkhaltig
			77/12	212-236	v.a. kantige Skelettbruchstücke, braun bis beige, nasser als 77/11 und 77/13, kalkhaltig
			77/13	236-255	v.a. kantige Skelettbruchstücke, braun bis beige (v.a. 150-155cm), kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-78**

Ortsangabe: Leidersdorf, westliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 06.11.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494870 H: 5468138

Höhe über NN: 364,2 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Auwald i.w.S.

Bodentyp: Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-28		aAh	78/1	1-28	Lu, ein sehr großer Kalkstein erbohrt, stark durchwurzelt, dunkelbraun, kleine Fe-Konkretionen, kalkhaltig
28-70	II	jyC-aGo	78/2	28-49	zwei Bodenarten vorherrschend: Lts (grau), Ls bis Sl (dunkel bis rostrote, großflächige Ausfällungen), Steine, Schlacken, Wurzeln, kalkhaltig (insbesondere der rote Sand)
		jyC-aGo	78/3	49-70	Sl3 (Fein- bis Mittelsand), große Schlacken, z.T. kein Bohrgut, intensiv dunkelrostrote Sedimente neben grauen, kalkhaltig
70-111	III	aGr	78/4	70-84	Ls2-3 (Feinstsand), einige Fließ-Schlackenstücke, blaugrau, kalkhaltig (nach unten etwas schwächer)
			78/5	84-100	
			78/6	100-111	Fortführung von 78/5, Ls2-3, blaugrau
111-272	IV	aGr	78/7	111-130	Tu4/Ut4, Abschnitt sehr homogen, nur partiell etwas toniger, fahles grau braun, vereinzelt Makroreste, kalkfrei
			78/8	130-150	
			78/9	150-170	
			78/10	170-190	
			78/11	190-210	
			78/12	210-230	
			78/13	230-250	
			78/14	250-272	
272-287	V	aM	78/15	272-287	Sl (Feinstsand), fahles braungrau, schwach kalkhaltig
287-300	VI	aGr	78/16	287-300	Tu, vgl. bar mit 78/7-78/14
300-326	VII		-	300-314	verworfen
		aGhr-aIC	78/17	314-326	Grus, Grobsand, grauschwarz, kalkfrei
326-346	VIII	aGhr	78/18	326-346	Ls2, schmutziges braun, vermutlich gestört, nass, kalkfrei
346-388	IX	aGr	78/19	346-369	Tu4, vergleichbar zu 78/7-78/14, kalkfrei
			78/20	369-388	
388-430	X	fAh°Gr	78/21	388-403	Ls4, in sich heterogen, schmutziges dunkelgrau, Holzstückchen, kalkfrei
		fAh°Gr	78/22	403-417	Ls2, weniger Sand als oberhalb, schmutziges grau, organische Reste, kalkfrei, kleine blaue Konkretionen (vermutlich Pilze an organischen Resten)
		fAh°Gr	78/23	417-430	Lu, Feinboden schwarz, große Holzstücke, div. organische Reste, kalkfrei, <sup>14</sup> C-Dat. (cal. 2 sigma): AD 70-257
430-439	XI	fAh°aM	78/24	430-439	Sl, Grus, Bruchstücke, schmutziges braungrau, viel organische Substanz, leicht kalkhaltig
439-500	XII	ICv			angewitterter Kalkschutt: Schluff, kantige Skelettbruchstücke etc.
			78/25	439-457	hellgrau, kalkhaltig
			78/26	457-473	gelblich beige, kalkhaltig
			78/27	473-485	hellgrau bis beige, kalkhaltig
			78/28	485-500	gelblich beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-79**

Ortsangabe: Leidersdorf, östliches Vilsufer

Aufnahmedatum: 13.11.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494916 H: 5468138

Höhe über NN: 364,3 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: anthropogen überprägter Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-22		aAh	79/1	1-22	Lu, einzelne kleine Steine, Schlacke, Feinwurzeln, dunkelbraun, kleine Fe/Mn-Konkretionen, krümelig, kalkhaltig
22-94	II	aAh-jyC	79/2	22-47	Lt2, viele große Skelettbruchstücke/Steine, vereinzelt Pflanzenreste, dunkelbraun, kalkhaltig
		aM-jyC	79/3	47-66	Ls3-4, große Steine, Grus, Schlacke, braun, „körnig“, lockerer als 79/2, anthropogen, kalkhaltig
			79/4	66-80	erste graue Bereiche in 79/5, kalkhaltig
			79/5	80-94	
94-122	III	aGr	79/6	94-100	Ut4, blaugrau, kalkfrei
			-	100-111	verworfen
		aGr	79/7	111-122	Tu4, Grus, einzelne Skelettbruchstücke, graubraun, weich/klebrig, kalkfrei
122-170	IV	aGr	79/8	122-144	Tu4, partiell Sand und Grus, weiße Flitter, grau, Pflanzenreste, kalkhaltig
			79/9	144-170	Tu4, grau, Pflanzenreste, kalkhaltig
170-300	V	aM-aGr	79/10	170-186	Tu4, braun, schwarze organische Reste, alle kalkfrei
			79/11	186-200	wie oben, fahles braun, weich
			79/12	200-225	Tu3, fahles braun
			79/13	225-245	Tu3, fahles braun
			79/14	245-266	Tu3, einzelne Sandkörner, grau, organische Reste
			79/15	266-286	Lts, partiell sandige Bereiche, graubraun, organische Reste
			79/16	286-300	Tu4, graubraun, weich
300-373	VI	aGr	79/17	300-324	Ts4, Feinstsand, grau, Konkretionen (Fe/Mn), kalkfrei
		(f)Go	79/18	324-339	Ts, Feinstsand, v.a. rostrotbraun, ein Bereich mit grauer Matrix, kalkfrei
		(f)Gro	79/19	339-360	Übergangsbereich, Ts, rostrotbraune, blaue und graue Bereiche, kalkfrei
		aGr	79/20	360-373	Ts, türkisblau, kalkfrei
					79/18-79/20: ein Substrat, nur versch. Farben, fester als 79/17
373-422	VII	alC	79/21	373-388	Feinsand, v.a. bläulich, zu fahlem braun übergehend, kalkfrei
			79/22	388-405	Fein- und Mittelsand, Übergangsbereich, teilweise Bereiche wie 79/20, kalkfrei
			79/23	405-422	Mittelsand, fahles braun, blass, kalkfrei
422-466	VIII	fAh°aGr	79/24	422-438	humoser Horizont mit Makroresten, Sl, schmutzig grau, kalkfrei
			79/25	438-448	schwarzgrau
			79/26	448-459	schwarzgrau
			79/27	459-466	rötliches dunkelbraun
466-476	IX	alC-Cv	79/28	466-476	Grus, Kies, Steine (bunt: grau, weinrot) übergehend in Kalkschutt, beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Profil-Nr.: 6637-80**

Ortsangabe: Leidersdorf, östlich der Vils

Aufnahmedatum: 13.11.03

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Geologie: Malmkalk

Lage: R: 4494930 H: 5468138

Höhe über NN: 365 m

Neigung: nicht geneigt

Reliefformtyp: Tiefenbereich

Vegetation/Landnutzung: Feuchtwiese mit Mahd

Bodentyp: anthropogen überprägter Auengley

Tiefe in cm	Schichtung	Horizont	Proben-Nr.	Proben-tiefe in cm	Beschreibung
1-76		aAh-jyC	80/1	1-23	Lu, viele Steine/Skelettbruchstücke (Kalk u.a.), Schlacken, Wurzeln, dunkelbraun, kalkhaltig
		aM-jyC	80/2	23-42	Lu, viele Steine, Schlacken, in 80/2 weniger Wurzeln, braun, relativ kompakt, kalkhaltig
			80/3	42-61	
			80/4	61-76	
76-129	II	aM-jyC	80/5	76-93	Lts, Grus, Steine, Schlacken, dunkelbraun, locker/weich/körnig, kalkhaltig
			-	93-100	kein Bohrgut
		aM-yC	80/6	100-129	Sl, Grus, einzelne Skelettbruchstücke, braun, weich/nass/fast flüssig, kalkhaltig
129-146	III	fAh°aGr	80/7	129-146	humos (Feinwurzeln), wahrscheinlich alter Ah, einzelne, kleine Skelettbruchstücke, blaugrau, durch Bohrung seitlich stark von oben beeinflusst, kalkhaltig
146-258	IV	aGr	80/8	146-164	Tu4, oliv bis blaugrau, schwarze Schlieren, kalkfrei
		aGr	80/9	164-180	Ut, hellgrau bis fahles braun, Pflanzenreste, kalkhaltig
			80/10	180-195	
		aM	80/11	195-218	Tu, fahles rötliches braun, kleine schwarze Schlieren, vermutlich durch organische Reste, kalkfrei
			80/12	218-237	
			80/13	237-258	
258-332	V	aGr-aM	80/14	258-273	Us, Übergangsbereich, minimal Grus, graubraun, kalkfrei
		aM	80/15	273-278	Us, fahles braun, kalkfrei
		aM	80/16	278-300	Us, rötliches braun, kalkfrei
		-	-	300-319	verworfen
		aM	80/17	319-332	Fortführung von 80/16, Uls, einzelne Skelettbruchstücke, rötlich braun, kalkfrei
332-430	VI	aM	80/18	332-348	Sl4, Feinstsand, rötlich braun, kalkfrei
			80/19	348-363	Sl3, rötlich braun
		alC	80/20	363-378	Sl2-3, fahles braun mit braunen Bereichen (Fe?)
			80/21	378-397	Sl2, fahles braun
		aM+aGr	80/22	397-416	Sl3, Feinstsand, blau oder rotbraun, kalkfrei
		aGr	80/23	416-430	Sl3, überwiegend blau, kalkfrei
430-434	VII	Ghr	80/24	430-434	Ts2, schokobraun, kalkfrei
434-447	VIII	fAh°aGr	80/25	434-438	Ls4, humos, schokobraun, kalkfrei
			80/26	438-442	wie 80/25, schokobraun
			80/27	442-447	Ls, humos, schokobraun
447-453	IX	alC	80/28	447-453	Sl, Grus, Mittelsand, schmutzig braun, kalkhaltig
453-493	X	alC	80/29	453-478	Grus, Kies, Steine (schwarze Steine, Quarz, Kalk, auffällig rote, färbende Partikel): „Vilsschotter“, kalkhaltig
		alC-Cv	80/30	478-493	Mischbereich von 29 und 31, große Steine, dazwischen Grobsand, Grus, Kalkschutt, braun, kalkhaltig
493-500	XI	Cv	80/31	493-500	angewitterter kantiger Kalkschutt, beige, kalkhaltig

Bemerkungen:

**Flusssedimente**

Aufnahmedatum: 8.07.03

Standort/ Proben- Bezeichnung	Ortsangabe	Anmerkungen zu Aufschlussart, Tiefe etc.	Beschreibung
A	Catena Frauengarten	Drehbohrer (Einzelprobe)	Lu, grau, oberes Fluss-Sediment, kleine Makroreste, Holzkohle
B	Catena Wolfsbach, Niederfeld	Drehbohrer (Einzelprobe)	Ls
C	Wolfsbach, ca. Höhe „Ziegenwiese“		Schlackenstückchen
C1		Drehbohrer (Einzelprobe)	Sl, graubraun, Makroreste, Muscheln
C2		mit Tiefenfunktion („Rohr“), ca. 35 cm	
C2-1			Ls, grau, Muscheln
C2-2			Sl, grau
C2-3			Übergang, vermischt
C2-4			Ls, orange, Makroreste
C3		mit Tiefenfunktion, 25 cm, ca. 1,50 m vom Ufer	
C3-1		1 - 12 cm	Sl, grau
C3-2		12 – 23 cm	Sl, grau
C3-3		23 – 25 cm	Sl, rostrot
D	Wolfsbach, Steg (Wiesner)	mit Tiefenfunktion	
D1		ca. 25 cm, ca. 1,50 m vom Ufer	
D1-1		1 – 21 cm	Ls4, grau, teilweise rostrot, organische Substanz
D1-2		21 – 25 cm	Grobsand, Kies, fleischfarben
D1-3		25+ cm	viel Grobskelett, fleischfarben
D2		45 cm, in ca. 1,15 m Wassertiefe	
D2-1		1 – 10 cm	Lu, mit schmalem Sandband, grau mit Fe-Flecken, viele organische Reste, weich
D2-2		10 – 21 cm	Lu, grau mit Fe-Flecken, organische Reste
D2-3		21 – 23 cm	rötliches Sandband
D2-4		23 – 32 cm	Lu, graubraun, orangefarbene Flecken, weich
D2-5		32 – 40 cm	St, klebrig, rötliches fahles braun, kompakter
D2-6		40 – 45 cm	Sl, Grobsand, Kalkstein, fleischfarben

Tab. A 6: Laboranalytische Kennwerte ausgewählter Profile

Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-13

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	IS	S	Korngrößen Gew. %	mU	fu	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl2)	CaCO3 %	TOC %	org.S. %	N %	
1	75,1	40,5	28,3	10,9	79,8	6,0	3,2	2,9	12,2	8,1	S13	7,5 YR 5/6	7,36	3,85	0,221	0,4	0,02	
2	86,2	37,0	21,4	12,1	70,5	15,9	1,6	2,6	20,1	9,4	S13	7,5 YR 4/6	n.b.	4,29	0,110	0,2	0,01	
3	0,0	0,3	0,6	2,1	3,0	27,3	30,8	4,5	62,6	34,5	Tu3	5 YR 4/6	6,99	1,88	0,000	0,0	0,03	
4	0,0	0,1	0,5	1,5	0,2	31,8	29,1	9,8	70,7	27,1	Tu4	7,5 YR 4/6	6,96	1,80	0,000	0,0	0,03	
5	0,0	0,0	0,7	2,0	2,8	32,3	29,6	10,2	72,1	25,1	Tu4	7,5 YR 5/6	6,97	1,50	0,000	0,0	0,03	
6	0,0	0,6	0,5	2,2	3,3	36,5	28,5	7,8	71,8	25,0	U14	7,5 YR 4/6	6,95	1,76	0,000	0,0	0,03	
7	0,2	0,7	0,7	2,3	3,7	31,0	25,8	9,7	66,5	29,7	Tu4	7,5 YR 5/6	6,92	1,70	0,000	0,0	0,03	
8	24,1	3,8	4,2	5,5	13,5	23,7	19,7	8,0	51,4	35,2	Tu3	7,5 YR 4/6	6,92	1,76	0,000	0,0	0,03	
9	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
10	80,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 4/6	n.b.	5,30	0,000	0,0	0,00	
11	31,9	12,2	10,0	8,0	30,3	16,0	15,5	6,2	37,7	32,0	L12	7,5 YR 4/6	n.b.	2,32	0,003	0,0	0,04	
12	18,6	6,0	5,9	10,0	21,8	19,3	18,1	6,7	44,1	34,0	L12	10 YR 5/6	6,95	1,60	0,000	0,0	0,03	
13	60,0	29,2	20,4	11,6	61,2	12,8	3,0	3,9	19,7	19,1	Ls4	10 YR 4/6	n.b.	1,76	0,000	0,0	0,02	
14	6,1	6,4	8,3	10,4	25,1	20,0	16,6	10,1	46,6	28,3	L12	10 YR 4/6	6,87	1,50	0,021	0,0	0,03	
15	59,9	16,6	9,5	8,5	34,6	17,4	15,1	7,6	40,1	25,3	L12	10 YR 4/6	n.b.	1,56	0,029	0,0	0,03	
16	0,1	3,0	2,8	8,3	14,2	25,6	20,1	8,8	54,5	31,3	Tu3	10 YR 4/6	6,93	1,63	0,043	0,1	0,03	
17	0,0	0,2	0,7	3,3	4,2	27,4	25,3	10,9	63,5	32,3	Tu3	10 YR 4/6	6,89	1,93	0,068	0,1	0,04	
18	0,2	0,5	1,1	3,5	5,2	26,5	23,1	11,8	61,4	33,4	Tu3	10 YR 4/6	6,87	1,83	0,067	0,1	0,07	
19	0,0	2,0	2,2	4,5	8,7	21,1	23,2	11,6	56,0	35,3	Tu3	7,5 YR 5/6	6,90	1,72	0,042	0,1	0,03	
20	5,2	4,8	4,6	7,5	16,9	23,0	19,9	9,1	51,9	31,2	Tu3	7,5 YR 4/6*	n.b.	1,72	0,170	0,3	0,04	
21	7,4	0,5	1,2	3,6	5,2	26,1	24,6	10,2	60,9	33,9	Tu3	7,5 YR 5/6*	6,94	1,87	0,046	0,1	0,03	
22	0,1	0,3	1,0	2,8	4,1	31,6	24,4	10,6	66,7	29,2	Tu4	7,5 YR 5/6	6,87	1,41	0,008	0,0	0,03	
23	0,0	0,1	0,6	2,3	3,0	32,8	28,1	9,3	70,2	26,9	Tu4	7,5 YR 5/6	6,90	1,59	0,000	0,0	0,03	
24	0,1	0,3	0,8	2,1	3,2	30,8	27,8	9,2	67,8	29,0	Tu4	7,5 YR 5/6	6,90	1,44	0,000	0,0	0,03	
25	1,5	0,6	1,8	6,5	9,0	29,2	24,7	8,6	62,5	28,5	Lu	7,5 YR 5/6	7,03	1,79	0,000	0,0	0,03	
26	3,4	2,7	4,9	16,3	23,8	25,9	17,9	3,0	46,8	29,4	L12	7,5 YR 5/6	7,10	1,62	0,000	0,0	0,02	
27	5,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	n.b.	1,83	0,000	0,0	0,02	
28	14,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6*	n.b.	1,68	0,000	0,0	0,02	

\* auch 7,5 YR 3/4

Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-14

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	gU	mU	flU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	18,1	5,5	6,1	7,2	18,8	28,2	28,2	20,8	9,5	58,4	22,8	Lu	10 YR 2/2	6,62	0,00	2,478	4,3	0,19
2	57,6	3,7	5,1	6,6	15,4	28,9	28,9	23,9	8,4	61,1	23,5	Lu	10 YR 3/3	6,53	2,77	1,018	1,8	0,11
3	1,7	1,8	2,8	4,1	8,7	31,9	17,7	17,7	9,0	58,6	32,7	Tu3	7,5 YR 4/4	6,56	0,00	0,614	1,1	0,07
4	0,0	0,3	2,3	2,2	4,8	31,8	22,1	22,1	4,7	58,6	36,5	Tu3	7,5 YR 4/6	6,58	0,00	0,348	0,6	0,05
5	0,1	0,3	4,4	2,3	6,9	43,6	6,3	6,3	6,6	56,5	36,5	Tu3	5 YR 4/6	6,58	0,00	0,199	0,3	0,03
6	0,1	0,3	7,6	26,7	34,6	31,4	31,4	2,7	2,4	36,4	29,0	Lt2	5 YR 4/6	6,59	0,00	0,134	0,2	0,03
7	0,1	0,7	9,3	29,4	39,4	27,6	27,6	6,5	3,4	37,6	23,0	Ls3	5 YR 4/6	6,45	0,00	0,110	0,2	0,02
8	9,7	4,8	26,3	30,1	61,2	11,1	11,1	5,9	2,4	19,4	19,4	Ls4	5 YR 4/6	6,38	0,00	0,093	0,2	0,02
9	31,7	7,9	34,6	19,8	62,3	10,3	10,3	5,6	2,6	18,5	19,2	Ls4	5 YR 4/6	6,40	0,00	0,103	0,2	0,02
10	27,6	10,6	63,9	12,4	86,9	1,1	1,1	0,1	0,1	2,4	10,7	Sl2	7,5 YR 4/6	6,27	0,00	0,177	0,3	0,01
11	43,6	34,4	54,2	3,1	91,6	0,3	0,3	0,8	0,1	1,2	7,1	Sl2	7,5 YR 4/6	6,49	3,29	0,000	0,0	0,00
12	25,9	34,8	52,0	4,6	91,4	0,9	0,9	0,2	0,0	1,1	7,5	Sl2	7,5 YR 4/6	6,62	0,00	0,059	0,1	0,01
13	9,8	22,8	60,4	7,1	90,2	1,0	1,0	1,0	0,2	2,1	7,6	Sl2	7,5 YR 4/6	6,72	2,86	0,000	0,0	0,01
14	23,2	20,0	63,0	7,4	90,4	2,8	2,8	1,0	0,3	4,0	5,6	Sl2	7,5 YR 4/6	6,78	2,72	0,000	0,0	0,01
15	10,0	44,0	49,4	2,7	96,1	0,3	0,3	0,7	0,2	1,2	2,7	mSgs	7,5 YR 5/6	6,87	2,51	0,000	0,0	0,01
16	59,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	5,09	0,000	0,0	0,01
17	73,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/4	n.b.	12,62	0,000	0,0	0,01
18	32,1	10,5	12,7	12,0	35,2	6,3	6,3	7,8	10,3	24,4	40,4	Lts	7,5 YR 5/6 *	7,08	83,38	0,000	0,0	0,02

\* Teilbereiche 2.5.Y 6/3

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn	Al	U
1	14	94	16	13	42	7	28.708	1.128	9,5	58,4
2	3	79	16	11	37	10	28.619	1.020	8,4	61,1
3	2	72	19	13	48	6	27.793	733	9,0	58,6
4	7	71	19	15	50	3	31.334	459	4,7	58,6
5	4	66	22	12	45	3	30.678	409	6,6	56,5
6	7	55	18	10	29	5	24.188	258	2,4	36,4
7	3	47	14	7	25	4	21.932	334	3,4	37,6
8	3	41	13	6	24	3	19.100	317	19,4	19,4
9	4	43	12	6	24	1	18.039	367	18,5	18,5
10	6	20	8	2	4	3	8.704	342	2,4	2,4
11	3	14	7	1	2	0	7.142	258	0,1	0,1
12	0	16	7	1	2	1	5.368	315	1,2	1,2
13	0	23	7	2	1	3	8.540	294	0,8	0,8
14	6	20	5	2	2	2	8.331	314	0,9	0,9
15	0	13	3	1	2	2	5.171	196	0,2	0,2
16	2	21	4	1	0	3	6.410	244	0,3	0,3
17	6	45	13	4	6	5	13.676	812	0,7	0,7
18	6	183	59	19	19	9	28.345	694	10,3	24,4

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-15**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	gU	mU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org. S. %	N %
1	22,8	7,4	7,9	8,4	23,7	24,9	18,0	7,3	50,3	26,0	Lu	7,5 YR 3/1	6,78	0,00	2,351	4,0	0,20
2	11,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 3/2	6,76	0,00	1,867	3,2	0,16
3	29,7	11,3	8,1	10,0	29,5	22,0	16,2	6,2	44,4	26,2	Lt2	7,5 YR 4/4	6,95	2,89	0,439	0,8	0,07
4	66,2	33,2	17,8	7,7	56,7	9,1	4,7	4,7	21,1	20,2	LS4	7,5 YR 4/4	7,08	3,51	0,245	0,4	0,04
5	0,0	0,5	17,9	22,1	40,6	20,9	9,3	3,9	34,1	25,3	Lt2	7,5 YR 4/6	6,82	0,00	0,181	0,3	0,02
6	0,0	0,2	28,9	22,2	51,2	15,0	5,7	1,8	22,5	26,3	Lt1s	5 YR 4/8	6,73	0,00	0,141	0,2	0,02
7	0,4	0,2	25,5	24,8	50,5	18,0	5,3	2,3	25,6	23,9	LS4	5 YR 4/8	6,65	0,00	0,114	0,2	0,02
8	0,0	0,1	29,1	37,9	67,1	9,3	2,2	0,9	12,4	20,6	Sl3	5 YR 4/8	6,87	0,00	0,084	0,1	0,01
9	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 4/8	6,76	0,00	0,082	0,1	0,01
10	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/8	6,75	0,00	0,097	0,2	0,02
11	0,0	0,1	7,6	43,1	50,7	21,2	4,6	1,4	27,2	22,1	LS4	7,5 YR 4/6	6,82	0,00	0,087	0,1	0,01
12	0,0	0,1	9,7	41,5	51,3	20,6	5,3	1,7	27,6	21,1	LS4	7,5 YR 5/6	6,72	0,00	0,081	0,1	0,01
13	1,9	1,0	39,7	36,5	77,2	5,2	2,5	1,1	8,8	14,0	Sl2	7,5 YR 4/6	6,74	0,00	0,050	0,1	0,01
14	58,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/3	6,73	0,00	0,092	0,2	0,02
15	29,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	0,00	0,116	0,2	0,01
16	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 6/6	6,68	0,00	0,039	0,1	0,01
17	1,8	9,4	80,3	3,6	93,3	0,5	0,1	0,6	1,3	5,4	Sl2	7,5 YR 6/6	6,66	0,00	0,035	0,1	0,01
18	5,3	14,0	75,8	4,5	94,3	0,9	1,3	0,2	0,6	5,1	Sl2	7,5 YR 6/6	6,61	0,00	0,034	0,1	0,01
19	27,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	6,74	0,00	0,051	0,1	0,01
20	12,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	6,68	0,00	0,039	0,1	0,01
21	4,7	50,9	39,8	3,1	93,7	0,1	0,2	0,3	0,6	5,7	gS	7,5 YR 4/6	6,66	0,00	0,036	0,1	0,01
22	0,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	6,69	0,00	0,033	0,1	0,00
23	34,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	6,62	0,00	0,044	0,1	0,01
24	20,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	7,15	3,09	0,000	0,0	0,00
25	53,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/4	n.b.	12,76	0,000	0,0	0,01
26	42,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/2	n.b.	77,51	0,000	0,0	0,02

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	20	90	19	15	51	5	26,043	1,109		
2	19	76	16	13	36	8	25,857	1,093		
3	10	59	16	10	36	5	21,836	939		
4	13	46	10	7	26	10	19,785	995		
5	13	46	11	9	34	3	21,172	279		
6	10	45	12	10	28	1	19,776	285		
7	10	42	8	8	28	3	18,713	163		
8	13	32	7	8	16	0	12,981	223		
9	10	31	9	8	15	0	16,033	142		
10	9	49	16	11	27	0	21,544	180		
11	10	39	11	9	23	0	19,195	182		
12	7	40	11	9	20	0	17,733	156		
13	7	26	6	6	14	0	13,387	171		
14	6	42	21	9	17	4	17,985	899		
15	5	15	8	3	5	3	7,117	401		
16	7	12	2	1	6	2	4,795	278		
17	2	13	1	2	7	0	5,408	235		
18	5	15	4	2	8	4	6,422	299		
19	2	15	5	1	1	2	5,713	283		
20	4	14	2	2	0	2	5,682	266		
21	11	16	3	1	3	2	6,450	198		
22	6	12	2	2	7	0	5,269	196		
23	7	17	3	2	17	0	9,123	283		
24	4	11	0	1	3	0	5,811	274		
25	5	20	5	3	6	2	8,464	438		
26	7	48	19	8	11	1	9,659	638		

## Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-16/17

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	Korngrößen Gew. %			U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )
					S	gU	mU					
16/1	47,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 2/1	6,68
16/2	51,8	12,3	13,7	14,7	40,7	16,9	12,9	36,8	23,5	LS3	10 YR 2/2	6,68
16/3	65,1	34,6	28,8	13,7	77,2	4,8	3,4	11,2	11,6	S13	7,5 YR 4/4	6,92
16/4	71,1	41,7	25,9	9,6	77,2	3,9	4,1	11,3	11,5	S13	7,5 YR 4/4	7,13
17/1	11,9	3,8	6,0	18,2	28,1	24,5	14,1	44,6	27,4	L12	10 YR 4/6	6,93
17/2	54,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	7,01
17/3	40,6	10,3	8,2	11,9	30,4	26,3	15,5	47,4	22,2	LS2	7,5 YR 4/4	7,02
17/4	67,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/4	n.b.
17/5	12,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/3	6,87
17/6	4,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/4	6,77
17/7	5,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 4/6	6,73
17/8	38,0	15,6	9,1	7,6	32,4	10,3	7,5	22,5	45,1	T1	5 YR 3/4	6,73
17/9	33,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/2	n.b.
17/10	62,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/4	n.b.
17/11	32,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	n.b.
17/12	56,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 5/6	7,15
17/13	54,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	7,28
17/14	21,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	7,31

## Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-18

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	Korngrößen Gew. %			U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )
					S	gU	mU					
1	30,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 2/2	6,65
2	38,1	10,4	10,7	11,2	32,2	19,1	14,2	42,1	25,7	Lt2	7,5 YR 3/2	6,44
3	45,8	12,4	11,4	11,5	35,3	16,2	13,5	38,5	26,2	Lt2	7,5 YR 4/4	6,63
4	56,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.
5	18,0	6,3	5,1	9,2	20,7	28,3	17,2	50,2	29,1	Lu	7,5 YR 4/6	6,85
6	46,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/4	n.b.
7	59,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	n.b.
8	2,3	3,0	4,3	6,9	14,2	30,7	25,2	64,2	21,6	Lu	7,5 YR 4/3	6,77
9	26,1	3,5	4,1	11,4	19,0	27,9	20,3	55,6	25,3	Lu	7,5 YR 4/6	6,7
10	1,9	0,9	5,1	21,4	27,4	20,7	13,0	39,8	32,8	Lt2	5 YR 4/8	6,88
11	0,6	0,3	6,2	29,2	35,6	20,3	8,8	36,0	28,4	Lt2	5 YR 5/8	6,63
12	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 5/8	6,67
13	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 5/8	6,7
14	0,1	0,1	3,7	35,6	39,4	22,9	8,1	36,2	24,3	Ls3	5 YR 5/8	6,68
15	54,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 3/4; 5 YR 3/6	7,34
16	41,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.
17	12,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/3	n.b.
18	23,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 7/6	n.b.
19	30,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.
20	51,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 4/6; 5 YR 3/6	n.b.
21	65,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	7,67
22	30,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/6	n.b.

Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-19

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	gU	mU	flU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	16,5	6,5	8,3	9,7	24,4	25,8	21,2	11,1	58,1	17,4	Lu	7,5 YR 3/1	7,12	3,02	2,077	3,6	0,20	
2	4,7	3,1	3,7	5,1	11,9	29,8	24,6	10,7	65,2	22,9	U14	7,5 YR 3/3	7,05	0,00	0,976	1,7	0,08	
3	0,8	2,2	2,5	4,4	9,2	27,6	28,2	10,5	66,3	24,6	U14	7,5 YR 4/4	6,99	0,00	0,614	1,1	0,06	
4	6,9	3,2	4,0	5,5	12,7	29,3	22,1	10,6	62,0	25,3	Lu	7,5 YR 4/6	6,95	0,00	0,425	0,7	0,04	
5	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	6,89	0,00	0,210	0,4	0,04	
6	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 4/8	n.b.	0,00	0,136	0,2	0,02	
7	0,0	0,5	4,9	15,6	21,1	24,2	15,4	7,9	47,4	31,5	L12	5 YR 5/8	6,84	0,00	0,122	0,2	0,02	
8	0,0	0,5	5,7	19,7	25,9	24,1	13,5	5,7	43,3	30,8	L12	5 YR 5/8	6,88	0,00	0,096	0,2	0,02	
9	0,2	1,3	7,4	10,8	19,5	24,4	15,4	7,5	47,4	33,1	L12	5 YR 5/8	6,87	0,00	0,107	0,2	0,02	
10	48,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 3/6	6,93	0,00	0,073	0,1	0,01	
11	29,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	0,00	0,067	0,1	0,01	
12	19,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/8	n.b.	2,42	0,000	0,0	0,01	
13	17,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	2,25	0,000	0,0	0,01	
14	53,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	4,27	0,000	0,0	0,01	
15	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5 YR 5/8	7,14	0,00	0,036	0,1	0,01	
16	62,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 4/6	n.b.	0,00	0,047	0,1	0,01	
17	2,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/8	n.b.	0,00	0,001	0,0	0,00	
18	89,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/4	n.b.	36,83	0,000	0,0	0,02	

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	17	105	20	10	34	12	31.692	1.279		
2	10	85	22	10	36	12	32.906	1.040		
3	11	75	24	12	35	11	27.557	997		
4	11	76	18	11	29	11	23.479	1.266		
5	2	64	20	8	28	8	23.418	573		
6	10	64	22	12	23	9	27.098	591		
7	14	67	23	13	21	6	31.143	267		
8	12	59	24	10	25	8	30.829	249		
9	8	62	28	14	27	6	31.152	562		
10	5	43	5	6	5	9	11.432	456		
11	6	40	13	5	1	18	9.634	671		
12	1	38	9	4	1	9	9.627	387		
13	6	53	6	7	7	7	14.095	432		
14	10	43	3	6	1	7	10.972	437		
15	7	30	0	3	2	9	7.167	144		
16	11	64	12	6	0	5	14.549	481		
17	21	73	14	9	13	8	18.872	239		
18	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-20**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	µ	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	1,9	3,6	6,9	12,1	22,6	22,0	11,7	57,6	19,8	Lu	7,5 YR 3/2	6,87	2,88	3,710	6,4	0,36
2	0,0	4,1	1,1	4,0	5,5	21,4	31,7	67,3	27,3	Tu4	7,5 YR 4/3	5,37	0,00	2,904	5,0	0,25
3	2,4	0,7	0,8	3,7	5,2	23,5	14,3	68,5	26,2	Tu4	10 YR 4/3	5,10	0,00	1,804	3,1	0,18
4	0,3	0,6	0,8	5,2	6,6	28,9	n.b.	65,5	27,9	Tu4	10 YR 4/4	5,18	0,00	0,645	0,9	0,05
5	0,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/4	n.b.	0,00	0,715	1,2	0,07
6	0,2	0,9	1,5	1,6	4,0	26,0	12,2	68,8	27,2	Tu4	10 YR 4/4	5,59	0,00	0,689	1,0	0,04
7	0,1	0,7	1,0	2,7	4,5	27,6	10,4	67,3	28,3	Tu4	10 YR 4/4	5,70	0,00	0,605	1,0	0,05
8	0,0	0,2	0,5	1,4	2,1	24,2	9,9	65,7	32,2	Tu4	2,5 Y 4/4	5,43	0,00	0,628	1,1	0,06
9	0,1	0,0	0,2	1,3	3,3	33,3	11,1	67,9	30,8	Tu4	2,5 Y 4/4	n.b.	0,00	0,576	1,0	0,06
10	0,0	0,1	0,1	3,4	3,5	23,5	11,3	66,4	30,1	Tu4	2,5 Y 4/4	6,10	0,00	0,499	0,9	0,04
11	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 4/4	n.b.	0,00	0,652	1,1	0,05
12	0,8	0,8	1,2	3,4	5,5	26,3	11,5	65,0	29,6	Lu	2,5 Y 3/3	5,66	0,00	1,009	1,7	0,09
13	57,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 3/2	n.b.	0,00	1,748	3,0	0,13
14	24,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 4/2	n.b.	0,00	0,943	1,6	0,08
15	5,1	2,4	2,1	3,7	8,2	22,0	23,9	54,8	37,0	Tu3	2,5 Y 4/2	5,90	0,00	0,572	1,0	0,06
16	17,9	2,1	2,3	3,5	7,9	23,4	23,5	56,5	35,7	Tu3	2,5 Y 4/3	5,96	2,40	0,186	0,3	0,05
17	29,6	2,3	2,6	3,8	8,7	24,8	23,1	57,5	33,8	Tu3	2,5 Y 4/4	6,04	2,05	0,175	0,3	0,04
18	1,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,6	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 4/1	n.b.	2,14	0,468	0,8	0,06
19	0,9	0,6	2,3	10,7	13,7	31,1	23,0	60,9	25,4	Lu	2,5 Y 5/2	6,58	2,07	0,227	0,4	0,04
20	1,0	0,3	1,3	15,5	17,2	24,5	6,7	48,8	34,1	Lt2	2,5 Y 5/1	6,62	2,21	0,763	1,3	0,08
21	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 3/1	n.b.	0,00	6,981	12,0	0,46
22	0,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 2/1	n.b.	0,00	7,542	13,0	0,45
23	2,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 3/1	n.b.	0,00	3,645	6,3	0,22
24	25,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 3/3	n.b.	2,88	0,777	1,3	0,07
25	54,8	10,3	64,3	17,9	92,5	2,6	1,7	5,1	2,4	mSfs	5 YR 5/6	7,18	4,64	0,226	0,4	0,01
26	84,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 5/4	n.b.	41,73	0,457	0,8	0,03
27	65,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 6/3	n.b.	69,43	0,649	1,1	0,01

Probe	Pb	Cu	Ni	Zn	Co	Fe	Mn
1	56	24	35	229	22	43,868	5,611
2	31	36	31	101	13	47,598	615
3	22	28	31	89	16	29,489	284
4	6	24	28	68	9	24,878	947
5	6	24	28	72	6	25,333	1,205
6	10	25	31	71	15	33,133	1,834
7	3	25	27	74	9	25,732	1,998
8	11	26	29	78	11	28,200	287
9	6	26	29	69	8	24,596	164
10	6	24	27	64	11	21,919	264
11	0	7	24	72	8	23,569	1,628
12	4	9	28	96	8	27,388	492
13	2	13	36	105	6	27,393	261
14	2	13	40	99	8	29,150	293
15	0	14	41	89	11	29,051	159
16	0	13	39	88	12	31,014	165
17	0	14	34	85	9	37,488	188
18	5	9	34	84	2	18,503	76
19	4	24	25	84	5	15,845	37
20	51	3	32	160	7	17,962	69
21	56	15	39	209	4	15,105	82
22	43	9	26	179	5	9,990	61
23	14	10	10	77	1	5,455	24
24	10	1	7	48	4	5,746	95
25	0	0	1	23	2	8,741	229
26	11	6	36	59	10	13,953	888
27	4	6	32	55	8	8,106	1,110

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-24**

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe
1	6,3	10 YR 3/4
2	7,7	10 YR 3/4
3	11,9	7,5 YR 3/3
4	3,0	7,5 YR 4/4
5	16,1	10 YR 5/6
6	15,8	10 YR 6/6
7	0,3	10 YR 6/6
8	0,0	10 YR 5/6
9	0,0	7,5 YR 5/6
10	0,0	10 YR 5/6
11	0,0	10 YR 5/8
12	0,0	7,5 YR 5/6
13	0,0	10 YR 6/6
14	55,2	10 YR 5/8
15	6,8	10 YR 5/8
16	37,3	10 YR 5/4
17	29,7	10 YR 6/6
18	28,8	10 YR 5/6
19	40,3	10 YR 5/8
20	47,2	10 YR 6/8

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-22**

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe
1	15,2	10 YR 3/2
2	57,7	7,5 YR 4/4
3	9,6	7,5 YR 4/6
4	0,7	7,5 YR 5/6

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-23**

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )
1	10,6	7,5 YR 3/2	6,46
2	31,9	7,5 YR 4/4	6,57
3	15,8	7,5 YR 4/4	6,80
4	0,6	7,5 YR 4/6	6,82
5	1,2	7,5 YR 4/6	n.b.
6	0,0	7,5 YR 5/6	6,85
7	0,0	7,5 YR 4/6	n.b.
8	0,0	7,5 YR 4/6	6,85
9	0,0	7,5 YR 5/6	6,87
10	0,0	7,5 YR 4/6	6,90
11	0,0	7,5 YR 4/6	6,89
12	0,0	7,5 YR 5/6	n.b.
13	0,0	7,5 YR 4/6	n.b.
14	0,0	7,5 YR 5/6	n.b.
15	0,0	7,5 YR 4/6	6,90
16	12,7	7,5 YR 5/6	n.b.
17	0,9	7,5 YR 5/6	7,03
18	6,7	7,5 YR 4/6	6,96
19	65,5	7,5 YR 4/6	n.b.
20	14,0	7,5 YR 5/6	n.b.

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-25**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	mU	flU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	20,5	5,3	5,4	6,5	17,2	22,3	21,8	11,5	55,6	27,2	Lu	10 YR 3/2	6,94	3,45	2,121	3,6	0,22
2	0,2	2,6	5,4	7,1	15,2	17,1	19,6	8,9	45,6	39,3	Ll3	10 YR 5/6	6,79	0,00	0,352	0,6	0,05
3	0,0	3,2	5,0	7,4	15,5	18,2	19,9	8,7	46,8	37,6	Ll3	10 YR 4/6	6,72	0,00	0,222	0,4	0,04
4	0,0	2,1	7,7	8,8	18,6	14,9	15,9	9,8	40,6	40,8	Ll3	10 YR 5/6	6,79	4,16	0,046	0,1	0,08
5	0,0	0,7	4,5	6,8	12,1	15,2	20,8	9,2	45,2	42,7	Ll3	10 YR 5/6	6,85	0,00	0,216	0,4	0,03
6	0,0	0,7	6,7	29,3	36,7	22,9	13,1	4,0	39,9	23,4	Ls3	7,5 YR 5/6	5,96	0,00	0,112	0,2	0,02
7	5,1	2,5	18,6	48,4	69,5	10,3	5,5	2,4	18,1	12,4	S14	10 YR 4/6	6,27	0,00	0,054	0,1	0,01
8	50,3	23,6	31,1	21,7	76,4	6,6	4,8	3,3	14,8	8,9	S13	10 YR 5/6	6,77	4,75	0,000	0,0	0,01
9	3,3	3,4	17,2	53,3	73,8	10,9	3,7	2,9	17,5	8,6	S13	10 YR 4/6	6,84	0,00	0,100	0,2	0,01
10	6,5	4,0	22,4	51,3	77,7	8,7	4,1	2,3	15,1	7,2	S12	10 YR 4/6	6,95	3,24	0,000	0,0	0,02
11	32,0	24,1	38,4	24,1	86,6	5,9	1,6	1,9	9,5	3,9	mSgs	10 YR 5/6	7,15	3,91	0,000	0,0	0,01
12	31,0	31,6	52,9	7,3	91,9	2,5	1,1	1,6	5,2	2,9	mSgs	10 YR 5/6	7,27	3,39	0,000	0,0	0,00
13	74,6	32,7	20,7	11,1	64,5	3,2	4,5	9,6	17,3	18,1	Ls4	10 YR 6/8	7,40	50,61	0,000	0,0	0,01

Probe	Schwermetalle in ppm							
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn
1	26	102	32	13	38	12	29.936	1.081
2	25	101	48	18	46	15	40.006	717
3	16	114	61	17	32	19	38.942	846
4	20	146	74	17	37	20	38.726	918
5	25	149	72	19	39	19	43.660	814
6	13	54	23	9	22	8	23.318	467
7	7	34	14	5	8	9	14.621	312
8	6	29	11	5	4	8	16.055	516
9	4	35	18	4	4	9	13.745	406
10	3	32	14	4	9	9	11.767	361
11	23	38	10	4	1	7	10.662	360
12	33	43	11	3	0	8	12.283	454
13	18	117	38	12	5	8	23.526	1.041

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-26**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %		mU	µU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )
						gU								
1	13,9	6,6	6,2	6,7	19,5	23,8	21,5	9,9	55,3	25,2	Lu	7,5 YR 4/3	6,53	
2	0,2	0,6	0,7	1,6	2,9	25,2	24,0	11,8	61,1	36,0	Tu3	7,5 YR 6/6	6,45	
3	0,1	0,3	0,3	1,3	1,8	27,3	25,4	9,9	62,6	35,5	Tu3	7,5 YR 4/6	6,51	
4	0,1	0,2	0,2	1,5	1,9	29,9	27,0	10,5	67,4	30,7	Tu4	7,5 YR 4/6	6,54	
5+6	0,4	0,3	0,8	2,0	3,1	29,2	25,0	10,4	64,6	32,3	Tu3	7,5 YR 5/6	6,61	
7	0,0	0,4	1,1	4,0	5,6	25,5	24,7	10,6	60,8	33,7	Tu3	10 YR 5/6	6,64	
8	0,8	0,5	1,2	4,6	6,3	24,2	25,9	9,2	59,3	34,4	Tu3	10 YR 5/6	6,67	
9	0,4	0,5	1,3	4,6	6,4	23,7	25,1	9,4	58,2	35,4	Tu3	10 YR 6/6	6,62	
10	4,5	2,6	3,5	7,2	13,2	20,8	19,7	10,7	51,2	35,6	Tu3	10 YR 5/6	6,61	
11	25,5	11,8	8,1	9,2	29,1	19,6	14,5	6,7	40,8	30,1	L2	10 YR 5/6	6,60	
12	1,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	6,56	
13	1,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/6	6,61	
14	0,1	1,0	1,2	3,0	5,2	24,3	24,6	10,4	59,3	35,5	Tu3	10 YR 5/6	6,64	
15	0,0	0,9	1,5	4,0	6,4	17,1	20,7	11,9	49,7	43,9	L3	10 YR 5/8	6,63	
16	0,6	0,7	1,5	3,7	5,8	21,2	24,3	9,4	55,0	39,2	Tu3	10 YR 5/6	6,63	
17	0,0	0,5	1,1	3,5	5,1	23,3	25,0	9,6	58,9	36,0	Tu3	7,5 YR 5/6	6,61	
18	0,1	0,5	1,3	3,3	5,1	24,4	25,0	10,0	59,5	35,5	Tu3	7,5 YR 6/6	6,63	
19	0,6	2,9	4,1	8,1	15,1	17,2	19,4	10,9	47,5	37,4	L3	7,5 YR 5/6	6,62	

Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-30

Probe	Skelett Gew. %	8S	mS	fS	S	Komponenten Gew. %	mU	fU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl2)	CaCO3 %	TOC %	org.S. %	N %
1	0,3	0,7	5,9	16,9	23,4	25,4	22,3	11,8	59,5	17,1	Lu	7,5 YR 3/1	6,14	0,00	6,697	11,5	0,58
2	0,0	0,4	7,4	13,4	21,2	25,0	25,6	11,2	61,8	16,9	Uls	10 YR 3/2	6,94	0,00	4,382	7,5	0,42
3	0,0	0,2	5,3	13,8	19,3	24,4	23,6	9,3	57,3	23,4	Lu	7,5 YR 4/3	6,99	0,00	1,670	2,9	0,16
4	0,0	0,6	6,4	14,1	20,7	24,7	20,9	10,0	55,5	23,8	Lu	10 YR 4/4	7,11	0,00	1,308	2,2	0,12
5	0,0	0,0	1,2	19,6	40,6	21,0	12,8	6,4	40,3	19,1	LS2	7,5 YR 4/4	6,92	0,00	0,939	1,6	0,09
6	0,0	0,0	1,2	32,4	23,7	13,6	9,8	4,3	27,7	15,0	SL4	10 YR 4/4	6,92	0,00	0,673	1,2	0,06
7	0,0	1,0	23,9	20,1	44,9	17,4	11,9	5,9	35,2	19,9	LS3	10 YR 4/6	6,99	0,00	0,782	1,3	0,09
8	0,0	0,6	19,6	29,4	49,5	20,3	11,4	3,0	34,8	15,7	SL4	10 YR 4/6	6,43	0,00	0,387	0,7	0,07
9	0,0	0,3	12,1	21,6	36,0	23,7	15,0	4,5	43,2	20,8	LS2	10 YR 5/6	6,66	0,00	0,401	0,7	0,08
10	0,1	1,5	3,1	7,8	12,3	26,4	22,7	9,5	60,3	27,3	Lu	10 YR 5/4	6,90	0,00	0,557	1,0	0,13
11	0,1	0,2	2,3	7,9	10,5	31,0	26,0	6,9	63,8	25,7	Lu	10 YR 5/4	6,78	0,00	0,470	0,8	0,15
12	0,0	0,2	2,9	12,9	16,0	29,7	21,4	6,1	59,2	24,8	Lu	10 YR 4/6	6,61	0,00	0,520	0,9	0,20
13	0,0	0,0	2,9	12,6	15,5	26,8	23,9	7,7	60,4	24,1	Lu	10 YR 5/6	6,54	0,00	0,640	1,1	0,25
14	0,0	0,1	1,5	10,9	12,6	26,5	25,2	8,8	60,4	27,0	Lu	10 YR 5/4	6,52	0,00	0,724	1,2	0,32
15	0,0	0,0	0,6	6,2	6,9	28,8	26,5	10,9	66,3	26,9	Tu4	10 YR 4/4	6,73	0,00	0,799	1,4	0,37
16	0,0	0,1	1,5	7,7	9,4	29,8	24,9	9,4	64,1	26,6	Lu	10 YR 4/3	6,82	0,00	0,868	1,5	0,44
17	0,0	0,2	4,7	24,5	29,4	27,0	17,5	7,6	52,2	18,4	Lu	7,5 YR 3/3	6,38	0,00	0,967	1,7	0,49
18	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 3/3	n.b.	0,00	1,956	3,4	0,71
19	0,0	0,0	4,0	22,7	26,8	25,6	17,8	8,3	51,8	21,5	Lu	10 YR 3/4	6,14	0,00	1,896	3,3	0,80
20	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 2/2	n.b.	0,00	3,153	5,4	0,25
21	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 3/1	n.b.	0,00	3,664	6,3	1,09
22	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 4/4	n.b.	0,00	1,273	2,2	0,89
23	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 4/4	n.b.	0,00	0,632	1,1	0,65
24	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 4/3	n.b.	0,00	1,320	2,3	1,14
25	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 2/3	n.b.	0,00	2,779	4,8	1,44
26	19,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 3/3	n.b.	0,00	1,331	2,3	1,23
27	2,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 2/1	n.b.	0,00	5,311	9,1	0,36
28	30,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/3	n.b.	0,00	0,058	0,1	1,21
29	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 2/1	n.b.	0,00	7,892	13,6	0,52
30	51,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/6	7,22	0,00	0,037	0,1	1,44
31	62,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/6	n.b.	0,00	0,614	1,1	1,70
32	67,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 5/6	n.b.	55,95	0,198	0,2	2,27

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	267	2.218	33	129	57	21	38.719	955		
2	203	1.989	37	106	47	12	38.289	1.236		
3	233	1.41	30	18	33	10	30.600	1.277		
4	11	91	29	12	32	10	28.577	1.042		
5	11	76	21	9	23	3	21.997	223		
6	5	60	15	6	14	7	18.401	153		
7	10	67	19	8	19	1	20.905	461		
8	15	55	17	7	19	2	16.336	93		
9	7	59	23	9	20	2	18.696	606		
10	14	71	36	11	27	6	23.183	995		
11	0	62	30	10	25	12	19.256	572		
12	3	60	23	8	27	10	16.953	256		
13	0	66	27	10	27	10	18.705	366		
14	1	70	27	10	30	11	19.342	320		
15	4	75	31	11	35	6	21.742	753		
16	6	78	32	10	28	10	21.017	973		
17	6	78	32	10	28	10	16.300	427		
18	5	100	27	6	24	15	14.995	124		
19	12	137	33	10	31	12	21.529	195		
20	22	144	25	6	29	9	16.165	170		
21	3	107	21	8	28	9	15.867	179		
22	3	62	14	5	18	5	16.021	217		
23	0	100	18	8	23	5	15.367	203		
24	5	100	18	8	23	5	17.284	377		
25	20	138	22	8	30	11	17.876	210		
26	4	67	8	5	10	6	8.169	101		
27	17	122	23	8	24	4	11.715	161		
28	0	19	3	0	4	2	5.280	22		
29	28	156	28	8	25	9	13.663	188		
30	8	28	6	1	3	5	6.348	28		
31	9	88	21	2	19	3	29.300	85		
32	473	68	30	7	7	6	48.673	508		

Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-44

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	mU	fU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	0,5	1,5	3,6	11,9	17,0	22,7	27,2	15,1	65,0	18,0	Lu	10 YR 2/3	7,06	1,98	5,251	9,0	0,47
2	0,0	1,0	2,3	10,1	13,4	23,9	29,6	12,4	59,9	26,6	Lu	10 YR 3/3	6,66	0,00	2,139	3,7	0,18
3	0,0	0,1	0,5	6,7	7,4	21,6	26,8	14,3	62,8	29,9	Lu	10 YR 3/4	5,29	0,00	2,141	3,7	0,17
4	0,0	0,1	0,5	5,9	6,5	25,3	25,8	12,3	63,4	30,1	Tu3	10 YR 4/3	5,04	0,00	1,470	2,5	0,12
5	0,0	0,1	0,4	5,5	5,9	26,9	27,8	11,7	66,4	27,6	Tu4	10 YR 4/3	4,86	0,00	1,602	2,8	0,14
6	0,0	0,1	0,9	10,0	10,9	33,3	25,8	7,9	67,0	22,1	U4	10 YR 5/4	5,41	0,00	0,808	1,4	0,07
7	0,0	0,1	2,7	7,1	10,0	27,0	30,0	9,8	66,8	23,3	U4	10 YR 4/4	5,94	0,00	0,803	1,4	0,08
8	0,0	0,5	3,4	8,9	12,8	29,7	24,7	10,6	65,0	22,2	Lu	10 YR 5/4	5,93	0,00	0,995	1,7	0,09
9	5,3	11,2	30,4	14,6	56,2	12,9	10,7	4,4	26,0	15,8	Sl4	10 YR 2/2	5,25	0,00	0,860	1,5	0,07
10	10,4	24,0	47,7	9,1	80,9	4,5	3,8	2,4	10,6	8,5	S13	7,5 YR 3/4	5,48	0,00	0,297	0,5	0,03
11	50,8	34,1	40,7	2,9	77,7	0,3	0,8	1,4	2,5	19,8	S13	5 YR 3/6	5,70	0,00	0,267	0,5	0,04
12	8,5	8,3	48,7	16,7	73,7	5,8	4,3	2,8	12,9	13,4	Sl4	7,5 YR 4/4	6,54	0,00	0,185	0,3	0,02
13	38,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,00	0,165	0,3	0,02
14	65,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,67	0,000	0,0	0,02
15	65,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,85	0,000	0,0	0,01
16	70,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,43	0,052	0,1	0,01
17	6,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,95	0,000	0,0	0,01

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	188	518	39	82	61	19	42.491	1.073		
2	45	143	40	22	44	18	44.608	2.589		
3	39	116	39	19	43	17	36.569	778		
4	32	117	34	17	41	12	29.527	459		
5	27	102	30	16	40	11	24.305	369		
6	14	68	27	10	30	9	23.686	1.044		
7	16	78	27	11	31	12	22.885	652		
8	15	83	26	10	30	12	26.457	2.034		
9	16	80	16	11	22	6	14.434	368		
10	5	39	9	4	8	5	10.450	68		
11	19	77	29	8	22	11	26.353	244		
12	16	49	15	6	13	9	22.976	439		
13	17	60	17	6	17	8	22.649	221		
14	10	56	15	6	11	6	20.360	131		
15	1	20	4	3	1	3	13.641	164		
16	15	34	9	5	7	4	27.586	198		
17	4	11	2	2	1	2	6.145	53		

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-50**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	mU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org S. %	N %
1	0,9	1,4	4,2	10,7	16,3	23,3	25,2	11,9	60,4	23,3	10 YR 3/2	6,83	0,00	2,977	5,1	0,26
2	1,5	3,6	6,6	8,3	18,5	23,7	23,7	7,2	54,6	26,9	10 YR 4/4	6,98	1,53	0,603	1,0	0,07
3	2,1	0,7	1,7	3,9	6,3	24,7	25,3	7,2	61,7	32,0	10 YR 4/4	7,00	1,78	0,779	1,3	0,09
4	0,0	0,2	1,7	3,9	5,8	26,7	26,9	9,2	64,8	29,4	10 YR 4/6	6,70	0,00	0,565	1,0	0,06
5	0,0	0,1	1,3	4,9	6,2	26,3	29,6	9,1	66,1	28,7	10 YR 4/6	5,62	0,00	0,465	0,8	0,05
6	0,0	1,4	3,1	6,3	10,8	30,2	24,9	8,2	63,4	25,8	2,5 Y 4/4	5,12	0,00	0,488	0,8	0,05
7	0,4	4,9	6,5	6,3	17,7	29,6	23,4	7,4	60,4	22,0	10 YR 5/4	5,02	0,00	0,387	0,7	0,04
8	0,3	2,8	6,6	6,1	15,5	29,2	24,7	9,3	63,2	21,3	10 YR 3/2	5,63	0,00	0,907	1,6	0,07
9	0,0	2,3	7,8	9,1	19,3	23,5	24,7	9,4	57,5	23,2	10 YR 3/2	5,54	0,00	0,858	1,5	0,08
10	0,0	3,0	11,3	12,4	26,7	23,6	20,2	9,6	53,4	19,9	2,5 Y 3/6	5,46	0,00	0,783	1,3	0,07
11	0,6	3,1	22,2	26,2	51,5	16,2	11,5	5,5	32,2	16,4	10 YR 4/3	5,52	0,00	0,415	0,7	0,04
12	0,0	3,0	12,5	14,5	30,0	24,6	18,5	6,8	49,9	20,1	10 YR 4/3	5,49	0,00	0,638	1,1	0,06
13	0,0	2,9	21,7	29,5	54,2	15,8	9,9	5,4	31,1	14,7	2,5 Y 3/2	5,53	0,00	0,357	0,6	0,03
14	0,6	3,6	21,3	27,8	52,7	15,3	9,9	5,4	30,6	16,7	2,5 Y 3/2	5,55	0,00	0,484	0,8	0,04
15	0,3	2,9	12,7	15,2	30,9	20,7	19,7	8,4	48,9	20,3	10 YR 3/4	5,68	0,00	0,750	1,3	0,07
16	0,2	5,0	20,1	28,4	53,5	13,7	9,5	5,2	28,4	18,1	5 Y 3/1	5,66	0,00	0,581	1,0	0,04
17	0,0	2,0	18,9	31,8	52,7	12,2	8,5	4,0	24,8	22,5	10 YR 3/3	5,99	0,00	0,495	0,9	0,05
18	0,0	0,6	7,8	23,8	32,2	13,2	8,8	5,5	27,5	40,3	7,5 Y 2/1	6,29	0,00	1,126	1,9	0,11
19	0,0	0,2	2,9	28,2	31,2	20,9	13,0	6,2	40,1	28,7	5 Y 4/1	6,62	0,00	0,700	1,2	0,06
20	4,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 1,7/1	n.b.	0,00	15,750	27,1	0,90
21	0,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5 YR 3/1	n.b.	0,00	2,789	4,8	0,16
22	0,7	12,4	64,7	15,3	92,4	2,0	1,0	1,1	4,0	3,6	5 Y 3/2	4,85	0,00	0,632	1,1	0,04
23	0,3	5,7	56,4	21,5	85,6	2,8	2,9	1,4	7,1	7,3	2,5 Y 4/1	6,38	0,00	0,419	0,7	0,03
24	38,6	40,8	34,2	10,2	85,3	2,0	2,1	2,1	6,2	8,5	10 YR 4/4	7,62	1,80	0,011	0,0	0,02
25	44,8	47,6	21,0	6,6	75,2	4,2	4,7	7,4	16,3	8,5	10 YR 5/6	7,87	17,43	0,000	0,0	0,01
26	88,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/6	n.b.	32,93	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Pb	Zn	Ni	Schwermetalle in ppm	Co	Fe	Mn
1	53	221	29	Cu 23	8	35,378	1,367
2	7	90	27	Cr 39	8	28,604	1,271
3	10	97	36	Cr 39	9	36,713	1,760
4	5	75	31	Cr 33	9	36,413	1,798
5	2	64	23	Cr 10	3	29,451	1,035
6	5	60	21	Cr 30	9	26,179	511
7	1	51	18	Cr 27	7	21,945	256
8	8	68	17	Cr 28	3	27,440	2,534
9	0	89	21	Cr 29	6	20,742	684
10	0	70	8	Cr 24	6	17,362	767
11	1	65	1	Cr 17	4	15,479	375
12	3	64	10	Cr 21	4	17,798	893
13	2	64	2	Cr 15	2	14,328	998
14	3	75	4	Cr 16	4	12,921	691
15	2	70	9	Cr 26	8	14,891	735
16	0	91	11	Cr 19	11	15,777	1,028
17	5	95	8	Cr 28	1	10,191	277
18	20	158	27	Cr 58	8	17,432	410
19	36	99	10	Cr 8	2	12,402	177
20	22	68	40	Cr 16	3	8,819	833
21	16	22	5	Cr 4	0	3,313	58
22	6	14	5	Cr 0	8	2,564	0
23	13	29	5	Cr 2	46	4,071	0
24	22	44	4	Cr 3	5	10,211	314
25	21	49	8	Cr 3	0	16,850	86
26	n.b.	n.b.	n.b.	Cr n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-59**

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %
1	30,3	10 YR 2/2	7,30	2,82
2	8,8	5 YR 4/4	7,23	1,50
3	60,4	5 YR 4/8	7,67	3,39
4	70,0	5 YR 5/6	7,77	3,58

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-64**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fs	S	Korngrößen Gew. %	gU	mU	µU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	18,4	4,0	6,9	2,2	13,2	33,2	31,7	23,1	10,5	66,9	20,0	U4	10 YR 3/3	7,05	0,00	2,033	3,5	0,19
2	5,7	2,7	5,8	6,9	15,4	31,7	21,6	21,6	9,3	62,7	21,9	Lu	7,5 YR 4/4	7,03	0,00	0,858	1,5	0,10
3	3,1	1,8	3,8	4,3	9,9	21,7	35,4	35,4	10,9	68,0	22,1	U4	7,5 YR 4/6	7,05	0,00	0,557	1,0	0,07
4	0,9	1,0	2,1	0,1	3,1	40,4	24,2	24,2	9,9	74,5	22,4	U4	7,5 YR 5/6	7,01	0,00	0,240	0,4	0,04
5	1,9	1,2	2,1	2,5	5,8	30,6	25,0	25,0	10,9	66,6	27,7	Tu4	7,5 YR 5/6	7,16	0,00	0,204	0,4	0,04
6	0,0	0,6	2,2	2,8	5,6	32,6	26,7	26,7	8,1	67,4	27,0	Tu4	7,5 YR 5/6	7,25	0,00	0,199	0,3	0,04
7	0,0	0,8	2,0	0,7	3,5	35,5	25,4	25,4	7,2	68,1	28,4	Tu4	7,5 YR 5/6	7,20	0,00	0,132	0,2	0,03
8	0,0	0,3	1,5	13,1	14,9	31,8	24,2	24,2	6,3	62,3	22,9	Lu	7,5 YR 5/8	7,11	0,00	0,092	0,2	0,02
9	50,2	29,9	37,2	9,4	76,9	2,3	1,9	1,9	1,4	5,6	17,9	Si3	7,5 YR 4/6	6,94	0,00	0,096	0,2	0,02
10	26,3	24,6	44,7	16,7	85,9	2,3	0,5	0,5	0,1	2,8	11,2	Si2	7,5 YR 5/8	7,13	0,00	0,074	0,1	0,02
11	1,0	0,6	0,6	5,2	6,3	2,8	7,6	7,6	13,9	24,4	89,4	Tt	10 YR 5/6	7,44	3,31	0,000	0,0	0,05
12	89,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/6	n.b.	41,45	0,000	0,0	0,03
13	90,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 6/6	n.b.	61,94	0,000	0,0	0,03

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	22	87	32	16	44	12	32.457	1.488		
2	15	81	30	15	35	11	30.428	1.325		
3	15	76	28	15	34	11	31.165	1.314		
4	15	69	31	18	29	13	38.029	1.235		
5	14	67	32	17	28	9	39.773	977		
6	8	60	26	14	28	5	31.002	334		
7	11	62	31	14	25	6	31.854	507		
8	13	60	31	14	17	7	28.968	662		
9	17	60	30	12	17	6	31.940	410		
10	20	73	24	10	11	7	21.677	174		
11	32	394	261	48	39	42	116.481	3.217		
12+13	44	204	70	20	22	13	37.956	1.202		

**Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-71**

Probe	Skelett Gew. %	gS	mS	fS	S	Korngrößen Gew. %	gU	mU	fU	U	T	Bodenart	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %
1	1,0	1,2	2,9	6,8	10,8	35,5	25,1	14,3	74,9	14,3	14,3	Uf3	10 YR 2/3	7,24	2,21	6,708	11,5	0,56
2	0,1	2,1	4,5	10,1	16,8	19,8	24,3	13,1	57,3	26,0	26,0	Lu	10 YR 3/2	6,94	0,00	3,048	5,2	0,27
3	0,0	2,3	2,2	4,2	8,7	19,2	29,2	16,2	64,5	26,8	26,8	Lu	10 YR 3/3	6,29	0,00	2,623	4,5	0,23
4	0,0	0,1	2,5	11,6	14,3	24,6	24,6	12,5	61,7	24,0	24,0	Lu	10 YR 3/4	4,97	0,00	1,967	3,4	0,18
5	0,0	2,5	9,6	21,5	33,6	27,3	15,8	5,2	48,3	18,0	18,0	Ls2	10 YR 4/4	5,72	0,00	0,876	1,5	0,07
6	0,8	4,0	18,8	25,2	48,0	20,2	12,9	3,7	36,8	15,1	15,1	Sf4	10 YR 5/6	6,54	0,00	0,511	0,9	0,04
7	0,0	0,6	18,7	20,5	39,8	22,4	16,1	5,6	44,1	16,1	16,1	Slu	10 YR 4/4	6,06	0,00	0,607	1,0	0,06
8	0,0	3,3	20,7	18,1	42,0	22,2	14,3	6,1	42,6	15,4	15,4	Slu	10 YR 4/4	5,79	0,00	0,519	0,9	0,05
9	9,7	17,7	29,3	11,5	58,5	12,8	9,9	4,7	27,4	14,1	14,1	Sf4	10 YR 3/4	5,71	0,00	0,593	1,0	0,04
10	0,2	12,2	31,0	9,9	53,1	14,6	12,6	4,7	31,9	15,0	15,0	Sf4	10 YR 3/3	5,86	0,00	0,533	0,9	0,05
11	0,4	11,6	29,0	9,4	49,9	15,6	12,2	5,3	33,1	17,0	17,0	Sf4	10 YR 3/4	5,86	0,00	0,652	1,1	0,06
12	1,3	12,0	29,8	10,2	52,0	15,5	12,9	5,2	33,6	14,4	14,4	Sf4	10 YR 3/4	5,94	0,00	0,432	0,7	0,03
13	2,1	13,2	27,9	8,8	49,9	13,2	12,6	5,1	31,0	19,1	19,1	Ls3	10 YR 4/3	6,09	0,00	0,320	0,6	0,03
14	1,0	14,3	26,2	7,9	48,3	16,4	10,7	5,8	32,9	18,8	18,8	Ls3	10 YR 3/4	5,89	0,00	0,361	0,6	0,03
15	1,6	10,6	26,9	9,0	46,6	15,7	11,6	5,5	32,9	20,5	20,5	Ls3	10 YR 4/3	6,18	0,00	0,478	0,8	0,04
16	20,5	6,6	19,8	8,9	35,3	18,3	14,7	8,3	41,3	23,4	23,4	Ls2	10 YR 2/2	6,26	0,00	1,820	3,1	0,16
17	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	schwarz	n.b.	0,00	10,040	17,3	0,53
18	13,1	15,4	49,6	19,6	84,6	3,1	2,1	2,3	7,4	8,0	8,0	Sl2	10 YR 4/2	7,61	3,18	0,828	1,4	0,06
19	61,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10 YR 4/6	n.b.	20,21	0,000	0,0	0,02
20	90,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,5 Y 4/4	n.b.	59,40	0,000	0,0	0,00

Probe	Schwermetalle in ppm									
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn		
1	170	496	39	72	54	16	61.299	1.752		
2	45	147	38	21	39	26	57.321	9.574		
3	30	108	39	17	38	18	81.835	1.167		
4	27	98	34	16	34	15	32.271	279		
5	11	55	21	8	17	11	25.613	1.099		
6	8	38	17	6	13	10	19.792	658		
7	8	48	17	6	17	5	15.599	313		
8	9	51	17	7	21	8	16.590	1.134		
9	7	54	15	7	20	11	20.341	1.686		
10	7	50	13	7	19	7	12.416	179		
11	9	58	16	7	22	8	13.998	352		
12	11	52	12	5	18	7	10.976	188		
13	8	59	16	7	18	10	13.766	169		
14	10	63	16	9	19	10	21.869	793		
15	13	62	15	8	21	6	14.530	138		
16	20	67	17	10	27	6	13.262	157		
17	44	96	16	3	15	2	11.238	300		
18	27	33	4	0	1	6	5.116	42		
19	27	26	5	0	30	1	11.197	104		
20	21	27	9	0	3	3	6.551	596		

### Laboranalytische Kennwerte Profil 6637-80

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	Schwermetalle in ppm							
					Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe	Mn
1	52,0	7,5 YR 2/2	7,54	24,54	12	110	18	14	42	5	63,525	1,288
2	58,1	7,5 YR 2/2	7,55	20,45	22	108	11	8	38	1	76,401	1,225
3	34,2	10 YR 3/2	7,63	21,01	1	141	10	8	46	9	86,444	1,642
4	72,9	10 YR 2/3	7,48	20,86	5	120	10	6	62	14	116,517	2,205
5	59,0	10 YR 2/3	7,53	22,44	3	141	17	8	53	8	93,410	2,061
6	68,3	7,5 YR 3/2	7,57	14,74	2	141	17	8	51	10	78,772	1,766
7	10,3	2,5 Y 3/3	7,40	14,23	29	133	25	10	36	14	30,331	467
8	34,1	10 YR 4/3	7,39	4,04	13	112	28	9	37	18	29,532	361
9	5,3	10 YR 4/2	7,47	22,37	16	102	22	7	35	8	21,844	389
10	0,0	10 YR 4/2	7,49	17,27	9	88	24	6	32	12	14,683	179

## Laboranalytische Kennwerte Flusssedimente

Probe	Skelett Gew. %	Munsell Farbe	CaCO <sub>3</sub> %	TOC %	org.S. %	N %	Anmerkungen:
A	0,0	10 YR 3/2	2,79	3,494	6,0	0,20	alle leicht kalkhaltig
B	0,0	10 YR 3/2	3,53	2,785	4,8	0,21	
C1	3,0	10 YR 3/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
C2-1	0,7	10 YR 4/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
C2-2	3,9	10 YR 4/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
C2-3	16,9	7,5 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
C2-4	0,0	7,5 YR 5/8	1,30	0,000	0,0	0,02	
C3-1	3,1	7,5 YR 4/4	1,61	1,038	1,8	0,08	
C3-2	2,9	7,5 YR 4/3	2,08	1,342	2,3	0,08	
C3-3	2,5	7,5 YR 3/3	2,86	1,388	2,3	0,10	
D1-1	0,0	7,5 YR 3/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D1-2	0,2	7,5 YR 3/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D1-3	25,7	7,5 YR 4/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-1	0,0	10 YR 3/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-2	0,0	10 YR 3/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-3	0,0	10 YR 3/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-4	0,1	10 YR 3/3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-5	6,2	7,5 YR 4/4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
D2-6	73,5	7,5 YR 4/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Probe	Schwermetalle in ppm						
	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Fe
A	18	100	22	12	28	13	37.388
B	174	667	20	67	38	6	29.348
C3-1	37	67	12	5	17	10	33.694
C3-2	36	58	6	3	12	8	22.649
C3-3	60	183	6	14	11	6	17.273
							Mn
							638
							833
							182
							111
							194

Tab. A 7: Makroskopische Beschreibung ausgewählter Schlacken und Scherben

Leidersdorf		Nr.	Proben- bezeichnung	Fund- datum	Fundbeschreibung	Gewicht (g)	Abmessung (cm) LxBxH	Beschreibung
		1	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	3,77	2,5x1,4x1	metallisch grau-blau, ohne Blasen, Fließ-Struktur
		2	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	1,23	1x0,9x0,5	metallisch grau-blau, ohne Blasen, „Fließtropfen“
		3	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	1,63	1,5x1,2x0,9	metallisch glänzend, blau-grau, ohne Blasen, Fließ-Struktur
		4	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	1,5	1,4x0,9x1	blau-grau, einzelne Blasen, Oberfläche unruhiger
		5	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	1,24	1,4x1,3x0,7	blau-grau, leicht blasig, Fliess-Struktur, aber Oberfläche unruhig/kantig
		6	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	0,0074	0,3x0,2x0,15	blau-grau, oval, nach innen gewölbt, seitliche Schraffur
		7	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	66,14	4,5x4x3	metallisch glänzend, silber-grau, teils Fließ-Struktur, teils kompakt, vereinzelt Blasen
		8	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	77,65	7,3x3,3x3,3	blau-grün bis schwarz, glasartig, viele kleine und große Blasen (feinporig)
		9	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	51,34	5,4x3,5x2,5	grün, glasartig, überwiegend kompakt, z.T. Blasen und Fließ-Strukturen
		10	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	51,09	6,4x3,5x3,2	blaugrün bis grau, glänzend, glasartig, kompakt mit größeren Blasen, z.T. weiche, abgerundete Oberfläche
		11	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	60,22	4,1x3,3x3	blaugrün bis dunkelgrau, glasartig, kompakt, glatte und unruhige Oberflächen
		12	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	4,8	1,3x1,7x1,9	dunkelgrün, glasartig, scharfkantig, einzelne, große Blasen, z.T. Fließ-Struktur
		13	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	1,52	1,6x1,5x0,9	hellgrün, glasartig, kantig, Blasen
		14	6637	11.12.01	Lesefund, großer Schwemmfächer	302,45	ca. 7x5,2x4,5	grau-silber, Bruchfläche glänzend, viele Blasen, Teilstück aufgemahlen für RDA
		15	6637	23.07.02	Lesefund, Flurstück 1390	324,09	7,5x5x4,5	grau-braun, teils silbrig schimmernd, rostrote Einschlüsse, teils kompakt, teils blasig, Ofenwandschlacke?
		16	6637	31.07.02	Pürckhauerbohrung, Leidersdorf,	3,35	1,5x1,3x1,2	dunkel grau-blau mit weißen Flecken, Fließ-Schlacke
		17	6637	31.07.02	Flurstück 1356 Pürckhauerbohrung, Leidersdorf,	2,51	1,5x1,2x1,3	dunkel grau, Bruchfläche glänzend, blasig
		23	6637	23.07.02	Flurstück 1356 Lesefund, Flurstück 1390	-	-	diverse auffällige Steine
		-	6637-19/1	-	Rammkernsondierung	-	-	mehrere kleine Schlackenstücke, blau-grau, kompakte Fließ-Schlacke als auch feinporige Schlacke
		-	6637-19/2	-	Rammkernsondierung	-	-	mehrere kleine Schlackenstücke, blau-grau, z.T. silbrig glänzend, meist feinporig

## Schmidmühlen

Nr.	Proben- bezeichnung	Fund- datum	Fundbeschreibung	Gewicht (g)	Abmessung (cm) LxBxH	Beschreibung
-	6737-100/7 A		Schlacke, Baggerschnitt	66,23	4,5x3,7x3,4	grau, metallisch glänzend, organische Einschlüsse, feinporig, kompakt, kantige Oberfläche, teilweise Fließ-Strukturen
-	6737-100/7 B		Schlacke, Baggerschnitt	37,01	4,2x3,3x3	grau, dunkel rostbraune Ablagerungen, kantige Oberfläche, teilweise Fließ-Strukturen
-	6737-100/7 C		Schlacke, Baggerschnitt	-	-	sehr kleine Schlackenreste, sowohl rund als auch kantig (aus Schwermmaterial)
-	6737-100/8		Schlacke, Baggerschnitt	3,77	3,4x2x0,5	mittelalterliche Scherbe, halb weiß, halb rosa, eine Seite grün lasiert
-	6737-100/9		Schlacke, Baggerschnitt	11,63	2,7x2,2x1,3	grau, teilweise metallisch glänzend, unruhige/ungleichmäßige Oberfläche
-	6737-100/10		Schlacke, Baggerschnitt	2,97	2,1x1,6x0,4	mittelalterliche Scherbe, ev. älter, weiß, eine Seite grau, grob gemagert
-	6737-102		Schlacke, Baggerschnitt	0,7729	1,1x0,8x0,5	grau, metallisch glänzend, Fließ-Schlacke, fast Tropfen förmig
-	6737-102		Schlacke, Baggerschnitt	0,7117	1x0,9x0,6	grau, metallisch glänzend, Teil einer Fließ-Schlacke
-	6737-102		Schlacke, Baggerschnitt	0,2287	0,9x0,7x0,4	hellgraugrün, glänzend, feinporig, wellige, glatte Oberfläche
-	6737-102		Schlacke, Baggerschnitt	6,48	3,2x2,8x0,3-1,1	mittelalterliche Scherbe, weiß/rosa/grau, eine Ecke schwarz, gewellter Rand
-	6737-103		Schlacke, Baggerschnitt,	13,21	2,7x2,5x1,5	grau, teilweise metallisch glänzend, unruhige/ungleichmäßige Oberfläche, Blasen
-	6737-103		Schlacke, Baggerschnitt,	2,945	1,4x1,2x0,9	grau schwarz, teilweise rostrot, kompakt, unruhige Oberfläche
-	6637-106/1		Schlacke			
-	6637-100/12		Scherbe			
18	6737	25.07.02	Rammkernsondierung, Schmidmühlen/ Vilsau	3,95	2,3x1,3x1,4	blau-grau, unregelmäßige Oberfläche, z. T. Fließ-Strukturen
19	6737	25.07.02	Rammkernsondierung, Schmidmühlen/ Vilsau	0,6583	1,5x1x0,6	hellgrau, feinporig und Fließ-Strukturen
20	6737	25.07.02	Rammkernsondierung, Schmidmühlen/ Vilsau	1,1465	1,4x1,1x0,7	dunkel blau-grau, Fließ-Schlacke mit einzelnen Blasen
21	6737	25.07.02	Rammkernsondierung, Schmidmühlen/ Vilsau	0,987	1,5x0,9x0,8	dunkel grau-blau, Fließ-Strukturen, aber unregelmäßige, filigrane Oberfläche
22	6737	25.07.02	Rammkernsondierung, Schmidmühlen/ Vilsau	6,35	2,3x1,3x1,2	dunkel blau-grau, unregelmäßige Oberfläche, feinporig, Fließ- Strukturen

Tab. A 8: Sonderproben

Bezeichnung	Entnahmetiefe	Art	Bemerkungen	
6637		Oberfläche	Schlacke	Lesefund, Schwemmfächer zw. Leidersdorf u. Ensdorf
6637	Flurstück 1390	Oberfläche	div. Gesteine	Lesefunde, Schwemmfächer zw. Wolfsbach u. Leidersdorf
6637	Flurstück 1390	Oberfläche	glasartige Schlacken	Lesefunde, Schwemmfächer zw. Wolfsbach u. Leidersdorf
6637	Flurstück 1390	Oberfläche	Fließschlacken	Lesefunde, Schwemmfächer zw. Wolfsbach u. Leidersdorf
6637	Flurstück 1356	Oberfläche	Schlacke	Pürckhauerbohrung, Leidersdorf, zw. Streuobstwiese u. Teich
6637-13	13/12 <2mm	333-350	Gestein?, schwarz	
	13/12 >2mm	333-350	Gestein?, schwarz, grau	
	13/13 gS	350-370	Bsp. für gS, viele schwarze Partikel	
	13/17	432-450	organische Reste, hell	verschleppt
	13/20	517-537	organische Reste, hell	verschleppt
	13/27 >2mm	661-671	Gestein, rot-schwarz	veränderter Kalk
	"schwarze Körnchen/Steinchen" im Feinboden von 10?, 12, 13?, 14,16, im gS 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11,12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26			
6637-14	14/1 >2mm	0-30	Gestein, Schlacke?	
	14/2	30-52	Gestein, Schlacke?	z.T. metallisch grau glänzend
	14/3	52-60	wie 13/27 und 14/2	
	14/5	80-100	Holzkohle	
	14/6	150-166	organische Reste	
	14/11 >2mm	250-270	s. 14/3	
	14/12 >2mm	270-290	s. 14/3	
	14/15 >2mm	370-390	Schlacke?	
	14/13-15 >2mm	300-390	eher Gestein	
	14/16 >2mm	390-409	s. 14/3	
	14/17 >2mm	436-463	s. 14/3	
	14/18	463-500	länglich, rund, schwarz	wahrscheinlich Verkiezelung, evt. anthropogen
	"schwarze Körnchen" im Feinboden 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 im gS 12, 13			
6637-15	15/1 gS	23-38	Bsp. f. gS, bunt, inkl. Ziegel, Schlacke, Kalk	
	15/2	38-56	Schlackenstückchen, porös	
	15/3 >2mm	57-73	Gestein, innen weiß, äußerer Rand schwarz	
	15/4 >2mm	73-100	Gestein, innen teilw. orange	
	15/14 >2mm	263-283	Gestein, rundlich	
	15/16	300-325	Gesteinsprobe	
	15/19 >2mm	368-386	Muschelstück; Schlacke oder Gestein	
	15/21 >2mm	406-426	schwarze Körnchen	
	15/21 gS	406-426	Bsp. f. gS, blass, viel Quarz	
	15/22	426-443	schwarzes Stückchen, Gestein?	
	15/23 >2mm	443-460	Schlacke?	
	15/26 >2mm	486-500	schwarz-rötlich, rundliches Gestein	
	rötlicher Sand mit einzelnen schwarzen Partikeln: Feinboden 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24; >2mm 18, 20 brauner Feinboden mit einzelnen schwarzen Partikeln: 14 im gS oft schwarze Partikel 15/2 enthält poröse Schlackenstücke (Verteilung durch pflügen auf dem Acker)			
6637-16	16/1 >2mm	20-35	großes Ziegelstück	16/1 >2mm enthält auch viele kleine Ziegelstückchen
	evt. in 16/3 schwarze Partikel			
6637-17	17/1	152-175	Holzkohle	
	17/2	175-199	Holzkohle	
	17/2 >2mm	175-199	Gesteinsprobe, s. 15/26	
	17/3	199-224	Feinboden	Fe-Konkretionen
	17/3 a	199-224	Holzkohle	evt. auch kleines Schlackestück
	17/4	224-245	Holzkohle	
	17/5	245-257	Holzkohle	
	17/6	257-270	Holzkohle	
	17/7	270-280	Holzkohle	
	17/8	280-300	Gesteinsprobe	
	17/12 >2mm	387-420	Gesteinsprobe, dunkel	
	17/14 >2mm	454-476	Gestein	
	vereinzelt schwarze Partikel in 17/12, 17/14 bei -16 und -17 im gS, wie sonst auch, immer wieder schwarze Partikel (nicht gleich Schlacke!)			
6637-18	18/4 >2mm	47-70	Gestein, evt. Schlacke	
	18/7	154-184	Gesteinsproben	verwitterter Kalk, Schlacke?
	18/8	184-197	Holzkohle	
	18/8 b	184-197	Holzkohle	
	18/10	211-225	Feinboden	Mn-Konkretionen?
	18/11	225-240	Feinboden	Mn-Konkretionen?

	18/12 a	240-256	Feinboden	Mn-Konkretionen?
	18/12 b	240-256	Feinboden	Mn-Konkretionen?
	18/13	256-271	Feinboden	
	18/15	289-300	Gesteinsprobe	
	18/20 >2mm	428-450	evt. Schlacke	
	18/21 >2mm	450-482	Gestein, evt. auch Schlacke	
	18/22	ca. 482+	Gesteinsprobe	auffälliger violetter Stein
	18/22	ca. 482+	Gesteinsprobe	Schlacke oder Gestein?
	18/22	ca. 482+	kleine Bruchstücke	
teilweise schwarze Partikel im gS bei 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 14; schw. Körnchen in <2mm: 16 (vereinz.), 22				
6637-19	19/1	7-36	Schlacke	deutlich Fließschlacke und poröse Schlacke erkennbar
	19/2	50-70	Schlacke	
	19/2	50-70	Holzkohle	
	19/3	70-90	Schlacke	
	19/10	246-273	Gesteinsprobe	diverse
	19/12 ?	300-330	Holzkohle	
	19/12	300-330	Gesteinsprobe	
	19/14	360-395	Gesteinsprobe/Schlacke?	
19/16	413-433	Gesteinsprobe/Schlacke?		
6637-20	20/1	15-35	Wurzeln	
	20/2	35-52	Organische Reste + Wurzeln	
	20/3	52-68	Wurzeln	
	20/6	95-100	Wurzeln	
	20/11	173-185	Organ. Reste	
	20/12 >2mm	185-209	Gesteinsprobe	
	20/18	300-321	Organische Reste	
	20/19	321-337	Organische Reste	
	20/20	337-358	Organische Reste	
	20/22 a	371-383	Organische Reste	beim Mörsern gewonnen
	20/22	371-383	stark organische Probe	
	20/23 a	383-394	Organische Reste	beim Mörsern gewonnen
	20/23	383-394	stark organische Probe	
	20/24	394-398	Organische Reste	
	20/25 >2mm	398-429	Gestein?	
	20/29 + 20/30	318 + 333	Makrorest	Mischprobe
	20/28	314	Makrorest	aus 20/18
	20/31	368		aus 20/21
schwarze Partikel im gS: 1, 3, 4, 6, 16				
6637-22	22/1	1-27	Schlacke	
	22/2	27-67	sehr wahrscheinlich große Schlackenstücke, verbacken mit Sand + Kies, rostrote Bänder (Fe)	
	22/3	67-81	Holzkohle	
6637-23	23/1 >2mm	1-27	Schlackenstückchen	
	23/2 >2mm	27-76	verbackene Schlacke ? (siehe 22/2)	
	23/18	372-420	Schlacke	
	23/19 >2mm	420-432	Gestein + Schlacke?	
	23/20	432-450	Gesteinsprobe	verm. Gestein + Schlacke
schwarze Körnchen in <2mm: 2 (evt.), 16, 18, 19				
6637-24	24/3	68-100	Holzkohle	vermutlich vom Sägewerk
	24/3	68-100	Holzkohle	vermutlich vom Sägewerk
	24/3	68-100	Holzkohle	vermutlich vom Sägewerk
	24/18	397-425	Schlacke?	
6637-25	25/1	1-21	Schlacke	
	25/5	193-224	Getreidekorn	vermutlich rezent
	25/8	267-300	Schlacke?	evt. auch Gestein
	25/12	408-446	Gesteinsprobe	verwitterter Kalk?, Mn?
6637-26	26/1	1-25	Schlacke?	
	26/1	1-25	Schlacke, Gestein	
	26/11	242-277	Gesteinsprobe	
	26/11	242-277	Gesteinsprobe	
	26/16	395-418	Gesteinsprobe	
6637-27	27/1	1-32	Holzkohlefitter	
	27/12	270-300	Feinboden	Konkretionen
6637-28	28/1	1-31	Schlacke	

	28/2	31-64	Schneckengehäuse	
	28/19	458-500	Gesteinsprobe	gemischt: Mn?, Schlacke?, Gestein
6637-29	29/2	25-44	Makroreste	
	29/4	58-73	Makroreste	
	29/6	89-100	Makroreste	
	29/7	100-126	Makroreste	
	29/15	245-266	Gesteinsprobe	
	29/16	266-279	Gesteinsprobe	kl. schwarze "Körnchen"
	29/17	279-300	Gesteinsprobe	Schlacke?
	29/19	300-324	Gesteinsprobe	Körnchen
	29/20	324-340	Makroreste	
	29/20a	324-340	Gesteinsprobe	Körnchen
	29/21	340-360	Gesteinsprobe	Körnchen
	29/22	360-373	Gesteinsprobe	Körnchen
	29/23	373-406	Gesteinsprobe	
	29/24	406-445	Gesteinsprobe	+ kleiner Makrorest
6637-30	30/13	185-200	Makroreste	
	30/14	200-215	Makroreste	
	30/15	215-230	Makroreste	
	30/18	258-267	Makroreste	
	30/20	283-291	Makroreste	aus humosem Horizont
	30/20 a	283-291	Holzkohle, organische Reste, Feinboden mit hellblauen Konkretionen	
	30/21	291-300	Feinboden	auffällige blaue Stellen
	30/22	300-308	Makrorest	
	30/24	311-325	Makroreste	
	30/25	325-340	Makroreste	
	30/27	358-373	Makroreste	aus humosem Horizont
	30/27 a	358-373	Holzkohle, organische Reste	
	30/28		blasiger gelber Stein, Quarz	
	30/29	391-412	Makroreste, Feinboden	aus humosem Horizont
	30/29 a	391-412	Holzkohle, organische Reste	
	30/29 b	391-412	Feinboden mit hellblauen Konkretionen	
	30/31	441-463	Gesteinsprobe, Feinboden	auffällige rote Konkretionen, schwarzer Stein
	30/31 a >2mm	441-463	versch. Gesteinsproben, Schlacke?	
	30/32	463-470	Schlacke?	
	30/32 a >2mm	463-470	Gesteinsprobe	
	schwarze Partikel im gS (vereinzelt): 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12			
6637-31	31/3	29-50	Feinboden	Konkretionen
	31/3	29-50	Holzkohle	
	31/4	50-67	Feinboden	Konkretionen
	31/12	204-223	Makroreste	feine Wurzeln?
	31/13	223-244	Makroreste	
	31/15	265-280	Makroreste	große organische Reste, Ästchen, Gras
	31/16	280-283	Holzkohle	
	31/19	329-349	Makroreste	
	31/23	409-429	Makroreste	
	31/23 a >2mm	409-429	Gestein + Schlacke?	
	31/24 >2mm	429-431	Schlacke?	
	31/25	431-442	Gesteinsprobe	
	31/25 a >2mm	431-442	Schlacke?	
	31/26	442-460	Schlacke?	
	31/26 a >2mm	442-460	Schlacke?	
	31/27 >2mm	460-480	Gestein, Schlacke?	
	31/28	480-500	Schlacke?	
	31/28 a >2mm	480-500	Schlacke?	
	evt. schwarze Körnchen in <2mm: 7, 25, 27			
6637-32	32/6	100-110	Holzkohle	
	32/9	150-172	Holzkohle	
	32/10	172-198	Holzkohle/Makroreste	
	32/11	198-226		
	32/12	226-245	Makroreste	
	32/13	245-261	Makroreste	
	32/16	300-315	Makroreste	
	32/17	315-337	Makroreste u.a.	
	32/18	337-347	Makroreste in Grus	
6637-34	34/3	59-79	Gestein, verwittert, schwarz, rostrer Rand	
6637-35	35/3	42-72	Schlacke	
	35/4	72-100	Schlacke	

6637-37-40			div. Gesteinsfundstücke (Kalk, Sandstein)
6637-41	41/20	610-641	Gestein
	41/22	663-700	Feinboden mit Kalk und Mn (schwarze Schlieren)
	41/22 a	663-700	Gestein
6637-43	43/7	100-117	Makrorest, evt. Wurzeln
	43/8	117-148	großer Makrorest
	43/9	148-177	kleine Makroreste, evt. Wurzeln
	43/10	177-198	Makrorest
	43/11	198-221	Scherbe?, leicht brechbar
	43/11 a	198-221	Makroreste
	43/12	221-240	kleine Makroreste, Kalkstein
	43/12 a	221-240	Makroreste
	43/14	248-270	Makroreste
	43/15	270-300	kleine Makroreste, evt. Wurzeln
	43/17b		schwarze/rostrote Steine
43/19	348-390	schwarzes Gestein, Schlacken ähnlich	
6637-44	44/2	36-53	kleine Wurzel
	44/3	53-74	Makroreste, z.T. Wurzeln
	44/4	74-100	kleine Makroreste
	44/5	100-123	kleinste Makroreste
	44/8	168-194	kleine Makroreste
	44/9	194-	Holzkohle
	44/15		schwarze Steine
6637-45	45/6	125-150	HK i.w.S.
	45/7	150-175	große Makroreste, z.T. innen noch hell
	45/9	195-211	große Makroreste/Holzkohle/ z.T. Ästchen
	45/10	211-227	Makroreste, z.T. Ästchen
	45/12	260-270	großer Makrorest, z.T. innen noch hell
	45/13	270-283	große Makroreste/Holzkohle
	45/18	375-384	Holzkohle
	45/18, 19, 20	375-410	Teichrosenkapseln (schwarz) innen hohl, hauptsächlich in 19, 384-395
6637-46	46/15a	390-428	Kalkstein, schwarzer Stein evt. Schlacke
	46/15	390-428	große Makroreste aus grusigem Substrat
	46/16a	428-456	kleiner Makrorest
	46/16	428-456	große Makroreste aus grusigem Substrat
6637-48	48/2	24-47	glasartige Schlacke
	48/4	65-80	längliche Makrorest, wahrscheinlich Wurzeln
	48/5	80-100	Holzkohle, längliche Makroreste
	48/6	100-129	Makrorest/Holzkohle
	48/8	150-174	große Holzkohle
	48/8a	150-174	kleinste Makroreste
	48/11	221-250	Mn?
6637-49	49/2	22-46	Schlacke
	49/10	209-231	kleinste Makrorestchen
	49/11	231-257	Makroreste
6637-50	50/1-3	1-68	Makroreste, auffällig harte "Haut", schwarz, Schachtelhalm?
	50/1-3	1-68	Makroreste, auffällig harte "Haut", schwarz, Schachtelhalm?
	50/9	170-190	Makroreste
	50/10	190-215	Makroreste, "hellblaue" Fleckchen, kompakter Brocken?
	50/11	215-230	kleiner Makrorest
	50/11 a	215-230	Scherbe
	50/12	230-243	Makroreste, Scherbe?, "Röhrchen"
	50/15	280-300	Holzkohle
	50/17	316-331	kleiner Makrorest
	50/18	331-346	kleiner Makrorest
	50/19	346-357	Makroreste
	50/20	357-372	Makroreste aus humosem, anmoorigen, fossilen Horizont
50/21	372-383	Makroreste aus humosem, anmoorigen, fossilen Horizont	
6637-51	51/4	46-70	Holzkohle, organische Reste
	51/6	82-100	Holzkohle, Makroreste
	51/7	100-128	Makroreste
	51/9	150-180	Makroreste
	51/10	180-196	organische Reste, kleiner Stein (Schlacke?)
	51/10a	180-196	Scherbe
	51/13	230-262	organ. Reste, kl. schw. Steine
	51/13a	230-262	kleine organische Reste
	51/14	262-276	div. Steine, Schlacke?
	51/15	276-300	schwarze Steine

6637-52	52/5	113-124	organische Reste, teilweise Wurzeln
	52/7	138-159	Makroreste
	52/8	159-175	Makroreste
	52/10	192-215	Makroreste
	52/11	215-231	Makroreste
	52/14 52/18	270-300	kleine schwarze Steine dunkles Gestein
6637-53	53/5	85-100	kleinste Makroreste
	53/6	121-140	kleinste Makroreste, z.T. Wurzeln
	53/7	140-160	Makroreste
	53/8	160-182	Makroreste
	53/9	182-193	große Makroreste
	53/10	193-220	große Makroreste
	53/11	220-245	große Makroreste
	53/12	245-270	große Makroreste
	53/13	270-286	große Makroreste
	53/16	340-360	große Makroreste, Wurzeln?
	53/22		dunkles Gestein
6637-54	54/6	100-125	kleine Makroreste
	54/7	125-148	Makroreste
	54/8	148-175	Makroreste
	54/9	175-198	Makroreste
	54/12	238-258	Gestein, Schlacke?
	54/15		dunkles Gestein
6637-55	55/18		schwarzer Stein
6637-56	56/1	1-29	Schlacken, Ziegelbruchstück
6637-58	58/3	44-74	Gestein, Schlacke?
6637-59	59/1	1-30	Schlacke
	59/3	50-72	Gestein, Schlacke?
6637-56_60 Hang oberhalb 6637-56_60		Lesefund Lesefund	Lesefunde Acker: Schlacke (sehr groß); Ziegel (außen rot, innen blaugrau, Magerung recht grob) Kalkbruchstücke, liegen zahlreich im Hang
6637-61	61/6	160-198	roter, runder Stein
	61/8	223-247	Mn?
	61/9	247-274	auffälliger Sand/Grus "himbeerfarben"
	61/10	274-300	schwarze Partikel u. Steinchen
6637-64	64/6	100-125	Holzkohle
6637-65	65/1	1-30	Gesteinsprobe
	65/3	54-76	Feinbodenprobe (Bruchflächen der Aggregate waren rotbraun)
	65/3 a	54-76	Holzkohle
	65/8	147-160	Holzkohle
	65/11	195-220	schwarze Steine
6637-66	66/7	215-235	kleine Makroreste
	66/8	235-255	kleiner Makrorest
	66/10	275-300	roter Feinboden (Verwitterungsrest?)
	66/14	365-390	große Makroreste
6637-67	67/27	662-688	schwarze Steine
	67/29	695-700	auffälliger rot-schwarzer Stein
6637-68	68/9	140,5-146	organische Reste (plattig)
	68/20	300-310	länglich, rund, radialer Querschnitt, vermutlich Verkieselung
6637-69	69/9	177-213	Makroreste
	69/11	231-256	Makroreste
6637-70	70/7	143-180	Makroreste
	70/10	190-212	großer Makrorest
	70/11	212-229	schwarze Grundmatrix mit Grobsandeinschlüssen ?
6637-71	71/13	278-300	vermutlich Reste einer Scherbe
	71/17	356-376	große und kleine Holzstücke, etwas lehmiger Sand
6637-72	72/7	162-180	vor allem Holz, Lehm
	72/8	180-200	vor allem Holz, etwas Lehm
	72/9	200-216	vor allem Holz, Lehm

	72/9A	216-220	große Holzstücke	
	72/10	220-240	vor allem Holz	
	72/11	240-261	vor allem Holz, Lehm/Sand	
	72/18	384-397	Holzkohle, groß	
6637-73	73/7	148-160	weiße Ablagerungen, Muschel?	
	73/11	189-217	Feinboden (Lehm, Grobsand) und organische Reste	
	73/11a	189-217	Holz aus 73/11 (Probe wurde im Labor getrennt)	
	73/12	217-236	vor allem Holz, Lehm/Sand	
	73/13	236-252	Holz und Feinboden (sandiger Lehm)	
	73/14	252-267	vor allem Holz, Lehm + Ton	
6637-74	74/9	143-164	große Holzkohlenstücke	
	74/10	164-185	Holzstücke, Lehm, Grobsand, Grus	
	74/12	198-205,5	Holzkohle	
	74/21	260-283,5	vor allem Holz, große und kleine Stücke, Lehm/Sand	
	74/23	300-320	Holzreste	
	74/24	320-340	Schlacke?	
6637-75	75/10	167-190	Makroreste	
	75/12	215-221	Makroreste	
6637-76	76/12	209-232	kleine Makroreste	
	76/20	345	Feinboden, im feuchten Zustand blau gefärbt (jetzt hellbraun)	
	76/24	384/85	Makroreste/Holz	
6637-77	77/3	40-63	unbekannte schw. Steine	
	77/5	81-107	unbekannte schw. Steine	
	77/6	107-135	Schlacke?	
6637-78	78/2	28-49	Schlacke	
	78/3	49-70	Schlacke	
	78/4	70-84	Schlacke	
	78/5	84-100	Schlacke u.a.	
	78/22		Ästchen etc.	
	78/23	417-430	große Holzstücke, div. organische Reste, Lu	
6637-79	79/12		Makrorest	
6637-80	80/2		2 Kügelchen (Durchmesser: 4mm, schwarz bzw. mit weißen Belegen)	
	80/4		1 Kügelchen	
	80/4	61-76	Holzkohle	
	80/25		Holz	
6637-Fluss-Sedin A			Holzkohle	
	D1-1		Ästchen	
	D2-3		Ästchen	
6637	großes Erosionssystem			roter Sand
6637	Schlacken von der Aufschüttung in Wolfsbach (Von Holler Str./Holzschuppen), von der Ausbaggerung der Vils			
6737			Schlacken	aus Bohrungen bei Schmidmühlen, Vilsau
<b>Holz-Proben</b>		<b>Tiefe (cm)</b>	<b>Art, begleitender Feinboden</b>	
6637-71	71/17	356-376	große und kleine Holzstücke, etwas lehmiger Sand	
6637-72	72/7	162-180	vor allem Holz, Lehm	
	72/8	180-200	vor allem Holz, etwas Lehm	
	72/9	200-216	vor allem Holz, Lehm	
	72/9A	216-220	große Holzstücke	
	72/10	220-240	vor allem Holz	
	72/11	240-261	vor allem Holz, Lehm/Sand	
6637-73	73/11	189-217	Feinboden (Lehm, Grobsand) und organische Reste	
	73/11a	189-217	Holz aus 73/11 (Probe wurde im Labor getrennt)	
	73/12	217-236	vor allem Holz, Lehm/Sand	
	73/13	236-252	Holz und Feinboden (sandiger Lehm)	
	73/14	252-267	vor allem Holz, Lehm + Ton	
6637-74	74/10	164-185	Holzstücke, Lehm, Grobsand, Grus	
	74/21	260-283,5	vor allem Holz, große und kleine Stücke, Lehm/Sand	
6637-78	78/23	417-430	große Holzstücke, div. organische Reste, Lu	